

5105

AP 998

78

ASSOCIATION FRANÇAISE

POUR

L'AVANCEMENT DES SCIENCES

FUSIONNÉE AVEC

L'ASSOCIATION SCIENTIFIQUE DE FRANCE

(Fondée par Le Verrier en 1864)

Reconnues d'utilité publique

CONFÉRENCES DE PARIS

COMPTE RENDU DE LA 28^{ME} SESSION

PREMIÈRE PARTIE

DOCUMENTS OFFICIELS. — PROCÈS-VERBAUX



PARIS

AU SÉCRÉTARIAT DE L'ASSOCIATION

28, rue Serpente (Hôtel des Sociétés savantes)

ET CHEZ MM. G. MASSON et C^e, LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
120, boulevard Saint-Germain.

BIBLIOTHÈQUE DE L'USTL
AP 298-1899-1-172
Magasin

M. F. DOMMER

Professeur à l'École municipale de Physique et de Chimie industrielles de Paris.

L'AIR LIQUIDE. — PRÉPARATION INDUSTRIELLE. — APPLICATIONS

— 16 février. —

Les gaz réputés permanents furent liquéfiés en 1877 par Cailletet et Pictet.

On croyait autrefois qu'en exerçant une pression suffisamment élevée, on pouvait faire passer un gaz à l'état liquide.

En 1822, Cagniard de la Tour observa qu'un liquide pouvait être totalement transformé en vapeur sous un volume qui n'était que deux ou trois fois supérieur à celui qu'il occupait primitivement, mais il n'avait pas tiré de conclusions de cette transformation.

En 1845, Faraday, qui avait soumis l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, l'oxyde de carbone, le bioxyde d'azote à une température de -110° , et à des pressions de 27 à 50 atmosphères sans observer aucun indice de liquéfaction, émettait l'opinion suivante : Cagniard de la Tour a montré qu'à une certaine température, et sous une pression suffisante, un liquide se transformait en un gaz transparent sans changer de volume ; à cette température ou à une température un peu supérieure, il n'est pas probable qu'une augmentation de pression, à moins qu'elle ne soit très considérable, puisse liquéfier le gaz ; la température de -110° serait donc insuffisante pour liquéfier l'oxygène, l'hydrogène et l'azote.

En 1850, M. Berthelot avait cherché à liquéfier les gaz par la pression seule ; il soumettait l'oxygène dans des tubes thermométriques, à parois très résistantes, à des pressions de 800 atmosphères, sans traces de liquéfaction.

Andrews, en 1861, soumit les gaz permanents à des pressions énormes, et à la température que permettait le mélange de Thilorier, et réduisit leur volume au 1/500 sans liquéfaction.

Mais il observa, pour l'acide carbonique, le phénomène constaté par Cagniard de la Tour : après avoir liquéfié l'acide carbonique, il vit qu'à 31 degrés la surface de démarcation entre le gaz et le liquide disparaissait, et il obtenait un fluide homogène, qui remplissait le tube.

Il ne put, au-dessus de 31 degrés, séparer la matière en deux formes distinctes, même à 300 et 400 atmosphères.

Donc, l'acide carbonique peut prendre l'état liquide jusqu'à 31 degrés. Cette température est appelée par Andrews *point critique*.

A cette température, le fluide possède des propriétés particulières ; le poids spécifique du liquide est égal à celui de la vapeur, la chaleur latente de vaporisation est nulle, c'est-à-dire que le liquide passe à l'état de vapeur sans apport de chaleur ; enfin, la tension superficielle est nulle ; il n'y a plus d'ascension dans les tubes capillaires.

D'après Andrews, toute substance serait une vapeur au-dessous de son point critique, et un gaz au-dessus ; une vapeur peut se changer en liquide sous l'effet de la pression seule ; il n'en est pas de même d'un gaz ; l'acide carbonique sera donc une vapeur jusqu'à 31 degrés, et un gaz au-dessus. En résumé, il faudra donc, pour liquéfier un gaz, abaisser sa température au-dessous du point critique, et le comprimer à une pression correspondante, appelée *pression critique* ; par exemple, la température critique de l'oxygène est de — 118 degrés, et la pression critique, 50 atmosphères ; pour l'azote — 140 degrés, et la pression critique, 33 atmosphères. Le point critique de l'air étant de — 140 degrés, et sa pression critique, 40 atmosphères, pour liquéfier l'air, il faut d'abord abaisser sa température à — 140 degrés, et le comprimer à 40 atmosphères. Mais il est toujours possible de liquéfier un gaz sous une pression plus faible que la pression critique, à la condition d'abaisser sa température au-dessous du point critique.

En effet, l'air étant considéré comme une vapeur au-dessous du point critique, il faudra, pour le liquéfier à une pression donnée, le refroidir à une température pour laquelle cette pression donnée devient une tension maxima. Par exemple, pour liquéfier l'air à la pression atmosphérique, il faudra le refroidir à — 190 degrés ; car, à cette température, la tension maxima de la vapeur d'air est égale à 1 atmosphère.

Je rappellerai que, pour la liquéfaction des gaz permanents, M. Pictet s'est servi d'une machine à cascades composée de deux cycles : 1^o cycle à acide sulfureux produisant une température de — 65 degrés, et 2^o cycle à acide carbonique liquide, produisant une température de — 140 degrés.

M. Cailletet se servait d'une pompe de compression comprimant le gaz à 300 atmosphères, et le refroidissait à — 30 degrés ; par la détente du gaz comprimé, l'oxygène apparaissait sous forme de brouillard.

Mais l'oxygène et l'azote n'avaient pas encore été obtenus à l'état statique, c'est-à-dire à l'état de liquide permanent.

Wroblewski apporta, en 1883, une solution définitive à la question ; dans son appareil, il faisait détendre le gaz de 300 à 100 atmosphères, et le tube de liquéfaction était plongé à l'intérieur d'une éprouvette, dans laquelle il évaporait de l'éthylène sous une pression de 20 millimètres.

L'éthylène liquide bout à — 103 degrés sous la pression atmosphérique, et à — 136 degrés sous la pression de 25 millimètres de Hg ; et dans le vide, on peut obtenir une température de — 152 degrés.

J'indiquerai, d'après Wroblewski, les nombres suivants :

	Température critique.	Pression critique.	Point d'ébullition sous la pression 0,74.	et sous pression.
Az	— 115°	33,6	— 193°	4,2, — 206°
CO	— 141	35,	— 190	4°, — 201°,6
O	— 118	50,	— 181,5	2°, — 200°,4

Wroblewski liquéfia également l'ozone à — 181°,5, dans l'oxygène bouillant.

Il obtint la solidification de l'azote par son évaporation dans le vide, à une température de -225 degrés.

L'oxygène reste liquide sous une pression de 4 millimètres, à -211 degrés.

D'après Olzewski, le point critique de l'hydrogène serait -234 degrés, et en produisant son ébullition sous la pression atmosphérique, il obtenait une température de -243 degrés.

Nous allons étudier maintenant les machines qui peuvent servir à la liquéfaction de l'air. Nous pouvons les diviser en trois catégories :

- 1° Machines à cascades, à cycles multiples et fermés ;
- 2° Machines basées sur la détente d'un gaz comprimé produisant du travail ;
- 3° Machines à détente de gaz comprimé, basées sur l'effet Joule et lord Kelvin.

Les machines de première espèce sont basées sur le froid produit par l'évaporation d'un liquide volatil, d'un gaz liquéfié, par exemple. Nous donnerons comme type la machine installée au laboratoire cryogène de Leyde, et dont voici le principe :

Un premier gaz liquéfié est refroidi fortement, par son évaporation rapide sous l'influence d'un abaissement de pression produit par une pompe ; le bain réfrigérant formé par ce liquide permet de liquéfier sous pression un deuxième gaz, dont le point critique est plus bas ; l'ébullition rapide de ce deuxième gaz liquéfié abaisse sa température, et donne un bain réfrigérant, plus bas que le premier ; ce bain pourra servir à liquéfier un troisième gaz, à température critique encore plus basse ; nous pourrions donc ainsi abaisser graduellement la température.

La cascade peut comprendre 2, 3 ou 4 gaz liquéfiés, choisis de façon que leurs températures critiques forment une cascade.

Par exemple, dans la machine Pictet :

Le 1^{er} cycle (mélange de CO_2 et SO_2) donne -110° ;

Le 2^e cycle (protoxyde d'azote) donne -160° ;

Le 3^e cycle (air) donne -213° .

On obtiendra évidemment la plus basse température possible par l'emploi d'une cascade ayant pour dernier échelon le gaz, dont la température critique est la plus basse de toutes.

Cette méthode serait onéreuse si les vapeurs résultant de l'ébullition des liquides étaient perdues, mais ceux-ci parcourent des cycles fermés, dans lesquels le même liquide ressert constamment ; la dépense des gaz est faite une fois pour toutes.

Machine à 3 cycles, installée au laboratoire de Leyde :

1^{er} cycle : le chlorure de méthyle, dont le point critique est $+141^\circ$, et la pression critique, 72 atmosphères, est contenu dans un réservoir A, et se rend dans un réservoir B, dans lequel il entre en ébullition, en produisant une température de -20 à -70° ; les vapeurs sont aspirées par une pompe, passent dans un échangeur de température, où elles circulent en sens contraire de l'éthylène comprimé du 2^e cycle ; elles sont comprimées par la pompe, renvoyées en A, et liquéfiées.

Le 2^e cycle est le cycle de l'éthylène (dont la température critique est $+10,1$, et la pression, 51 atmosphères).

L'éthylène liquide s'écoule dans un vase à ébullition, dans lequel il se produit une température très basse (-130°) par l'ébullition de l'éthylène dans le vide ; la vapeur d'éthylène s'échappe par un tube, dont l'axe est occupé par un tube de cuivre qui amène l'oxygène comprimé en sens inverse ; enfin, les

vapeurs d'éthylène aspirées par la pompe passent par un serpentin, où elles sont refroidies par le chlorure de méthyle, puis dans un tube condenseur réfrigérateur, plongé dans le chlorure de méthyle bouillant, où l'éthylène se liquéfie.

3^e cycle : l'oxygène, comprimé par un compresseur, passe par un serpentin placé à l'intérieur du vase à ébullition de l'éthylène ; il utilise le pouvoir refroidissant de l'éthylène, et se liquéfie.

L'oxygène coule dans la boîte et dans le verre à ébullition ; la vapeur d'oxygène qui s'échappe entre le jet et le tube extérieur circule autour de l'appareil, formant chemise de vapeur ; l'oxygène bout dans le verre sous une pression réduite, et la température s'abaisse à -200° . On peut aussi obtenir l'air liquide sous la pression atmosphérique, dans le récipient refroidi à -200° .

Machines à gaz détendu avec production de travail. — Ces machines sont basées sur un principe de thermodynamique bien connu, qui est le suivant :

Si l'on fait détendre dans un cylindre un gaz comprimé produisant du travail sur un piston, il en résulte un abaissement de température considérable ; par exemple, un gaz comprimé à 200 atmosphères, que l'on fait détendre adiabatiquement à la pression atmosphérique, donne un abaissement de -240° .

L'air ainsi refroidi est conduit dans un échangeur de température, où l'air comprimé arrive en sens inverse, et se refroidit avant sa détente ; on peut ainsi obtenir une série d'abaissements de température successifs.

Mais tous les corps mélangés à l'air, l'eau, l'acide carbonique, la matière lubrifiante, se solidifient dans les détendeurs ; de plus, il fallait compter avec la difficulté de protéger les appareils contre le rayonnement calorifique extérieur.

La température la plus basse obtenue dans ces machines n'a pas dépassé -95° .

Elles n'ont pu, jusqu'à présent, remplir le but que s'étaient proposé les inventeurs, de liquéfier l'air.

Machines à détente de gaz utilisant l'effet Joule et lord Kelvin. — Nous allons en étudier deux types : la machine de Linde et la machine Hampson. Lord Kelvin et Joule ont démontré, depuis plus de quarante ans, que l'air atmosphérique n'est pas un gaz parfait, et que lorsqu'il s'écoule d'une pression élevée à une pression plus basse, par exemple en faisant passer le gaz par une petite ouverture, il se produit un refroidissement θ donné par la formule

$$\theta = 0,276 (p_1 - p_2) \left(\frac{273}{P} \right)^2,$$

où $p_1 - p_2$ représente la différence de pression en atmosphères, θ la température absolue du jet.

C'est sur le froid résultant de cette détente continue qu'est basée cette nouvelle machine. Le refroidissement est très faible : $1/4$ de degré par atmosphère de chute exigerait des pressions énormes, environ 800 atmosphères, pour abaisser la température de l'air à -220° . Ces pressions ne seraient pas pratiques. M. Linde a tourné la difficulté en accumulant les effets de la détente continue, c'est-à-dire en combinant plusieurs écoulements successifs, de façon que l'abaissement de température produit par un écoulement soit transmis à l'air comprimé qui doit produire l'écoulement suivant.

La figure 1 représente un schéma de cette machine ; elle se compose d'un compresseur C, qui comprime l'air à 220 atmosphères ; la chaleur de compres-

sion est enlevée à l'air pendant son passage dans le refroidisseur R ; de là, l'air comprimé parcourt de haut en bas un serpentin $t_1 t_2$, et arrive à un robinet détenteur (r), où il se détend à 20 atmosphères dans un réservoir G, et se refroidit environ de 50°. Cet air détendu parcourt en sens inverse un deuxième serpentin, qui entoure le premier ; l'ensemble de ces deux serpentins constitue l'appareil à contre-courant ; le gaz, dans son trajet, cède le froid produit à l'air comprimé à 220 atmosphères, de sorte qu'à l'extrémité du deuxième serpentin, l'air détendu à 20 atmosphères retourne au compresseur, à la température ambiante.

La température de l'air qui arrive au robinet de réglage est continuellement abaissée par l'air qui se détend, jusqu'à ce que la température de liquéfaction soit atteinte, et qu'une partie de l'air qui s'écoule se rassemble dans le récipient adapté à l'extrémité de l'appareil.

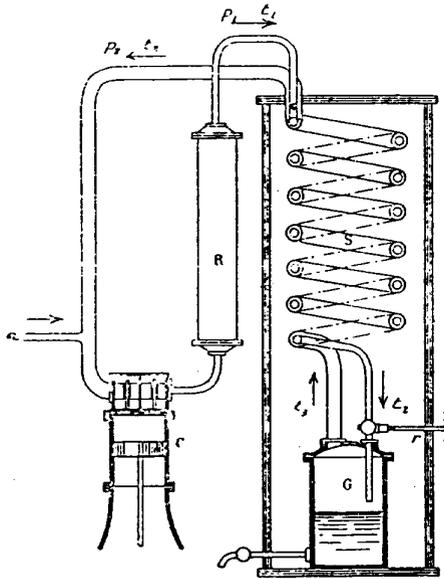


FIG. 1.

C, Compresseur d'air à 220 atmosphères. — R, Réfrigérant ramenant l'air comprimé à la température ambiante. — t_1, t_2 , Serpentin intérieur parcouru de haut en bas par l'air comprimé à 220 atmosphères. — r , Robinet détenteur. — G, Réservoir où l'air se détend de 220 atmosphères à 20 atmosphères, et où une partie du liquide se liquéfie par la détente. — t_3, t_4 , Serpentin extérieur que l'air détendu parcourt de bas en haut. Cet air revient au compresseur. — a , Tubulure apportant de l'air nouveau pour remplacer celui qui se liquéfie.

Le refroidissement ne dépend que de la chute de pression $p_1 - p_2$, tandis que le travail de compression dépend de $\frac{p_1}{p_2}$; il y a donc avantage à avoir $p_1 - p_2$ très grand, et $\frac{p_1}{p_2}$ le plus petit possible.

M. Linde a fait $p_1 = 220$ et $p_2 = 20$ et non 1 ; en effet $p_1 - p_2 = 200$ et $\frac{p_1}{p_2} = \frac{220}{20} = 11$, au lieu de $\frac{p_1}{p_2} = 200$.

La Société des appareils Linde construit, pour les laboratoires, le modèle représenté *figure 2*, formé d'un compresseur à deux cylindres et de l'appareil à contre-courant, qui se compose de trois serpentins concentriques en cuivre.

L'air comprimé à 200 atmosphères parcourt de haut en bas le serpentin intérieur, se détend à 16 atmosphères en traversant le robinet *a*, et retourne, par l'espace annulaire compris entre le tuyau intérieur et le tuyau médian, au petit cylindre *d* du compresseur, qui le comprime de nouveau à 200 atmosphères, pour lui faire recommencer le même cycle.

Le grand cylindre (*e*) du compresseur refoule dans la conduite d'aspiration du petit compresseur à 16 atmosphères, une petite quantité d'air pris à la pression atmosphérique ; une quantité égale d'air doit donc quitter le cycle, pour que la pression reste constante dans l'appareil.

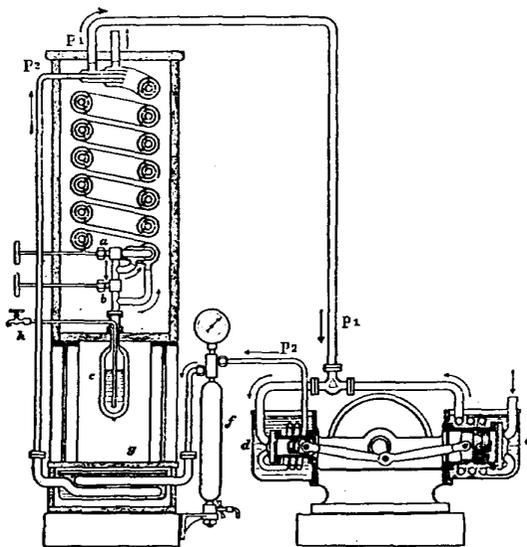


FIG. 2.

Récipients en verre, de Dewar, avec double enveloppe à vide parfait.

A l'extrémité de l'appareil, une quantité d'air réglée par le robinet *C* s'écoule de 16 à 1 atmosphère ; une partie, 5 0/0, se liquéfie après que l'appareil a été à la température de liquéfaction, ce qui demande une heure un quart de marche avec l'appareil n° I ; avec l'appareil n° III, le régime est obtenu après trente-cinq minutes. Enfin, Linde établit en ce moment un appareil de laboratoire qui ne pèsera que deux kilogrammes, et qui donnera de l'air liquide huit à douze minutes après la mise en marche.

L'air liquide se rassemble dans un récipient en verre *e* à doubles parois, entre lesquelles existe le vide de Crookes ; on retire le liquide par le robinet *h*, au moyen d'un tuyau qui plonge jusqu'au fond du récipient ; la portion d'air qui ne se liquéfie pas à la sortie du deuxième robinet quitte l'appareil, et s'échappe dans l'atmosphère par le vide annulaire ménagé entre les serpentins médian et extérieur. On injecte continuellement de l'eau dans la conduite d'aspiration du compresseur à basse pression, pour réduire l'influence des espaces

nuisibles, et pour abaisser la température finale de la compression. Cette eau et la vapeur d'eau contenue dans l'air aspiré doivent être séparées, pour éviter la formation de la glace qui obstruerait le serpentín intérieur. Ce résultat s'obtient par le séparateur d'eau *f* et par un serpentín en fer *g*, refroidi au-dessous de 0° au moyen d'un mélange de glace et de chlorure de calcium, dans lequel la vapeur d'eau se congèle. Cette machine produit 1,111 centimètres cubes d'air liquide par trois chevaux-heure (*fig. 3*).

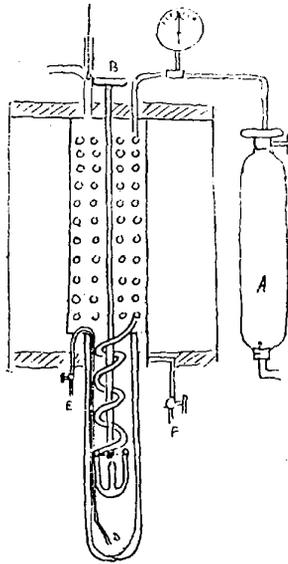


FIG. 2.

La machine Hampson est basée sur le même principe que la machine de Linde, mais la détente du gaz se fait de la pression de compression à la pression atmosphérique. Dans cette machine, qui fonctionne dans les établissements Brins (oxygène) de Westminster; la liquéfaction se produirait seize minutes après la mise en marche, avec une pression de compression de 120 atmosphères, et au bout de 10 minutes, avec une pression de 130 atmosphères, en refroidissant préalablement l'air au moyen de l'acide carbonique solide. La liquéfaction commence au bout d'une minute. D'après l'inventeur, il se liquéfie 6,6 0/0 de l'air qui traverse l'appareil. Nous allons donner une description sommaire de cette machine : l'air comprimé pénètre, par une conduite, dans un récipient cylindrique contenant de la potasse destinée à arrêter la vapeur d'eau et l'acide carbonique; l'air s'écoule par la partie supérieure, au moyen d'une conduite munie d'un manomètre, traverse les nombreuses spires d'un serpentín, et arrive au robinet détenteur réglable; la dernière spirale est entourée par un manchon de verre à double paroi, dans lequel existe le vide; le gaz est instantanément décomprimé et liquéfié; il se rassemble dans un récipient à vide, tandis que le gaz non liquéfié ou réévaporé s'échappe dans le récipient où se trouvent logées les nombreuses spires du serpentín, et refroidit le gaz qui va se détendre; l'air liquide peut être retiré par un siphon.

D'après l'inventeur, la machine produirait 0 lit. 75 d'air liquéfié pour une puissance de trois chevaux-heure.

L'extraction de l'oxygène de l'air est certainement la plus importante des applications industrielles. Pendant la liquéfaction de l'air, ses éléments passent simultanément à l'état liquide, bien que l'azote soit plus volatil que l'oxygène ; mais pendant la réévaporation, l'azote se dégage le premier ; il est donc possible d'utiliser ce fait pour séparer l'O de l'azote.

Ce résultat est obtenu par la disposition suivante (fig. 4) : l'air comprimé est distribué en *a* à deux appareils à contre-courant, N et O qui se réunissent en *b*, s'écoule par un serpentin placé dans le collecteur, et arrive enfin, par le robinet *r*, dans le collecteur, où une partie (principalement l'oxygène) se liquéfie, tandis que l'autre partie, formée principalement d'azote, retourne par l'appareil tubulaire N, qu'elle quitte en *n*.

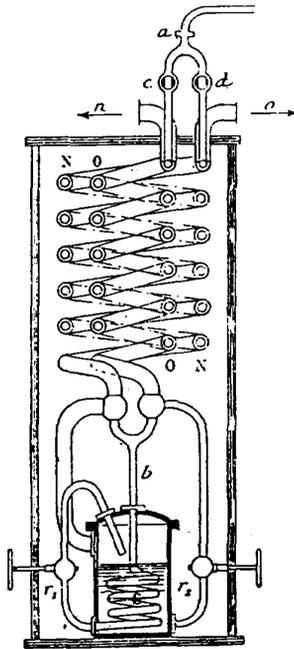


FIG. 4.

Au moyen du serpentin placé dans le liquide, l'air comprimé cède de la chaleur à ce liquide et en provoque l'évaporation, principalement celle de l'azote.

Le robinet r_2 permet de régler la sortie du liquide du collecteur, de façon à pouvoir faire varier à volonté le niveau de ce liquide, et par conséquent la surface active du serpentin, pour assurer à l'oxygène un certain degré de pureté. Le liquide qui sort en r_2 , plus ou moins pur, passe dans l'appareil à contre-courant O. De cette façon, la machine n'a à produire que le froid nécessaire pour compenser les pertes dues à l'imperfection des échangeurs et au rayonnement. Cette machine peut produire un mètre cube d'oxygène à la pression atmosphérique, par cheval et par heure. En supposant le cheval-heure à deux centimes et demi avec moteur à gaz pauvre, le prix du mètre cube d'oxygène serait

actuellement de deux centimes et demi, mais il doit descendre bien au-dessous.

Applications. — La construction de ces dernières machines, permettant de liquéfier l'air industriellement, a déjà, quoique de date récente, permis d'entrevoir et même de réaliser des applications importantes. Parmi les plus intéressantes, nous citerons l'emploi d'un mélange d'air liquide et de charbon pulvérisé comme explosif pouvant remplacer la dynamite, et dont l'explosion se produit de la même manière. Si l'on mélange de l'air liquide avec du charbon de bois pulvérisé, on ajoute au mélange un tiers de son poids de coton ; on forme une espèce d'éponge, que l'on dispose dans une cartouche en papier, et que l'on place dans le trou de mine. Cet explosif doit être utilisé immédiatement ; il conserve ses propriétés dix minutes ; après trente minutes, sa force est détruite. Ses avantages sont les suivants : son bon marché ; la sécurité résultant de ce qu'une explosion n'est plus à craindre après coup, si une cartouche vient à rater ; enfin l'impossibilité de le voler et de l'utiliser pour des attentats. Des essais ont été faits dans une mine de charbon de Penzberg, près Munich.

D'après Linde, la fabrication d'un kilo de matière explosive exigerait de quatre à cinq chevaux-heure. On a proposé de l'employer au percement du tunnel du Simplon entre Brigue et Domod Ossoda, où l'on a monté deux machines Linde devant produire six à sept litres d'air liquide par heure. L'air riche en oxygène a déjà été essayé à l'usine de produits chimiques *la Rhenania*, près d'Aix-la-Chapelle, pour la fabrication du chlore par le procédé Deacon, où l'on a installé une machine Linde de cent cinquante chevaux, produisant à l'heure soixante-dix litres d'oxygène liquide, destinés à remplacer l'air par un gaz plus riche en oxygène, à obtenir le chlore liquide par le froid produit, et le séparer facilement de l'azote restant. Ce procédé n'a pas donné un résultat économique.

On essaie actuellement l'emploi de l'air riche en oxygène dans la fabrication de l'acier, par le procédé Siemens-Martin ; on fait arriver de l'air au gazogène avec un jet de gaz riche en oxygène ; on obtient une température plus élevée et des produits plus purs, principalement pour les plaques de blindage.

Enfin, on propose l'emploi de l'oxygène dans la fabrication de l'acide sulfurique, pour remplacer l'acide nitrique dans la première chambre de plomb.

M. Borchers a déjà réalisé une application des plus importantes dans la préparation du carbure de calcium, par la combustion directe du charbon en présence de la chaux ; étant donné le prix de l'oxygène obtenu par les procédés que nous venons d'étudier, le prix de revient serait inférieur à celui obtenu par le four électrique (des essais sont faits à Néheim, près d'Aix-la-Chapelle, où on emploie une machine produisant cinquante mètres cubes d'oxygène pur). J'indiquerai, comme futures applications, la trempe de l'acier aux basses températures, les appareils de soudure, la navigation sous-marine, les scaphandres, la navigation aérienne, le vieillissement des cognacs et la purification du chloroforme.

Le caoutchouc devient friable comme de la terre cuite ; la viande, le beurre, le jaune d'œuf deviennent durs, sonores et peuvent se réduire en poudre ; l'acier au nickel, trempé aux basses températures, devient magnétique ; la résistance électrique des métaux diminue très rapidement aux basses températures.

M. d'Arsonval a étudié l'action de l'air liquide sur les ferments solubles : l'iavertine de la levure de bière, le suc pancréatique, et sur la cellule de la

levure de bière ; malgré des séjours de une heure à six heures, les ferments n'ont été modifiés dans leur activité ni par le froid, ni par le contact de l'oxygène condensé.

Les microbes pathogènes, par exemple celui de la diphtérie, sont à peine influencés par un séjour prolongé au contact de l'air liquide. L'air liquide ne constitue pas un antiseptique, et il n'y a pas lieu de compter sur les grands froids pour détruire les épidémies d'origine microbienne.

L'ozone, dans les mêmes conditions, s'est montré aussi inactif que l'oxygène liquide.

M. d'Arsonval a préparé de l'ozone très concentré, qu'il a fait dissoudre dans l'air liquide. Les microbes et les toxines laissés dans ce liquide n'ont pas été sensiblement atténués, ce qui est une nouvelle preuve de l'état d'indifférence chimique dans lequel tombe la matière vivante à ces basses températures.

Nous rappellerons l'emploi des puits de froid, c'est-à-dire l'emploi thérapeutique du froid, appelé *frigothérapie*.

Ce procédé serait basé en partie sur la perméabilité des substances mauvaises conductrices pour les ondes froides, à grande longueur d'onde. M. d'Arsonval vient de démontrer que les ondes calorifiques à grande longueur d'onde ne traversent pas les corps mauvais conducteurs, tels que la laine, etc.

D'après M. Pictet, si l'on introduit un animal à sang chaud dans une enceinte très froide, à -100° , il perd de la chaleur ; le cœur s'accélère, la respiration devient plus profonde, la quantité d'oxygène fixée dans les poumons augmente, les fonctions de la digestion sont excitées ; les glandes, le foie, le pancréas, sécrètent plus activement les sucs intestinaux.

Un chien, dans ces conditions, garde sa température centrale constante pendant près de deux heures ; puis il perd successivement toutes les extrémités : oreilles, pattes, etc., et tombe comme foudroyé en quelques minutes.

D'après le rapport de MM. Cordes et Chossat, de Genève, en exposant l'organisme à une perte continue de son calorique, pour le mettre dans la nécessité de produire une plus grande quantité de chaleur, on pourrait provoquer une stimulation générale, et obtenir des effets utiles sur les échanges nutritifs ; ils ont constaté la diminution de l'excrétion des matières azotées, urée, acide urique, et des phosphates. La frigothérapie aurait une influence sur la chlorose, l'obésité et la glycosurie. M. Ribard, médecin de l'hôpital Boucicaut, a fait sur certains malades, pour stimuler la digestion, des applications d'un mélange d'acide carbonique solide et de chlorure de méthyle, en interposant une épaisseur d'ouate, d'après les mêmes principes.

Quels sont les effets de l'air liquide sur la peau ? Versé directement sur la peau, l'air liquide ne produit pas de brûlures. Cela tient à ce qu'il n'y a pas de contact, le liquide prenant l'état sphéroïdal. Si la peau est mouillée, il y a brûlure, mais brûlure superficielle, car la couche de glace isole les parties sous-jacentes.

Pour conserver l'air liquide, il faut des récipients aussi imperméables que possible à la chaleur. M. d'Arsonval a inventé des vases spéciaux, où l'enveloppe est constituée par le vide de Crookes.

On obtient encore un meilleur résultat avec un ballon argenté. Dans ces ballons, de deux litres et demi, on peut conserver l'air liquide pendant quinze jours ; ils perdent six centimètres cubes par heure, soit 144 centimètres cubes par jour.

Je rappellerai quelques découvertes scientifiques obtenues avec l'air liquide.

C'est au moyen de l'abaissement de température à -210° produit par l'ébullition de l'air liquéfié, que MM. Moissan et Dewar ont liquéfié le fluor.

Le fluor liquéfié perd son activité chimique ; il n'a d'action ni sur l'oxygène liquide, ni sur le mercure, qui reste brillant, et il n'a pas d'action sur l'eau congelée à -210° .

Ramsay et Travers, en soumettant à une distillation fractionnée huit cents centimètres cubes d'air liquide, après avoir retiré l'oxygène, l'azote et l'argon, ont obtenu un résidu de dix centimètres cubes présentant, dans le spectre, des raies inconnues ; ils constatèrent la présence d'un nouveau corps simple, appelé *krypton*.

Enfin, dans la séance du 6 février 1899, MM. Auguste et Louis Lumière ont présenté une note sur l'action chimique de la lumière, aux basses températures que l'on peut obtenir facilement avec l'air liquide ; ils ont constaté qu'une plaque au gélatino-bromure d'argent, plongée dans l'air liquide, n'était pas influencée par la lumière durant un temps court. Pour des plaques de sensibilité maximum, il faut un temps de trois cent cinquante à quatre cents fois plus considérable à -191° , qu'à la température ordinaire ; en outre, les plaques plongées dans l'air liquide ne subissent aucune modification permanente, et conservent, lorsqu'elles sont ramenées à la température ordinaire, toutes leurs propriétés.

Les phénomènes chimiques provoqués par les rayons lumineux aux très basses températures, paraissent donc supprimés d'une façon générale.

Les substances phosphorescentes, excitées préalablement par la lumière, perdent instantanément leurs propriétés particulières, lorsqu'on abaisse la température à -191° ; leur faculté de luire est suspendue par le froid, et non détruite ; il suffit de les ramener à la température ordinaire pour qu'elles reprennent leur phosphorescence.

Enfin, la paraffine devient phosphorescente dans l'air liquide.