

## TECHNOLOGIE DES EQUIPEMENTS UTILISES POUR LA STABILISATION TARTRIQUE DES VINS

J. CHABAS

Centre d'Etude du Machinisme Agricole  
du Génie Rural des Eaux et des Forêts  
B.P. 99, 13603 Aix-en-Provence Cedex (France)

La stabilisation tartrique des vins nécessite leur refroidissement à des températures égales ou inférieures à 0° Celsius, aussi parle-t-on couramment de leur réfrigération.

Les vins ne devant subir aucune modification importante autre que l'abaissement de leur teneur en sels tartriques, cette réfrigération ne peut être obtenue que par échanges thermiques avec un fluide réfrigérant au travers de parois métalliques constituant un échangeur. Dans cet échangeur, le vin se refroidit d'un côté de la paroi, le fluide réfrigérant se réchauffant d'autant de l'autre côté.

Compte tenu des bas niveaux de température auxquels doivent se trouver les fluides réfrigérants, ils sont toujours recyclés dans une machine frigorifique où leur température est maintenue et ramenée au bas niveau souhaité.

Après avoir rappelé le principe de fonctionnement d'une machine frigorifique, nous abordons l'étude des transferts de chaleur au travers d'une paroi. Les avantages et inconvénients des divers échangeurs utilisés dans le monde vinicole seront alors examinés.

### **PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN GROUPE FRIGORIFIQUE**

Nous n'évoquerons que le cas des machines à compresseurs, seules utilisées dans les caves vinicoles.

Dans un circuit fermé dit « boucle de froid » un fluide approprié dit fluide frigorigène passe successivement, selon les conditions de température et pression qu'il rencontre de l'état liquide à l'état gazeux et inversement. Ces changements d'état s'accompagnent :

— d'absorption de chaleur (ou production de froid) \* lors du passage de l'état liquide à l'état gazeux,

---

\* L'unité utilisée, la frigorie, peut être définie comme la quantité de chaleur qu'il faut enlever à une masse d'un kilogramme d'eau pour abaisser sa température de 1° Celsius ; c'est l'opposé d'une Calorie (kilocalorie).

— de dégagement de chaleur lors du passage de l'état gazeux à l'état liquide.

Un tel équipement fournit donc simultanément de la chaleur et du froid que l'on peut utiliser successivement ou simultanément. Si l'on ne s'intéresse qu'à la production de froid, il est appelé groupe frigorifique, si l'on ne vise que les dégagements de chaleur on parle de pompe à chaleur et l'on cite aussi le terme de thermofrigopompe si l'équipement est utilisé pour récupérer chaleur et froid.

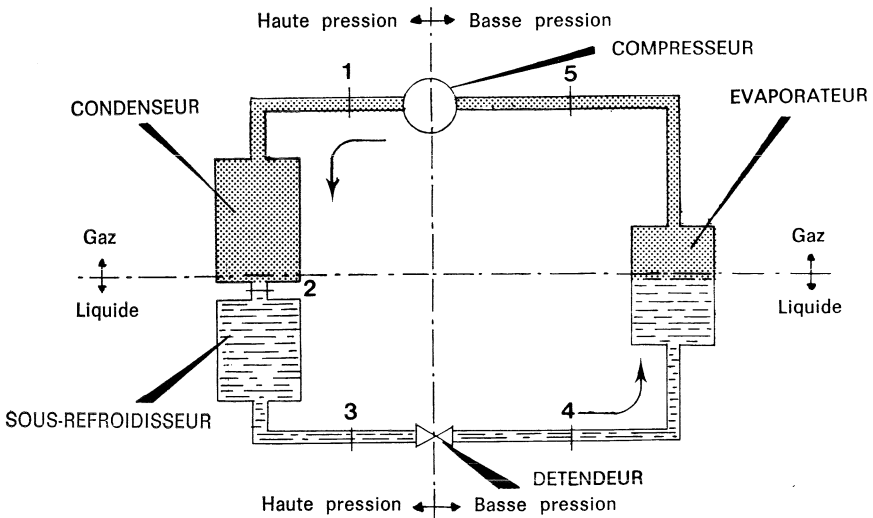


Fig. 1. — Schéma de fonctionnement d'un groupe frigorifique

Les organes essentiels d'un groupe frigorifique (schéma de fonctionnement figure 1) sont les suivants :

- l'évaporateur, échangeur à l'intérieur duquel le fluide frigorigène s'évapore à basse pression et basse température en empruntant des calories (produisant du froid) à du moût, du vin, ou de l'eau,
- le condenseur, (deuxième échangeur) où le fluide frigorigène passe de l'état de vapeur à l'état liquide à température et pression élevées, en fournissant de la chaleur à de l'air ou de l'eau,
- le compresseur qui fait circuler les vapeurs du fluide frigorigène depuis l'évaporateur jusqu'au condenseur en élevant leurs température et pression. Il consomme de l'énergie électrique par son

moteur d'entraînement qui peut être inclus (groupe hermétique) directement accouplé (groupe semi-hermétique ou séparé (groupe ouvert),

- le détendeur qui fait chuter la pression du fluide frigorigène à l'entrée de l'évaporateur,
- divers organes de commande, contrôle, régulation et sécurité,
- on trouve parfois un sous refroidisseur, échangeur récupérant un complément de l'énergie calorifique libérée au condenseur.

Les fluides frigorigènes utilisés dans les installations frigorifiques sont l'ammoniac mais surtout les fréons R 12 ( $\text{CF}_2 \text{Cl}_2$ ) R 22 ( $\text{CHF}_2 \text{Cl}$ ) qui permettent d'atteindre :

- à l'évaporateur, sous faibles pressions — 2 à 3 bar — des températures de  $- 20^\circ$  à  $+ 20^\circ \text{C}$ ,
- au condenseur, dans des conditions de pression voisines de 15 bar, des températures de  $+ 30$  à  $+ 50^\circ \text{C}$ .

Ces fluides frigorigènes, en parcourant sans cesse « la boucle de froid » absorbent de l'énergie calorifique (produisent du froid) au niveau de l'évaporateur, soit  $Q_1$ , de l'énergie mécanique (électrique) au niveau du groupe moto-compresseur soit  $W$ , fournissent de l'énergie calorifique, soit  $Q_2$ , au niveau du condenseur et éventuellement du sous-refroidisseur.

Ces énergies absorbées et restituées sont équivalentes et, aux pertes en ligne près, l'on peut écrire la relation :  $Q_1 + W = Q_2$ , dont il découle que pour une installation donnée ( $W$  déterminé) on ne pourra avoir une production de froid  $Q_1$  que si l'on peut évacuer la quantité d'énergie  $Q_2$ .

La puissance frigorifique  $P_1$  du groupe est égale à la quantité d'énergie calorifique absorbée (ou énergie frigorifique produite) à l'évaporateur par unité de temps  $P_1 = \frac{Q_1}{t}$ . Cette puissance est variable en fonction des conditions de fonctionnement, en particulier des températures du fluide frigorigène au condenseur et à l'évaporateur.

C'est ainsi que pour une installation donnée, avec des échangeurs de caractéristiques déterminées, la puissance frigorifique pour un niveau de température à l'évaporateur sera d'autant plus constante dans le temps que la température du fluide au condenseur sera constante. Ainsi les groupes à condenseur à air auront des puissances frigorifiques variables dans le temps, les températures du fluide au condenseur variant avec les conditions atmosphériques (températures de l'air extérieur dépendant de la situation géographique, de l'exposition..., et variant suivant les saisons,

les jours et les nuits). Les condenseurs à eau apportent moins de variation de puissance, les températures d'eau de refroidissement étant moins variables que celles de l'air.

De même, pour un niveau de température donné au condenseur, les puissances frigorifiques seront d'autant plus faibles que les températures désirées à l'évaporateur sont basses. A titre d'ordre de grandeur, un groupe frigorifique fonctionnant dans des conditions normales de pression et température au condenseur (15 bar et 30 °C), pour une puissance électrique absorbée de 1 kW au compresseur, fournit une puissance frigorifique à l'évaporateur voisine de :

- 1 kW ou 860 frigories par heure avec une température de fluide de — 15 °C ; c'est le cas en stabilisation tartrique,
- 3 kW ou 2580 frigories par heure avec une température de fluide de + 15 °C ; c'est le cas du refroidissement des moûts lors de la fermentation alcoolique.

Les quantités de chaleur qu'il faut évacuer au niveau du condenseur sont alors respectivement voisines de 17000 et 3500 Calories par heure.

En conclusion, la puissance frigorifique d'un groupe installé dans une cave varie avec l'utilisation que l'on en fait (niveaux de température souhaités à l'évaporateur) et les conditions extérieures au moment de la dite utilisation (niveaux de température possibles au condenseur compte tenu des débits et températures de l'eau ou de l'air de refroidissement).

Les refroidissements de moût, réfrigérations de vin se font au niveau de l'évaporateur du groupe frigorifique pour les petites installations mobiles ou les installations fixes comportant un seul point d'utilisation.

Dans le cas d'installations importantes, donc fixes, avec plusieurs points d'utilisation répartis dans la cave, on utilise un fluide de réfrigération intermédiaire recyclé, en général eau glycolée, qui se refroidit au niveau de l'évaporateur du groupe frigorifique, va se réchauffer au contact des moûts et vins (lesquels sont refroidis au niveau d'un échangeur supplémentaire) etc... Les pertes frigorifiques « en ligne » sont alors plus importantes au niveau du circuit d'eau « glacée » qui comporte obligatoirement un réservoir tampon.

## LES ECHANGES THERMIQUES AU TRAVERS D'UNE PAROI

Les transferts thermiques entre deux fluides situés (ou circulant) de part et d'autre d'une paroi sont calculés à partir de la relation suivante :

$$\frac{dQ}{dt} = KS (T_1 - T_2) \quad \text{Voir figure 2}$$

avec :  $\frac{dQ}{dt}$  chaleur transférée en Calories par heure.

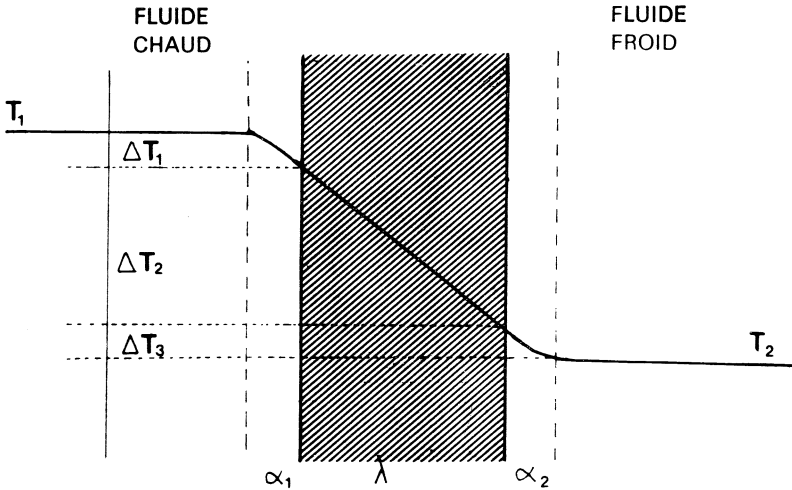


Fig. 2. — Transferts thermiques au travers d'une paroi

S surface d'échange en mètres carrés.

$T_1 - T_2$  différence en degrés Celsius, entre température de fluide chaud  $T_1$  et température de fluide froid  $T_2$ .

K coefficient global de transfert de chaleur en Calories par  $m^2$  de surface d'échange et par degré Celsius d'écart de température.

Ce coefficient global intègre les échanges thermiques par convection au contact de la paroi et les transferts par conduction à travers la paroi et s'exprime par la formule :

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{e}{\lambda} + \frac{e'}{\lambda'} + \frac{1}{\alpha_2}$$

Où  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  sont les coefficients d'échange par convection entre fluides chaud et froid et parois en  $\text{Cal/h/m}^2/\text{d}^\circ$ .

e et e' sont les épaisseurs en mètres de la paroi d'échange (métal) et des éventuels dépôts (glace — tartres...).

$\lambda$  et  $\lambda'$  les coefficients de conductivité thermique du métal de l'échangeur et des éventuels dépôts en  $\text{Cal/h/m}^2/\text{d}^\circ$ .

La formule  $\frac{dQ}{dt} = K S (T_1 - T_2)$  s'applique également au cas d'un

appareil échangeur,  $T_1$  et  $T_2$  étant alors les températures moyennes (entre températures d'entrée et sortie dans l'appareil) des deux fluides, l'un qui se réchauffe, l'autre se refroidissant.

Pour obtenir les meilleurs échanges thermiques dans un temps donné, donc opérer dans les meilleures conditions économiques, il faut donc :

- avoir l'écart le plus élevé possible entre les températures des deux fluides : dans les échangeurs, on réalise cette condition en faisant circuler les deux fluides à « contre courant » plutôt qu'en « parallèle ».
- réserver la plus grande surface d'échange possible.
- obtenir un coefficient global de transfert  $K$  le plus élevé possible. Pour cela, on cherche à mettre en œuvre des parois métalliques de bonne conductivité  $\lambda$  et de faible épaisseur  $e$ , en maintenant des surfaces propres et exemptes de dépôts (suppression de  $\frac{e'}{\lambda'}$ ). Des surfaces lisses et l'établissement de régimes turbulents dans la circulation des fluides (avec couches minces mais uniformes au contact de la paroi d'échange) améliorent sensiblement les coefficients de convection ( $\alpha_1$ , et  $\alpha_2$ ).

L'intérêt de l'acier inoxydable, de bonne conductivité, disponible en faibles épaisseurs et avec des états de surface lisses et durs est indéniable en ce domaine.

## EXAMEN DE QUELQUES ECHANGEURS

### LES ECHANGEURS A PLAQUES

Les conditions énoncées ci-dessus pour obtenir de bons transferts thermiques sont réalisées dans ces échangeurs constitués de plaques verticales à profil conjugué, empilées, avec circulations alternées des deux fluides chaud et froid.

Pour un appareil de volume réduit, les surfaces des parois d'échange sont importantes. Ces parois verticales, soumises à des efforts réduits, peuvent être utilisées en épaisseurs très faibles. Du fait de leur profil conjugué, elles permettent la circulation des fluides en couches minces et en régime turbulent. Mais tout dépôt (tartre, glace...) fait chuter de manière importante la capacité d'échange et peut empêcher les circulations de fluides. Aussi ces échangeurs sont-ils particulièrement recommandés pour le refroidissement à température positive de liquides clairs à partir d'eau fraîche ou d'eau glacée ; en particulier pour le refroidissement des moûts durant la fermentation ils doivent être recommandés (ils sont alors trois fois plus performants que les échangeurs double tubulaires) à condition de n'admettre que des liquides peu chargés (nécessité de placer un épépineur sur le circuit moût) et d'être maintenus en très bon état de propreté. Un moyen simple pour apprécier cet état consiste en l'examen des températures d'entrée et de sortie dans l'échangeur des deux

fluides : l'évolution des écarts permet une bonne appréciation des périodes de nettoyage. Leur usage, en statibilisation tartrique, est généralement recommandé pour les phases de pré-réfrigération.

## LES ECHANGEURS DES GROUPES FRIGORIFIQUES

Les groupes frigorifiques comportent deux échangeurs (évaporateur-condenseur) quelquefois un troisième (sous-refroidisseurs). Dans ces échangeurs circule un fluide frigorigène qui ne peut être perdu et qui se trouve placé dans des conditions de pression variables pouvant atteindre 20 bar.

Compte tenu des efforts dûs à ces pressions, les parois doivent avoir une certaine épaisseur (elles sont « timbrées » à 20-25 bar en général).

Au niveau des condenseurs à air, surtout utilisés dans les installations de faible puissance, les transferts thermiques sont améliorés par des circulations d'air forcées (ventilateurs) sur des tubes à ailettes (surface planes de métal bon conducteur augmentant les capacités d'échange des tubes contenant le fluide frigorigène) (fig. 3).

Les condenseurs à refroidissement par eau mettent en œuvre des échangeurs double tubulaires (fig. 4) ou à calandre, multi tubulaires (fig. 5). le fluide frigorigène se condensant sur la surface de tubes parcourus intérieurement par l'eau.

Les évaporateurs utilisés dans les installations vinicoles sont essentiellement de quatre types :

- a) Evaporateurs double ou multi tubulaires, échangeurs identiques aux condenseurs à refroidissement par eau, dans le cas de production d'eau glacée,
- b) Evaporateurs tubulaires que l'on plonge dans une cuve à refroidir ou autour desquels on fait circuler les moûts et vins dans une cuve adaptée à cet effet : le type le plus courant est la « canne cryogénique »,
- c) Evaporateurs tubulaires noyés dans les parois (en général inférieures) de cuves où l'on place les moûts ou vins à refroidir, ces cuves étant isothermes (double paroi enfermant un isolant thermique limitant les échanges thermiques avec l'extérieur),
- d) Evaporateurs à surface raclée, échangeur double tubulaire, avec tube central de grande dimension où circule le moût ou vin, le fluide frigorigène s'évaporant dans la zone annulaire. Dans l'axe du tube central tourne un support muni de racleurs qui nettoient en permanence la surface intérieure du tube, détachant les dépôts qui se forment au contact de la paroi froide. Le coefficient de transfert de chaleur de ces échangeurs à surface raclée en est

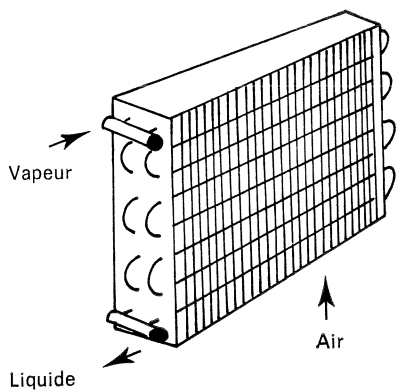


Fig. 3. — Condenseur à air

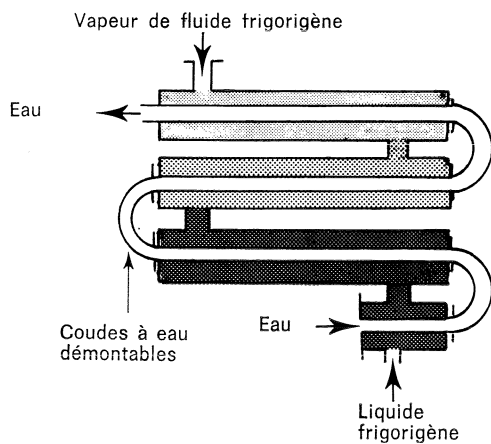


Fig. 4. — Condenseur à eau double tubulaire

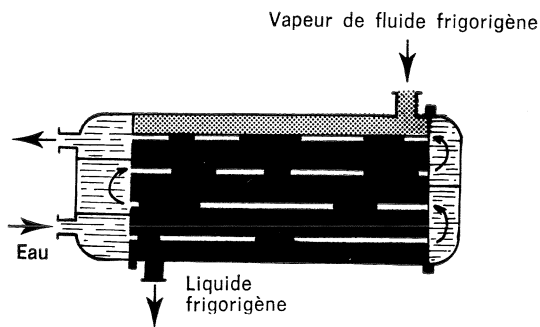


Fig. 5. — Condenseur à eau multi-tubulaire



réduit, les dimensions du tube central, obligatoirement importantes (il faut loger le racleur), entraînant une surface d'échange réduite, à volume égal de moût ou de vin traité.

## LES ECHANGEURS EN STABILISATION TARTRIQUE

Suivant la technique utilisée, on cherche à obtenir dans les vins des températures comprises entre 0 °C et le point de congélation du vin à traiter.

En application de la formule donnant les transferts thermiques entre fluides, l'on doit s'efforcer de mettre le vin au contact d'une paroi refroidie à très basse température par un fluide frigorigène. Mais, si la température est trop basse, des dépôts vont se former (glace, tartres, divers) diminuant les capacités de transfert de la paroi jusqu'à empêcher le refroidissement souhaité. L'on est donc conduit :

- soit à maintenir une très basse température du fluide frigorigène (on obtient alors un refroidissement important et rapide des vins mais l'on est tenu d'utiliser un échangeur à surface raclée dont le coefficient de transfert thermique est modeste),
- soit à limiter l'abaissement de température du fluide frigorigène pour éviter la formation de glace sur les échangeurs: le refroidissement du vin sera alors progressif et le traitement nécessitera un certain délai qui entraîne l'obligation d'utiliser des cuves isothermes, pour éviter de trop grandes pertes frigorifiques avec l'ambiance extérieure. C'est le cas d'utilisation des cannes cryogéniques et des cuves à parois réfrigérantes avec agitateurs facilitant le mouvement des vins au contact des parois froides et empêchant de ce fait les « prises de glace » ;
- soit à admettre une température de traitement supérieure au point de congélation des vins ; dans ce cas, les dépôts de glace ne sont pas à craindre et l'on peut utiliser des échangeurs à coefficient de transfert élevé, tels les échangeurs à plaque si l'on dispose d'un groupe frigorifique à production d'eau glacée (ces évaporateurs, dans leur conception actuelle ne peuvent être utilisés comme évaporateurs de groupes frigorifiques).

On peut envisager l'utilisation d'échangeurs performants à des températures voisines du point de congélation des vins ; il faut alors créer des turbulences telles dans la circulation des vins que toute formation naissante de glace ne puisse se déposer au contact des parois de l'échangeur. La mise en vitesse d'autant plus élevée que le vin est à une température proche de son point de congélation, permet d'obtenir ces turbulences mais les moyens mis en œuvre à cet effet (pompes centrifuges) ont des effets secondaires particulièrement néfastes ; les prises d'air au niveau

des presse-étoupes des pompes, des joints et raccords divers sur le circuit entraînent des « oxygénations » d'autant plus importantes que les vitesses de circulation sont grandes et les températures basses.

Une conclusion semble, je pense, s'imposer : parmi les types d'échangeurs actuellement utilisés pour la stabilisation tartrique des vins, aucun n'apporte une solution satisfaisante à tous points de vue. Il nous faut espérer que les progrès technologiques permettront dans un bref délai de modifier ce point de vue.

Manuscrit reçu le 9 juillet 1981, accepté pour publication le 10 septembre 1981.

## RÉSUMÉ

La stabilisation tartrique des vins par traitement à basse température, inférieure ou voisine de 0 °C, se développe dans les ateliers vinicoles, quelle que soit leur taille.

La technologie des équipements utilisés doit être connue des utilisateurs actuels ou futurs. Aussi, après un rappel du principe de fonctionnement d'un groupe frigorifique et des règles de calcul des transferts thermiques entre fluides au travers d'une paroi, les échangeurs utilisés dans les caves vinicoles sont décrits, leurs limites en stabilisation tartrique définies.

## SUMMARY

Tartaric stabilization of wines by low temperature treatment, below or near 0 °C, is developing in wineries of all sizes.

The technology of the equipment used should be understood by current and future users. Also, after summarizing how a refrigeration group works and the rules to calculate thermal transfers between fluids across a wall, the heat exchangers used in wineries are described and their tartaric stabilisation limits defined.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Weinstabilisierung der Weine bei 0° Celsius (oder noch niedriger als 0°) verbreitet sich in den Weinkellern, unabhängig von der Betriebsgrösse.

Die Technologie des Materials das zu dieser Behandlung benützt wird muss vom aktuellen und vom zukünftigen Anwender gekannt sein. So werden, nach einer Darstellung des Funktionsprinzips eines frigorifischen Systems, und der Verruhungsregeln der thermischen Transports zwischen Fluiden und Wände, die Austauschere die in den Betrieben benutzt werden beschrieben, und ihre Grenzen bei der Weinstabilisierung definiert.

## RESUMEN

La estabilización tártrica de los vinos por el tratamiento a baja temperatura, inferior o cerca de 0 °C, se desarrolla en los talleres vinícolas, no importando su dimensión.

La tecnología de los equipos utilizados debe ser conocida por los usuarios actuales o futuros. También, después de una recordada del principio del funcionamiento de un grupo frigorífico y de las reglas de cálculo de transferencias térmicas entre los fluidos a través de una pared, los aparatos para el intercambio de calor utilizados en las bodegas vinícolas son descritos, sus limitaciones en la estabilización tartárica son definidos.

## RIASSUNTO

La stabilizzazione tartarica dei vini con un trattamento a bassa temperatura, inferiore o vicina a  $0^{\circ}\text{C}$ , si sviluppa nelle cantine qualsiasi la loro dimensione.

La tecnologia degli impianti adoperati deve essere conosciuta dagli utenti attuali o futuri. Così dopo un richiamo del principio di funzionamento d'un gruppo frigorifero e delle regole di calcolo dei trasferimenti tecnici tra fluidi attraverso una parete, gli scambiatori di calore adoperati nelle cantine sono descritti, i loro limiti definiti nella stabilizzazione tartarica.

