

TUNNEL DE REFROIDISSEMENT PAR AIR PULSÉ



Hugh W. Fraser P. Eng,

Introduction

La présente fiche technique explique comment concevoir, construire et exploiter un tunnel de refroidissement par air pulsé, de taille commerciale suffisante pour traiter à la fois de deux à six palettes de fruits et de légumes frais. Les installations de refroidissement par air pulsé sont d'utilisation courante dans la plupart des grandes régions maraîchères. On peut voir sur les figures 1 et 2 un grand tunnel de refroidissement par air pulsé qui est utilisé dans une station fruitière de la Californie pour refroidir des fruits à noyaux.

Comme certaines cultures demandent à être refroidies plus rapidement que d'autres après la récolte, il faut le débit d'air par poids unitaire de produit qui correspond calculer les paramètres techniques du tunnel de sorte qu'il puisse fournir aux besoins de la culture en question. Les règles de base énoncées dans la



Figure 1. Tunnel de refroidissement par air pulsé conçu pour refroidir deux couches de palettes de fruits à noyau à la fois, dans une station fruitière de la Californie. Le tunnel se trouve sous la bâche noire entre les deux rangées de palettes.



Figure 2. Tunnel formé par des palettes de fruits ou de légumes placées contre une installation constituée d'un ventilateur et d'un conduit. La bâche qui recouvre le tunnel force l'air à circuler dans le sens perpendiculaire à la longueur du tunnel et à travers les côtés des contenants.

présente fiche peuvent servir à calculer les paramètres d'installations plus grandes ou plus petites selon les besoins. La figure 1 est le schéma d'un tunnel de refroidissement par air pulsé.

Pourquoi Faut-il Refroidir Les Fruits Et Légumes Aussi Rapidement Que Possible?

Tous les fruits et tous les légumes frais sont des organismes vivants, même après la récolte, et il faut les maintenir vivants et en bon état jusqu'à leur transformation ou leur consommation (Fraser, 1991). C'est dans ses propres réserves que la plante puise l'énergie nécessaire pour se maintenir en vie. Elle convertit ces réserves en énergie par le phénomène de la respiration. Celle-ci s'accompagne d'un dé-

DIRECTIVES COMPLÈTES

Le Service de plans du Canada, un organisme fédéral/provincial, promeut le transfert de technologie à l'aide de fiches techniques, d'outils de conception et de dessins d'exécution qui montrent comment planifier et construire du matériel et des structures agricoles modernes dans le domaine de l'agriculture canadienne.

Pour de plus amples renseignements, communiquez avec l'ingénieur(e) agricole ou le conseiller ou la conseillère agricole provincial(e) de votre localité.

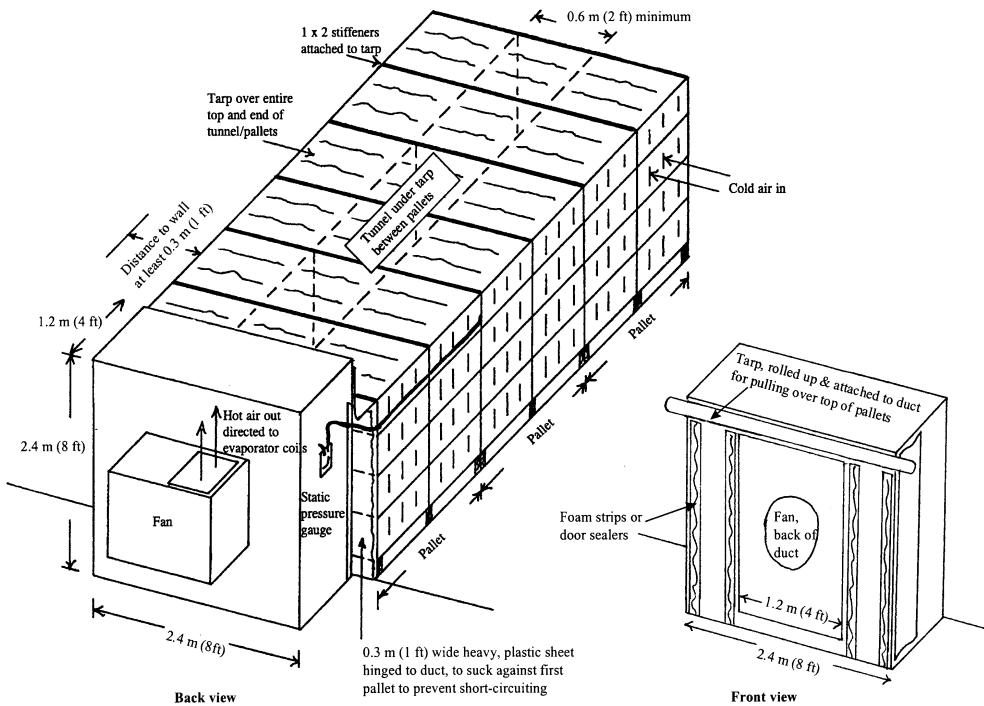


Figure 3. Vue schématique de l'avant et de l'arrière d'un tunnel de refroidissement par air pulsé utilisé pour le conditionnement des fruits et des légumes frais en contenants sur palettes.

I gagement d'énergie sous forme de chaleur, dont la quantité, ou intensité respiratoire, varie selon le type et a variété de C'est la température du fruit ou du légume qui influe le plus sur l'activité respiratoire. Le refroidissement prompt, rapide et uniforme dès la récolte, c'est-à-dire l'élimination de la chaleur de récolte, est cruciale pour abaisser l'intensité respiratoire. Le refroidissement ralentit le processus de détérioration et permet au produit d'avoir une plus grande durée de conservation à l'étalage. *La règle empirique veut que pour chaque heure de retard dans le refroidissement, la durée de conservation du produit diminue d'une journée.* La règle ne se vérifie pas pour toutes les cultures, mais elle s'applique surtout aux cultures très périssables par forte chaleur. En abaissant la température du fruit ou du légume, on réduit aussi le taux de production d'éthylène, la déshydratation, la multiplication des microorganismes et la détérioration consécutive aux lésions.

QUEL EST LE PRINCIPE DU REFROIDISSEMENT PAR AIR PULSÉ?

Le refroidissement par air pulsé n'est qu'une des méthodes utilisées pour extraire la chaleur de récolte des produits fraîchement cueillis. Il est applicable à la plupart des fruits et des légumes. Il met en oeuvre des

ventilateurs de forte puissance qui aspirent l'air réfrigéré pour le forcer à passer à travers les tas de produits à refroidir. Le refroidissement rapide et uniforme, de type convectif, résulte de la circulation active de l'air réfrigéré, pulsé à grande vitesse, autour des fruits ou des légumes tièdes. La méthode est différente du refroidissement en chambre froide où les produits sont simplement entreposés dans un local froid et refroidissent lentement et de façon non uniforme, principalement sous l'effet de la conduction et aussi par contact convectif naturel avec l'air réfrigéré.

Il est préférable de faire circuler l'air à travers la masse du produit en *l'aspirant*, plutôt qu'en le *soufflant*, car il est alors plus facile d'empêcher au maximum l'air réfrigéré de faire des « courts-circuits », c'est-à-dire de l'empêcher de retourner directement au ventilateur sans passer à travers la masse du produit. L'air ne circule pas aussi uniformément quand il est soufflé que lorsqu'il est aspiré à travers le produit. À condition que les contenants aient été conçus en conséquence et qu'ils soient empilés dans le sens voulu, le produit peut être refroidi rapidement et uniformément, qu'il soit dans des paniers, des cageots, des bacs ou des sacs. Une enceinte de refroidissement par air pulsé utilise bien plus efficacement l'air réfrigéré qu'une chambre froide. Malgré le surcoût que cela suppose, il vaut mieux aménager une chambre froide réservée au refroidissement

par air pulsé et transporter le produit refroidi vers un local réfrigéré où il sera entreposé pendant plus longtemps. Dans la plupart des chambres froides utilisées pour refroidir par air pulsé, la température s'élève à chaque arrivage d'un lot de fruits ou de légumes tièdes. Si ce réchauffement est important à cause de la capacité insuffisante du groupe frigorifique, les autres fruits ou légumes froids entreposés dans la chambre se réchauffent et transpirent. Ces deux situations sont inacceptables. Un bon compromis consiste à aménager une aire de refroidissement à air pulsé en isolant un coin de la chambre froide à l'aide d'une bâche suspendue au plafond. Cette solution contribue à réduire les fluctuations de température, mais elle doit être considérée comme un pis-aller.

LES « DURÉES DE REFROIDISSEMENT 7/8 »

Chez tous les fruits et les légumes, le refroidissement est d'abord rapide, puis de plus en plus lent. La vitesse de refroidissement par air pulsé est sous la dépendance de plusieurs facteurs :

- la densité des produits à l'intérieur des contenants (moins les produits sont tassés, plus vite ils refroidissent);
- le type de contenant, le sens de l'empilement, les caractéristiques des entrées d'air (si l'air rentre uniformément en plusieurs endroits du contenant, le refroidissement est plus rapide);
- le rapport volume/surface du produit; plus le rapport est bas, plus le refroidissement est rapide (les cerises refroidissent plus vite que les melons);
- la distance parcourue par l'air réfrigéré (plus son trajet est court, plus le refroidissement de la pile tout entière est rapide);
- la capacité de débit d'air (plus le débit est élevé, plus le refroidissement est rapide).

L'humidité relative de l'air réfrigéré influe peu sur la déshydratation des produits dès l'instant qu'elle est supérieure à 85 % et que le refroidissement dure moins d'une ou deux heures.

Quelle que soit la température de l'air de refroidissement ou celle du produit entrant, la courbe de refroidissement reste la même si tous les autres facteurs évoqués ci-dessus sont gardés constants. Seule la vitesse de refroidissement change.

L'expression *durée de refroidissement 7/8* s'emploie couramment dans l'industrie pour désigner le temps nécessaire pour extraire les sept huitièmes (87,5 %) de la différence entre la température du produit entrant et la température de l'agent de refroidissement (l'air réfrigéré, dans le cas du refroidissement par air pulsé). C'est une méthode commode pour savoir au bout de combien de temps la température des produits sera ramenée aussi près qu'il est possible et pratique de le faire de la

température de l'agent de refroidissement. Le refroidissement par air pulsé doit commencer aussitôt qu'il est possible de le faire, de préférence dans l'heure qui suit la récolte. Il ne faut pas laisser les fruits ou les légumes s'accumuler avant de les placer dans le tunnel de refroidissement, sinon ils perdent de leur qualité et de leur faculté de conservation. La *durée de refroidissement 7/8* est mesurée à partir de l'instant où le produit est placé dans le tunnel (figure 2).

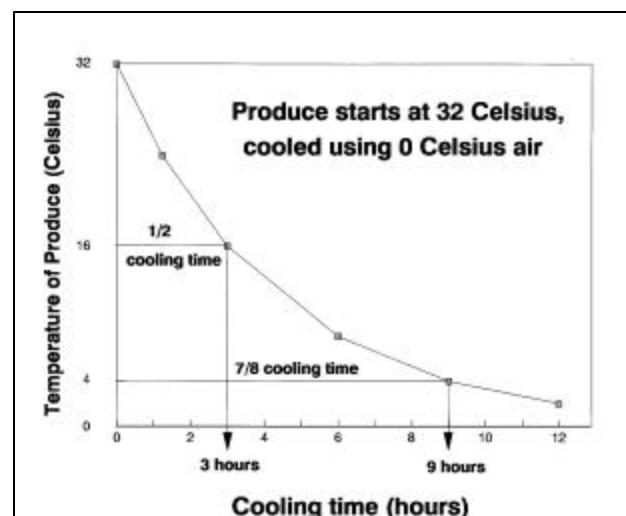


Figure 4. Courbe caractéristique de la température des produits en fonction du temps de refroidissement.

Par exemple, si, avec de l'air à 0 °C, il faut neuf heures pour abaisser à 4 °C la température d'une pêche qui était de 32 °C à son arrivée, la *durée de refroidissement 7/8* est de 9 heures. Autrement dit, l'écart de température entre le produit et l'air de refroidissement, qui était de 32 °C, a été diminué de 28 °C. La durée de refroidissement 7/8 est théoriquement trois fois plus longue que la durée de refroidissement 1/2. En conséquence, la même pêche qui a mis 9 heures pour refroidir à 4 °C, ne mettrait que 3 heures pour refroidir à 16 °C, la température correspondant à la durée de refroidissement 1/2, toutes choses restant égales par ailleurs. En pratique, la durée de refroidissement 7/8 ne correspond pas souvent à trois fois la durée de refroidissement 1/2 parce que les conditions demeurent rarement égales pendant toute la durée du refroidissement.

Quelquefois on est en mesure d'estimer au bout de combien de temps un produit sera refroidi aux 7/8 si l'on connaît les autres durées de refroidissement. Le tableau 1 indique quelques rapports entre les durées de refroidissement. Pour ce qui concerne certaines cultures, il peut ne pas être nécessaire de faire fonctionner le tunnel de refroidissement par air pulsé à une température aussi basse que la température d'entreposage optimale. Par exemple, on peut refroidir

certains fruits et légumes avec de l'air pulsé à 5 °C, puis les placer dans une chambre froide adjacente où ils finiront de refroidir plus lentement. Ce compromis permet de faire l'économie d'un système de dégivrage du groupe fri-gorifique dans la chambre de refroidissement par air pulsé.

Tableau 1. Facteurs servant au calcul de la durée de re-froidissement 7/8

Si vous connaissez...	... multipliez par le ci-dessous pour estimer la durée de refroidissement 7/8
la durée de refroidissement 1/4	7,25
la durée de refroidissement 3/8	4,4
la durée de refroidissement 1/2	3
la durée de refroidissement 3/4	1,5

QUELS PRODUITS PEUT-ON REFROIDIR PAR AIR PULSÉ?

La plupart des fruits et des légumes peuvent être refroidis air pulsé, mais la *durée de refroidissement 7/8* devrait être plus courte pour certains produits dont les caractéristiques sont les suivantes :

- ceux dont l'intensité respiratoire est élevée à la récolte;
- ceux qui se déshydratent facilement (petits fruits/légumes-feuilles);
- ceux qui sont très mûrs, par exemple des pêches mûries sur l'arbre;
- ceux qui sont destinés à voyager loin.

Le tableau 2 donne la liste des fruits et des légumes qui demandent à être refroidis très vite, la *durée de refroidissement 7/8* et le débit d'air conseillés.

Cultures très périsables

Les cultures très périsables ont toutes une intensité respiratoire élevée lorsqu'elles sont récoltées et elles se ferment rapidement dès la cueillette. Il faut les refroidir rapidement et aussitôt que possible après la récolte, sinon elles se conserveront peu de temps voire pas du tout. Il est plus traditionnel de refroidir certaines de ces cultures avec de l'eau, de la glace, ou sous vide. Néanmoins, on peut toutes les refroidir par air pulsé, à condition de faire vite, de mettre en œuvre un débit élevé et un air dont l'humidité relative est élevée pour réduire le risque de déshydration du produit. On conseille d'utiliser des débits d'air

Tableau 2. Fragilité relative des fruits et des légumes frais, débits d'air et durées de refroidissement 7/8 recommandés

Fragilité relative des fruits et légumes périsposables	Culture	Durée de refroidissement 7/8 (heures)	b Débit d'air L/s/kg (PCM/lb)
Très périsposables	Asperge, brocoli, laitue en feuilles, épinard, maïs sucré, champignons	0,75-1,5	6 - 2 (6 - 2)
Périsposables	Bleuets, framboises, fraises, cerises sucrées, choux-fleurs, haricots mange-facile tout, laitue pommée	1-2,5	4 - 1,25 (4 - 1,25)
Moyennement périsposables	Pommes (hâties), choux (hâtifs), melons brodés, a céleri, pêches, prunes, poivrons, courges d'été	2-6	1,5-0,5 (1,5-0,5)

a Il peut être avantageux d'asperger de l'eau sur le fruit ou le légume, ou de nébuliser de l'eau dans l'air de refroidissement avant de le faire circuler dans les contenants.

b Les débits élevés sont indiqués en premier de façon à correspondre aux durées de refroidissement 7/8 courtes.

d'au moins 2 à 6 L/s par kg de produit (2 à 6 PCM/lb), en visant des *durées de refroidissement 7/8* qui ne dépassent pas 45-90 minutes. Il faut surveiller les produits pour détecter tout signe de déshydratation. À cet égard, il peut être bénéfique de les asperger d'eau avant de les mettre à refroidir par air pulsé (exception faite des champignons). Ne pas faire fonctionner le tunnel de refroidissement par air pulsé plus longtemps que nécessaire.

Cultures périsposables

Ces cultures ont une intensité respiratoire élevée lorsqu'elles viennent d'être récoltées et (ou) elles se déshydratent rapidement, mais il n'est pas aussi crucial de les refroidir aussi rapidement que celles dont il est question ci-dessus. Les producteurs ont appris par expérience qu'ils gagnent à refroidir ces produits le plus rapidement possible après la récolte. On doit surveiller les produits pour détecter les signes de déshydratation. On conseille d'utiliser des débits d'air d'au moins 1 à 3 L/s par kg de produit (1 à 3 PCM/lb), et des *durées de refroidissement 7/8* qui ne dépassent pas une à trois heures.

Les haricots mange-tout doivent refroidir seulement à environ 4 °C - 7 °C (40 °F - 45 °F), selon le cultivar, sinon ils risquent d'être endommagés par le froid. On évite de les refroidir avec de l'air pulsé dont la température est inférieure à 4 °C, et on essaie autant que possible de les refroidir pendant moins de trois heures. Comme ces légumes sont souvent lavés après équiper les chaudières à chauffage.

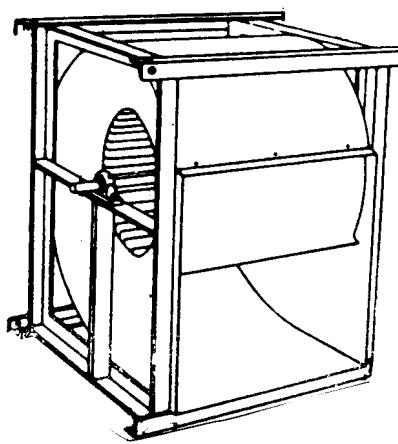


Figure 5. Dans les installations de refroidissement par air pulsé, on utilise souvent des ventilateurs centrifuges, à aubes, du type de ceux qui équipent les chaudières à chauffage

Cultures moyennement périssables

Bien que ces cultures soient moins fragiles que les précédentes, il demeure recommandé de les refroidir rapidement et dès que possible après la récolte. Elles ne s'en conserveront que mieux. On conseille d'utiliser des débits d'air d'au moins 0,5 à 1,5 L/s par kg de produit (0,5 à 1,5 PCM/lb), et des durées de refroidissement 7/8 qui ne dépassent pas trois à six heures. Comme les melons brodés et les courges d'été sont sensibles aux altérations dues au froid, leur refroidissement par air pulsé très froid est à éviter. Il est conseillé de refroidir les melons brodés à environ 2 °C - 5 °C (34 °F - 41 °F), alors que les courges d'été doivent être refroidies à environ 7 °C - 10 °C (45 °F - 50 °F).

DE QUOI EST FAIT UN TUNNEL DE REFROIDISSEMENT PAR AIR PULSÉ?

Les quatre composantes d'un tunnel de refroidissement par air pulsé sont les suivantes :

- une installation composée d'un ventilateur et d'un conduit;

- des bandes de mousse, une bâche ou une feuille de plastique pour empêcher l'air de retourner au ventilateur sans traverser la masse du produit;
- un groupe frigorifique;
- des instruments de contrôle.

Le ventilateur et le conduit

Le ventilateur est le cœur de l'installation de refroidissement par air pulsé. Son débit se mesure en litres d'air par seconde (L/s) ou en *pieds cubes d'air par minute* (PCM). Il varie selon le type du ventilateur (hélicoïdal ou centrifuge); la conception (forme et orientation des pales ou des aubes); la résistance à vaincre pour aspirer l'air à travers le produit (pression statique); la taille du moteur (puissance en chevaux-vapeur, hp, ou en watts); et le nombre de tours par minutes (tr/min) des pales ou aubes du ventilateur.

Les ventilateurs doivent être choisis en fonction du débit d'air qu'ils peuvent produire à une *pression statique* donnée entre l'entrée et la sortie du ventilateur. Pour la plupart des systèmes de refroidissement par air pulsé, les pressions statiques vont de 15 à 25 mm (0,6-1,0 pouce) de colonne d'eau. On peut utiliser indifféremment des modèles centri-fuges (à aubes, comme les ventilateurs des chaudières à chauffage) ou des modèles hélicoïdaux (à pales). Au Canada, bon nombre d'installations de refroidissement sont équipées de ventilateurs centrifuges parce qu'il est facile d'en trouver d'occasion et qu'ils sont moins bruyants (figure3).

De nombreux producteurs se procurent des entilateurs centrifuges d'occasion pour leurs installations de refroidissement, mais il est difficile d'établir le débit d'air dans le cas de ces appareils. Néanmoins, et pour des besoins de planification seulement, on peut s'aider du tableau 3 pour estimer la capacité de ces ventilateurs.

Tableau 3. Fourchettes approximatives du débit d'air en L/s (PCM) des ventilateurs centrifuges (fourchette standard des TR/MIN; entrée à sens unique)

Taille du moteur kW (hp)	Débit approximatif, L/s (PCM) à la pression statique indiquée	
	12 mm (0,5 po)	25 mm (1 po)
0,37 (0,5)	1125-1225 (2400-2600)	-
0,75 (1)	1700-2450 (3600-5200)	1275-1500 (2700-3200)
1.1 (1,5)	2025-3075 (4300-6525)	1650-2275 (3500-4800)
1,5 (2)	2175-3550 (4600-7525)	1925-2825 (4100-6000)
2,25 (3)	2500-4250 (5300-9000)	2300-3575 (4900-7600)

3,75 (5)	3250-5200 (6900-11000)	3075-4750 (6500-10000)
-------------	---------------------------	---------------------------

Il est difficile de prédire à quelle pression statique doit fonctionner le ventilateur d'une installation de refroidissement par air pulsé. La pression statique est fonction de plusieurs facteurs : débit d'air, nombre et importance des entrées d'air percées dans les côtés des contenants, alignement des entrées d'air, distance parcourue par l'air à travers les produits, et éventuels obstacles au bon écoulement de l'air à l'intérieur du conduit. Pour la plupart des systèmes, les ventilateurs doivent être sélectionnés en vue d'un fonctionnement à la pression statique maximale de 25 mm (1 po) de colonne d'eau.

On trouve de nombreux types et modèles de ventilateurs. Les petits ventilateurs centrifuges demandent un plus gros moteur à régime (tr/min) plus élevé pour débiter autant d'air que les ventilateurs centrifuges plus gros. En général, les gros ventilateurs équipés d'un petit moteur sont plus efficaces. On gagne à opter pour ce type d'appareil pour limiter les frais d'utilisation, le bruit, l'usure et les surcharges thermiques du groupe frigorifique. On se laisse en outre la possibilité de l'équiper un jour d'un moteur plus gros pouvant fournir de plus grands débits d'air si le besoin s'en fait sentir.

La grandeur des ouvertures d'admission d'air (extérieur des palettes) ou de retour d'air (tunnel) doit être calculée de façon à maintenir la vitesse de l'air inférieure à 5 m/s (1000 pieds/min). Il faut donc prévoir au moins 1 m² de section par 5 000 L/s de débit (1 pied carré/1000 PCM). Des ouvertures plus petites limitent le débit d'air, rendent la tâche plus dure au ventilateur, incitent l'air à prendre des raccourcis près du ventilateur et ne favorisent pas un refroidissement uniforme.

Pour déterminer la superficie minimale des admissions d'air et la section du tunnel, supposons un système de refroidissement par air pulsé conçu pour refroidir 2 250

kg (4 950 lb) de produits empilés sur six palettes, avec un débit d'air 4 500 L/s, soit 2 L/s par kg (9 530 PCM ou 1,9 PCM/lb) (figure 3). Les palettes mesurent 1,2 m (4 pi) de large et 1,5 m (5 pi) de haut. On calcule le débit à l'aide de l'équation suivante :

$$Q = A \cdot V \quad \text{où } Q \text{ est le débit d'air, en L/s (PCM);}$$

A est la surface de la section perpendiculaire à la direction de l'air, en m² (pi²). V est la vitesse de l'air, en m/s (pi/min). Le débit étant de 4 500 L/s (4,5 m³/s), la section du tunnel doit être au minimum de :

$$A = 4,5 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 5 \text{ m/s} = 0,9 \text{ m}^2 \\ (A = 9 530 \text{ PCM} \cdot 1000 \text{ pi/min} = 9,5 \text{ pi}^2) \\ \text{Ainsi, si les palettes mesurent 1,5 m de hauteur (5 pi), la}$$

largeur du tunnel doit être au minimum de :

$$W = 0,9 \text{ m}^2 \\ 1,5 \text{ m} = 0,6 \text{ m} \\ (W = 9,5 \text{ pi}^2 \\ 5 \text{ pi} = 1,9 \text{ pi})$$

Pour des raisons pratiques, la largeur du tunnel ne doit pas être inférieure à 0,6 m (2 pi).

Pour laisser l'air froid rentrer facilement dans les côtés des palettes, il faut également laisser un espace suffisamment large entre le bord externe des palettes et les murs ou éventuellement entre le bord externe des palettes et les palettes d'une installation voisine de refroidissement par air pulsé. Pour des raisons pratiques, la largeur de cet espace doit être *d'au moins* 0,3 m (1 pi) ou plus, pour qu'il soit possible à une personne de s'y glisser pour vérifier l'installation. Sauf si les débits d'air sont extrêmement élevés, cette largeur est amplement suffisante pour laisser l'air pénétrer sans effort dans les côtés des palettes.

Pour la plupart des applications, les dimensions minimales conseillées sont les suivantes :

- Largeur du tunnel : 0,6 - 1,2 m (2 - 4 pi);
- Largeur libre entre l'installation et les murs : 0,3 - 0,6 m (1 - 2 pi);
- Largeur libre entre deux installations de refroidissement voisines : 0,6 - 1 m (2 - 3 pi).

Les dimensions du conduit en contreplaqué recouvrant le ventilateur doivent être de 2,4 m (8 pi) de large sur 2,4 m (8 pi) de haut pour traiter des palettes de diverses tailles et hauteurs. Le conduit doit également mesurer 1,2 m (4 pi) de long entre le devant et le fond de façon que l'air s'écoule plus uniformément et que le conduit soit plus stable, compte tenu du poids du ventilateur qui est installé au fond. L'ouverture pratiquée sur le devant du conduit pour le retour de l'air au ventilateur doit être centrée; elle doit mesurer 1,2 m (4 pi) de large et être située aussi haut que possible sur le conduit (figure 3).

La plupart des installations de refroidissement par air pulsé qui sont utilisées au Canada fonctionnent à un débit situé entre 0,5 et 6 L/s par kilo de produit à refroidir (0,5 à 6 PCM/lb). Des débits plus élevés peuvent réduire la durée de refroidissement, mais le fait de doubler le débit ne diminue pas la durée de

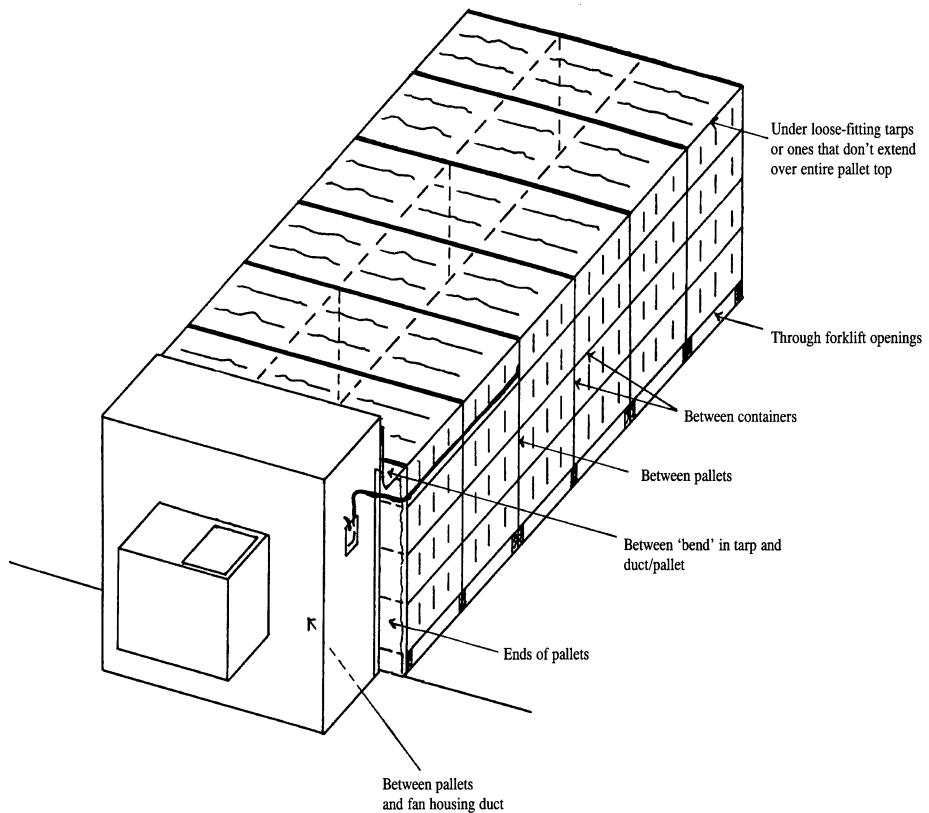


Figure 6. Dans un tunnel de refroidissement par air pulsé, il est indispensable de calfeutrer les interstices par lesquels l'air peut retourner directement au ventilateur.

moitié. Il est très important de comprendre que des débits élevés ne signifient pas forcément un refroidissement plus rapide, car une réfrigération adéquate et le calfeutrage pour prévenir les courts-circuits sont d'ordinaire beaucoup plus importants. En outre, il peut s'avérer peu pratique de fonctionner avec des débits très élevés, étant donné qu'alors, il faut souvent des ventilateurs extrêmement gros. On a vu des cas où un très gros débit d'air avait entraîné une telle pression statique que la bâche avait été aspirée à l'intérieur du tunnel. Mais quelle que soit la faiblesse du débit d'air, n'importe quel volume d'air réfrigéré aspiré convenablement à travers les fruits et les légumes raccourcira considérablement les durées de refroidissement, si l'on compare avec le refroidissement dans une chambre froide ordinaire.

Pose de bandes de mousse, d'une bâche ou d'une feuille de plastique pour empêcher les « courts-circuits »

Un des aspects les plus importants mais souvent le plus négligé du bon fonctionnement d'un tunnel de refroidissement par air pulsé est la méthode utilisée pour empêcher les courts-circuits, c'est-à-dire empêcher l'air réfrigéré de retourner au ventilateur par le chemin le plus court. Comme l'air emprunte toujours le chemin où il rencontre le moins de résistance, il faut calfeutrer les interstices même les plus petits. Il n'est pas nécessaire qu'un trou soit bien grand pour réduire le débit de l'air qui traversera la masse des produits. Même dans un système étanche bien conçu, on peut s'attendre à ce qu'au moins 10 % de l'air retourne au ventilateur sans passer à travers les contenants de produits (Thompson, 1996). Lorsque le système est mal conçu et mal exploité, c'est la majorité de l'air qui peut prendre les chemins les plus courts.

I y a de nombreux endroits par où l'air se faufile pour prendre le chemin le plus court (figure 6) :

- les fentes prévues pour les bras du chariot élévateur;
- les espaces laissés entre les contenants d'expédition et les côtés ou le dessus de la palette parce que leur forme ou leurs dimensions ne sont pas adaptées à cette dernière;
- l'espace entre les palettes et l'installation de refroidissement à air pulsé;
- l'espace entre les contenants du dessus d'une palette et une bâche mal ajustée.

Pour démontrer le problème des courts-circuits, reprendons l'exemple précédent illustré par la figure 8. L'air réfrigéré peut entrer dans le tunnel seulement par le

Nous avons précédemment calculé que la section du côté extérieur des contenants, soit une superficie de : $1,5 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} \times 3 \text{ palettes/côté} \times 2 \text{ côtés} = 10,8 \text{ m}^2$ ($5 \text{ pi} \times 4 \text{ pi} \times 3 \times 2 = 120 \text{ pi}^2$)

tunnel doit être d'environ $1,0 \text{ m}^2$ ($10,5 \text{ pi}^2$). Par conséquent, il suffit que la surface totale des défauts d'étanchéité soit de 10 % pour que la totalité de l'air réfrigéré emprunte ces passages pour retourner au ventilateur. Il ne passerait que peu d'air à travers le produit, lequel oppose déjà une résistance plus élevée à l'écoulement de l'air. Les six fentes prévues pour les bras du chariot élévateur, à elles seules, représentent une ouverture totale d'environ $0,12 \text{ m}^2$ ($1,5 \text{ pi}^2$).

Voilà la raison pour laquelle il est important de boucher sans exception tous les orifices par lesquels l'air peut passer.

On doit poser une grosse bâche en plastique ou en toile sur les contenants de produits pour forcer l'air réfrigéré à se frayer un chemin uniformément, dans une seule direction, à travers les produits. Souvent, on pose sur le devant du conduit abritant le ventilateur des bandes de mousse dense ou des rubans à calfeutrer les portes contre lesquels on appuie fermement la première paire de palettes, dans le but de créer une enceinte étanche (figure 3). On n'insistera jamais assez sur l'importance de vérifier après la construction que l'installation ne présente pas de défauts d'étanchéité.

Pour les systèmes à palettes, les contenants qui se prêtent idéalement au refroidissement par air pulsé sont ceux qui se plaquent étroitement les uns contre les autres et qui occupent complètement la base de la palette. La figure 5 présente une comparaison entre des contenants à côtés verticaux qui s'emboîtent sur leurs six côtés, dessus et dessous, à la manière des pièces de LEGO TM, et des contenants à côtés obliques qui ne s'empilent pas étroitement sur le dessus et le dessous. Dans le cas des contenants à côtés obliques, l'air fuit à travers les espaces laissés entre les contenants plutôt que de passer à travers les produits dans les contenants, bien que l'inclinaison des côtés soit très faible (Vigneault et Goyette, 1995). Lorsque les contenants ont des côtés verticaux et qu'ils s'appliquent étroitement les uns contre les autres sur toutes les faces

et sur le dessus, l'air n'a pas d'autre choix que de passer à travers le produit,

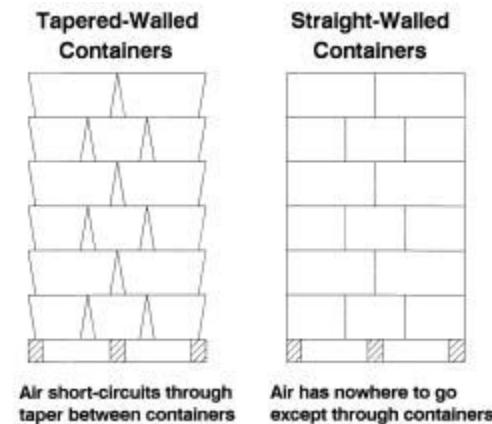


Figure 7. Les contenants doivent s'appliquer étroitement les uns contre les autres, être percés de trous laissant passer l'air uniformément, et occuper complètement la base de la palette dont les dimensions sont d'ordinaire de 1,2 m sur 1,0 m (48 pi sur 40 pi).

d'où un refroidissement plus rapide et plus uniforme (figure 8). Plus précisément, les contenants idéaux d'une installation de refroidissement par air pulsé sont ceux qui comportent des ouvertures répondant aux conditions suivantes :

- la totalité de leur surface représente 25 % de la surface perpendiculaire à la direction de l'air (Vigneault et Goyette, 1995);
- leur répartition est uniforme;
- elles se font vis-à-vis d'un bout à l'autre de la palette;
- elles sont longues et étroites plutôt que rondes, de façon à ne pas être aussi facilement obstruées par les produits;
- elles ne sont pas bouchées par des matériaux d'emballage et de coussinage, par des plateaux, etc.

Un indicateur de pression statique, ou manomètre, qui coûte 50 \$ (figure 9), aide à déterminer l'importance des courts-circuits qui se produisent dans l'installation. Le tube à faible pression doit être installé à l'intérieur du tunnel entre les palettes aussi loin que possible du ventilateur (Boyette, 1994) (figure 3). Le tube à haute pression doit être installé dans le passage normal de l'air de la chambre froide. Pour la plupart des applications, la différence doit correspondre à environ 12 mm (0,5 po) de colonne d'eau (pression statique). C'est la mesure de la résistance que le ventilateur doit vaincre pour tirer l'air à travers le produit. Quand on obstrue les trous par lesquels l'air prend des raccourcis, la pression statique augmente, ce qui montre que le ventilateur travaille plus fort pour faire passer l'air à travers le produit et donc que l'air réfrigéré passe à l'intérieur des contenants au lieu de les contourner.



Figure 8. Deux tunnels de refroidissement par air pulsé, utilisés côte à côté pour refroidir des choux-fleurs dans le cadre d'un travail de recherche ayant pour objet de comparer des contenants en plastique pliables, à côtés verticaux (à gauche) avec des contenants à côtés obliques, em-boîtables (à droite). L'air est porté naturellement à passer par les espaces laissés entre les côtés obliques. Noter la présence des tiges rigides intégrées à la bâche pour l'empêcher d'être aspirée dans le tunnel quand il est en marche.

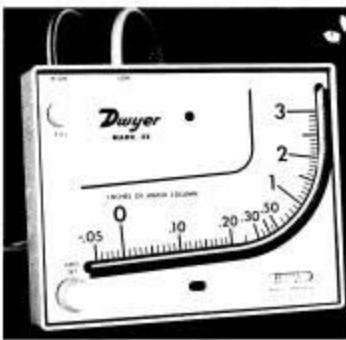


Figure 9. À l'aide d'un manomètre, appareil qui mesure la pression statique, on peut déceler les défauts d'étanchéité du tunnel de refroidissement.

Les moyens les plus usuels employés contre les « courts-circuits » sont les suivants : bandes de mousse ou rubans d'étanchéité glissés entre les palettes et l'installation de refroidissement par air pulsé; carton ondulé ou rubans de plastique entre les palettes et sur les extrémités des palettes ou sur les fentes prévues pour les bras du chariot élévateur (ces matériaux se collent aux ouvertures à cause de la pression de l'air); boudins souples contre lesquels oncale les palettes de façon à empêcher l'air de passer par les fentes.

Groupe frigorifique

Les frigoristes savent depuis longtemps qu'il n'y a ja-

mais trop de réfrigération dans une chambre froide. Chose certaine, la règle s'applique aux installations de refroidissement par air pulsé. Étant donné que le refroidissement commence dès que les produits sont placés dans le tunnel et que la courbe du refroidissement fléchit très vite au début (figure 4), la quantité de réfrigération requise au départ est énorme. Elle excède souvent de beaucoup les besoins de la plupart des producteurs et aussi leurs moyens. La formule de la *réfrigération* en kilowatts, kW, (*BTU/h*) nécessaire à tout moment est tirée de la formule du taux de refroidissement *momentané* (Mitchell et coll., 1972) :

$$\text{Réfrigération nécessaire, en kW (BTU/h)} = \\ 2,1 \cdot (A-B) \cdot C \cdot D \cdot E$$

A = Température du produit, en °C (ou °F);
B = Température de l'air de réfrigération, en °C (ou °F);
C = Poids du produit à refroidir, en kg (lb);
D = Chaleur spécifique du produit, d'ordinaire environ 3,77 kJ/kg/°C (0,9 BTU/lb/°F);
E = Durée de refroidissement 7/8 (en heures).

Dans l'exemple précédent, quelle capacité de refroidissement est-elle nécessaire pour refroidir 2 227 kg (5 000 lb) de fraises de 28 °C (82 °F) à 3,5 °C (38 °F) en deux heures, avec de l'air à 0 °C (32 °F) (durée de refroidissement 7/8 de deux heures)?

En utilisant la formule ci-dessus, les besoins en réfrigération *momentanée* au début du refroidissement (scénario le plus défavorable) seraient de :

$$2,1 \cdot (28 - 0) \cdot 0 \cdot C \cdot 2 275 \text{ kg} \cdot 3,77 \text{ kJ/kg/°C} \cdot 2 \text{ h} = \\ 252 150 \text{ kJ/h, soit } 70 \text{ kW}$$

$$2,1 \cdot (82 - 32) \cdot 0 \cdot F \cdot 5 000 \text{ lb} \cdot 0,9 \text{ BTU/lb/°F} \cdot 2 \text{ h} = \\ 236 250 \text{ BTU/h}$$

Cela revient à près de 20 tonnes de réfrigération! Les gens du métier utilisent le terme « tonne de réfrigération » pour désigner 3,5 kW (12 000 BTU/h). La plupart des producteurs n'ont pas les moyens de s'équiper en prévision du scénario le plus défavorable. Toutefois, s'ils apprennent à accepter le fait que la température de la pièce s'élève légèrement au début quand ils rentrent le produit dans l'installation, mais qu'elle baisse ensuite graduellement, ils peuvent concevoir des systèmes produisant des niveaux de réfrigération moins élevés. À condition que l'installation soit bien gérée, on conseille de façon empirique de concevoir celle-ci de manière qu'elle puisse fournir environ 2/3 du taux maximal de réfrigération *momentanée* au début de la période de refroidissement:

$$70 \text{ kW} \cdot 2/3 = 47 \text{ kW} \\ (236 250 \text{ BTU/h} \cdot 2/3 = 157 500 \text{ BTU/h})$$

Ce qui représente environ 13 tonnes de réfrigération de

plus que la quantité requise pour compenser les charges de réfrigération (apports de chaleur) venant d'autres zones de la chambre froide, par exemple des portes, des murs et du plafond. La charge de réfrigération venant du produit re-présente probablement au moins 80 % de la charge totale de la chambre froide.

À moins que le système ne soit conçu à cet effet, il ne faut pas envoyer directement aux serpentins de l'évaporateur, par un conduit, l'air chaud dégagé par le ventilateur de refroidissement à air pulsé; il ne faut pas non plus envoyer directement l'air refroidi par les serpentins de l'évaporateur vers les palettes mises à refroidir par air froid pulsé. Dans la plupart des cas, les serpentins et les ventilateurs n'ont pas été conçus pour cette application. Quand on utilise une installation de refroidissement par air pulsé dans une chambre froide où sont entreposés des produits déjà refroidis, on doit diriger l'air chaud du ventilateur en direction opposée aux produits et vers les serpentins de l'évaporateur.

À l'intérieur de la chambre froide à air pulsé, l'humidité relative de l'air de refroidissement doit être supérieure à 85 % pour réduire le risque de flétrissement du produit. Il faut donc prévoir une grande surface de serpentins d'évaporation et s'attendre à de légères baisses de température par endroits sur les serpentins. Si on maintient la chambre froide à 0°C (32°F) et que les serpentins de l'évaporateur sont trop petits, la température de l'air refroidi à leur contact sera de plusieurs degrés inférieure à 0°C (32°F). Il en résulte un assèchement de l'air et une humidité relative trop faible dans la chambre froide pour des fruits et des légumes frais. Les produits risquent d'être endommagés par le froid si cet air ne se réchauffe pas légèrement dans la chambre avant d'être aspiré à travers les produits par l'installation de refroidissement par air pulsé.

Il est important de maintenir l'air de refroidissement à une température aussi voisine que possible de la température recherchée, surtout vers la fin de la période de refroidissement. Si l'air s'élève de quelques degrés, le refroidissement du produit risque de cesser et un réchauffement peut même se produire. On comprend donc la nécessité d'avoir des chambres froides séparées pour l'air pulsé, avec une grande capacité de réfrigération.

Certains groupes frigorifiques, tel le *Filacell System*, ont été expressément conçus pour refroidir par air pulsé. C'est un groupe qui comporte des ventilateurs de grande capacité capables de fonctionner avec des pressions statiques élevées, tout en fournissant une humidité très élevée. On peut consulter un frigoriste pour connaître les options disponibles.

Instruments de contrôle

Les instruments de contrôle aident à mieux gérer l'installation de refroidissement par air pulsé. En effet, la con-

naissance de certaines données est capitale :

- la température initiale du produit;
- la température visée à la fin du refroidissement;
- la durée maximale pendant laquelle le produit peut être refroidi par air pulsé.

Tous ces facteurs revêtent une importance particulière pour les producteurs qui se servent d'une installation de refroidissement par air pulsé pour la première fois.

Il faut mesurer la température interne de quelques produits dans une palette avant de placer celle-ci dans l'installation de refroidissement. Pour cela, on enfonce au centre du produit une sonde thermique conçue à cet effet qui donne une lecture numérique instantanée (figure 10). La température du produit peut différer de celle de l'air ambiant. Ainsi, les produits de gros calibre comme les melons brodés ou les choux mettent plus de temps à se réchauffer (ou à refroidir) que les produits de petite taille comme les prunes, même après une élévation (ou une baisse) brusque de la température de l'air ambiant. Par exemple, la température de l'air extérieur au milieu de la matinée peut être supérieure à la température des pêches qui sont encore sur l'arbre parce qu'elles sont encore fraîches de la nuit, ou à cause de l'ombre du feuillage. À l'inverse, la température des fraises peut être plus élevée que celle de l'air lorsqu'elles sont au soleil du fait de leur couleur sombre. En outre, les produits qui se trouvent sur le dessus d'un bac, d'un panier ou d'un cageot peuvent être plus chauds que les produits situés plus bas à cause de l'ensoleillement direct ou de la chaleur émanant d'un contenant de couleur sombre très chaud.



Figure 10. Une sonde de température manuelle, portable, à lecture numérique, est l'outil indispensable pour déterminer la température des fruits et des légumes à leur arrivée dans l'installation et à la fin du refroidissement.

La plupart des producteurs savent à quelle température ils veulent que leurs produits soient entreposés. Malheureusement, quand la récolte bat son plein, les fruits et les légumes ne peuvent pas toujours rester dans le tunnel de refroidissement aussi longtemps qu'il

le faudrait. Quoi qu'il en soit, les producteurs qui connaissent la température initiale des produits peuvent se faire une meilleure idée de la température que le produit atteindra au bout d'un certain temps passé dans l'installation de refroidissement.

Le contrôle de la température du produit en cours de refroidissement est une opération difficile qui demande du temps. Cependant, une des façons d'estimer la température réelle des fruits et des légumes à un moment donné est de contrôler la température de l'air réchauffé rejeté par le ventilateur et de la comparer avec celle de l'air de refroidissement dans la chambre refroidie au moment où il pénètre dans la palette. La température de l'air rejeté correspond normalement à la moitié de l'écart entre la température de l'air de refroidissement entrant dans la palette et celle du produit à ce moment-là.

Si la température de l'air de refroidissement pénétrant dans la palette est de 2°C et que celle de l'air rejeté par le ventilateur est de 10°C, la température du produit sera en principe d'environ 18°C, puisque 10°C est à mi-chemin entre 2°C et 18°C. Les produits qui sont les premiers sur le trajet de l'air froid se refroidissent plus rapidement que les produits situés plus loin, parce que l'air se sera ré-chauffé.

Si un bon pourcentage de l'air prend des raccourcis, cette méthode de contrôle n'est pas fiable : en effet, la quantité d'air froid qui revient directement au ventilateur étant plus élevée, la température de l'air rejeté s'abaisse et donne au superviseur la fausse impression que le refroidissement progresse comme il se doit.

On peut placer un thermostat au niveau de l'air qui est rejeté par le ventilateur du système de refroidissement par air pulsé de manière à pouvoir arrêter le fonctionnement de cet appareil quand le flux d'air atteint une certaine température ou de le ralentir s'il est à vitesse variable. Cela peut contribuer à réduire le risque que l'appareil reste en fonctionnement plus longtemps que nécessaire, à économiser l'électricité et à empêcher un apport inutile de chaleur dégagée par les moteurs dans la chambre froide. On peut le cas échéant installer une minuterie sur le ventilateur qui en déclenchera l'arrêt au bout d'un certain temps.

LES 10 ÉTAPES DU CALCUL DES PARAMÈTRES D'UNE INSTALLATION DE REFROIDISSEMENT PAR AIR PULSÉ

1. Déterminer la production d'une journée moyenne, en kg (lb);
2. Déterminer la production d'une grosse journée, en kg (lb);
3. Déterminer la durée de refroidissement disponible (heures/jour);
4. Calculer le nombre de lots de produit à refroidir (lots/jour);

5. Calculer la taille d'un lot, en kg/lot (*lb/lot*);
6. Sélectionner un débit d'air, en L/s/kg (*PCM/lb*);
7. Calculer le débit du ventilateur, en L/s (*PCM*);
8. Calculer la réfrigération de pointe, en kW (*BTU/h*);
9. Appliquer la règle de la réfrigération aux 2/3, en kW (*BTU/h*);
10. Déterminer la largeur du tunnel et l'espace libre entre le tunnel et le mur, en m (*pi*).

ÉTUDE DE CAS

Un producteur exploite une fraisière de 4 ha (10 acres) et récolte 3 000 cageots de fraises à l'hectare (1 200 cageots/acre) à raison de 6 kg/cageot (13,2 lb/cageot) au cours d'une saison de récolte qui dure 25 jours. Les palettes contiennent 64 cageots, mesurent 1,5 m de haut (5 pi), et pèsent 384 kg (845 lb). La cueillette s'échelonne de 6 h du matin à midi, et les fraises cueillies ont une température moyenne de 25°C (77°F). La chambre froide est à 0°C (32°F). Déterminer la taille du ventilateur, la réfrigération supplémentaire nécessaire et la largeur du tunnel et des espaces libres.

- 1. Déterminer la production d'une journée moyenne, en kg (lb)**
$$4 \text{ ha} \cdot 3000 \text{ cageots/ha} \cdot 6 \text{ kg/cageot} \div 25 \text{ j} = 2880 \text{ kg/j}$$
$$10 \text{ acres} \cdot 1200 \text{ cageots/acre} \cdot 13,2 \text{ lb/cageot} \div 25 \text{ j} = 6340 \text{ lb/j}$$
- 2. Déterminer la production d'une grosse journée, en kg(lb)**

En période de pointe, la production d'une seule journée pourra théoriquement s'élever jusqu'à 10 000 kg de fruits cueillis (22 000 lb). Il serait irréaliste de concevoir l'installation en fonction de la journée de cueillette la plus intense de la saison, mais la règle empirique veut qu'on la conçoive en fonction d'une grosse journée typique, qui est souvent le double de la journée moyenne. Par conséquent :

$$2880 \text{ kg/journée moyenne} \cdot 2 = 5760 \text{ kg/grosse journée typique} \quad (6340 \text{ lb/journée moyenne} \cdot 2 = 12680 \text{ lb/grosse journée typique})$$

- 3. Déterminer la durée de refroidissement disponible (heures/jour)**

La cueillette s'échelonne de 6 heures du matin à midi, soit pendant six heures. Les premières fraises rentrent donc dans le tunnel de refroidissement vers 7 heures et les fraises rentrent ensuite continuellement jusqu'à 12 h. Comme le tunnel peut continuer à fonctionner aussi longtemps qu'il le faut après 12 h, on peut estimer que la durée de refroidissement disponible est de six heures, allant de 7 h du matin à 1 h de l'après-midi. Les dernières fraises qui sont cueillies sont généralement

les plus chaudes et peuvent donc rester plus longtemps dans le tunnel de refroidissement par air pulsé, s'il le faut.

4. Calculer le nombre de lots à refroidir (lots/jour)

Selon les données du tableau 2, il est raisonnable de viser une *durée de refroidissement 7/8* de 1 heure et demie (1,5 h) pour les fraises :

$$6 \text{ heures disponibles/jour} \div 1,5 \text{ h/lot} = 4 \text{ lots/jour}$$

5. Calculer la taille du lot, en kg/lot (lb/lot)

$$5\,760 \text{ kg/jour} \div 4 \text{ lots/jour} = 1\,440 \text{ kg/lot}$$

$$(12\,680 \text{ lb/jour} \div 4 \text{ lots/jour} = 3\,170 \text{ lb/lot})$$

Cela représente 240 cageots/lot, soit quatre palettes.

6. Sélectionner un débit d'air, en L/s/kg (PCM/lb)

Selon les données du tableau 2, une *durée de refroidissement 7/8* de 1 heure et demie demande approximativement un débit de 2,0 L/s/kg de produits (2 PCM/lb).

Plus le débit est élevé, plus le refroidissement voulu s'obtiendra rapidement, et inversement. Prévoir la *durée de refroidissement 7/8* n'est pas chose facile, car elle dépend de plusieurs variables.

7. Calculer le débit du ventilateur, en L/s (PCM)

$$2,0 \text{ L/s/kg} \cdot 1\,440 \text{ kg/lot} = 2\,880 \text{ L/s} (2,88 \text{ m}^3/\text{s})$$

$$(2,0 \text{ PCM/lb} \cdot 3\,170 \text{ lb/lot} = 6\,340 \text{ PCM})$$

D'après les données du tableau 3, un ventilateur centrifuge ayant un moteur de 2,25 kW (3 hp) devrait suffire. Dans le cas contraire, on peut demander à son fournisseur de trouver un ventilateur qui délivre au moins 2 880 L/s à la pression statique de 25 mm (6 340 PCM à la pression statique d'1 pouce).

8. Calculer la réfrigération de pointe, en kW (BTU/h)

$$2,1 \cdot (25^\circ\text{C}-0^\circ\text{C}) \cdot 1\,440 \text{ kg} \cdot 3,77 \text{ kJ/kg/o C} \div 1,5 \text{ h}$$

$$= 190\,000 \text{ kJ/h}, \text{ soit } 53 \text{ kJ/s, soit } 53 \text{ kW, soit } 15 \text{ tonnes}$$

$$2,1 \cdot (77^\circ\text{F}-32^\circ\text{F}) \cdot 3\,170 \text{ lb} \cdot 0,9 \text{ BTU/lb/}^\circ\text{F} \div 1,5 \text{ h}$$

$$= 179\,750 \text{ BTU/h, soit 15 tonnes de réfrigération}$$

Cette quantité sert à refroidir les fraises, pas le local!

9. Appliquer la règle de la réfrigération aux 2/3, en watts (BTU/h)

Fournir 15 tonnes de réfrigération, c'est beaucoup de-mander à un tunnel de refroidissement par air pulsé formé de quatre palettes de fraises. Par conséquent :

$$53 \text{ kW (théorie)} \cdot 2/3 = 35 \text{ kW (pratique)}; 10 \text{ tonnes}$$

$$179\,750 \text{ BTU/h} \cdot 2/3 = 119\,800 \text{ BTU/h}; 10 \text{ tonnes}$$

10. Déterminer la largeur du tunnel et l'espace libre entre le tunnel et le mur, en m (pi)

$$2,88 \text{ m}^3/\text{s} \div 5 \text{ m/s vitesse maximale de l'air} = 0,58 \text{ m}^2 \text{ de surface minimale}$$

$$6\,340 \text{ PCM} \div 1000 \text{ pi/min max.} = 6,34 \text{ pi}^2 \text{ de surface minimale}$$

Lorsque les palettes mesurent 1,5 m (5 pi) de hauteur, le tunnel doit avoir une largeur minimale de 0,58 m $2 \div 1,5 \text{ m} = 0,4 \text{ m}$; toutefois, dans la pratique le minimum est de 0,6 m (2 pi). L'espace entre le tunnel et le mur doit aussi être au minimum de 0,3 m (1 pi) pour permettre à un employé de s'y glisser.

AUTRES CONSIDÉRATIONS

- La bâche posée sur le tunnel doit recouvrir les palettes sur toute leur largeur autant que possible et, à l'autre bout, redescendre jusqu'au sol pour éviter que l'air n'emprunte trop de raccourcis pour retourner au ventilateur.
- Des tiges rigides doivent être fixées à la bâche pour l'empêcher d'être aspirée à l'intérieur du tunnel.
- On détecte les défauts d'étanchéité à l'aide d'une feuille de cellophane. Celle-ci est aspirée vers les trous qui n'ont pas été calfeutrés.
- Le ventilateur doit être centré dans le conduit de façon à aspirer l'air aussi uniformément que possible dans le tunnel.
- De grosses quantités de fruits ou de légumes cueillis tôt le matin représentent la même charge thermique que des quantités moins importantes cueillies plus tard le même jour.
- Au champ, les contenants vides et le produit récolté doivent être placés sous des tentes ou des auvents pour réduire au minimum la chaleur de récolte.
- À mesure que le temps se fait plus chaud dans la journée, réduire le laps de temps pendant lequel le produit cueilli attend au champ avant d'être mis à refroidir.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Boyette, M.D., L.G.Wilson, E.A.Estes. 1994. *Forced-air cooling, maintaining the quality of North Carolina fresh produce*. North Carolina Cooperative Extension Service.

Juillet. Mitchell, F.G., R. Guillou, R.A. Parsons. 1972. *Commercial cooling of fruits and vegetables*. Manuel 43. University of California. p.33.

Thompson, J.F. 1996. *Forced-air cooling. Perishable handling newsletter*. Numéro 88. Novembre. p. 2-11.

Vigneault, C., B.Goyette. 1995. *Containants réutilisables pour la manutention des fruits et légumes frais : Effet de la forme du contenant, la largeur et le pourcentage d'ouvertures lors du prérefroidissement à l'air forcé*.

Rapport Confidentiel. Centre de recherche et de développement en horticulture. Agriculture et AgroAlimentaire Canada. Saint-Jean-sur-Richelieu. 13 p.

Nous remercions le Secrétariat d'État pour sa contribution financière à la réalisation de la présente fiche technique.

• Hugh Fraser, P. Eng., est un ingénieur agronome

spécialiste des structures et du matériel de production horticole, travaillant à la Division de l'Agriculture et des Affaires rurales du MAAARO, à Vineland. Ont participé à la révision de la présente fiche technique :

- **Bert Van Dalsen**, P. Eng., ministère de l'Agriculture, des Pêches et de l'Alimentation de la Colombie-Britannique
- **Dennis Darby**, P. Eng., ministère de l'Agriculture de l'Alberta
- **Don Allen**, P. Eng., Allen Engineering Services, Nouvelle-Écosse
- **Florent Mercier**, P. Eng. Université Laval, Québec
- **Clément Vigneault**, Ph.D., P. Eng, Agriculture et Agro-alimentaire Canada