

rencontrent au milieu de la planche. On met à la fin autour du fromage deux chaînettes, préalablement confectionnés en fils de 2.3 mm épaisseur étirés de pâte. Enfin, le fromage est fumé pendant 2 jours.

La pâte de *parenica* est molle, d'un goût très fin. Le fromage n'est pas si ferme que l'*ostiepok*, il prend facilement une moisissure, mais qui ne pénètre pas dans l'intérieur du fromage et n'altère pas son goût.

LE MACHINISME EN LAITERIE,

par M. M. BROSSÉ.

Ingénieur des Arts et Manufactures,
Chef des Services techniques de la Société Dyle et Bacalan.

(SUITE et FIN).

Force motrice.

J'arrive maintenant à la question de la force motrice.

Il est assez difficile de déterminer *a priori* l'importance de la force motrice nécessaire pour tous les types d'installations, car elle est fonction de la quantité de lait traité, du procédé de traitement et des types de machines utilisées.

Voici pourtant quelques nombres qui donnent tout au moins une idée de l'ordre de grandeur :

1^o *Laiterie proprement dite*, c'est-à-dire, traitement du lait en laiterie centrale, y compris l'installation frigorifique nécessaire. La puissance motrice nécessaire pour 1.000 litres de lait traité, résulte du tableau suivant :

Nombre de litres de lait traité par jour	FORCE MOTRICE	
	en C. V. (1) pour 1000 lit. de lait traité	soit pour la totalité traitée par jour
2.000	3,4	7
5.000	3,2	15
10.000	2,9	30
20.000	2,4	50
50.000	1,5	75
100.000	0,9	90

(1) C. V. = cheval-vapeur.

2° *Beurreries* (Dans les mêmes hypothèses).

Nombre de litres de lait traité par jour	FORCE MOTRICE	
	Nombre de C. V.	soit p. 1000 litres
—	—	—
1.000	5	5
6.000	8	1,3
15.000	11	0,6

3° *Caséineries*.

Nombre de litres de lait traité par jour	FORCE MOTRICE	
	Nombre de C. V.	soit p. 1000 litres
—	—	—
2.000	4	2
5.000	6	1,2
15.000	12	0,8

4° *Homogénéisation*.

Débit horaire en litres	FORCE MOTRICE	
	Nombre de C. V.	soit p. 1000 litres par heure
—	—	—
1.000	4	4
2.000	5	2,5
5.000	8	1,6

5° *Condenserie*.

14 C. V. pour une fabrication de 5.000 boîtes par jour, d'une livre anglaise (453 gr.) chacune.

2 kgs. de vapeur par litre de lait à évaporer.

20 à 25 litres d'eau par litre de lait à évaporer.

6° *Fromageries*.

a) de Camembert.....	}	1.000 litres	2	C. V.
		2.000 —	6	C. V.
b) de Gruyère		2.000 —	3,5	C. V.

Une des caractéristiques actuelles du travail du lait est qu'il faut traiter très rapidement le lait de récolte qui arrive assez tard à la laiterie afin d'en faire l'expédition à temps pour les transports de nuit par voie ferrée. Très souvent, il ne reste qu'à peine trois heures de battement : c'est là une sujétion très regrettable, car qui dit : « Travail hâtif », dit « travail mal fait et coûteux ». Les variations saisonnières de l'heure légale compliquent encore les conditions de travail.

Les procédés de traitement qui aboutissent finalement à une certaine durée de conservation du lait, comme la réfrigération, pallient en partie à cet inconvénient, mais il ne pourrait être radicalement supprimé que par une modification profonde du système actuel de vente dans les grands centres comme Paris.

Sur le choix de la force motrice, je dirai seulement :

Si l'on peut avoir le courant électrique, d'un secteur de distribution publique, il faut le prendre, même s'il paraît cher — il le sera toujours moins qu'un procédé quelconque de production de force motrice. Une seule exception : celle où l'on dispose d'une chute hydraulique aménagée ou peu coûteuse à aménager, donnant une force motrice *suffisante en toute saison d'une façon certaine* ; mais, même dans ce cas, on devrait toujours s'assurer comme secours le courant du secteur.

A ce point de vue, l'électrification des campagnes facilitera considérablement la question de la force motrice en laiterie.

Si la force motrice est fournie par le secteur ou par une chute d'eau, le chauffage à vapeur et l'eau chaude seront fournis par une chaudière à très basse pression, genre chauffage central, d'un fonctionnement simple et sûr et ne nécessitant pas un chauffeur professionnel.

A défaut de secteur électrique ou de chute d'eau pour production de la force motrice, donner la préférence à la machine à vapeur, dont la vapeur d'échappement ou la vapeur vive de la chaudière, assurera le chauffage des appareils.

N'envisager un autre mode de production de force motrice : moteur à gaz pauvre, moteur à combustion interne et autres, qu'avec une grande circonspection et ne se décider à les acquérir qu'après en avoir bien pesé les inconvénients et s'être complètement renseigné auprès des possesseurs de moteurs, du type *même* dont l'acquisition est projetée.

Au point de vue de l'utilisation de la force motrice, je recommanderai, pour la laiterie, la commande individuelle de chaque machine, soit par moteur électrique soit, quand l'appareil s'y prête, par turbine à vapeur.

Les transmissions générales de force, en laiterie, constituent une gêne d'exploitation et une cause de malpropreté.

Froid artificiel.

J'arrive maintenant à une question fort délicate à exposer, celle de la production et de l'utilisation du froid artificiel.

Vous connaissez par les clichés projetés, l'essentiel du fonctionnement d'une installation frigorifique.

De tous les gaz frigorigènes qui sont utilisés en France :

CO^2 = anhydride carbonique.

NH^3 = ammoniac.

SO^2 = anhydride sulfureux.

CH^3Cl = chlorure de méthyle.

Le CO^2 présente pour la laiterie des avantages certains.

Chaque fois que la réfrigération doit être faite par le système de détente directe, c'est-à-dire lorsque les gaz frigorigènes enfermés dans les tuyauteries, doivent pénétrer dans les enceintes ou les récipients à refroidir, il faut utiliser exclusivement le CO^2 , car en cas de fuites toujours possibles, ce gaz est le seul qui n'ait aucune odeur, ni aucune action sur les produits traités.

Dans le cas d'une installation à circulation de saumure, cette objection tombe, car les appareils contenant le gaz, peuvent être placés dans des locaux séparés de ceux où l'on traite le lait ou les produits dérivés.

Toutefois, même dans ce cas, j'estime que le CO^2 est toujours préférable. L'objection fréquente du mauvais rendement des machines à CO^2 quand l'eau de circulation au condenseur n'est pas froide, ne peut être faite en laiterie où, obligatoirement, je l'ai dit, on doit disposer d'eau fraîche.

Presque toutes les laiteries des Charentes sont équipées avec des machines à CO^2 .

Les machines à CO^2 ont, au surplus, l'avantage : d'abord, d'être fort simples de conduite, ensuite, au cas de défaut de surveillance, il ne peut arriver d'avarie sérieuse à la machinerie, à la condition, naturellement, que celle-ci soit conçue de façon rationnelle.

Tout ce qui peut arriver c'est qu'on cesse de produire du froid.

Le froid produit, il reste à l'utiliser.

C'est le plus délicat.

Tout d'abord, il faut absolument que le mode d'action du froid, soit très clair dans votre esprit.

Divers facteurs interviennent dans la transformation que subissent, par le temps, des complexes organiques, comme les denrées alimentaires dites périssables, et en particulier le lait.

Les principaux de ces facteurs sont de nature biologique; ils vous ont été dénombrés. Et bien, ce qu'il importe de retenir, c'est que l'abaissement de la température n'a, en réalité, d'action que sur la durée de transformation.

Un phénomène de transformation qui demanderait une heure ou un jour pour s'effectuer, à une température T demande N heures ou N jours pour s'effectuer à la température t .

Ce multiplicateur du temps, cette valeur de N , n'est nullement proportionnelle à l'écart $T-t$; elle varie de façon très fantaisiste, pourrait-on dire, sans qu'aucune loi apparaisse nettement jusqu'ici.

Et de fait, pour chaque complexe organique, il existe une température t_m , dénommée température optima de conservation, pour laquelle le multiplicateur de temps, N , a sa valeur maxima N_m , valeur qui, parfois, n'est pas très grande, mais qui, le plus souvent, est énorme, et si l'on s'écarte tant soit peu de cette température optima, la valeur du multiplicateur de temps N décroît très vite, plus vite que ne décroît l'écart de température $T-t$.

Toute la technique de fabrication doit avoir pour préoccupation d'aboutir, avant la conservation par le froid, à des préparations d'aussi bonne qualité que possible et exemptes, autant que faire se peut, de micro-organismes vivants, car le froid ne les tuerait pas, il en ralentirait seulement la multiplication.

Toutes les techniques du froid doivent avoir pour but essentiel de réaliser, de façon pratique, la température optima de conservation, et une fois qu'elle est atteinte, *la maintenir* quoi qu'il arrive.

Or, qu'arrive-t-il lorsqu'on met en marche une machine frigorifique ?

Elle produit du froid et abaisse la température des enceintes, et, par suite, celle de leur contenu.

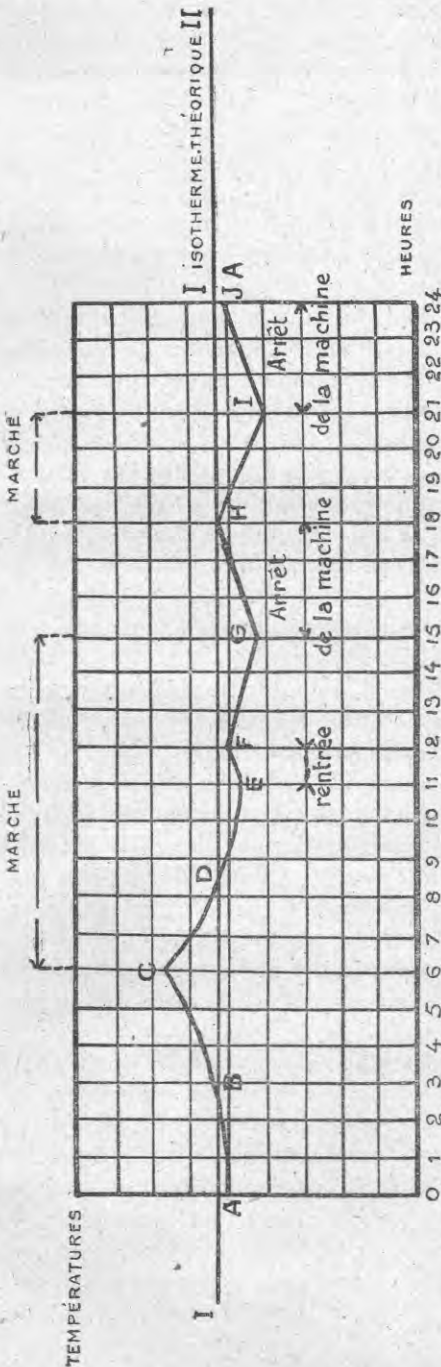
Si, elle s'arrête, ces températures remontent progressivement, *parce qu'il est physiquement impossible de réaliser une enceinte rigoureusement imperméable à la chaleur extérieure.*

De plus, lorsqu'on ouvre l'enceinte pour y accéder, elle se réchauffe et quand on y introduit de nouveaux stocks sensiblement à la température extérieure, ils réchauffent l'enceinte et, par suite, les produits antérieurement stockés. Les températures varient donc à peu près comme l'indique le graphique de la page 552.

Il en résulte deux inconvénients très graves :

Le premier est que l'isothermie théorique n'étant pas obtenue, on risque de sortir des limites de bonne conservation ; cela arrive plus souvent qu'on ne croit.

Le deuxième, c'est qu'à certains moments, les produits stockés sont plus froids que l'air de l'enceinte, et à d'autres moments plus chauds ; or, l'air de l'enceinte n'est jamais sec. L'expression *froid sec* est une des plus vicieuses que je connaisse, prise dans son sens habituel. On peut produire du froid en atmosphère sèche ; mais par un procédé tout spécial, dont je parlerai un jour. L'air n'est donc jamais sec, de sorte que son humidité, en vertu du principe de la paroi froide, se dépose, avec *ses germes*, sur les produits stockés, lorsqu'ils sont plus froids que l'air, et quitte ces produits, lorsqu'ils sont plus chauds.



C'est l'expérience même de LUCAS, dont j'ai parlé. De là, des alternatives de dessiccation et d'humidification, et des ensemencements répétés ; les uns et les autres sont funestes à la bonne conservation.

Deux remèdes à cette situation :

L'un qui tombe sous le sens, est de faire tourner la machine sans arrêt, ou tout au moins, sans *arrêts* prolongés. Pour de très grandes installations dotées d'un personnel de nuit, c'est possible. Pour les autres, non. A plus forte raison, n'est-ce pas une solution pour l'industrie laitière qui, nous l'avons dit, ne peut traiter son lait que quelques heures par jour.

L'autre, dont je suis, je l'avoue, le fervent avocat, consiste en l'emploi d'accumulateurs de froid.

Depuis longtemps, on utilise, précisément en laiterie, des volants de froid formés de ces gros récipients cylindriques, contenant de la saumure froide et qu'on nomme des « droms », mais ce procédé est tout à fait insuffisant, car il ne peut jouer que par la chaleur spécifique de la saumure, chaleur spécifique voisine de 1, et pour un écart de température qui ne peut être que très faible, 2° environ, si l'on veut réellement, maintenir l'isothermie des entceines.

Ce que je nomme « accumulateur de froid », c'est un accumulateur par congélation, utilisant,

par suite, la *chaleur de fusion à température constante*, soit de l'eau pour le maintien de températures supérieures à 0, soit de solutions aqueuses spéciales soigneusement dosées à points cryoscopiques quelconques, pour le maintien de températures quelconques, inférieures à 0.

Cette chaleur de fusion est de 35 à 40 fois plus grande que le produit de la chaleur spécifique de la saumure des volants de froid, par l'écart de température qu'on peut raisonnablement leur consentir.

Les accumulateurs de froid par congélation ont donc une capacité frigorifique de 35 à 40 fois plus grande, à dimensions égales, ou des dimensions 35 à 40 fois moindres, à capacité égale.

Leur emploi est des plus simples et n'apporte aucune complication à l'installation frigorifique ou à la conduite des machines. Bien au contraire, leur effet auto-régulateur est remarquable (Voir la note qui suit immédiatement).

Voici, à titre d'exemple, le modèle d'un type à détente directe.

Comme vous le voyez l'accumulateur forme une enceinte à température constante. Le gaz qui se détend dans les serpentins se trouve donc dans des conditions d'écart de température constante.

La transmission à l'enceinte s'effectue par les parois de l'accumulateur. L'écart dépend de la température désirée de l'enceinte.

Comme la transmission pour un écart donné est seulement fonction de la surface de paroi extérieure de l'accumulateur, rien n'est plus facile que de donner à cette surface les dimensions convenables.

Quand la machine est arrêtée, le générateur de froid cesse son effet de congélation et la décongélation commence ; l'accumulateur se décharge.

Quand elle reprend sa marche, la congélation reprend et l'accumulateur se charge.

Il est dès lors possible de refroidir par le procédé si simple de la détente directe plusieurs enceintes successives à températures différentes et de réaliser pratiquement une installation thermostatique complexe, ce qui est presque impossible par tout autre procédé.

Dans le cas de circulation par saumure, l'accumulateur de froid est formé, dans le bac générateur de froid, par la saumure elle-même (1).

On dispose ainsi de saumure froide même après un très long arrêt de la machine.

Pour maintenir l'isothermie des enceintes, il suffit d'assurer une circulation ininterrompue de jour et de nuit de cette saumure, par une petite pompe à commande électrique ou hydraulique, prenant 3 à 4 kgm. seulement pour une installation de 10.000 frigories, par

(1) Saumure partiellement congelée [N. d. I. R.].

exemple. C'est un peu plus compliqué, mais le réglage est encore plus précis et l'isothermie plus rigoureuse.

Voici un petit appareil portatif qui est un accumulateur de froid basé sur les mêmes principes (a).

Voici également (a) un thermostat à détente directe à cases multiples, dont chacune peut être maintenue à une température différente, appareil que j'ai présenté à l'Exposition de Strasbourg et au dernier Congrès du Froid et qui peut trouver son emploi dans les Laboratoires scientifiques et les Laboratoires industriels.

Les accumulateurs de froid.

L'emploi d'accumulateurs de froid doit être aussi envisagé à un point de vue autre que celui du maintien de l'isothermie des enceintes froides.

Nous avons vu en effet, précédemment, que le refroidissement du lait ne pouvait pratiquement s'opérer que pendant quelques heures par jour, 3 ou 4 environ.

La totalité de la production laitière doit donc passer au réfrigérant dans ce court espace de temps.

La machine frigorifique doit donc être (sans l'emploi d'accumulateurs de froid) d'une puissance suffisante pour pouvoir opérer le refroidissement de la totalité du lait dans le temps imparti à ce travail.

De plus, comme la mise en régime d'une machine frigorifique n'est pas instantanée, il faudra que chaque jour, avant le commencement du travail de refroidissement du lait, et parfois deux fois par jour, si la laiterie est au voisinage des lieux de traite et reçoit par suite le lait deux fois par jour (traite du matin et traite de l'après-midi) la machine frigorifique soit mise en route quelque temps avant le commencement du travail.

Cette mise en route préalable constitue une dépense supplémentaire. Pour fixer les idées, reprenons l'exemple que nous avons donné à propos de la température de l'eau.

En supposant que l'eau soit à une température de $+10^{\circ}$, nous avons vu qu'il fallait une puissance frigorifique de 7.600 frigories par 1.000 litres de lait, dans les hypothèses de régime de marche qui ont été faites dans cet exemple.

Si l'on doit traiter 1.000 litres par heure, pendant 3 heures, soit au total 3.000 litres, il faudra une machine de 7.600 F/H utiles qui sera mise en marche environ 1/2 heure et parfois 1 heure avant le commencement du travail utile de refroidissement du lait, de façon à compenser les pertes par les parois du bac, qui se sont produites pendant les heures d'arrêt de la machine (qui dans notre exemple seraient de 24 — 3 ou 24 — 4, soit 20 ou 21 heures).

Si nous envisageons au contraire, une installation de réfrigération de lait, pourvue d'accumulateurs de froid, nous pourrions prévoir le fonctionnement de la machine pendant la totalité des heures de présence du personnel, soit au minimum 8 heures par jour.

(a) Le modèle d'appareil est présenté à l'auditoire.

Il en résulte que la machine frigorifique fonctionnera pendant une durée au moins double de la durée de fonctionnement pour une installation non dotée d'accumulateurs de froid et que, par suite, la puissance frigorifique de cette machine pourra être moitié de la puissance nécessaire pour une installation sans accumulateurs de froid.

Un des avantages importants des accumulateurs de froid par la congélation est qu'en effet, le régime de charge, c'est-à-dire le nombre de frigories-heure que peuvent accumuler les appareils, peut être différent du régime de décharge, c'est-à-dire du nombre de frigories-heure que les appareils peuvent fournir, exactement comme pour les accumulateurs électriques.

A titre d'exemple, on pourrait sans aucune difficulté, prévoir un accumulateur de froid dont le régime de charge serait, mettons de 1.000 frigories-heure, qui accumulerait pendant 20 heures consécutives et par conséquent, aurait une capacité totale de 20.000 frigories et qui serait déchargé en 1 heure, c'est-à-dire avec un régime de décharge de 20.000 F/H.

Ce fait est à retenir pour le cas d'opérations industrielles nécessitant de temps à autre, et pendant une période relativement très courte, une grande quantité de froid.

Avec les accumulateurs de froid par congélation, il est possible de trouver pour ces questions spéciales, une solution simple qui permet l'emploi de machines de faible puissance, tandis qu'en l'absence d'accumulateurs de froids, on se trouve dans l'obligation de prévoir une machine dont la puissance frigorifique horaire soit égale au nombre de frigories-heure dont on a besoin.

Dans l'exemple précédent, 20.000 frigories pourraient être fournies en 1 heure, par une machine de 1.000 frigories fonctionnant 20 heures tandis que sans accumulateurs de froid, une machine de 20.000 F/H serait nécessaire, c'est-à-dire une machine 20 fois plus puissante et, par suite, une installation incomparablement plus coûteuse serait nécessaire.

ANNEXES.

AU SUJET DES INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES.

I. — Notes sur l'isothermie des enceintes froides.

Une enceinte froide quelconque, armoire, chambre, etc. . . est comparable à un réservoir qui ne serait pas étanche et où l'on s'efforcerait de faire le vide à l'aide d'une pompe. Cette comparaison n'a rien de scientifique, mais elle éclairera mieux ce que nous voulons dire.

Il est bien évident que l'air atmosphérique extérieur au réservoir entrera d'autant mieux dans ce réservoir que la différence entre la pression d'air réalisée dans le réservoir par le jeu de la pompe et la pression extérieure sera plus grande.

Il est non moins évident qu'avec une pompe donnée on ne pourra atteindre au-dessous d'une certaine pression dans le réservoir parce qu'au-delà de celle-ci, les rentrées ou apports d'air par les parois (supposées percées) du réservoir, dépasseront les sorties d'air par la pompe.

Il est tout aussi évident que si on arrête le fonctionnement de la *pompe*, après avoir atteint une certaine *pression*, celle-ci ne se maintiendra pas et montera peu à peu dès l'arrêt de la *pompe*, jusqu'à s'équilibrer avec la *pression* extérieure et cela d'autant plus vite que les parois seront plus poreuses.

Il en résulte qu'étant donné un *réservoir poreux* et une pompe à vide :

1° Il ne sera pas possible de baisser la *pression* dans le *réservoir* au-delà d'une certaine limite (*pression* limite inférieure).

2° Si on veut maintenir cette *pression* limite inférieure dans le *réservoir*, il faudra faire marcher la *pompe* sans interruption.

3° Si la *pompe* ne peut marcher sans interruption il sera impossible de tenir constamment la *pression* limite inférieure, mais seulement de maintenir la *pression* entre deux limites, l'une inférieure (qui est celle dont il est parlé au paragraphe 1°), l'autre supérieure.

La différence entre ces *pressions* sera d'autant plus grande que :

La porosité des parois sera plus grande ;

La durée des interruptions de fonctionnement de la *pompe* sera plus grande.

Examinons maintenant le cas d'une enceinte froide.

Les parois de cette enceinte sont toujours *poreuses* pour la *chaleur*. Elles le sont d'autant plus que l'*isolation* est moins bonne. De même qu'on a tout intérêt à étancher les fuites d'un *réservoir d'air poreux*, de même on doit s'efforcer de réduire la porosité à la *chaleur* des parois des *enceintes froides*. Mais tandis qu'il est possible pratiquement, dans le cas d'un *réservoir d'air* d'arriver à une étanchéité complète, *il est impossible théoriquement et pratiquement de supprimer la porosité à la chaleur* (1).

Il faut donc se contenter de constituer les parois des chambres en matériaux isolants, tels que le liège, disposés en épaisseurs assez grandes et avec des précautions spéciales, de manière à réduire la porosité jusqu'à une limite telle qu'au-delà la dépense d'installation ne soit pas compensée par une économie de froid de même grandeur, c'est-à-dire au-delà de laquelle « le jeu n'en vaudra pas la chandelle » (2).

Toute enceinte froide est donc, quoiqu'on fasse, poreuse à la chaleur.

Toute installation frigorifique comporte une machinerie dont le rôle est

(1) La formule générale, simplifiée, des échanges de chaleur à travers une paroi est :

$$M = KS(T - t)z \left\{ \begin{array}{l} M = \text{Chaleur transmise à travers la paroi en calories.} \\ z = \text{Durée de transmission, en heures.} \\ T \text{ et } t = \text{Températures de chaque face de la paroi en degrés centigrades.} \\ S = \text{Surface de la paroi en mètres carrés.} \\ K = \text{Coefficient de transmission de la paroi.} \end{array} \right.$$

M ne pourrait devenir nul que si l'un des facteurs K, S, T - t ou z le devenait. S, T - t ou z, sont des données qui ne sont jamais nulles. Reste K. Or, K ne peut devenir nul. La valeur pratique de K est 0,5 et il est très difficile, même avec des parois très épaisses faites d'un excellent isolant, d'arriver à une valeur de K inférieure à 0,4 et à l'extrême rigueur, pour certains cas particuliers à 0,3.

(2) Pratiquement cela correspond à une valeur de K égale à 0,5 et exceptionnellement à 0,4 (0,3 ne peut être atteint qu'à grands frais, dans des cas tout à fait particuliers).

d'enlever de l'enceinte la chaleur qui pénètre par les parois et aussi d'enlever de la chaleur aux produits que l'on dépose dans l'enceinte.

Cette machinerie joue le même rôle, dans l'installation, que la pompe dont nous parlions pour le réservoir d'air. Son fonctionnement a pour but et effet d'abaisser la *température* de l'enceinte (comme la pompe baissait la *pression* du réservoir).

Reprenant, *mot à mot*, ce que nous avons dit, dans le cas du réservoir, il est dès lors bien évident que :

La chaleur extérieure de l'enceinte entrera d'autant mieux dans cette enceinte que la différence entre la *température* réalisée dans l'enceinte par le jeu de la *machinerie* et la *température* extérieure sera plus grande.

Avec une *machinerie* donnée, on ne pourra atteindre au-dessous d'une certaine *température* dans l'enceinte, parce qu'au-delà de celle-ci, les rentrées ou apports de *chaleur* par les parois, *forcément* poreuses, de l'enceinte, dépasseraient les sorties de *chaleur* par la *machinerie*.

Si on arrête le fonctionnement de la *machinerie* après avoir atteint une certaine *température*, celle-ci ne se maintiendra pas et montera peu à peu dès l'arrêt de la *machinerie* jusqu'à s'équilibrer avec la *température* extérieure et cela d'autant plus vite que les parois seront plus poreuses.

Il en résulte qu'étant données une *enceinte froide* et une *machinerie* :

1° Il ne sera pas possible de baisser la *température* dans l'enceinte au-delà d'une certaine limite : *température* limite inférieure.

2° Si on veut maintenir cette *température* limite inférieure dans l'enceinte, il faudra faire marcher la *machinerie* sans interruption.

3° Si la *machinerie* ne peut marcher sans interruption, il sera impossible de tenir constamment la *température* limite inférieure, mais seulement de maintenir la *température* entre deux limites, l'une inférieure, qui est celle dont il est parlé au paragraphe 1°, l'autre supérieure. La différence entre ces *températures*, sera d'autant plus grande que :

La porosité des parois sera plus grande ;

La durée des interruptions de fonctionnement de la *machinerie* sera plus grande.

Les installations frigorifiques habituelles ne permettent donc de réaliser l'isothermie des enceintes que si la *machinerie* fonctionne sans interruption de jour comme de nuit, ce qui n'est jamais le cas, sauf dans les très grandes installations industrielles (fabrication de la glace, de la bière, entrepôt).

Une autre cause de variation dans la *température* des enceintes, tient aux conditions d'exploitation : en général, en effet, les enceintes froides servent à entreposer des produits divers qui entrent dans l'enceinte à une *température* voisine de la *température* extérieure.

Ces entrées augmentent considérablement les apports de *chaleur* et tendent à relever la *température* de l'enceinte aussi longtemps que les produits n'ont pas été refroidis complètement. Or cela demande du temps, *beaucoup plus de temps qu'on imagine*, souvent huit ou dix heures, parfois plusieurs jours. Si on arrête la *machinerie* presque aussitôt après avoir opéré ces entrées (et c'est ce que font, par exemple, presque tous les bouchers de détail) les produits entrés n'ont pas le temps d'être refroidis ; ils dégagent

de la chaleur et la température de l'enceinte s'élève. L'écart des températures, qui n'excède guère 3° ou 4° du fait des parois seules, peut atteindre jusqu'à 10° C., entre le soir et le matin.

Nous venons de voir quelle est l'influence des entrées de produits venant de l'extérieur, donc chauds, et nous avons dit qu'elle était de relever la température de l'enceinte. Voyons maintenant ce qui se passe lorsqu'on arrête la machinerie d'une installation, en ce qui concerne les produits, supposés complètement refroidis et conservés dans l'enceinte. Au moment de l'arrêt, la température des produits est, dans toute leur masse, sensiblement égale à la température de l'enceinte.

A partir du moment de l'arrêt, la chaleur pénètre de l'extérieur à l'intérieur de l'enceinte, par les parois qui *s'échauffent*.

Il peut arriver, et il arrive, un moment où les parois et l'air de l'enceinte deviennent plus chauds que les produits. L'humidité de l'air et des parois tend alors à venir se condenser à la surface des produits (principe de la paroi froide).

Ce phénomène peut être très nuisible à la bonne conservation des produits.

D'ailleurs, quand on remettra la machinerie en marche, le phénomène inverse se produira et la vapeur d'eau ira se condenser sous forme de givre sur les radiateurs de froid.

Les produits conservés se trouvent donc soumis :

à des alternatives de réchauffement et de refroidissement :

à des alternatives d'humidification et de dessiccation.

Rien n'est plus mauvais.

Pour éviter cet inconvénient, un seul remède : s'efforcer d'approcher l'isothermie théorique.

Deux moyens :

La marche continue de la machinerie (qui n'est réalisable que tout à fait exceptionnellement).

L'accumulateur de froid.

II. — Accumulateurs de froid.

Trois dispositifs ont été utilisés jusqu'ici.

A. — Maçonnerie.

B. — Saumure.

C. — Glace.

A. — On construit des massifs en maçonnerie que l'on refroidit par la machinerie et on utilise leur capacité calorifique pour refroidir les enceintes en réchauffant les maçonneries par l'apport de chaleur enlevé aux enceintes. C'est en somme le principe des récupérateurs métallurgiques SIEMENS, dont le sens de marche serait inversé.

Premier inconvénient. — La chaleur spécifique des solides étant faible, il faut des masses énormes de maçonnerie pour constituer un volant de froid suffisant.

Deuxième inconvénient. — La température des maçonneries s'élève progressivement au fur et à mesure des apports des enceintes.

Si l'on suppose constante la température de ces dernières (c'est le but visé) l'écart de température entre les maçonneries et les enceintes, diminue progressivement.

Il en résulte un réglage très difficile des échanges calorifiques à réaliser, puisque ceux-ci sont proportionnels aux écarts. Sans réglage, ils sont trop grands au début, puis deviennent trop petits et un réglage, pour être efficace, devrait être continu.

B. Saumure. — On remplace les maçonneries précitées par des réservoirs contenant de la saumure incongelable (dissolution de chlorure de calcium dans l'eau, par exemple).

Le premier inconvénient est un peu diminué parce que la chaleur spécifique de l'eau est plus grande que celle de la maçonnerie, mais il n'en subsiste pas moins. Quant au 2^e inconvénient, il est intégralement conservé.

C. Glace. — On remplace la saumure précitée par de la glace. Les inconvénients des procédés précédents disparaissent; car on utilise ici, non plus la chaleur spécifique d'un solide ou d'un liquide, mais la *chaleur de fusion* de l'eau qui est incomparablement supérieure et qui s'opère à la température constante de 0° C.

Par contre, un inconvénient nouveau est que la source froide créée par cet accumulateur de froid a une température qu'on ne peut modifier et qui est celle de 0° C.

Accumulateur par congélation (1). — Ce système dérive de l'accumulateur à glace. Il n'en diffère que par la substitution, à l'eau pure, de mélanges d'eau et de certains corps, mélanges dont la température de congélation est inférieure à 0° C., et peut être réglée à volonté.

Comme le type à glace, le type à congélation utilise une chaleur de fusion. Il a donc sous un volume réduit une grande capacité calorifique et il conserve une température sensiblement constante.

L'écart entre l'accumulateur et l'enceinte isothermique est donc aussi constant et, par suite, aucun réglage des échanges n'est nécessaire.

Par suite, les inconvénients signalés pour les autres systèmes disparaissent et l'emploi judicieux d'accumulateurs par congélation permet de réaliser dans les enceintes, une isothermie presque rigoureuse.

S'il était nécessaire, on pourrait réaliser une installation où la température ne varierait que d'une fraction de degré centigrade.

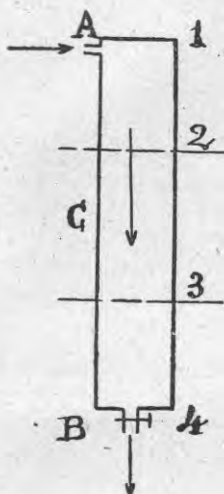
III. — Réchauffeur d'eau.

Il n'est pas sans intérêt, dans la plupart des installations frigorifiques, de pouvoir disposer d'eau chaude.

Dans les fabriques de glace, celle-ci sert au démoulage de la glace, qu'elle rend plus rapide; dans les laiteries, charcuteries, restaurants et hôtels, installations domestiques on a toujours besoin d'eau chaude.

(1) Système breveté S. G. D. G.

Or, il est possible de produire de l'eau chaude, en quantité limitée, il est vrai, mais sans aucune dépense supplémentaire, par le dispositif qui sera décrit ci-après :



Représentons schématiquement un condenseur par un tube A. C. B.

A est l'entrée du gaz refoulé par le compresseur (niveau 1).

B est la sortie du liquide (régleur) (niveau 4).

Ce condenseur est supposé entouré d'une chemise d'eau où la circulation d'eau se fait à contre courant du mouvement du fluide du condenseur, c'est-à-dire : de bas en haut, l'eau entrant au niveau 4 et sortant au niveau 1.

Soit Q la chaleur totale à absorber par l'eau dans le temps τ .

Soit P le poids d'eau nécessaire.

Soit T_0 la température d'entrée de l'eau.

Soit T' la température de sortie de l'eau, on a

$$Q = P (T' - T_0) [1].$$

Remarquons que dans le condenseur on peut distinguer trois zones, savoir :

1° Zone de saturation, de 1 à 2 : le gaz comprimé arrive surchauffé en A et se refroidit à pression constante pour arriver en 2 à la limite de saturation. Il a absorbé une chaleur Q_s , soit T_1 la température de l'eau au niveau 2, T' au niveau 1.

2° Zone de condensation, de 2 à 3 : le gaz saturé se liquéfie progressivement (le titre augmente de 2 ou il est nul, jusqu'à 3 ou il égale l'unité) en absorbant une chaleur Q_L .

3° Zone de refroidissement du liquide, de 3 à 4 : le liquide condensé se refroidit progressivement jusqu'à 4, en absorbant une chaleur Q_R .

Soit T_0 la température au niveau 4, T_1 la température au niveau 2.

La chaleur absorbée totale Q est telle que :

$$\begin{aligned}
 & Q = Q_s + Q_L + Q_R \\
 \text{[II]} \left\{ \begin{array}{l} \text{posons} \\ \text{et} \end{array} \right. & \left\{ \begin{array}{l} Q_L + Q_R = \alpha Q \\ Q_s = \beta Q \end{array} \right. & \alpha + \beta = 1 \\
 \text{[III]} \left\{ \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right. & \left\{ \begin{array}{l} \alpha Q = P (T_1 - T_0) \\ \beta Q = P (T' - T_1) \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

relations qui par addition, redonnent [I]

et d'où l'on tire en combinant avec [II]

$$\begin{aligned}
 T_1 - T_0 &= \alpha (T' - T_0) \\
 T_0 - T_1 &= \beta (T' - T_0)
 \end{aligned}
 \quad \text{et } T' = T_0 + \frac{Q}{P}$$

on ne peut donc augmenter T' qu'en diminuant P , mais cela augmenterait T_1 c'est-à-dire α suivant le rendement.

Supposons maintenant un condenseur à deux chemises d'eau, l'une allant de 1 à 2, c'est-à-dire enveloppant toute la zone de surchauffe et l'autre allant

de 2 à 4, c'est-à-dire enveloppant les zones de condensation et refroidissement du liquide.

Dans les 2 chemises, l'eau conserve une marche à contre-courant du mouvement du fluide (c'est-à-dire de bas en haut) soient :

P_1 le poids d'eau circulant dans la chemise d'eau inférieure (2-4) dans le temps z .

P_2 le poids d'eau circulant dans la chemise d'eau supérieure (1-2) dans le temps z .

Chemise inférieure	}	T_0	la température d'entrée de l'eau en 4	
		T_1	— de sortie —	2
Chemise supérieure	}	T_1	— d'entrée —	2
		T_2	— de sortie —	4

on aura : $Q_S = P_2 (T_2 - T_1)$
 $Q_L + Q_R = P_1 (T_1 - T_0)$
c'est-à-dire d'après nos notations
 $\beta Q = P_2 (T_2 - T_1)$
 $\alpha Q = P_1 (T_1 - T_0)$

si nous comparons au 1^{er} condenseur (à une seule chemise d'eau), nous aurons :

$$\alpha Q = P (T_1 - T_0) = P_1 (T_1 - T_0)$$

donc $P_1 = P$

$$\text{et } \beta Q = P (T_2 - T_1) = P_2 (T_2 - T_1)$$

d'où $\frac{T_2 - T_1}{T_0 - T_1} = \frac{P}{P_2}$

on peut donc augmenter T_2 sans toucher à P , en diminuant P_2 ce qui est toujours possible et n'a aucun effet sur le rendement puisque la variation de P_2 n'influe pas sur T_1 .

Il y a cependant une limite à cette diminution de P_2 , car il faut nécessairement avoir :

$$T_2 < t$$

t , étant la température du fluide à refroidir à l'entrée A du condenseur (niveau 1).

1^{er} exemple : Compresseur CO².

$$\alpha = \beta = 1 \quad \text{donc} \quad T_1 - T_0 = T' - T_1 \quad \left\{ \begin{array}{l} T_0 = 20 \\ T' = 24 \\ \text{d'où } T_1 = 20 \end{array} \right.$$

$$t = 80 \quad T_2 = 80$$

$$\frac{P}{P_2} = \frac{70 - 20}{24 - 20} = \frac{50}{4} \quad P_2 = 0,08 P$$

Une petite machine consommant 300 litres à l'heure donnera donc par heure 24 litres d'eau à 70° C.

Une grande machine nécessitant 20.000 litres par heure donnera par heure 1.600 litres d'eau à 70° C.

2^e exemple : Compresseur SO².

$$\alpha = \frac{4}{5} \qquad \beta = \frac{1}{6}$$

$$t = 80 \qquad T_0 = 16$$

$$T_2 = 70 \qquad T_0 = 24 \qquad \text{d'où} \quad T_1 = 22,4$$

$$\frac{P}{P_2} = \frac{70 - 22,4}{24 - 22,4} = \frac{43,6}{1,6} \qquad P_2 = 0,036.P$$

La petite machine de l'exemple 1 donnera 10 lit.,800 à l'heure à 70°.

La grande machine de l'exemple 1 donnera 720 litres à l'heure à 70°.

NOTE SUR LE TRAVAIL MANUEL.

Les conditions du travail manuel sont toutes différentes de celles du travail mécanique, et il est intéressant d'en connaître les raisons.

Un travail quelconque est décomposable en une série d'opérations élémentaires successives, en nombre plus ou moins grand, selon la complexité du travail, et se succédant plus ou moins rapidement.

Chaque opération élémentaire entraîne :

Une fatigue musculaire qui est fonction de l'intensité de l'effort physique qui est requis pour son exécution.

Une fatigue cérébrale qui est fonction à la fois de l'intensité de l'effort physique — qui s'accompagne d'un effort de volonté — et du degré d'attention qu'exige l'opération élémentaire à réaliser.

Un travail quelconque, c'est-à-dire une suite d'opérations élémentaires, entraîne donc :

1^o Une fatigue musculaire qui est une intégration des fatigues musculaires qu'entraînent les diverses opérations élémentaires.

2^o Une fatigue cérébrale qui est aussi une intégration des fatigues cérébrales qu'entraînent les diverses opérations élémentaires.

3^o Une fatigue cérébrale complémentaire due à l'effort de mémoire et à l'effort d'attention qui sont nécessaires pour réaliser la série des opérations élémentaires, efforts qui sont d'autant plus grands que la série est plus longue, les opérations élémentaires plus épuisantes et leur succession plus rapide.

Il résulte immédiatement de ces considérations qu'une opération élémentaire peut n'être pas réalisable :

1^o Parce qu'elle excède l'effort musculaire de l'opérateur.

2^o Parce qu'elle exige une dextérité trop grande des mouvements et qu'une série d'opérations élémentaires peut n'être pas réalisable :

1^o Parce qu'elle entraîne à un effort musculaire total trop important.

2^o Parce qu'elle excède la puissance d'attention ou la capacité de mémoire de l'opérateur.

3^o Parce que certaines opérations ou leur ensemble exige une trop grande rapidité de mouvements.

Il en résulte aussi qu'une même opération élémentaire ou une même série d'opérations ne pourront être répétées exactement dans les mêmes conditions par un même opérateur, et, *a fortiori*, par un opérateur différent, parce que :

1° L'effort musculaire et la dextérité de mouvements réalisables étant à la fois fonction de la fatigue musculaire et de la fatigue cérébrale, ne restent pas identiques à eux-mêmes.

2° L'effort d'attention et la capacité de mémoire, diminuent avec l'état de fatigue musculaire et cérébrale de l'opérateur.

Le travail manuel d'origine physiologique n'est donc nullement régi par les lois de la mécanique.

Lorsqu'une opération ou une série d'opérations excèdent la puissance musculaire d'un seul homme, ou le nombre de mouvements simultanés qu'il peut accomplir avec assez de rapidité, on peut recourir au travail collectif en équipe.

Mais pour peu que l'opération ou la série d'opérations soit compliquée, on se heurte à une autre difficulté qui limite singulièrement les applications possibles du travail collectif simultané, c'est la difficulté d'accorder les actions — d'origine physiologique, ne l'oublions pas — des divers opérateurs.

Un des exemples les plus remarquables d'application du travail collectif simultané, est celui de la musique orchestrale. La complexité des opérations simultanées réalisées par les divers exécutants est ici très grande ; mais chacun d'eux a sa propre volonté en quelque sorte asservie au rythme musical qui réalise l'accord des actions des divers exécutants par un phénomène physiologique extrêmement remarquable et tout à fait exceptionnel.

BIBLIOGRAPHIE ANALYTIQUE.

1° LIVRES.

ALLENSPACH V. — **Beitrag zur Kenntnis der schweizerischen Ziegenzucht, speziell der Toggenburgerziege.** (Contribution à la connaissance de l'élevage caprin suisse et spécialement de la race de Toggenburg). *Thèse de la Faculté de médecine vétérinaire de Zurich.* Brochure de 72 pp., 1 planche. Braunsfels 1923.

Cette étude est divisée en 5 chapitres : A. *Histoire de la chèvre domestique en Suisse* qui montre que l'on peut suivre l'existence de la chèvre d'une façon ininterrompue depuis l'époque lacustre, jusqu'à nos jours. Son élevage qui a diminué par suite de l'élevage des bovins et du développement de l'industrie, s'est concentré dans les régions montagneuses, où il a peut être remplacé par aucune autre forme d'exploitation. B. *Origine des chèvres suisses.* Les races suisses actuelles dérivent de la chèvre lacustre (*capra hirtus Rutimeyeri*) pour les races à petites cornes, et de la chèvre de la période du bronze (*c. h. Kelleri*) pour les races à grosses cornes. C. *Mesures et anatomie comparée des crânes de chèvres.* Le crâne de la race de Toggenburg a une forme et une configuration typiques : absence de verrue cornée, ne se manifestant plus que comme verrue rudimentaire, caractères qui le différencient de celui de la race de Saanen. D. *Essai d'explication de la genèse des races sans*