Zeitschrift: Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes
Band: 3 (1877)
Heft: 3

Artikel: Le moteur à air comprimé, système Mékarski
Autor: Achard, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-5001

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: 16.07.2025

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

Il a fallu 3 $^1/_2$ heures pour sécher complétement 1 mètre carré de linge, et en 1 heure et 20 minutes il était seulement à moitié sec.

4° *Exemple de séchage effectué dans les conditions du N° 3*, mais, de plus, le tissu est exposé d'un côté au rayonnement d'une source de chaleur. Courbes V4 et P4.

0 minutes	0 grammes	0 grammes
5 »	23 »	23 »
10 »	24 »	47 »
15 »	21 »	68 »
20 »	18 »	86 »
25 »	14 »	100 »
30 »	10 »	110 »
35 »	7 »	117 »
40 »	5 »	122 »
45 »	3 »	125 »
50 »	2 »	127 »
55 »	1 »	128 »

La durée totale du séchage a été de 55 minutes et la moitié du poids total d'eau a été évaporée en 14 minutes.

5° *Exemple de séchage opéré dans les mêmes circonstances qu'au N° 3*, avec addition du rayonnement intense d'une source de chaleur. Courbes V5 et P5.

5 minutes	50 grammes	50 grammes
10 »	35 »	85 »
15 »	21 »	106 »
20 »	12 »	118 »
25 »	6 »	124 »
30 »	3 »	127 »
35 »	1 »	128 »

Le séchage complet a duré 35 minutes, et la moitié de l'eau a été enlevée en 6 minutes.

L'expérience sert donc à nous démontrer comment l'évaporation se fait à la surface d'un tissu imbibé d'eau, suivant que ce tissu est simplement plongé dans l'air sans addition de chaleur, ou bien suivant que, tout en restant dans le même air, à la même température et au même degré hygrométrique, il reçoive par rayonnement la chaleur d'un foyer.

Pour rendre plus appréciables les différences qui existent entre les effets produits dans les différents cas dont nous nous occupons, et pour faire voir les variations qui se produisent pendant le cours de l'opération, nous avons représenté graphiquement les résultats numériques obtenus. Voir les courbes.

Au premier coup d'œil on voit que l'effet direct de la chaleur est de raccourcir considérablement le temps du séchage. L'action unique de l'air évapore des quantités égales d'eau, pendant les unités de temps de toute une première période de l'expérience, et ensuite ces quantités partielles diminuent peu à peu de valeur jusqu'à ce que la dessication soit complète, tandis que la chaleur rayonnante appliquée au séchage porte l'évaporation très rapidement à un maximum après lequel l'intensité de l'action diminue jusqu'à zéro.

Les courbes représentant la loi du séchage à 12° et à 25° par la seule action dissolvante de l'air, montrent combien cette action est faible et régulière. Les autres courbes ont beaucoup d'analogie entre elles ; elles ont toutes un sommet sur une ordonnée voisine de l'origine, ce qui indique que le plus grand effet produit par la source de chaleur donnée est rapidement atteint, renseignement qui n'est pas indifférent au point de vue industriel.

Après cette première période, assez courte, la vitesse du séchage diminue de plus en plus, jusqu'à devenir égale à 0, lorsque toute l'eau est évaporée.

Le séchage par l'action directe du soleil, l'air étant à 25°, offre une particularité que les autres cas ne présentent pas ; la période des fortes tensions se prolonge pendant un certain temps, après quoi la dessication se termine brusquement, de façon que la durée totale de l'opération se trouve être la plus courte, sans qu'un maximum très élevé ait été atteint.

Les courbes P, qui donnent les poids d'eau évaporée, cumulés dès l'origine de l'expérience, ne suffisent pas pour faire voir les variations que subit la marche de l'opération, à l'échelle de la planche ci-jointe ; ce sont les courbes, que nous avons appelées V, parce qu'elles expriment en réalité la *vitesse* du séchage, qui montrent le mieux les périodes successives du phénomène observé; elles ont des inflexions bien plus accentuées, surtout dans les cas d'évaporation par la chaleur rayonnante.

Les temps ont été portés sur l'axe des x à l'échelle de 0^m001 pour une minute, les valeurs de P sont figurées sur les ordonnées à l'échelle de 0^m001 pour 1 gramme, et les valeurs de V, comptées en grammes, dans une unité de temps égale à 5 minutes, sont à l'échelle de 0^m002 pour 1 gramme d'eau évaporée pendant l'unité de temps.

La discussion sur le sujet de l'évaporation de l'eau à la surface des tissus pourrait s'étendre fort loin, soit qu'on l'envisageât au point de vue purement physique, soit qu'on le traitât au point de vue pratique et industriel ; mais il est un peu spécial, et nous devons nous borner, pour le moment, à la relation de quelques faits.

LE MOTEUR A AIR COMPRIMÉ, SYSTÈME MÉKARSKI

par M. A. Achard, ingénieur.

La locomotive à air comprimé inventée par M. Mékarski a attiré l'attention à juste titre, en raison de l'intérêt qu'elle présente soit au point de vue de la traction sur tramways et autres voies ferrées, soit au point de vue plus général de l'emploi de l'air comprimé. C'est ce qui nous engage à donner quelques explications sur son principe et son mode de fonctionnement[1].

Dans les locomotives de ce genre, la force motrice ne peut évidemment pas être engendrée au fur et à mesure qu'elle se dépense, comme dans les locomotives à feu. Elles doivent, au début de chaque course, faire provision de la force motrice requise pour cette course ; cette provision est constituée par un réservoir rempli d'air comprimé, qui remplace le foyer et la chaudière. Or, pour qu'un réservoir de capacité admissible puisse suffire à une course un peu longue, il faudra que l'air y soit comprimé à une pression assez élevée.

La pression de l'air contenu dans le réservoir va en diminuant à mesure qu'il se dépense ; mais en même temps la régularité de la marche exige une pression d'admission qui ne varie pas. De là la nécessité de n'introduire l'air qu'à une pression notablement inférieure à la pression initiale du réser-

[1] Cet article a paru déjà dans l'*Eisenbahn*, numéro du 25 mai 1877. Nous le reproduisons avec l'autorisation de l'auteur qui y a introduit quelques modifications et additions.

voir. A cet effet, M. Mékarski intercale entre celui-ci et les cylindres moteurs un détendeur ayant pour fonction d'admettre l'air à une pression déterminée et invariable qui est indépendante de celle du réservoir. D'après la description qu'il en donne, ce détendeur doit être à peu près identique à celui que M. Ribourt a imaginé pour le même objet et qu'il a adapté aux locomotives du Saint-Gothard. La provision de force motrice est épuisée quand la pression de l'air du réservoir est descendue au chiffre de la pression d'admission.

Enfin, pour ne pas être dans l'alternative ou de perdre du travail ou de recourir à une trop grande amplitude de détente, la pression d'admission sera nécessairement assez limitée, en sorte qu'entre elle et la pression initiale du réservoir il pourra y avoir un assez grand écart.

La détente préalable qui s'opère entre le réservoir et les cylindres moteurs n'est accompagnée d'aucun abaissement permanent de température, parce que l'air, en se détendant, n'accomplit aucun travail. Malgré cela elle n'en constitue pas moins une perte absolue de travail, perte dont on verra plus loin l'évaluation.

Dans les essais faits sur les tramways de Paris, on a adopté pour pression initiale 25 atmosphères et pour pression d'admission 5 atmosphères. Le réservoir est composé de cylindres en tôle d'acier ayant de 30 à 40 centimètres de diamètre et communiquant les uns avec les autres ; ils forment deux groupes : l'un de 1200 litres de capacité est le réservoir principal, l'autre de 500 litres est une réserve.

Après chaque voyage, la locomotive dont le réservoir contient encore de l'air à 5 atmosphères rentre dans l'usine productrice d'air comprimé. Quand elle doit repartir, on fait communiquer son réservoir avec un grand réservoir fixe, ou magasin d'air, que des compresseurs maintiennent rempli d'air à 25 atmosphères : il récupère ainsi cette même pression et la locomotive est en mesure d'accomplir un nouveau voyage.

Le travail dépensé pour chaque voyage, et qui incombe aux compresseurs fixes de l'usine productrice, est égal à celui qui serait nécessaire pour porter de 5 à 25 atmosphères la pression dans le réservoir de la locomotive en y comprimant directement de l'air emprunté à l'atmosphère extérieure. Si on nomme V la capacité de ce réservoir, p la pression initiale, p' celle d'admission, et p_0 la pression atmosphérique, on a pour valeur de ce travail :

$$T = V\left[p\left(\ln\frac{p}{p_0} - 1\right) - p'\left(\ln\frac{p'}{p_0} - 1\right)\right]$$

ln désignant un logarithme népérien. Comme on suppose $p = 25\,p_0$ et $p' = 5\,p_0$ on aura :

$$T = V\,p_0\left[25(\ln 25 - 1) - 5(\ln 5 - 1)\right] = V\,p_0 \times 52{,}4248.$$

Cette formule suppose que la compression s'opère à température constante ; mais on sait que les compresseurs qui se construisent actuellement réalisent à peu de chose près cette condition.

Le travail réellement utilisable est celui que peut produire, en s'échappant du réservoir dans l'atmosphère, une masse d'air égale à celle qu'il a fallu y introduire, sa pression étant réduite de 25 à 5 atmosphères par la détente préalable. Or ce travail peut beaucoup varier suivant les circonstances.

Le cas le plus favorable est celui où l'air peut travailler en se détendant complétement et à température constante. On a alors pour travail disponible :

$$T' = V(p - p')\ln\frac{p'}{p_0} = V\,p_0 \times 20 \times \ln 5 = V\,p_0 \times 32{,}1888.$$

et pour rendement :

$$\frac{T'}{T} = \frac{32{,}1888}{52{,}4248} = 0{,}614.$$

La quantité dont ce rendement est inférieur à l'unité, savoir 0,386, constitue une perte inévitable (sous la réserve que nous verrons ci-après).

Le cas le plus défavorable est celui où l'air ne travaille qu'à pleine pression et où on perd toute la détente. Le travail est réduit à :

$$T'' = V(p - p')\left(1 - \frac{p_0}{p'}\right) = V\,p_0 \times 20 \times \frac{4}{5} = V p^0 \times 16{,}000$$

et le rendement à :

$$\frac{T''}{T} = \frac{16{,}000}{52{,}4248} = 0{,}305.$$

Pour que l'air comprimé puisse se détendre à température constante et fournir la quantité de travail exprimée plus haut par T', il est nécessaire de lui fournir une quantité déterminée de chaleur. Si cette condition n'est pas remplie et si on suppose le cylindre imperméable à la chaleur, l'air se détend, comme on sait, suivant une loi différente ; il éprouve un refroidissement permanent d'autant plus grand que la détente est poussée plus loin, et en même temps, le travail qu'il fournit est, même dans l'hypothèse d'une détente complète, sensiblement inférieur à T'. Dans ces conditions, on ne pourrait utiliser la détente que dans la mesure où le refroidissement qu'elle amène n'irait pas jusqu'à 0°, parce que, au-dessous de 0°, la vapeur d'eau mêlée à l'air se congèlerait et nuirait à la marche de la machine.

En réalité, les choses ne peuvent se passer tout à fait ainsi, car les parois du cylindre sont faites d'une matière conductrice et il doit y avoir échange de chaleur par leur intermédiaire entre l'air contenu dans le cylindre et l'air extérieur. Le refroidissement sera donc combattu et la détente rendue possible dans une mesure variable avec la température extérieure ; le travail obtenu aura une valeur comprise entre T'' et T' ; il aura T'' comme extrême minimum, mais ne pourra jamais, par la seule intervention de la température du dehors, se rapprocher beaucoup de T' [1].

Le travail dépensé peut donc être réparti de la manière suivante :

$$1{,}000 \begin{cases} 0{,}386 \text{ perte ;} \\ 0{,}305 \text{ minimum } T'' \text{ du travail utilisable ;} \\ 0{,}309 \text{ écart entre le minimum } T'' \text{ et le maximum } T'. \end{cases}$$

[1] Dans son ouvrage récent sur *l'air comprimé et ses applications*, M. Pernolet affirme (pag. 87), en se basant sur des travaux théoriques de M. Mallard, que l'action calorifique des parois du cylindre est insignifiante, et qu'on doit en conséquence admettre, pour le refroidissement et pour le travail de l'air comprimé, quand il n'y a pas réchauffement artificiel, les lois établies dans l'hypothèse de l'imperméabilité de ces parois. Mais la conductibilité de celles-ci, leur masse très considérable relativement à la masse de l'air qui travaille à leur intérieur, enfin la grandeur de leur action calorifique dans le cas des machines à vapeur, établie par des recherches récentes, sont des motifs pour n'accepter que sous toutes réserves l'opinion de MM. Mallard et Pernolet. La quantité de travail qu'un moteur à air comprimé peut rendre, sans réchauffement artificiel, est une question qui nous semble ne pouvoir être résolue que par l'expérience.

Pour gagner l'écart de 0,309 en sus du minimum 0,305 il faudrait, comme on l'a dit, fournir artificiellement à l'air une quantité déterminée de chaleur. On y parviendrait en injectant dans le cylindre de l'eau pulvérisée, exactement comme dans le cylindre d'un compresseur, en quantité relative peut-être un peu plus grande. Mais M. Mékarski y parvient par une invention qui a encore plus de portée et qui constitue la partie essentielle de son système.

Dans son trajet entre le réservoir et le détendeur, l'air comprimé passe par une petite chaudière nommée *bouillotte-réchauffeuse* qui n'a pas de foyer, mais qui, au départ, est remplie d'eau à 120°. En traversant cette eau sous forme de bulles, il se réchauffe et se sature de vapeur d'eau avant son entrée dans les cylindres.

Rien que la présence d'une certaine quantité de vapeur d'eau agira comme une injection d'eau pulvérisée, c'est-à-dire rendra possible la détente à température à peu près constante, et permettra ainsi d'avoir le travail T′ pour objectif.

Mais il y a plus. Par le fait de l'interposition de la bouillotte-réchauffeuse le fluide élastique à 5 atmosphères admis dans les cylindres n'est pas simplement de l'air ayant la même température et le même état hygrométrique que celui du réservoir; c'est un mélange d'air réchauffé et de vapeur d'eau. Supposons, pour ne rien exagérer, que l'air, après avoir barboté dans l'eau à 120°, entre dans les cylindres à 100° seulement. La vapeur d'eau qui lui est mélangée, ayant la température de 100° et étant saturée, aura pour pression p_0, et puisque le mélange a pour tension $p' = 5\,p_0$, l'air aura pour tension propre $p' - p_0 = 4\,p_0$ seulement.

Un mètre cube de ce mélange contiendra donc seulement:

$$1\text{ k.}, 293 \times 4 \times \frac{273}{273 + 100} = 3\text{ k.}, 785 \text{ d'air}$$

tandis qu'un mètre cube d'air sec et à 10° (en admettant que l'air du réservoir soit sec et à 10°) pèsera, à la pression de 5 atmosphères:

$$1\text{ k.}, 293 \times 5 \times \frac{273}{273 + 10} = 6\text{ k.}, 235.$$

Par conséquent, si l'on admet que T′ représente le maximum de travail disponible *aussi bien pour un mélange d'air et de vapeur que pour de l'air sec*, on voit que la même quantité de travail qui exige 6 k., 235 d'air sec à 10° n'exigerait que 3 k., 785 quand cet air est à 100° et mêlé à de la vapeur à 100°, la pression totale du fluide étant de 5 atmosphères dans les deux cas. L'emploi de la bouillotte augmenterait ainsi dans le rapport $\frac{6{,}235}{3{,}785} = 1{,}647$ le maximum T′ du travail disponible.

Il est superflu de dire que cette assimilation entre le travail d'un mélange d'air et de vapeur et le travail de l'air sec est une hypothèse gratuite, et que, probablement, l'expérience ne la confirmerait pas. Néanmoins, le raisonnement précédent explique en gros comment l'emploi de la bouillotte peut permettre, au dire de M. Mékarski, non-seulement d'utiliser la marge de 0,309 entre le minimum et le maximum de travail, mais encore de regagner quelque chose sur la perte de 0,386 qui, sans cet artifice, serait entièrement inévitable.

A parler strictement, ce gain supplémentaire ne constitue pas une meilleure utilisation du travail de l'air, car celle-ci ne pourrait jamais aller au delà de l'obtention du travail T′; c'est un véritable subside de travail moteur apporté du dehors sous forme de la chaleur emmagasinée dans l'eau de la bouillotte.

Si l'on désigne ce gain par $\varepsilon T'$, le rendement envisagé jusqu'ici sera $\frac{(1+\varepsilon)\,T'}{T}$. Mais ce n'est qu'un rendement théorique et partiel. Le vrai rendement c'est le rapport $\frac{L}{C}$ entre le travail L de la locomotive et le travail C dépensé par les compresseurs de l'usine alimentaire. Or on a identiquement:

$$\frac{L}{C} = \frac{(1+\varepsilon)\,T'}{T} \cdot \frac{T}{C} \cdot \frac{L}{(1+\varepsilon)\,T'}$$

c'est-à-dire que pour obtenir le rendement pratique il faut multiplier le rendement théorique par le rendement propre du compresseur $\frac{T}{C}$ et le rendement propre de la locomotive $\frac{L}{(1+\varepsilon)\,T'}$, ce qui le réduira considérablement.

On peut se demander comment, avec un rendement final si réduit, la traction à air comprimé peut prétendre lutter avec la traction à la vapeur. Sans vouloir affirmer que l'économie soit en faveur de l'air comprimé, car nous manquons de données à cet égard, nous indiquerons trois circonstances qui agissent pour compenser l'infériorité du rendement mécanique:

1° A Paris, l'administration oblige les tramways à vapeur à employer exclusivement du coke pour éviter la fumée dans les rues, tandis que dans l'usine productrice d'air comprimé rien n'empêche de chauffer à la houille qui est moins chère.

2° L'usine ou les usines où la production de l'air comprimé est centralisée, emploient des moteurs importants où l'on peut appliquer la condensation et les autres dispositions permettant d'obtenir une plus grande efficacité du combustible que dans les locomotives.

3° L'expérience a montré que la conduite d'une locomotive à feu pour tramway exige pendant la journée trois hommes (dont deux sont simultanément en activité, en sorte que chacun, quoique payé la journée entière, ne travaille que deux tiers de journée), tandis que celle d'une locomotive à air comprimé exige un homme seulement, le travail se réduisant à la commande des leviers de manœuvre.

Jusqu'ici il n'a été question que de l'application aux locomotives. Mais on conçoit que la bouillotte Mékarski pourrait être employée également pour augmenter le travail d'une machine fixe à air comprimé, et par conséquent pour améliorer le rendement d'une transmission aboutissant à cette machine.

A. Achard, ingénieur.

SOCIÉTÉ VAUDOISE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

La société s'est réunie à Vevey le 8 septembre courant. L'objet essentiel de la séance a été l'exposition faite par M. Lommel des plans de l'étude détaillée exécutée sous ses ordres pour le passage du Simplon, la triangulation de ce vaste réseau alpestre et les lignes d'accès à ce souterrain des Alpes, de Viége à Brigue et d'Isella à Domo-d'Ossola.

Ces travaux ont été faits avec beaucoup de soin et les vérifications ont été des plus satisfaisantes.