

UNIVERSITÉ DE LIÈGE

OUVERTURE SOLENNELLE DES COURS

LE 21 OCTOBRE 1902

Discours de M. le Recteur V. DWELSHAUVERS-DERY

SUR

LA MACHINE A VAPEUR MODERNE (suite)

RAPPORT SUR LA SITUATION DE L'UNIVERSITÉ

PENDANT L'ANNÉE 1901-1902



LIÈGE

IMPRIMERIE LIÉGEOISE, HENRI PONCELET
Rue des Clarisses, 52

—
1902

UNIVERSITÉ DE LIÈGE

OUVERTURE SOLENNELLE DES COURS

21 OCTOBRE 1902.

UNIVERSITÉ DE LIÈGE

OUVERTURE SOLENNELLE DES COURS

LE 21 OCTOBRE 1902

Discours de M. le Recteur V. DWELSHAUVERS-DERY

SUR

LA MACHINE A VAPEUR MODERNE (suite)

RAPPORT SUR LA SITUATION DE L'UNIVERSITÉ

PENDANT L'ANNÉE 1901-1902



LIÈGE

IMPRIMERIE LIÉGEOISE, HENRI PONCELET
Rue des Clarisses, 82

—
1902

L'Université] de Liège reprend ses travaux en habits de deuil.

Le 19 septembre dernier est décédée à Spa la noble femme qui portait avec tant de dignité la couronne de Belgique.

Le corps académique, profondément dévoué à la dynastie, qu'il confond dans une même affection avec la patrie belge, s'est respectueusement associé à la douleur de la famille royale.

L'Université tout entière conservera un souvenir profond de la princesse vénérée dont les hautes vertus, la charité et la bonté ont honoré le trône.

MESSIEURS,

Huyghens, l'un des plus éminents parmi les seize membres de la première Académie des Sciences de France (1666), proposait pour les travaux futurs de cette Société, un programme qui forme un monument du plus haut intérêt pour l'histoire de la Science et du développement de l'esprit humain. En voici les principaux points :

« Faire les expériences du vuide par la machine ou autrement, et déterminer la pesanteur de l'air...

» Examiner la force motrice de la poudre à canon...

» Examiner de même façon la force de l'eau raréfiée par le feu...

» Examiner la force et la vitesse du vent...

» Examiner la force de la percussion, ou la communication dans la rencontre des corps. »

Ce programme embrasse, à l'exception des phénomènes électriques, le domaine entier des plus grands progrès scientifiques réalisés dans les deux siècles derniers. Huyghens ne se contente pas de le tracer, il indique encore la méthode par laquelle il faut poursuivre les études :

« La principale occupation, dit-il, et la plus utile doit être, à mon avis, de travailler à l'histoire naturelle, à peu près suivant le dessein de Verulamius (Bacon). Cette histoire consiste *en expériences et en remarques*, et est l'*unique*

moyen de parvenir à la connaissance des causes de tout ce qu'on voit dans la Nature. Comme pour savoir ce que c'est que la pesanteur, le chaud, le froid, l'attraction de l'aimant, la lumière, les couleurs; de quelles parties sont composés l'air, l'eau, le feu et tous les autres corps, etc., de toutes lesquelles choses on ne sait encore rien ou très peu, *n'y ayant pourtant rien au monde dont la connaissance serait tant à souhaiter et plus utile.*

» L'utilité d'une telle histoire faite avec fidélité s'étend à tout le genre humain et dans tous les siècles à venir, parce que, outre le profit qu'on peut tirer des expériences particulières pour divers usages, l'assemblage de toutes est toujours un fondement assuré pour bâtir une philosophie naturelle, dans laquelle il faut nécessairement procéder de la connaissance *des effets* à celle des causes. »

Cette méthode expérimentale qui devait révolutionner le monde scientifique, et, par contre-coup le monde social, préconisée par Bacon, mise en honneur et en pratique par Huyghens et les savants de son temps, n'a jamais été suivie avec plus d'ardeur que vers la fin du dix-huitième siècle. C'est en effet à cette époque que, réalisant l'idéal scientifique et l'idéal utilitaire d'Huyghens, des expérimentateurs inaugurèrent la physique et la chimie des gaz pendant que le plus puissant d'entre eux, James Watt, créait la machine à vapeur moderne.

Plus que tout autre, Watt a étudié la Nature, non dans les livres, mais dans la Nature elle-même; aussi le résultat de ses recherches est-il impérissable comme son objet lui-même. Je ne me propose pas de faire ici son éloge, cent fois répété et toujours inférieur à son génie, mais uniquement de montrer, par son exemple, à quoi peut conduire la méthode expérimentale, celle de nos laboratoires de recherches, lorsque celui qui la pratique n'a pas la tête encombrée des conceptions hasardées et souvent

fausses qu'enfantent, dit Arago, tous ceux qui ont l'audace de se croire appelés, non à *découvrir*, mais à *deviner* la marche de la Nature. C'est à cette science vraie, expérimentalement découverte, que la machine à vapeur moderne est redevable de son existence, et celle-ci, en donnant naissance à la Thermodynamique et à l'Energétique, a, de son côté, largement payé sa dette à la Science.

Vers 1760, on ne connaissait encore ni la composition de l'air, ni celle de l'eau, ni les lois des vapeurs saturées ; on imaginait qu'en toutes circonstances, une substance aériforme qui se contractait ou se détendait, suivait la loi récemment formulée de Boyle ou de Mariotte. Mais l'Université de Glasgow était un centre d'actives recherches, réunissant nombre d'hommes éclairés, ardents à découvrir la vérité sur toute chose ; comptant des savants tels que Black, Dick, Anderson, Moor, Adam Smith, Robison, etc., chacun ayant enrichi la science dans sa sphère d'observations. Black, entre autres, a découvert ce que l'on a nommé *la chaleur latente de la vapeur*, que Watt retrouva ensuite dans ses expériences et qui fit faire un si grand pas à la théorie comme à la pratique de la machine à vapeur.

C'est dans ce milieu savant que germa le génie de Watt. C'est là qu'il fut accueilli dans sa détresse lorsque, jeune encore, il cherchait à se faire un établissement, un avenir, luttant seul contre les forces réunies de groupes ou corporations.

Watt n'était pas qu'un simple ouvrier. Son habileté manuelle, il est vrai, lui servit plus que sa science à gagner sa vie dans sa jeunesse, alors que des revers de fortune l'y obligeaient. Mais il était né d'une famille de commerçants très respectables qui comptait parmi ses membres des mathématiciens et des professeurs. Il reçut une éducation

primaire et moyenne adéquate à son rang, et en conserva tout ce que sa faible santé et sa forte personnalité en pouvaient retenir.

A vrai dire, il n'était diplômé d'aucune Ecole. Il avait été fait sur lui, dans son enfance surtout, des tentatives d'études à programme défini, le même pour toutes les intelligences, mais sans autre résultat que de lui inspirer un dégoût profond pour certaines branches. Son caractère, son penchant inné lui interdisaient de se restreindre à un cadre fixé d'avance par un étranger, à un temps limité pour absorber une quantité de matières donnée. Au contraire, il étudiait, avec la même passion et la même indépendance d'esprit, les choses les plus diverses qu'il lui semblait utile ou agréable de savoir, et particulièrement les mathématiques et les sciences physiques. Il ne se bornait pas au dire du professeur ; il lui fallait la constatation personnelle pour assurer sa conviction. C'est à cette tournure d'esprit qu'il faut attribuer les œuvres de ce génie qui a édifié en un demi siècle, plus que tous les César, les Attila, les Gengis Khan et les Napoléon ensemble n'ont détruit.

Watt était doué d'une merveilleuse mémoire. Quand la machine à vapeur tomba dans le champ de ses recherches, il n'avait que 23 ans, mais il avait beaucoup appris et n'avait rien oublié ; c'était un savant, de science certaine, ayant vérifié par lui-même les points fondamentaux. Ouvrier d'une habileté hors de pair, expérimentateur capable de faire ses instruments lui-même et dans la forme qu'il voulait, il avait exercé ses talents à toutes sortes d'objets qui pouvaient servir à gagner le pain quotidien ; il faisait surtout des sextants, des instruments d'optique, de physique, de mathématique et même de musique. Si bien que l'envie s'en mêla ; et, quand il voulut s'établir à Glasgow, la Corporation des Hammermen le lui interdit au nom de ses privilèges.

Heureusement certains savants de l'Université de Glasgow, ayant reconnu les capacités remarquables du jeune Watt, lui offrirent un refuge dans le territoire de leur établissement aux limites duquel s'arrêtait le pouvoir des corporations. Là, il fut pourvu d'une échoppe où il forgeait ses instruments et augmentait son avoir intellectuel, et où l'aménité de son caractère et la variété de ses connaissances attiraient auprès de lui élèves et professeurs qui le choyaient et souvent même le consultaient. La boutique fut bientôt transformée en un salon d'instructives conversations, un club d'amis tous avides de recherches et de savoir. On le consultait sur des points de science et de pratique ; et la finesse, la netteté de ses observations, l'exactitude et la précision de ses connaissances, la facilité et la clarté avec lesquelles il les communiquait aux autres, en avaient fait un favori général. Les professeurs Black, Dick, Anderson, Robison (encore assistant) le traitaient en égal et en ami.

C'est ainsi que Robison, en 1759, appela un jour l'attention de Watt sur l'utilité qu'il y aurait à créer une automobile à vapeur. En ce moment Watt n'avait pas encore étudié la vapeur. Toutefois il fit un modèle avec deux cylindres ouverts par le dessous, fermés par le dessus, les pistons, tiges, bielles, etc., devant agir alternativement sur deux pignons fixés aux axes de la roue du chariot. Le modèle ne donna aucun résultat satisfaisant. Ni Watt ni la science n'étaient mûrs pour la locomotion à vapeur.

Mais ce fut probablement à cette occasion que Watt se mit, suivant sa coutume, à étudier tout ce que l'on savait sur la machine à vapeur, avant d'expérimenter par lui-même. Il n'existait guère alors qu'une seule machine de Newcomen en Ecosse, et encore n'y était-elle introduite que depuis 1750. Mais Watt, sachant que l'Université

possédait un modèle qui était à Londres en réparation, pria le professeur Anderson de le faire revenir. C'est sur ce modèle que, dès 1763, il se livra à des expériences qui devaient l'immortaliser.

Après y avoir fait les réparations vulgaires indispensables, Watt le mit en marche et constata qu'il était incapable de fonctionner avec continuité, et que ce fait était dû à l'insuffisance de la chaudière bien que celle-ci parût avoir de grandes dimensions. En activant le feu au moyen d'un soufflet, il parvenait bien à faire battre quelques coups, mais alors la machine consommait d'énormes quantités d'eau d'injection, bien que la charge utile due à la colonne d'eau soulevée fût très légère. Le problème entier de la machine à vapeur était posé au physicien.

Il est rare qu'une invention considérable ait été faite par un seul homme ; plus rare encore qu'un inventeur ait laissé des documents complets sur la marche qu'il a suivie, sur les progrès de l'idée faits pas à pas dans son cerveau, sur les hésitations, les doutes, les essais successifs, les déboires, les désespérances, les succès et les raisons des succès. A cet égard Watt fait exception et l'exception la plus heureuse ; les documents qu'il a laissés abondent et c'est ainsi qu'on peut faire l'historique de ses travaux avec grande exactitude. Ils permettent d'affirmer que toute l'invention de Watt *a eu pour but de diminuer l'action thermique nuisible des parois métalliques dont il faut entourer la vapeur pour la guider sur tout son parcours dans la machine* ; ensuite que Watt a, le premier, étudié la physiologie de la machine à vapeur et qu'il a montré la voie à suivre dans les laboratoires de nos Ecoles. Il est vrai qu'il y a trente ans il n'existait encore aucun laboratoire de physiologie mécanique dans aucune Ecole, tandis qu'aujourd'hui, et depuis quelques années seulement, nombre d'Ecoles en sont pourvues.

Mais ce qui est vrai aussi, c'est qu'on n'en est pas encore revenu partout aux voies indiquées par le créateur Watt, c'est-à-dire aux recherches sur les pertes par parois. Or, c'est là la question fondamentale, essentielle. Des savants, plutôt mathématiciens que physiciens, même de nos jours, ont nié l'importance de l'action des parois sans l'avoir mesurée expérimentalement. Les faits découverts par Watt au XVIII^e siècle et par Hirn au XIX^e, sont là pour détruire ces préjugés. Nous exposerons les premiers, réservant les seconds pour une autre occasion. Mais, pour plus de clarté, disons d'abord en quoi ils consistent.

La vapeur chaude, formée dans la chaudière est amenée au cylindre par un tuyau métallique; le cylindre est aussi lui-même composé de métal froid qui ne reçoit de chaleur que de la vapeur et la conduit en partie à l'extérieur. Puis le fluide ayant travaillé dans le cylindre, quitte la machine étant à l'état de vapeur encore chaude. Ainsi la vapeur qui a reçu sa chaleur du combustible dépensé dans le foyer, au lieu de l'employer utilement toute entière à travailler dans le cylindre, en perd, par rayonnement à l'extérieur, une première partie qui a traversé l'épaisseur du métal, et en emporte en elle-même une seconde en quittant le cylindre pour se rendre au condenseur. Cette dernière est de beaucoup la plus importante. En effet, la vapeur ne cède sa chaleur au métal encaissant qu'en se condensant contre les parois. Pendant l'admission de la vapeur au cylindre, celle-ci en contact avec la masse métallique encaissante plus froide qu'elle-même, se condense partiellement et sans presque rien perdre de sa pression, parce qu'il se produit un appel énergique de nouvelle vapeur de la chaudière jusqu'à ce que les parois aient pris la température de la vapeur. Ainsi, la quantité de fluide présente dans le cylindre à la fin de l'admission, composée

de deux parties, l'une à l'état aériforme qui remplit la capacité cylindrique, l'autre à l'état liquide, ruisselant sur les parois, a un poids beaucoup plus considérable que celui de la partie aériforme seule, puisqu'il s'y ajoute celui du liquide, dont la densité est beaucoup plus grande. Mais cette dernière, le liquide, pour quitter le cylindre, se vaporise en empruntant au métal la chaleur que la vapeur lui avait abandonnée pendant l'admission. Aussi le métal se refroidit et, à l'admission suivante, le phénomène de condensation se reproduit. Tout le poids de vapeur admise sort du cylindre à l'état de vapeur, c'est-à-dire en emportant une très notable quantité de chaleur ; de là une grande perte de chaleur par l'intérieur du cylindre qui s'ajoute à la perte extérieure par conduction et rayonnement.

Evaluer cette perte et la réduire, c'est ce que voulut faire Watt qui la trouva énorme et cela dans un temps où personne n'en soupçonnait l'existence, où les propriétés de la vapeur saturée étaient totalement inconnues. Il ne réussit que partiellement ; il était réservé à l'école de Hirn de découvrir plus tard que tous les moyens employés pour diminuer l'action thermique des parois avaient pour effet d'augmenter la perte par la chaleur encore présente dans la vapeur qui quitte la machine ; qu'ainsi il y a un minimum de perte inéluctable. Mais revenons à Watt et à son modèle de Newcomen.

Un homme ordinaire se serait borné à réparer le modèle et à le mettre en mesure de fonctionner. « Watt, au contraire, dit Arago, y vit l'occasion des plus sérieuses études. Ses recherches portèrent successivement sur tous les points qui semblaient pouvoir éclairer la théorie de la machine. Il détermina la quantité dont l'eau se dilate quand elle passe de l'état de liquide à celui de vapeur ; la quantité d'eau qu'un poids donné de charbon peut

» vaporiser ; la quantité de vapeur en poids que dépense,
» à chaque oscillation, une machine de Newcomen, de
» dimensions connues ; la quantité d'eau froide qu'il faut
» injecter dans le cylindre pour donner à l'oscillation
» descendante du piston une certaine force ; enfin l'élas-
» ticité de la vapeur à différentes températures. Il y avait
» là de quoi remplir la vie d'un physicien laborieux ;
» Watt cependant trouva le moyen de mener à bon port
» de si nombreuses, de si difficiles recherches sans que les
» travaux de l'atelier en souffrissent. »

Watt a raconté lui-même les faits et nous ne pouvons mieux faire que de résumer son récit.

Déjà vers l'an 1761 ou 1762, il avait fait quelques expériences sur la force élastique de la vapeur au moyen d'un digesteur de Papin au-dessus duquel il avait fixé une seringue de 8 mill. de diamètre munie d'un piston plein qu'il chargeait d'un poids de 7 kilogr. environ ; par le moyen de robinets, il faisait arriver dans la seringue de la vapeur du digesteur afin de soulever le piston ; puis, il laissait échapper cette vapeur, et le piston retombait. Les robinets étaient manœuvrés à la main, mais il était aisé de voir comment on pourrait les commander automatiquement et établir la continuité du fonctionnement. Watt abandonna l'idée d'une telle machine pensant qu'étant à haute pression, elle serait sujette aux mêmes accidents que celle de Savery, aux mêmes dangers d'éclater, aux mêmes difficultés de faire des joints étanches, et à des pertes provenant de ce que l'on ne faisait pas le vide derrière le piston. Toutefois, on remarque qu'au 4^{me} article de la spécification de son brevet de 1769, il a décrit une telle machine à haute pression et qu'il en a reproduit la mention dans son brevet de 1784 en même temps qu'il donnait un moyen de l'appliquer à la locomotion des voitures à roues.

Après l'essai du modèle de Newcomen, Watt pensa que la cause de la grande consommation était que le cylindre, de petites dimensions, exposait une surface condensante relativement beaucoup plus grande que celle des grandes machines industrielles. En diminuant suffisamment la résistance ou la hauteur de la colonne d'eau, il parvint à obtenir une marche régulière avec une consommation modérée d'eau d'injection. Le cylindre, étant en cuivre, conduisait aussi la chaleur mieux que les cylindres des grandes machines faits en fonte et généralement revêtus à l'intérieur d'une couche d'incrustation. Il y aurait donc avantage à construire des cylindres en matériaux mauvais conducteurs de la chaleur. Le bois semblait indiqué, si, du moins, à l'usage, il présentait des conditions de durabilité.

Il essaya d'un cylindre en bois de 15 cent. de diamètre avec une course de piston de 30 cent. Le bois était imbibé d'huile de lin et séché au feu. Ce modèle servit à un bon nombre d'expériences d'où Watt conclut que le bois n'était pas durable ; que le cylindre consommait plus que ceux des machines sur lesquelles Désaguliers avait fait rapport ; que plus on voulait perfectionner le vide par une plus grande quantité d'eau d'injection, plus on augmentait la consommation de vapeur ; que, conformément à la découverte du Dr Cullen, l'eau dans le cylindre entraînait probablement en ébullition à une basse température (environ 40°) et produisait de la vapeur qui résistait en partie à la pression atmosphérique.

C'était un fait capital qu'il fallait éclaircir ; Watt le fit en physicien consommé. Il chercha expérimentalement les températures auxquelles l'eau entre en ébullition sous diverses pressions supérieures à l'atmosphère. En traçant un diagramme des pressions et températures correspondantes, il trouva que, si la température croissait en progression

arithmétique, la pression croissait en progression géométrique ; et cette loi lui sembla suffisamment approchée pour le but qu'il se proposait. Il lui parut aussi qu'on ne pouvait approcher du vide qu'en injectant de grandes quantités d'eau, capables de refroidir les parois du cylindre au point qu'il faudrait un énorme poids de vapeur pour les réchauffer à nouveau, et que cette dépense était hors de proportion avec le travail que l'on pourrait gagner par la perfection du vide.

Etudiant les expériences sur la machine de Beighton rapportées par Désaguliers, Watt y trouva des erreurs évidentes sur le volume relatif de la vapeur d'eau, et résolut de déterminer lui-même cette donnée physique. Le procédé qu'il y employa montre toute sa sagacité et sa délicatesse de manipulation, mais il serait trop long d'en donner ici le détail. Il en fait connaître le côté faible qui était le peu de sensibilité de sa balance d'abord, et la difficulté d'observer la température ensuite.

Il construisit une chaudière montrant à la simple vue le volume d'eau vaporisée en un temps donné, afin de déterminer le poids de vapeur dépensée à chaque coup de piston. Il trouva que ce dernier poids était plusieurs fois plus grand que celui de la vapeur qui remplirait le cylindre. De plus, le poids d'eau requise pour l'injection était si considérable, et la température à laquelle elle arrivait si élevée, qu'il crut avoir commis une erreur et se livra, pour le constater, à de nouvelles expériences, très délicates, dans lesquelles il découvrit qu'un kilogramme de vapeur peut échauffer à sa température six fois environ le même poids d'eau. Frappé de ce fait dont il ne comprenait pas la raison, il en parla au professeur Black qui lui expliqua sa découverte de la *chaleur latente* de la vapeur enseignée dès l'année précédente (1764).

Maintenant que Watt était en possession des faits, des

données numériques nécessaires, il pouvait se livrer à ses réflexions et s'abandonner complètement à toutes les suggestions de son génie inventif.

« Le second pas dans mes recherches, dit-il, n'était pas plus difficile : chercher la cause de la grande consommation de vapeur. Je la découvris bientôt : *La perte de combustible pour porter de quinze à vingt fois par minute l'en-semble métallique du cylindre, du piston et des parties adjacentes, de la température de l'eau froide d'injection à celle de la vapeur affluente ensuite.* »

Sa première idée fut que, afin de tirer le meilleur parti possible de la vapeur, il fallait l'empêcher de se condenser pendant l'admission pour réchauffer le métal du cylindre refroidi pendant le coup précédent. A cet effet, il fallait maintenir le métal à la même température que la vapeur affluente, ce qui était possible par le moyen d'une enveloppe de vapeur. D'autre part, la vapeur condensée au second coup et l'eau d'injection qui avait servi à la condenser devaient être portées à une température d'environ 40° C. ou même moins.

Les moyens de satisfaire en même temps à ces conditions qui semblent contradictoires, ne se présentèrent pas immédiatement à son esprit ; ce ne fut qu'en 1765 qu'il pensa que, si on ouvrait une communication entre un cylindre contenant de la vapeur et un autre réservoir vide d'air et de tout gaz, la vapeur se précipiterait dans le vase vide jusqu'à ce que l'équilibre se fut établi dans les deux vases ; que si le second était maintenu froid par une injection d'eau ou autrement, on finirait par condenser toute la vapeur du premier. Seulement la condensation achevée, il faudrait extraire l'eau formée ou introduite et l'air qui s'y serait mêlé.

Il imagina deux méthodes pour atteindre ce but. L'une consistait à adapter au second réservoir (que nous nomme-

rons condenseur pour la clarté) un tuyau qui plongerait à plus de 10^m,50 dans un puits et par où l'eau descendrait, et à extraire l'air au moyen d'une pompe. Ce moyen n'était utilisable que dans les cas où l'on disposait d'un exutoire à cette profondeur. La seconde méthode, utilisable en tous cas, consistait à employer une pompe ou des pompes qui extrairaient à la fois l'eau et l'air à chaque décharge du cylindre. C'est cette dernière que Watt préférait et qu'il a toujours employée dans la suite, comme l'ont fait du reste après lui presque tous les constructeurs.

Dans la machine de Newcomen, on maintenait le piston étanche au moyen d'une couche d'eau. La nouvelle méthode exigeait un nouveau moyen, car si une certaine quantité d'eau passait dans le cylindre avec ses parois maintenues chaudes, cette eau se mettrait à bouillir sur le métal et le vide serait détruit pendant la descente du piston. De là l'emploi de la cire, du suif, ou d'autres corps gras qui servaient en même temps de lubrifiants.

Watt pensa encore que, le dessus du cylindre étant ouvert, l'air qui y pénétrait pour agir sur le piston refroidissait la paroi métallique interne et qu'il en résultait la nécessité d'une condensation de vapeur au coup suivant pour la réchauffer de nouveau, en pure perte pour le travail. C'est pourquoi il recouvrit le cylindre d'un couvercle étanche percé d'un trou et muni d'une boîte à bourrage pour y passer la tige, et il admit la vapeur au-dessus du piston afin qu'elle y jouât le même rôle que l'atmosphère. C'était une nouveauté dans les machines à vapeur, qui resta à l'état rudimentaire jusqu'en 1774, année où Watt inventa l'assemblage conique de la tige au piston.

Restait encore une cause de perte de chaleur due toujours aux parois métalliques, le rayonnement extérieur. Pour la combattre ou l'atténuer, il se proposa d'employer

une enveloppe de bois ou d'autre substance mauvaise conductrice.

« Dès que l'idée du condenseur séparé fut venue à mon esprit, dit Watt, tous ces perfectionnements se succédèrent logiquement comme des corollaires, si bien qu'en deux jours l'invention était complétée et que je n'avais plus qu'à la réaliser dans un modèle et à expérimenter pour la vérifier pratiquement. » Le cylindre de son modèle avait un diamètre de 53 mill. et une course de piston de 25 centimètres. Le condenseur consistait en deux tuyaux de fer blanc, très minces, d'environ 4 millimètres de diamètre et 30 centimètres de longueur, qui communiquaient avec un petit corps de pompe à main pour faire le vide, le tout étant plongé dans une cuve à eau froide qu'on pouvait renouveler. C'était un condenseur par surface, comme on dit aujourd'hui. Dans cette machine, Watt n'avait pas employé l'enveloppe de vapeur qui lui servit, dans les machines industrielles, à maintenir les parois à la température de la vapeur en contact, ni l'enveloppe calorifuge pour diminuer le rayonnement. Les organes étaient manœuvrés à la main et non automatiquement. Et cependant l'expérience prouva que ce modèle était comparativement très économique.

De là la construction d'un second modèle plus grand, où le condenseur par surface était remplacé par un vase à injection dont la pompe à air était convenablement agrandie, et auquel étaient appliquées une enveloppe à vapeur et une enveloppe calorifuge. Watt avait calculé que, pour les grandes machines, le condenseur par surface aurait pris de trop gigantesques proportions ; de plus, la plupart des eaux auraient bientôt déposé à la surface des tuyaux une couche d'incrustation capable de diminuer rapidement le pouvoir conducteur.

Telle est l'histoire de la conception de la machine à

vapeur moderne, comme Watt lui-même nous l'a donnée. Notre thèse que c'est l'étude expérimentale et scientifique de l'action thermique des parois qui lui a donné naissance, est complètement démontrée, et nous pourrions ici terminer ce discours. Mais il convient de montrer que le chemin est long du projet à la chose, et il est instructif de suivre les péripéties de la lutte du génie contre mille difficultés toujours renaissantes jusqu'à ce que la conception première ait pris un corps et des formes définitives, en un mot, soit devenue pratique. L'idée était complète dès 1765 et Watt ne prit son brevet que quatre ans plus tard, ne donnant que des principes pour toute spécification, mais après s'être assuré par l'expérience des moyens de réalisation. Ceux-ci, du reste, devaient être multiples; Watt prévoyait que chaque constructeur y mettrait du sien, et c'est afin de conserver le bénéfice de son invention de principe qu'il n'en décrivit aucun. Aujourd'hui son brevet ne serait plus considéré comme valable par les tribunaux, parce que les principes par eux-mêmes ne sont pas brevetables. Voici ce brevet.

« Ma méthode, dit-il, pour diminuer la consommation de la machine à vapeur consiste dans les principes suivants : 1° Entourer le cylindre d'une enveloppe renfermant un corps chaud, et celle-ci d'un calorifuge ;

» 2° Condenser la vapeur dans un vase séparé maintenu froid par l'application d'eau ou autrement ;

» 3° Extraire l'air du condenseur ;

» 4° Je me propose en plusieurs cas, et notamment quand l'eau manquera, d'employer de la vapeur à haute pression et sans la condenser ;

» 5° Là où l'on demande à un axe un mouvement de rotation, on peut employer une machine rotative directe. (C'est ce que l'on a appelé roue à vapeur) ;

» 6° En quelques cas, je me propose d'appliquer un moyen de refroidir la vapeur mais sans la condenser ;

» 7° A l'eau pour étancher le piston, substituer des graisses. »

Aujourd'hui, le plus simple mécanicien réaliserait aisément et par divers moyens le programme compris dans ce brevet. Mais pour juger sainement du mérite de cette invention, il faudrait se transporter par la pensée au temps où elle naquit. Si Watt, seul, par le travail de ses propres mains, pouvait exécuter de petits modèles avec une grande perfection, pour construire de grandes machines industrielles, il lui ~~manquait~~ manquait bien des éléments : de bons matériaux, des ouvriers, des machines-outils, des aides possédant les notions voulues de mécanique et de physique pour dessiner, monter et conduire les machines. De longues années devaient se passer avant qu'il arrivât à une exécution industrielle. Bien que son puissant génie fût pourvu de toutes les connaissances théoriques et pratiques les plus approfondies de son temps, il lui fallait faire d'énormes dépenses d'argent et de travail avant d'avoir déterminé complètement les formes et les proportions de tous les détails et les moyens d'exécution. C'est que tout était à créer, les matériaux, les outils, les ouvriers.

Dès 1765, Watt avait pris à son service un nommé John Gardiner, le meilleur ouvrier mécanicien de Glasgow. Avec lui, il construisit son premier modèle de 9 cent. de diamètre et de 60 cent. de course. Malheureusement John Gardiner mourut bientôt après son achèvement.

L'argent manquait aussi à Watt ; il lui fallait subvenir aux besoins de sa famille. Bien que le Dr Black l'aidât de sa bourse comme de ses conseils, Watt s'endettait, se décourageait au point de dire que « *de toutes les choses de la vie, la plus folle était d'inventer.* » Réduit à la misère, il fut obligé d'accepter des emplois. Il avait des connaissances

très variées et très étendues, des talents multiples qu'il sut mettre à profit. Il savait réparer une cheminée qui fume, faire des levers topographiques, établir des routes et des canaux, mesurer une parallaxe, expérimenter chimiquement ; notamment il aidait Black dans ses études du kaolin et du fluor ; il avait inventé la vis micro-métrique donnant le millième de pouce. Il accepta la surveillance du creusement d'un canal pour la municipalité de Glasgow au traitement de 5,000 francs par an, sans cesser de travailler à divers ouvrages de rapport. Bref, à force de peine et au prix de sa santé, il parvint à se libérer de ses dettes, puis il reprit ses essais de machines à vapeur.

C'est dans ces moments de misère qu'il fit, par l'intermédiaire du professeur Black, la connaissance du Dr Roebuck qui avait érigé les grandes fonderies de Carron et qui consultait souvent et Smeaton et les professeurs de l'université de Glasgow. Roebuck, familier des machines, conçut de grandes espérances au sujet de l'invention de Watt ; il l'engagea à prendre un brevet et à poursuivre son invention, se chargeant lui-même de tous les frais à condition d'être assuré des deux tiers des bénéfices.

Pour se faire la main, Watt érigea plusieurs machines de Newcomen et fit de nouveaux modèles de la sienne jusqu'à arriver à une machine utilisable de 0^m,45 de diamètre, devenue historique sous le nom de machine de Kinneil, pour compte du Dr Roebuck. Mais ni sa construction ni son fonctionnement ne donnèrent à Watt la satisfaction qu'il en attendait, parce que les moyens d'aléser le cylindre et d'étancher le piston lui manquaient. Toutefois on pouvait augurer avec certitude qu'avec une bonne exécution, le succès du fonctionnement serait assuré.

Par malheur, au cours de ces essais, l'année même où Watt obtenait son premier brevet (1769), Roebuck vint à faire faillite. Il avait négocié une association avec le

grand industriel de Birmingham, Mathieu Boulton, et ainsi Watt fut mis lui-même en relations avec ce dernier.

Boulton avait une grande fabrique d'argenterie, d'objets d'ornement en métal. Artiste, homme de science et de progrès, expérimentateur, chercheur, chimiste, mécanicien, possédant le génie des affaires, sociable au point que son hospitalité et sa société étaient recherchées par les grands et les rois, comme par les savants; occupant un millier d'ouvriers d'élite, veillant à ce que ses produits fussent les premiers du monde tant par le choix des matériaux que par l'excellence de la main-d'œuvre, ne voulant jamais se laisser dépasser par un concurrent, visant à assurer la bonne réputation de ses produits autant qu'à réaliser des bénéfices. Il avait agrandi ses ateliers en 1762 en faisant un établissement nouveau à Soho près de Birmingham, où il utilisait un coup d'eau. Mais l'eau manquant parfois, il voulait y remédier en faisant fonctionner les roues hydrauliques, avec la même eau relevée au moyen de machines de Newcomen suivant la coutume de Smeaton. Il s'occupait donc aussi de la machine à vapeur. Il correspondait même avec l'illustre Franklin sur ce sujet.

Quand ces deux hommes, Watt et Boulton, se rencontrèrent, ils surent s'apprécier et estimèrent que l'association de leurs talents divers les conduirait à la réputation et à la fortune. Avec ses excellents ouvriers, Boulton ne doutait pas de la réussite de l'invention de Watt sans se cacher qu'il y faudrait beaucoup de temps, raison pour laquelle il demanda tout d'abord la prolongation du brevet de Watt jusqu'en 1799 qu'il obtint grâce à son activité et à ses hautes relations.

Dès ce moment, l'histoire de la machine à vapeur se confond avec celle des travaux de la Maison *Watt* et

Boulton. Boulton, seul, avait le soin des affaires pour lesquelles Watt n'avait aucune aptitude ; ce dernier avait la haute main sur les projets, la construction, l'exécution et l'installation des machines.

Les machines de Newcomen étaient maintenant reconnues insuffisantes pour les besoins des exploitations ; de toutes parts les commandes affluèrent à Soho. Mais qu'on n'imagine pas que c'était la fortune ; maintes fois les deux associés se crurent près de la ruine. Leur énergie les en sauva. A un moment même ils gagnaient plus sur la presse à copier les lettres, que Watt avait inventée, que sur le reste. Car si les associés prirent cinq brevets pour divers perfectionnements de la machine à vapeur et notamment pour la machine rotative, Watt se livrait à son démon de l'invention sur d'autres sujets. On lui doit les cylindres à sécher le drap, le marteau à vapeur pour forges, le compteur totalisateur, le manomètre à mercure, le niveau à tube de verre, l'indicateur de pression, le foyer fumivore, etc., le pantographe, conduisant à la machine à copier d'après gabarit. Il découvrait la composition de l'eau, comme Arago l'a prouvé, malgré les revendications en faveur de Cavendish et de Lavoisier. Enfin l'on dit même qu'il est le premier auteur du système décimal des poids et mesures.

En ce qui concerne la machine à vapeur, tous les détails sont de lui et virent le jour avant l'an 1800 : l'application du volant et de la manivelle à la machine à rotation, le régulateur à force centrifuge, le parallélogramme, la crosshead ou traverse, l'emploi de la détente, du double cylindre, etc.

« Par les perfectionnements spécifiés dans les brevets de 1782 à 1785, dit Thurston, la machine de Watt avait acquis sa forme définitive, et le grand inventeur n'y fit depuis lors que des améliorations secondaires de formes et de propor-

tions. Ainsi pratiquement complétée, elle présentait presque tous les traits essentiels de la machine à vapeur moderne ; et les idées caractéristiques les plus récemment entrées dans la pratique — emploi du double cylindre ou d'une distribution avec détente, condensation par surface, — avaient toutes été proposées et même, dans une certaine mesure, appliquées. Entre les mains de James Watt, la machine à vapeur avait acquis toute son extension ; les progrès ultérieurs sont beaucoup plus lents, ils consistent surtout en améliorations de détail et sont à peine des développements réels des idées fondamentales... On doit aux contemporains de Watt quelques inventions qui ont leur importance parce qu'elles furent le germe de progrès ultérieurs. Mais presque toutes étaient en avance sur leur temps ; et, de toutes les inventions heureuses et capitales qui, pendant bien des années, marquèrent dans l'histoire de la machine à vapeur, il n'en est presque pas une qui ne soit sortie du cerveau fertile de James Watt. »

Toutefois nous devons reconnaître aujourd'hui qu'il est une exception à faire pour la machine Compound et la machine à cylindres multiples avec détente par cascades.

Certes, Watt avait inventé l'emploi de la détente, idée fondamentale, et, aussi, celui de deux cylindres conjugués agissant sur le même arbre. Mais Hornblower avait proposé une nouveauté qui n'était pas la simple addition ou la combinaison des deux inventions de Watt. Il s'y trouvait un nouvel élément : des deux cylindres, l'un, le petit, seul venait périodiquement en communication avec la chaudière ; l'autre, le grand, seul, avec le condenseur. La vapeur admise dans le petit cylindre à un premier coup de piston, passait dans le grand en se détendant au deuxième coup ; et du grand dans le condenseur au troisième coup. Watt fit à Hornblower un procès en contrefaçon, prétendant qu'il était breveté tant pour l'emploi de

la détente que pour la duplication des cylindres. Les tribunaux lui donnèrent raison, mais non l'avenir. Aujourd'hui, et depuis quelques années seulement, depuis surtout que Hirn a introduit sa méthode d'essai des machines, l'étude expérimentale de l'action thermique des parois métalliques a fait reconnaître que leur intervention est toute autre suivant que la détente s'opère dans un seul cylindre en communication alternativement avec la chaudière chaude et avec le condenseur froid, ou dans deux cylindres, un petit et un grand, le petit n'étant jamais en communication avec le condenseur, ni le grand avec la chaudière. Mais le moment n'est pas venu encore d'aborder cette question qui ne fut élucidée que longtemps après que Watt avait imaginé avoir à jamais banni, par son invention, l'action malfaisante des parois.

C'est un point que nous examinerons dans notre prochaine étude.

Résumant sa pensée sur l'œuvre de Watt, Thurston, le savant historien de la machine à vapeur, s'exprime en ces termes : « Que nous considérons Watt comme l'inventeur du type de la machine à vapeur du XIX^e siècle, ou comme le savant chercheur des principes physiques qui servent de base à la théorie de cette machine, ou enfin comme le créateur et le promoteur du plus puissant instrument aujourd'hui connu par lequel les grandes sources de forces naturelles sont transformées, adaptées et appliquées au service et aux besoins de l'homme, son immense supériorité est au-dessus de toute discussion. Son caractère d'homme n'était pas moins admirable que son habileté d'ingénieur. »

Et Smiles, qui venait de visiter la chambre de travail et les reliques de Watt, religieusement conservées, disait :

« Quoique l'illustre travailleur, avec tous ses chagrins et ses soucis, dorme aujourd'hui du sommeil éternel, et que ces objets qu'il a façonnés soient près de disparaître comme lui, l'esprit de son œuvre, la pensée qu'il a matérialisée dans ses inventions, lui survit encore et continuera d'exercer, jusqu'à la fin des siècles, une influence profonde sur les destinées de ses descendants. »

Il peut paraître certain que les découvertes d'un Newton sont d'un ordre plus élevé que celles de Watt. Mais on peut affirmer à coup sûr que l'influence de ces dernières sur la richesse publique, sur le progrès de l'état social, l'élévation de l'être humain, la mise en œuvre et à profit de toutes les capacités, de toutes les intelligences par l'empire donné à l'homme sur les forces naturelles, est de beaucoup plus grande. Ni les destructions des conquérants, ni les efforts des fondateurs d'empires, ni les révolutions politiques, n'ont jamais changé la face du monde comme le firent les expériences de Watt sur ses petits modèles dans son modeste laboratoire. Là est la source de ces immenses richesses qui se chiffrent aujourd'hui par milliards, comme autrefois par milliers, et qui ont été arrachées à la nature par le travail des machines à vapeur depuis un siècle qu'elles sont appliquées à toutes les productions industrielles.
