

Zeitschrift: Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel
Herausgeber: Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel
Band: 21 (1892-1893)

Artikel: Quelques considérations sur les applications industrielles des différents systèmes de réfrigération
Autor: Perrot, Sam. de
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-88327>

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: 13.01.2026

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

QUELQUES CONSIDÉRATIONS

SUR LES

Applications industrielles des différents systèmes de réfrigération

PAR SAM. DE PERROT, INGÉN. CIVIL

(Communication faite dans la séance du 6 avril 1893)

L'augmentation continue de la production de la fabrique Suchard nécessitant des caves toujours plus grandes pour le rafraîchissement des chocolats, j'ai été appelé à faire une étude sur les différentes manières de rafraîchir artificiellement les locaux existants, et c'est le résumé de cette étude que j'ai l'honneur d'exposer en ce moment.

La production du froid peut s'obtenir de l'une des manières suivantes :

- 1^o par les moyens chimiques ;
- 2^o par les piles thermo-électriques ;
- 3^o par la dilatation de gaz comprimés ;
- 4^o par l'évaporation de liquides.

1^o Moyens chimiques.

Différents sels, acides et autres substances mélangées ensemble dans certaines proportions, ont la propriété de produire un abaissement de température assez considérable. Il existe une foule de ces combinaisons, dont voici quelques-unes : 5 parties de sel ammoniac, 5 de salpêtre et 16 d'eau produisent un

froid de -12° C.; de même 6 parties de sulfate de soude, 5 de nitrate d'ammoniaque et 4 d'une solution de salpêtre, font descendre le thermomètre à -25° . On peut aussi obtenir une température de -42° en mélangeant 2 parties de chlorure de calcium avec 1 partie de neige.

L'application de ces mélanges se borne en général à des essais de laboratoire et, si l'on en excepte le rafraîchissement des liquides dans les pays chauds et les procédés culinaires, elle n'est pas entrée dans l'industrie proprement dite, vu le coût très élevé de la glace fabriquée de la sorte.

2^o *Piles thermo-électriques.*

L'électricité est une source de froid qui n'a pas encore été pratiquement exploitée, mais qui paraît cependant digne d'attention. Il y a près de cinquante ans que Peltier, en expérimentant avec les piles thermo-électriques, découvrit qu'il pouvait produire du froid en faisant passer le courant du bismuth à l'antimoine. Avec les découvertes remarquables faites dans l'électricité durant ces dernières années, il est à espérer que tôt ou tard on produira couramment et économiquement de la glace par l'électricité.

3^o *Détente de gaz comprimés ou machines à air froid.*

Il y a deux catégories de machines à air froid :

- a) celles à cycle fermé;
- b) » » ouvert.

La première catégorie est représentée par la machine construite en 1864 par l'Anglais Kirk. Elle est

composée d'un compresseur à simple effet, d'un régénérateur, d'un cylindre de détente et d'un congélateur. L'air y était alternativement comprimé, passait au condenseur en lui cédant la chaleur acquise durant la compression, traversait le régénérateur qui emmagasine la chaleur tout en laissant passer l'air et se dilatait dans le cylindre de détente, produisant ainsi le froid nécessaire pour refroidir le liquide contenu dans le congélateur.

Quelques-unes de ces machines furent construites à Bathgate pour la fabrication de la paraffine. Un cheval effectif y produisait jusqu'à 4 kilog. de glace par heure. Par suite de diverses complications nécessitées par sa construction spéciale, ainsi que par le choix peu avantageux de la machine Stirling, comme type de construction, la machine Kirk n'a pas été appréciée comme elle aurait dû l'être.

Avec une machine plus parfaite, soit en employant le type Rider avec régénérateur au lieu de celui de Stirling, le professeur Zeuner arrive à un rendement théorique de ce type de 33 kilog. de glace par cheval effectif et par heure. De tous les systèmes de machines à air froid, c'est le seul qui puisse lutter contre les autres systèmes de réfrigération par évaporation de liquides, et il est très regrettable que les constructeurs des autres types de machines à air froid ne lui aient pas voué un peu plus de soins.

La catégorie des machines à cycle ouvert comprend à peu près tous les types actuellement en usage. La différence avec la première catégorie consiste en ce que celle-ci emploie toujours le même air, tandis que l'air ne fait que passer une fois au travers de la seconde et n'est pas réutilisé d'une manière continue.

Bien des essais ont été faits avec ce système. Les professeurs Piazi Smith et Rankine, MM. Stirling, Siemens, Petrie, etc., firent de 1839 à 1856 plusieurs essais et construisirent divers modèles sans obtenir de résultats concluants.

En 1847, le Dr américain Gorric construisit sa première machine, qui eut peu de succès.

En 1869, MM. Windhausen et Gehrlich construisaient la machine qui fut exposée à Vienne et produisait un kilogramme de glace par cheval-heure.

Une quantité de fabricants s'occupèrent dès lors de la construction de ces machines. Les plus connues sont celles de Giffard, Lightfoot, Bell Coleman, Hall, etc. Toutes ces machines ont les mêmes parties principales et ne diffèrent que dans les détails.

L'air aspiré du dehors est comprimé dans un compresseur de 2 à 3 atmosphères. Cet air, réchauffé par la compression, est ramené à la température atmosphérique par un courant d'eau traversant le condenseur; il passe ensuite dans le cylindre de détente auquel il restitue une partie du travail dû à la compression, en produisant un abaissement de température de 40° à 60° au-dessous de zéro, puis passe au local à rafraîchir.

L'air atmosphérique contenant une certaine proportion d'humidité, cette humidité se trouve précipitée sous forme de neige par suite de l'abaissement de température dans le cylindre de détente. On emploie divers moyens pour éviter la production de la neige, tels que dessèchement et refroidissement préliminaires de l'air, mais tous ces moyens sont au détriment du travail produit.

Cette production de neige, ainsi que la faible chaleur spécifique de l'air ($0^{\circ},23$) exigeant des organes de compression très volumineux (environ 132 fois plus grands que ceux des machines à ammoniacque), font que ces machines sont peu économiques. Toutefois ces systèmes sont très appréciés sur mer, par suite de leur grande solidité, de leur simplicité relative, de l'absence complète de tout danger, de tout empoisonnement, de toute explosion, produits par la fuite des gaz employés dans les procédés utilisant l'évaporation de produits chimiques.

4^o Evaporation de liquides.

a) Evaporation à l'air libre et par courants d'air, d'alcool, d'éther, d'eau ou autre substance volatile.

b) Evaporation dans le vide et absorption de vapeurs par différentes substances, ammoniacque, eau, etc.

c) Evaporation de gaz liquéfiés par compression.

a) *Evaporation à l'air libre d'eau, d'éther, ou autre substance volatile.*

Ce procédé a été employé depuis des siècles. Dans les provinces du nord de l'Inde, on obtenait ainsi de la glace en exposant de l'eau dans des plats poreux, isolés de la terre par de la paille. L'évaporation à travers le vase poreux et la radiation de la chaleur de la surface de l'eau produisaient une mince couche de glace que l'on recueillait le matin.

Le même système est encore employé pendant l'été. Une bouteille métallique est entourée d'un linge mouillé et secouée au grand soleil. La chaleur et le

courant d'air produisent une évaporation rapide et un rafraîchissement du liquide contenu dans la bouteille.

Pendant les vents chauds de la mousson, on rafraîchit les maisons en laissant pénétrer ces courants dans l'intérieur des habitations, après avoir traversé une natte continuellement humectée. L'évaporation de l'eau abaisse la température de l'air d'une façon très sensible.

Nos viticulteurs n'ont malheureusement que trop fait connaissance avec ces phénomènes remarquables dans la nuit du 6 au 7 mai de cette année. Une abondante rosée sur le sol fortement desséché par une bise continue, suivie de légers déplacements d'air, coups de joran, etc., a suffi pour réduire à néant, dans bien des endroits du Vignoble, la récolte qui s'annonçait si bien.

Les Anglais Siebe et Harrison ont essayé sans grand succès de réemployer d'une manière continue les gaz résultant de l'évaporation de l'éther sulfurique.

b) *Evaporation dans le vide.*

Le plus connu de ces systèmes est celui de Carré; il date de 1859 ou 1860. On aspire les vapeurs d'un liquide volatil (ammoniaque) dans le congélateur et on les refoule dans un endroit où elles sont absorbées par un liquide (eau) de température d'ébullition différente. On pompe ce liquide dans une chaudière qu'on chauffe, ce qui produit la séparation complète des vapeurs et du liquide. Ces vapeurs passent ensuite à travers un condenseur, où elles se refroidissent et se liquéfient; de là les gaz liquéfiés passent par le con-

gélateur où leur évaporation produit une forte diminution de chaleur, et par conséquent le refroidissement du récipient qui les entoure. L'opération continue ainsi d'une manière intermittente, il est vrai, mais la glace ainsi fabriquée est bien plus économique que celle produite par les grandes machines à air comprimé.

Si l'on représente par 100 la chaleur cédée par un kilogramme de houille à l'eau de la chaudière, on peut admettre qu'une bonne machine à air en utilise 2,3%, une machine à éther 7% et une machine à absorption d'ammoniaque, système Carré, 47%.

Les appareils Carré conviennent spécialement aux hôpitaux, hôtels, etc., où la quantité de glace à produire n'est pas très considérable et où elle ne doit pas être fournie d'une manière régulière.

Un autre système consiste à faire évaporer le liquide qu'on veut rafraîchir dans un vide aussi parfait que possible, le point d'ébullition étant ainsi considérablement abaissé. Le sirop de sucre, par exemple, a son point d'ébullition à l'air libre au-dessus de 100°; ce point est ramené dans le vide à 43°. Les vapeurs sont absorbées par un liquide tel que l'acide sulfurique qui, par suite de l'absorption continue d'eau, se dilue toujours plus et doit au bout d'un certain temps être sorti et reconcentré.

Ces petits appareils sont excessivement commodes et portatifs; leur prix est modéré et bien que le coût de la glace qu'on y fabrique soit comparativement élevé, les avantages qu'on en retire dans le courant d'un été chaud, dans les propriétés hors de portée des marchands de glace, en compensent amplement les inconvénients.

L'intermittence de la production de la glace par ces systèmes limite considérablement leur sphère d'action et on leur préfère, pour la production de la glace en grand, d'autres systèmes ayant une action continue.

c) *Machines liquéfiant les gaz par compression.*

On emploie principalement les vapeurs de l'éther, anhydride sulfureux, ammoniacque, acide carbonique et le fluide Pictet. On a aussi construit des machines à chlorure de méthyle, éther méthylique, sulfure de carbone et autres.

La première de ces machines, inventée par Perkins, fut brevetée en 1835, mais elle resta si peu connue que Harrison la fit de nouveau breveter en 1856. De grands progrès furent réalisés par Carré dans sa machine, construite en 1860 (à distinguer de sa machine à absorption). En 1862, Siebe fit breveter sa machine à éther, encore employée de nos jours. Pictet suivit avec sa machine à anhydride sulfureux; puis le professeur Linde commença, comme Peltier, avec l'éther méthylique auquel il substitua bientôt l'ammoniacque. Enfin Windhausen, après ses essais avec machines à air, finit par y substituer l'acide carbonique, et Hall, un des plus célèbres fournisseurs de machines à air froid pour la marine anglaise, vient aussi d'adopter ce liquide pour ses nouveaux appareils.

Nous nous trouvons donc en présence de cinq systèmes pratiques : à éther, ammoniacque, anhydride sulfureux, acide carbonique et fluide Pictet, ayant tous fait leurs preuves, et le choix du meilleur de ces systèmes est le but de cette étude.

Les éthers et leurs dérivés sont des corps essentiellement inflammables, asphyxiants, explosifs, dangereux, en un mot, sous tous les rapports. Ils présentent le désavantage, vu leur point d'ébullition très bas, d'employer des pressions très faibles, 0,12 atmosphère à -20° et 0,59 atmosphère à $+20^{\circ}$, ce qui permet des rentrées d'air dans l'appareil et réduit de beaucoup le rendement. La grande brasserie Guinness, universellement connue par son énorme production annuelle de deux millions et demi d'hectolitres de stout, employait plusieurs machines à éther et à acide carbonique. Par suite de fuites, l'éther forma récemment un mélange explosif et fit sauter tout le toit du bâtiment des machines frigorifiques, heureusement sans causer de mort d'homme. Leurs machines à acide carbonique leur donnaient de tels ennuis pour tenir les pistons étanches que, bien qu'ils fussent directement intéressés à l'utilisation de cet acide, qu'ils obtiennent en grandes quantités par la fermentation du houblon, ils se virent obligés de remplacer ces deux systèmes par quatre machines Linde produisant 1000 kilogrammes de glace à l'heure.

L'anhydride sulfureux a l'inconvénient de permettre aussi, comme l'éther, les rentrées d'air dans le compresseur. C'est un bon désinfectant, il peut servir à éteindre les feux de cheminée, donc pas de dangers d'explosions; d'un autre côté, c'est un gaz impropre à la respiration, occasionnant les plus graves désordres dans les poumons et dans les bronches, asphyxiant au suprême degré. Mis en contact avec l'air, ce gaz se combine avec l'oxygène pour former de l'acide sulfurique, qui entraîne la destruction immédiate des métaux employés. Or, cette action se produit assez

fréquemment, paraît-il, mais est peu nuisible si on vide immédiatement tout l'appareil. M. Finaz, de Genève, a eu un appareil complètement détruit de cette manière par deux rentrées consécutives d'eau produites par la corrosion des tuyaux du condenseur.

L'ammoniaque est un gaz incolore. Il asphyxie tout aussi rapidement que l'anhydride sulfureux, mais ne produit pas de désordres aussi irritants sur les bronches que ce dernier. Les pressions aux températures habituelles de travail sont suffisantes pour empêcher les rentrées d'air dans les compresseurs. L'ammoniaque, en se mélangeant à certaines huiles et caoutchoucs, produit une espèce de cambouis qui peut boucher les tuyaux et faire sauter le fond des cylindres. Cet accident est arrivé à la machine de la morgue de Berlin, par suite d'inattention du mécanicien, et, au commencement de cette année, à la machine de la station d'essais du professeur Tetmayer, à Zurich; d'après le *Scientific American*, 66 chevaux ont été asphyxiés dans une écurie appartenant à une brasserie américaine, par suite de fuites dans la machine à ammoniaque.

L'acide carbonique est un gaz inodore. On peut même en respirer de fortes quantités sans danger; il n'y a pas possibilité d'explosions. Le Dr Pettenkofer considère l'emploi de l'acide carbonique au point de vue hygiénique comme un grand progrès, comparé à l'ammoniaque et à l'anhydride sulfureux. Ce gaz exige des pressions énormes pour sa liquéfaction et, par suite de son absence d'odeur, rend très difficile la recherche des fuites dans les joints. Un brasseur de Zurich a eu tous les ennuis imaginables avec un de ces compresseurs, construit par une maison de

Zurich, et il regrette amèrement de n'avoir pas accepté l'offre qu'on lui faisait d'une machine à ammoniacque.

Le fluide Pictet a les mêmes inconvénients que l'anhydride sulfureux. Le professeur Pictet, à la suite de nombreuses recherches, a découvert qu'un mélange de 98 % d'anhydride sulfureux et 2 % d'acide carbonique donne des résultats supérieurs à l'anhydride sulfureux pur. M. Pictet vendit ce procédé à différentes maisons de l'étranger, ce qui amena divers procès avec la Société pour l'exploitation des brevets R. Pictet, de Paris.

Le dernier de ces procès vient d'être jugé le 22 décembre 1892 à Berlin, et donne gain de cause à la Société de Paris, tout en reconnaissant à M. Pictet pleine propriété sur ses brevets et la faculté d'en disposer à son gré sans toutefois pouvoir les exploiter. La compagnie parisienne a donc seule le droit de fabriquer les machines à anhydride sulfureux et à fluide Pictet.

On a cependant depuis un certain temps reconnu, dans la grande station d'essais de machines réfrigérantes de Munich, que le fluide Pictet donne des résultats inférieurs à l'anhydride sulfureux pur et d'environ 20 % au-dessous des résultats obtenus avec des machines à ammoniacque. La fabrication des machines à fluide Pictet a donc été interrompue et fait place à l'anhydride sulfureux.

En voyant les inconvénients et les dangers de tous ces gaz, il est bon de se rappeler que le pétrole et l'alcool sont inflammables; cependant on brûle le premier et on boit le second.

Les fabricants de machines à éther n'étant pas représentés sur le continent et le type tombant graduellement en désuétude, ce système a été écarté de

prime abord. Il ne reste donc plus comme concurrents que l'anhydride sulfureux, l'ammoniaque et l'acide carbonique.

Les constructeurs de ces types nous envoyèrent chacun une soumission pour une cave hypothétique à rafraîchir. Les devis étaient à peu de chose près les mêmes, et les machines exigeaient la même force et la même quantité d'eau de condensation.

Pour décider de la valeur pratique de chacun de ces systèmes, nous demandâmes à plusieurs propriétaires de ces machines des renseignements que tous nous envoyèrent d'une manière très obligeante. Toutefois, nous n'étions pas plus avancés dans nos recherches : tous ces renseignements concluaient en faveur du type employé par celui qui nous les avait fournis. Il ne restait rien d'autre à faire pour juger la question, sinon de visiter un certain nombre d'installations frigorifiques et de se rendre compte *de visu* de leur mérite.

Nous avons eu le plaisir de faire cette étude dans le courant de février et avons visité, avec M. Russ-Suchard, un grand nombre de brasseries et de fabriques qui emploient les trois systèmes concurrents.

Nous avons ainsi obtenu une foule de renseignements très intéressants et utiles. La principale difficulté résultant de l'emploi de ces machines consiste à tenir les joints étanches : le tableau suivant résume les différents matériaux employés par les constructeurs pour les joints des diverses pièces de leur machine.

Le principe de ces trois machines est identique. Les gaz sont aspirés du congélateur et comprimés dans le compresseur. Cette compression augmente la

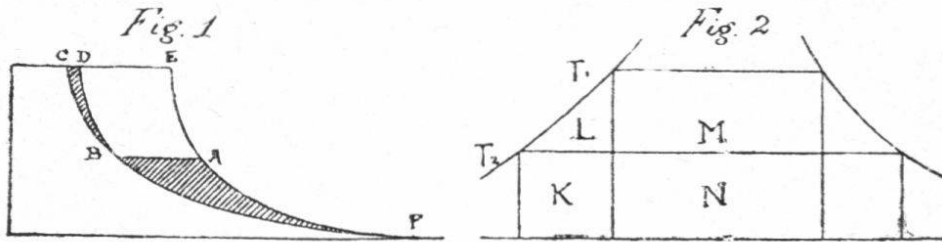
température des gaz et nécessite un travail employé en pure perte. Moins cette différence de température due à la compression est grande, plus le rendement de la machine est élevé. Dans les machines à ammoniac et à acide carbonique, une faible quantité de liquide est admise dans le cylindre avec les gaz. Pendant la compression, toute élévation de température produit une évaporation de ce liquide et, tant qu'il en reste dans le cylindre, la température des gaz comprimés ne change pas. On se rapproche donc de la compression isothermale qu'il n'est pas possible d'atteindre pratiquement.

Pour l'anhydride sulfureux, à moins de réduire de beaucoup le rendement, on ne peut pas admettre de liquide dans le cylindre. Les gaz se surchauffent donc considérablement pendant la compression, qui est approximativement adiabatique et nécessitent en pure perte un travail représenté par la surface hachée entre les courbes isothermale et adiabatique.

De plus, l'échauffement du cylindre est si considérable qu'on est obligé de faire circuler un courant d'eau froide dans l'enveloppe qui l'entoure et dans la tige du piston.

L'attention des constructeurs s'est donc portée sur le perfectionnement du compresseur, et si les températures de l'eau de condensation sont très élevées, on les fait maintenant à deux stages. Les gaz sont d'abord comprimés d'après la courbe adiabatique dans un premier cylindre au point A, puis passent à travers un condenseur où ils sont ramenés à la température initiale de compression correspondant au point B de la courbe isothermale. Les gaz ainsi refroidis passent dans un deuxième cylindre qui les comprime à la

pression finale D. Avec ce système, le travail perdu est représenté par les surfaces hachées F A B et B C D, et l'économie réalisée sur la compression adiabatique unique est représentée par la surface A B D E.



Les gaz une fois comprimés passent à travers un condenseur composé de 1000 à 1500 mètres de tuyaux en fer étiré de 25^{mm}, plongés dans de l'eau froide. Ils cèdent à l'eau une partie de leur chaleur, égale par kilogramme de gaz à ce qu'on appelle la chaleur latente de ce corps, et par suite ils se liquéfient.

Si l'on admet que la surface K+L représente en calories la chaleur nécessaire pour élever un liquide de T₂° à T₁° absolus, il faudra, pour convertir ce liquide en vapeur, ajouter de la chaleur qui peut être représentée par les rectangles M+N. C'est cette surface M+N qu'on appelle chaleur latente, parce que cette chaleur fournie ne sert pas à faire varier la température T₁°. Du condenseur, le liquide passe par un tuyau muni d'un robinet dans le congélateur, où la pression est beaucoup plus basse. Le liquide se vaporise immédiatement et absorbe pour 1 kilogramme de son poids une quantité de chaleur représentée par L+M, d'autant plus considérable que la température du congélateur est plus basse. La limite théorique se trouve atteinte quand le liquide est complètement

évaporé et que le maximum du froid que le corps peut produire est obtenu.

On voit d'après cela quel grand rôle joue dans les machines à glace la chaleur latente des diverses substances employées. Plus cette chaleur est grande, c'est-à-dire plus les rectangles $M+N$ sont grands, plus un kilogramme de liquide peut enlever de calories de chaleur; d'un autre côté, moins la chaleur latente d'un corps est grande, plus il en faut pour produire un effet donné.

L'acide carbonique produit, par exemple, un froid tellement intense (-78°), que quand on fait travailler cette machine à des températures plus élevées, à -20° , par exemple, le rapport des surfaces $\frac{M}{M+N}$ est de beaucoup diminué et une fraction seulement de l'acide carbonique se vaporise, le reste demeurant liquide et ne produisant par conséquent pas d'effet réfrigérant. En conséquence, pour la production du froid n'exigeant pas une grande réduction de température, les machines à acide carbonique sont placées dans une infériorité marquée comparées aux machines à ammoniaque ou à anhydride sulfureux, chez lesquelles les rapports $\frac{M}{M+N}$ sont beaucoup plus élevés.

Le tableau suivant résume les différents calculs du professeur Zeuner ayant trait aux machines à rafraîchir :

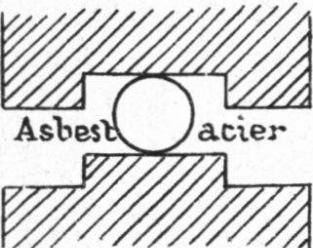
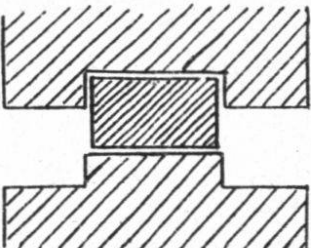
| | Ether | Anhydride sulfureux | Ammoniaque | Acide carbonique | Air |
|--|------------------|---------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Pressions absolues. Kg. cm ² correspondant aux temp. de -15° | 0,12 | 0,83 | 2,37 | 23,9 | |
| Idem de $+20^{\circ}$ | 0,59 | 3,34 | 8,79 | 60,8 | |
| Force en HP pour produire Q frigories par seconde . . . | 0,88Q | 0,85Q | 0,83Q | 1,48Q | 0,87Q |
| Force théorique en HP pour produire Q frigories par seconde | 0,77Q | 0,77Q | 0,77Q | 0,77Q | 0,77Q |
| Rendement | 0,87 | 0,90 | 0,92 | 0,53 | |
| Volume du compresseur acide carbonique = 1 pour une même vitesse de piston . . . | 68,2 | 10,4 | 3,7 | 1 | 488 |
| Kg. glace par HP heure { théorique pratique | | | 47 kg. 25 kg. | | 33 kg. 4,10kg. |
| Chaleur latente du kg. de liquide à $+20^{\circ}$ = surf. M+N . . . | 92 cal. | 84,7 cal. | 300 cal. | 38 cal. | 0,3 cal. |
| Plus grand froid produit par l'évaporation du liquide . . . | -23° | -10° | $-33^{\circ},7$ | -78° | |
| Température critique | | 155° | 130° | $31^{\circ},9$ | |
| Nombre de machines livrées à fin 1892. | Entre 500 et 600 | 1600 | 174 | | |

En résumant les diverses observations que nous venons de présenter, on peut admettre que les pressions nécessaires pour la liquéfaction de l'acide carbonique sont tellement élevées et sa chaleur latente si faible, que ce corps présente de sérieux inconvénients pratiques.

L'anhydride sulfureux et l'ammoniaque emploient théoriquement la même force ; pratiquement, les rentrées d'air dans le cylindre de la machine à anhydride sulfureux et la faible chaleur latente de ce gaz, comparée à celle de l'ammoniaque, le placent dans un sérieux désavantage à l'égard de cette dernière.

On peut conclure en disant que, pour le présent, les machines à ammoniaque sont les plus parfaites qui existent et que la faveur toujours croissante qu'on leur témoigne est entièrement justifiée.



| Ammoniaque | Anhydride sulfureux | Acide carbonique |
|--|--|---|
| — Jonction de tuyaux — | | |
|  <p>Asbest acier</p> <p>Rondelle d'asbeste enveloppée d'acier</p> |  <p>10^m/m</p> <p>Bagues en étain</p> |  <p>Rondelles de cuir</p> |
| — Presse-étoupe du Piston — | | |
| <p>Toile caoutchouguée, Cordes en coton ou bagues métalliques, longueur 0^m150.</p> | <p>Rondelles de liège et tresses de coton trempées dans la stéarine; longueur 0^m100.</p> | <p>Rondelles de cuir.</p> |
| — Graissage — | | |
| <p>Huile minérale. Huile de machines.</p> | <p>Pas de graissage</p> | <p>Glycérine</p> |
| — Quantité de liquide employé par an — | | |
| <p>10 à 20 Kilog.</p> | <p>15 à 20 Kilog.</p> | <p>60 à 150 Kilog.</p> |
| — Prix du liquide — | | |
| <p>Fr. 2.65</p> | <p>Fr. 4.00</p> | <p>Fr. 1.50</p> |
| — Qualité d'ouvrage livré — | | |
| <p>Irreprochable</p> | <p>Bon courant</p> | <p>Irreprochable</p> |