



*Différentes techniques de froid et leur potentiel
de développement en ASS.*

*Different cold production techniques and their
development potential in SSA*

*Froid évaporatif, froid solaire et stockage de froid
Evapotrative cooling, solar refrigeration and cold storage*

Jaques GUILPART

Président de la section Biologie et Technologie Alimentaire
Délégué de la France auprès de l'IIF



jacques.guilpart@irstea.fr
J.guilpart@mfconseil.fr

+ 33 6 43 44 66 28



De nombreuses techniques de conservations des aliments existent

Number of different food conservation techniques already exist



Séchage
Drying



Salaison
Salting



Fumaison
Smoking



Appertisation



Fermentation
Fermentation



Confisage
Sugar cooking



Ne pas oublier que depuis des millénaires, ces techniques assurent la base de l'alimentation humaine ...
Remind that these techniques are the basis of human food supply for thousand years ...

... Alors que le froid mécanique ne s'est
développé que depuis 150 ans.

... Whereas mechanical cold is only 150 years old.



Pour assurer un approvisionnement suffisant (réduire les pertes),
continu dans le temps (stockage) et sain (sécurité alimentaire) des
populations de plus en plus concentrées en mégalofoles.

To provide a continuous and sufficient flux (losses reduction,
storage) of safe and edible food to population living in cities
becoming larger and larger.

Dans presque tous les cas, le froid est produit par des machines à compression mécanique de vapeur

In most cases, cold is produced by using vapor compression machines

HCFC
HFC
NH3
CO2
Ozone
Energie
Changement climatique
Climate change



Acceptabilité des consommateurs
Consumers acceptance

Environnement



Qualification des opérateurs et des entreprises
Training and qualification

Cout d'investissement et d'exploitation
Total Cost of Ownership



Quelles alternatives au froid mécanique ?

Do some alternatives to mechanical cold exist ?

Leur utilisation en agro alimentaire est-elle envisageable (en particulier en ASS) ?

Their use in food supply chain is it possible (especially in SSA) ?

- Froid évaporatif
- Froid solaire
- Le stockage de froid.
- Autres alternatives
- Evaporative cooling
- Solar refrigeration
- Cold storage
- Rupture technologies

Le froid évaporatif

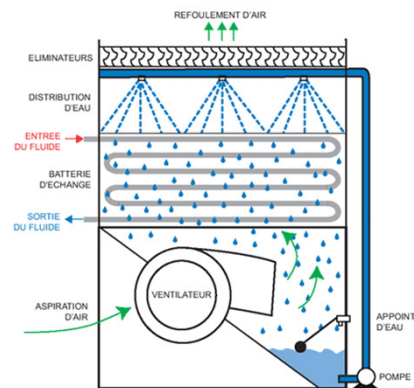
Evaporative cooling

Principe :

Faire évaporer de l'eau dans l'air sec produit (beaucoup) de froid
(2 500 kJ kg⁻¹ d'eau évaporée)

Water evaporation in dry air produce cold (2 500 kJ kg⁻¹)

Utilisé pour les tours de refroidissement, la présentation des feuillus à la vente et dans certains cas comme aide au refroidissement des carcasses
Used in cooling towers, display of vegetables and in some cases as an help for rapid cooling of carcasses



Condenseur évaporatif
Evaporative condenser



Brumisation des salades
Vegetable mist chilling



Brumisation des carcasses de porc
Pork carcasses mist chilling

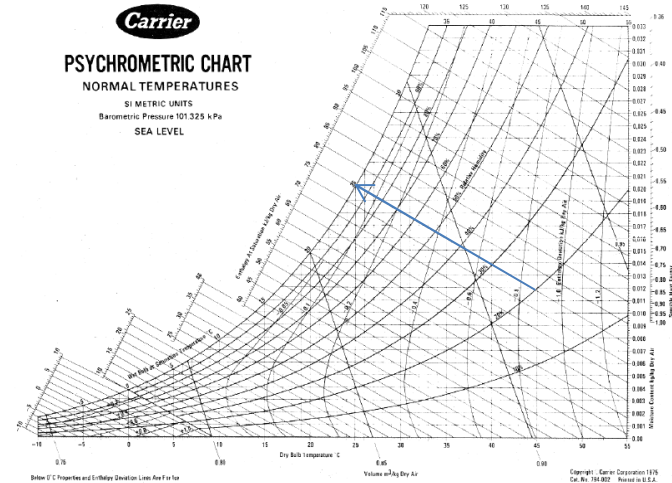
Le froid évaporatif

Evaporative cooling

Limites / limits

Les niveaux de températures atteintes restent loin des niveaux de températures attendus en agro alimentaire

Obtained temperature levels are very far from the expected temperature required for food preservation



Température (°C)	Humidité (%)	Eau vaporisée (g / kg d'air)	Temp. Finale (°C)
45	20	8,31	25,2
45	90	0,82	43,2
30	20	5,88	15,7
30	90	0,6	28,5

Le froid évaporatif

Evaporative cooling



Conclusion :

- Le froid évaporatif ... pour une chaîne rafraîchie (pas du froid) ... peut-être quelques jours de DPC gagnés?
Evaporative cooling for a refreshed supply chain (not a cold chain) ... possibly some days of saved shelf life ?
- Efficacité à démontrer (humidités élevées, températures médianes) sur les produits d'origine végétale
Efficiency to be demonstrated (high relative humidity, medium temperature) on fruit and vegetable
- Inenvisageable pour les produits d'origine animale.
Impossible to envisage on meat products



Le froid solaire

Solar refrigeration



Solaire thermique conventionnel couplé à une machine à sorption (production de froid à partir de chaleur)

Conventional solar energy coupled with a sorption machine (cold production from an heating source)

Les bas niveaux de températures obtenus (70-90°C) limitent les performances de la machine ($\approx 10 \text{ m}^2$ de panneaux pour 1 kW frigo, (soit $\frac{1}{2}$ terrain de foot pour 100 kW)

The low temperature level obtained (70 – 90°C) limits the performances if the machine ($\approx 10 \text{ m}^2$ of panels to produce 1 kW refrigeration capacity)

... Avec le problème de la gestion de l'intermittence de la production.

... with the question about the management of the intermittence of the production

Le froid solaire

Solar refrigeration



Solaire à concentration (toujours couplé à une machine à sorption)

Focused beam solar energy (coupled with a sorption machine)

Température de régénération élevés (200 – 250°C, voire plus)

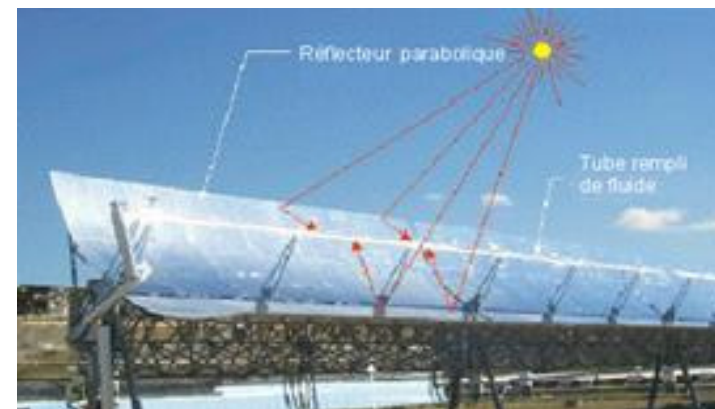
Highest regeneration temperature (200 -250°C, even over)

⇒ Meilleurs rendements

... mais très sensibles à la météo (nébulosité) et à l'intermittence de la production

⇒ Better efficiencies

...but very sensitive to the meteorological conditions (clouds) and to the intermittence of the production



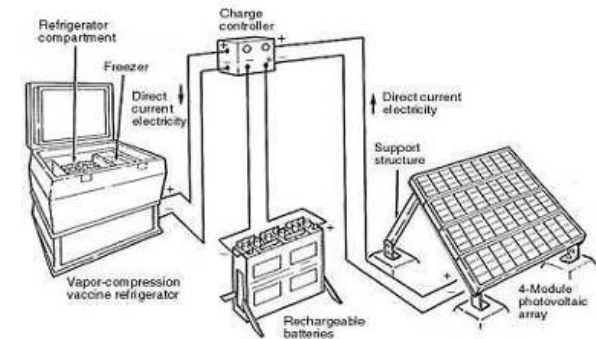
Le froid solaire

Solaire photovoltaïque Photovoltaic

TBT (12 V) ou BT (220 V)

Relativement moins sensibles à la nébulosité
Less sensitive to the clouds

Gestion de l'intermittence de la production
Management of intermittence of the production



Coût investissement
(surtout pour TBT)
Surface des panneaux

Investment costs
Surface of photovoltaic panels





Le froid solaire

Solar refrigeration

Conclusion

- Quelques applications intéressantes
Some interesting applications
- Actuellement réservé aux petites puissances
At present, reserved for small applications
- La gestion de l'intermittence de la production complexifie le problème et nécessite le recours au stockage d'énergie (elec, froid, ...)
Management of the intermittence of the production requires storage facilities (electricity, cold, ...)

Le froid éolien

Wind cold



Night Wind project

- Principe : une éolienne produit l'électricité utilisée par les groupes froid.
Basics : wind energy is transformed into electricity which is used in conventional refrigerating units
- Une réalisation répertoriée dans le domaine du froid alimentaire industriel (Pays Bas, projet Nihgt wind)
One original application in a negative warehouse in the Netherlands
- Là encore, la gestion de l'intermittence de la production complexifie le problème et nécessite le recours au stockage d'énergie (elec, froid, ...)
The problem of the management of the intermittence still remains crucial.

Le stockage de froid

Cold storage

Matériaux à haute inertie thermique

High thermal inertia materials



Idée / basics

- Faire tourner les machines de froid lorsque l'énergie est disponible
Run the refrigeration machines while energy is available (and/or cheap)
- Stocker le froid dans des matériaux spécifiques (MCP)
Store the produced cold inside adequate materials (PCM)
 - Glace écaille (dry ice)
 - Bacs à eau glacée (water ice)
 - Coulis de glace (ice slurries)
 - Coulis d'hydrate (hydrates slurries)
 - MCP encapsulés (encapsulated PCM)
- Utiliser le froid selon besoins
Restore cold when you need it

} Lab. domain

Le stockage de froid

Cold storage

Matériaux à haute inertie thermique

High thermal inertia materials

- ⇒ Technicité
Technicity
- ⇒ Coûts d'investissement (x2 à x4)
Investement costs
- ⇒ Gestion des stocks de froid
Storage management



Herse de bac à glace
Ice on tube cold storage device



Silo de stockage de coulis
(40 kWh m⁻³)
Ice slurry storage silo

Le stockage de froid

Cold storage



Stockage de froid basse température

Low temperature cold storage

Night wind project again ...

Idée / basics

- Faire tourner les machines de froid lorsque l'énergie est disponible
Run the refrigeration machines while energy is available (and/or cheap)
- Stocker le froid dans des chambres froides (négatives) en laissant la température descendre plus bas que nécessaire (-35 / -38°C)
Store cold into the cold room (negative temperature), decreasing the temperature much lower than necessary (-35 / -38°C)
- Laisser les températures dériver (à la hausse) lorsque l'énergie n'est pas disponible
Let the temperature gently increase while energy is not available

Le stockage de froid

Cold storage

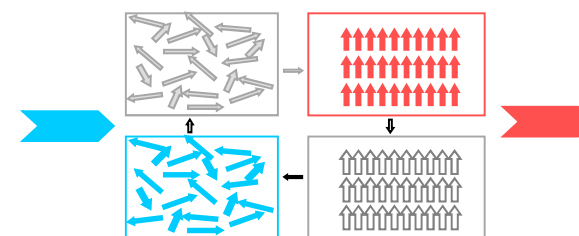
Conclusion

- Pour stocker le froid, il faut en produire.
Cold storage requires cold production at first
- Des couts d'investissements (x 2 à x 4) et d'exploitation (+ 10 à + 20%) qui ne peuvent se justifier que sur des contraintes de cout et de disponibilité de l'énergie.
Investment costs (x 2 up to x4) and running expenses (+10 up to +20%) to be justified regarding the cost and the availability of energy.
- De bonnes idées, dès lors que les capacités de production de froid existent et que l'énergie est intermittente (et/ou chère)
Some good ideas, as soon as refrigeration facilities already exist and the energy is intermittent (and/or expensive)

Les technologies de rupture

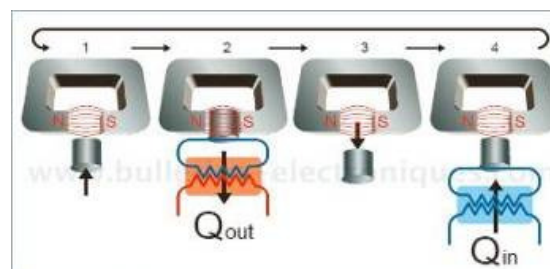
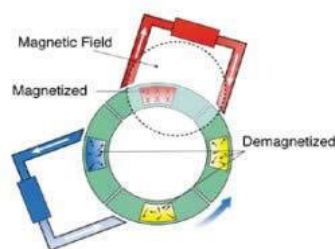
Rupture technologies

Froid magnétique
Magnetic cooling



effet magnéto thermique
découvert en 1881

- Principe de base : utiliser la variation de l'entropie d'un matériau spécifique (Gd, ...) soumis à un champ magnétique.
Basics : use the entropy variation of a specific material (Gd, ...) submitted to a magnetic field.
- Domaine du laboratoire, recherche en progrès (rapide)
Laboratory domain, promising ongoing researches



Les technologies de rupture

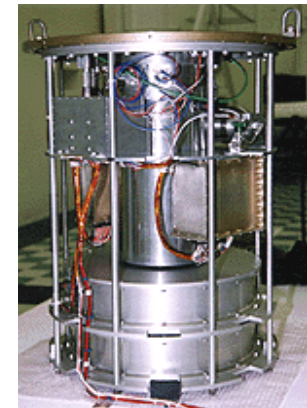
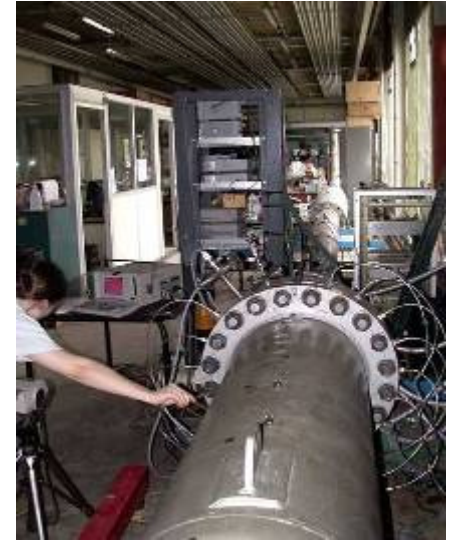
Froid acoustique

Acoustic refrigeration

➤ Principe de base : utiliser les effets thermiques associés à la compression / détente des ondes sonores pour déplacer de la chaleur au sein d'un échangeur.
Basics : use thermal effects of compression / expansion of acoustic waves to displace heat inside an exchanger

➤ Laboratoire, recherches en cours.
Laboratory, ongoing researches

➤ Quelques réalisations originales
(Buzz sur internet)
Some original realizations (internet buzz)



Conclusion

- Des alternatives au froid mécanique existent ...
Some alternatives to mechanical cold do exist ...
- Des applications locales (micro projets et opérations de démonstration subventionnées) indiquent les potentiels de ces alternatives
Some local micro-projects and funded demonstrations actions point out the limits of these alternatives

Conclusion

- ... Mais actuellement, les niveaux de puissances - températures requis pour une chaîne du froid alimentaire efficace sont hors de leur portée
... But at present, the capacities and the temperature obtained are out of range of the requirements for an efficient food cold chain.
- La compression mécanique de vapeur a un bel avenir pour les décennies à venir (en ASS comme dans le reste du monde)
For the forthcoming decades, classical mechanical vapor compression techniques has a nice future (in SSA as well as worldwide)