



Ci-dessus, l'air liquide à  $-206^{\circ}\text{C}$ . est tellement chaud qu'il fait bouillir l'hélium liquide ( $-269^{\circ}\text{C}$ .) lorsqu'on mélange les deux liquides. Ci-dessous, le laboratoire de la General Electric.

# MÉCANIQUE POPULAIRE

DÉCEMBRE 1950

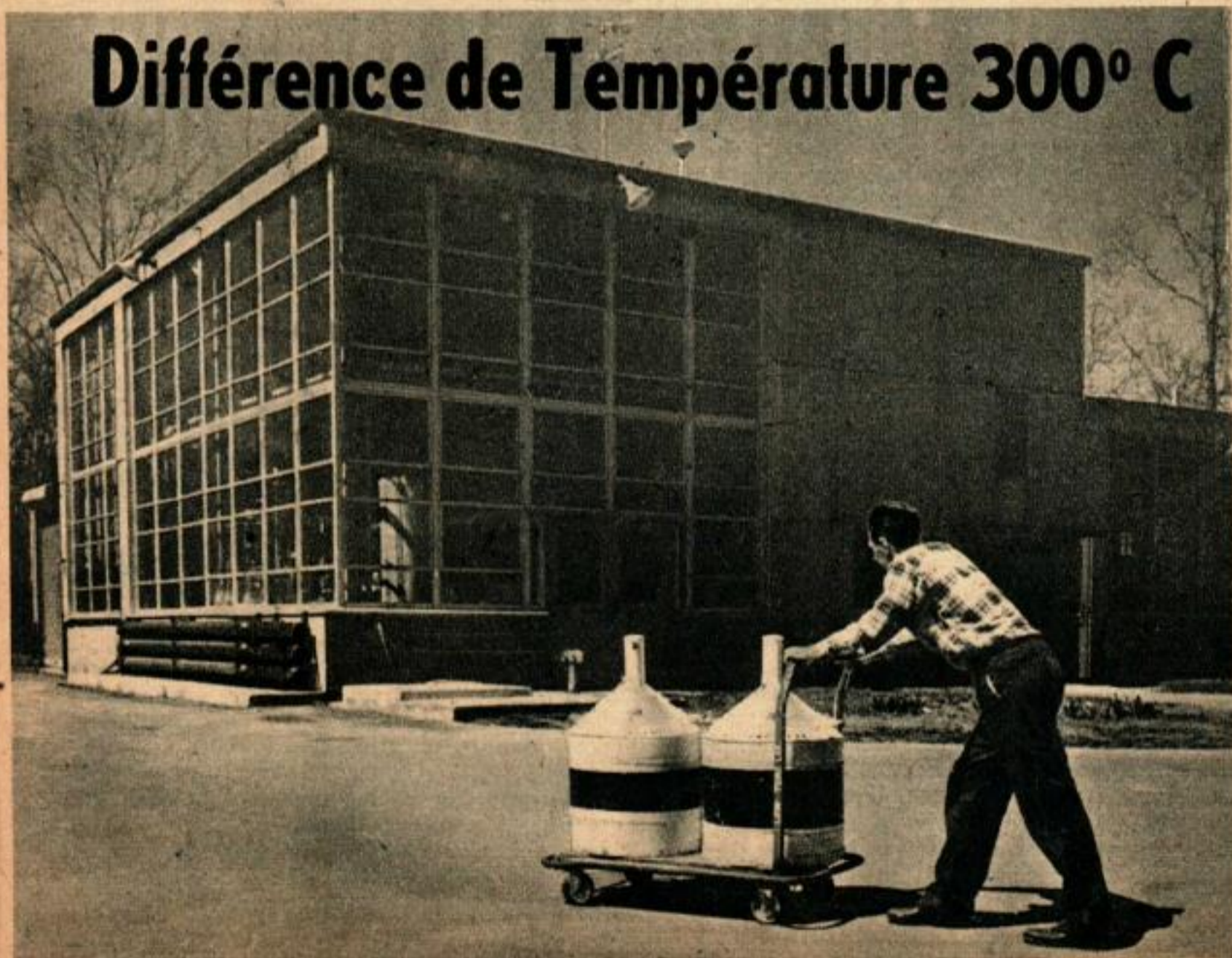
MAGAZINE ÉCRIT POUR TOUS  
VOL. 9 N° 6

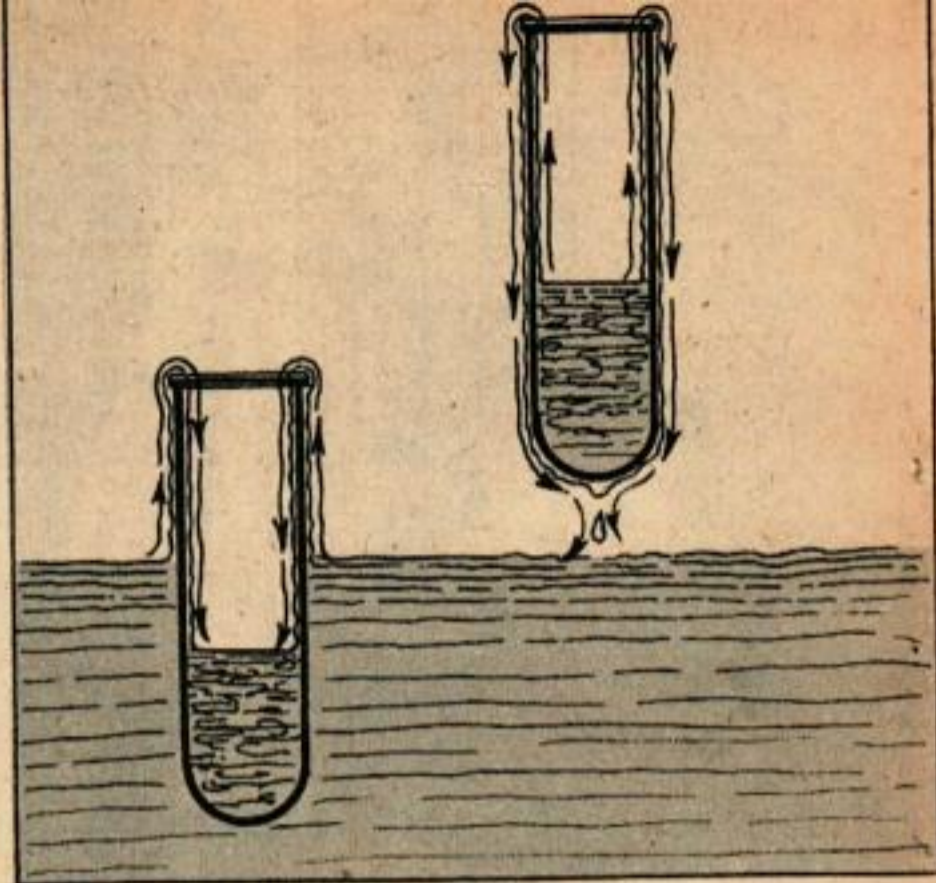
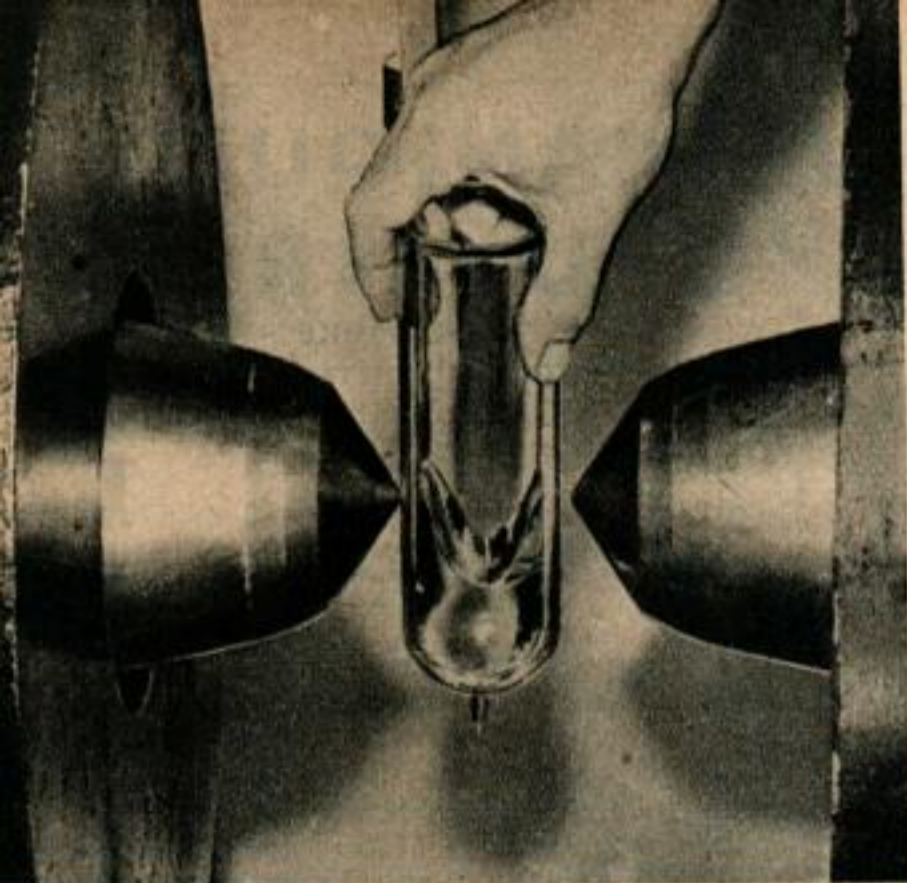
par Michael Day

**I**L fut une époque reculée pendant laquelle on pensait que 50 degrés au-dessous du zéro du thermomètre représentaient une température effroyablement basse. Il est vrai qu'une telle température est parfaitement capable de geler le bout du nez, d'immobiliser les doigts des mains et des pieds et de faire éclater les chemises de refroidissement d'un moteur s'il n'y a pas assez d'antigel dans le radiateur.

Sur une colline escarpée est installé un laboratoire dans lequel le docteur Milan Fiske, physicien appartenant à la General Electric, explique avec un sourire que, pour lui,  $-50$  degrés C. représentent le rouge vif. La raison de cette manière de voir réside dans le matériel qui l'entoure : bidons cylin-

## Différence de Température $300^{\circ}\text{C}$





A gauche, l'oxygène liquide placé entre les pôles d'un électro-aimant prend la forme d'une vallée profonde. A droite, l'hélium liquide n° II au voisinage immédiat du zéro absolu entre dans le tube à essai partiellement plongé dans le liquide. Lorsqu'on le sort du liquide, le courant change de sens.

driques surmontés d'un entonnoir renversé rappelant en plus petit les chaudières des pompes à incendie d'autrefois. Ces bidons sont remplis de liquides tels que l'hydrogène ( $-246$  degrés C.), l'azote ( $-196$  degrés C.), l'air ( $-184$  degrés C.). Il y a aussi des récipients recouverts de glace, contenant des liquides bouillants, à plusieurs compartiments, et renfermant le liquide le plus froid du monde, l'hélium à  $-269$  degrés C., soit à 4 degrés absolus seulement. Si l'on en répandait un peu sur la main, on éprouverait une brûlure aussi douloureuse que celle causée par un fer rouge. Lorsqu'on remue ces récipients une vapeur blanche glacée sort des petits événements percés sur le col. Si l'on verse quelques gouttes sur le sol, elles se mettent à courir, par suite du même phénomène d'évaporation intense qui se produit lorsqu'on verse de l'eau froide sur une plaque de tôle rougie à blanc. Les gouttes s'éparpillent, roulent en tous sens et finalement disparaissent rapidement.

« Dans les conditions courantes de conservation, nous explique le docteur Fiske, à la température ambiante, ces gaz liquéfiés sont en perpétuelle ébullition. Ils disparaissent à raison de  $500 \text{ cm}^3/\text{h}$  et lorsque nous les préparons et utilisons, il faut aller aussi vite que possible. »

Pendant des années, les savants ont fait des expériences avec les procédés de refroidissement et les machines qui ont amené les températures de plus en plus près du zéro absolu, soit  $-273$  degrés C. Au-dessous de cette limite, il ne peut y avoir de température. Rien ne peut être plus froid, on ne peut d'ailleurs pas atteindre expérimentalement le zéro absolu car, à cette température, les énergies s'annulent et il n'en reste pas pour faire les mesures. A cette valeur, les molécules des corps cessent de remuer, elles sont immobiles dans un espace glacé.

A mesure que l'on descend vers les basses températures, les substances connues se comportent de façon plus ou moins étrange. Les savants cherchent à voir comment et pourquoi les corps changent de propriétés. Le caoutchouc, par exemple, refuse de rebondir. Une balle de caoutchouc, plongée dans un liquide à température terriblement basse, tombe sur le sol comme un boulet d'acier et se casse finalement comme du verre. Une banane gelée dans ces conditions, ne se coupe plus avec un couteau, il faut la casser avec un marteau. Certains métaux deviennent cassants et ne résistent plus au moindre choc. Dans d'autres métaux, la résistance électrique disparaît : on fait passer un courant dans un anneau, on supprime ensuite la source de courant et ce dernier continue à circuler sans arrêt. Un barreau aimanté, placé au-dessus d'une plaque superconductrice, est repoussé par la plaque et peut rester suspendu en l'air, car le métal de la plaque devient un écran magnétique à la température du zéro absolu.

Les liquides également se conduisent de façon étrange. Certains perdent leur viscosité et, si on leur communique une vitesse de rotation, ils continuent à tourner éternellement, tout au moins tant qu'ils restent à la température voulue et tant qu'ils n'ont pas disparu par évaporation. On voit le liquide monter à raison de  $10 \text{ cm}$  par seconde le long des parois du récipient et il transmet la chaleur comme il transmettrait des ondes sonores.

Ces études ont permis de fabriquer des verres meilleurs, des caoutchoucs durant plus longtemps et s'usant moins, des engrais moins chers, de l'acier plus résistant et de l'essence de meilleure qualité.

Une fusée, alimentée par de l'hydrogène liquide ( $-264$  degrés C.) que l'on fait brûler au moyen d'oxygène liquide, a donné la plus

A droite, le gros cylindre est un super-réfrigérateur permettant de faire des mesures au voisinage du zéro absolu. L'hélium est refroidi jusqu'à liquéfaction, par détente, en poussant un piston dans un cylindre. Cette détente abaisse la température. En répétant le processus la température arrive au voisinage du zéro absolu. Ci-dessous, schéma de l'appareil montrant les pistons moteurs.

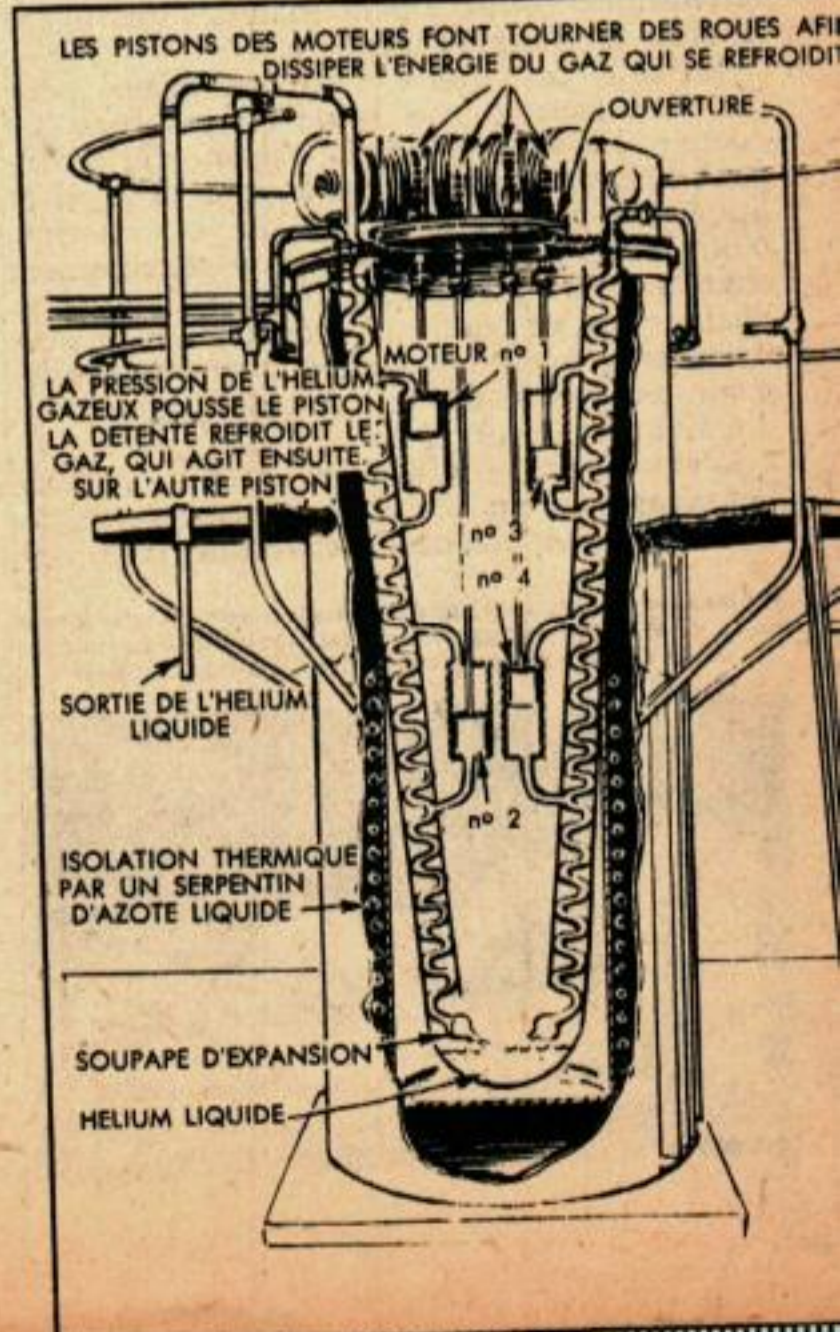
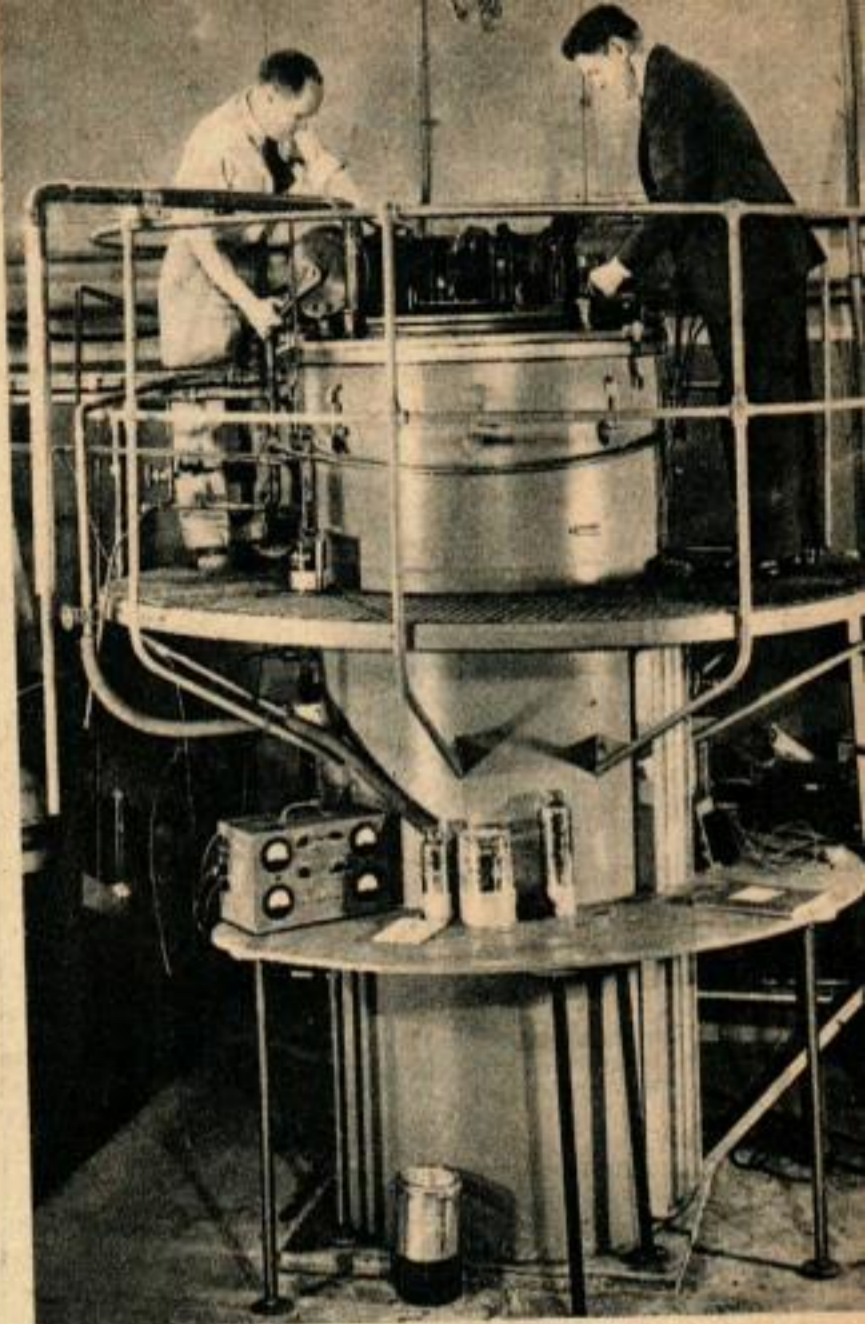
grande vitesse d'éjection atteinte à ce jour : 6700 m/s, ce qui est de l'ordre des vitesses requises pour faire des voyages interplanétaires.

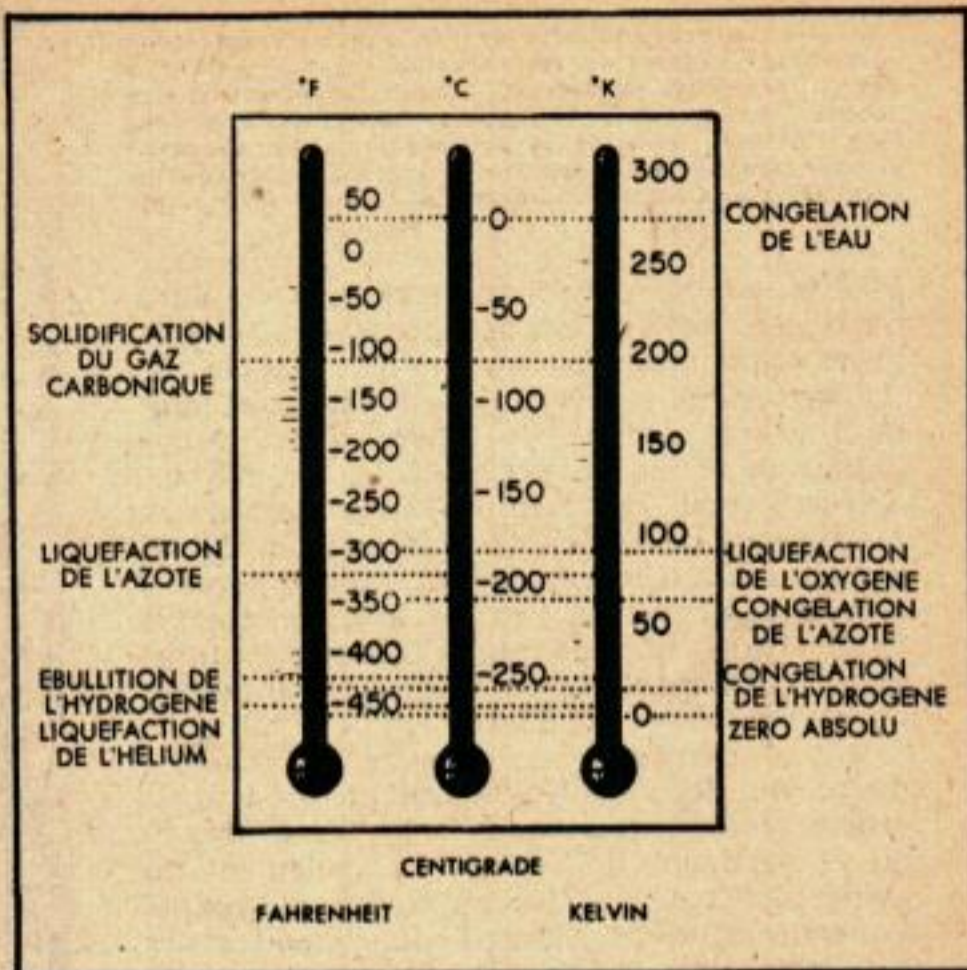
Les savants se livrent à une véritable compétition en matière de basses températures depuis le début du XVIII<sup>e</sup> siècle, où Fahrenheit obtenait des températures record en mélangeant de la neige, de la glace et du sel dans un malaxeur analogue à un appareil à faire les glaces. Il pensait avoir atteint la température minima et, la prenant comme origine, il l'appela le zéro (le zéro Fahrenheit correspond à  $-32$  degrés C.). On ne tarda pas à s'apercevoir, au moyen du thermomètre, que les pays froids avaient une température qui descendait au-dessous de 0 degrés F. ou  $-32$  degrés C. Mais c'est seulement un siècle plus tard que les physiciens européens s'aperçurent qu'il suffisait de détendre des gaz fortement comprimés pour obtenir des températures très basses permettant d'atteindre des valeurs jamais imaginées autrefois. Le système utilisé est celui qui sert de nos jours à construire les réfrigérateurs industriels et ménagers.

Pour unifier les calculs et les mesures, les savants ont abandonné les origines arbitraires des graduations centigrade et Fahrenheit et ils ont adopté le zéro absolu situé à  $-273$  degrés C. Le degré utilisé est toujours le degré centigrade, mais pour le distinguer de celui qu'on emploie à partir du zéro de la glace fondante, on l'appelle degré Kelvin. Ainsi une température de 4 degrés C absolus s'écrit 4 degrés K (ou  $-269$  degrés C, température de l'ébullition de l'hélium liquide). C'est en 1848 que Lord Kelvin détermina la valeur du zéro absolu et montra qu'il ne pouvait y avoir de température plus basse. Naturellement, aucun thermomètre du type courant ne peut servir à mesurer des températures pareilles. Le mercure se solidifie à  $-34$  degrés C (234 degrés K). L'alcool ne sert pas davantage. L'hélium liquide ne peut fonctionner que jusqu'à 2 ou 3 degrés K. On utilise un appareil dans lequel les propriétés magnétiques des substances interviennent et permettent de calculer la température.

L'hydrogène, convenablement mélangé avec l'oxygène, donne lieu à une explosion. Le docteur Fiske hausse les épaules lorsqu'on lui parle d'explosions accidentelles, mais il a cependant divisé le bâtiment en cellules avec des écrans en béton de 30 cm d'épaisseur, isolant le personnel de la chambre des machines, des compresseurs et des réserves de gaz liquéfiés. « C'est surtout pour amortir le bruit », dit-il. Les ateliers sont munis de ponts roulants puissants, permettant de déplacer le matériel à travers les différentes pièces.

Il ne faut pas fumer dans les endroits où il y a danger d'incendie, le matériel électrique





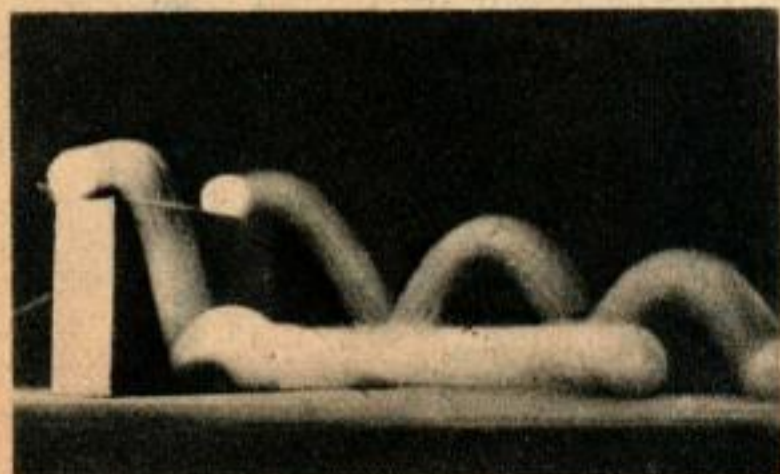
A gauche, bouteille d'hélium liquide que l'on met dans un récipient isolé thermiquement avec de l'azote liquide. L'hélium est conservé dans l'obscurité pour que la chaleur dégagée par l'absorption de la lumière ne le fasse pas bouillir. A droite, comparaison des échelles thermométriques courantes: absolue, centigrade et Fahrenheit.

est absolument protégé contre les étincelles, et un détecteur d'hydrogène est continuellement en action pour déceler la présence de ce gaz dans l'air des laboratoires. Au-dessus d'une teneur de 4‰, un signal d'alarme retentit. Convenablement manié, l'hydrogène liquide est sans danger.

En fait, ce liquide n'est pas utilisé pour des recherches à très basse température. Le docteur Fiske en donne la raison. « L'hydrogène liquide est trop chaud pour nous, il se liquéfie à 20 degrés K, ce qui est énorme. Nous l'utilisons comme agent refroidisseur auxiliaire dans les appareils à liquéfier l'hélium qui ne bout qu'à 4 degrés K. Lorsque le matériel fonctionne, nous avons un rendement de l'ordre de 26 l d'hydrogène ou 6 l d'hélium par heure. »

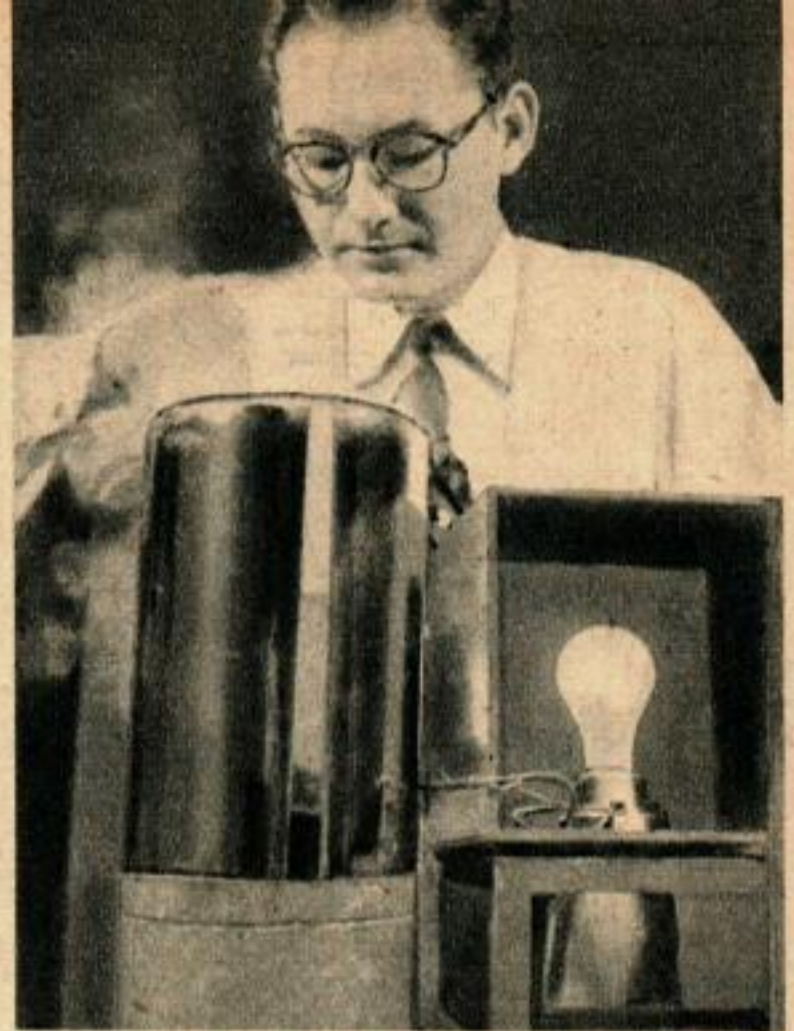
L'équipement utilisé pour ces travaux fait songer à un matériel de lancement de fusées dans la Lune. L'expérimentateur se

Au deuxième plan, rebondissements successifs d'une balle de tennis. Au premier plan, la même balle très refroidie ne rebondit pas plus qu'une brique.



tient devant un panneau de 3,5 m de long, muni de cadrans, et qui se trouve devant les liquéfacteurs. Derrière les murs de béton est le compartiment des compresseurs avec un moteur électrique de 60 ch, actionnant la pompe à hydrogène. Cette dernière est assez grosse, mais il y a un certain nombre de pompes à hélium plus petites. Sur des tubes colorés situés dans la chambre de liquéfaction, on voit graduellement se former une couche de glace. Les yeux de l'opérateur vont d'un cadran à l'autre. D'un coup d'œil, il regarde par un hublot les manomètres du compresseur.

Le gaz liquéfié tombe des récipients situés à l'étage supérieur. Un volume de 2 800 l d'hydrogène est amené chaque minute à la pression de 154 kg/cm<sup>2</sup>, l'hélium est amené seulement à 28 kg/cm<sup>2</sup>. Des compresseurs, les gaz se rendent à des purificateurs, des serpentins de refroidissement, et enfin dans un vase complètement entouré de gaz liquéfié. L'hydrogène est ainsi conduit dans un récipient entouré d'un manchon d'azote, la température est d'environ 70 degrés K. L'hélium est conduit dans un vase plus petit, entouré d'un manchon d'hydrogène, sa température n'est plus que de 15 degrés K. Les gaz sont alors assez refroidis pour qu'on puisse les liquéfier, il ne suffit plus que d'une diminution supplémentaire de température. On oblige les gaz à traverser une tuyère de très petit diamètre, la détente qui accompagne cette traversée provoque un refroidissement extrême. Environ 20 % du gaz se transforment en liquide, immédiatement, et tombent en pluie sur le fond du récipient, formant ainsi une flaque. Le résidu revient



Expérience de superconductivité: A gauche, l'ampoule brille peu par suite de la forte résistance de la bobine en série avec elle. A droite, on a plongé dans de l'azote liquide la bobine en question, le refroidissement fait baisser beaucoup sa résistance et la lampe brille davantage.

en arrière, refroidit au passage le serpentin de l'échangeur de chaleur et retourne au point de départ. Le cycle se reproduit sans arrêt.

A l'extérieur de cet appareil sont disposées les bouteilles à long col, isolées thermiquement, qu'un élévateur hydraulique monte pour les amener au voisinage des tuyères très fines qui laissent passer presque goutte à goutte le gaz liquéfié pour les emplir.

Ces bouteilles métalliques ne conviennent pas au transport de l'hélium. On utilise pour ce dernier les vases de Dewar courants dans les laboratoires et que tout le monde emploie dans les bouteilles isolantes, utilisées pour conserver les liquides au chaud. Les bouteilles Thermos bien connues, ne sont pas autre chose que des vases de Dewar à doubles parois, argentées intérieurement et entre lesquelles on fait le vide. L'hélium se trouve dans un tel récipient, placé lui-même dans un autre, identique, mais plus grand, et entre les deux se trouve un manchon isolant d'air liquide à 80 degrés K.

L'hélium bout à 4,2 degrés K et il bout continuellement, il est donc nécessaire d'avoir un dispositif permettant d'abaisser la température extérieure.

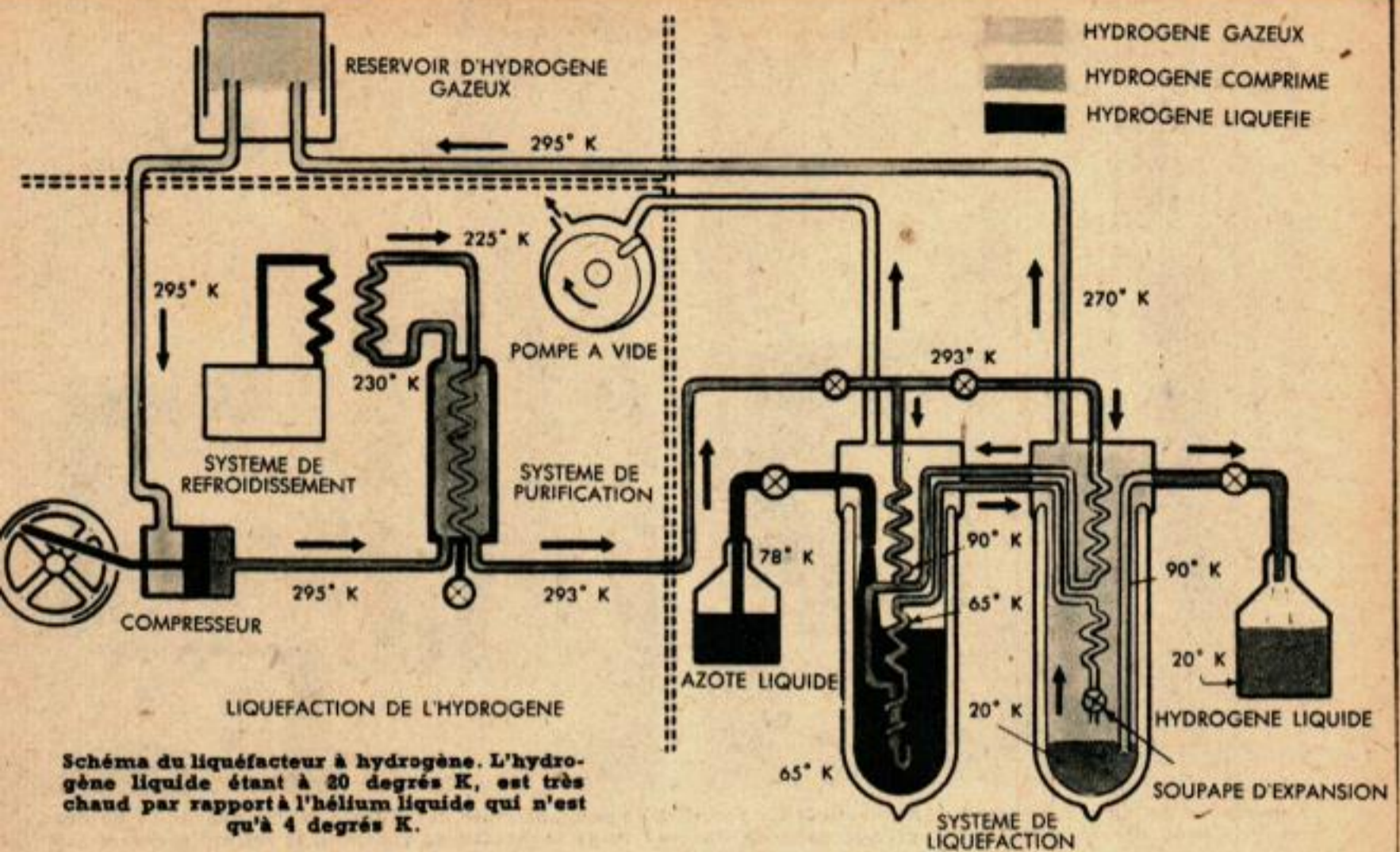
En réduisant la pression, l'hélium bout à 1 degré K, au lieu des 4 degrés K nécessaires sous la pression atmosphérique.

Ceci n'est pas encore suffisant. Un savant a mis au point un système magnétique, permettant de descendre encore au-dessous. Dans un vase de Dewar plein d'hélium à 1 degré K, on plonge un certain sel qui arrive à la température de 1 degré K. Ce sel est soumis à l'action d'un champ magnétique. En le démagnétisant brusquement, la tem-

pérature baisse encore. On a ainsi atteint la remarquable température absolue de 0,0015 degrés K.

A la température de 2,19 degrés K, on obtient un hélium n° II. Les savants pensent qu'il contient des particules ayant atteint le zéro absolu. Il n'est ni solide, ni liquide, ni gazeux, bien qu'il possède des propriétés des trois états de la matière. Les savants l'appellent le quatrième état de la matière. Il passe à travers tout et s'échappe des joints les plus étanches aux gaz. Cet hélium II liquide monte le long des parois de verre du vase ouvert qui le renferme et il retombe de l'autre côté jusqu'à ce que le niveau soit le même des deux côtés. Si l'on soulève le vase, l'hélium II remonte sur la paroi intérieure. Lorsqu'on fait agir dessus la moindre bouffée de chaleur, il traverse un tube bouché à l'émeri et forme un jet vertical de 30 cm assez impressionnant. La chaleur le parcourt sous forme de vague comme les ondes sonores. La chaleur appliquée au bas du vase arrive rapidement au sommet du niveau liquide. Ce phénomène s'appelle « second son ».

Pendant longtemps, les recherches ont été difficiles. Le docteur S.C. Collins a construit un nouveau liquéfacteur à l'hélium, qui peut refroidir une étendue plus grande que celle d'un réfrigérateur ménager. C'est un appareil cylindrique ayant 3,50 m de haut, rappelant un peu un kiosque de sous-marin. Les opérateurs se tiennent sur la passerelle supérieure et observent l'intérieur par un système convenable de hublots. Cette machine produit l'hélium liquide par un moyen totalement différent de celui précédemment employé.



Le principe est que, si l'on utilise la détente d'un gaz pour produire du travail mécanique, une partie de son énergie lui est ainsi retirée. L'hélium gazeux passe dans des serpentins et dans des cylindres d'une précision telle que les frottements sont insignifiants. Ces cylindres moteurs actionnent des volants placés à l'extérieur et ils accomplissent ainsi un travail. Le gaz froid, par suite de la détente, qui sort d'un cylindre, sert à refroidir le gaz plus chaud qui entre dans un autre cylindre. Une série d'opérations de ce genre rend le gaz de plus en plus froid sans qu'il soit besoin d'hydrogène auxiliaire. Finalement, l'hélium se liquéfie et tombe au fond d'un réservoir conique.

La machine originale de Collins a 4 cylindres. En 4 heures, elle part du repos et donne de l'hélium liquide. Les gros échantillons qu'on essaie dans cet appareil, nous dit le docteur Collins, sont tellement froids que l'air de la pièce se liquéfie sous vos yeux à leur contact. En tenant au-dessous des objets une bassine, on l'a remplie d'air liquide en peu d'instants.

On pense tirer de ces expériences des renseignements précis sur le fluage (ou écoulement lent) de l'acier. L'intérêt de cette machine est de permettre des essais à une échelle industrielle, au voisinage du zéro absolu.

Petit à petit, une partie des secrets de la matière se fait connaître grâce à ce matériel et, bien entendu, on pense immédiatement à leur trouver des applications pratiques.

On a maintenant des idées sur les applications possibles des températures voisines du zéro absolu. Les savants connaissent depuis longtemps l'annulation de la résistance électrique

des métaux portés à la température de l'hélium liquide. Il y a quelque temps, les expérimentateurs ayant plongé dans un récipient à très faible température un anneau en nitrure de columbium afin d'y étudier la circulation perpétuelle du courant, entendirent soudain l'anneau se mettre à faire de la musique et leur reproduire le programme transmis à l'instant par la radio locale. Ils apprirent ainsi l'existence du phénomène inattendu de la super-détection des ondes hertziennes à basse température. Il n'est pas difficile à un physicien d'imaginer des récepteurs fabuleusement sensibles qui, dans un avenir plus ou moins prochain, capteront les signaux les plus faibles. De même, en conservant à basse température les quartz stabilisateurs de fréquence des émetteurs, il n'y aura plus d'agitation thermique des atomes qui les constituent et, par suite, on supprimera le bruit de fond de ces quartz.

On peut de même imaginer des cristaux sensibles aux ondes constituées par les rayons infra-rouges, émis en abondance par les corps chauffés, ce qui permettrait de déceler les cheminées des bateaux sur mer et les moteurs d'avions à grande distance.

« Nous n'en sommes qu'au début, pensent les expérimentateurs de l'ultra-froid. Tout ce que nous savons ne représente qu'un coup d'œil rapide jeté sur le domaine des basses températures, mais il reste à l'explorer méthodiquement. »

Ils ne s'en tiendront d'ailleurs pas là. Ils espèrent utiliser le magnétisme nucléaire pour s'approcher encore du zéro absolu. On arrivera ainsi à une température de 1 milliardième de degré K.