

# On Beau de Rochas' Engines — Transcription from his 1862 handwritten *mémoire*

C. Naaktgeboren, PhD.\*

August 14, 2023

## Abstract

The 1862 *mémoire* authored by Alphonse Beau de Rochas [1] is deemed as the earliest document that describes a piston-in-cylinder, 4-stroke engine operation with constant-volume combustion of a gaseous mass previously compressed and existing in one side of the piston—a cycle that gathers the defining features of what became widely known as the Otto cycle, especially outside of France—as well as exhaust burnt gases providing heat for vapor generation, as well as expanding water vapor lowering the atmospheric counter-pressure during the gas exhaust stroke—lesser known features of one of Beau de Rochas' *combined* cycles from his Chapter 6, in which the 4-stroke engine operation is described in detail and in the context of some four engine variants. Moreover, on Chapter 7, two additional variants conceptually obtained by simplifying two engine configurations from Chapter 6 are *briefly* discussed, in which one design degenerates to a previously described, prototyped, and produced *Lenoir engine*, and the other, described under criticism by Mr. Beau de Rochas, being what is nowadays known as the proper gas-only, Otto-cycle engine, despite its perceived novelty by Mr. Beau de Rochas.

The *mémoire*—digitized and placed in the Public Domain by the National Library of France for non commercial, scientific, and academic purposes—is a *handwritten*, 19th century French language text that lacks most facilities of nowadays texts, including the ability of automated searching, and extracting text for further processing. Moreover, neither transcriptions nor translations of the digitized text seem to exist in searchable form, nor in other forms of publication, despite its historical relevance. In this work a manually made transcription from the handwritten French, with indications of illegible parts, is provided for Chapters 6 and 7 of Mr. Beau de Rochas' *mémoire*, in which the 4-strokes and engine variants are enunciated aiming at recovering this part of the history of thermodynamics.

## Introduction

Beau de Rochas authored a *mémoire* [1] in which he proposes, in a descriptive manner and without drawings or equations, the workings of some work-producing devices that operate in mechanical cycles of reciprocating piston-in-cylinder configurations. In his Chapter 6, a total of 4 (four) *combined-cycle* engines using (i) water vapor and (ii) air-fuel, “gas,” mixture are described, in which (a) two of them do not perform previous compression of the gas mixture, while (b) the other two performing previous compression in a 4-stroke operation; with the last design variation being ( $\alpha$ ) whether or ( $\beta$ ) not the two fluids share cylinders on opposite side of pistons.

Due to the combined cycle nature of such engines, it must be clear that none of the proposed configurations on Chapter 6 correspond to what nowadays is known as the ideal Otto cycle, which employs gas only, despite the 4-stroke operation being described by Mr. Beau de Rochas on Chapter 6.

---

\*Adjunct Professor, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava Campus. <NaaktgeborenC.PHD@gmail.com>

In Chapter 7, Beau de Rochas briefly describes engines formed by simplifying away (removing) the vapor part from the Chapter 6 engines, while keeping design variants hereby labeled (a) and (b), from above. Configuration (7a)—that is, from Chapter 7, gas-only, and no previous compression of the air-fuel mixture—corresponds to the then already existing *Lenoir engine* [4], while configuration (7b)—gas-only, with previous compression of the air-fuel mixture—despite being identified as a novelty, wasn't given much importance, being briefly described under criticism by Beau de Rochas, and corresponds to the one described, built, and commercialized by Otto from 1876 [3] onwards, which became widely known nowadays as the Otto-cycle engine. This characteristic confers scientific and historic relevance to Mr. Beau de Rochas mémoire.

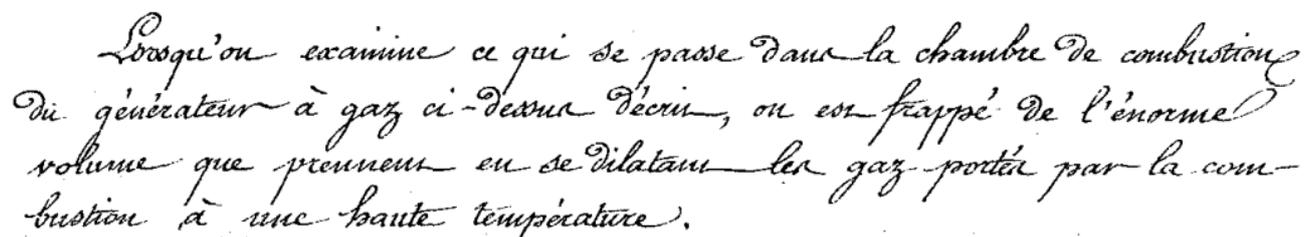
The mémoire has been placed in the Public Domain by the National Library of France, or, *Bibliothèque National de France*, BnF, for non commercial, scientific, and academic purposes. The original mémoire has the appearance of a notebook-sized binding with a print cover and *handwritten* contents, evidently in the French language of the 19th century.

Nowadays, two different scanned digital versions are available on the Internet: (i) the one by the National Library of France, BnF [1]; and (ii) the one by Google Scholar [2]. Their contents are supposed to be exactly the same, with variations in scanning settings—the BnF version appears more pixelized, while the Google Scholar one, more antialiased, despite appearing to be based in a slightly lower scan resolution than that of the BnF—and page cropping settings, as Google's version includes at least a margin note that is absent from the BnF version.

The scanning resolution of both variants appear to yield documents that are somewhat close to the limit of legibility, probably requiring a certain level of proficiency in French for a more fluid reading experience, since the foreknowledge of French words and the learned expectation of what should come next certainly aids the reading process. There are, unfortunately, some occasional illegible parts.

All these factors makes the reading *possible*; however, long range understanding is strongly impaired by the constantly needed extra cognitive effort of deciphering the handwriting, and the somewhat unfamiliar thermodynamics terms and concepts of the mid-19th century—hence, the need for it's transcription.

Figure 1 depicts a sample paragraph—the first one—from Chapter 6 of the mémoire in an attempt to preserve the level of legibility of the original document [1]. The reader is invited to compare it's legibility with the text provided in the beginning of Section 6 as to appreciate the added value of the text transcription, which can be copied and pasted for further processing in the present era in which large language models, LLM's, such as GPT's [5], are at the center of an ongoing breakthrough of the area of AI, artificial intelligence.



Lorsqu'on examine ce qui se passe dans la chambre de combustion du générateur à gaz ci-dessus décrit, on est frappé de l'énorme volume que prennent en se dilatant les gaz portés par la combustion à une haute température.

Figure 1: Sample paragraph from Beau de Rochas' 1862 mémoire, scan by BnF [1], depicting the handwriting on original page 21. From a screenshot of the original document displayed to 150% zoom and re-adjusted to 100% of this text width—a process that makes the image to *look* the same in both documents, i.e., have about the same legibility. The underlying screenshot image resolution is 1024 pixels across. By comparison, Google's screenshot image resolution for the same paragraph is close to 6/7 of the one shown here.

In this work a transcription manually performed by the author is provided for Chapters 6 and 7 of the mémoire, in which the 4-stroke are enunciated. The author language proficiency profile by the writing of this account includes: (i) native proficiency in Portuguese of Brazil, his 1st language, (ii) fluent

proficiency in English, his 2nd language, chiefly owed by his PhD studies in the USA, and (iii) almost fluent proficiency in French, his 3rd language (and 2nd Romance language, owing to the common Latin root for Portuguese and French), owed by his post-PhD work in a French-speaking engineering company in Québec, Canada.

What follows between the decorative lines used as mémoire page boundaries below is the transcription of Chapters 6 and 7, i.e., pp. 21–36 of Mr. Beau de Rochas 1862 mémoire, mostly from the BnF [1], and also from Google [2], when the reading is difficult in determining the original text. Mémoire footnotes are in French only and only taken from [2] since the BnF scan settings crops them out of view. Transcription footnotes contain English text. Chapter, session, and page breaks also follow the original document—the reason why next Chapter is numbered “6.” Moreover, the ornament lines indicate page breaks.

---

p. 21

## 6 Moteur mixte à vapeur et à gaz

Lorsqu'on examine ce qui passe dans la chambre de combustion du générateur à gaz ci-dessus décrit, on est frappé de l'énorme volume que prennent en se dilatant les gaz portés par la combustion à une haute température.

Si la combustion se faisait au contraire sous volume constant, la dilatation serait remplacée par un accroissement de force élastique également considérable et le retour à la pression primitive par la détente engendrerait précisément le même volume à la même température

---

p. 22

que si l'échauffement s'était directement fait sous pression constante.

Il est par là directement évident que, dans le fait même de la combustion, il peut y avoir une production de travail d'un ordre considérable de grandeur et complètement indépendante de celle qui doit ensuite résulter de la formation de la vapeur par le refroidissement des gaz brûlés. D'où l'on conclut que l'utilisation complète du phénomène de la combustion, exige qu'on mette à la fois à profit et la force élastique que les gaz peuvent directement acquérir par la combustion sous volume constant et la force élastique qu'ils peuvent ensuite communiquer à la vapeur en lui abandonnant leur chaleur de dilatation, chaleur qui est identiquement la même que s'ils avaient été chauffés sans production d'excès de force élastique sur la pression ambiante.

Cette utilisation complète eût été manifestement impraticable avec le seul usage des combustibles solides. Elle devient infaillible par leur conversion préalable en gaz eux mêmes combustibles. Et telle est l'immense portée finale de la création des foyers à gaz dont la priorité appartient à MM. Thomas et Laurent, mais dont il n'est que juste de rapporter une part notable aux savants travaux de M. Ebelmen en France et de M. Faber Dufaur en Allemagne.

Il faudra donc désormais considérer comme essentiellement incomplète et considérer comme telle en connaissance de cause toute machines à gaz seul ou toute machine à vapeur seule, et il est facile de démontrer que l'une est nécessairement le complément normal de l'autre.

Le fonctionnement des gaz comme véhicules de la force motrice suppose la mise en train préalable de l'appareil moteur; car précisément parce que les gaz existent tout formés et ne peuvent travailler que par détente, ils sont incapables de se mettre en train d'eux mêmes et ne peuvent entrer comme agents actifs que dans un système déjà en mouvement. C'est pourquoi il n'y a jamais eu et il n'y aura jamais de machines à gaz, quelque soit leur principe, qui puissent être appliquées aux cas où la mise en train exige

des efforts plus ou moins puissants, plus ou moins rapides, sans le concours simultané d'une force étrangère. Les machines à gaz seul sont donc essentiellement des machines de petites forces.

Les machines à vapeur sont au contraire capables des plus puissants efforts directs, mais au prix d'une excessive dépense de chaleur. Voici en effet comment s'exprime à cet égard M. Regnault (Comptes-Rendu, 18 Avril 1853) «Dans les moteurs à air (abstraction faite des pertes extérieures et des obstacles mécaniques qui peuvent se présenter dans la pratique) toute la chaleur dépensée est utilisée pour le travail moteur; tandis que dans la meilleure machine à vapeur d'eau, la chaleur utilisée, pour le travail mécanique, n'est pas la vingtième partie de la chaleur dépensée.» Et c'est bien moins encore dans la plupart des cas. Cette infériorité normale de rendement est le signe certain que la vapeur seule ne saurait être l'agent vraiment économique de la transmission du travail; mais le mécanisme même de sa formation en fait l'agent indispensable de la mise en train.

Celle est donc l'utilité propre de la vapeur d'être, si non la puissance expansive prépondérante, du moins le doigt toujours prêt à presser la détente.

Cette proposition peut paraître en contradiction avec certains faits qui tendraient à établir qu'il est difficile d'obtenir des gaz une grande puissance d'expansion. Les gaz permanents paraissent en effet peut-être encore plus sensibles que la vapeur aux diverses causes de perte de chaleur. Mais il faut distinguer entre les pertes normales et les pertes accidentelles notamment par la dispersion.

Les gaz permanents devant être considérés comme des vapeurs infiniment au-dessus de leur point de saturation, il est impossible qu'ils restituent dans aucun cas aucune parcelle de leur chaleur constitutive; dès lors ils doivent en travaillant se refroidir suivant une progression beaucoup plus rapide que les vapeurs. Mais peu importe que la courbe de pression tombe plus ou moins brusquement à la détente si, en somme, l'effet utile est plus considérable.

Quant aux pertes accidentelles, si en combinant la machine à gaz avec la machine à vapeur, on dispose les choses de manière que ces pertes tournent plus particulièrement au profit de la vaporisation elle-même, on aura réalisé le maximum d'effet pratique, car si les gaz sont en réalité d'un maniement difficile, c'est surtout à cause de leur grand pouvoir dispersif et si les pertes provenant de ce chef, déjà supposées réduites à leur minimum possible, sont en outre le mieux possible employées à une production correspondante de vapeur, on aura tout l'effet utile de la vapeur comme devant, plus celui qu'on aura pu obtenir de la force élastique du gaz lui-même. Du reste, il faut bien observer que dans les conditions rationnelles et nécessaires de la transmission de la force, la condition primordiale paraît être l'existence même d'un milieu de chaleur surabondante et l'on est manifestement arrivé à la limite de l'utilisation pratique lorsque la quantité de chaleur nécessaire à la formation ou au maintien de ce milieu est rendue la moindre possible en disposant dans leur ordre rationnel les seuls agents physiques dont on puisse avoir l'emploi général dans la pratique : le charbon, l'air est l'eau.

Celle est l'idée première du moteur mixte à vapeur et à gaz, conséquence d'ailleurs naturelle de l'application des foyers à gaz au chauffage des générateurs.

L'utilisation simultanée de la force expansive des gaz et de la vapeur exigera en général l'emploi de deux systèmes de cylindres, les cylindres à gaz dans lesquels la combustion s'effectuera directement et les cylindres à vapeur.

Le dispositif général le plus simple consistera à faire l'appel des gaz du cubilot ainsi que celui de l'air neuf nécessaire à la combustion par l'aspiration même des cylindres à gaz et à refouler

après leur détente les gaz brûlés dans le générateur à vapeur, l'échappement des cylindres à vapeur servira alors surtout à diminuer la contre-pression dans les cylindres à gaz en facilitant l'expulsion de l'air brûlé et refroidi hors de la machine à moins qu'on ne trouve un emploi plus utile de la vapeur dans sa condensation.

---

p. 25

Rien n'était à modifier dans l'établissement des cylindres à vapeur dont l'installation paraît être arrivée bien près de son entière perfection dans chaque cas particulier, on ne s'occupera ici que de l'établissement des cylindres à gaz dont la pratique est bien moins avancée. On distinguera deux cas généraux suivant que les gaz à brûler sont pris à la pression ambiante ou soit préalablement comprimés.

### **a. Dispositif sans compression préalable**

Les gaz combustibles et l'air neuf sont aspirés pendant une partie seulement de la course des pistons des cylindres à gaz. Ces cylindres font ainsi fonction de soufflerie par appel pour l'alimentation d'air du cubilot. Des robinets ou vannes règlent l'accès et les proportions des deux natures de gaz. Le mélange s'effectue à basse température dans les conduits disposés à cet effet et l'inflammation est produite par les procédés connus.

Les volumes des cylindres à gaz et à vapeur sont respectivement réglés en raison de la dépense des deux fluides. Néanmoins, les cylindres à vapeur doivent être toujours capables de déterminer à eux seuls la mise en train de l'appareil entier. Il pourra donc se faire, suivant les cas, que le régulateur de la vapeur, et entier ouvert pour la mise en train, doive être tenu normalement plus ou moins fermé pendant la marche de régime.

La haute température produite dans les cylindres à gaz par le fait de la combustion directe serait une cause promptement destructive de l'appareil si les parois n'étaient maintenues à une température relativement très basse. Cette basse température serait nécessairement une cause énergique de refroidissement pour les gaz, si elle ne pouvait

---

p. 26

être d'ailleurs combattu par d'autres dispositions. Mais il n'y aura toujours qu'un inconvénient de moindre utilisation directe si la chaleur ainsi dissipée fait retour à la production de vapeur. Les cylindres à gaz ainsi que leurs fonds seront donc enveloppés d'eau et mis par leur surfaces extérieures en communication avec le générateur de manière à assurer l'arrivée de l'eau et le dégagement de la vapeur.

L'élévation même très grande de la température ne saurait d'ailleurs avoir d'inconvénients sensibles avec les parois maintenues à température constante. Il faut en effet concevoir que les parois métalliques, même supposées très épaisses, peuvent toujours transmettre la totalité de la chaleur qui leur est fournie sans que leur température au contact de l'air chaud puisse jamais s'élever d'une manière appréciable au-dessus de la température de la chaudière. La couche d'air au contact même de la paroi sera donc toujours instantanément en équilibre de température avec elle. La propagation du refroidissement dans la masse gazeuse se fera d'ailleurs toujours suivant les lois de la dispersion, c'est à dire en proportion du temps et de la distance.

Une action analogue s'exerce sur les faces de piston, sur les fonds en regard et sur la tige du piston, car ses surfaces sont incessamment en échange de chaleur rayonnante et ne sauraient par conséquent différer sensiblement de température. La température de la masse gazeuse, pour une

position donnée du piston, sera donc le plus élevée dans les zones les plus éloignées des parois froids. Elle ne variera d'abord que lentement et ne commencera à tomber tout-à-fait brusquement qu'à peu de distance de ces mêmes parois.

Les conditions de marche ne sauraient donc être sensiblement différentes dans les cylindres à gaz et les cylindres à vapeur. Rien non plus ne sera donc à changer essentiellement aux pistons, presse-étoupes, &<sup>a 1</sup>, dont le graissage pourra s'effectuer par les procédés ordinaires.

Le travail développé étant proportionnel à la pression produite

---

p. 27

par l'inflammation, il importe de conserver à cet élément sa plus haute valeur possible, car on peut toujours régler en conséquence la résistance de l'appareil. C'est d'ailleurs l'avantage particulier des machines à gaz combustible de pouvoir admettre sans danger dans les cylindres où s'opère la combustion des pressions qui seraient inabornables dans les générateurs à vapeur. Or, on attache dans la pratique un intérêt de plus en plus grand à l'accroissement de la pression et c'est avec raison, car c'est dans la pression seule que réside, non seulement la cause du mouvement mais surtout l'utilisation de la force.

La pression étant en raison inverse de la température avant l'inflammation (—) <sup>2</sup> importe que les gaz du cubilot soient autant que possible, refroidis avant leur entrée dans les cylindres. A cet effet, le générateur sera muni de deux système de tubes : l'un du côté du cubilot, l'autre du côté de l'échappement de manière à former deux compartiments intérieurs séparés au moins par une cloison imperméable à l'air. L'enveloppe réfractaire du cylindre intérieur sera supprimée comme inutile dans les cas dont il s'agit. Les gaz combustibles seront aspirés du premier compartiment, par conséquent après en avoir traversé les tubes et s'être mis à la température de la vapeur ou à peu près. Les gaz brûlés seront refoulés dans le second compartiment et évacués par la cheminée après s'être également refroidis.

La condition dont il s'agit exige que la pression de la vapeur soit la plus basse possible. Elle ne peut cependant descendre au-dessous du point où la température serait insuffisante pour déterminer la précipitation des sels calcaires dans l'appareil d'épuration qui est ici absolument indispensables. La pression dans le générateur ne devrait donc pas dépasser 6 à 7 atmosphères.<sup>(1)</sup>

La pression est en autre proportionnelle à la température d'inflammation. Cette température sera la plus élevée lorsqu'on admettra seulement l'air neuf rigoureusement nécessaire à la combustion. C'est

---

(1) Toutefois il y a ici une question de maximum pour le travail total des gaz et de la vapeur qu'on ne peut qu'indiquer en passant.

---

p. 28

à ces cas particuliers de l'alimentation d'air que correspondra évidemment le maximum d'effet de la machine. L'effet diminuera à mesure que, suivant les besoins du service, on admettra un excès d'air plus ou moins grand ou, ce qui revient au même, on fermera plus ou moins le régulateur du cubilot. Mais, même dans le cas où l'effet propre de la machine est plus petit, il convient encore de travailler avec le maximum d'effet utile.

Or, pour une température d'inflammation correspondant à une proportion donnée de gaz combustibles et par conséquent à une pression déterminée après la combustion, et il y a une certaine longueur d'aspiration (on dirait d'admission dans les cylindres à vapeur) pour laquelle

---

<sup>1</sup>Probably an old-fashioned form of « et cetera ». The handwriting here is very puzzling.

<sup>2</sup>I wasn't able to determine at all what the handwriting here was, which resembles a « zllil ».

le travail développé dans le cylindre est un maximum. Les variations de la longueur d'aspiration qui répond dans chaque cas au maximum étant renfermées entre des limites peu écartées pour les plus grandes variations dans la teneur en gaz combustibles, l'emploi de la coulisse suffira parfaitement pour les obtenir. La distribution des cylindres à gaz, dans le cas dont il s'agit, pourra donc être faite de la manière la plus simple avec un tiroir unique, en modifiant bien entendu l'avance et le recouvrement comme il convient dans ce cas particulier.

## **b. Dispositif avec compression préalable**

Le dispositif qui viens d'être décrit paraît assurément le plus simple qui puisse être. Peut-être sera-t-il le seul applicable aux machines locomotives. Alors le supplément de travail utilisé qui en résultera sera certainement tout bénéfice et sans aucun doute hors de proportion avec sa dépense d'installation. Mais les véritables conditions du meilleur emploi de la force élastique des gaz,

---

p. 29

du moins ses conditions les plus importantes n'y sont pas observées en la simplicité ne s'y trouve peut-être acquise qu'aux dépens de l'utilisation.

Ces conditions en effet sont au nombre de quatre : (1<sup>o</sup>) le plus grand volume possible des cylindres sous la forme du minimum de surface périphérique; (2<sup>o</sup>) la plus grande vitesse possible de marche; (3<sup>o</sup>) la plus grande détente possible, et (4<sup>o</sup>) la plus grande pression possible à l'origine de la détente.

Le pouvoir dispersif des gaz si favorable à l'établissement des tubes est évidemment au contraire un obstacle à l'utilisation de la force élastique développée dans la masse gazeuse. Or, on a vu que, dans le cas des tubes, l'utilisation, c'est-à-dire la chaleur transmise était proportionnelle au diamètre des tubes. La perte serais donc en raison inverse du diamètre dans le cas des cylindres. Mais ceci n'est applicable qu'aux cylindres de très petit diamètre et la perte décroît en réalité dans une proportion plus rapide que le diamètre n'augmente. Donc aussi le dispositif qui pour une dépense donnée de gaz conduira aux cylindres du plus grand diamètre sera celui auquel correspondra sous ce rapport la plus grande utilisation directe de la chaleur. On conclut également de là qu'autant que possible, il ne faudra employer qu'un seul cylindre à gaz dans chaque appareil distinct.

Mais la dispersion dépend aussi du temps. Le refroidissement serais donc d'autant plus grand, toutes choses égales, que la marche serais plus lente. Or, une marche plus rapide semble entraîner comme conséquence des cylindres d'un plus petit volume; mais cette contradiction cesse si l'on réfléchit que la course n'est pas nécessairement liée d'une manière invariable avec le volume du cylindre pour une dépense donnée.

De même que pour la force élastique des vapeurs, l'utilisation de la force élastique des gaz exige que la détente soit le plus prolongée possible. Dans le dispositif ci-dessous décrit, il-y-a un maximum de détente pour chaque cas particulier. Ainsi, l'effet est nécessairement

---

p. 30

limité. L'avantage restera donc au dispositif qui permettra de restituer à l'appareil ce qu'on pourrait appeler la liberté de la détente, c'est-à-dire la faculté de détendre autant qu'on peut le juger convenable dans les seules limites imposées par la nature même des choses.

Enfin l'utilisation de la force élastique des gaz dépend encore d'un élément qui lui est tout particulier, mais qui au fond est intimement lié avec l'utilité d'une détente prolongée. Cet élément est la pression qui veut être la plus grande possible pour le plus grand effet. On voit aisément qu'il s'agit ici de la détente à chaud obtenue après la compression à froid, ce qui est une manière de prolonger la détente en quelque sorte inverse de celle qui consiste à faire le vide, manière à laquelle les vapeurs ne sauraient se prêter attendu que toute compression y détermine inévitablement une condensation équivalente de sorte que, même en supposant des vapeurs combustibles, l'échauffement instantané serait par le fait rendu impossible.

On peut donc, théoriquement, obtenir une utilisation aussi indéfinie de la force élastique des gaz en les comprimant indéfiniment avant l'échauffement, qu'on peut obtenir une utilisation indéfinie de la force élastique de la vapeur en prolongeant indéfiniment la détente. Mais, pratiquement, on atteint bientôt une limite infranchissable. C'est celle où l'élévation de température due à la compression préalable détermine l'inflammation spontanée. En effet, en continuant alors la compression, on ne retrouverais à la détente jusqu'à ce même point que le travail fourni par la compression moins la perte qu'occasionne toute action inutile. Là est donc la limite imposée par la nature des choses et l'avantage final sous ce rapport de l'utilisation restera au dispositif qui permettra de l'atteindre.

La question étant ainsi posée, le seul dispositif véritablement pratique consistait évidemment à n'employer qu'un seul cylindre d'abord pour qu'il fut le plus grand possible, ensuite pour réduire les mouvements résistants des gaz à leur minimum absolu. Alors et pour un même

côté du cylindre, on est naturellement conduit à exécuter les opérations suivantes, dans une période de quatre courses consécutives :

- 1° aspiration pendant une course entière du piston;
- 2° compression pendant la course suivante;
- 3° inflammation au point mort et détente pendant la troisième course;
- 4° refoulement des gaz brûlés hors du cylindre au quatrième et dernier retour.

Les mêmes opérations se reproduisant après coup de l'autre côté du cylindre dans une même période de courses du piston, il en résultera une sorte particulière de machine, à simple effet, on pourrait dire à demi effet, mais qui satisfait évidemment à la condition du plus grand cylindre possible en même temps qu'à celle plus importante encore de la compression préalable. On voit en même temps que la vitesse du piston est la plus grande possible par rapport au diamètre puisqu'on fait dans une seule course le travail qui autrement en prendrait deux et qu'on ne peut pas évidemment faire d'avantage.

La température des gaz provenant du cubilot est sensiblement constante : Celle de l'air extérieur ne varie relativement qu'entre des limites peu écartées. La température initiale du mélange au moment de l'aspiration dans le cylindre sera donc aussi sensiblement constante. Il sera ainsi possible de déterminer la limite de compression à laquelle l'inflammation deviendrait inévitable et d'y conformer l'appareil. On aurait ainsi constamment le maximum absolu d'effet pour chaque proportion de combustible. On serait en même temps dispensé de l'intervention de l'électricité, car la mise en train était déterminée par l'action de la vapeur, les gaz pourraient toujours n'être donnés que lorsque la vitesse serait devenue suffisante pour que l'inflammation se produise à coup sûr. Dans tous les cas, la compression favorisera l'inflammation instantanée en favorisant le mélange intime et en élevant la température. Enfin, et pour une température initiale correspondant à une pression de 5 à 6 atmosphères dans le générateur, l'inflammation se produirait spontanément pour une degré de compression

atteignant environ le quart de volume primitif, du moins lorsqu'on néglige l'effet de la dispersion. Alors la pression après l'inflammation atteindrait à peine 30 atmosphères et comme il s'agit ici du cas où la combustion se ferait sans excès d'air, la pression serait nécessairement inférieure dans tout autre. Il est donc probable que, dans bien des cas, on pourra réellement atteindre la limite absolue de l'utilisation.

En résumé, tous en se prêtant manifestement de la manière la plus complète possible à l'utilisation de la force élastique développée dans la masse gazeuse par la combustion sous volume constant, le dispositif dont il s'agit n'est pas moins simple que le précédent, à moins qu'on ne considère dans quelques cas comme une complication la nécessité ou plutôt la convenance d'employer la distribution par soupapes. Cette distribution est généralement la plus avantageuse, et rien ne prouve qu'elle ne soit pas généralement applicable, même aux machines locomotives et surtout dans le cas dont il s'agit.

### **c. Dispositif avec un seul cylindre. Solution directe de la question du surchauffement de la vapeur**

Dans ce qui précède, on a considéré les gaz et la vapeur comme fonctionnant dans des cylindres distincts. La généralité de la discussion exige qu'on examine le cas où on les ferait travailler dans les mêmes cylindres.

On conçoit aisément que cela soit possible en considérant alors chaque cylindre comme la réunion de deux machines à simple effet fonctionnant d'un côté avec la vapeur et du côté opposé avec les gaz. Or, l'emploi d'un seul cylindre au lieu de deux constituerait nécessairement dans la plupart des cas une simplification très

important et, mieux encore, peut introduire de nouvelles conditions de possibilité et de praticabilité.

En effet la seule difficulté réellement sérieuse de la pratique des machines à gaz est la lubrification des parois du cylindre. Cette difficulté disparaîtrait évidemment si le cylindre était alternativement parcouru tantôt par les gaz tantôt par la vapeur, car rien alors ne serait sensiblement changé aux conditions ordinaires de graissage.

En outre, on conçoit de suite que la chaleur absorbée par les parois du cylindre pendant la présence des gaz chauds puisse directement être employée au surchauffement de la vapeur dans le cylindre même, ce qui serait un mode d'utilisation infiniment supérieur à celui de la production de vapeur dans les enveloppes des cylindres à gaz et conduirait par conséquent à la suppression des enveloppes elles mêmes.

Effectivement il est bien évident que si, en vertu de son pouvoir dispersif, l'air chaud abandonne une partie de sa chaleur aux parois du cylindres actuellement plus froides, de même à son tour, la vapeur absorbera l'excès de chaleur de ces parois actuellement plus chaudes, et comme le pouvoir dispersif de la vapeur paraît identiquement de même ordre que celui de l'air, s'il n'est même pas plus énergique, l'échange de chaleur entre les deux fluides sera nécessairement total à chaque alternative. Or, cette chaleur n'est plus employée sous forme de calorique latent à la production d'une certaine quantité de vapeur, et puisque, dans l'hypothèse, la vapeur est déjà séché en entrant dans le cylindre, cette chaleur est tout entière employée soit à augmenter la force

élastique, soit à augmenter le volume, c'est-à-dire, dans tous les cas, à augmenter directement le travail. Donc l'utilisation est considérablement plus grande.

Ces considérations donnent évidemment un intérêt tout particulier au cas dont il s'agit et il importe de reconnaître à quelles conditions il est praticable.

Il n'y en a qu'une, mais fondamentale, c'est l'égalité en volume des cylindres totales d'air chaud et de vapeur.

On supposera d'abord que les gaz admis dans le cylindre

---

p. 34

ne subissent pas de compression préalable et que la combustion s'effectue sans excès d'air. En admettant pour simplifier, qu'il ne vienne du cubilot en fait de gaz combustible que de l'oxyde de carbone, comme la température initiale du mélange avec l'air neuf dans le cylindre sera d'environ 100° le volume total de ce mélange correspondant à l'introduction de 1 Kilogr. de carbone sera d'environ 13 mètres cubes. D'un autre côté, par la chaleur dégagée de sa combustion et pertes déduites, ce kilogramme de carbone peut produire 20 mètres cubes de vapeur étendue sous la pression atmosphérique.

Ainsi les gaz mis en pression par l'inflammation dans le cylindre pourraient être détendus dans le rapport de 13 à 20, si la vapeur détendue était seulement saturée à 100°; mais comme elle sera surchauffée, si sa température s'est seulement élevée de 100° en plus, son volume se sera accru dans le rapport de 20 à 27 et par conséquent, la détente de l'air chaud pourra se faire dans le rapport de 13 à 27, rapport très voisin de celui auquel correspond le maximum d'effet de la cylindrée.

Maintenant si l'on peut atteindre le maximum d'effet dans le cas de la combustion sans excès d'air, on l'atteindra à fortiori avec un excès d'air quelconque; car la longueur d'aspiration croît et la détente diminue en même temps que cet excès augmente.

Le procédé indiqué est donc, dans ce cas particulier généralement praticable pour les machines à haute pression, au plus exactement pour les machines qui travaillent sous la pression résistante de l'atmosphère. Mais il s'applique infailliblement aux machines à condensation et cela est manifeste car le volume de la vapeur croît rapidement avec le degré du vide.

Si l'on suppose maintenant que les gaz soient soumis à la compression préalable avant l'échauffement, le dispositif élémentaire de la compression était toujours celui qui viens d'être ci-dessus décrit; la machine sera à demi effet pour l'admission du gaz et pourra être à simple effet pour l'admission de la vapeur. Alors on sera véritablement dans le cas des machines à condensation.

---

p. 35

En effet, on ne pourra disposer pour chaque cylindre de vapeur que de la moitié de la vapeur produite, par une cylindrée d'air chaud. Il faudra donc régler la détente de la vapeur de manière à produire un volume double de celui du cas précédant et il faut bien remarquer qu'ici l'abaissement de la pression influe moins sur le travail positif de la vapeur qu'il n'est utile pour diminuer la contre-pression dans la détente de l'air chaud.

Si néanmoins, dans ce même cas, on veut marcher sous la pression résistante de l'atmosphère; il suffira de régler l'échappement de la vapeur au retour du piston de manière à éviter les rentrées d'air et l'on obtiendrait encore un certain accroissement d'utilisation car il ne faut pas perdre de vue que, sous la condition de l'inflammation postérieure, le travail de l'air est proportionnel à l'excès final de la pression.

Quant à la mise en train, dans un cas ou dans l'autre, comme c'est toujours la vapeur qui doit l'effectuer dans le cas général et comme elle ne travaille ici qu'à simple effet, il est évident qu'il

faudra quatre cylindres dans le cas où deux cylindres à double effet sont seulement nécessaires. Les procédés dont il s'agit seront donc applicables aux machines locomotives pour lesquelles on est également conduit à employer ce même nombre de cylindres.

## 7 Machines à gaz (petites forces)

Les besoins de l'industrie étaient de nature très variable, le même moteur ne saurait toujours être appliqué avec le même avantage à des cas différents. Le moteur mixte à vapeur et à gaz donne la solution jusqu'ici la plus complète pour l'utilisation de la chaleur dans le cas des grandes forces, ou plutôt lorsque la dépense de combustible tend à devenir un élément prépondérant dans le prix de revient industriel. Mais il n'en est pas toujours

---

p. 36

ainsi, particulièrement dans le cas des petites forces et c'est également l'un des plus intéressants de l'industrie.

Alors et suivant les circonstances, on peut employer soit une machine à vapeur seule, soit une machine à gaz seule. Cette dernière machine elle-même peut être avec ou sans compression préalable et alimentée avec le gaz d'éclairage ou avec un foyer à gaz.

La machine à gaz sans compression préalable et alimentée avec le gaz d'éclairage n'est autre que la machine connue de M. Lenoir.

Cette même machine alimentée avec le foyer à gaz constitue, dans les conditions de règlement et de distribution ci-dessus décrites, une application nouvelle de procédés d'ailleurs tous connus; mais elle ne paraît devoir être que de peu d'utilité pratique.

Il résulte en effet de l'ensemble des faits actuellement acquis que les moteurs à gaz sans compression préalable ne peuvent donner qu'une très médiocre utilisation directe de la force produite par la combustion. D'abord le maximum d'effet est nécessairement limité, comme il l'a été dit, par le rapport de l'aspiration à la course entière, ce qui ne permet d'utiliser qu'une petite partie de la force expansive totale qu'on peut communiquer aux gaz. Cette petite partie est en outre considérablement réduite par l'effet de la dispersion, effet très énergique dans un cylindre trop petit. Aussi la détente elle-même est-elle le point véritablement faible de ces sortes de machines et la pression y tombe si brusquement que l'action de l'inflammation se réduit pour ainsi dire à un coup de fouet.

Il n'y a d'autre remède à cela ou que l'association de la vapeur au gaz ou que la compression préalable dans une machine à gaz seul.

Dans le premier cas, on peut recourir au dispositif le plus simple, avec un seul cylindre disposé pour marcher à simple effet d'un côté avec la vapeur, de l'autre avec le gaz. Dans le second, il n'y a d'autre dispositif véritablement simple que celui qui a été ci-dessus décrit pour le cas de la compression préalable, et l'on pourra toujours l'employer isolément comme machine à gaz de petite force, sous la seule condition de le munir alors d'un volant convenable.

---

(end of transcription)

## Conclusion

Chapters 6 and 7 of the 1862 mémoire of Alphonse Beau de Rochas has been herein transcribed from its original availabilities of a handwritten 19th-century French scans from the BnF [1] and also from Google Scholar [2], aiming at increasing the access to, as well as the knowledge and awareness of Mr. Beau de Rochas important historic document in support of future works.

## References

- [1] Alphonse Beau de Rochas. “Nouvelles recherches sur les conditions pratiques de plus grande utilisation de la chaleur et, en général, de la force motrice avec application au chemin de fer et à la navigation”. In: *Publications scientifiques et industrielles de E. Lacroix*. Ed. by E. Lacroix. Digitized and placed in the Public Domain by the Bibliothèque National de France. Paris: E. Lacroix, 1862.
- [2] Alphonse Beau de Rochas. “Nouvelles recherches sur les conditions pratiques de plus grande utilisation de la chaleur et, en général, de la force motrice avec application au chemin de fer et à la navigation”. In: *Publications scientifiques et industrielles de E. Lacroix*. Ed. by E. Lacroix. Digitized by Google Books. Paris: E. Lacroix, 1862.
- [3] M. Walcknaer. “L’invention de Beau de Rochas”. In: *Bulletin de La Société D’Encouragement pour L’Industrie Nationale*. Ed. by M. Servonnet and M. P. Rolley. Paris, May 1938, pp. 212–225.
- [4] Carlos Antonio Costa Tillmann. *Motores de combustão interna e seus sistemas*. Pelotas, RS, Brazil: Rede e-Tec Brasil, 2013. ISBN: 978-85-63573-28-5.
- [5] Tom B. Brown et al. “Language models are few-shot learners”. In: *34th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2020)*. Vancouver, Canada, 2020.

## Declaration of Conflict of Interest

The author(s) declare no conflict of interest associated to this work.

## Acknowledgments

Author CN received no grant from the public or private sectors in association to this work.

Author CN thanks Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, for research and mentorship opportunities and for providing institutional access to bibliographic databases, such as Periódicos da CAPES through CAPES.

Author CN forever glorifies YHWH the Father, the Son, and the Holy Spirit, by stating: “The forever blessed God who created, blessed, loved and redeemed me in his Son Jesus Christ, who brought forgiveness of sins and the promise of ζῶην αἰώνιον (eternal life) to everyone who believes in Him alone.”

## Typesetting

Document typeset in X<sub>Y</sub>L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X with fonts: **EBGaramond** by Georg Duffner, Octavio Pardo (main serif font); **FiraSansCondensed** by Carrois Apostrophe (sans-serif font); **JuliaMono** by Cormullion (monospaced font); **Libre-Bodoni** by Pablo Impallari, and Rodrigo Fuenzalida, and **SBL BibLit** by the SBL Font Foundation (stylized foreign language portions);