

Zeitschrift: Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes
Band: 2 (1876)
Heft: 2

Artikel: Du rendement de l'air comprimé appliqué à la transmission du travail mécanique
Autor: Piccard, Paul
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-3961>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 21.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

D'autre part, toutes les tôles ne subissent pas des altérations. En particulier certaines qualités de tôles provenant de fer affiné au charbon de bois, en sont complètement exemptes, tandis qu'à peu près toutes les tôles provenant de fer affiné à la houille sont particulièrement sujettes aux altérations. On doit donc conclure que l'action corrosive de l'eau et des dépôts n'a pas d'effet sur du fer pur et bien homogène; cependant on n'est pas complètement d'accord sur ce point important, malgré l'avantage bien constaté des tôles fines, dites au bois, sur les tôles ordinaires au coke.

Un fait très remarquable, c'est que les tôles fines et ordinaires ne sont pas attaquées dans le périmètre de la chaudière exclusivement en contact avec la vapeur.

Il a été constaté que des tôles de même provenance et par conséquent de même qualité ont été attaquées une fois les chaudières en service dans telle compagnie, tandis qu'elles n'ont subi aucune altération dans telle autre.

Le fait de l'influence de l'eau et des dépôts qu'elle produit est donc incontestable.

En général, les tôles de fer ne s'altèrent qu'au bout d'un certain nombre d'années, variable suivant la qualité des eaux et des tôles, et ces altérations n'acquièrent une certaine gravité qu'après dix ou quinze ans. En revanche, les tôles d'acier ont présenté déjà après deux ou trois ans de service de nombreuses piques semblables aux marques de la petite vérole, couvrant le fond de la chaudière, et si nombreuses et si profondes qu'on était obligé de remplacer les tôles attaquées. A la visite d'une chaudière et lors du piquage au marteau pour découvrir le métal et enlever le tartre ordinairement très adhérent, si la tôle est attaquée, le marteau, après avoir détaché la couche des dépôts, pénètre pour ainsi dire dans le métal et fait sortir une matière noire assez dure.

A l'égard des tôles d'acier, l'opinion des ingénieurs est loin d'être unanime. Tandis que les uns soutiennent qu'avec des aciers fondus aux creusets, de première qualité, on est complètement à l'abri des érosions, d'autres pensent que le fer au bois en est seul exempt et repoussent l'acier, de quelque provenance qu'il soit.

En France, où l'acier fondu pour chaudières a joui de quelques faveurs il y a une douzaine d'années, presque toutes les compagnies de chemins de fer l'ont abandonné actuellement. En Suisse, il n'y a que le Nord-Est, l'Union-Suisse, le Gothard, qui emploient l'acier fondu pour les chaudières de locomotives. En Allemagne et en Angleterre, il a ses partisans, mais la majorité des ingénieurs de traction des compagnies allemandes se sont prononcés contre l'acier, ensuite de résultats fournis par l'expérience.

En résumé donc, les causes des érosions au point de vue chimique, proviennent de l'eau, des dépôts et de la qualité des tôles. Il serait très intéressant et très précieux d'avoir plus de renseignements à cet égard; malheureusement il est difficile d'en recueillir, les observations ayant lieu dans des circonstances très variables et ne pouvant porter que sur les résultats et non sur le mode d'action qui les a produits.

Nous venons de nous occuper des *érosions*, il nous reste à examiner les *sillons*.

Ces altérations, comme nous l'avons vu plus haut, se distinguent des premières en ce que leur forme affecte des lignes plus ou moins sinuées et profondes, et en ce qu'elles se pro-

duisent aux inflexions des tôles, dans les parties embouties. Il est probable qu'en ces points il se produit, sous la pression de la vapeur, une légère inflexion de la tôle. Ces légers mouvements, alternativement d'extension et de contraction, dus aux variations de la pression, depuis la pression atmosphérique jusqu'à neuf et douze atmosphères et parfois même plus, détachent le tartre sur la ligne d'infexion, mettent le métal à nu et l'exposent davantage à l'action corrosive de l'eau.

Si l'on ajoute à ce fait l'action mécanique elle-même, on s'expliquerait non-seulement la formation du sillon, mais aussi la rupture de toutes les fibres de la tôle, comme on le constate quelquefois.

On n'est point fixé non plus sur les causes auxquelles on doit attribuer la formation des sillons; il arrive souvent que sur une même tôle, de forme symétrique, un des côtés est attaqué tandis que l'autre reste parfaitement sain, quoique tous deux aient été soumis à des pressions identiques et mis en contact avec des eaux de même qualité.

Il se peut fort bien que lors de l'emboutissage de la tôle, le métal ait déjà souffert, ce qui fournirait l'explication des anomalies observées. De plus, depuis les perfectionnements employés pour le laminage des tôles destinées à l'emboutissage, on a quelque peu diminué l'importance de ces sillons. Le principal remède a été de former les paquets destinés au laminage avec des morceaux de fer dont les fibres rayonnaient en tous sens.

En somme, il résultera des observations, que les sillons sont dus en grande partie à des efforts mécaniques produisant une déformation et que le meilleur moyen de les combattre est d'arriver, dans la construction, à des dispositions qui soient à l'abri des déformations. Les érosions, au contraire, paraissent dues à des actions chimiques; les précautions à prendre pour atténuer l'influence de ces altérations consistent donc à employer dans tous les cas où la question du poids de la chaudière n'est pas capitale, des tôles au bois de première qualité, de préférence à l'acier, et à apporter la plus grande attention dans le choix des eaux d'alimentation.



DU RENDEMENT DE L'AIR COMPRIMÉ

APPLIQUÉ A LA TRANSMISSION DU TRAVAIL MÉCANIQUE

par M. PAUL PICCARD, ingénieur.

Depuis que le système de perforation mécanique, au moyen de l'air comprimé, a été couronné de succès au percement du Mont-Cenis, l'idée d'appliquer l'air comprimé à la solution de toutes sortes de problèmes industriels s'est présentée à bien des esprits.

On peut dire que l'air comprimé est à l'ordre du jour et de nombreuses applications ont été non-seulement projetées, mais plusieurs déjà mises à exécution.

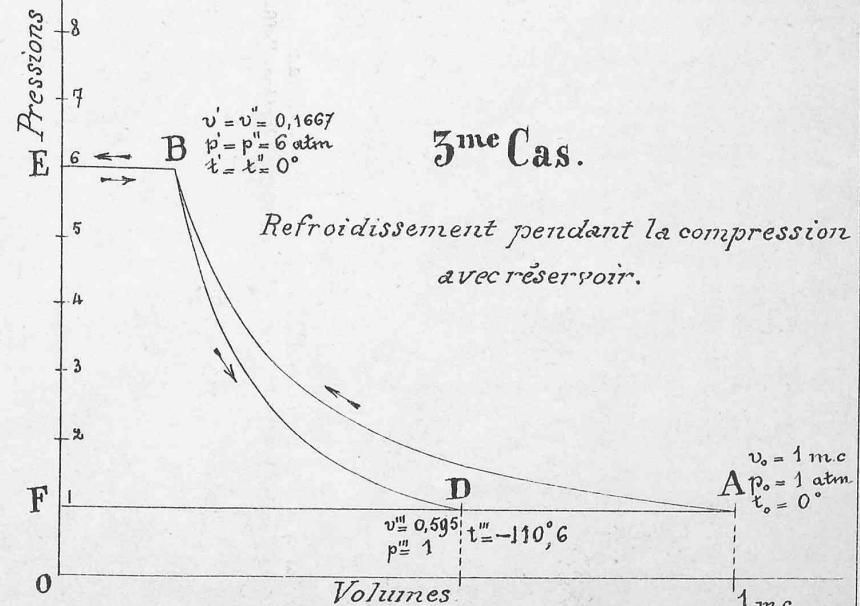
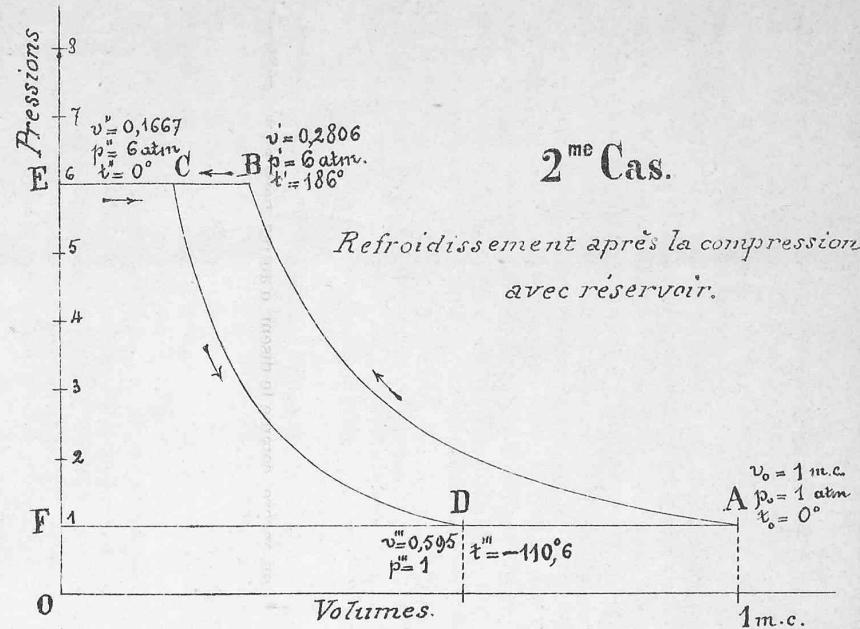
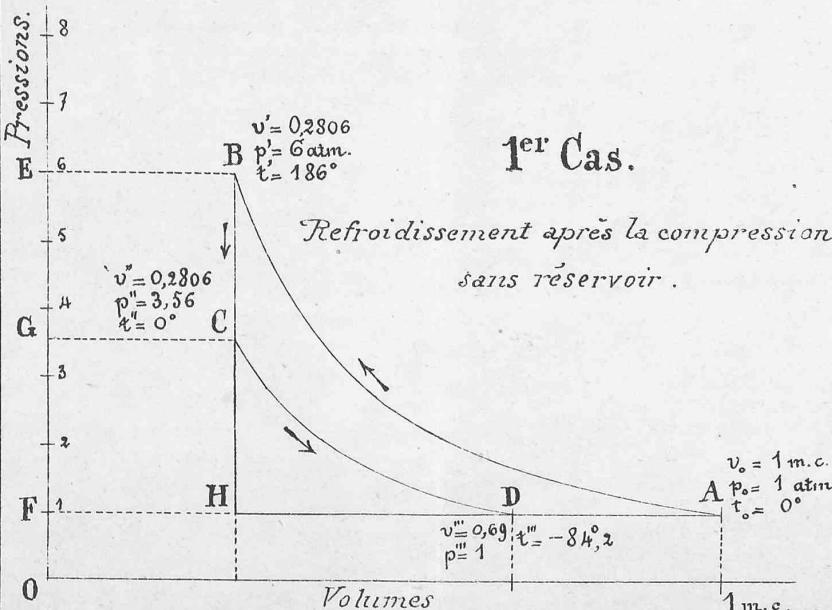
Pour ne rappeler que les principales, nous mentionnerons :

La transmission des forces motrices à grande distance; la propulsion pneumatique par compression; les locomotives, les tramways et locomobiles routières à air comprimé; l'emmagasinage du travail mécanique, etc.

Au moment où ce sujet préoccupe tant d'ingénieurs, nous avons cru qu'il serait peut-être de quelque utilité de rappeler, en

DU RENDEMENT DE L'AIR COMPRIMÉ
appliqué à la transmission du travail
mécanique

par M[®] PAUL PICCARD, Ingénieur
A
LAUSANNE.



Seite / page

10(3)

leer / vide / blank

les groupant, les lois qui régissent la compression et la dilatation de l'air, ainsi que les formules relatives à ces phénomènes.

Nous n'avons point la prétention de dire ici quoi que ce soit d'absolument nouveau, ni d'établir des formules originales. Mais les résultats auxquels conduisent les formules connues sont, à notre avis, trop négligés, par les personnes mêmes qui voient dans l'air comprimé la solution de nombreux problèmes de mécanique.

L'air enfermé dans un vase se comporte, d'une manière générale au moins, comme un ressort.

Si on le comprime au moyen d'un piston, il diminue de volume et lorsque la pression qu'exerce le piston diminue, l'air tend à reprendre son volume primitif, comme le ferait un ressort à boudin. Pendant la compression on dépense du travail, pendant la dilatation l'air rend en partie le travail qu'on a dépensé pour le comprimer.

Le grand avantage que présente l'air sur le ressort, c'est qu'il peut être transporté à de grandes distances avec facilité, dans des tuyaux, sans que ce transport exige une dépense sensible de travail, ou bien, comme on dit en hydraulique, avec une très faible perte de charge.

On peut ainsi dépenser du travail sur un point donné et retrouver ce travail à une grande distance du premier point.

Voilà l'avantage de l'air comprimé sur le ressort, mais malheureusement le désavantage existe aussi; tandis que le ressort, en se détendant, rend intégralement le travail dépensé pour le comprimer, l'air, au contraire, n'en rend jamais qu'une partie.

Indépendamment des résistances passives, frottements, etc., des machines avec lesquelles on opère, l'air comprimé a, dans chaque cas, un rendement qui lui est propre et qui n'est jamais 100 %. C'est de ce rendement théorique de l'air comprimé, abstraction faite de tous les frottements de la machine, que nous voulons nous occuper.

Lorsqu'on comprime un gaz quelconque, sa température s'élève; lorsqu'on laisse un gaz se dilater, sa température s'abaisse.

Ces variations de température sont très considérables. Voici, comme exemple, quelques chiffres indiquant les températures auxquelles on arrive, en comprimant et dilatant l'air.

Air atmosphérique à la pression ordinaire de une atmosphère, à 0° de température, comprimé jusqu'aux pressions indiquées ci-dessous :

Pressions.	Températures.
2 atmosphères	+ 60°,8
4 »	+ 135°,1
6 »	+ 186°,0
8 »	+ 226°,0
10 »	+ 259°,0

Air à 0° de température, aux pressions indiquées ci-dessous, dilaté jusqu'à ce qu'il revienne à la pression atmosphérique :

Pressions.	Températures.
2 atmosphères	- 49°,7
4 »	- 90°,4
6 »	- 110°,6
8 »	- 123°,6
10 »	- 133°,0

Si l'on pouvait employer l'air immédiatement après sa compression et sans qu'il eût le temps de se refroidir, il rendrait tout le travail dépensé pour le comprimer; le rendement théorique serait 100 %.

En pratique, cette manière de procéder est impossible,

parce que l'air comprimé doit être emmagasiné d'abord et conduit à distance dans des tuyaux où il se refroidit nécessairement et revient à la température ambiante.

Si encore l'on pouvait comprimer l'air très lentement, de façon que sa température restât constante pendant la compression, ensuite de la déperdition continue de la chaleur à travers les parois du compresseur, et si, en utilisant l'air ainsi comprimé, on le laissait se dilater assez lentement, pour que sa température fût toujours égale à celle de l'air ambiant, nous retomberions encore sur le cas du ressort à boudin, dont la température reste constante, et le rendement serait également de 100 %. Mais il est à peine besoin de dire que la lenteur des opérations devrait être excessive pour arriver à ce résultat. Cette lenteur aurait pour conséquence de donner des dimensions énormes aux machines et elle est incompatible avec la solution même de la plupart des problèmes, comme par exemple dans le cas de la perforation mécanique, où le piston moteur donne jusqu'à 300 coups par minute.

On est donc forcé, dans la pratique, de se résoudre à perdre la chaleur qui se produit pendant la compression. Cette chaleur se prend naturellement sur le travail dépensé et correspond souvent à une grande fraction du travail dont on dispose.

Passons maintenant aux formules qui permettent de résoudre les principales questions relatives à l'air comprimé, mais notons d'abord que nous mesurerons les volumes v en mètres cubes, les pressions p en kilogrammes par mètre carré (la pression d'une atmosphère équivaut à 10334), les températures t en degrés centigrades et la densité δ en kilogrammes par mètre cube d'air.

I. *Relation entre la densité, la pression et la température.* Ces trois quantités satisfont constamment la formule suivante :

$$(1) \quad \frac{p}{\delta} = 29,271 (t + 273)$$

II. *Relation entre le volume et la pression, pendant la compression ou la dilatation.* — Nous noterons toujours le volume, la pression et la température initiales, par les lettres v_0 , p_0 et t_0 . Après une compression ou une dilatation quelconque, ces quantités seront devenues v , p et t .

Il y a lieu ici de distinguer deux cas. Si l'on comprime ou dilate l'air à *température constante*, c'est-à-dire soit assez lentement pour que sa température ne change pas, soit en refroidissant l'air pendant la compression, de façon que sa température ne puisse pas s'élèver, la relation qui lie v et p est :

$$(2) \quad \frac{p}{p_0} = \frac{v_0}{v}$$

Dans ce cas la température initiale t_0 reste constante pendant l'opération, par hypothèse.

Si on comprime ou dilate l'air brusquement, sans lui enlever et sans lui communiquer de la chaleur, c'est-à-dire *sans le chauffer ni le refroidir*, la relation qui lie v et p devient :

$$(3) \quad \frac{p}{p_0} = \left(\frac{v_0}{v} \right)^k$$

dans laquelle $k = 1,408$

III. *La température*, dans ce dernier cas, ne reste pas constante; elle est donnée par la formule :

$$(4) \quad \frac{t + 273}{t_0 + 273} = \left(\frac{v_0}{v} \right)^{k-1}$$

ou bien

$$(5) \quad \frac{t + 273}{t_0 + 273} = \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

IV. *Travail dépensé pendant la compression ou obtenu par la dilatation.* — Nous admettrons, dans les cinq formules qui suivent, ce qui est toujours le cas dans la pratique, que la pression initiale p_0 règne sur la face du piston opposée à celle qui travaille.

Le travail de la compression ou de la dilatation est le suivant :

1^o *A température constante t_0* :

$$(6) \quad T = p_0 v_0 \log. \text{nep.} \left(\frac{p}{p_0} \right) - v (p - p_0)$$

2^o *Sans chauffer ni refroidir* :

$$(7) \quad T = \frac{k}{k-1} (p v - p_0 v_0) - v (p - p_0)$$

L'air une fois comprimé dans le cylindre à la pression p est ordinairement refoulé dans un réservoir d'air comprimé où règne cette même pression p .

Le travail de refoulement dans un compresseur, ou le *travail à pleine pression* dans un moteur à air est pour les deux cas (1^o et 2^o) ci-dessus :

$$(8) \quad T = (p - p_0) v$$

Enfin, le *travail total* d'un coup de piston du compresseur ou du moteur à air, est la somme des deux travaux de compression ou de refoulement, sa valeur est :

1^o *A température constante t_0* :

$$(9) \quad T = p_0 v_0 \log. \text{nep.} \left(\frac{p}{p_0} \right)$$

2^o *Sans chauffer ni refroidir* :

$$(10) \quad T = \frac{k}{k-1} (p v - p_0 v_0)$$

Les formules qui précèdent permettent de résoudre les principales questions relatives à l'air comprimé. Nous pourrions en déduire une formule générale pour le rendement théorique. La discussion de cette formule nous indiquerait quels sont les facteurs qui influent surtout sur le rendement et nous arriverions ainsi à nos conclusions. Nous n'emploierons cependant pas cette méthode, qui nous entraînerait dans de longs développements mathématiques, sans gagner en clarté. Nous préférions prendre une voie plus simple, qui consiste à choisir trois cas particuliers, parmi l'infini de ceux qui peuvent se présenter. Les résultats auxquels nous conduiront ces trois cas pourront nous servir de jalons et feront suffisamment ressortir combien le rendement peut varier suivant la manière d'opérer.

Nous représenterons graphiquement la suite des opérations, en portant, comme on a l'habitude de le faire, les volumes sur l'axe des abscisses et les pressions sur l'axe des ordonnées ; enfin, dans les trois exemples suivants, que nous traiterons numériquement, nous admettrons pour pression initiale celle d'une atmosphère, pour température initiale 0° et pour volume initial un mètre cube. Nous pousserons la pression, dans les trois exemples, jusqu'à 6 atmosphères.

Commençons par le cas le plus défavorable, celui qui consiste à faire subir à l'air toutes les opérations dans un même cylindre, comme si l'on opérait sur un ressort. Nous comprimerons l'air d'abord brusquement jusqu'à 6 atmosphères,

ensuite nous le laisserons se refroidir, puis nous le dilaterons jusqu'à ce qu'il revienne à la pression atmosphérique initiale.

Pendant la compression, la pression augmente tandis que le volume diminue et la formule (3) nous permet de tracer la courbe AB (fig. 1) des pressions successives. Cette formule permet de calculer le volume v' à 6 atmosphères

$$v' = 0,2806$$

La température t' à ce moment est donnée par la formule (5),
 $t' = 186^\circ$

Si nous maintenons le piston immobile assez longtemps pour que l'air se refroidisse et reprenne la température initiale de 0°, sa pression baîssera, mais le volume EB n'aura pas changé, non plus que sa densité.

Appelant p'' la pression après refroidissement, celle-ci sera donnée par la formule (1) ou la formule (2).

$$p'' = 10334 \times 3,56$$

soit 3,56 atmosphères¹.

Voilà notre ressort comprimé et revenu à la température initiale. Laissons-le maintenant se dilater brusquement ; la même formule (3) que nous avons employée pour la compression nous donnera la courbe CD des pressions successives pendant la dilatation. Arrivé à la pression initiale, en D, l'air s'est refroidi jusqu'à la température t''' qui est, suivant la formule (5)

$$t''' = -84^\circ,2$$

C'est grâce à ce refroidissement que le volume final v''' est inférieur au volume initial v_0 ; v''' , donné par la formule (3) est :

$$v''' = 0,69$$

Enfin, le rendement de notre double opération se tire facilement de la formule (7). Le travail dépensé dans la compression, donné graphiquement par la surface ABH, est, d'après cette formule, de :

$$3592,8 \text{ kilogrammètres}$$

$$\text{Le rendement est donc } \frac{3592,8}{9879,4}, \text{ soit } 36,4\%$$

Passons au second cas, plus conforme aux procédés usités dans la pratique.

Nous supposerons qu'ici, au lieu de faire toutes les opérations dans un seul cylindre, nous ayons un cylindre compresseur, un cylindre récepteur ou moteur et un réservoir intermédiaire d'air comprimé.

Dans ce cas, nous aurons non seulement à effectuer la compression de l'air depuis la pression atmosphérique jusqu'à 6 atmosphères, mais nous devrons encore refouler du cylindre dans le réservoir tout l'air comprimé à 6 atmosphères.

De même dans le moteur, nous aurons non seulement le travail de la détente, mais encore le travail dit de *pleine pression* ou *d'admission* qui est produit pendant l'introduction de l'air comprimé dans le cylindre.

Nous supposons encore que la compression ait lieu brusquement, sans qu'on refroidisse ni qu'on chauffe l'air. L'air, en

¹ Dans les figures, nous avons noté les pressions p en atmosphères. Dans les calculs, les nombres d'atmosphères doivent toujours être multipliés par 10334, puisque la lettre p signifie la pression en kilogrammes par mètre carré.

suite de la compression sera introduit chaud dans le réservoir, où il se refroidira, et nous admettrons qu'il arrive au moteur complètement refroidi, c'est-à-dire à 0°.

Les formules que nous avons employées dans l'exemple précédent donnent aussi la solution complète du problème actuel.

Nous prenons les mêmes données initiales et la compression se faisant aussi dans les mêmes conditions, les résultats v' , p' et t' sont également identiques à ceux du cas N° 1; nous aurons donc :

$$v' = 0,2806, p' = 10334 \times 6 \text{ et } t' = 186^\circ.$$

La courbe AB (fig. 2) est la même que celle de la fig. 1.

Mais la pression étant maintenue constante dans le réservoir, elle ne s'abaissera pas comme dans le cas précédent; le refroidissement de 186° à 0° produira une diminution de volume, c'est-à-dire qu'en reprenant du réservoir le même poids d'air refoulé par un coup de piston du compresseur, nous le retrouverons sous un plus petit volume à 0° qu'à 186°, mais à la même pression.

Pendant le refroidissement le volume $v' = EB$ devient $v'' = EC$ et au point C nos formules nous donnent :

$$v'' = 0,1667, p'' = 10334 \times 6 \text{ et } t'' = 0^\circ.$$

Laissons maintenant cet air à 0° et à 6 atmosphères se dilater jusqu'à une atmosphère. La courbe des pressions successives est CD et en D la température t''' est tombée à :

$$-110^\circ,6$$

le volume v''' n'atteint que les 0,6 du volume primitif, ou, plus exactement : $v''' = 0,595$

Le travail dépensé et le travail rendu, calculés avec la formule (10), donnent pour le rendement :

$$59,2 \%$$

Ce rendement est déjà sensiblement plus élevé que le précédent.

Enfin, si au lieu de laisser l'air se refroidir dans le réservoir, on pouvait le refroidir avant de le refouler, on opérerait, pour un même poids d'air, sur un moindre volume et l'on dépense moins de travail. Si l'on pouvait même refroidir l'air au fur et à mesure de la compression, la courbe entière AB de la fig. 2 serait moins ascendante ou plus allongée et la surface ABEF, ou le travail dépensé, serait plus petit.

C'est ce refroidissement, opéré au fur et à mesure de la compression, que nous avons supposé réalisé dans notre troisième exemple.

La courbe des pressions AB (fig. 3) est donnée par la formule (2) relative à la compression à température constante. Cette courbe est une hyperbole qui part de A pour arriver au point C de la figure précédente.

Les quantités p' , v' et t' se confondent avec v'' , p'' et t'' , comme B se confond avec C.

La courbe BD (fig. 3) est identique à CD de la fig. 2 et les résultats en D sont les mêmes que dans le cas précédent.

Le travail ABEF est donné par la formule (9), tandis que DBEF se calcule avec la formule (10). Le rendement est dans ce cas :

$$78 \%$$

Il ressort de ces exemples que, suivant la manière d'opérer, entre les mêmes limites de pression, le rendement peut être fort différent. Il importe surtout de refroidir l'air pendant la compression et au fur et à mesure que celle-ci s'opère.

Cette condition est connue depuis l'origine des compresseurs et on cherche toujours à la réaliser autant que possible.

Dans les compresseurs à piston on injecte de l'eau froide

dans le cylindre, comme dans un condenseur de machine à vapeur, de manière à obtenir un contact intime entre l'air qui est comprimé et l'eau froide.

L'air étant fort mauvais conducteur de la chaleur et la compression étant très rapide, la condition du refroidissement complet et instantané n'est jamais remplie d'une manière absolue.

Les machines à comprimer l'air, avec injection d'eau, ne rentrent donc pas absolument dans notre troisième cas. Elles restent entre le deuxième et le troisième, qui peuvent être considérés comme des limites.

Le rendement théorique sera compris également entre 59,2 et 78%, pour 6 atmosphères, mais il se rapprochera d'autant plus de ce dernier chiffre que le refroidissement sera plus parfait.

Maintenant que nous avons fait remarquer les grandes variations de température que subit l'air comprimé et dilaté et combien ces variations influent sur le rendement, nous allons rechercher l'influence d'un autre facteur également important, à savoir l'amplitude de la compression.

Le travail perdu provenant des variations de température, et ces variations étant d'autant moins grandes que la pression varie moins, on peut dire d'emblée que le rendement sera d'autant meilleur que la compression sera poussée moins loin.

C'est ce qu'indique également la fig. 3. En effet, le travail perdu est représenté par la surface ABD. Or, si des courbes AB et DB on n'utilise que la partie voisine du point B où elles sont rapprochées, le travail perdu sera très faible.

Les formules conduisent au même résultat.

Pour rendre sensible l'influence de la pression, nous donnons ci-dessous les rendements, dans l'hypothèse du cas N° 3, pour diverses pressions.

Pressions.	Rendement en %.
1	100
2	90,6
4	82,4
6	78,0
8	75,2
10	72,9

Nous avons admis jusqu'ici dans nos calculs qu'on utilisait complètement la détente de l'air dans le moteur. En pratique, il n'est guère possible d'utiliser la détente jusqu'au bout, c'est-à-dire jusqu'à ce que l'air revienne à la pression initiale et s'échappe du moteur sans pression.

On peut même dire, ensuite de considérations trop longues à énumérer ici, qu'il n'est, pratiquement, pas utile de pousser trop loin la détente.

Aussi les rendements théoriques que nous avons indiqués ci-dessus doivent-ils subir une réduction notable lorsqu'on n'utilise pas du tout ou seulement faiblement la détente, comme c'est presque forcément le cas dans les perforatrices et dans la propulsion pneumatique par compression.

Dans le cas où la détente n'est pas utilisée, les rendements ci-dessus deviennent les suivants :

Pressions	Rendement en %.
1	100
2	72,1
4	54,1
6	46,0
8	42,1
10	39,1

Soit qu'on utilise la détente, comme dans notre troisième cas, soit qu'on ne l'utilise pas, le rendement baisse lorsque

la pression s'élève. Malheureusement c'est surtout avec les fortes pressions que l'emploi de l'air comprimé présente ses plus grands avantages pratiques.

Rappelons enfin que tous les calculs que nous avons donnés ne tiennent aucun compte du rendement propre des machines employées. Le frottement des pièces en mouvement, les pertes de charge de tous genres, les étranglements aux soupapes, les fuites inévitables, etc., absorbent encore une partie assez considérable du travail transmis. L'expérience établit que, pour les machines à vapeur, le travail réel sur l'arbre de couche varie de 55 à 70% du travail théorique ou calculé, suivant la grandeur et le degré de fini de la machine considérée.

L'analogie entre la machine à vapeur et les compresseurs ou les moteurs à air, étant assez grande, si l'on admet les mêmes chiffres pour ces derniers, on arrive, en prenant même 70% pour le compresseur et autant pour le moteur, à 49% pour l'ensemble des deux machines.

Le rendement total de l'air et des machines sera le produit des chiffres théoriques que nous avons donnés, par 0,49; ce produit sera très variable suivant qu'on utilisera plus ou moins complètement la détente, suivant les pressions adoptées, l'efficacité du refroidissement pendant la compression, le degré de fini des machines, etc., mais il atteindra rarement 30%.

Est-ce à dire qu'on ne doive pas poursuivre avec zèle les diverses applications de l'air comprimé, bien au contraire, mais le succès ne s'obtiendra qu'à la condition qu'on ne se fasse pas illusion sur le résultat final.

Si l'emploi de l'air comprimé est un excellent moyen de transmission et d'emmagasinage de force là où le rendement n'entre pas en ligne de compte et s'il offre une solution jusqu'ici unique de certains problèmes industriels, par contre, là où il s'agit d'économiser la force, lorsque celle-ci est obtenue par des moyens coûteux, nous ne pouvons nous empêcher de croire que l'air comprimé ne rendra pas ce qu'attendent de lui ceux qui, ensuite d'un succès incontestable, dans un cas spécial, voudraient en faire la solution presque universelle des problèmes où il s'agit de transmettre ou d'emmageriner le travail mécanique.

LE GOTTHARD ET LE SIMPLON

COMPTE RENDU D'UNE CONFÉRENCE

donnée par M. MEYER,

ingénieur en chef de la Suisse Occidentale, à la Société vaudoise des ingénieurs et architectes, le 29 mars 1876.

M. Meyer a donné un compte rendu du remarquable travail de M. Hellwag, ingénieur en chef de la Compagnie du Gothard, sur les études et les devis de cette ligne, et l'énumération des causes des écarts si notables avec les prévisions qui ont servi de base à la constitution de l'entreprise du Gothard, que cette étude a révélés.

Le travail de M. Hellwag ayant reçu une grande publicité et ayant été analysé et commenté par plusieurs journaux nous ne répéterons pas cette première partie de l'exposé de M. Meyer, soit l'analyse de ce travail, bien qu'elle ait été très complète, et ait rempli la plus grande partie de la soirée. Nous nous bornons à l'analyser sommairement.

M. Meyer a relevé qu'on avait jusqu'ici beaucoup parlé du grand tunnel, dans lequel le public en général semblait voir les principales difficultés ; les travaux du percement du tunnel

ont fait l'objet de nombreuses publications, articles de journaux, conférences, etc., mais on avait peu ou point parlé des difficultés des abords, qui sont aussi grandes, aussi peu aisées à vaincre, et présentent beaucoup plus d'incertain que le grand tunnel. La preuve en est dans le coût kilométrique élevé de la moyenne du réseau qui, sans le grand tunnel, est évalué à 903 870 fr.

M. Hellwag a estimé, comme on le sait, le coût total de la ligne à 289 371 500 fr., or, comme la Société a été constituée, au capital de 187 000 000 fr. (85 000 000 subventions, 34 000 000 actions, et 68 000 000 obligations), il y aurait une insuffisance de 102 371 500 fr. Mais M. Hellwag a bien soin de faire ressortir qu'il n'a pas compris les frais d'émission de ce dernier capital dans ses estimations ; on ne peut pas les compter, dans les conjonctures actuelles, à moins de 15%, ce qui fait une nouvelle insuffisance de plus de 15 millions, soit en tout de 119 000 000 fr. ou un coût total de 305 000 000 fr.

Le devis de M. Hellwag est-il suffisant ou sera-t-il dépassé ? M. Meyer a répondu à cette question, que tout le monde se pose, en disant qu'il serait difficile, téméraire, selon lui, de se prononcer sur ce point sans un examen approfondi, et d'affirmer, comme beaucoup de personnes le font, que ce devis est encore trop bas et qu'il sera dépassé de 40 à 50 millions, ou encore, comme le disent d'autres personnes, qu'il est intentionnellement exagéré (pourquoi l'aurait-on exagéré, se demande-t-il, il ne saurait en deviner le motif), et qu'il pourrait être réduit de 40 à 50 millions.

Il ne partage aucune de ces deux opinions. Le devis lui paraît, au contraire, très sérieusement et consciencieusement établi, autant qu'il est possible de le faire dans ces circonstances. Il rappelle les réserves, faites à ce sujet par M. Hellwag lui-même dans sa lettre à la Direction, réserves qu'il comprend, puisque, précisément dans les parties les plus difficiles, il n'a pu être encore fait de projet de détail et de calculs de masses pour chaque objet. Mais tout est si largement compté, certains chiffres et notamment les frais généraux sont si élevés, qu'il lui paraît pouvoir être fait des économies qui compenseront l'imprévu sur les sections difficiles. Il faut toutefois faire une réserve en ce qui concerne le grand tunnel, dont l'estimation est basée sur le marché Favre ; or, il est maintenant de notoriété publique que la résiliation de ce marché est poursuivie et demandée par l'entrepreneur ; si elle était prononcée, qu'il fallût que la Compagnie exécutât en régie ou ré-adjugeât, il paraît douteux qu'on puisse terminer le tunnel aux mêmes prix.

Enfin M. Meyer ne croit pas qu'il soit possible d'exécuter en 4 ans les abords du Gothard dans les parties les plus difficiles, il estime qu'il faut au moins compter 6 ans.

Un autre point a été touché par lui, c'est celui des réductions possibles à apporter au Gothard pour en diminuer le coût. En effet, depuis que l'opinion publique discute la situation de cette Compagnie, on a proposé diverses réductions de dépenses. La seule possible, admissible, à son avis, si l'on veut conserver à cette ligne son caractère de ligne internationale à grand trafic, serait de supprimer quelques lignes secondaires, soit de Lucerne-Küssnacht-Immensee, de Zoug-Walchwil-Arth, et celle du Monte-Cenere de Giubiasco à Lugano ; en un mot de se contenter d'achever la ligne principale de Immensee-Flüelen, Biasca-Pino. (Frontière italienne à l'extrême nord du lac Majeur.) La ligne du sud d'Argovie coupant celle de Lucerne-Zurich à Rothkreutz, serait alors prolongée jusqu'à Immensee. (6,5 kilom.) Cette obligation de passer par Rothkreutz donnerait une augmentation de parcours, 6k,900 pour le parcours Lucerne-Arth et de 6k,700 pour Zurich-Arth.

Dans ces conditions réduites, le réseau du Gothard serait devisé, suivant les données du devis de M. Hellwag :