

2. Notions fondamentales

2.1 – Histoire de l'énergie

Daniel R. Rousse, ing., Ph.D.

Département de génie mécanique

Victor Aveline, M.ing.

Thomas Lamalle, M.Sc.A.

Question

- Quelle civilisation humaine a été la première à documenter la notion d'énergie?
 - A. La Grèce Antique
 - B. Les Mayas
 - C. L'Europe des Lumières
 - D. La Chine de la Dynastie Han
 - E. Aucune de ces réponses



ENR2020

Plan de la présentation

- Objectifs de la capsule
- Une brève histoire de l'énergie...
- Conclusion

NOTE : cette capsule n'est qu'un survol du sujet - on pourrait y consacrer plusieurs centaines de pages, et certainement un cours complet d'une quarantaine d'heures.

Si vous désirez l'explorer plus en profondeur, certains ouvrages de référence sont présentés.

Plan de la présentation

- ***Objectifs de la capsule***
- Une brève histoire de l'énergie...
- Conclusion

Introduction et objectifs

- Objectifs de cette présentation
 - Comprendre l'évolution du concept d'énergie à travers le temps.
 - Connaître quelques acteurs-clés de cette évolution.
 - Reconnaître que la science d'aujourd'hui n'est pas achevée, bien que le concept et les modèles qui en découlent suffisent à expliquer plusieurs phénomènes physiques.

Plan de la présentation

- Objectifs de la capsule
- ***Une brève histoire de l'énergie...***
- Conclusion

Une brève histoire de l'énergie

- Chocs pétroliers, guerres, accidents nucléaires, crise climatique, déforestation et désertification : l'actualité ne cesse de mettre en évidence le rôle crucial de l'énergie dans le devenir du monde.
- L'étude de l'Histoire est un puissant moyen d'explorer ce rôle en le replaçant dans la longue durée des sociétés.

Jean-Claude Debeir, Jean-Paul Déléage, Daniel Hémerly

Une histoire de l'énergie

592 pages

ISBN : 9782081293618

Une brève histoire de l'énergie

Les débuts...

La grande Ennéade d'Héliopolis : mythologie de l'Égypte ancienne

- Râ-Atoum - le dieu solaire créateur de l'univers
- Sekhmet - une déesse qui évoque la toute puissance des radiations solaires. Elle incarne l'œil flamboyant de l'astre solaire
- Tefnout (engendrée par Râ) - la **chaleur** et humidité, une incarnation de Sekhmet
- Shou (engendrée par Râ) - la **lumière** et l'air sec



Une brève histoire de l'énergie

En évolution...

- Un concept de l'antiquité : du bas latin *energia* qui vient lui-même du grec *enérgeia* qui signifie « force en action » en opposition à *dýnamis* signifiant « force en puissance »
- Aristote : représente la réalité effective, par opposition à la réalité possible

Une brève histoire de l'énergie

En évolution...

- L'apparition de la notion d'énergie est liée à sa loi la plus fondamentale: la conservation de l'énergie, initialement observée en mécanique
- « *Il se trouve par la raison et par l'expérience que c'est la **force vive absolue** $[mv^2]$ qui se conserve et nullement la **quantité de mouvement** $[mv]$. »*, Gottfried Wilhelm Leibniz, *Essai de dynamique* (1691).

NOTE : Prenez une pause pour réfléchir à cette implication fondamentale. Recherchez des références sur le sujet pour comprendre comment a évolué la pensée humaine pour aboutir au concept d'énergie. Consultez les archives pour voir comment Descartes et Leibniz se sont affrontés sur le sujet.

Une brève histoire de l'énergie

D'abord la mécanique...

- À ses débuts, la notion d'énergie est associée exclusivement à la **mécanique** et aux transformations énergétiques impliquant un **mouvement physique** d'objet;
- La mécanique était la branche de la physique la plus avancée au début du 18^{ème} siècle.

Une brève histoire de l'énergie

Puis la thermodynamique...

- En parallèle aux notions mécaniques, la caractérisation de l'énergie, au sens large, devient étroitement liée à la caractérisation de la **chaleur** et des transformations impliquant des changements d'état comme la **combustion**, et donc:
 - à la **chimie** et la découverte des éléments composants l'air
 - à la **thermodynamique**
- Pour comprendre l'histoire autour de la notion de l'énergie, il faut donc s'intéresser à l'histoire de la chimie.

Une brève histoire de l'énergie

La théorie du phlogistique

- Une théorie chimique développée par Johann Joachim Becher et Georg Ernst Stahl à la fin du 17ème siècle;
- Elle expliquait la **combustion** en postulant l'existence d'un
 - « élément-flamme », fluide nommé **phlogistique** (du grec *phlogistos* qui signifie inflammable), présent au sein des corps combustibles;
- Ce fluide phlogistique, ou phlogiston, était alors le constituant de la **chaleur**.

Une brève histoire de l'énergie

La théorie du phlogistique

- Dans cette théorie, la **perte de masse** lors d'une combustion est due au **départ du phlogistique**.
- La perte de masse est assimilée à de la chaleur.
- La matière « déphlogistifiée » ou « déphlogistiquée » est alors sous sa « vraie » forme.
- L'idée se rattache aux quatre éléments d'Empédocle (la terre, l'eau, l'air et le feu) censés constituer toute chose, selon la philosophie naturelle.

Une brève histoire de l'énergie

La théorie du phlogistique

DÉFENSE DE LA VOLATILITÉ DU PHLOGISTIQUE, OU LETTRE
De l'Autur des Digressions Académiques, à l'Autur du Journal de Médecine, en Réponse à sa Critique de la Dissertation sur le Phlogistique, &c.
par M. de M...
L'ÉDITION DE PARIS

Johann Joachim Becher (1635-1682)
Le phlogistique ou phlogiston est du feu et dans la matière de masse nulle ou négative et qui s'en échappe lors des combustions.

Bois
Riche en Phl. → Phl. évaporé + Cendres (Pauvre en Phl.)

Minéral (pauvre en Phl.) + Métal (riche en Phl.)
+ P P P → Feu (Phl.)

Joseph Priestley (1733-1804)
 $H_2 + \text{air} + \text{étincelle}$

John Waltaire (1781)

Georg Ernst Stahl (1659-1734)
Eudiomètre

DE L'EAU.
L'eau parfaitement pure est un liquide diaphane, sans couleur, sans odeur et sans saveur sensibles, regardé long-temps comme élémentaire, aujourd'hui regardé comme le résultat de l'union du gaz déphlogistique et du gaz inflammable (1).
On peut considérer l'eau, 1°. comme pure, et comme composée ou minérale; 2°. comme étant dans sa température naturelle, et comme étant plus froide ou plus chaude qu'elle ne l'est naturellement; 3°. comme pouvant être employée à l'intérieur et à l'extérieur.
1°. L'Eau considérée comme pure.
On regarde l'eau comme pure quand elle n'a point de goût, point de couleur, qu'elle ne contient aucune substance étrangère. Mais comme
(1) La chimie la plus moderne appelle les deux gaz, dont l'union forme, dit-on, l'eau, l'un gaz oxygène, l'autre gaz hydrogène. Note de l'Éditeur.

NOTE : Prenez une pause pour réfléchir à cette théorie. Quelles en sont les forces? Quelles en sont les faiblesses? Qu'apporte-t-elle de nouveau?

Une brève histoire de l'énergie



ENR2020

La théorie du calorique

Qui est le père de la théorie du calorique?

- A. Antoine Lavoisier
- B. Joseph Black
- C. Georg Ernst Stahl
- D. Johann Joachim Becher
- E. Aucune de ces réponses



NOTE IMPORTANTE: Si vous ne pouvez répondre à cette question, c'est que vous n'avez pas préparé le cours AVANT de visionner l'enregistrement de cette présentation ou d'y assister en direct.

Le cours fonctionne selon une formule participative.

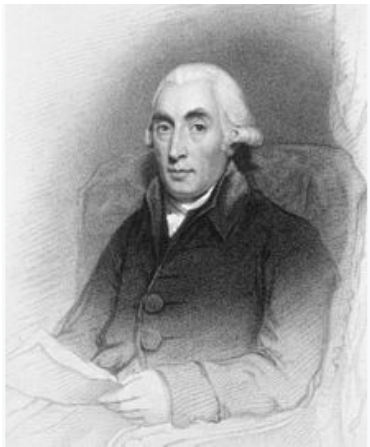
Il suppose donc que les étudiants ont consulté les notes de cours AVANT celui-ci.

Une brève histoire de l'énergie

La théorie du calorique

Proposée par Joseph Black, un chimiste écossais, durant la seconde moitié du 18^{ème} siècle.

« Un fluide invisible, indestructible et sans masse qui migre d'un corps chaud vers un corps plus froid »



Source : Wikipédia

Une brève histoire de l'énergie

La théorie du calorique

- Le fluide qui sert à expliquer la chaleur devient alors une substance matérielle **invariable**, ce qui s'approche de l'hypothèse fondamentale de la **conservation** de l'énergie;
- Joseph Black décrit également les notions de **chaleur latente** et **chaleur spécifique** qui sont employées aujourd'hui;
- Il a aussi découvert le magnésium et le dioxyde de carbone, qui fait les beaux jours tant des énergéticiens que des politiciens.

Une brève histoire de l'énergie

La théorie du calorique

Antoine Lavoisier, partisan de la théorie calorique, propose une définition :

*« Un fluide très subtil,
très élastique, qui environne de toutes parts la
planète que nous habitons, qui pénètre avec plus
ou moins de facilité les corps qui la composent,
et qui tend, lorsqu'il est libre, à se mettre en équilibre
dans tous ».*

Une brève histoire de l'énergie

La théorie du calorique

- Il appelle alors ce fluide : « fluide igné, matière du feu, de la chaleur et de la lumière »
- Il découvre l'élément **oxygène** et sa participation lors d'une **combustion**.
- La théorie du phlogistique s'effondre, au profit de celle du calorique.



Source : Wikipédia

Une brève histoire de l'énergie

Calorique vs phlogistique

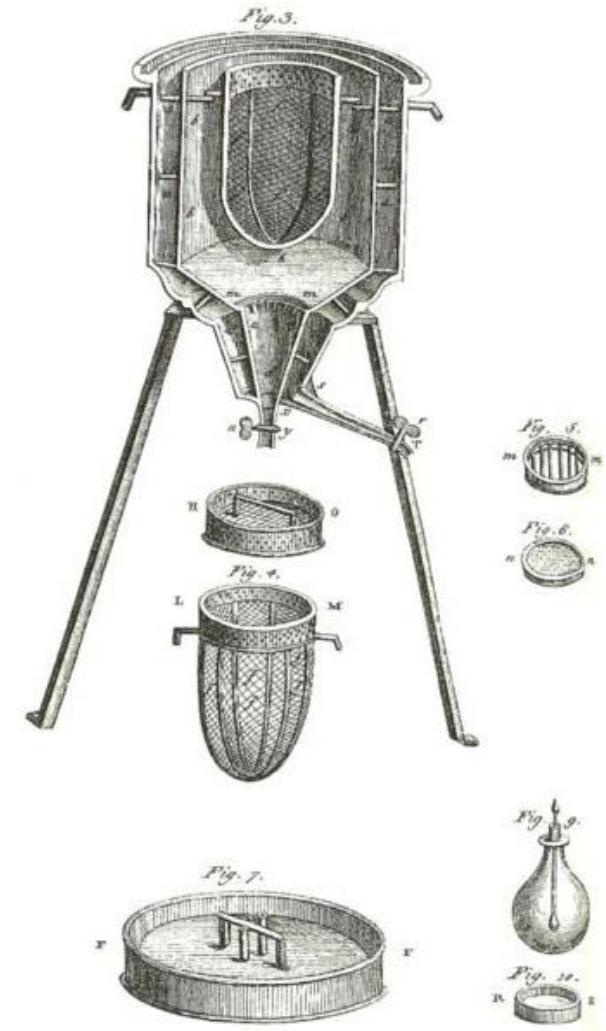
- Qu'est-ce qui nous garantit que l'un des modèles est meilleur que l'autre?



Une brève histoire de l'énergie

De premiers instruments de mesure

- Le premier calorimètre à glace utilisé par Antoine Lavoisier et Pierre-Simon Laplace au cours de l'hiver 1782-83, pour déterminer la « chaleur latente » de diverses chimiques : ces expériences réactions marquent l'avènement de la thermochimie.



Source : Wikipédia

Une brève histoire de l'énergie

Le célèbre énoncé

À partir d'expériences chimiques, Lavoisier aurait énoncé, en 1777, devant l'Académie des sciences la loi qui porte aujourd'hui son nom :

« Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme. »

Est-ce vrai? Est-ce vraiment ce qu'il a affirmé en 1777?

Une brève histoire de l'énergie

La citation exacte

La citation exacte est en fait :

« [...] car rien ne se crée, ni dans les opérations de l'art, ni dans celles de la nature, et l'on peut poser en principe que, dans toute opération, il y a une égale quantité de matière avant et après l'opération; que la qualité et la quantité des principes est la même, et qu'il n'y a que des changements, des modifications. »

Lavoisier, Traité élémentaire de chimie (1789), p. 101.

Cet énoncé a été adapté par Lavoisier du philosophe grec Anaxagore de Clazomènes. C'est en fait l'énoncé de la **conservation de la masse** qui deviendra, mais plus tard, la **conservation de l'énergie**.

Une brève histoire de l'énergie

Le père de la thermodynamique

- Sadi Carnot, physicien et ingénieur français, ouvre les portes à la thermodynamique
 - *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance, 1824*
- Utilise la **théorie calorique** et l'**axiome de conservation de la chaleur** pour formuler une théorie au fonctionnement d'une machine : il faut une source froide et une source chaude
 - Voir le cycle de Carnot dans le thème 2.5 « *Thermodynamique* »

Une brève histoire de l'énergie

Équivalence mécanique - chaleur

- Dans les années 1840, James Prescott Joule, physicien anglais, démontre expérimentalement la relation entre le **travail mécanique** et la **chaleur**, ainsi que la relation entre le **courant électrique traversant une résistance** et la **chaleur dissipée** par celle-ci (aujourd'hui appelé l'effet Joule).
- En 1845, il estime l'équivalent mécanique de la chaleur à 819 pieds-livres/BTU (4,41 J/cal, aujourd'hui 4,18 J/cal environ)
- Joule adopte alors le terme de *vis viva* (énergie).

Une brève histoire de l'énergie

Un précurseur malheureux

- Julius Robert von Mayer énonce le **premier principe de la thermodynamique** en 1845, qui est en fait la conservation de la chaleur dans la théorie du calorique.
- Le terme « énergie » est alors la clé pour faire correspondre les lois de conservation de la mécanique classique avec cette loi de la thermodynamique : **la conservation de l'énergie devient un principe universel pour toutes les branches de la physique.**



Source : Wikipédia

Une brève histoire de l'énergie

Un précurseur malheureux

- Mayer était conscient de l'importance de sa découverte, mais son incapacité à s'exprimer de manière scientifique conduisit à la résistance de la part des scientifiques;
- Les physiciens contemporains ont rejeté son principe de conservation de l'énergie;
- Et même des physiciens acclamés tels Hermann von Helmholtz et James Prescott Joule ont accueilli ses idées avec hostilité ou contesté la priorité de la découverte.

Une brève histoire de l'énergie



ENR2020

Ingénieurs en énergétique

- On connaît un autre pionnier de l'énergie qui a donné son nom à une unité reliée au domaine: James Watt.
- **Vrai ou faux:** James Watt a inventé le moteur à combustion interne.

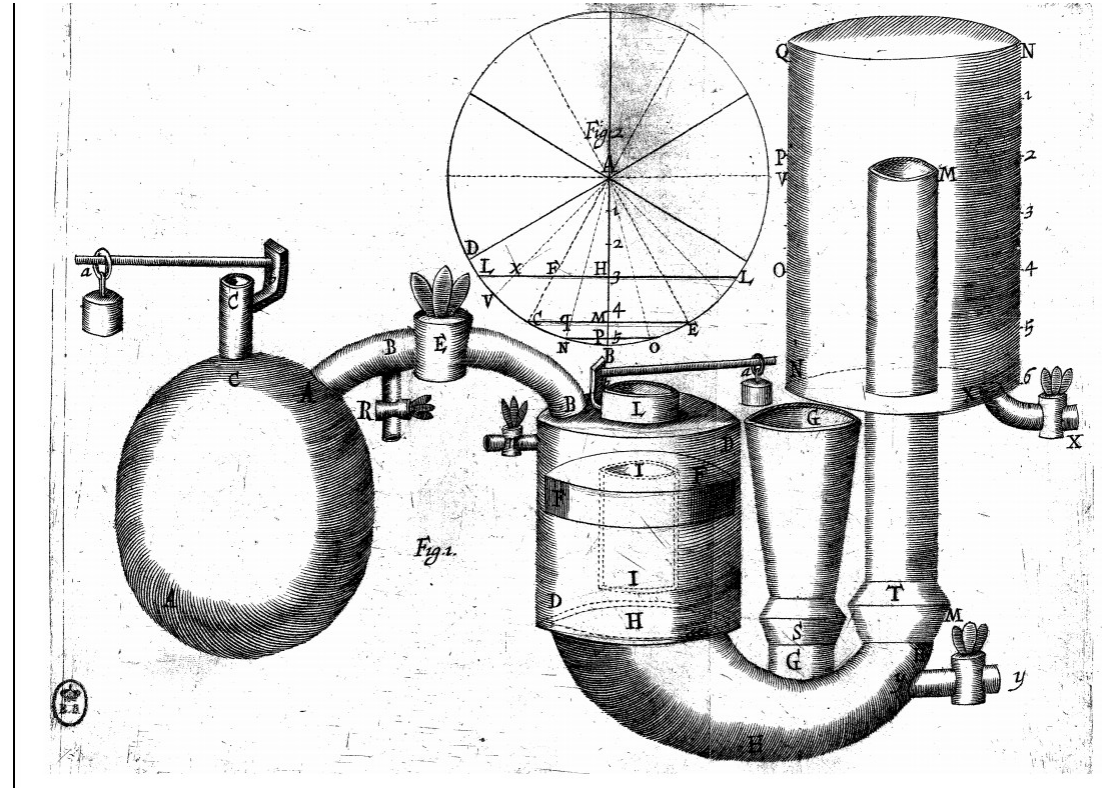
Une brève histoire de l'énergie

Ingénieurs en énergétique

- L'émergence de ce concept s'est faite de pair avec celle de nouvelles techniques (particulièrement des machines à vapeurs), surtout en Angleterre
- Les grands noms de l'ingénierie énergétique de l'époque sont Toricelli (1608-1647), Papin (1647-1714), Savery (1650-1715), Newcomen (1663-1729), et Watt (1736-1819)
- Par leurs travaux de techniciens ou d'ingénieurs, ils vont s'appliquer à imaginer des machines « pour lever l'eau par la force du feu », à « rendre un homme capable de faire autant que mille ».

Une brève histoire de l'énergie

Ingénieurs en énergétique

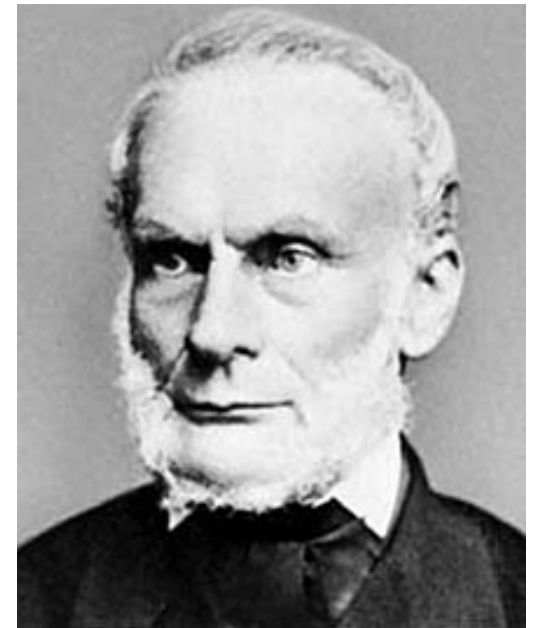


La Machine de Denis Papin (1707)

Une brève histoire de l'énergie

L'entropie

- Rudolf Clausius, un physicien allemand, montre qu'il existe des contradictions entre le principe de Carnot et la conservation de l'énergie.
- Il invente le concept d'**entropie** en 1865 et complète l'énoncé du deuxième principe de la thermodynamique



Source : Wikipédia

Une brève histoire de l'énergie

L'exergie

- L'exergie est une grandeur permettant de mesurer la **qualité** d'une énergie : c'est la partie utilisable d'un joule.
- Le travail maximal récupérable est ainsi égal à l'opposé de la variation d'exergie au cours de la transformation.
- Un système à l'équilibre thermomécanique ou chimique n'a plus aucune valeur: l'exergie d'un système est **égale à zéro** lorsqu'il est à **l'équilibre** thermodynamique avec son environnement.

Une brève histoire de l'énergie

Aujourd'hui

- La thermodynamique est née et, avec elle, le concept d'énergie et ses lois de conservation deviennent un fondement de l'ensemble des sciences physiques.
- Aujourd'hui, c'est l'un des meilleurs concepts que la science possède pour comprendre la physique et le monde qui nous entoure.
- Mais des énigmes demeurent, surtout en cosmologie : l'énergie des trous noirs, l'énergie du vide, les ondes gravitationnelles...

Question

- Quel domaine scientifique a la meilleure définition de l'énergie?
 - A. La mécanique classique
 - B. La chimie
 - C. La thermodynamique
 - D. Ils partagent tous la même définition
 - E. Leurs définitions sont toutes incomplètes



ENR2020

Une brève histoire de l'énergie

Clin d'oeil

- Snetlage (1743-1812), grand-oncle de Friedrich Engels (1820-1895), constate en 1794 dans le Nouveau dictionnaire français :
« le mot d'énergie qui ne se disait ci-devant en français que de la force de la parole, de la diction et du style vigoureux a acquis sous le régime présent une amplification et une force d'action prodigieuse. Il paraît être devenu l'expression favorite de la nation française ainsi que la qualité qu'il désigne, sa qualité chérie (L'énergie de la liberté, l'énergie républicaine, l'énergie est à l'ordre du jour) »

Source : Arnaud Mayrargue (Maître de Conférences Université Paris Est Créteil UPEC, ESPE Chercheur associé à SPHERE)

Plan de la présentation

- Objectifs de la capsule
- Une brève histoire de l'énergie...
- ***Conclusion***

Conclusion

- L'énergie est un concept que l'on peut situer chronologiquement au moment où Leibniz introduit, à partir de 1686, l'expression de la « force vive »;
- Avant, on considère presque uniquement le travail mécanique;
- Après, Carnot pose les fondements de la thermodynamique;
- Et, tant Mayer que Joule, posent l'équivalent travail mécanique et chaleur.
- Il y a bien entendu une foule d'acteurs qui ont contribué à éclairer, définir et préciser ce concept.
- Mais qu'est-ce au juste que l'énergie?

Évaluation

- Les évaluations pour ce thème seront disponibles pendant une période limitée **seulement**.
- Une personne qui ne peut faire l'évaluation liée à ce thème obtient la note 0.
- Le matériel pédagogique demeure disponible pendant toute la session.

Bibliographie/médiagraphie

- Pour chaque thème d'un module, il existe un fichier dont le titre commence par « **00-Documentation** - ... »
- Ce fichier est téléchargeable à partir du répertoire « Ressources didactiques » qui comporte aussi les présentations sur un thème dans le sous-répertoire « 01-Présentations (format PDF) »
- Le sous-répertoire « 02-Documentation » comporte aussi des liens ou des documents PDF obligatoires »

Bibliographie/médiagraphie

- Le fichier 00-Documentation comporte une section « Documentation **obligatoire** » qu'il faut consulter, en plus de cette présentation.
- Cette documentation indique clairement:
Les références qu'il faut étudier pour préparer:
 1. les tests formatifs (auto-évaluations disponibles sur le site Moodle)
 2. et le quiz sommatif (aussi sur Moodle)
 3. ainsi que l'examen INTRA 1 (aussi sur Moodle).

Bibliographie/médiagraphie

- Le fichier comporte aussi une section « Documentation **facultative** » :
 - Pour les gens désirant pousser plus loin leur réflexion et leurs connaissances;
 - Pour celles et ceux qui désirent une base pour documenter leur projet de session
- Ainsi, les présentations ne répètent pas la bibliographie



Merci de votre attention !

Si vous avez des questions à formuler, veuillez les poser par écrit et spécifier le nom et le numéro de la présentation. Nous vous répondrons le plus rapidement possible.

Période de questions

