



17.0 ACTIVITÉ : STOCKAGE D'ÉNERGIE LATENT

Stockage de froid pour bâtiment agricole

Des milliers de systèmes de stockage thermique de froid sont en opération depuis plusieurs années dans le monde, en particulier dans les hôpitaux, les écoles, les universités, les aéroports, les installations gouvernementales et les immeubles de bureaux, et dans les applications de refroidissement de procédés industriels. Plusieurs études de cas sont rapportées par l'AIE-HPC (1994), OCDE (1995), CEC (1996), ARI (1997), Mathaudhu (1999) et Dincer et Rosen (2001), qui démontrent comment ces systèmes TES permettent des économies d'énergie et réduisent l'impact environnemental. Ils illustrent quelques applications astucieuses des équipements dans des nouveaux bâtiments pour réduire les coûts initiaux.

IEA-HPC (1994). Energy storage, international energy agency, *Heat Pump Center Newsletter* 12(4), 8.

OECD (1995). *Urban Energy Handbook*, Organization for Economic Co-Operation and Development, Paris.

CEC (1996). Source Energy and Environmental Impacts of Thermal Energy Storage, Technical Report No. P500-95-005, California Energy Commission, California.

ARI (1997). Thermal Energy Storage: A Solution for Our Energy, Environmental and Economic Challenges, The Air-Conditioning and Refrigeration Institute, Arlington.

Mathaudhu, S.S. (1999). Energy conservation showcase, *ASHRAE Journal*, April, 44–46.

Dincer, I. and Rosen, M.A. (2001). Energetic, environmental and economic aspects of thermal energy storage systems for cooling capacity, *Applied Thermal Engineering* 21, 1105–1117.

Dans le présent exercice, l'attention se porte sur la possibilité de rafraîchir deux couvées de poulets pendant les périodes les plus chaudes de l'été au Québec. En effet, un poulet d'élevage arrivé à maturité (2.3 kg) dégage environ 7-8W de puissance (chaleur sensible); bien que faible d'un point de vue unitaire, une fois multipliée par 20 000 à 25 000 animaux par étage d'un bâtiment avicole, celle-ci donne une charge thermique importante.

La Figure 1 illustre les variations annuelles de la température de consigne intérieure (rouge) et de la température mesurée extérieure (bleu). Cette figure montre 7 cycles d'élevage de 36 jours environ, chacun de ces cycles étant suivi d'une période de nettoyage durant laquelle le chauffage est arrêté.

En janvier, on note que la température extérieure reste loin sous la consigne. Donc, malgré le dégagement de chaleur des animaux, nul besoin de rafraîchir puisque les animaux et le gaz vont permettre de maintenir la température à la valeur désirée. Les données en rouge de la période inter-élevage (jour 36 au jour 52) ne sont pas significatives; durant cette période, le bâtiment est vide. Mais on constate qu'après les 3^{ème}, 4^{ème} et 5^{ème} élevages, la température extérieure atteint ou dépasse la consigne souhaitée.

Puisque les animaux dégagent des kW de puissance, la solution consiste à ventiler le bâtiment, parfois avec des débits de 200 000 à 300 000 CFM, ce qui génère des factures d'électricité de plusieurs milliers de dollars.

Le projet consiste à concevoir un réservoir de neige suffisant pour climatiser les poulaillers lors des trois pointes de chaleur causées par la coïncidence de deux fins d'élevage et de température élevées.

On suppose que 80 % de toute l'énergie contenue dans la neige accumulée sera transférée dans l'échangeur.

La charge de climatisation est alors de 150 kW (7,5 W par animal x 20 000) pendant une période de 10 jours (10 jours x 24 heures/jour x 3600 s/heure), pour chaque élevage visé.

On écrête la charge à partir du jour 25 des élevages à 100 kW (évacués par la ventilation). La charge à compenser par la fonte de la neige est de 50kW sur la période de 10 jours.

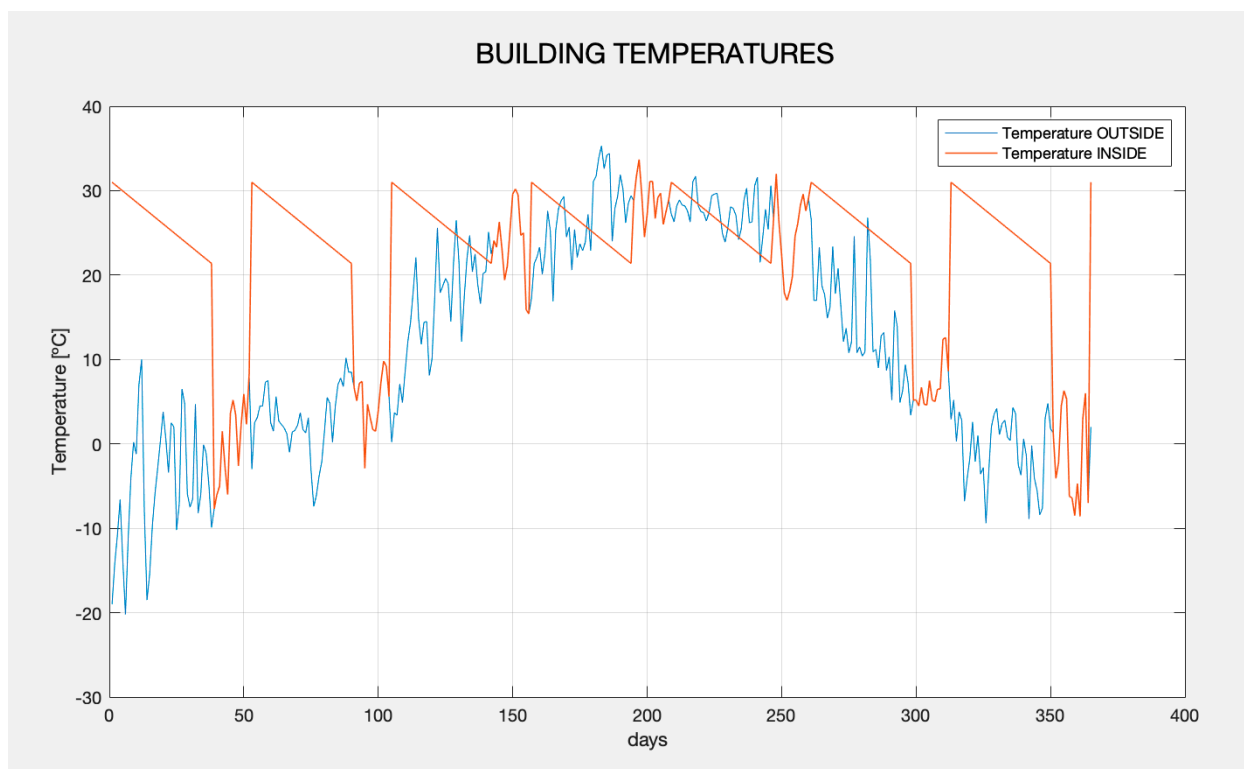


Figure 1 : 7 cycles d'élevages sur une année : T consigne (rouge) et T extérieure (bleu).

L'essentiel du projet repose sur la densité de la neige (Figure 2) dans un réservoir adjacent au bâtiment qui sera créé pendant l'hiver par les opérations de déneigement de l'aviculteur; il emploie la neige qu'il doit déplacer en hiver pour la mettre dans une fosse qui sera recouverte de bran de scie (isolation en avril). Pour les besoins de l'estimé, cette densité est estimée à 600 kg/m³, ce qui correspond à une neige très dense de type névé.

L'expression « firn », du suisse-allemand « de l'année dernière », faisant référence à du névé partiellement compacté, est un type de neige des saisons passées qui a survécu à la saison chaude et qui a été recristallisé en une substance plus dense que le névé. C'est la glace qui se trouve à un stade intermédiaire entre la neige et la glace glaciaire. Le « firn » a l'apparence du sucre humide, mais a une dureté qui le rend extrêmement résistant au pelletage. Sa densité varie généralement de 0,4 g / cm³ à 0,83 g / cm³, et on le trouve souvent sous la neige qui s'accumule à la tête d'un glacier.

Le réservoir de stockage se retrouve donc dans un état voisin du « firn » au début du printemps.

A small dataset showing the typical densities of snow and ice.

Typical densities of snow and ice (kg/m ³)	
New snow (immediately after falling in calm)	60-70
Damp new snow	100-200
Settled snow	200-300
Depth hoar	100-300
Wind packed snow	350-400
Firn	400-830
Very wet snow and firn	700-800
Glacier ice	830-917

Source: Paterson, W.S.B. 1994. *The Physics of Glaciers*.

Figure 2 : Densité de la neige en fonction de son état.

Schématiquement, ce type de système ressemble à ce qui a été installé à l'hôpital de Sundsvall en Suède et représenté à la Figure 3. Cependant, plutôt que d'installer un échangeur externe, l'eau à 2°C entre dans le bâtiment avicole et passe dans un échangeur eau-air à ailettes verticales dans le bâtiment avicole.

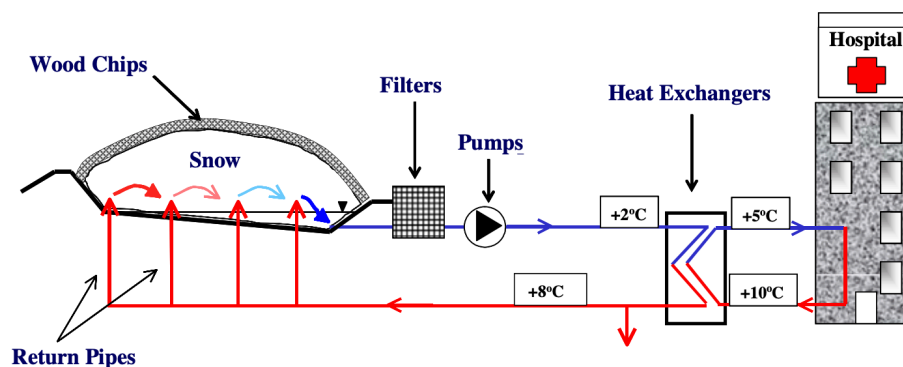


Figure 3 : Schéma du système typique avec boucle ouverte.

<http://advantage-environment.com/buildings/stored-snow-for-summer-cooling/>

Le Figure 4 montre l'énorme banque de neige (60 000 m³) de Sudsvall.



Figure 4 : Vue partielle du réservoir de stockage de froid de l'hôpital de Sundsvall, Suède

QUESTIONS

Données :

- Chaleur spécifique de fusion de la glace : $h_{sf} = 334 \text{ kJ/kg}$
- Densité de la neige type névé : $\rho_{névé} = 600 \text{ kg/m}^3$
- Densité de la neige type fraîche : $\rho_{fraîche} = 100 \text{ kg/m}^3$
- Coût marginal du kWh : $Unit_cost = 0,06 \text{ \$/kWh}$

Question 1 : Quelle doit être le volume de neige névé pour être en mesure d'absorber trois fois durant l'été les 50 kW de chaleur pendant 10 jours ? Attention de bien considérer l'efficacité de l'échangeur à 80%.

Question 2 : Si l'aviculteur aménage une tranchée de 1 m de profondeur et de 4 m de largeur, puis qu'il empile un mètre de neige de hauteur hors-sol (on suppose un réservoir de la forme d'un parallélépipède rectangle pour simplifier), quelle doit être la longueur de la tranchée pour contenir ce réservoir ?

Question 3 : Combien de neige fraîche (100 kg/m³) en volume l'aviculteur doit-il empiler dans le réservoir ? Et s'il tombe 4 m de neige fraîche par an (durant l'hiver) quelle surface doit-il déneiger ?

Question 4 : Si on néglige les pertes, quelle est la valeur de l'électricité qui aurait été requise pour ventiler et extraire la chaleur émise par les oiseaux ? Dans quelle mesure le système est-il rentable ?

Question 5 : Quel devrait être le débit de pompage de l'eau pour que la différence de température entre l'entrée et la sortie de l'échangeur soit de 4°C au maximum ($T_{in} = 2^\circ\text{C}$ et $T_{out} = 6^\circ\text{C}$) ?