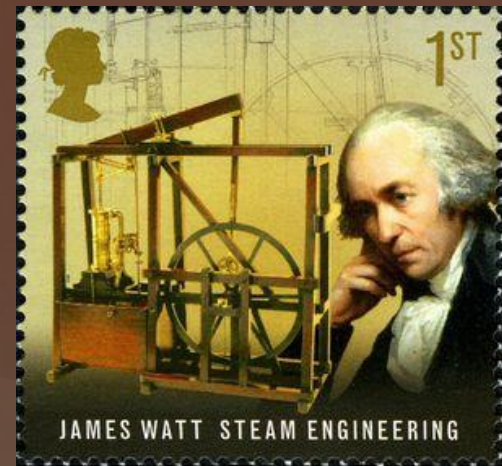


La machine de Watt installée à l'usine de Fumel.



# La machine à vapeur

*« De toute les choses de cette vie, il n'y en a pas de plus folle que de faire des inventions. »*

**J.Watt**, *Lettre à son ami Joseph Black.*  
In « Histoire de la machine à vapeur » de R.H. Thurston.



Wikipédia

Machine de Héron ou « éolipyle »

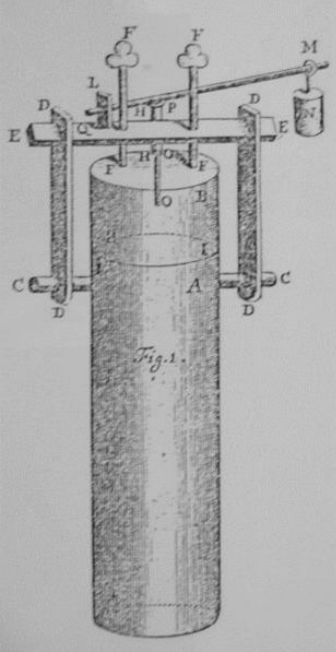


Wikipédia

Appareil de Salomon de Caus (1615).  
La vapeur formée par l'eau chauffée dans la boule de cuivre exerce une pression sur l'eau qui se peut monter dans un tube plongée jusqu'au fond. Elle jaillit à une hauteur « qui n'a d'autres limites que le désir du constructeur ».

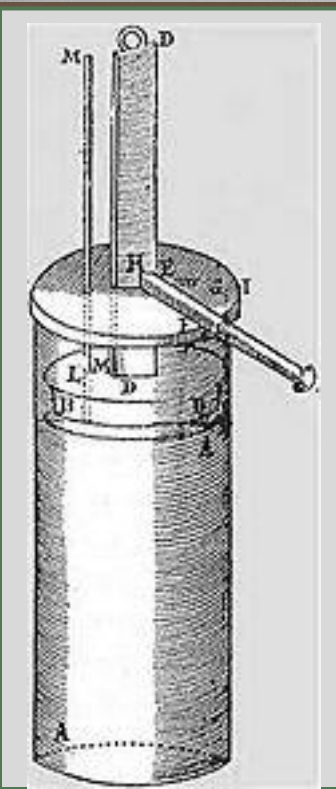
# Filiation technique I

Cestibius, Héron d'Alexandrie, Salomon de Caus, Porta, Branca.



Machine autoclave  
(Papin)

R.-H. Thurston, *Histoire de la machine à vapeur.*



Cylindre-piston  
(Papin)

R.-H. Thurston, *Histoire de la machine à vapeur.*

R.-H. Thurston, *Histoire de la machine à vapeur.*

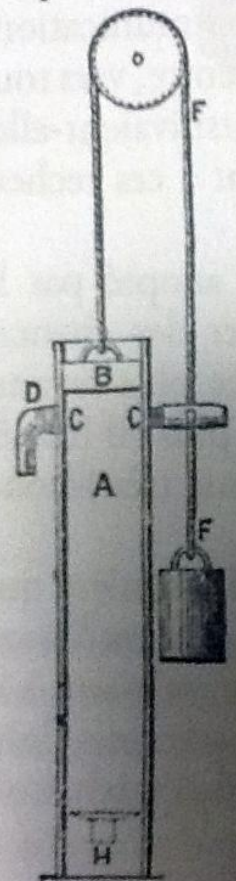


Fig. 11. —  
Machine de  
Huyghens, 1680

Machine à  
explosion  
Avec cylindre-  
piston

# Filiation technique II

Une machine à feu ou à vapeur va utiliser un mélange d'air chauffé pour produire un mouvement.

La machine à vapeur se distingue de la machine à feu, car elle va exploiter les propriétés du mélange contenu dans la chambre au-delà d'un simple réchauffement.

Si Carnot réalisa une étude théorique d'une machine idéale, ce fut Watt qui réalisa la prouesse technique de construire cette machine.

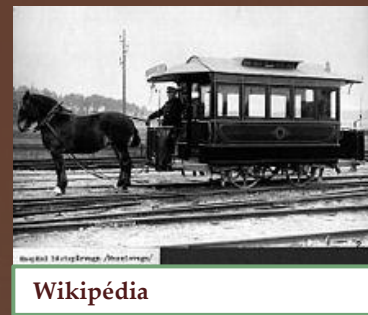
On pourra remarquer que Watt remarqua en 1763 un point central de la théorie : la chaleur latente de vaporisation qui fut découverte par Black l'année précédente sans qu'il ne le sache, mais qu'il exploita par l'invention du condenseur.

# L'ère des machines à feu et à vapeur.



Avant la révolution industrielle un **cheval valait six hommes**.

Par exemple, en **1879**, les 38 lignes d'omnibus de **Paris** requéraient l'entretien de 16 500 **chevaux**.



L'unité de puissance en cheval-vapeur exprime « une équivalence entre la puissance fournie par un cheval tirant une charge et celle fournie par une machine de propulsion à vapeur. »

VALEURS DES PRINCIPALES UNITÉS DE MESURE EMPLOYÉES DANS CET OUVRAGE			
<i>Mesures de longueur</i>			
ANGLAISES			
1 foot (pied), (divisé en 12 pouces) . . . . .		mètres	0 <sup>m</sup> ,304,794.
1 inch (pouce). . . . .		centimètres	2 <sup>c</sup> ,54.
1 yard (3 pieds). . . . .		mètres	0 <sup>m</sup> ,91438.
1 statute mile (1760 yards) usité pour les mesures terrestres. . . . .		mètres	1609 <sup>m</sup> ,315.
1 Marine or geographical Mile (de 60 au degré, usité sur mer). . . . .		mètres	1851 <sup>m</sup> ,852.
<i>Mesures de superficie</i>			
ANGLAISES			
1 square foot (pied carré) . . . . .		mètres carrés	0 <sup>m</sup> ,0929.
1 square mile (mille carré) . . . . .		kilom. carrés	2 <sup>k</sup> ,580.
1 acre (1840 yards carrés) . . . . .		mètres carrés	4047.
<i>Mesures de capacité</i>			
ANGLAISES			
1 cubic foot (pied cube) . . . . .		litres	28 <sup>l</sup> ,315.
1 gallon impérial . . . . .		litres	4 <sup>l</sup> ,543.
1 bushel (boisseau, 8 gallons) . . . . .		litres	36 <sup>l</sup> ,348.
1 quarter (8 bushels). . . . .		hectolitres	2 <sup>h</sup> ,908.

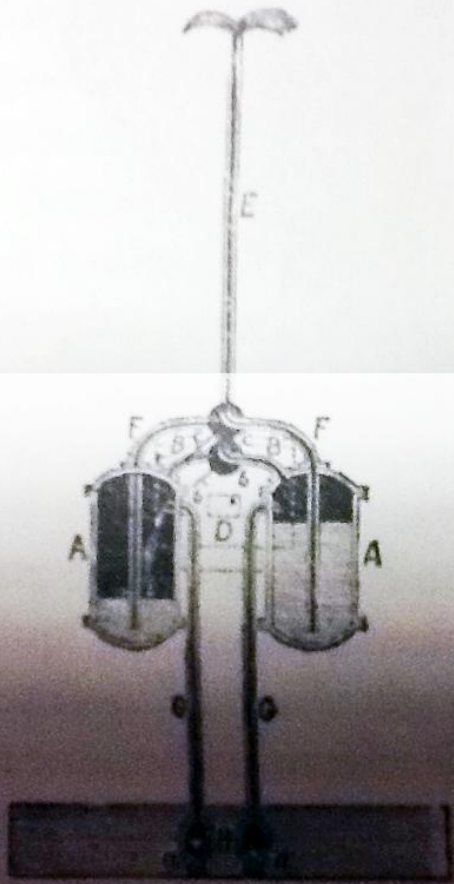
R.-H. Thurston, *Histoire de la machine à vapeur*.

Quelques unités internationales et propres au système métrique britannique.

*« Un vase d'eau raréfiée par l'action du feu  
élevait quarante vases d'eau froide. »*

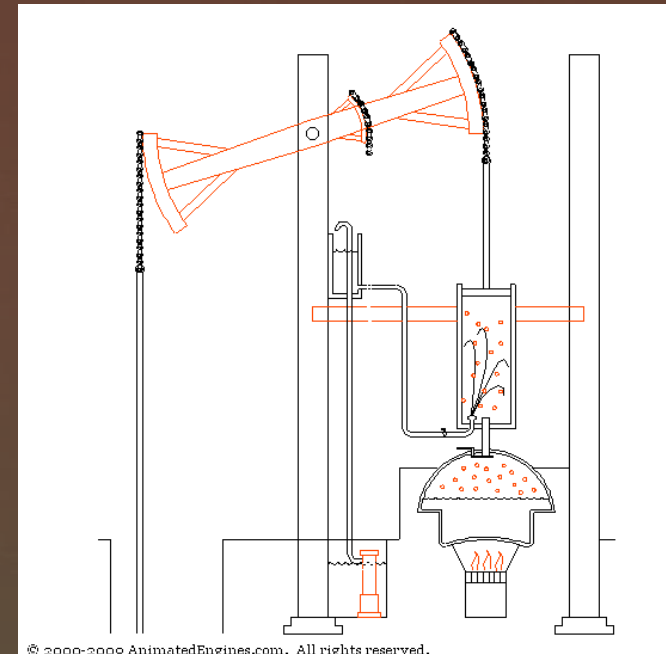
**Thurston**

Pour l'historien des sciences Thurston, ce fut la  
première machine à vapeur fonctionnelle



8. — Machine de Worcester, 1665

La machine de Worcester (1665).



« C'est la première machine à vapeur à piston fonctionnelle » (Thurston)

## Puissance 6 CV





James Watt (1736-1819), ingénieur Ecossais, contribua au développement de la machine à vapeur.  
À gauche, le bureau de Watt à l'université de Glasgow.

# I- Une aventure technique et humaine

*Watt sera au sens figuré dans le bateau de Neurath jusqu'au début des années 1780.*



« James Watt est né le 19 janvier 1736 à Greenock, petite ville d'Écosse. Son père, charpentier de marine, était également propriétaire de bateau, entrepreneur et tenait un poste dans la magistrature municipale. Sa mère, Agnes Muirhead, venait d'une famille distinguée et elle était instruite. Tous les deux étaient des presbytériens et des covenantaires convaincus. James Watt était préférentiellement instruit dans la demeure de ses parents par le soin de sa mère. Il faisait montre d'une grande dextérité manuelle et d'une aptitude pour les mathématiques, tandis que les langues grecques et latines lui déplaisaient.

1736 : naissance à Greenock, en Écosse le 19 janvier 1736.

1750 : une centaine de machines de Thomas Newcomen fonctionnent en Angleterre.

1752 : le charbon de Montrelais (450 km<sup>2</sup>) près d'Ancenis, qu'il vendra à la fonderie royale d'Indret, pour John Wilkinson, jugé aussi bon que le meilleur charbon de Newcastle.

1754 : apprend la fabrication d'instruments mathématiques à Londres avant de retourner à Glasgow.

1763 : en tant que fabricant d'instruments à l'Université de Glasgow, répare une machine à vapeur de Newcomen, ce qui l'amène à réfléchir aux manières d'améliorer la machine.

1765 : en se promenant dans le « *Parcours de Golf* » du parc Glasgow Green, l'idée lui vient d'une chambre de condensation séparée pour la machine à vapeur.

1765 : son ami et professeur à l'Université de Glasgow, le chimiste Joseph Black (1728 – 1799), découvreur de la chaleur latente de la vapeur d'eau investit dans l'entreprise.

1765 : Joseph Black lui présente le savant et industriel John Roebuck, qui propose de l'aider financièrement et industriellement en échange d'une participation des deux-tiers du capital. John Roebuck avait percé une mine de charbon se heurtant à des ruissellements d'eau, qui génèrent un niveau d'humidité tel que la machine brevetée par Thomas Newcomen en 1712 ne suffisait pas pour évacuer l'eau et s'intéressait pour cette raison à la machine de James Watt

1767 : arpenteur du canal de Forth et Clyde.

1768 : il accepte la proposition de John Roebuck, qui se retrouve cependant en difficulté financière dès 1772.

1769 : fait breveter la chambre de condensation séparée pour la machine à vapeur.

1774 : crée une entreprise à Soho, près de Birmingham, pour produire sa machine à vapeur améliorée.

1775 : Matthew Boulton rachète les 66 % du capital détenus par John Roebuck, alors en difficulté financière dans une manufacture de sulfate de fer créée pour approvisionner en blanchisseurs les fabricants de vêtements en lin.

1781 : fait breveter l'engrenage soleil et planète inventé par William Murdoch pour convertir un mouvement vertical en mouvement de rotation.

1782 : invente la machine à double action.

1784 : fait breveter une locomotive à vapeur.

1788 : adapte le régulateur à boules pour utilisation sur la machine à vapeur.

1800 : environ 500 machines à vapeur de James Watt en circulation

1819 : meurt le 25 août à Heathfield près de Birmingham. »

# Biographie

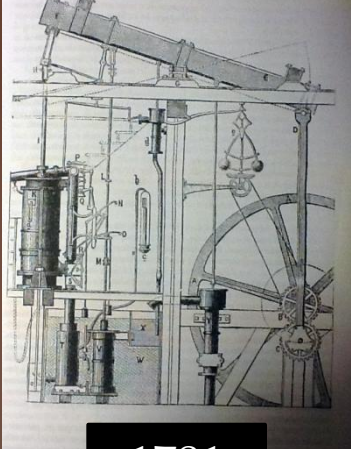
L'invention engage le créateur dans de multiples défis : par rapport à soi, à la société, à ses créanciers en particulier, ses clients dans le cas d'un objet commercial.

S'il doit être perfectionniste, capable d'un sacrifice de sa qualité de vie comme on dirait maintenant, il est certain qu'il lui faut un bon entourage.

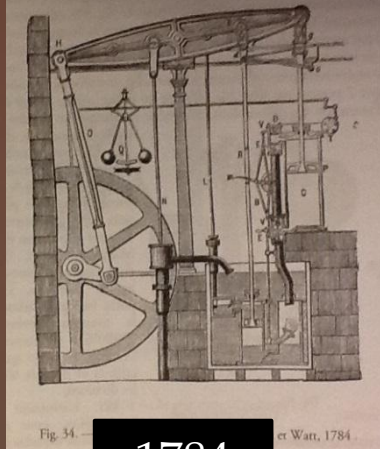
Au dire d'Arago, Watt trouva l'équilibre affectif propice à la création lorsqu'il épousa sa seconde femme qui était « la digne compagne de l'ingénieur ». Nous étions alors en 1775, celui qu'on désigne comme l'inventeur de la machine à vapeur avait alors 39 ans. Il sortait à peine la tête de l'eau, mais les dix années qui suivirent, alors qu'il trouvait également un équilibre financier furent pour lui les plus fertiles de sa carrière au niveau de la créativité.

Nous allons présenter la machine de Watt telle qu'on peut visiter à Fumel qui précisons fonctionne toujours. Toutefois si ce modèle fut l'aboutissement des machines à vapeur, on peut noter que Watt en construisit plusieurs modèles (1763, 1765, 1774, 1781, 1784) avant d'aboutir à cette machine industrielle révolutionnaire.

Nous montrerons ce parcours dans un premier temps avant d'exposer celle installée sur le site industriel de Fumel dans le Lot-et-Garonne. Nous avons visité la machine le 17 Juillet 2014.



1781

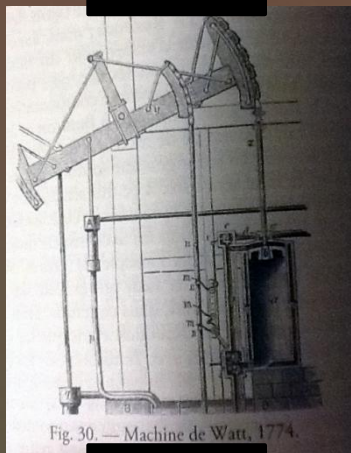


1784

1784 : Machine à double effet de Watt et Boulton.

**Puissance 19 cv**

1781 : Machine perfectionnée



1774

1774 : Machine de Kinneil

« La machine à feu que j'ai inventée fonctionne maintenant, et donne des résultats bien plus satisfaisants que toutes celles qu'o ait encore faites; j'espère que cette invention me rapportera de très grand bénéfices. »

Lettre de Watt au Dr Roebuck de Novembre 1774.

**Puissance 10-12 cv**

1767 : Prototype à échelle réelle

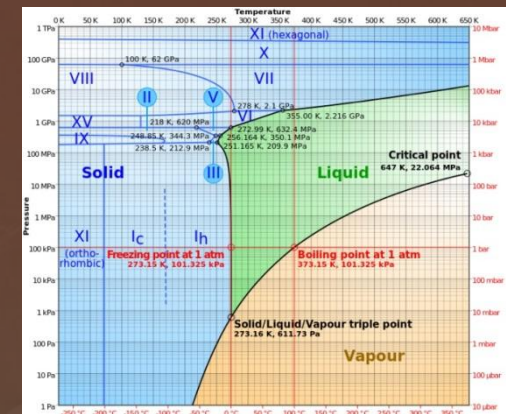
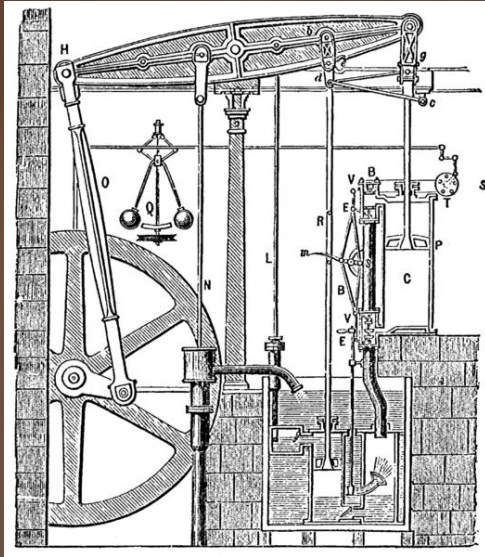
1765 : Prototype

1763 : Maquette d'étude

« Les » machines de Watt

1763

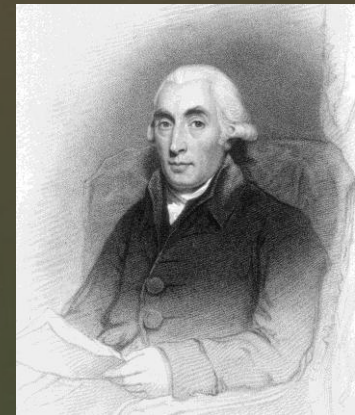




## Définition : La chaleur latente de vaporisation (1762)

*Aux températures de changements de phases : de fusion ou d'ébullition, la chaleur fournie à un corps ne produit pas d'élévation de température, elle a pour effet la conversion d'une phase à l'autre.*

Voici les propos de Watt rapportés dans la biographie que Carnegie lui consacra, sur la découverte de Black <sup>4</sup> : « Being struck with this remarkable fact (effect of latent heat), and not understanding the reason of it, I mentioned it to my friend, Dr. Black, who then explained to me his doctrine of latent heat, which he had taught some time before this period (1764); but having myself been occupied with the pursuits of business, if I had heard of it I had not attended to it, when I thus stumbled upon one of the material facts by which that beautiful theory is supported » <sup>4</sup>.

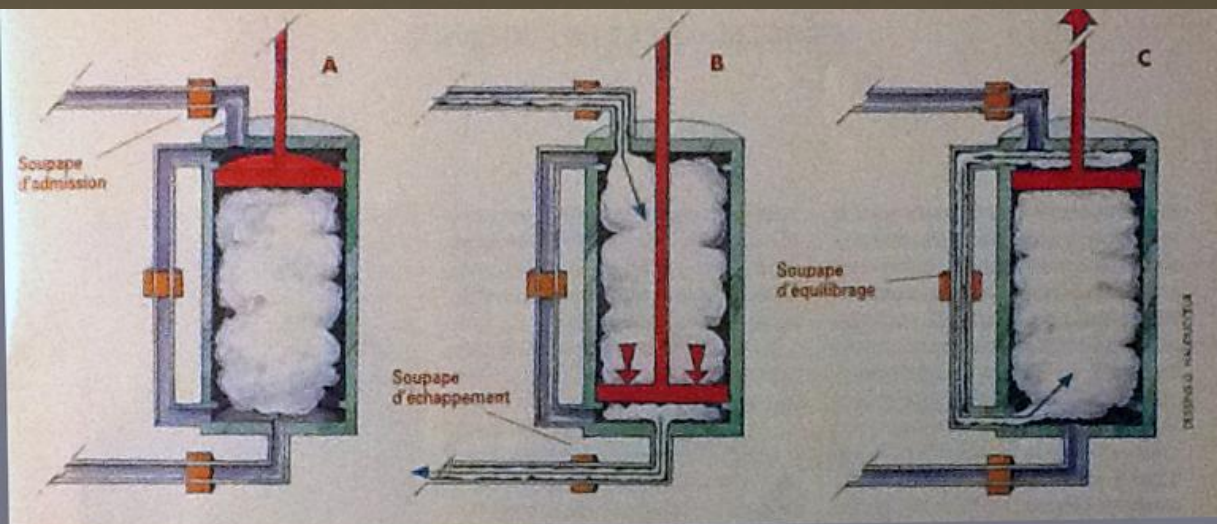




Le cylindre à vapeur mesure 5 ou 6 pouces de diamètre, et deux pieds de course.

# Maquette de 1763

Le cylindre à vapeur mesure 7 ou 8 pouces de diamètres.



Modèle réduit  
de 1767-1768

Le brevet de 1769 couvre trois principes pour réduire la dépense de vapeur et de combustible.

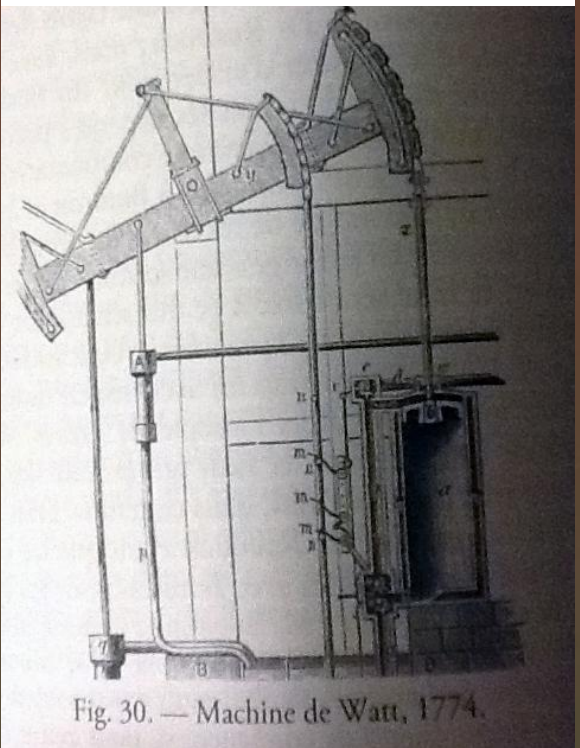
1. Un récipient constitué par un cylindre qui va servir au fonctionnement de la machine.
2. Un récipient distinct du cylindre où sera condensée la vapeur.
3. Mécanisme d'échappement de la vapeur non condensée du condenseur et du cylindre par une pompe.

Le modèle possédait un cylindre de 18 pouces de diamètre et 5 pieds de course.

Mais la différence entre le théorique et la réalité reste considérable.

« Cette machine fut installée à Kinneil et terminée en septembre 1769. Ni la construction ni le fonctionnement n'en étaient entièrement satisfaisants. Le condenseur était à surface, composé de tuyaux à peu près semblables à ceux employés dans son premier petit modèle, et n'était pas suffisamment étanche.. Le piston à vapeur aussi avait des fuites importantes[...]

R.-H. Thurston, *Histoire de la machine à vapeur.*

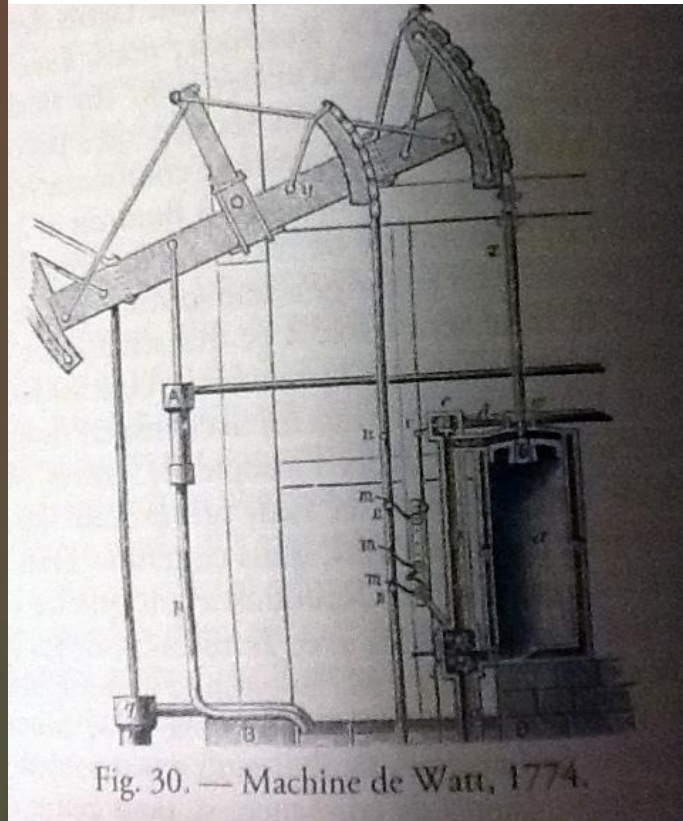


# La machine de Watt de 1769-1774

Watt **double la puissance de ses machines** en déposant un brevet sur un couvercle pour la face supérieure du cylindre qui l'empêche de se refroidir par le contact de l'air extérieur.

Thurston écrit que c'est donc le premier pas vers le double-effet.

R.-H. Thurston, *Histoire de la machine à vapeur.*



# La machine de Watt de 1774



Watt ne rencontre pas Boulton pour lui vendre la machine clef en main.

D'autre part Boulton était intéressé par cette technologie naissante. Il avait ainsi rencontré en 1758 Benjamin Franklin, « *en 1766 ils échangeaient sur la possibilité d'appliquer la vapeur à divers usages.* »

Thurston

C'est en 1767 que Watt visita pour la première fois les ateliers de Boulton à Soho près de Birmingham. Il fut ébloui par la rigueur des ateliers, le soutien administratif, mais Boulton était alors absent.

Si en 1767 le Dr Roebuck devient l'associé de Watt, ce fut davantage pour supporter les dettes de Watt et soutenir le développement que dans un projet d'exploitation industriel et commercial.

En 1769 le fonctionnement correct de la machine les amène néanmoins à déposer un brevet.

Entre 1769 et 1772 les machines de Kinneil n'avaient pas été utilisées, et se trouvaient en plein air, dégradant les parties en fer. En 1774 après s'être attelé à leur bon fonctionnement, il annonce au Dr Roebuck qu'elles fonctionnent correctement.

*« La machine à feu que j'ai inventée fonctionne correctement, et donne des résultats bien plus satisfaisants que toutes celles qu'on ait encore faites; j'espère que cette invention me rapportera de grands bénéfices. »*

**Lettre au Dr Roebuck, Nov. 1774**

C'est également en 1774 qu'il se rend à Soho pour y fixer domicile. Boulton reprenant les parts de Roebuck, une nouvelle société fut créée dans laquelle Boulton et Watt étaient légalement associés. Boulton se chargeant des affaires générales et Watt des plans, de la construction et de l'installation des machines.

# Vers la Boulton & Watt Corp.



« Watt éprouvait de grandes difficultés pour trouver des ouvriers capables d'exécuter les différentes pièces avec précision, de les ajuster avec soin, et de les montrer convenablement une fois terminées. »

**Thurston**

Cette renouvelé son brevet qui est sur le point d'expirer, il est prolongé de 24 ans.

Le brevet de 1781 couvre cinq principes dont

1. « La machine à vapeur à double-effet ou couplée.
2. L'adaptation à la tige du piston d'un d'une crémaillère engrenant avec un secteur denté, porté par l'extrémité du balancier, ce qui permet d'aboutir à un mouvement parfaitement rectiligne de la tige
3. Mécanisme d'échappement de la vapeur non condensée du condenseur et du cylindre par une pompe.

Machine de Watt  
perfectionnée  
de 1781

R.-H. Thurston, *Histoire de la machine à vapeur.*

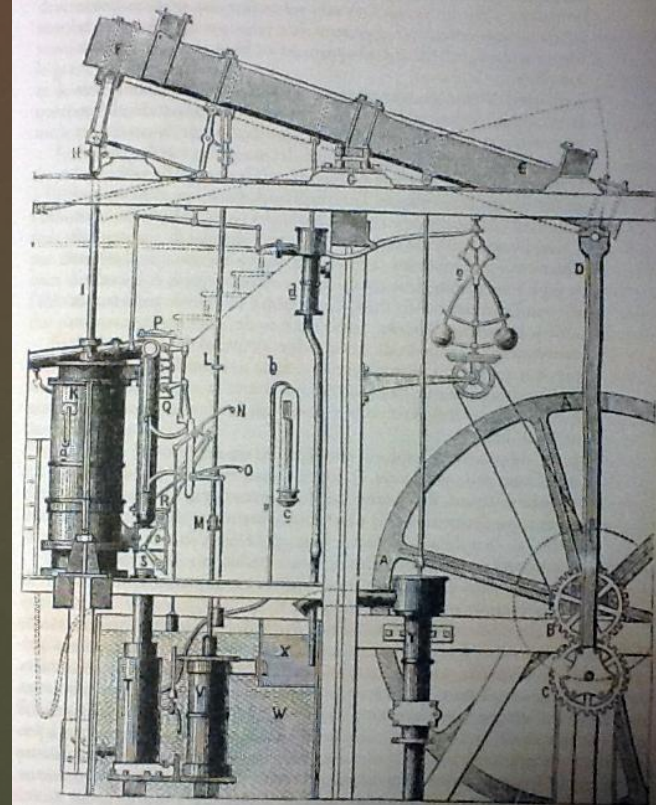


Planche III - Machine de Watt - 1781

La machine a double effet.

R.-H. Thurston, *Histoire de la machine à vapeur.*

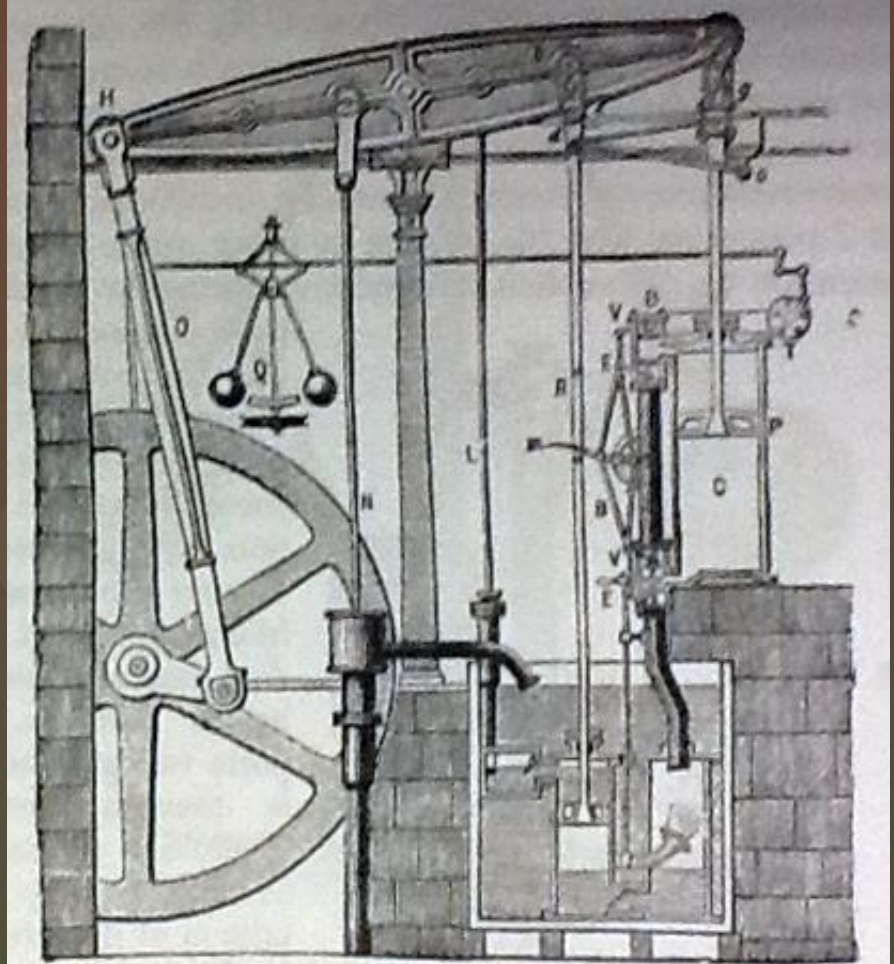
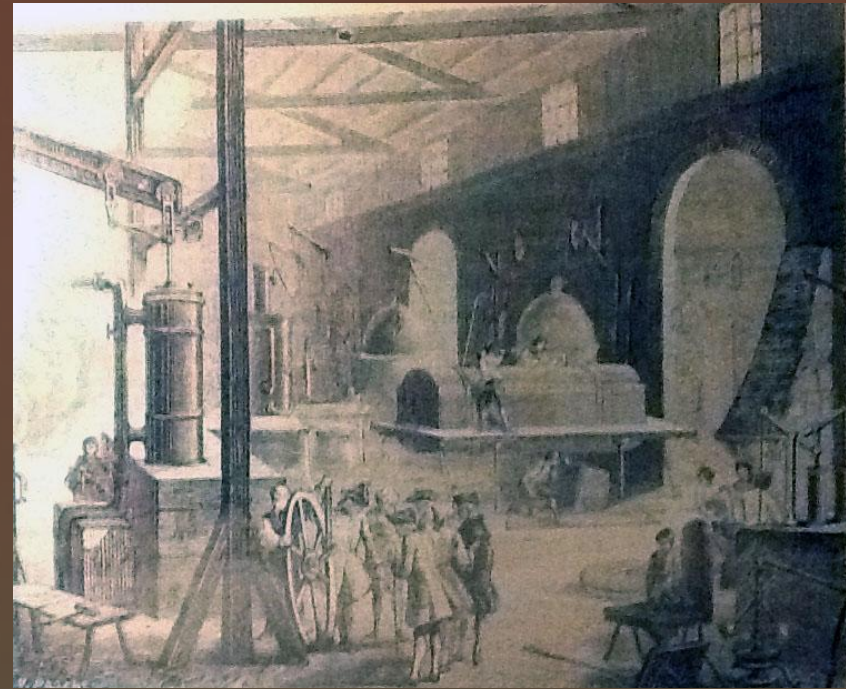


Fig. 34. — Machine a double effet de Boulton et Watt, 1784 .

Machine de Watt  
perfectionnée  
de 1784





Installations de Soho près de Birmingham.

Cadre d'utilisation de la machine de Watt:

L'utilisation des machines de Watt ne se limite pas à tirer l'eau des mines.

Il utilise le principe pour faire fonctionner un marteau à vapeur, un moulin à vapeur, une machine à fourreau...

## Début XIX<sup>e</sup>

« *La machine a acquis toute sa puissance.* »

**R.-H. Thurston**, *Histoire de la machine à vapeur.*



### III- La machine de Watt à Fumel (Lot-et-Garonne)





# Le site

Spécificité : la machine n' a pas pour but de soutirer de l'eau, mais d'approvisionner en air chaud sous pression les hauts fourneaux.

La machine fut installée en 1850, c'est alors un produit industriel qui fonctionne en « routine ».



## Site de Fumel Lot-et-Garonne.

- 1840 : Lancement de la fabrication
- 1849-1850 : Arrivée et installation à Fumel.
- 1854 : Mise en service
- 1954 : Arrêt de la machine de Watt

Les caractéristiques :

- ✓ machine à double effet,
- ✓ à simple compression,
- ✓ à condensation.

L'usine sidérurgique. le coke alimentant le site provenait des mines d'extraction de Decazeville et Carmaux via le transport fluvial pour la première (par le Lot).

La machine devait servir de machine soufflante pour alimenter le foyer des hauts-fourneaux et les maintenir au point de combustion.

Elle est visible sur deux étages, un sous sol contient un bac de rétention de l'eau puisée dans le Lot.

# La machine de Watt de Fumel

**Puissance 19 cv**





Condenseur



Cylindre



Arrivée d'air de la  
chaudière

Chaudière

Réservoir  
d'eau

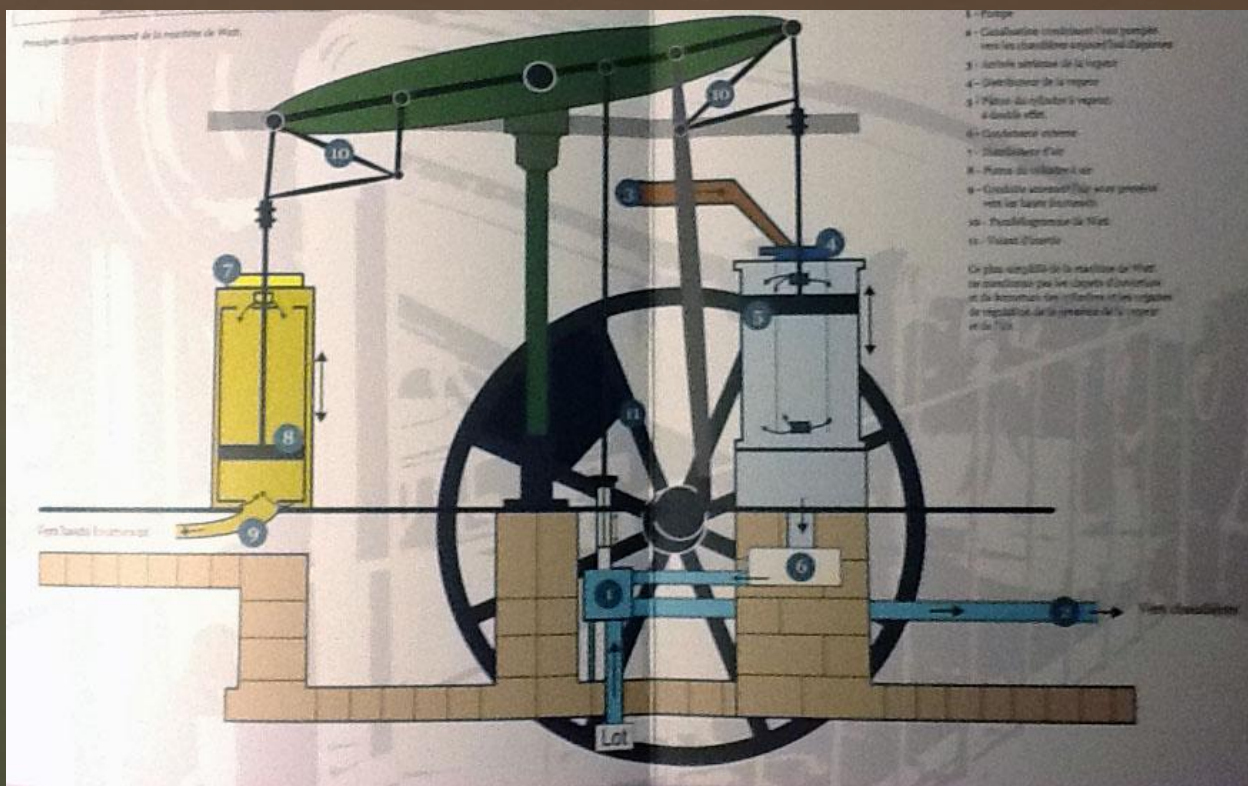
Le lot



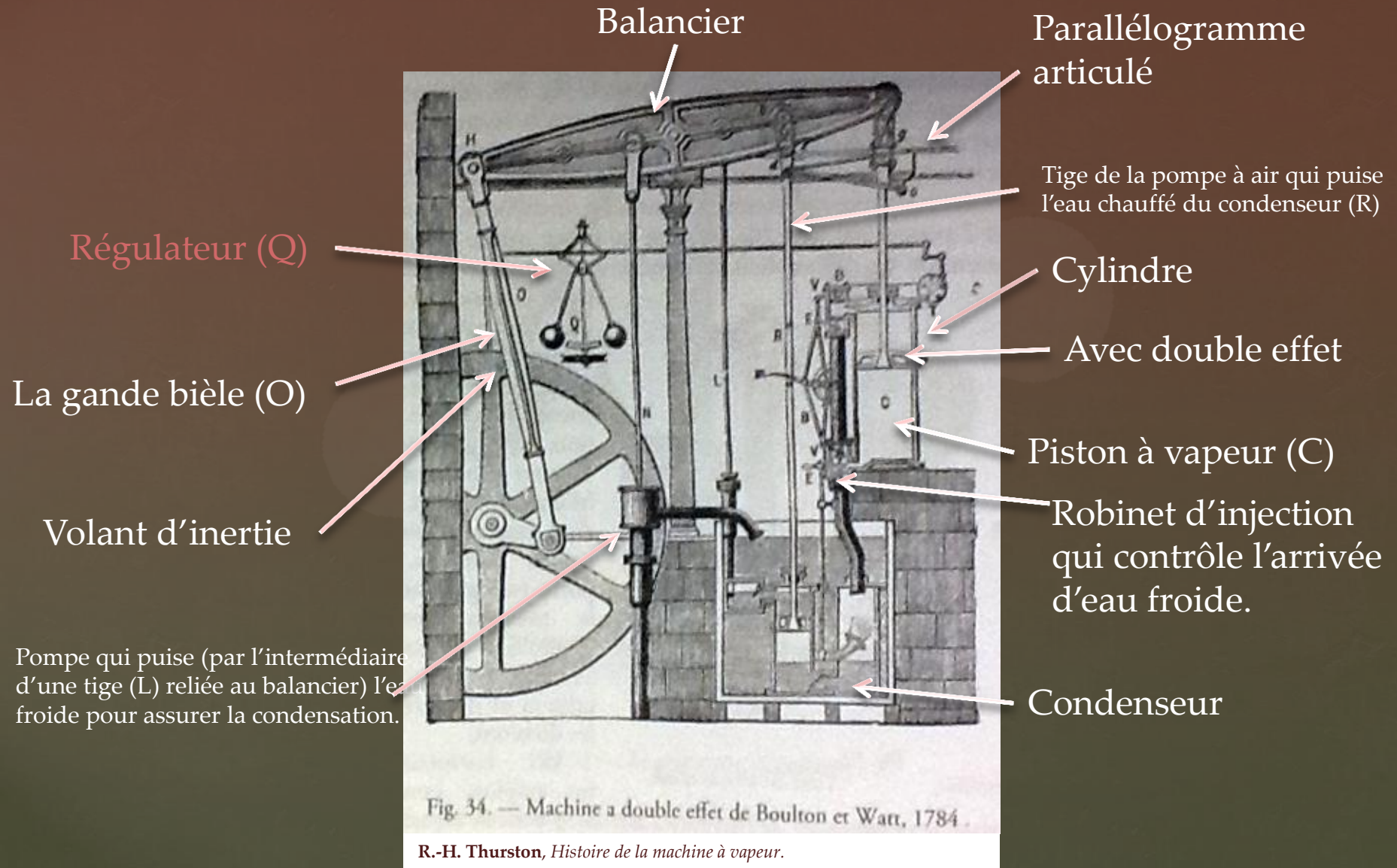
Balanciers



Production d'air  
alimentant les hauts  
fourneaux.



On peut retrouver des éléments déjà présentés dans le développement technique



# La machine de Watt est celle de 1784



# III- Aspect Fonctionnel

# La machine idéale de Carnot

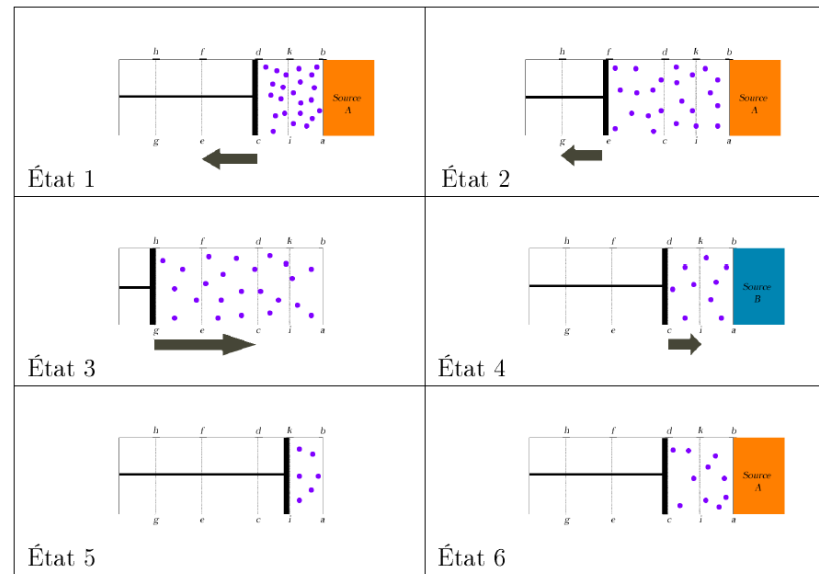
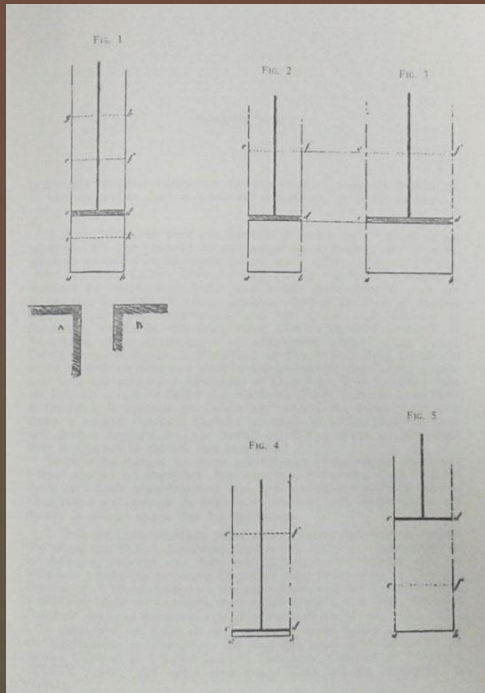
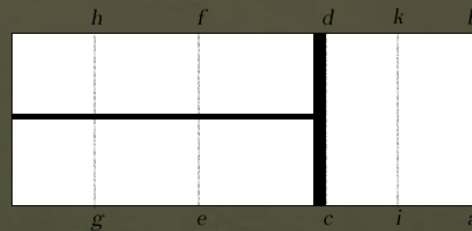
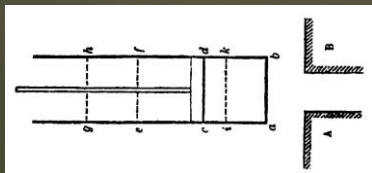


FIGURE 1.10 – Les cinq temps du cycle de la machine thermique idéale de Carnot (État 6 = État 1).

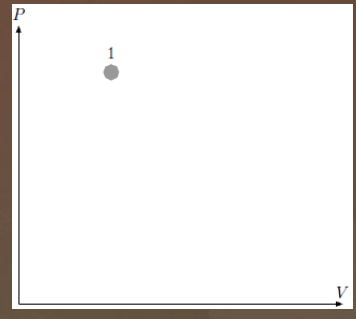
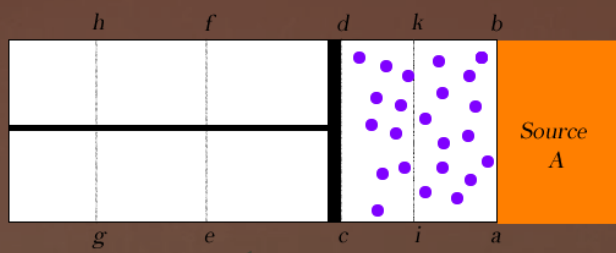


Machine idéale

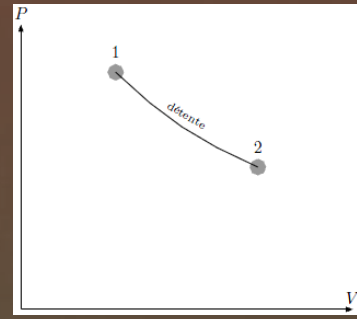
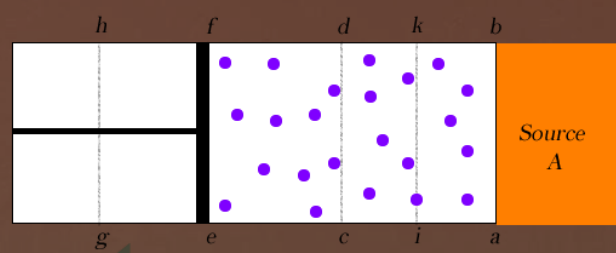
Diagramme de Clapeyron

Diagramme de Clapeyron

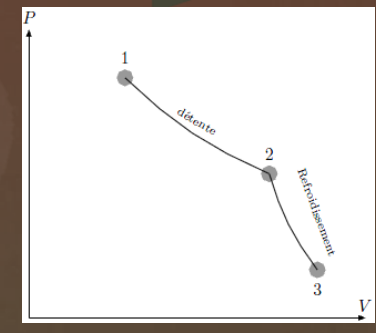
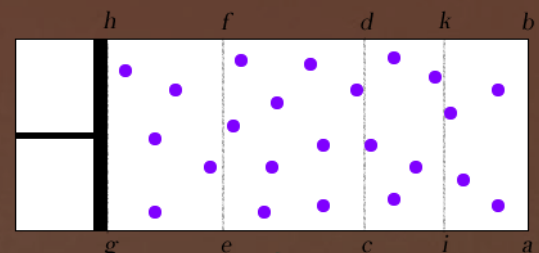
Temps 1



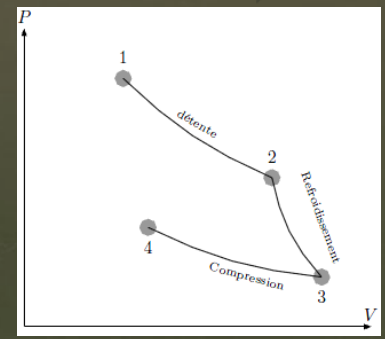
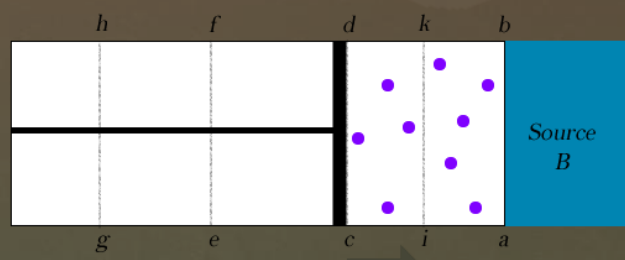
Temps 2



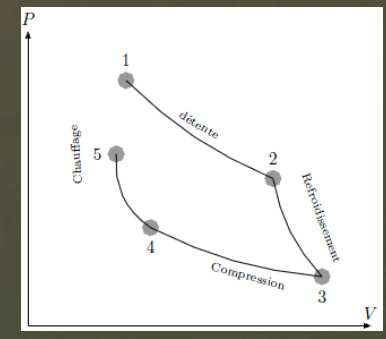
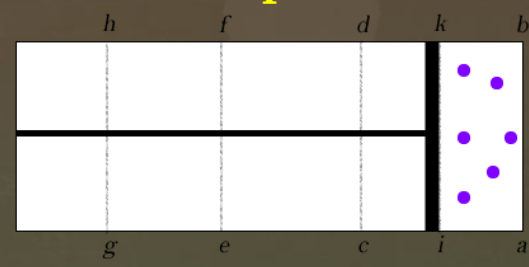
Temps 3



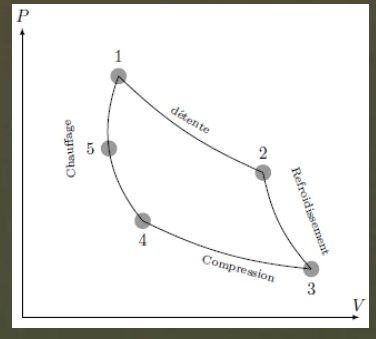
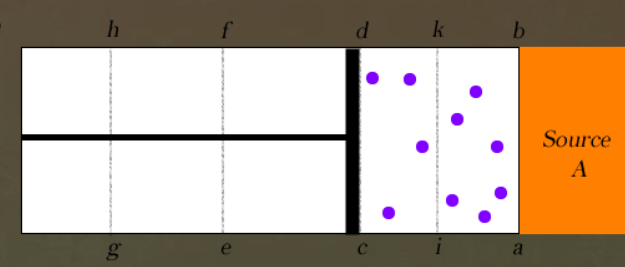
Temps 4



Temps 5



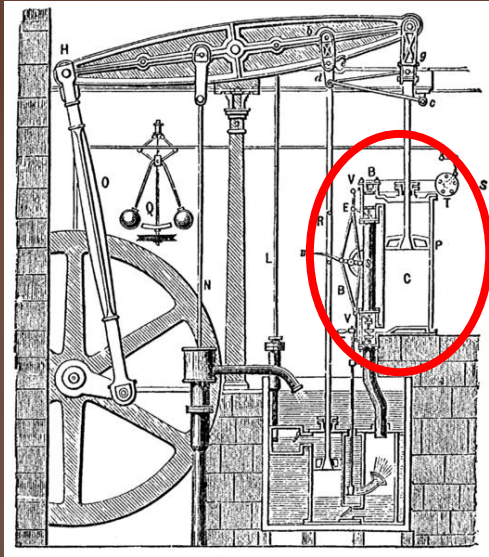
Temps 6



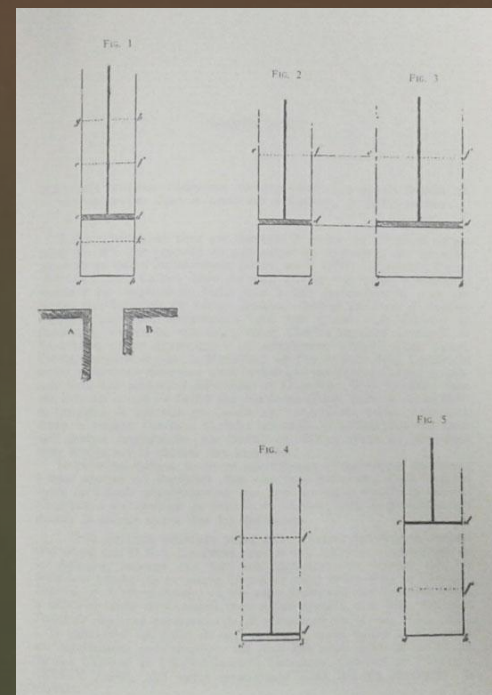


Pour en faire une véritable machine industrielle, pour optimiser la puissance produite, il faut faire des ajustements, procéder à des inventions secondaires..

## IV- Aspects qualitatifs



# Le cylindre





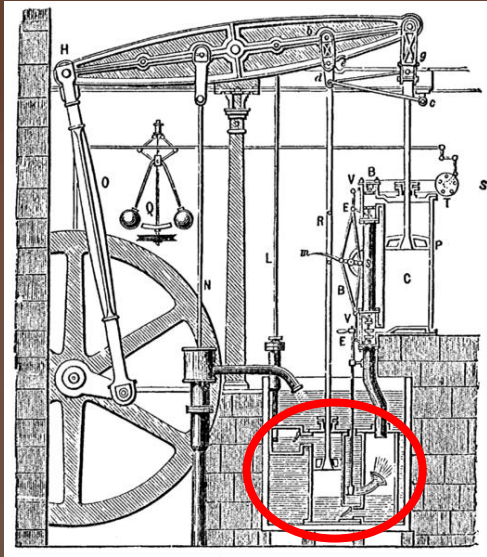
Vue du deuxième étage de la machine en fonctionnement.

# Le balancier



Points de graissage.

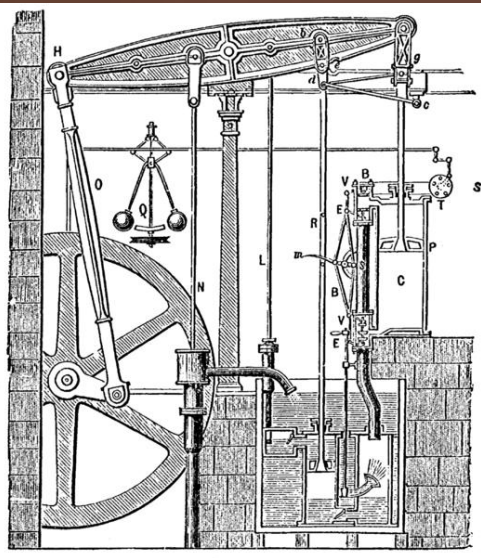




Une invention pratique pour une  
découverte théorique.



# Le condenseur



La vapeur est introduite sur les capacités de manière alternative. Cet effet « compound » sera repris par Wool en 1803 avec l'introduction d'une machine à double cylindre.

# Le piston à double effet

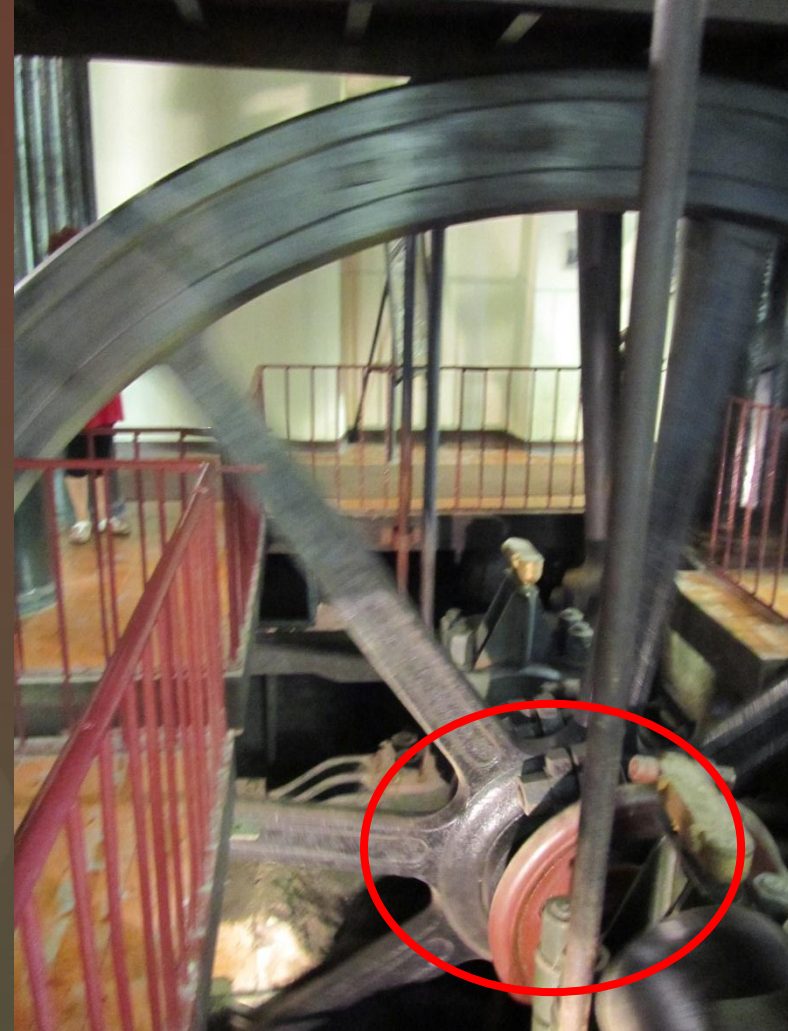
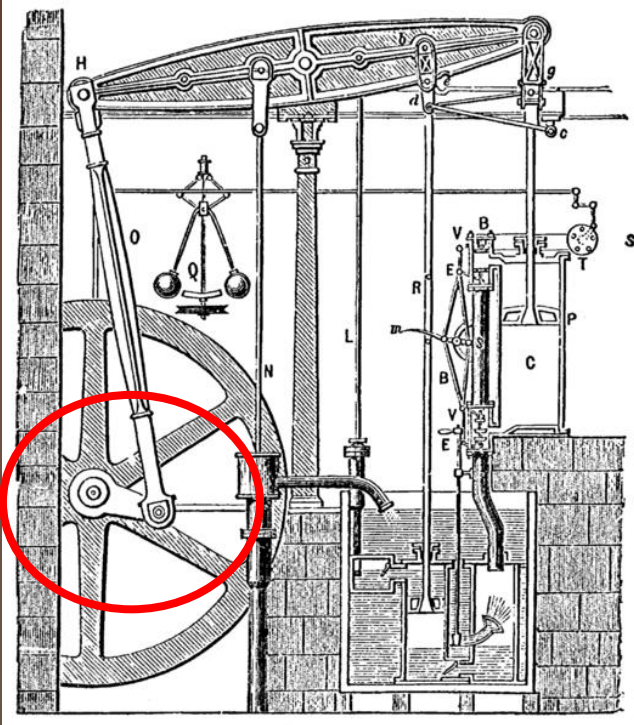


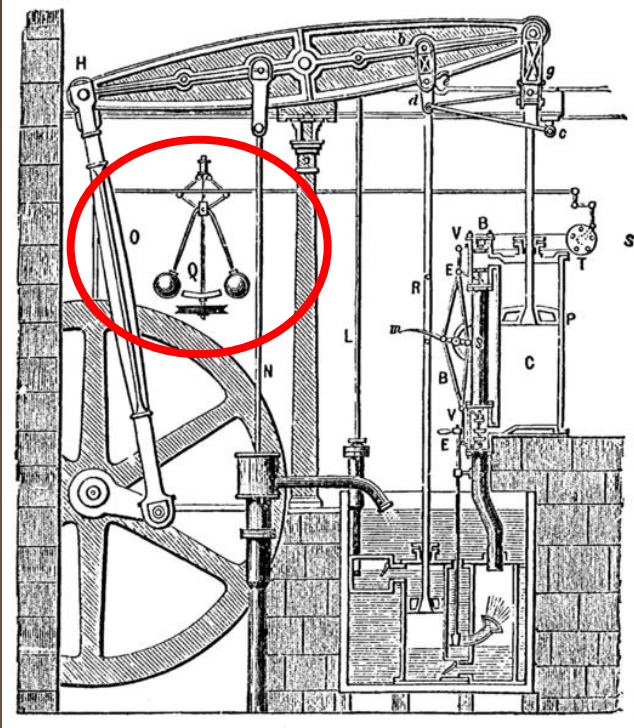
Photo © AMMAC du Funélor

Il était relié à l'arbre qui transmettait le mouvement de rotation.

Le volant permettait de contrôler la vitesse de rotation en le rendant régulier.

# Le volant d'inertie





Deux modèles de régulateurs à boules.

Watt reprend un système utilisé pour réguler les quantités de vapeur accédant à la machine.

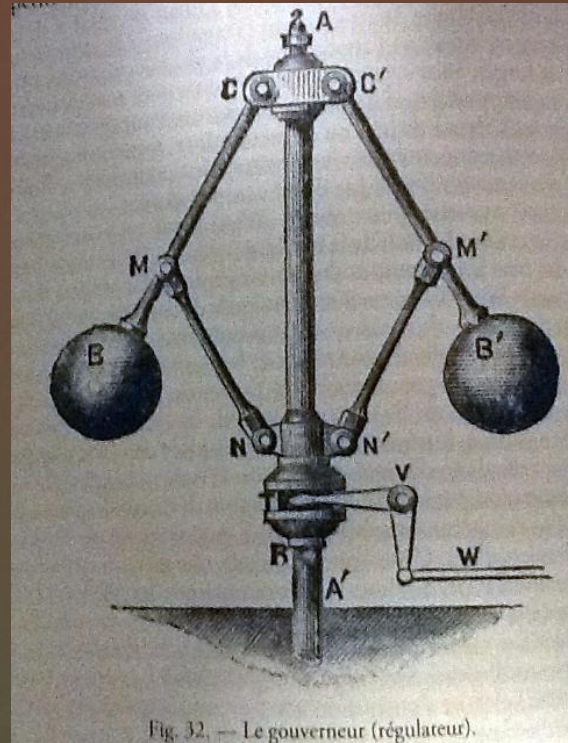
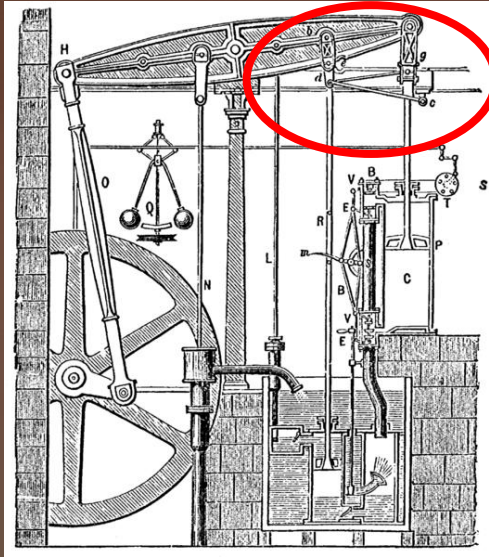


Fig. 32. — Le gouverneur (régulateur).

Le régulateur à boules était initialement présent sur la machine de Fumel.

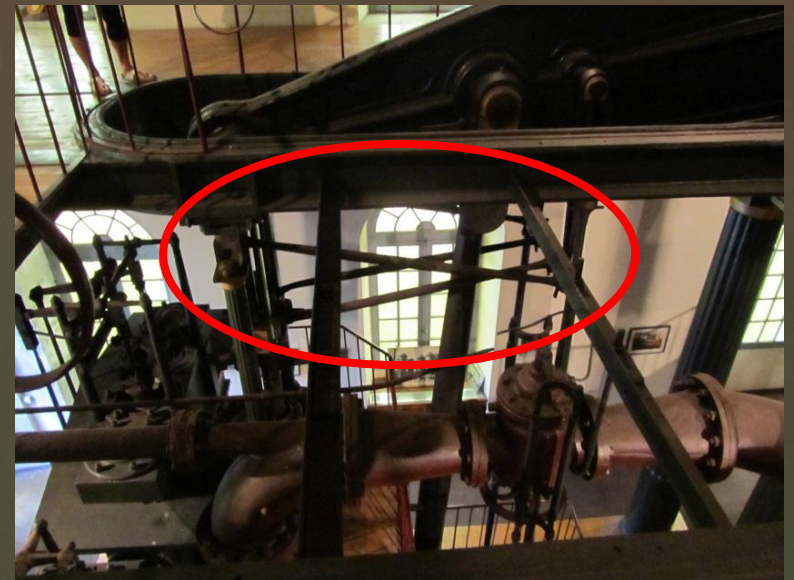


L'objectif était que le piston du cylindre de la vapeur permette un déplacement vertical, alors que le mouvement du balancier était circulaire.



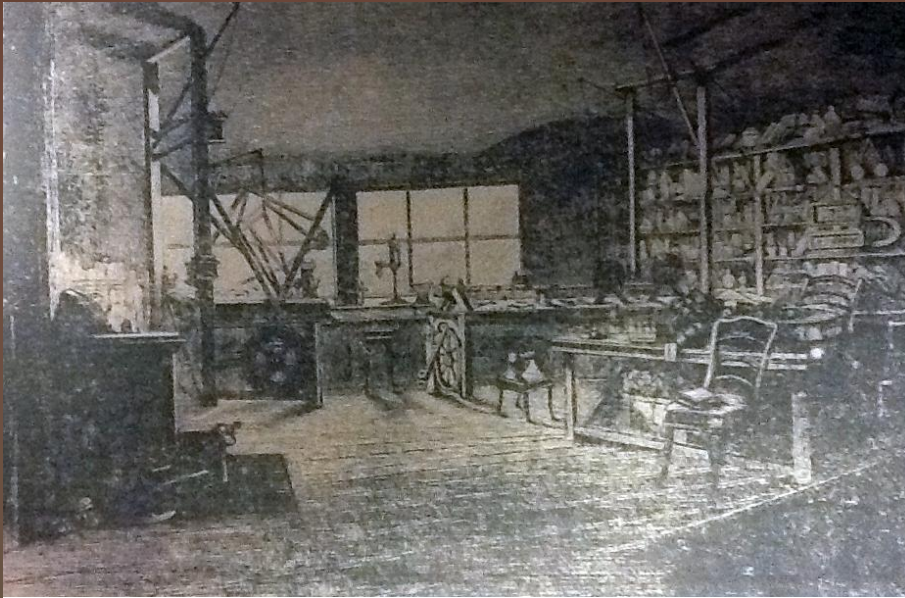
Cet invention fut nécessitée par l'utilisation de la machine à double effet.

Alors que dans la machine à simple effet la continuité du mouvement s'imposait par un effet mécanique, avec l'injection de vapeur dans les deux chambres le piston devenait moteur à la compression et la détente, le parallélogramme joue le rôle d'un pantographe.



# Le parallélogramme articulé





R.-H. Thurston, *Histoire de la machine à vapeur.*

NOT TO PERPETUATE A NAME  
WHICH MUST ENDURE WHILE THE PEACEFUL ARTS FLOURISH  
BUT TO SHEW  
THAT MANKIND HAVE LEARNT TO HONOUR THOSE  
WHO BEST DESERVE THEIR GRATITUDE  
THE KING  
HIS MINISTERS, AND MANY OF THE NOBLES  
AND COMMONERS OF THE REALM  
RAISED THIS MONUMENT TO  
JAMES WATT  
WHO DIRECTING THE FORCE OF AN ORIGINAL GENIUS  
EARLY EXERCISED IN PHILOSOPHIC RESEARCH  
TO THE IMPROVEMENT OF  
THE STEAM-ENGINE  
ENLARGED THE RESOURCES OF HIS COUNTRY  
INCREASED THE POWER OF MAN  
AND ROSE TO AN EMINENT PLACE  
AMONG THE MOST ILLUSTRIOUS FOLLOWERS OF SCIENCE  
AND THE RBAL BENEFACTORS OF THE WORLD  
BORN AT GREENOCK MDCCXXXVI  
DIED AT HEATHFIELD IN STAFFORDSHIRE MDCCCXIX

R.-H. Thurston, *Histoire de la machine à vapeur.*

# Les dernières années de la vie de James Watt (1736-1819)



La machine à vapeur marque le début de l'ère des machines de puissance.

L'unité de la puissance est appelée le watt (W) en hommage à James Watt.



Exposition internationale d'électricité – Paris 1881

<http://seaus.free.fr/spip.php?article324>

En 1881 lors du congrès international des électriciens est fondé le premier système international d'unités de mesure et d'étalons. Dans une seconde réunion en 1884, en hommage à James Watt est attribué à l'unité de puissance le Watt, noté W.

$$1 \text{ cv} = 745,6998 \text{ W}$$

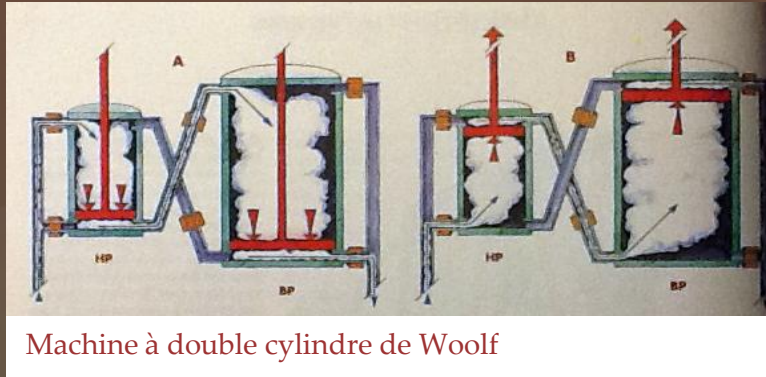
« Le *watt* (symbole *W*) est une unité dérivée du système international pour quantifier une puissance, un flux énergétique ou un flux thermique. Un watt est la puissance d'un système énergétique dans lequel une énergie de 1 joule est transférée uniformément pendant 1 seconde. »

Wikipédia

Si la contribution majeure de Watt à la machine à vapeur porte essentiellement sur son invention du condenseur, par ses inventions secondaires il en fit un véritable outil industriel.

Cependant la machine à vapeur continua à être améliorée après Watt, nous pouvons mentionner entre autres les apports de :

Woolf (1803)



Et Trevithick qui fut aussi l'artisan des premières locomotives.

Le XIX<sup>e</sup> allait marquer l'utilisation de la machine à vapeur dans les locomotives, elles allaient même s'en approprier le nom dans l'usage courant.

# Conclusion



*« En France, d'après la statistique dressée par le Ministère des Travaux Publics, 80 640 machines à vapeurs ont fonctionné pendant l'année 1893, sans compter celles de la marine militaire.*

*Ces 80 64 machines comprennent :*

- 10 751 locomotives,*
- 1 702 appareils propulseurs de bateaux,*
- 3 766 appareils auxiliaires.*

*Dans la même année, la statistique indique 91 752 générateurs de vapeur en service. »*

E.Sauvage