



Manutention et conditionnement des petits fruits destinés au marché du frais



CENTRE DE RÉFÉRENCE
EN AGRICULTURE ET
AGROALIMENTAIRE
DU QUÉBEC



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada



Les partenaires
membres du Groupe
corporatif du Centre de
référence en agriculture
et agroalimentaire
du Québec

**Agriculture, Pêcheries
et Alimentation**

Québec 

**La Financière
agricole**

Québec 



**COOPÉRATIVE FÉDÉRÉE
DE QUÉBEC**



PROMUTUEL



**L'Union des
producteurs
agricoles**



Manutention et conditionnement des petits fruits destinés au marché du frais

Auteurs

Ka Po Catherine Hui¹

Charles F. Forney²

Jennifer R. DeEll³

Naro R. Markarian¹

Clément Vigneault¹

Coordonnateur

Clément Vigneault¹

¹Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherches et de développement en horticulture
430, boul. Gouin, Saint-Jean-sur-Richelieu (Qc) J3B 3E6

²Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherches de l'Atlantique sur les aliments et l'horticulture
32, rue Main, Kentville (N.-É.) B4N 1J5

³Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario
4890, av. Victoria N., C.P. 8 000, Vineland Station (Ont.) L0R 2E0

RÉDACTION

Jennifer R. DeEll, ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation
et des Affaires rurales de l'Ontario
Charles F. Forney, Agriculture et Agroalimentaire Canada
Ka Po Catherine Hui, Agriculture et Agroalimentaire Canada
Naro R. Markarian, Agriculture et Agroalimentaire Canada
Clément Vigneault, Agriculture et Agroalimentaire Canada

COLLABORATION

Marie-Thérèse Charles, Agriculture et Agroalimentaire Canada
Shahrokh Khanizadeh, Agriculture et Agroalimentaire Canada
Vicky Toussain, Agriculture et Agroalimentaire Canada

COORDINATION

Clément Vigneault, Agriculture et Agroalimentaire Canada

RÉVISION

Alain Clément, Agriculture et Agroalimentaire Canada
Gilles Doyon, Agriculture et Agroalimentaire Canada
Michel Lareau, Comité petits fruits (CRAAQ)
Martine Robert, La Financière agricole du Québec
Clément Vigneault, Agriculture et Agroalimentaire Canada

ÉDITION

Lyne Lauzon, Centre de référence en agriculture
et agroalimentaire du Québec

COORDINATION GRAPHIQUE

Marie Caron, Centre de référence en agriculture
et agroalimentaire du Québec

GRAPHISME

Siamois graphisme

Avertissements

Les informations contenues dans ce document sont jugées représentatives des connaissances actuelles dans le secteur de la manutention et du conditionnement des petits fruits au Canada. Toute utilisation, exécution ou application des techniques, des informations ou des procédés décrits dans ce guide demeurent sous l'entière responsabilité de l'utilisateur. Il est interdit de reproduire cet ouvrage, sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit, incluant la photocopie, en totalité ou en partie, sans l'autorisation écrite du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec.

Pour information ou commentaires

Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec
2875, boul. Laurier, 9^e étage
Sainte-Foy (Québec) G1V 2M2
Téléphone : (418) 523-5411
Télécopieur : (418) 644-5944
Courriel : client@craaq.qc.ca

© Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec

Dépôt légal

Bibliothèque nationale du Canada, 2002

Bibliothèque nationale du Québec, 2002

ISBN : 2-7649-0062-7

Table des matières

INTRODUCTION.....	1
LE MARCHÉ DES PETITS FRUITS AU CANADA.....	2
PHYSIOLOGIE ET PATHOLOGIE.....	3
Fraise.....	3
Framboise et mûre.....	3
Bleuet.....	4
Canneberge.....	4
Autres petits fruits.....	4
Respiration.....	5
Transpiration.....	6
Production d'éthylène.....	6
Pourriture.....	7
Cultivars.....	8
MANUTENTION ET CONDITIONNEMENT.....	9
Récolte.....	9
Produits d'emballage.....	10
Gestion de la température.....	11
Prérefroidissement.....	11
Refroidissement à l'air forcé.....	12
Temps de demi-refroidissement.....	13
Facteurs influençant l'efficacité du refroidissement.....	14
ENTREPOSAGE.....	17
Entreposage frigorifique.....	17
Atmosphère contrôlée.....	17
IRRADIATION.....	19

Table des matières

TRANSPORT	20
Types de matériel de transport.....	20
Règles de base.....	20
Semi-remorques frigorifiques.....	21
Gestion de la température	21
Réfrigération mécanique.....	22
Circulation de l'air	23
Conduit de distribution d'air	24
Plancher	24
Écran frontal de reprise d'air	25
Profils de chargement des palettes.....	25
Arrimage des charges.....	27
Marche à suivre pour le chargement de petits fruits	28
 MANUTENTION À DESTINATION ET COMMERCIALISATION DES PETITS FRUITS AU DÉTAIL	29
 BIBLIOGRAPHIE	30
 PLANCHES PHOTOS.....	33
 BON DE COMMANDE	37

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Production canadienne de petits fruits et valeur à la ferme en 2000	2
Tableau 2	Taux de respiration de divers petits fruits à différentes températures.....	5
Tableau 3	Comparaison de fraises de différentes variétés	8
Tableau 4	Entreposage des petits fruits : conditions recommandées, durée de conservation prévue et point de congélation maximal.....	11
Tableau 5	Refroidissement des fraises en cageot (modèle standard utilisé en Californie)	14
Tableau 6	Conditions d'entreposage sous AC recommandées pour divers petits fruits	18

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Charte psychrométrique de la pression de vapeur et de l'humidité relative à différentes températures	6
Figure 2	Pourcentage de fruits commercialisables en fonction du délai entre la récolte et le refroidissement des fraises	12
Figure 3	Schéma de la circulation de l'air dans un système de refroidissement à l'air forcé de type tunnel	12
Figure 4	Courbe de refroidissement avec temps de demi-refroidissement et temps 7/8 de refroidissement.....	13
Figure 5	Représentation graphique du temps 1/2, 3/4 et 7/8 de refroidissement	13
Figure 6	Séparation des chambres de refroidissement pour empêcher les mélanges d'air entre zones contiguës.....	15
Figure 7	Schéma des distances pour le calcul de la largeur des conduits d'air	16
Figure 8	Trajet de l'air dans une semi-remorque équipée d'un système de distribution d'air au plafond	23
Figure 9	Différents types de planchers de semi-remorques.....	25
Figure 10	Différents profils de chargement de palettes de petits fruits dans des semi-remorques frigorifiques	26

LISTE DES PHOTOS

Photo 1	Des fraisières cultivés avec un paillis de plastique et irrigués au goutte-à-goutte.....	33
Photo 2	Des mûres présentant de la moisissure brune.....	33
Photo 3	À la fraisière, il faut cueillir les fruits délicatement pour éviter les blessures mécaniques.....	33
Photo 4	Les fraises sont emballées directement dans des contenants transparents à double coque posés à hauteur pratique sur une brouette servant au transport des fruits dans le champ.....	33
Photo 5	Une blessure occasionnée lors de la manutention.....	33
Photo 6	Des mûres, des fraises et des bleuets emballés respectivement dans des récipients de cellulose moulée, de plastique et dans un contenant transparent à double coque.....	33
Photo 7	Une doublure placée au fond du contenant absorbe l'humidité se dégageant des fruits.....	33
Photo 8	Des doubles coques et autres types de contenants de plastique placés dans des cageots de carton ondulé.....	34
Photo 9	Un fil métallique servant à réunir les cageots en une pile.....	34
Photo 10	Un système de refroidissement à l'air forcé de type tunnel.....	34
Photo 11	Les différentes étapes de l'emballage des fraises sous atmosphère modifiée (AM): a) soulèvement de la palette; b) mise en place d'une membrane en plastique sous la palette; c) mise en place d'un sac en plastique sur la palette de produits; d) application d'un ruban adhésif à la jonction du sac et de la membrane; e) extraction de l'air du sac et injection de CO ₂ ; f) palette avec enveloppe sous AM.....	35
Photo 12	Des palettes de bleuets cultivés placées sous une tente à atmosphère contrôlée.....	35
Photo 13	Une semi-remorque frigorifique tirée par un tracteur routier.....	35
Photo 14	Un système de réfrigération mécanique monté sur la paroi avant d'une semi-remorque.....	36
Photo 15	Un conduit de distribution d'air, un plancher à rainures profondes et un écran de reprise d'air favorisant la circulation d'air dans une semi-remorque frigorifique.....	36
Photo 16	Différents types d'écran frontal : a) à claire-voie; b) pleins; c) moulé.....	36
Photo 17	Le chargement médian : disposition de sacs gonflables en vinyle entre les palettes et la paroi latérale.....	36
Photo 18	Des barres de blocage empêchant les produits de se déplacer vers l'arrière.....	36

Introduction

Les petits fruits, qu'ils soient communs comme la fraise (*Fragaria x ananassa*), la framboise (*Rubus idaeus L.*), la mûre (*Rubus spp.*), le bleuet (*Vaccinium angustifolium Ait. et Vaccinium corymbosum L.*) et la canneberge (*Vaccinium macrocarpon*), ou moins connus comme le cassis (*Ribes nigrum L.*), la gadelle (*Ribes spp.*), la groseille à maquereau (*Ribes grossularia L.*), la baie de sureau (*Sambucus cærulea*) et l'airelle rouge (*Vaccinium parvifolium*), sont appréciés pour leur saveur, leur apparence et leur qualité nutritive. Le raisin (*Vitis labrusca et Vitis vinifera L.*) peut aussi être compté dans ce groupe, mais il n'a pas été considéré dans le présent manuel.

Comme ils ne peuvent généralement être récoltés et commercialisés que sur une brève période, les petits fruits frais ne sont pas offerts longtemps sur le marché. Leur courte durée de conservation limite autant les possibilités commerciales du producteur que la disponibilité du produit pour le consommateur. Toutefois, si tout le soin requis est apporté à la récolte et au conditionnement, la qualité des petits fruits frais peut être préservée et leur durée de conservation de même que leur disponibilité peuvent être accrues.

Dans cet ouvrage, plusieurs facteurs influant sur la qualité et la durée de conservation des petits fruits sont examinés : biologie, pratiques culturales, méthodes de récolte, matériel d'emballage, mode de refroidissement, méthodes de conservation (réfrigération, atmosphère contrôlée, conditionnement sous atmosphère modifiée), manutention et transport. Pour être en mesure d'offrir au consommateur des petits fruits de grande qualité, il faut prendre chacun de ces facteurs en compte.

Le marché des petits fruits au Canada

Depuis 25 ans, l'industrie des petits fruits a pris de l'expansion au pays. La superficie consacrée à leur culture a augmenté de plus de 100 % pour satisfaire à la demande en produits frais. Plus de 75 % de la production est transformée pour approvisionner à longueur d'année une autre partie du marché. Avec la production la plus élevée de bleuets cultivés, de framboises et de canneberges, la Colombie-Britannique domine les autres provinces dans le secteur des petits fruits. Le Québec vient ensuite, avec une forte production de bleuets et de fraises. Enfin, la Nouvelle-Écosse est le premier producteur de bleuets sauvages au pays.

D'après l'inventaire d'Agriculture et Agroalimentaire Canada^[1, 2], la superficie consacrée à la production de fraises au Canada était de 5 330 hectares (ha) en 1999, ce qui représente une baisse de 10 % par rapport à ce qu'elle était en 1998. Au contraire, la superficie consacrée à la production de bleuets a connu une hausse, passant de 35 802 ha (63 % du secteur des petits fruits) en 1996 à 37 735 ha en 1999. Le secteur de la canneberge a aussi pris de l'expansion, la superficie consacrée à ce fruit ayant passé de 1 342 ha en 1991 à 2 616 ha en 1999, ce qui représente une augmentation de 95 %. Les chiffres de l'an 2000 sont présentés au tableau 1.

TABLEAU 1

Production canadienne de petits
fruits et valeur à la ferme en 2000^[1]

	BLEUET	FRAMBOISE	FRAISE	CANNEBERGE
PRODUCTION (EN MILLIERS DE TONNES)				
NOUVELLE-ÉCOSSE	21,6	0,05	1,7	—
NOUVEAU-BRUNSWICK	6,7	0,06	0,7	—
QUÉBEC	11,7	1,3	9,9	—
ONTARIO	0,6	0,6	7,3	—
COLOMBIE-BRITANNIQUE	20,8	15,2	4,0	23,0
CANADA	64,6	17,4	26,1	35,1
VALEUR (EN MILLIONS DE DOLLARS)				
NOUVELLE-ÉCOSSE	26,3	0,2	3,5	—
NOUVEAU-BRUNSWICK	10,3	0,2	1,6	—
QUÉBEC	20,8	4,4	15,3	—
ONTARIO	2,0	2,7	17,3	—
COLOMBIE-BRITANNIQUE	41,2	11,8	6,4	10,3
CANADA	104,1	19,8	48,3	22,7

Note : le tiret signifie que les données ne sont pas disponibles.

Physiologie et pathologie

La majorité des petits fruits sont produits par des plantes vivaces multipliées par clonage (culture de méristème, bouturage, marcottage, drageonnage). Ces plantes sont herbacées (fraisier), à tiges bisannuelles (framboisier et mûrier) ou ligneuses et arbustives (bleuet et canneberge). Toutes donnent des fruits de petite taille, à chair tendre et très parfumée. Dans les pages qui suivent, sont présentées une description de la physiologie et de la maturation de chacun de ces fruits, de même que diverses considérations générales portant sur la respiration, la transpiration et la production d'éthylène des fruits ainsi que sur les maladies post-récoltes.

Fraise

La fraise est l'un des petits fruits les plus populaires et les plus couramment cultivés. Elle est produite par une plante herbacée rampante (photo 1). Il s'agit d'un fruit composé. Sa partie charnue est un réceptacle floral hypertrophié sur lequel s'insèrent des akènes. L'akène, qui a l'aspect d'une graine, est en fait un petit fruit sec qui renferme une graine. Les fraises sont produites en grappes. La première à mûrir est le fruit aîné, les autres, les fruits cadets. Normalement, le fruit aîné est de plus grosse taille et les fruits produits par la suite diminuent progressivement de calibre. Chez les fraisiers des variétés classiques qui fructifient en juin, la maturation va de la fin de mai à la fin de juillet, selon le cultivar et le lieu de production. La fructification dure de 2 à 3 semaines. Les cultivars à jour neutre, remontants ou à production continue, peuvent donner des fruits tout l'été.

Le développement de la fraise est rapide : il ne s'écoule que de 30 à 50 jours entre l'ouverture de la fleur et la maturation du fruit. La vitesse de développement des fruits varie selon le cultivar et les conditions du milieu de croissance. La fraise mûrit vite, sa couleur passant du blanc au rouge en 1 à 2 jours. Pendant cette période, sa croissance atteint une vitesse maximale et de nombreux changements chimiques et physiques surviennent : les produits

chimiques volatils lui conférant sa saveur se forment rapidement, des sucres s'accumulent, les acides sont réduits et la fermeté de la chair du fruit diminue rapidement tant qu'il n'est pas cueilli. Après la récolte, la fermeté de la chair et la teneur en sucres et en acides de la fraise changent très peu, sa couleur continue de se modifier et il se forme de nouveaux composés volatils influant sur sa saveur. Pour optimiser la qualité et la durée de conservation de la fraise, il faut la cueillir dès qu'elle devient entièrement rouge. À ce stade de maturation, sa saveur est excellente et sa chair est encore ferme. Si la récolte est retardée, ne serait-ce que d'un jour, le fruit se ramollit. Par conséquent, il est plus susceptible de s'abîmer et de se déformer durant la manutention.

Framboise et mûre

La framboise et la mûre sont les fruits des ronces les plus exploitées commercialement. Ce sont aussi les petits fruits les plus fragiles. Chez les ronces, les fruits se forment sur des tiges bisannuelles qui meurent après avoir fructifié une seule fois. Les fruits sont composés, c'est-à-dire qu'ils sont constitués d'une agglomération de drupéoles (petits fruits à une seule graine). La framboise est creuse : elle se détache du réceptacle lorsqu'on la cueille. La mûre est semblable à la framboise, mais elle n'est pas creuse : son réceptacle reste attaché aux drupéoles lorsqu'elle est cueillie.

Il existe différents types de framboises : des rouges, des jaunes, des noires et des pourpres. La framboise rouge est la plus cultivée. La framboise jaune est une variété mutante de la framboise rouge. Enfin, la framboise pourpre résulte du croisement de la framboise rouge et de la framboise noire. Au Canada, la framboise noire et la mûre sont moins cultivées que la framboise rouge, car elles sont moins rustiques. Les fruits de ces ronces sont solitaires ou groupés en petites grappes. La framboise et la mûre mûrissent en été et sont généralement cueillies en juillet et en août. Sauf la framboise noire qui mûrit en 1 ou 2 semaines, les fruits d'une même plantation mettent

habituellement de 4 à 6 semaines pour arriver à maturité. Le framboisier à fruits rouges, qui fructifie sur les tiges de l'année, produit ses fruits de la fin de l'été jusqu'à l'automne. La variété remontante « Pathfinder », par exemple, fructifie de la fin de juillet au début de septembre.

Après la floraison, le développement du fruit de ces ronces s'étend sur 30 à 60 jours selon le type de fruit, le cultivar et les conditions du milieu. Le fruit doit être cueilli lorsqu'il se détache facilement du pédoncule. Pour la framboise, la cueillette doit se faire dès que le fruit a toute sa couleur et que sa chair est ferme et savoureuse. La mûre, quant à elle, doit être cueillie 3 ou 4 jours après être devenue entièrement noire. Pour que les fruits soient de grande qualité et puissent bien se conserver, il faut faire des cueillettes fréquentes, soit tous les jours ou tous les 2 à 3 jours.

Bleuet

Deux types de bleuets sont commercialement exploités : le bleuet en corymbe (cultivé) et le bleuet nain (sauvage). La plupart des bleuets destinés au marché du frais sont des bleuets en corymbe. Les bleuets nains sont généralement congelés et utilisés dans des produits transformés. Les bleuets sont produits par des arbustes aux tiges ligneuses. Le bleuet est une baie véritable, c'est-à-dire un fruit à péricarpe charnu renfermant plusieurs graines. Les bleuets sont produits en grappes. Leur maturation va de juillet à septembre, selon le cultivar et le lieu de production. Le fruit peut mûrir en 2 à 6 semaines, selon le cultivar.

Le développement du bleuet, de la fleur au fruit mûr, demande de 6 à 12 semaines. La floraison dure environ 1 semaine et varie selon le cultivar et les conditions environnementales. Le fruit mûrissant devient bleu au bout de 2 à 4 jours, mais il faut attendre encore de 4 à 7 jours avant qu'il ait tout son parfum. Le bleuet ne doit être cueilli que lorsqu'il est entièrement bleu et qu'il se détache facilement de la plante. Les bleuets qui se conservent le mieux sont ceux cueillis avant d'être bleus, c'est-à-dire trop mûrs. C'est pourquoi la récolte doit être faite en plusieurs cueillettes, à intervalle de 4 à 7 jours.

Canneberge

La canneberge est produite par une plante ligneuse à feuillage persistant et à port rampant qui pousse dans les tourbières. Pour protéger les plantes du gel et des rigueurs de l'hiver, de même que pour faciliter la récolte, les cultures de canneberges sont inondées. Le fruit rouge de la canneberge est une baie véritable apparentée, au sens botanique, au bleuet; il est solitaire et porté à l'aisselle d'une pousse qui peut donner entre 1 à 7 fruits. La baie de canneberge se développe en 60 à 120 jours; elle est cueillie de la fin de septembre jusqu'à la mi-novembre. Souvent, sa récolte est retardée pour favoriser la formation des pigments. Même lorsque le fruit est bien mûr, il demeure fermement attaché à la plante.

Autres petits fruits

Le cassis, la gabelle, la groseille à maquereau, la baie de sureau et l'airelle rouge sont des petits fruits moins cultivés. La gabelle, le cassis et la groseille à maquereau sont produits par des arbustes ligneux très proches botaniquement les uns des autres. Ce sont des baies véritables, produites par grappes. Une grappe comprend de 8 à 30 baies dans le cas du cassis et de la gabelle, et seulement de 1 à 3 baies chez la groseille à maquereau. Le fruit mûrit et se cueille à la main, de la mi-mai au début d'août. Le cassis et la gabelle mûrissent en 2 semaines et sont cueillis lorsqu'ils ont toute leur couleur. Comme ces fruits ne tombent pas lorsqu'ils sont mûrs, ils peuvent être laissés sur la plante pour être récoltés en une ou deux cueillettes. La gabelle est normalement cueillie lorsqu'elle est encore rouge vif. La grappe entière est cueillie et les fruits en sont détachés par la suite. Le cassis est cueilli un à un. Enfin, la récolte de la groseille à maquereau dure de 4 à 6 semaines. Ce fruit est cueilli lorsqu'il a atteint sa taille maximale et que sa peau est passée de vert vif au vert pâle, en plus d'être devenue translucide.

La baie de sureau est un petit fruit noir pourpré produit en grosses grappes par un arbuste à tiges ligneuses. Elle est habituellement utilisée pour la préparation de sauces, de tartes, de jus et de vins, souvent en mélange avec d'autres fruits. Le sureau fleurit en juin ou en juillet et ses fruits peuvent être cueillis à partir du mois d'août jusqu'à la mi-septembre. La baie de sureau mûrit sur la

grappe en 5 à 15 jours, selon la température et l'âge de la branche fructifère. La grappe entière est cueillie. Les fruits doivent être transformés ou congelés dès qu'ils sont détachés de la grappe.

L'airelle rouge, aussi appelée berri, pomme de terre, graine rouge ou lingonne, est un petit fruit rouge très acide qui rappelle la canneberge. La plante qui la produit est indigène partout au Canada et commune dans les terres côtières incultes ainsi que dans les tourbières. L'airelle rouge sauvage est cueillie à Terre-Neuve et, en quantité moindre, au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse. Depuis quelque temps, la culture commerciale de ce fruit suscite de l'intérêt. L'airelle rouge est produite par une plante arbustive basse à feuilles persistantes. Il arrive souvent que l'arbuste fleurisse à deux reprises au cours de la saison : d'abord en mai, puis de nouveau à la fin de juillet et en août, ce qui donne une première récolte vers le milieu de l'été et une deuxième à la fin de l'automne. Le fruit est cueilli lorsqu'il est entièrement rouge. Comme il n'a pas tendance à tomber lorsqu'il est mûr, il peut être laissé sur la plante un certain temps avant d'être récolté. L'airelle rouge se cueille à la main ou à l'aide d'un peigne.

Respiration

Les fruits frais sont vivants et, par conséquent, ils respirent. La respiration est l'oxydation, par l'oxygène de l'air, des composés carbonés (tels que les sucres) présents dans le fruit. Ce proces-

sus produit du dioxyde de carbone (CO_2) et de l'énergie qui servent à d'autres processus comme l'entretien des cellules, le mûrissement et l'élaboration des composés qui confèrent au fruit sa saveur. En outre, la respiration génère de la chaleur, appelée chaleur de respiration. Celle-ci est proportionnelle à la respiration. En général, la durée de conservation du fruit est inversement proportionnelle à la respiration. Ainsi, un fruit dont le taux de respiration est élevé a une durée de conservation relativement courte. De plus, son refroidissement exige une réfrigération plus importante. Pour déterminer la chaleur de respiration (cal/kg/h) d'un fruit, il suffit de multiplier son taux de respiration ($\text{mg CO}_2/\text{kg/h}$) par 2,55. La valeur obtenue par ce calcul doit être prise en compte dans la détermination des besoins en réfrigération.

Le taux de respiration de certains petits fruits est présenté au tableau 2. Ce taux varie selon le cultivar, le degré de mûrissement, les conditions de culture et la température ambiante. Lorsque la température augmente de $10\text{ }^\circ\text{C}$, le taux de respiration augmente rapidement, allant jusqu'à doubler, voire quadrupler. Cette relation entre la température et la respiration montre combien il est important de refroidir les fruits adéquatement et rapidement. Le refroidissement des fruits réduit leur taux de respiration. Il augmente donc leur durée de conservation. Le refroidissement des fruits diminue aussi la quantité d'énergie nécessaire pour les réfrigérer, c'est-à-dire pour éliminer la chaleur de respiration des fruits et les maintenir à leur température optimale de conservation.

TABLEAU 2

Taux de respiration de divers
petits fruits ^[7, 30, 31] à différentes températures

FRUIT	RESPIRATION ($\text{mg CO}_2/\text{kg/h}$)		
	0 °C	10 °C	20 °C
FRAISE	12-20	49-100	100-200
FRAMBOISE	18-25	28-98	200
MÛRE	18-22	62	156
BLEUET	2-10	18-35	52-87
CANNEBERGE	4	8	11-18
GROSELLE À MAQUEREAU	5-7	12-32	41-105

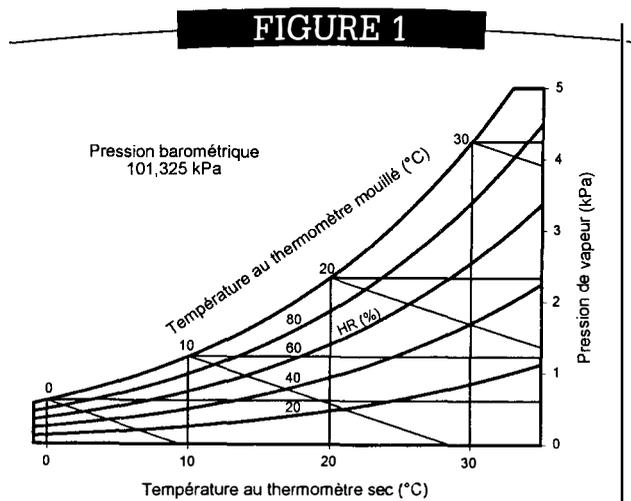
Transpiration

La transpiration est un processus de transfert de masse au cours duquel de la vapeur d'eau passe de la surface du fruit à l'air environnant. La vapeur peut être évacuée par les orifices naturels du fruit comme les stomates et les lenticelles. Elle peut aussi diffuser par sa cuticule ou s'échapper par les blessures d'origine mécanique ou la cicatrice pédonculaire. Les stomates et les lenticelles se trouvent à la surface du fruit ou sur le calice également appelé «queue» de la fraise. Comme les petits fruits se composent de 80 à 90 % d'eau, la perte d'eau due à la transpiration est l'une des principales causes de la baisse de qualité des fruits durant leur période d'entreposage et de mise en marché. La perte d'eau peut entraîner une réduction de la masse de produits commercialisable, ainsi que le flétrissement et le ramollissement des fruits.

La perte d'eau est causée par une différence de pression de vapeur (DPV) entre la surface du fruit et l'air environnant. La quantité de vapeur d'eau que l'air peut contenir (pression de vapeur) augmente en fonction de la température (figure 1). Plus la DPV est élevée d'un milieu à l'autre, plus il passera de la vapeur d'eau du milieu où la pression est la plus élevée à celui où elle est la moins élevée. Étant donné que la pression de vapeur à l'intérieur du fruit est proche du point de saturation (humidité relative : 100 %), la pression de vapeur dans l'air de l'entrepôt doit être maintenue la plus près possible de celle du fruit pour que la transpiration soit aussi limitée que possible.

Un conditionnement adéquat des fruits après leur récolte réduit leur transpiration et leur perte d'eau. Ainsi, la transpiration des fruits peut être réduite par la diminution de la température, l'augmentation de l'humidité relative de l'air environnant et la protection des fruits au moyen d'un emballage. De même, lorsque les fruits sont rapidement refroidis après leur récolte, avant même d'être entreposés, leur pression de vapeur d'eau se trouve abaissée. Par exemple, d'après la courbe de la figure 1, la pression de vapeur d'eau d'un fruit à 20 °C est de 2,34 kPa. Lorsque la température du fruit est abaissée à 0 °C, la pression de vapeur diminue à 0,61 kPa. Si le fruit est placé dans une chambre froide où la température est de 0 °C et l'humidité relative de 95 % (pression de vapeur de 0,58 kPa), la DPV entre l'air de la chambre froide et le fruit est de 1,76 kPa lorsque le fruit n'a pas été refroidi, et de 0,03 kPa lorsque le fruit a été préalablement refroidi. Par conséquent, la transpiration du fruit non refroidi sera 60 fois supérieure à celle du fruit refroidi, ce qui démontre combien il est important que le fruit soit rapidement refroidi à la température de l'entrepôt. Il est également utile de maintenir un taux d'humidité élevé autour du fruit pour réduire la DPV. Ce résultat peut être obtenu en augmentant l'humidité de l'air de l'entrepôt ou en entourant le fruit d'un film de plastique pour réduire les pertes d'eau, tout en augmentant l'humidité autour du fruit. La DPV entre le fruit et l'air environnant peut aussi être diminuée en réduisant le déplacement de l'air autour du fruit.

FIGURE 1



Charte psychrométrique de la pression de vapeur et de l'humidité relative à différentes températures

Production d'éthylène

L'éthylène (C_2H_4) est à la fois une hormone et un gaz incolore produit par un grand nombre de fruits et de plantes. Bien des fruits, notamment les pommes, les bananes et les tomates, produisent cette hormone en mûrissant. En fait, l'éthylène peut stimuler, voire déclencher, le mûrissement chez plusieurs fruits. Dans le cas des petits fruits, la quantité d'éthylène produite durant le mûrissement n'étant pas importante, l'exposition à ce gaz n'a pas d'effet stimulant sur la maturation. Par conséquent, lorsque ces fruits sont cueillis avant d'être mûrs, l'éthylène ne peut être utilisé pour les faire mûrir ou pour améliorer leur qualité. Durant l'entreposage, les petits fruits ne sont pas très sensibles à l'éthylène. Toutefois, à une concentration supérieure à 10 parties par million (ppm), cette hormone végétale peut accélérer la multiplication des agents pathogènes et causer la torsion du calice chez la fraise^[3].

Pourriture

Les pourritures post-récoltes sont la principale cause de baisse de qualité des petits fruits pendant leur entreposage et leur mise en marché. Cependant, les petits fruits sont généralement caractérisés par une teneur élevée en acides organiques. Cette forte acidité limite la capacité de nombreuses bactéries à causer des maladies. Ainsi, chez les petits fruits, les maladies les plus courantes sont celles causées par les champignons qui s'adaptent bien au milieu acide. Plusieurs agents pathogènes peuvent faire pourrir les petits fruits : *Botrytis cinerea* est responsable de la moisissure grise de la fraise, de la framboise, du bleuet, du cassis, de la gabelle et de la groseille à maquereau. *Rhizopus* spp. génère la moisissure chevelue chez la fraise et la framboise. *Phytophthora* spp. cause la pourriture cuir, aussi appelée pourriture amère de la fraise. *Colletotrichum* spp. est responsable de l'antracnose de la fraise, de la framboise et du bleuet. *Alternaria* spp. provoque l'alternariose de la fraise, du cassis, de la gabelle et de la groseille à maquereau¹⁷¹. La pourriture de la canneberge durant l'entreposage peut être causée par un complexe de moisissures comprenant, entre autres, *Allantophomopsis cytisporae* et *A. lycopodina* qui provoquent une pourriture noire, et *Godronia cassandrae* qui cause la pourriture godronienne¹⁵¹.

La moisissure grise est de loin le type de pourriture qui touche le plus souvent les petits fruits en entreposage. Chez la fraise, la zone touchée brunît mais reste ferme et il n'y a pas de démarcation nette entre les tissus malades et les tissus sains. En conditions de forte humidité, un mycélium blanc grisâtre apparaît sur la lésion (photo 2). À faible humidité, des spores grises se forment à la surface de la lésion. Au champ, le champignon reste présent sur les débris végétaux en décomposition sous une forme dormante appelée sclérote, ou encore à l'état de mycélium. Par temps humide, de grandes quantités de spores sont libérées. Habituellement, l'infection des pièces florales est à l'origine de l'infection des fruits. Souvent, la moisissure reste à l'état dormant dans le fruit, la pourriture ne commençant qu'avec le mûrissement. L'agent pathogène peut aussi être transmis par des pétales infectés tombés sur le fruit mûr ou par contact avec des fruits atteints. Durant l'entreposage, l'infection peut se propager d'un fruit à l'autre.

Comme les fongicides homologués pour le traitement post-récolte des petits fruits sont peu nombreux (pour ne pas dire inexistant), il est important de recourir à des pratiques culturales permettant de réduire la propagation des agents pathogènes. L'infection se produisant dans bien des cas au stade de la floraison, il est important de faire les traitements fongiques adéquats à ce stade, surtout par temps humide. L'hygiène au champ est cruciale : l'enlèvement des débris végétaux après la récolte permet de réduire la quantité de matériel infectieux (sclérote, mycélium, spores). Les pratiques culturales qui favorisent la circulation de l'air et l'assèchement des plantes (le buttage, une diminution de la densité de plantation ou l'orientation de la plantation par rapport au vent dominant, par exemple) sont également utiles. Le paillage aide, quant à lui, à combattre la pourriture, car il permet de réduire les risques d'infection par les microorganismes du sol. Grâce au paillage, les fruits sont moins éclaboussés et ils n'entrent pas en contact direct avec le sol. Reste que, dans bien des cas, la cicatrice pédonculaire est la principale voie d'infection. Il faut donc choisir des cultivars et des méthodes de cueillette qui permettront de limiter les lésions d'origine mécanique dans cette région du fruit durant la récolte.

Après la récolte, la gestion de la température, la modification de l'atmosphère et l'irradiation permettent de réduire la pourriture du fruit. En effet, bon nombre d'agents pathogènes ne se multiplient pas ou ne se multiplient que lentement lorsque la température est proche de 0 °C. Par exemple, *Rhizopus* ne peut se développer sous 5 °C et certaines spores peuvent être détruites à 0 °C¹⁶¹. Par ailleurs, les petits fruits tolèrent très bien le CO₂ à forte concentration dans l'atmosphère d'entreposage. Cette particularité est un atout important, car la croissance de nombreuses moisissures, et notamment de *Botrytis*, est inhibée à une concentration de CO₂ de plus de 10 %. L'irradiation des fruits après la récolte est aussi un moyen efficace de réduire la pourriture. Dans la production commerciale des fraises, on y fait appel de façon limitée¹⁷¹.

Cultivars

Le choix des cultivars est un facteur déterminant pour l'obtention d'un fruit à durée de conservation maximale durant l'entreposage et la mise en marché. Toutefois, le potentiel de conservation des cultivars de petits fruits n'a que très peu été évalué. Souvent, l'information disponible se résume à une vague description des utilisations possibles du fruit, de sa fermeté relative et d'autres caractères qualitatifs^[8, 9]. Dans certains cas, la description de variétés nouvelles comprend des renseignements sur la qualité et le potentiel de conservation des fruits^[10, 11, 12]. Au tableau 3, la durée de conservation correspond au nombre de jours pendant lesquels 95 % ou plus des fruits conservés à la température de la pièce demeurent commercialisables : la durée de conservation à température ambiante va de 1 à 5 jours après la récolte, selon les cultivars.

En comparant la durée de conservation, en atmosphère contrôlée, de fruits de divers cultivars de bleuet cultivé^[13], il apparaît que la qualité commercialisable des fruits s'est maintenue pendant 3 à 4 semaines chez les fruits du cultivar « Jersey ». Elle s'est maintenue pendant 6 à 7 semaines chez ceux des cultivars « Coville », « Bluecrop » et « Burlington » et pendant 9 à 10 semaines chez les fruits du cultivars « Elliot ». Lors d'une étude semblable portant sur des cultivars de gadellier dont les fruits ont été entreposés à 0 °C dans une atmosphère contenant de 18 à 20 % de CO₂ et 2 % d'O₂, les durées de conservation suivantes ont été obtenues^[14] : de 8 à 10 semaines pour les fruits du cultivar « Rotet », de 10 à 12 semaines pour ceux du « Rondon », de 12 à 14 semaines pour ceux du « Augustus » et du « Roodneus » et enfin de 10 à 22 semaines pour les fruits du cultivar « Rovada ».

TABLEAU 3

Comparaison de fraises de différentes variétés^[10, 11, 12]

GÉNOTYPE	FERMETÉ DE LA CHAIR ^w	SAVEUR ^x	COULEUR DE LA PEAU ^y	DURÉE DE CONSERVATION ^z
AC-L'ACADIE	4,1	3,3	2,0	5
AC-YAMASKA	3,6	3,6	3,6	5
OKA	2,0	3,7	4,0	1
KENT	3,0	3,0	2,2	2
GLOOSCAP	2,7	3,1	3,6	1
BOUNTY	2,0	3,7	3,0	1
SPARKLE	3,1	3,0	3,0	2
BLOMIDON	3,2	3,0	3,0	1
JOLIETTE	4,2	3,3	2,8	4
CHAMBLY	4,0	3,7	3,8	3
HONEOYE	3,0	3,0	3,0	1
JEWEL	4,0	3,0	2,6	3
SAINT-PIERRE	4,0	4,0	2,0	5

^w Fermeté : 1 = très molle, 5 = très ferme

^x Saveur : 1 = médiocre, 5 = excellente

^y Couleur de la peau : 1 = très pâle, 5 = rouge foncé

^z Nombre de jours passés à la température de la pièce après lesquels plus de 95 % des fruits sont encore commercialisables

Manutention et conditionnement

Comme les petits fruits ont une activité métabolique intense et qu'ils sont sensibles aux meurtrissures et à la pourriture, il importe de les manipuler délicatement pour ne pas altérer leur qualité après les avoir récoltés. En effet, la qualité du fruit livré au consommateur dépend du soin qui lui aura été apporté à toutes les étapes de sa manutention. Divers types de dommages guettent le fruit entre sa cueillette et sa livraison au consommateur ; mais ce n'est souvent qu'au moment de la commercialisation que les dommages subis deviennent apparents. Les dommages altèrent non seulement la qualité du fruit, mais ils diminuent également sa valeur marchande. Des facteurs particuliers doivent être pris en considération lors et après la récolte de chaque fruit.

Récolte

Les **fraises**, les **framboises** et les **mûres** sont habituellement cueillies à la main et emballées au champ (photo 3). Les cueilleurs déposent simplement les fruits dans des récipients portés par une brouette (photo 4). Le fait d'emballer les fruits directement au champ est avantageux, car les fruits ne sont manipulés qu'une fois avant d'être consommés. Des études sur les pertes de fruits ont révélé que la plupart des dommages surviennent au champ, au moment de la collecte et de l'emballage (photo 5). Les petits fruits peuvent aussi être endommagés lorsque les cageots sont trop remplis. Il est donc crucial de manipuler les petits fruits le moins possible pour préserver leur qualité et pour maximiser leur durée de conservation. Compte tenu de leur nature délicate, seuls les fruits de qualité irréprochable doivent être emballés. Il revient donc à chaque cueilleur de rejeter les fruits endommagés, trop mûrs ou pourris. Il est recommandé de superviser étroitement les cueilleurs et de leur fournir toute la formation nécessaire.

Les **bleuets** destinés au marché du frais sont cueillis manuellement puis transportés dans une salle de conditionnement et d'emballage où ils sont triés et calibrés. Il importe, lors de ces opérations, de réduire au minimum les manipulations et les chocs pour ne pas diminuer la durée de conservation des fruits. La chaîne de conditionnement est constituée de nettoyeuses, de calibreuses, de courroies de classement et de remplisseuses. Les éléments de la chaîne doivent être agencés de façon à éviter, autant que possible, que les fruits aient à «tomber» ou à s'entasser, afin de prévenir les chocs et les meurtrissures par compression. Des machines appelées «fouets» et «vibrateurs» servent à la récolte mécanique des bleuets cultivés destinés à la congélation. Quant aux bleuets sauvages, ils sont récoltés manuellement ou à l'aide de peignes mécaniques. La récolte mécanique accélère le travail, mais le fruit s'en trouve généralement davantage meurtri que lorsqu'il est récolté manuellement. Il en résulte plus de pertes, sans compter que les machines ne sont pas aussi sélectives que les humains pour cueillir les fruits à leur bon degré de mûrissement.

Les **canneberges** sont habituellement récoltées mécaniquement, à l'état sec ou humide (dans des couches inondées). Elles sont ensuite conditionnées dans des salles prévues à cet effet. Quelle que soit la technique de récolte, les champs sont d'abord inondés pour amortir la chute des fruits. La récolte dite «à l'état sec» vise généralement les fruits destinés au marché du frais. Elle consiste à inonder la couche d'environ 5 cm d'eau et à utiliser des peignes mécaniques pour détacher les fruits des branches. Pour la récolte humide, les couches sont recouvertes de 20 à 25 cm d'eau et une batteuse détache les fruits des plants. Les canneberges flottantes sont alors aspirées dans un conteneur ou un camion, où elles sont séparées de l'eau dans laquelle elles baignent. Les fruits destinés au marché du frais sont égouttés et entreposés dans des chambres froides. Ceux destinés à

la transformation sont acheminés vers un poste de réception où ils sont classés, nettoyés et congelés. Les fruits récoltés à l'état sec se conservent mieux et conviennent donc mieux au marché du frais que les fruits récoltés à l'état humide. Ces derniers, subissant davantage de contusions et de dommages physiques, sont plus sujets à la pourriture et au blattissement pendant l'entreposage et la commercialisation.

Produits d'emballage

Les contenants doivent offrir un moyen pratique et efficace de manutentionner les fruits pendant leur entreposage, le chargement, l'expédition, le déchargement et la commercialisation. L'emballage doit, en outre, protéger le fruit des dommages physiques, de la déshydratation et de la contamination. Qu'il s'agisse de contenants de conservation ou de transport, tous doivent permettre un prérefroidissement rapide. Les contenants de transport doivent aussi être faciles à empiler sur des palettes, pour simplifier la manutention et l'entreposage.

Les unités impériales sont encore largement utilisées pour exprimer la capacité des contenants. Ceux pouvant contenir entre une demi-chopine à une pinte sont en bois, en cellulose moulée ou en plastique. Les cueilleurs de fraises déposent habituellement leurs fruits dans des contenants d'une pinte (1,14 L) ou d'une chopine (0,57 L). Ils utilisent toutefois de plus en plus des paniers de 3 ou 4 L. Les framboises, les mûres et les bleuets sont, pour leur part, emballés en chopines (0,57 L) ou en demi-chopines (0,28 L) (photo 6). Les récipients sans couvercle sont parfois recouverts d'un film plastique retenu par un élastique pour empêcher la déshydratation des fruits. Souvent, les canneberges sont mises dans des sacs de polyéthylène perforés d'une capacité de 340 g à 1,36 kg. Ces sacs sont généralement placés dans des boîtes de carton rigide. Depuis quelque temps, des contenants en plastique rigide transparent à double coque (appelés « clamshell ») sont utilisés pour l'emballage de toutes sortes de petits fruits (photo 6). Les deux coques, reliées par une charnière moulée, se ferment par pression et protègent les fruits contre les blessures mécaniques et la déshydratation. Ces contenants peuvent être empilés et placés directement sur les comptoirs de vente sans autre emballage ou ajout de couvercle. Une garniture destinée à absorber l'humidité est

parfois placée au fond du contenant (photo 7). Les doubles coques sont offertes dans une large gamme de dimensions. La version « basse » sert à prévenir les dommages par compression qu'occasionnent souvent les récipients d'une pinte et d'une chopine. Cette innovation s'est révélée particulièrement bénéfique pour la commercialisation des framboises et des mûres.

Les contenants de transport sont constitués de cageots en bois ou en carton rigide qui peuvent contenir sur un seul rang 6, 8 ou 12 contenants (ou « casseaux ») de fruits (photo 8). Les parois des cageots doivent être ajourées pour permettre le prérefroidissement des fruits. Les orifices doivent représenter au moins 5 % de la superficie des parois et leur emplacement doit favoriser un refroidissement rapide et uniforme. Ces cageots sont généralement empilés sur des palettes de 1 m x 1,22 m et forment ainsi des charges palettisées faciles à déplacer à l'aide de chariots élévateurs, ce qui minimise la manipulation des fruits et réduit d'autant les risques de dommages mécaniques.

Il y a deux principaux facteurs à considérer lors de la palettisation des cageots de petits fruits : premièrement, les orifices d'aération doivent tous être orientés dans la même direction ; deuxièmement, les empilements doivent être stables. En effet, des orifices correctement orientés garantissent un refroidissement rapide et uniforme. Par ailleurs, des piles stables préviennent les lésions mécaniques aux fruits et empêchent les contenants de tomber. Les cageots en carton ondulé peuvent être réunis en colonnes à l'aide de fils métalliques fixés à leurs extrémités et s'agrippant dans la fente du cageot du dessus (photo 9). La stabilité de l'ensemble se trouve ainsi accrue. Si les cageots de petits fruits se retrouvent sur la même palette que d'autres produits, ils doivent être placés au-dessus des autres cageots afin de prévenir les meurtrissures par compression. Un film plastique étirable ou un filet en plastique peut être utilisé pour consolider les cageots sur les palettes à charges mixtes. Le film (ou le filet) peut couvrir toute la palette ou être placé en bandes et la recouvrir partiellement.

Gestion de la température Prérefroidissement

Les petits fruits sont des denrées très périssables. Ils s'altèrent facilement à des températures élevées. Garder les petits fruits à basse température ralentit les processus naturels de mûrissement et le développement de pourritures. Cette pratique atténue aussi la perte d'eau. Elle ralentit la détérioration des fruits présentant des lésions d'origine mécanique. De plus, elle préserve la qualité de même que la fraîcheur du fruit.

Le secret de la préservation de la qualité des petits fruits est simple : les refroidir immédiatement après la récolte et les garder à la température optimale d'entreposage pendant toutes les étapes de la distribution. Le tableau 4 donne les conditions d'entreposage recommandées pour divers petits fruits. Des fruits gardés à une température trop élevée pendant leur manutention, leur entreposage ou leur transport perdent inmanquablement de leur qualité et de leur valeur marchande.

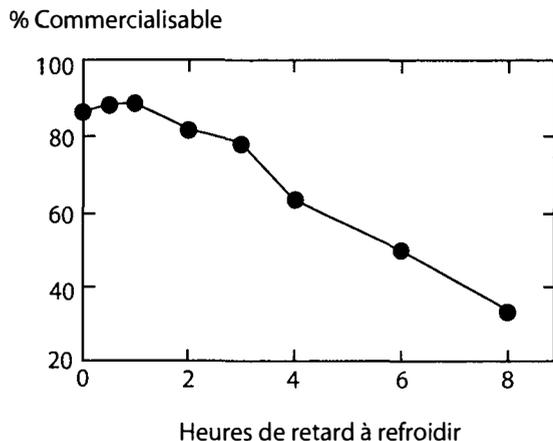
Les petits fruits sont habituellement chauds au moment de la cueillette : ils renferment une quantité importante de chaleur appelée «chaleur du champ». Or un fruit chaud présente un taux de respiration élevé. Il continue donc de produire de la chaleur après la cueillette (tableau 2). Le prérefroidissement consiste à retirer rapidement la chaleur du champ des produits agricoles qui viennent d'être récoltés, avant de les expédier, de les entreposer ou de les transformer. En retirant cette chaleur, le prérefroidissement contribue à préserver la qualité et la fraîcheur des fruits. Il ralentit aussi le développement des pourritures. Cette opération doit être réalisée immédiatement après la récolte. En effet, tout retard est nuisible à la durée de conservation et à la qualité du fruit. Cela est particulièrement vrai dans le cas des petits fruits. De nombreuses études ont montré que tout retard du prérefroidissement entraîne une baisse de qualité. Il est recommandé que les fraises soient prérefroidies dans l'heure qui suit leur cueillette^[9]. Le fait de les laisser à 25 °C et d'attendre 2, 4, 6 ou 8 heures avant de les refroidir diminue leur valeur commerciale de 20, 37, 50 et 70 %, respectivement (figure 2).

TABLEAU 4

Entreposage des petits fruits : conditions recommandées, durée de conservation prévue et point de congélation maximal ^[7, 14, 32]

FRUIT	TEMPÉRATURE (°C)	HUMIDITÉ RELATIVE (%)	DURÉE DE CONSERVATION	POINT DE CONGÉLATION (°C)
FRAISE	0	90 - 95	7 À 10 JOURS	-0,8
FRAMBOISE	-0,5 À 0	90 - 95	3 À 6 JOURS	-0,9
MÛRE	-0,5 À 0	90 - 95	3 À 6 JOURS	-0,8
BLEUET	-0,5 À 0	90 - 95	2 À 3 SEMAINES	-1,3
CANNEBERGE	2 À 5	90 - 95	8 À 16 SEMAINES	-0,9
CASSIS	-0,5 À 0	90 - 95	1 À 4 SEMAINES	-1,0
GADELLE	-0,5 À 0	90 - 95	1 À 2 SEMAINES	-1,0
GROSELLE À MAQUEREAU	-0,5 À 0	90 - 95	3 À 4 SEMAINES	-1,1
BAIE DE SUREAU	-0,5 À 0	90 - 95	1 À 2 SEMAINES	-1,1

FIGURE 2



Pourcentage de fruits commercialisables en fonction du délai entre la récolte et le refroidissement des fraises^[3]

Il existe plusieurs méthodes de prérefroidissement. Celles-ci font appel à l'air (refroidissement à l'air forcé), à l'eau (refroidissement à l'eau glacée), à la glace (refroidissement à la glace liquide) ou au vide (prérefroidissement sous vide). Toutefois, comme la plupart des petits fruits risquent de subir des dommages au contact de l'eau ou de la glace et que le prérefroidissement sous vide ne leur convient pas, la seule méthode recommandée dans leur cas est le refroidissement à l'air forcé. De fait, la plupart des petits fruits, à l'exception des canneberges, sont refroidis à l'air forcé. Les canneberges ne sont pas prérefroidies car elles sont récoltées tard en saison, alors que les températures extérieures sont basses.

Refroidissement à l'air forcé

Les systèmes de refroidissement à l'air forcé peuvent facilement être adaptés pour équiper de petites ou de grandes installations^[14]. Ils servent à refroidir un large éventail de fruits, de légumes et de fleurs coupées. Ils sont donc commodes pour le producteur qui a plusieurs types de produits à refroidir. Ils ne font intervenir ni eau ni glace, ce qui atténue d'autant les risques de contamination. Toutefois, le refroidissement à l'air forcé comporte des inconvénients. En effet, il est plus lent que les autres méthodes. De plus, des précautions doivent être prises pour minimiser la perte d'eau pendant le traitement.

Une installation de refroidissement à l'air forcé se compose essentiellement d'un système frigorifique pour refroidir l'air, d'un moyen mécanique pour faire circuler l'air et d'un plénum réalisé à l'aide d'une bêche. Il existe diverses configurations de ces installations sur le marché. Toutefois, elles reposent toutes sur le même principe, celui de créer un gradient de pression pour forcer l'air froid à entrer en contact avec les produits à refroidir. Pour ce faire, un tunnel de refroidissement est utilisé afin de prérefroidir les produits empilés sur des palettes (figure 3).

FIGURE 3

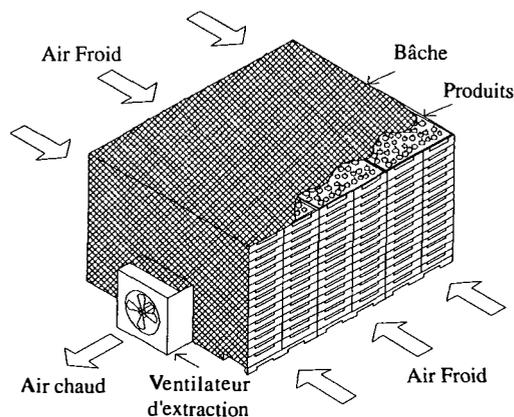


Schéma de la circulation de l'air dans un système de refroidissement à l'air forcé de type tunnel^[34]

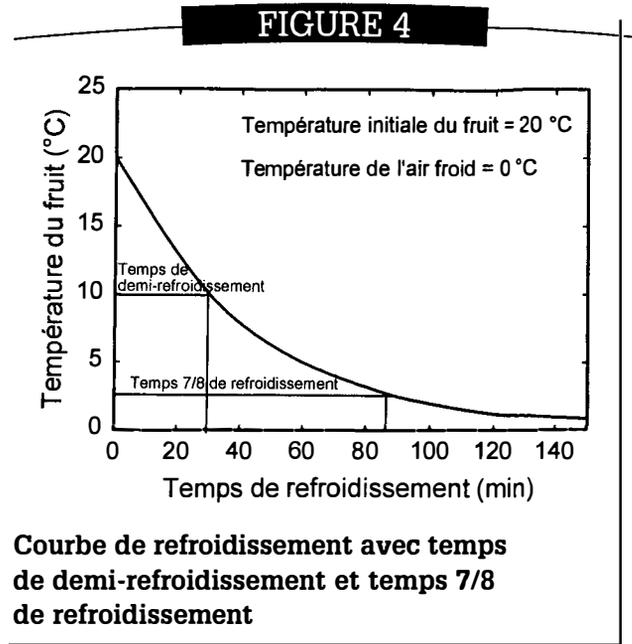
Ce système comprend un ventilateur, un mur de support et une bêche. Le ventilateur est monté sur le mur de support. Deux rangées de palettes de produits sont placées contre ce mur. Une bêche recouvre le dessus des deux rangées de produits et son extrémité opposée au mur de support. Elle forme ainsi un tunnel, appelé plénum, entre les rangées de palettes. La circulation d'air froid à travers les produits est provoquée par un gradient de pression créé par le ventilateur. En effet, l'extraction d'air du plénum par le ventilateur y engendre une dépression. L'air froid traverse donc les ouvertures des boîtes ou cageots et entre en contact avec les produits avant de se retrouver dans le plénum. L'air froid absorbe donc la chaleur des produits et se réchauffe. Cet air plus chaud est retourné dans la chambre froide où il sera éventuellement repris par le système de réfrigération qui le refroidira.

Le retour d'air plus chaud dans la chambre froide peut parfois provoquer des problèmes de condensation sur les produits déjà froids. Un système amélioré de refroidissement à l'air forcé intègre un système frigorifique dans le circuit de l'air (photo 10). Ainsi, le mur de support est remplacé par un faux-mur permettant de créer une anti-chambre dans laquelle sont placés le ventilateur et le système frigorifique. Cette version améliorée du système de refroidissement à l'air forcé fonctionne exactement sur le même principe que celui énoncé précédemment, à l'exception que l'air réchauffé par la chaleur des produits est immédiatement refroidi dans l'anti-chambre avant de retourner dans la chambre froide. Ce système est plus dispendieux à construire et nécessite plus d'espace plancher. Il est toutefois plus efficace au point de vue énergétique. Il évite en outre tout problème de condensation sur les produits déjà froids.

Temps de demi-refroidissement

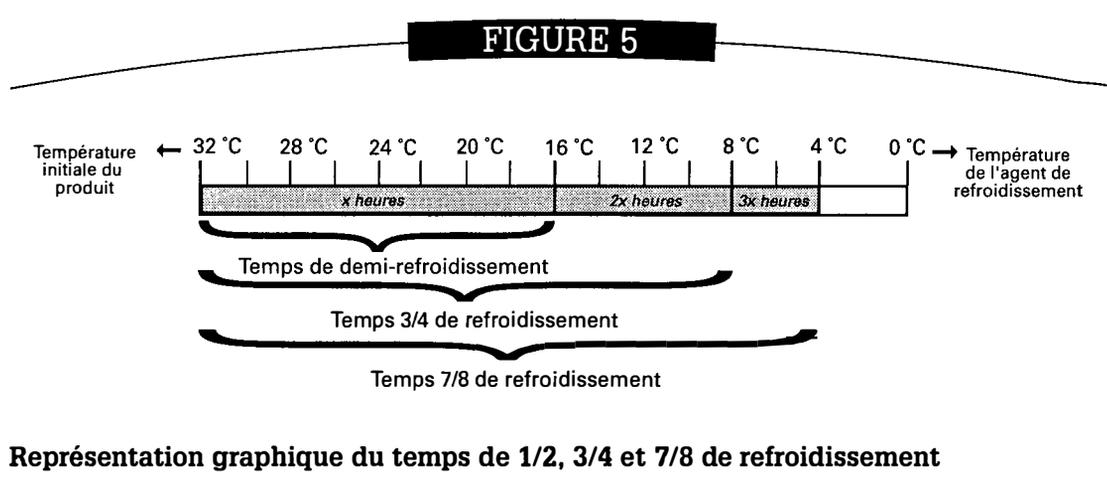
La figure 4 représente une courbe de refroidissement type. La pente de la courbe exprime la vitesse de refroidissement, laquelle diminue avec le temps. Ce genre de courbe caractérise le transfert de chaleur par convection et par conduction à la base du refroidissement à l'air forcé. Comme la différence de température entre le produit et l'air est grande, le refroidissement est rapide au début. À mesure que l'écart de température diminue, le refroidissement ralentit et il faut plus de temps pour extraire la même quantité de chaleur.

La notion de « temps de demi-refroidissement » est utile pour évaluer le temps de refroidissement d'un produit. Il s'agit du temps nécessaire pour



réduire de moitié l'écart initial de température entre le produit et l'air. De même, le temps 3/4 ou 7/8 de refroidissement désigne le temps nécessaire pour réduire des 3/4 ou des 7/8 l'écart initial de température. Dans le cas du refroidissement à l'air forcé, s'il faut « x » heures pour extraire la moitié de la chaleur de récolte, il faudra deux fois plus de temps pour extraire les 3/4 de la chaleur de récolte, et trois fois plus pour en extraire les 7/8 (figure 5).

Idéalement, le fruit devrait être prérefroidi à la température d'entreposage recommandée, mais cette opération peut être très longue. Par exemple, si un produit est récolté à une température initiale de 32 °C et est prérefroidi à l'air jusqu'à 0 °C, l'écart initial de température entre le produit et



l'air refroidi est de 32 °C. En supposant que le temps de demi-refroidissement est de 1 heure, au cours de la première heure, la température moyenne du produit baissera à 16 °C. À la fin de la deuxième, troisième, quatrième et cinquième heures, la température moyenne sera à 8, 4, 2, 1 °C respectivement. Il est donc clair qu'il faut beaucoup de temps avant que le produit s'approche de 0 °C. Cet exemple illustre combien il est difficile, par refroidissement, d'extraire les derniers degrés de chaleur. C'est pourquoi dans les installations commerciales, les petits fruits sont habituellement prérefroidis aux 7/8, après quoi ils sont placés dans un entrepôt frigorifique où la température de leur chair atteint peu à peu le niveau de température recommandé.

Le temps nécessaire pour refroidir les petits fruits dépend, entre autres, du débit d'air, de la différence de pression statique à travers la palette et du type d'emballage utilisés. Par exemple, il faut un écart modéré de pression d'air pour refroidir rapidement des petits fruits placés dans des cageots de carton ondulé munis de grandes ouvertures de ventilation sur deux côtés^[3].

Le tableau 5 indique le temps nécessaire (heures) pour prérefroidir des fraises placées dans des cageots standard de carton ondulé, à différents débits d'air et pressions statiques. À noter que les valeurs de ce tableau sont établies en tenant compte des fruits les plus chauds dans le lot. La force d'entraînement nécessaire au refroidissement peut varier d'un point à l'autre de la charge. La pression statique est habituellement maximale à proximité du ventilateur aspirant et minimale au fond du tunnel. Il s'ensuit que plus on s'éloigne du ventilateur, plus la température des fruits

demeure élevée. Il n'y a pas deux systèmes de refroidissement à l'air forcé absolument identiques. Il importe donc de déterminer pour chacun l'emplacement des « points chauds » de la charge à l'aide de lecteurs de température. Par la suite, le contrôle de la température des fruits à ces emplacements indique le moment où le traitement est complété.

Facteurs influençant l'efficacité du refroidissement

La vitesse et l'efficacité de refroidissement d'un système sont fonction de certains facteurs : 1) l'écart initial de température entre le fruit et l'air, 2) le débit d'air, 3) l'accessibilité du fruit à l'air froid et 4) les dimensions du conduit d'air. Un système inefficace allonge le temps de refroidissement et augmente ainsi les coûts d'exploitation, tout en diminuant la masse commercialisable et la qualité des fruits.

Conception du système

Il est recommandé de disposer d'un local expressément réservé au refroidissement à l'air forcé. Les entrepôts frigorifiques ordinaires sont conçus pour garder à basse température les produits déjà refroidis. Leur capacité frigorifique n'est pas suffisante pour extraire rapidement la chaleur de récolte. Comme il est important de maintenir l'air de l'entrepôt à une température constante afin de limiter le temps de refroidissement, le groupe frigorifique doit être suffisamment puissant pour maintenir cette température au niveau le plus bas possible. Un ingénieur spécialisé dans le domaine peut déterminer la puissance frigorifique nécessaire pour une installation donnée en considérant les conditions particulières du produit à refroidir. Dans le cas de grandes installations comportant

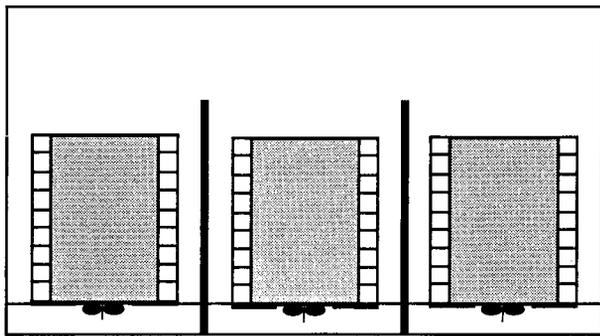
TABLEAU 5

Refroidissement des fraises en cageot (modèle standard utilisé en Californie)^[33]

Temps 7/8 de refroidissement (h)	1,5	2	3	4	6	9
DÉBIT D'AIR (L/s/KG FRUITS)	2,0	1,4	0,8	0,5	0,3	0,2
PRESSION STATIQUE DE L'AIR DANS LA PALETTE (MM DE COLONNE D'EAU)	10	5	2	1	0,5	0,5

plusieurs chambres de refroidissement contiguës, il est préférable d'installer un évaporateur dans chaque chambre. Il est également à conseiller de les séparer par des murs non isolés ou des rideaux^[3], afin d'empêcher l'air chaud d'une chambre de se mêler à celui des autres chambres (figure 6). Un tel mélange d'air risque en effet d'allonger le temps de refroidissement. Pour de plus amples renseignements sur l'agencement et les dimensions des systèmes de refroidissement à l'air forcé, il existe des fiches techniques faciles d'accès^[15, 16].

FIGURE 6



Séparation des chambres de refroidissement pour empêcher les mélanges d'air entre zones contiguës^[3]

Débit d'air

Le choix du ventilateur est un élément clé dans la conception d'un système de prérefroidissement. Des ventilateurs au débit insuffisant allongent le temps de refroidissement même si la température de l'air est à son niveau optimal. Un débit de 1 à 2 litres par seconde par kilogramme (L/s/kg) de produit est nécessaire pour un refroidissement rapide^[3]. Il est possible de déterminer la capacité d'un ventilateur en mesurant la différence de pression statique entre l'entrée et la sortie du ventilateur, et sa vitesse de rotation. Cette information, combinée aux données de performance du fabricant, peut servir à estimer la capacité du ventilateur. À titre d'indication, pour des fraises emballées dans des contenants standard placés sur des palettes, une différence de pression de 2,5 mm de colonne d'eau équivaut à 1 L/s/kg de produit, et une différence de pression de 10 mm de colonne d'eau, à 2 L/s/kg^[3] (tableau 5). Ces pertes de pression statique sont la somme des pertes de pression

engendrées par la circulation de l'air à travers la masse de produit et dans les différents espaces à travers lesquels l'air circule. Ces pertes doivent être égales au gain de pression statique engendré par la puissance du ventilateur. Ainsi, un ventilateur adéquat fournit la quantité d'air désirée à la pression statique requise pour forcer l'air à circuler à travers tout le système de prérefroidissement.

Contact de l'air avec le fruit

La présence d'ouvertures dans les parois des cageots et des récipients contenant les petits fruits est essentielle au prérefroidissement^[17]. En effet, des recherches ont démontré qu'il est possible de réduire le temps nécessaire au prérefroidissement des petits fruits de 37 % en utilisant des contenants qui possèdent des ouvertures couvrant 10 % de leurs parois par rapport à ceux qui n'en ont pas, et ce, en utilisant les mêmes débits d'air^[17]. Toutefois, l'utilisation de contenants ayant des ouvertures couvrant 65 % de leurs parois n'a généralement pas donné de résultats meilleurs au point de vue prérefroidissement que ceux ayant 10 % d'ouverture. De plus, les contenants ayant de très grandes surfaces d'ouverture n'offrent généralement pas un bon support mécanique aux petits fruits. L'utilisation de tels contenants a produit des blessures par abrasion ou coupures de surface sur jusqu'à 20 % des petits fruits^[18].

En ce qui concerne les cageots de carton ondulé, les ouvertures doivent représenter au moins 5 % de la superficie de la paroi du récipient^[19]. À superficie de ventilation égale, quelques grandes ouvertures sont préférables à plusieurs petites. Au point de vue résistance structurelle, les fentes verticales ne constituent pas une solution intéressante pour des contenants ayant une si faible hauteur. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec des cageots ayant une ouverture sur pratiquement toute la largeur de la partie supérieure de leurs deux parois latérales^[17]. Il est toutefois important que, pendant le prérefroidissement, les contenants soient correctement alignés par rapport à la direction du flux d'air afin de maximiser l'efficacité du refroidissement. Quant aux ouvertures de ventilation des contenants, elles doivent être placées de façon à ce que l'air froid puisse circuler entre les fruits avant de retourner au système de réfrigération.

Récemment, des essais à l'air forcé ont aussi été réalisés avec des cageots en plastique^[20] et une famille de contenants réutilisables et recyclables a

été développée. Ces contenants sont solides et bien ventilés. Ils conviennent à plusieurs méthodes de prérefroidissement. La superficie totale des ouvertures servant à la ventilation de ces contenants correspond à 25 % de la surface de chacune des parois latérales des contenants^[21]. Ceux-ci sont disponibles sur le marché.

Conduits d'air

Les passages pour la circulation de l'air doivent être assez larges pour que toutes les palettes refroidissent au même rythme (figure 7). La vitesse de l'air dans ces passages ne devrait d'ailleurs pas dépasser 7,5 m/s^[3]. Une vitesse trop grande entraîne une répartition inégale de l'air et de fortes fluctuations de pression statique^[3]. Il est facile de mesurer la vitesse de l'air à l'aide d'anémomètres à fil chaud ou à ailettes. Pour mesurer les variations de pression, un manomètre électronique ou à colonne d'eau peut être utilisé.

La largeur (D_e), en mètres (m), du passage permettant la circulation de l'air froid qui entre en contact avec les produits peut être déterminée à l'aide de l'équation 1. Dans cette équation, Q est le débit d'air du ventilateur en litres par seconde (L/s) et L la longueur totale des rangés de palettes de produits^[3] en m.

$$D_e = \frac{Q}{L \times 1500} \quad (1)$$

La largeur du conduit de retour d'air ou du tunnel (D_r), en m, peut être déterminée à l'aide de l'équation 2. Dans cette équation, Q est le débit d'air du ventilateur en L/s, et H , la hauteur des palettes^[3] en m.

$$D_r = \frac{Q}{H \times 750} \quad (2)$$

FIGURE 7

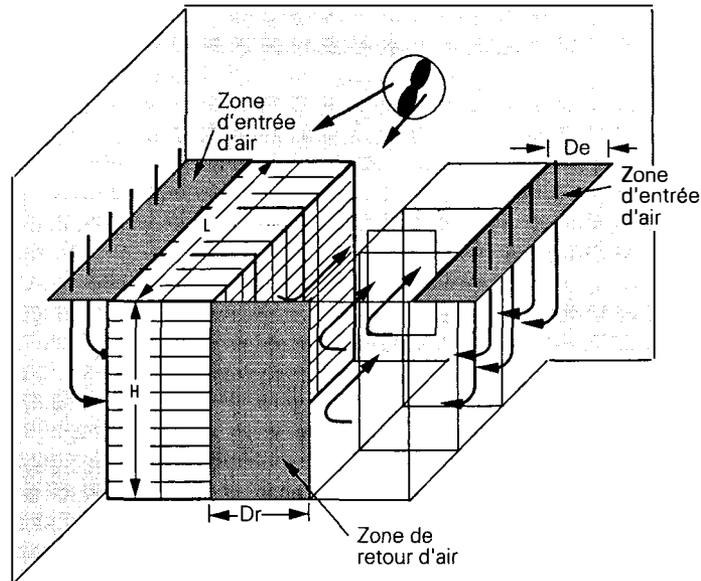


Schéma des distances pour le calcul de la largeur des conduits d'air^[33]

Entreposage

La plupart des petits fruits demeurent peu de temps en entrepôt. Pour préserver leur qualité, il est somme toute essentiel de les conserver dans les meilleures conditions possible.

Entreposage frigorifique

Le tableau 4 donne les conditions optimales d'entreposage de même que la durée de conservation prévue de divers petits fruits. Ces conditions d'entreposage peuvent toutefois varier en fonction des cultivars utilisés. Les petits fruits doivent être conservés à une température voisine de leur point de congélation, c'est-à-dire légèrement inférieure à 0°C. À basse température, les processus qui affectent la qualité du fruit, c'est-à-dire les processus d'altération de la saveur, de la couleur et de la texture, de même que la respiration, la déshydratation et la pourriture du fruit, sont ralentis. Seules les canneberges font exception et ne doivent pas être entreposées à une température inférieure à 2 °C, en raison de leur vulnérabilité aux maladies du froid ou au désordre physiologique causés par les basses températures. Sous 2 °C, les canneberges risquent de devenir caoutchouteuses et leur chair, de rougir.

La perte d'eau chez les petits fruits peut les rider et les flétrir. Comme la perte d'eau par transpiration résulte de la faible pression de vapeur présente dans la chambre froide, il importe d'y maintenir l'humidité relative à au moins 95 %. Une humidité relative inférieure à 90 % entraîne le flétrissement rapide des fraises^[9]. Quoique les hauts taux d'humidité relative soient bénéfiques pour la conservation des petits fruits, il faut éviter que l'eau ne se condense sur ces derniers. De manière générale, un prérefroidissement adéquat, fait sans délai et suivi d'une réfrigération dans des conditions d'humidité relative optimales, minimise la perte de poids.

Il est important de bien désinfecter les équipements de manutention et d'entreposage afin de réduire la contamination par des agents pathogènes provoquant des pourritures ou par d'autres types de micro-organismes colonisant les parois des chambres froides et pouvant donner un

mauvais goût aux fruits entreposés. Tout fruit pourri ou contenant contaminé doit être rapidement retiré et jeté. Les chambres froides doivent être périodiquement nettoyées et désinfectées.

Il est parfois nécessaire d'entreposer temporairement les fruits avant de les transporter. Cet entreposage doit être le plus court possible, surtout s'il n'est pas possible d'assurer les conditions d'entreposage recommandées. Par ailleurs, il est primordial de se rappeler que les fruits doivent toujours être prérefroidis avant d'être mis en chambre froide.

Atmosphère contrôlée

La modification de l'atmosphère d'entreposage peut prolonger la durée de conservation des fruits au-delà de la durée obtenue par la simple réfrigération. L'entreposage sous atmosphère contrôlée (AC) consiste à modifier les concentrations normales d'oxygène (O₂) et de dioxyde de carbone (CO₂) présents dans l'air de la chambre froide. Des concentrations élevées de CO₂ semblent prolonger la durée de conservation de la plupart des petits fruits en empêchant la formation de pourritures. Des concentrations de CO₂ variant de 10 à 15 %, combinées à une réfrigération adéquate, prolongent de plusieurs jours la durée de conservation des fraises, des framboises et des mûres et de plusieurs semaines celle des bleuets, du cassis, des gadelles et des groseilles à maquereau. Ainsi, les bleuets peuvent être entreposés pendant plus de six semaines sous atmosphère contrôlée.

Si la concentration de CO₂ est trop élevée, le fruit risque de se détériorer en ramollissant, en blettissant ou en développant un goût désagréable. La tolérance des fruits au CO₂ dépend de la concentration de CO₂, du temps d'exposition au CO₂, de la température et du cultivar. Le fruit peut tolérer des concentrations élevées de CO₂ s'il est conservé pendant de courtes périodes ou à haute température. Une diminution de la concentration d'O₂ a peu d'influence sur la durée de conservation. Cependant, une faible concentration d'O₂ (< 2 %) risque de nuire au développement de la

saveur du fruit ou de lui donner un mauvais goût. L'intervalle des atmosphères « optimales » est présenté au tableau 6. Celui-ci donne les concentrations recommandées d'O₂ et de CO₂ et les plages de températures d'entreposage optimales pour différents petits fruits.

Comme il est peu commode d'entreposer les petits fruits dans de grands entrepôts à AC comme ceux employés pour l'entreposage commercial des pommes, des techniques spéciales ont été utilisées pour modifier l'atmosphère environnante des palettes de produits. Ainsi, des enveloppes de suremballage en plastique, dans lesquelles du CO₂ peut être injecté, ont été conçues pour créer un milieu étanche autour de la palette de fruits. Ce système est souvent utilisé pour créer des atmosphères à forte concentration de CO₂ dans lesquelles pourront voyager des fraises et des framboises. L'enveloppe de plastique sert en outre à isoler le fruit du milieu extérieur.

La technique consiste à placer une membrane en plastique sous la cargaison et à l'agrafer aux cageots formant la base de l'empilement, de façon à rendre étanche le dessous de la cargaison. Cette membrane peut être placée manuellement sur la palette avant que les produits n'y soient empilés.

Un mécanisme complexe permettant de soulever toute la charge de produits afin d'introduire la membrane peut aussi être utilisé après que la palette soit pleine (photos 11a et b). Un sac de plastique vient ensuite recouvrir toute la palette de fruits (photo 11c). Un ruban adhésif est appliqué sur la jonction de la membrane inférieure et du sac (photo 11d). Un petit trou est alors percé dans le côté du sac et une tuyauterie y est insérée. Ce tuyau sert à retirer de l'air et à injecter du CO₂ jusqu'à la concentration voulue (photo 11e). Le trou d'injection est par la suite fermé à l'aide de ruban adhésif (photo 11f).

Selon les propriétés du matériau de plastique, l'atmosphère ainsi créée peut être maintenue pendant toute la durée du transport. Afin de prévenir l'accumulation excessive de CO₂, la quantité de CO₂ produite par la respiration du fruit doit égaler la quantité de CO₂ qui diffuse à travers le sac. Il faut prendre garde de ne pas perforer les sacs en les maintenant. Le suremballage ne doit être exécuté que sur des fruits parfaitement prérefroidis et conservés en chambre froide afin de les maintenir froids. De plus, il doit être réalisé juste avant le chargement dans les camions pour empêcher le réchauffement des fruits dans les sacs.

TABLEAU 6

Conditions d'entreposage sous AC
recommandées pour divers petits fruits ^[7, 14, 32]

FRUIT	TEMPÉRATURE (°C)	CONCENTRATION D'O ₂ (%)	CONCENTRATION DE CO ₂ (%)*	DURÉE DE CONSERVATION MAXIMALE
FRAISE	0 À 2	5 À 10	15 À 20	14 JOURS
FRAMBOISE	0 À 2	5 À 10	15 À 20	7 JOURS
MÛRE	0 À 2	5 À 10	15 À 20	10 JOURS
BLEUET	0 À 2	5 À 10	12 À 20	6 À 9 SEMAINES
CANNEBERGE	4	1 À 2	0,5	12 À 16 SEMAINES
CASSIS	0 À 2	5 À 10	20	2 À 3 SEMAINES
GADELLE	0 À 2	5 À 10	15 À 20	12 À 16 SEMAINES
BAIE DE SUREAU	1	5 À 10	15	5 À 8 SEMAINES

* La concentration de CO₂ optimale varie selon le cultivar, la température d'entreposage et la durée de l'entreposage. Elle peut être haussée lorsque la température est élevée et que la période de conservation est plus courte.

Il existe également des tentes en plastique à AC dans lesquelles peuvent être placées plusieurs palettes de fruits à l'intérieur d'un entrepôt frigorifique ordinaire^[22]. Réutilisables, ces tentes peuvent facilement être retirées de l'entrepôt lorsqu'une atmosphère contrôlée n'est plus nécessaire. Au Canada et en Europe, l'entreposage commercial des bleuets cultivés, du cassis et des gadelles fait appel à ce type de tentes (photo 12).

Aux cours des deux dernières décennies, de multiples innovations ont entraîné un essor considérable du conditionnement sous atmosphère modifiée (CAM) des aliments destinés à la vente au détail. Le CAM est maintenant une méthode courante de conservation des fruits et légumes, d'un bout à l'autre de la chaîne de distribution.

Le CAM mise sur l'étanchéité des matériaux d'emballage et la respiration du fruit pour modifier l'atmosphère à l'intérieur de l'emballage. Un des avantages du CAM est que le fruit peut être gardé dans une atmosphère modifiée pendant toutes les étapes de sa commercialisation. Cependant, la plupart des petits fruits ont besoin de fortes concentrations de CO₂ (>10 %) et il existe peu de films d'emballage capables de produire et de maintenir cette forte concentration de CO₂ sans amener la concentration d'O₂ à des niveaux préjudiciables. Le CAM ne permet donc pas toujours d'obtenir les concentrations voulues de CO₂. Il contribue néanmoins à prévenir la déshydratation.

Irradiation

L'irradiation consiste à exposer les aliments à des rayonnements afin de prolonger leur durée de conservation, de sorte qu'ils puissent être commercialisés à longueur d'année. L'irradiation s'est révélée efficace pour éliminer des bactéries comme *Salmonella*, *Listeria* et *Campylobacter*. Les techniques d'irradiation des aliments à des fins de salubrité sont maintenant approuvées et mises en œuvre dans plus de 30 pays. Des études sont présentement en cours dans plusieurs pays pour trouver des méthodes de lutte contre les agents pathogènes pouvant se trouver dans les fruits frais, les jus de fruits, les légumes frais précoupés, les germes et les graines.

La réglementation canadienne permet l'irradiation des pommes de terre, des oignons, du blé, de la farine de blé, des épices, des assaisonnements à base de légumes séchés et des fines herbes. Les États-Unis permettent, quant à eux, l'irradiation de fruits à des fins de déparasitage depuis 1986. Les fraises irradiées sont commercialisées aux États-Unis depuis 1992, mais la plupart des petits fruits offerts sur le marché nord-américain ne sont pas irradiés. En Europe, l'irradiation des fruits est permise depuis de nombreuses années.

Transport

Types de matériel de transport

Les petits fruits peuvent être transportés en camion, en train, en bateau ou en avion. Le choix du mode de transport dépend de l'endroit où ils sont récoltés, de l'éloignement du marché, de la quantité à transporter, de la disponibilité des infrastructures, de la qualité du matériel de transport, de la durée de conservation du produit, du temps de transport nécessaire et du rapport entre la valeur du produit et le coût de transport. En Amérique du Nord, les petits fruits sont surtout transportés en camions et en semi-remorques frigorifiques. Ils sont aussi transportés en avion, dans des conteneurs aériens légers.

Les tracteurs et les semi-remorques frigorifiques servent couramment au transport de gros volumes de petits fruits (jusqu'à 28 palettes). Ils empruntent les autoroutes et parcourent de longues distances. Ils peuvent transporter des petits fruits de la côte ouest à la côte est en 4 à 5 jours. Bien utilisés, les groupes frigorifiques intégrés aux semi-remorques peuvent maintenir des conditions d'entreposage optimales pendant toute la durée du transport. En dépit de fluctuations de coûts attribuables à l'état de la demande et aux coûts du carburant, le transport routier demeure généralement le moyen le plus économique pour transporter des fruits d'un bout à l'autre de l'Amérique du Nord.

Les camions frigorifiques servent, pour leur part, au transport de plus petites charges de produits (plusieurs palettes) et sont habituellement utilisés pour la distribution locale. Équipés de groupes frigorifiques, ils assurent la continuité de la chaîne du froid, tandis que leurs faibles dimensions leur permettent d'atteindre les localités accessibles par des routes secondaires.

L'avion sert au transport des petits fruits vers les destinations d'outre-mer. Ces denrées très périssables peuvent ainsi atteindre en un temps très court les marchés étrangers. Pendant le transport, les emballages de petits fruits sont empilés à l'intérieur de conteneurs légers; ces caisses

métalliques sont fermées par des portes-rideaux. En raison des contraintes relatives au poids, les conteneurs aériens ne sont ni isolés ni réfrigérés. Des sources de froid, du style «Ice-Pack», peuvent être placées à l'intérieur des emballages pour garder les produits froids. Même si ces sources réfrigérantes sont généralement efficaces, les produits peuvent subir des gains importants de chaleur lors des retards au chargement et au déchargement dans des conditions de températures chaudes et humides ou lors d'une exposition, même courte, aux rayons du soleil. Les coûts du transport aérien sont élevés, mais ils sont parfois justifiés par la valeur marchande des petits fruits dans des régions éloignées de leur site de production.

Règles de base

Quel que soit le mode de transport utilisé pour l'expédition des petits fruits, plusieurs règles de base s'imposent pour préserver leur qualité. Ainsi, seuls les fruits correctement prérefroidis et de grande qualité devraient être expédiés. En effet, comparativement aux entrepôts, les véhicules de transport offrent un environnement beaucoup moins stable. De plus, pendant le transport, les produits sont exposés à des manutentions brutales et à des conditions d'entreposage qui sont loin d'être idéales. Les retards sont également fréquents au chargement et au déchargement, ce qui peut exposer les fruits à des températures souvent élevées ou aux rayons du soleil. Par ailleurs, les groupes frigorifiques intégrés aux véhicules de transport peuvent tomber en panne ou être mal réglés. Les fruits adéquatement prérefroidis et de grande qualité ont plus de chances que les autres de supporter le voyage.

Les petits fruits étant très sensibles aux fluctuations de température, il est important d'assurer la continuité de la chaîne du froid tout au long du transport et de la manutention. Les systèmes frigorifiques doivent être adéquatement entretenus et utilisés. Quant aux véhicules de transport, ils doivent être bien nettoyés et entretenus.

Semi-remorques frigorifiques

Les semi-remorques (souvent appelées simplement «remorques») frigorifiques constituent le type de véhicule le plus couramment utilisé pour le transport routier de longues distances. Les semi-remorques sont tirées par des tracteurs. L'ensemble est appelé «tracteur semi-remorque» (photo 13). Chaque semi-remorque est équipée d'au moins un groupe frigorifique. Essentiellement, une semi-remorque est une caisse rectangulaire bien isolée thermiquement. La plupart sont munies de portes battantes à deux vantaux montées dans la paroi arrière. D'autres ont une seule porte à enroulement. Certaines sont équipées de portes dans les parois latérales. La plupart sont non compartimentées.

Les semi-remorques compartimentées sont dotées de cloisons amovibles qui permettent de diviser l'espace en plusieurs petits compartiments dont la température peut être réglée indépendamment. Ces semi-remorques servent habituellement à la distribution, car elles peuvent transporter à la fois des denrées périssables, des produits congelés et des marchandises sèches, lesquels demandent des températures différentes.

Les anciennes semi-remorques sont équipées de suspensions à ressorts métalliques plutôt «dures». Les semi-remorques plus récentes sont dotées de suspensions pneumatiques. Ces dernières procurent un roulement plus doux, elles atténuent les vibrations et limitent le déplacement des boîtes au cours du transport.

Gestion de la température

Plusieurs facteurs influencent la température des produits chargés dans une semi-remorque : les sources de chaleur à l'intérieur et à l'extérieur de la remorque, le groupe frigorifique, la quantité d'air circulé et sa distribution à travers la masse de produits, de même que le profil de chargement des palettes.

En fait, il existe trois sources de chaleur qu'il importe de maîtriser pour empêcher le réchauffement des produits pendant leur transport : la charge thermique résiduelle, la charge thermique externe et la charge thermique interne.

Charge thermique résiduelle. La charge thermique résiduelle comprend la chaleur initiale contenue dans la semi-remorque, le fruit et les matériaux d'emballage. Elle inclut la chaleur sensible de l'air présent dans la remorque, la chaleur contenue dans les matériaux isolants et le revêtement intérieur de la remorque⁽²³⁾, la chaleur accumulée dans les éléments de calage et les accessoires de la semi-remorque, la chaleur générée par les appareils de chargement, de même que la chaleur contenue dans le produit mal refroidi.

Le groupe frigorifique qui équipe la semi-remorque est normalement conçu pour extraire uniquement les charges thermiques produites pendant le transport. Il n'a pas la puissance de réfrigération nécessaire pour éliminer la charge thermique résiduelle, d'où la nécessité de bien refroidir la semi-remorque et les produits jusqu'à la température optimale de transport avant le chargement. En hiver, il peut, au contraire, être nécessaire de réchauffer la semi-remorque pour la porter à la température optimale avant de la charger. Cette façon de faire permet d'éviter d'avoir à réchauffer le produit pour compenser la charge frigorifique accrue qu'apportent les basses températures de l'air extérieur. Dans tous les cas, avant de charger le véhicule, il faut attendre qu'il ait atteint la température de transport souhaitée. Pour prérefroidir une semi-remorque, il suffit d'en fermer toutes les portes et de régler le groupe frigorifique à la température voulue. Il faut arrêter le groupe frigorifique dès que les portes de la semi-remorque sont ouvertes pour empêcher que l'air ambiant, chaud et humide, se condense sur les serpentins de l'évaporateur.

Même lorsque correctement prérefroidie, une semi-remorque peut se réchauffer pendant le chargement ou le déchargement. Dans les zones d'expédition, les quais de chargement peuvent être intérieurs ou extérieurs. Lorsque le chargement se fait à l'intérieur, l'air est habituellement conditionné, ce qui limite le réchauffement de la semi-remorque. Pour charger une semi-remorque depuis un quai de chargement intérieur, il faut arrêter le groupe frigorifique, ouvrir les portes arrière puis ouvrir la porte du quai de chargement pour laisser l'air de la zone d'expédition pénétrer dans la remorque. Lorsque le véhicule est chargé depuis un quai extérieur, le produit est directement exposé à l'air ambiant. Après avoir mis la

semi-remorque en position et arrêté le groupe frigorifique, il faut ouvrir la porte et charger ou décharger les produits le plus rapidement possible. Une fois la manutention terminée, il faut vite refermer les portes et remettre en marche le groupe frigorifique. La pénétration de l'air ambiant dans la semi-remorque est ainsi réduite au minimum.

Charge thermique externe. L'introduction de chaleur de source externe provient de l'interaction entre la semi-remorque et son environnement extérieur. C'est habituellement cette charge thermique qui influe le plus sur la température du produit au cours du transport. La chaleur externe pénètre dans la remorque par conduction, convection, infiltration ou rayonnement.

La chaleur de conduction et la chaleur de convection peuvent se transmettre aux surfaces intérieures de la remorque par le toit, les murs et les portes. Pour limiter cette charge thermique, les surfaces sont recouvertes de matériaux isolants. Des dommages mécaniques et la pénétration d'humidité diminuent la valeur isolante de ces matériaux. D'où l'importance de réparer sans délai les surfaces endommagées des remorques. De plus, les orifices d'évacuation situés aux quatre coins du plancher doivent être libres de débris pour pouvoir évacuer l'eau. Les semi-remorques en mauvais état ne doivent pas être utilisées pour le transport de denrées périssables.

C'est par infiltration que la plus grande part de chaleur externe pénètre dans les semi-remorques. L'air chaud s'infiltré habituellement par de petits trous, des fissures, les orifices d'évacuation et des joints d'étanchéité défectueux autour des portes. L'ouverture répétée des portes à des fins d'inspection ou de livraison accroît aussi de façon importante l'infiltration de la chaleur externe à l'intérieur de la remorque. Il a été montré que le gain de chaleur dû à l'ouverture des portes lors d'une tournée de livraison peut être 5 fois supérieur au réchauffement par conduction à travers le revêtement des surfaces intérieures de la semi-remorque^[24]. Pour limiter l'infiltration, il importe donc de réparer immédiatement tout dommage aux parois de la semi-remorque et de ne pas ouvrir les portes inutilement.

Les rayons solaires accroissent la charge thermique externe de la remorque frigorifique. Il est possible de

minimiser ce gain de chaleur en recouvrant les surfaces extérieures de la remorque d'acier poli, de plaques d'aluminium ou de peinture réfléchissante^[23]. Une peinture réfléchissante pâle (blanche, par exemple) contribue à réfléchir les rayons solaires. À l'inverse, une peinture foncée (noire, par exemple) favorise grandement l'absorption de la chaleur de rayonnement. Des lavages fréquents sont nécessaires pour préserver les propriétés réfléchissantes de ces surfaces. Bien entendu, la chaleur de rayonnement est beaucoup moins intense la nuit que le jour.

Charge thermique interne. Dans une remorque, la charge thermique interne inclut la chaleur de respiration des produits pendant le transport. En prérefroidissant les petits fruits et en les gardant à la température recommandée pendant le transport (tableau 4), ce type de charge peut être minimisé.

Réfrigération mécanique

Il existe plusieurs façons de maintenir la température à un niveau optimal à l'intérieur d'une semi-remorque. À l'heure actuelle, la réfrigération mécanique est la méthode la plus utilisée pour régulariser la température. Le groupe frigorifique d'une semi-remorque est habituellement entraîné par un moteur diesel. Tous les éléments du système sont contenus dans un bâti monté sur la paroi avant de la remorque (photo 14). Le moteur, le condenseur et les autres accessoires sont installés sur la face extérieure de la paroi avant. L'évaporateur et un ventilateur sont situés à l'intérieur.

Le système de réfrigération mécanique peut être utilisé en mode continu ou automatique. Lorsqu'il est en mode continu, le compresseur et le ventilateur fonctionnent sans arrêt et la température est maintenue très près du point de consigne. En mode automatique, le compresseur fonctionne de façon intermittente tandis que le ventilateur assure une circulation continue de l'air à l'intérieur de la remorque. En mode automatique, le système consomme moins de carburant, mais les écarts de température par rapport au point de consigne sont plus grands qu'en mode continu. Pour des denrées très périssables comme les petits fruits, il est recommandé d'utiliser le système de réfrigération en mode continu.

Des thermostats servent à réguler la température à l'intérieur de la remorque. La température de consigne

dépend du type de chargement. Si le chargement contient un seul type de produit, le point de consigne doit être établi en fonction de la température d'entreposage recommandée pour ce produit. Par exemple, les fraises doivent être transportées à 0 °C, les framboises, les mûres, les cassis et les gadelles, à une température variant entre -0,5 et 0 °C, et les canneberges, à une température de 2 à 5 °C (tableau 4). À l'étape de la distribution, si plusieurs types de produits sont transportés en même temps dans le même camion, il est recommandé de regrouper les produits qui sont compatibles⁽¹⁹⁾.

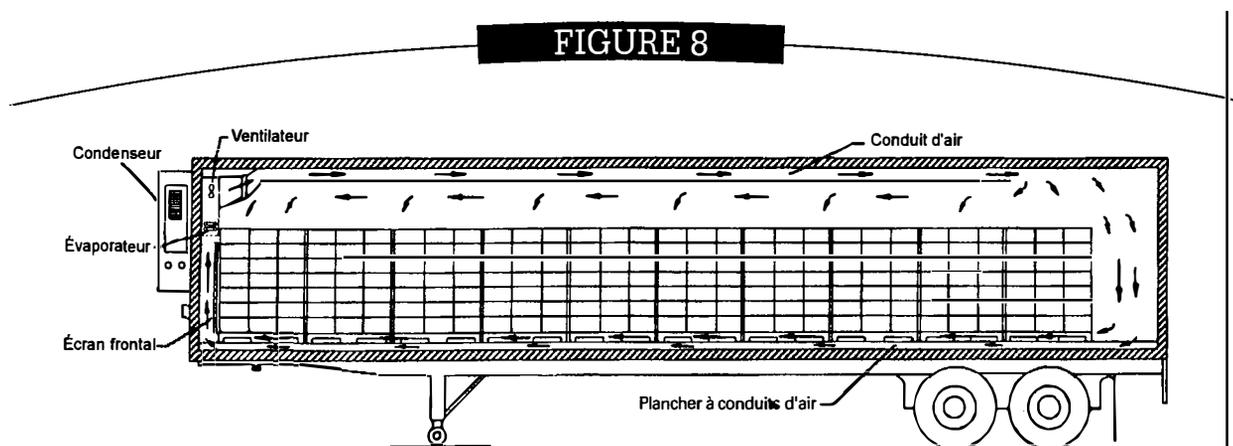
Circulation de l'air

La circulation de l'air joue un rôle crucial dans le maintien de la température recommandée au cours du transport. L'air doit circuler de façon uniforme à travers et autour des produits pour absorber les charges thermiques interne et externe. La circulation de l'air à travers et autour de la cargaison empêche l'accumulation de chaleur et aide ainsi à maintenir à un niveau optimal la température du fruit. Maintes fois, il a été souligné que la présence d'une enveloppe d'air à la température optimale autour du chargement est le « meilleur matériau isolant ». En effet, la température des parois de la remorque devient moins importante si les produits ne touchent pas directement ces surfaces⁽²⁵⁾. De plus, en hiver, il est possible de réchauffer l'enveloppe d'air et de la faire circuler autour du chargement pour empêcher les denrées de geler⁽²³⁾. Bref, l'air qui circule autour de la cargaison retire la chaleur

extérieure, atténue le flux de chaleur et isole la cargaison des parois chaudes ou froides de la remorque.

Un bon débit d'air accélère l'extraction de la chaleur autour et à l'intérieur du chargement, de même que son transfert au groupe frigorifique. De plus, il réduit le gradient de température dans l'évaporateur, ce qui allonge les intervalles de dégivrage du groupe frigorifique. En effet, peu importe la puissance frigorifique de l'installation, elle sera toujours insuffisante si l'air circule mal^(23, 26). Outre un débit d'air élevé, il importe d'assurer une répartition uniforme de l'air pour maintenir le niveau de température souhaité dans toute la cargaison. Une répartition inégale de l'air entraîne le réchauffement ou le refroidissement excessif des différentes parties de la cargaison, lequel peut à son tour raccourcir la durée de conservation des denrées et, à terme, causer leur perte.

La plupart des semi-remorques frigorifiques sont équipées d'un système de distribution d'air au plafond qui souffle un fort débit d'air sous basse pression dans l'axe de la remorque. L'air circule au-dessus de la cargaison, de l'avant vers l'arrière de la remorque (figure 8). Le long du trajet, une partie du flux d'air descend entre les parois de la remorque et la cargaison⁽²³⁾. Lorsque l'air atteint l'arrière de la remorque, il passe entre la porte arrière et la cargaison, puis sous celle-ci, au niveau du plancher, jusqu'à l'avant. Lorsqu'il atteint l'avant, il remonte entre la paroi et la cargaison, et revient dans l'évaporateur où il est à nouveau refroidi.



Trajet de l'air dans une semi-remorque équipée d'un système de distribution d'air au plafond

Il existe plusieurs dispositifs facilitant la circulation de l'air à l'intérieur des semi-remorques frigorifiques. Ces dernières peuvent être équipées d'un conduit de distribution d'air, d'un plancher à rainures profondes et d'un écran frontal de reprise d'air (photo 15). Ces dispositifs créent des passages qui favorisent la circulation de l'air au-dessus et en dessous de la cargaison, ainsi qu'à l'avant et à l'arrière de la semi-remorque. Une meilleure circulation de l'air contribue à son tour à une meilleure régulation de la température dans toute la cargaison pendant le transport^[23].

Conduit de distribution d'air

Le conduit de distribution d'air aide à amener l'air débité par le groupe frigorifique à l'arrière de la cargaison et des deux côtés de celle-ci. Ce conduit est habituellement fait de toile ou de vinyle^[26, 27] et il est relié à la sortie du ventilateur par un adaptateur. L'utilisation de connecteurs rapides pour relier le conduit au groupe frigorifique ou à l'écran facilite l'accès aux serpentins de l'évaporateur aux fins d'inspection sanitaire et d'entretien. Le conduit de distribution d'air doit être monté au milieu du plafond.

Il est recommandé^[23] de prévoir, pour le conduit, une section transversale d'au moins 0,15 m². Le conduit est raccordé à la sortie du ventilateur situé près du mur avant et se prolonge jusqu'à 3 à 5 m des portes arrière^[28] au moins. Des ouvertures sont pratiquées en divers points le long du conduit pour entraîner une partie du flux d'air sur les côtés^[23]. Des séparateurs de 6,4 mm à 7,9 mm et des attaches sont utilisés pour créer les ouvertures^[28]. Sur les trois premiers mètres à partir de la sortie du groupe frigorifique, aucune ouverture n'est pratiquée, et les bords du conduit sont fixés de façon étanche au plafond^[28]. En cas de défaut d'étanchéité, l'air froid risque de retourner directement au ventilateur, ce qui a pour effet de fausser les lectures du thermostat et donc, la régulation de la température. Les dimensions du conduit sont habituellement déterminées en fonction du type de groupe frigorifique utilisé et de la superficie de plafond de la remorque.

L'utilisation d'un conduit de distribution d'air comporte toutefois un inconvénient : il peut gêner les mouvements du chariot élévateur pendant le chargement et le déchargement. Pour prévenir les dommages, il convient de suspendre le conduit à

moins de 0,15 m du plafond et de fixer l'ouverture arrière en son milieu, de façon à ce que les palettes ne puissent l'accrocher^[28]. Le fait de fixer l'ouverture de l'extrémité arrière a aussi pour effet d'augmenter la pression de l'air à l'intérieur du conduit, ce qui favorise les flux d'air latéraux. Pour empêcher que le conduit s'écrase contre le plafond et bloque la circulation d'air, la cargaison doit demeurer en deçà de la hauteur du conduit. Dans ce but, il est suggéré de peindre une ligne sur les parois latérales de la remorque afin d'indiquer la hauteur maximale de chargement^[23] à respecter.

L'état et la propreté du conduit d'air doivent être vérifiés avant chaque voyage. Les déchirures entraînent une répartition inégale de l'air dans la remorque^[28]. Quant à la saleté, elle risque d'être emportée par l'air et de contaminer la cargaison. Le conduit d'air doit être enlevé et nettoyé à intervalles réguliers à l'aide de produits désinfectants recommandés par les organismes gouvernementaux^[28] concernés.

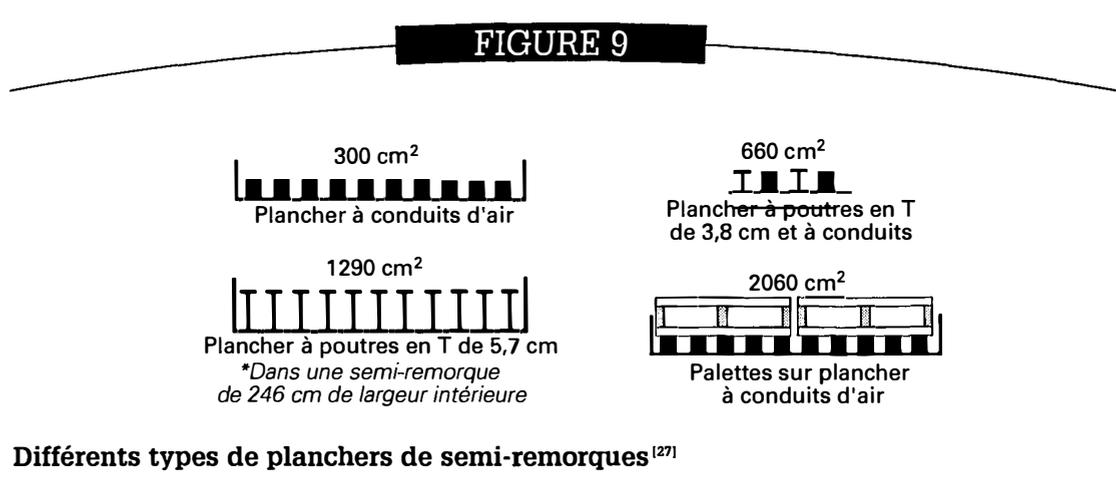
Plancher

Dans une remorque équipée d'un système de soufflage au plafond, l'air utilise l'espace entre la cargaison et le plancher pour revenir à l'évaporateur. Si l'espace pour la reprise d'air est insuffisant, il s'ensuit une mauvaise circulation de l'air, qui empêche l'air froid d'atteindre la cargaison. Pour que le ventilateur puisse donner son plein rendement, il faut de 0,15 à 0,19 m² de section transversale de reprise d'air^[23, 26].

Les types de planchers les plus courants dans les semi-remorques frigorifiques sont les planchers plats (sans aucune rainure), les planchers à conduits d'air, les planchers à poutres en T et à conduits, et les planchers à poutres en T (figure 9). Chaque type de plancher offre une superficie de section transversale plus ou moins importante pour le passage de l'air de reprise. Dans le cas d'un plancher plat, cette superficie est nulle. Il est alors recommandé de placer les produits sur des palettes ou des supports en bois^[27].

Même s'ils offrent une plus grande superficie de reprise d'air que tous les autres types de planchers, les planchers à poutres en T comportent plusieurs inconvénients. Ainsi, ils risquent davantage que les autres d'être endommagés par les

FIGURE 9



chariots élévateurs. Les débris peuvent facilement s'accumuler dans les creux du plancher, ce qui rend ce dernier très difficile à nettoyer. De plus, les chariots élévateurs risquent davantage de déraiper en raison de la surface de contact réduite entre les pneus et le plancher.

Écran frontal de reprise d'air

Un écran frontal de reprise d'air est une fausse cloison qui permet un retour facile de l'air à l'évaporateur. En séparant la cargaison de la paroi avant, l'écran frontal empêche la cargaison d'obstruer le trajet de l'air vers l'évaporateur. De plus, il force l'air froid à circuler autour et sous la cargaison avant de revenir au ventilateur^[26]. L'écran frontal peut couvrir toute la largeur et la moitié de la hauteur de la paroi avant. Il existe deux types d'écran frontal : ceux à claire-voie et les écrans pleins. Les écrans pleins sont préférables aux écrans à claire-voie pour ce qui est de la gestion de la température, car ces derniers peuvent laisser l'air court-circuiter la cargaison. Un écran à claire-voie est un simple treillis rectangulaire fait d'aluminium ou de bois (photo 16 a). L'écran plein (ou écran de mise en pression) crée une différence de pression entre la sortie et la prise d'air du ventilateur^[26]. L'air doit donc circuler dans, entre ou sous les palettes ou les cageots, avant de revenir au groupe frigorifique.

Divers modèles d'écrans pleins sont disponibles sur le marché. Ils sont soit standard, soit moulés. L'écran plein standard est habituellement fait de contre-plaqué et d'aluminium renforcé de fibre de verre. Il existe aussi des écrans mixtes, faits de panneaux pleins et à claire-voie (photo 16 b).

L'écran monopièce moulé est un nouveau type de cloison en polyéthylène (photo 16 c). Ce type d'écran, qui résiste aux chocs^[29], prend en compte la surface de prise d'air et la circulation de l'air.

Il est recommandé d'installer l'écran à au moins 75 mm de la paroi avant et de laisser au moins 150 mm entre le bord inférieur de l'écran et le plancher de la remorque^[23]. Des butoirs peuvent être installés pour empêcher que le déplacement de la cargaison ou un mauvais chargement bloque la circulation d'air. L'ouverture de reprise d'air au bas de l'écran frontal plein est habituellement munie d'un grillage qui empêche les débris de traverser l'écran. Une ouverture de 0,02 à 0,03 m² doit être ménagée dans le haut de l'écran pour favoriser le mélange des couches d'air et pour permettre une certaine circulation d'air vers le thermostat, au cas où le bas de l'écran se bloquerait^[23].

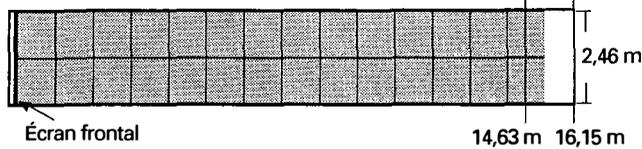
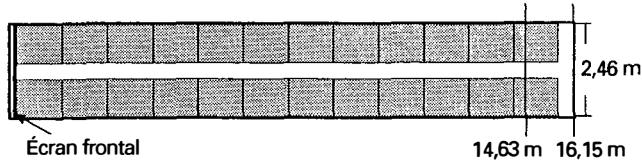
Profils de chargement des palettes

Il existe plusieurs façons de charger une remorque (figure 10). Le profil de chargement a un effet sur la circulation d'air, le contact entre la cargaison et les parois, la stabilité de la cargaison et le volume de la charge. Les palettes peuvent être chargées contre les parois latérales, décalées, en couches croisées à cheminées ou selon un profil médian, à l'aide d'un chariot élévateur ou d'un transpalette.

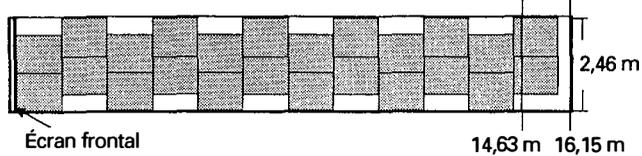
Le chargement contre les parois latérales (figure 10 a) consiste à aligner les palettes en deux rangées appuyées contre les parois de la remorque. Les palettes standard qui mesurent 1,0 m sur 1,2 m peuvent être disposées dans l'un ou l'autre sens. Lorsque leur côté long s'appuie contre les parois,

FIGURE 10

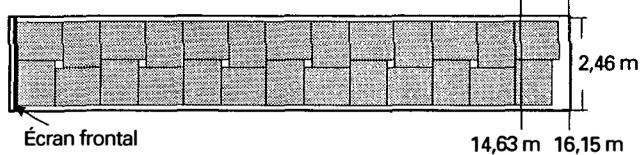
A) Chargement contre les parois latérales



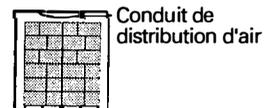
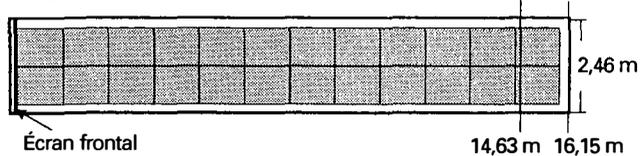
B) Chargement décalé



C) Chargement en couches croisées à cheminées



D) Chargement médian



Différents profils de chargement de palettes de petits fruits dans des semi-remorques frigorifiques (vue en plan et vue arrière)

un vide est créé entre les deux rangées. Grâce à ce conduit longitudinal, l'air peut circuler librement entre les rangées. De plus, les préposés au chargement peuvent vérifier le contenu ou l'état de la cargaison, ce qui est très pratique dans le cas des chargements mixtes. Mais à moins de disposer des éléments de calage entre les rangées de palettes, celles-ci risquent de se déplacer et de bloquer ce passage. Lorsque, au contraire, leur côté court s'appuie contre les parois, la remorque peut en accepter un plus grand nombre, mais aucun espace ne subsiste entre les deux rangées pour la circulation de l'air. Ce profil de chargement entraîne inévitablement un contact étroit entre les produits et les parois de la remorque, ce qui s'accompagne d'un risque accru de réchauffement ou de gel des produits pendant le transport¹²⁶¹.

Le chargement décalé (figure 10 b) consiste à charger toutes les palettes de façon à ce que leur côté court soit face aux portes. Elles sont disposées en paires, une palette touchant à l'autre. La première paire est disposée contre une des parois et la paire suivante, contre l'autre paroi, ainsi de suite en zigzag ou en quinconce. Ce profil de chargement offre une bonne stabilité du fait que les paires de palettes se chevauchent ; il n'est donc pas nécessaire de disposer des éléments de calage sur les côtés. Comparativement au chargement contre les parois latérales, le chargement décalé réduit de moitié le contact entre les produits et les parois latérales. De plus, il assure une meilleure circulation de l'air en créant des passages verticaux qui alternent d'un côté à l'autre des palettes. Ce profil de chargement est considéré comme un bon compromis entre le chargement contre les parois latérales et le chargement médian¹²⁶¹.

Le chargement en couches croisées à cheminées (figure 10 c) consiste à charger les palettes en groupes de quatre. Les palettes de la première paire sont placées l'une perpendiculaire à l'autre. Celles de la deuxième paire sont aussi placées à angle droit, mais leurs positions sont alternées. La différence entre la largeur et la profondeur des palettes fait en sorte qu'une cheminée est formée au centre de chaque groupe de quatre palettes. Le chargement en couches croisées à cheminées procure une meilleure stabilité que le chargement décalé. De plus, les cheminées constituent un

passage pour la circulation de l'air. Cependant, la circulation verticale de l'air n'est pas nécessairement uniforme de l'avant à l'arrière de la remorque¹²⁶¹. Si les palettes sont serrées les unes contre les autres et que toutes les cheminées sont situées au centre de la remorque, il reste un espace libre de chaque côté, entre les parois de la remorque et les palettes, pour la circulation de l'air.

Dans le cas du chargement médian (figure 10 d), toutes les palettes sont disposées l'une à la suite de l'autre. Les paires de palettes sont appuyées les unes contre les autres et placées au centre dans le sens de la largeur de la remorque. Des éléments de calage doivent être disposés de chaque côté pour empêcher la cargaison de se déplacer. De larges passages pour la circulation de l'air sont créés des deux côtés de la cargaison et à l'arrière, près des portes. La cargaison se trouve ainsi entièrement contenue dans une enveloppe d'air. Le chargement médian élimine tout contact entre les produits et les parois latérales de la remorque. Il favorise l'extraction de la chaleur externe et de la chaleur de respiration des produits. Il élimine aussi le risque de réchauffement et de gel. Ce type de chargement est recommandé pour le transport des petits fruits.

Arrimage des charges

Pour maintenir un espace entre les palettes, les parois latérales et l'arrière de la remorque, il faut caler les charges palettisées au moyen de sacs gonflables en vinyle ou en papier kraft, de dispositifs de blocage en aluminium ou en bois, de panneaux de fibres, de bourrage nid d'abeille et de courroies. Les sacs gonflables en vinyle ou en papier kraft sont disposés entre les palettes ou entre les palettes et les parois latérales (photo 17). Ils empêchent la cargaison de se déplacer latéralement. Les appareils d'arrimage en aluminium et les courroies servent à fixer la charge à l'arrière, l'empêchant ainsi de venir s'appuyer contre les portes (photo 18). Il est recommandé de recourir à ces dispositifs pour arrimer les palettes de petits fruits pendant leur transport.

Marche à suivre pour le chargement de petits fruits

RÉSUMÉ DE LA MARCHE À SUIVRE :

▪ Commande d'une remorque

- Demander une remorque en bon état
- Demander une remorque équipée d'un conduit de distribution d'air, d'un écran frontal plein et d'un plancher à rainures
- Demander une remorque à suspension pneumatique

▪ Préparation de la cargaison

- S'assurer que les petits fruits sont bien prérefroidis
- Garder les petits fruits au froid jusqu'au moment du chargement
- Au besoin, leur faire subir un traitement sous AC juste avant le chargement

▪ Préparation de la remorque

- Vérifier l'état physique, mécanique et de salubrité de la remorque
- Libérer de tous débris les rainures du plancher et les orifices d'évacuation
- Prérefroidir ou préchauffer la remorque, au besoin
- Mettre le groupe frigorifique hors circuit et ouvrir les portes arrière
- Reculer la remorque jusqu'au quai de chargement

▪ Chargement

- Éviter de heurter les palettes pendant la manutention
- Éviter de percer les enveloppes de suremballage sous AC
- Ne charger que des produits compatibles avec les petits fruits
- Charger les petits fruits selon un profil de chargement médian
- Disposer des éléments de calage entre les palettes et les parois latérales
- Disposer des éléments de calage derrière les dernières palettes

▪ Après le chargement

- Retirer la remorque du quai de chargement
- Fermer les portes arrière
- Mettre le groupe frigorifique en marche en régime continu
- Régler la température au niveau recommandé

Manutention à destination et commercialisation des petits fruits au détail

La manutention des petits fruits arrivés à destination est toute aussi cruciale pour la qualité des produits que les autres étapes de la chaîne de distribution. À l'arrivée des fruits à destination, il faut enlever les sacs ou les films plastiques qui recouvrent les palettes, puis vérifier la température et la qualité des petits fruits. Si les fruits sont à la température optimale, ils doivent être immédiatement placés dans une chambre froide se trouvant à la même température. Si la température de la chair des fruits (exceptées les canneberges) est supérieure à 2 °C, il est bon de les refroidir de nouveau jusqu'à leur niveau de température optimale^[1]. Il convient de placer en chambre froide les petits fruits qui doivent être triés une fois de plus. Ils pourront alors être apportés en petites quantités dans la zone de triage. Cette opération permet de rejeter les fruits qui présentent des moisissures ou des dommages mécaniques et de prévenir la contamination croisée. Après le triage, les fruits de bonne qualité doivent être retournés tout de suite dans l'entrepôt frigorifique. Des recherches ont démontré que les petits fruits non réfrigérés après leur transport deviennent, dans la plupart des cas, impropres à la commercialisation au bout de 2 ou 3 jours^[2], ou même moins, selon la température à laquelle ils sont exposés.

Par leur nature même, les petits fruits ont une durée de conservation très courte. D'où la nécessité, si la chaîne de distribution n'est pas complète, de les expédier sans délai aux détaillants. Il importe d'assurer la continuité de la chaîne de froid jusqu'à la dernière étape de la distribution et de manipuler ces fruits avec soin pour les préserver de toute meurtrissure. La marche à suivre pour le chargement des produits s'applique ici. Il faut également prendre soin de transporter dans le même véhicule uniquement des produits qui sont compatibles avec les petits fruits.

Dès leur arrivée au magasin de vente au détail, les petits fruits doivent être placés au froid. En raison de leur caractère hautement périssable, les petits fruits doivent autant que possible être placés dans des comptoirs réfrigérés. Les autres types de comptoir n'assurent généralement pas un refroidissement suffisant. Il est aussi préférable de ne mettre qu'une petite quantité de fruits à la fois dans les comptoirs réfrigérés. Les petits fruits sont compatibles avec de nombreux produits gardés à une température tempérée. Ils peuvent être placés à proximité de produits mouillés ou glacés, pourvu qu'ils ne soient pas en contact direct avec l'eau ou la glace^[3]. Les fraises ne doivent pas être placées dans un local où la concentration d'éthylène dépasse 10 ppm. L'humidité relative dans les comptoirs ouverts est plus faible que dans les chambres froides. Il faut donc recouvrir les petits fruits emballés dans des contenants sans couvercle afin d'atténuer la perte d'eau. Le fait de recouvrir les contenants contribue également à prévenir les lésions d'origine mécanique et les chutes de fruits au cours de la manutention^[3]. Finalement, comme les petits fruits pourrissent plus rapidement que les autres produits, il faut mettre plus de diligence à retirer des étalages les fruits avariés.

Bibliographie

- 1 Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2000. Les fruits : situation et tendances au Canada en 1999-2000 (y compris les pommes, les fruits de verger et les petits fruits). Ottawa (Ont.), Direction générale des services à l'industrie et aux marchés, Agriculture et Agroalimentaire Canada, (http://www.agr.ca/misb/hort/fruit_fr.html).
- 2 Statistique Canada, 2001. Production de fruits et de légumes. Juin 2001. N° de catalogue 22-003-XIB.
- 3 Mitchell, F.G., E. Mitcham, J.F. Thompson et N. Welch, 1996. Handling Strawberries for Fresh Market. Publication 2442. Oakland, C.A. : Division of Agriculture and Natural Resources, Communication Services-Publications, University of California.
- 4 Snowdon, A.L., 1990. A Colour Atlas of Postharvest Diseases and Disorders of Fruits and Vegetables. Volume 1: General Introduction and Fruits. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.
- 5 Caruso, F.L. et D.C. Ramsdell, 1995. Compendium of Blueberry and Cranberry Diseases. APS Press, St. Paul, MN.
- 6 Fraser, H. et I. MacKinnon, 1992. Experiences with Forced-Air Precooling of Horticultural Crops in Canada. ASAE Paper No 92-6017. St-Joseph, Mi : ASAE.
- 7 Hardenburg, R.E., A.E. Watada, et C.Y. Wang, 1986. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. USDA, ARS, Agricultural Handbook Number 66.
- 8 Jamieson, A.R., 2000. Choix des variétés de fraisières. Centre de recherche de l'Atlantique sur les aliments et l'horticulture. Fiche d'information 00-02, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Kentville (N.-É.), Canada, (<http://res2.agr.ca/kentville/pubs/factsheet/2000/fact00-02.pdf>).
- 9 Strik, B.C., 1993. Blueberry Cultivars for Oregon. Oregon State University, Extension Publication EC1308, Corvallis, (<http://eesc.orst.edu/agcomwebfile/edmat/EC1308.pdf>).
- 10 Khanizadeh, S., B. Thériault, O. Carisse et D. Buszard, 1999. AC-Yamaska Strawberry. HortScience 34(7) : 1286-1287.
- 11 Khanizadeh, S., B. Thériault, O. Carisse et D. Buszard, 1999. AC-L'Acadie Strawberry. HortScience 34(4) : 743-744.
- 12 Khanizadeh, S., J. Cousineau, M. Deschênes, A. Levasseur, O. Carisse, J. DeEll, L. Gauthier et A. Sullivan, 2001. AC-Saint-Pierre Strawberry. Germplasm/Cultivar Releases (Sous presse).
- 13 Forney, C., 2001. Données inédites.
- 14 Balzer, U. et H.U. Helm, 1999. Lagerung von Beerenobst (La conservation des petits fruits). Erwerbsobstbau 41 : 51-55.
- 15 Fraser, H. W., 1998. Tunnel de refroidissement par air pulsé pour le conditionnement des fruits et des légumes. Guelph (Ont.) : Centre d'information du gouvernement, ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAAARO). AGDEX 736/202, (<http://www.gov.on.ca/omafra/english/crops/facts/98-031.htm>).

- 16 Fraser, H. W., 1996. Entreposage frigorifique à court terme (été) des fruits et légumes : dimensions et agencement de l'entrepôt. Guelph (Ont.) : Centre d'information du gouvernement, ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAAARO), AGDEX 202/732, (<http://www.gov.on.ca/omafra/english/engineer/facts/92-124.htm>).
- 17 Émond, J.P., F. Mercier, S.O. Sadfa, M. Bourré et A. Gakwaya, 1996. Study of Parameters Affecting Cooling Rate and Temperature Distribution in Forced-Air Precooling of Strawberry. Transactions of the ASAE. 39(6) : 2185-2191.
- 18 Émond, J.P., C. Julien et F. Mercier, 1993. Evaluation of Mechanical Damage of Strawberries. Tech. Rep. Québec, Montréal, Canada : Univ. Laval.
- 19 Thompson, J.F. et A.A. Kader, 1999. Table for Compatible Fresh Fruits and Vegetables during 7-Day Storage. Davis, C.A. : University of California, (<http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/Storage/compatible-7-day-chart-5-01.pdf>).
- 20 Goyette, B. et C. Vigneault, 1999. Design of the Openings of Plastic Containers to Optimise Forced-Air Precooling and Liquid-Icing of Fruits and Vegetables. ASAE Paper No. 99-6030. St. Joseph, Mich. : ASAE.
- 21 Vigneault, C. et J.P. Émond, 1998. Reusable Container for the Preservation of Fresh Fruits and Vegetables. Agriculture and Agri-Food Canada and Laval University, United States Patent no 5,727,711, 60 p.
- 22 Leyte, J.C. et C.F. Forney, 1999. Controlled Atmosphere Tents for Storage of Fresh Commodities in Conventional Refrigerated Rooms. HortTechnology 9(4) : 672-675.
- 23 Ashby, B.H., 1999. Protecting Perishable Foods during Transport by Truck. Handbook No. 669, Revised ed. Washington, D.C. : Transportation and Marketing Division, Agricultural Marketing Service, United States Department of Agriculture.
- 24 ASHRAE, 1998. ASHRAE Refrigeration handbook (SI). Atlanta, Ga. : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- 25 Heywood, M.J., 1998. Land Transport of Food : Principal Elements and Current Practice. In : *Food Transportation*, eds. R. Heap, M. Kierstan, and G. Ford, Ch. 3 : 51-74. New York, N.Y. : Blackie Academic & Professional.
- 26 Kasmire, R.F. et R.T. Hinsch, 1987. Maintaining Optimum Transit Temperatures in Refrigerated Truck Shipments of Perishables. Perishables Handling Transportation Supplement No. 2. Davis, Calif. : University of California.
- 27 Kasmire, R.F., R.T. Hinsch et J.F. Thompson, 1996. Maintaining Optimum Perishable Product Temperatures in Truck Shipments. Postharvest Horticulture Series No. 12. Davis, Calif. : University of California.
- 28 Craig, W.L., 1990. Transportation Tips - Trailer Air Ducts (OT-ID-15). Transportation Tips Series, USDA/National Perishables Logistics Association Transportation Series. Washington, D.C. : Office of Transportation, United States Department of Agriculture.
- 29 Aero Industries, 1999. Refrigerated Trailer Accessoires. Product Catalog. Burlington, Ontario : Aero Industries Inc.

BIBLIOGRAPHIE

- 30 Mitcham, E.J., C.H. Crisosto et A.A. Kader, 2000. Bushberry : Blackberry, Blueberry, Cranberry, Raspberry. Produce Facts. Postharvest Technology Research and Information Center, Davis, Calif. : University of California, (<http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Fruit/berry.html>).
- 31 Mitcham, E.J., C.H. Crisosto et A.A. Kader, 1999. Strawberry. Produce Facts. Postharvest Technology Research and Information Center, Davis, Calif. : University of California, (<http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Fruit/strawberry.html>).
- 32 Cantwell, M., 1999. Properties and Recommended Conditions for Long-Term Storage of Fresh Fruits and Vegetables. Postharvest Technology Research and Information Center, Davis, California : University of California, (http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/Storage/prop_a.html).
- 33 Thompson, J.F., F.G. Mitchell, T.R. Rumsey, R.F. Kasmire et C.H. Crisosto, 1998. Commercial Cooling of Fruits, Vegetables, and Flowers. Publication 21567. Oakland, C.A. : Division of Agriculture and Natural Resources, University of California.
- 34 Rennie, T. J., 1999. Effects of Vacuum Rate on the Vacuum Cooling of Lettuce. M. Sc. Thesis. Department of Agricultural and Biosystems Engineering, Macdonald Campus, McGill University, Montreal, QC, Canada.

PHOTO 1

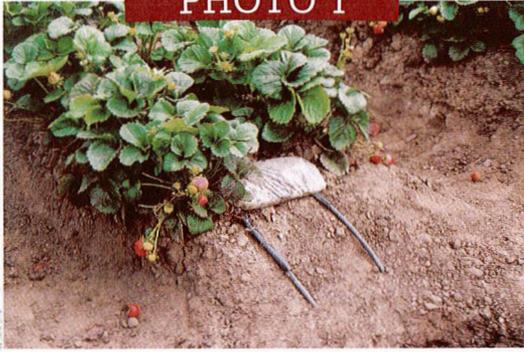


Photo : Catherine Hui

Des fraisières cultivées avec un paillis de plastique et irrigués au goutte-à-goutte.

PHOTO 2

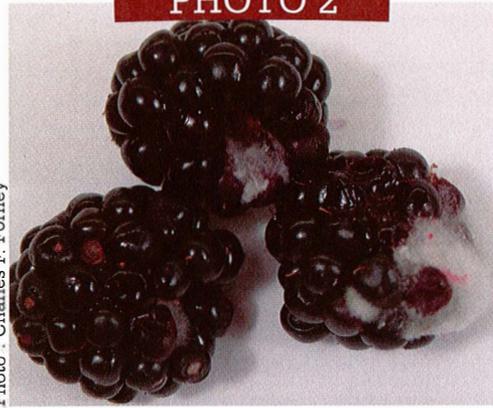


Photo : Charles F. Forney

Des mûres présentant de la moisissure brune.

PHOTO 3

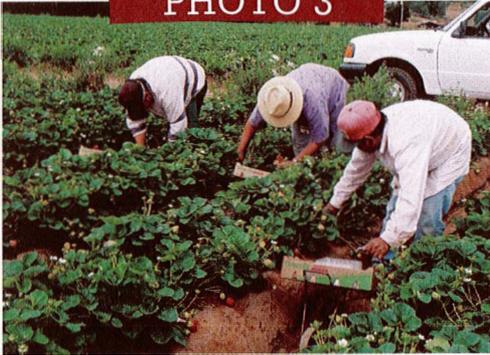


Photo : Catherine Hui

À la fraisière, il faut cueillir les fruits délicatement pour éviter les blessures mécaniques.

PHOTO 4

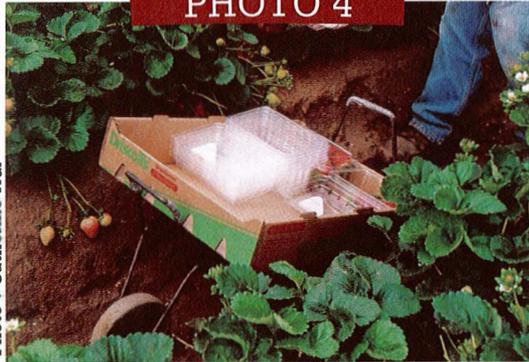


Photo : Catherine Hui

Les fraises sont emballées directement dans des contenants transparents à double coque posés à hauteur pratique sur une brouette servant au transport des fruits dans le champ.

PHOTO 5

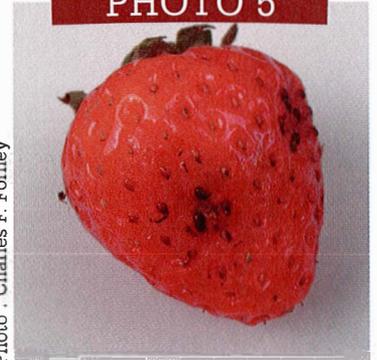


Photo : Charles F. Forney

Une blessure occasionnée lors de la manutention.

PHOTO 6

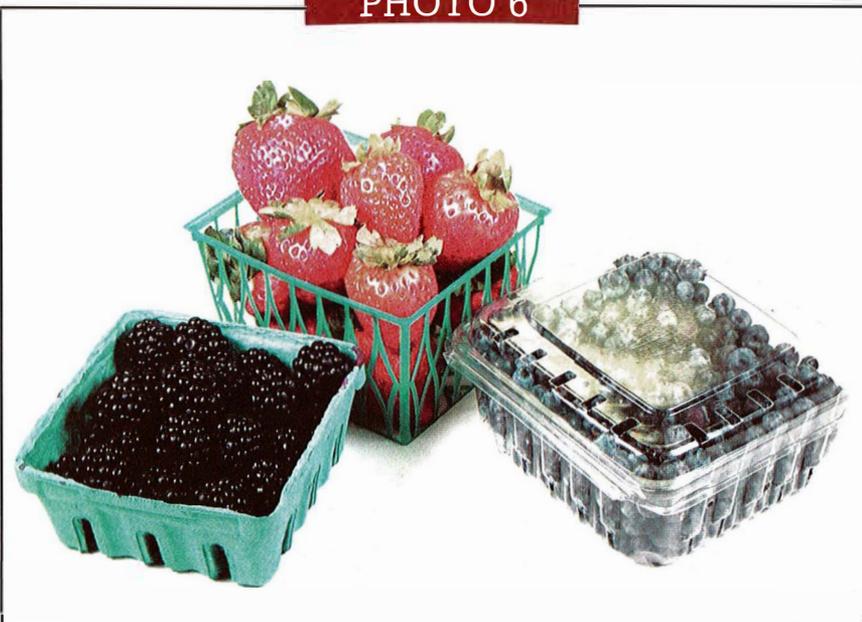


Photo : Charles F. Forney

Des mûres, des fraises et des bleuets emballés respectivement dans des récipients de cellulose moulée, de plastique et dans un contenant transparent à double coque.

PHOTO 7

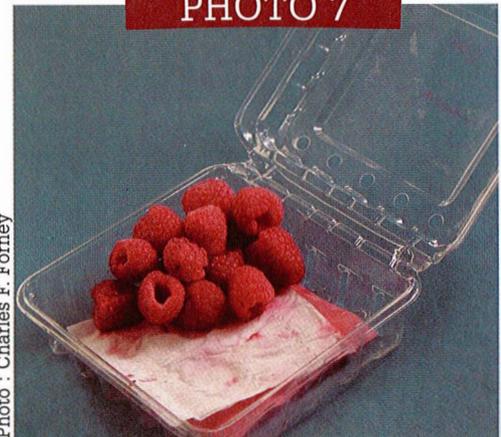


Photo : Charles F. Forney

Une doublure placée au fond du contenant absorbe l'humidité se dégageant des fruits.



PHOTOS 8



Des doubles coques et autres types de contenants de plastique placés dans des cageots de carton ondulé.



Photos : Charles F. Forney

PHOTO 9

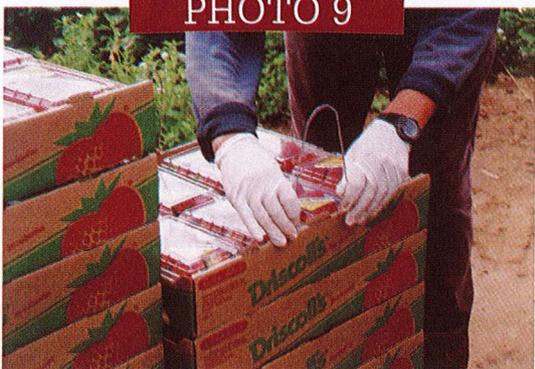
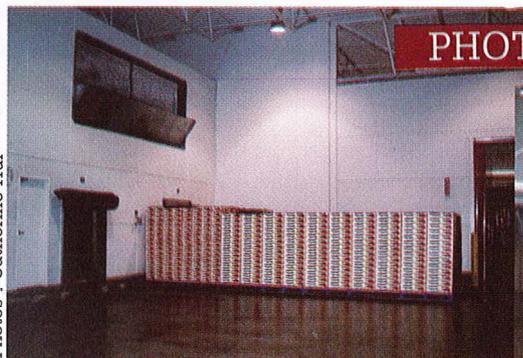


Photo : Catherine Hui

Un fil métallique servant à réunir les cageots en une pile.

PHOTOS 10



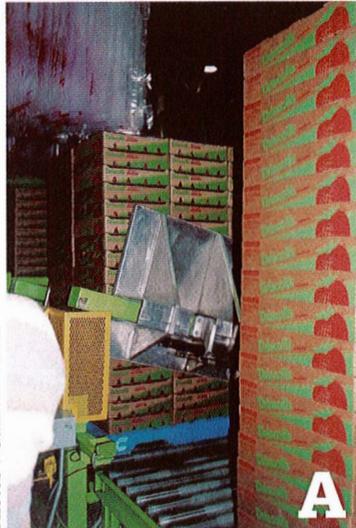
Photos : Catherine Hui

Un système de refroidissement à l'air forcé de type tunnel.



PHOTOS 11

Photos : Catherine Hui



A



B



C



D



E



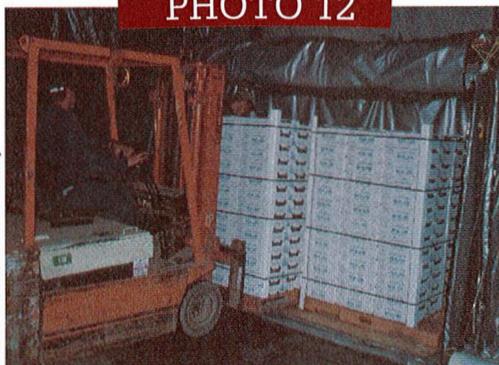
F

Les différentes étapes de l'emballage des fraises sous atmosphère modifiée (AM) :

- soulèvement de la palette;
- mise en place d'une membrane en plastique sous la palette;
- mise en place d'un sac en plastique sur la palette de produits;
- application d'un ruban adhésif à la jonction du sac et de la membrane;
- extraction de l'air du sac et injection de CO₂;
- palette avec enveloppe sous AM

PHOTO 12

Photo : Charles F. Forney



Des palettes de bleuets cultivés placées sous une tente à atmosphère contrôlée.

PHOTO 13

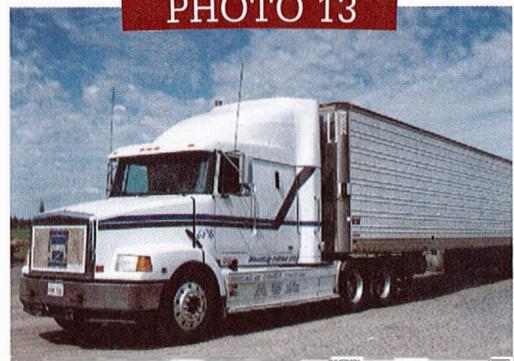
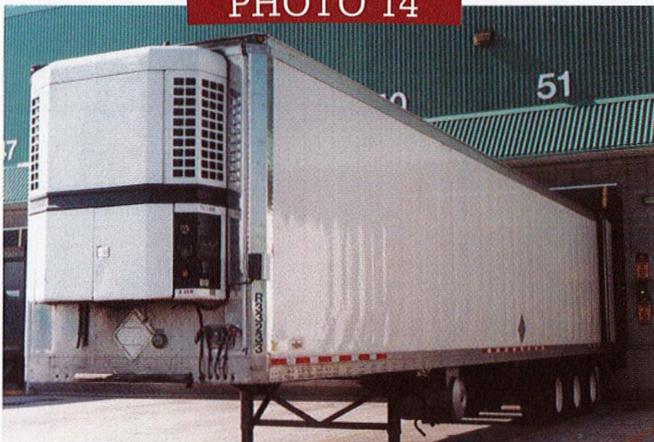


Photo : Catherine Hui

Une semi-remorque frigorifique tirée par un tracteur routier.

PHOTO 14

Photo : Catherine Hui



Un système de réfrigération mécanique monté sur la paroi avant d'une semi-remorque.

PHOTO 15

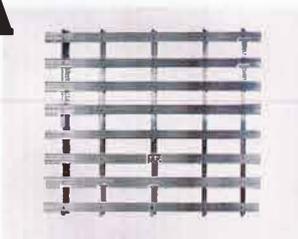


Photo : Catherine Hui

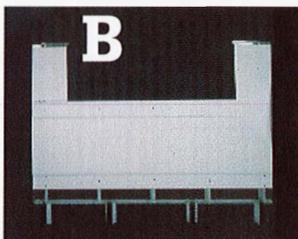
Un conduit de distribution d'air, un plancher à rainures profondes et un écran de reprise d'air favorisant la circulation d'air dans une semi-remorque frigorifique.

PHOTO 16

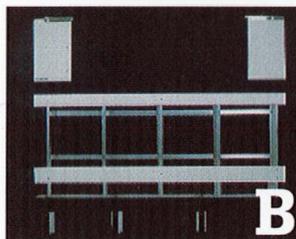
A



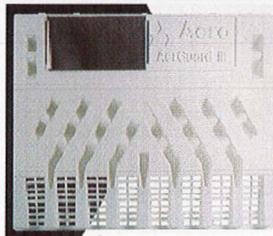
B



B



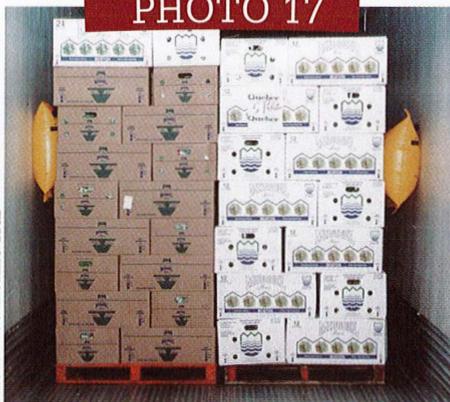
C



Différents types d'écran frontal :
a) à claire-voie; b) pleins;
c) moulé^[29]

PHOTO 17

Photo : Catherine Hui



Le chargement médian : disposition de sacs gonflables en vinyle entre les palettes et la paroi latérale.

PHOTO 18

Photo : Catherine Hui



Des barres de blocage empêchant les produits de se déplacer vers l'arrière.

Bon de commande

des publications reliées aux petits fruits



NUMÉRO DE LA PUBLICATION	TITRE DE LA PUBLICATION	QUANTITÉ	PRIX UNITAIRE INCLUANT TAXES	PRIX TOTAL
VV 034	Fraisier : Guide de protection 2002-2003 (33 pages) NOUVEAUTÉ !		22,00 \$	
VV 035	Framboisier : Guide de protection 2002-2003 (28 pages) NOUVEAUTÉ !		22,00 \$	
VU 074	Bleuet en corymbe : Guide de protection 2001-2002 (24 pages)		22,00 \$	
VU 038	Lutte contre le pourridié : implantation de framboisiers sur des buttes avec ou sans paillis de plastique noir, feuillet technique – 2000 (4 pages)		4,00 \$	
VU 012	Cahier de conférences du 2 ^e colloque sur la production du bleuet : En route vers la qualité – 2000 (134 pages)		16,00 \$	
VT 022	Savourez les fraises du Québec – 1999 (affiche en couleurs, 60 cm x 98 cm)		7,00 \$	
VR 219	Petits fruits : culture, mise à jour – 1997 (60 pages)		7,00 \$	
VR 212	Lutte intégrée contre les charançons des racines dans la culture du fraisier, feuillet technique – 1997 (6 pages)		3,00 \$	
VQ 209	Guide de culture des cassissiers, groseilliers et gadeliers – 1996 (44 pages)		12,00 \$	
VS 025	Guide d'identification des mauvaises herbes du Québec – 1998 (262 pages)		20,00 \$	
VU 070	Répertoire des traitements de protection des cultures 2001-2002 (300 pages)		42,00 \$	
AGDEX 230/854	Fraises, framboises et bleuets – Rendements, mars 2000		2,30 \$	
AGDEX 232/821	Fraises – Budget, nov. 1998		2,30 \$	
AGDEX 237/821	Framboises – Budget, mars 1993		2,30 \$	
AGDEX 238/821a	Bleuet en corymbe – Budget, oct. 1999		2,30 \$	

Nom : _____

Organisme : _____

Adresse : _____

Ville : _____

Code postal : _____ Numéro de téléphone : () _____

Courriel : _____

Total des achats

Frais de poste et de manutention*

Total à payer

***Les frais de poste et de manutention incluent les taxes et s'appliquent à toute livraison au Canada :**

Commandes jusqu'à 39,99 \$ (incluant les taxes) : 3,75 \$. Commandes dépassant 40 \$: 10 % du montant, jusqu'à concurrence de 20 \$ maximum. Les prix et conditions de vente sont modifiables sans préavis.

Pour obtenir plus de détails sur l'ensemble de nos publications ou sur nos nouvelles parutions, veuillez contacter notre Service à la clientèle au (418) 523-5411 ou 1 888 535-2537, ou consulter le site Web du CRAAQ (www.craaq.qc.ca).

Pour commander, veuillez remplir ce bon et l'accompagner d'un chèque ou d'un mandat-poste fait à l'ordre de DISTRIBUTION DE LIVRES UNIVERS.

Après avoir vérifié la disponibilité des publications choisies, expédiez le tout à :

DISTRIBUTION DE LIVRES UNIVERS

**845, rue Marie-Victorin
Saint-Nicolas (Québec) G7A 3S8**

Pour commander par :

Téléphone : (du lundi au vendredi, de 8 h 30 à 16 h 30) :

(418) 831-7474 ou 1 800 859-7474 (sans frais)

Télécopieur : (418) 831-4021

MODE DE PAIEMENT

(Pour votre sécurité, n'envoyez pas d'espèces par la poste.)

Mandat-poste ou Chèque à l'ordre de
DISTRIBUTION DE LIVRES UNIVERS

Visa MasterCard**

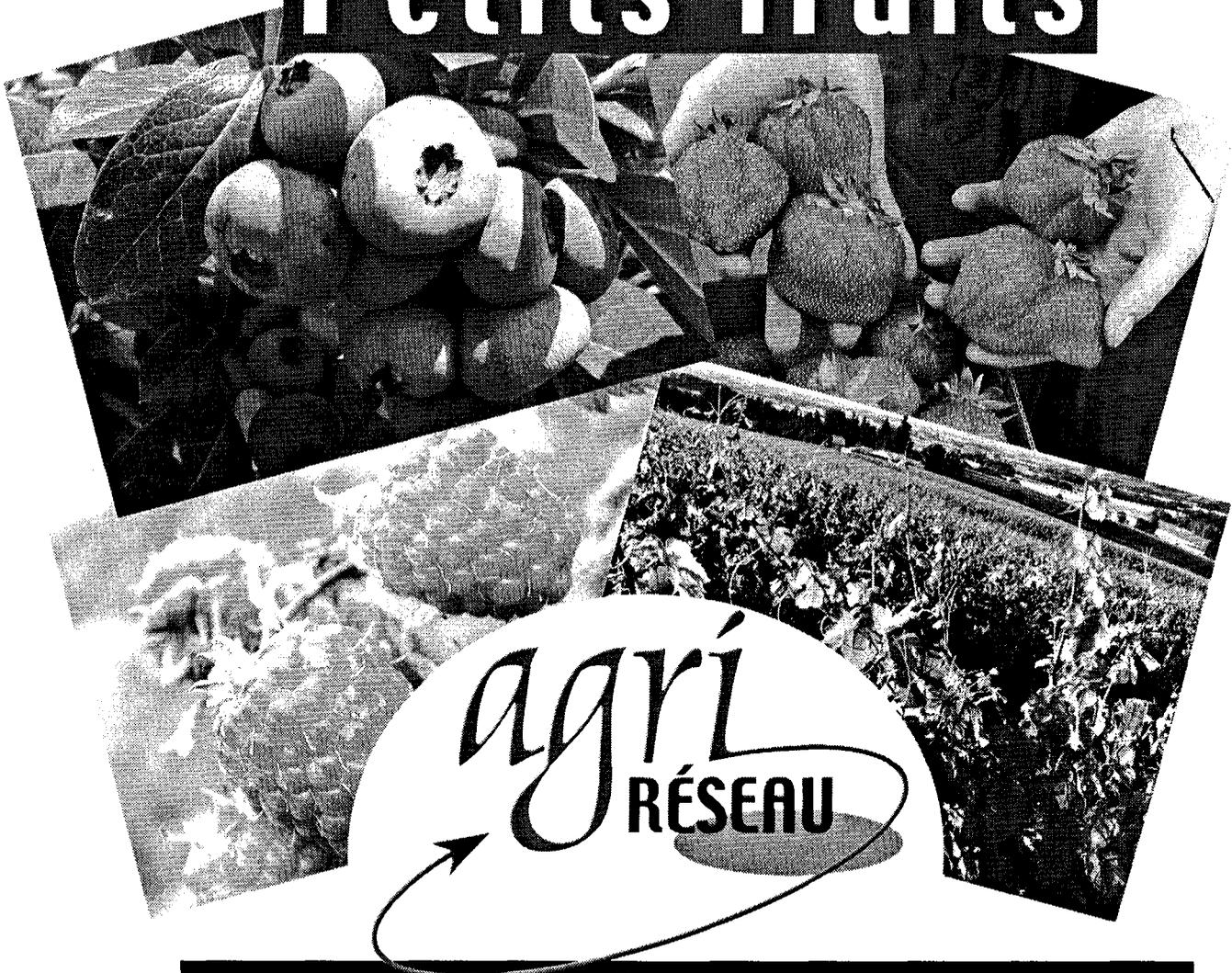
Numéro de la carte : _____

Date d'expiration : _____

Signature : _____

** S'il s'agit d'une MasterCard, vous devez indiquer les trois derniers numéros spécifiés à l'endos de votre carte : _____

Petits fruits



www.agrireseau.qc.ca

Le réseau du savoir agricole



CENTRE DE RÉFÉRENCE
EN AGRICULTURE ET
AGROALIMENTAIRE
DU QUÉBEC

CRAAQ

**Agriculture, Pêcheries
et Alimentation**

Québec



Pour connaître les secrets de la manutention et du conditionnement des petits fruits après la récolte, pendant le transport de même qu'à l'entreposage, voici le document qu'il vous faut!

En plus de présenter différents produits d'emballage et systèmes de refroidissement, ce guide technique propose une marche à suivre lors du chargement des petits fruits en camion réfrigéré. Il décrit aussi brièvement la physiologie et les pathologies les plus courantes de plusieurs petits fruits, dont la fraise, la framboise, la mûre, le bleuet et la canneberge. Ses 28 illustrations vous rendront sa consultation d'autant plus facile.

Cet ouvrage de référence regroupe le savoir de spécialistes du Québec, de l'Ontario et de la Nouvelle-Écosse basé sur plusieurs années de recherche et d'expérience, ainsi que sur les plus récentes données retrouvées dans la littérature scientifique. Il s'adresse principalement aux producteurs de petits fruits et aux conseillers horticoles, mais il saura aussi intéresser les transporteurs, les distributeurs et les étudiants.

