

## Effet du délai avant le prérefroidissement sur la qualité et la vie utile du brocoli

Clément Vigneault, Yvan Gariépy, Dominique Roussel, Bernard Goyette, Carole Brodeur

Le brocoli a un taux de respiration élevé par rapport aux autres légumes et sa vie utile commerciale n'est que d'une journée et demie quand il est entreposé à 25 °C [1]. La conservation par le froid a pour effet de réduire le taux de respiration et de prolonger la durée de vie des légumes frais. Chaque réduction de 10 °C abaisse le taux de respiration d'un facteur de 2 à 4 [2]. La perte en eau peut être réduite 36 fois en faisant passer le brocoli de 25 °C et 30 % d'humidité relative (HR) à 0 °C et 90 % HR [2]. Pour l'entreposage du brocoli en atmosphère normale, les conditions recommandées sont de 0 °C et 95 à 100 % HR [3]. Dans ces conditions, la période durant laquelle la qualité de la majorité des variétés de brocolis demeure acceptable est de 10 à 14 jours [3]. Le prérefroidissement permet de maximiser le temps durant lequel ce légume reste frais. Le brocoli se prête bien au prérefroidissement par glaçage [4]. Cette technique est rapide ; elle conserve un taux élevé d'HR autour du produit et la

glace contenue dans l'emballage maintient la température du produit proche du point de congélation [5]. Plusieurs études recommandent d'effectuer le prérefroidissement le plus rapidement possible après la récolte. En revanche, les contraintes économiques des producteurs ne permettent généralement pas d'effectuer le refroidissement rapide au fur et à mesure que la récolte progresse [6]. L'objectif de la présente étude était de déterminer les relations existantes entre le délai de prérefroidissement (DP) et le maintien de la qualité post-récolte du brocoli, en tenant compte des durées d'entreposage envisagées, ainsi que le délai maximal n'engendrant pas une perte de qualité importante en fonction de la durée d'entreposage envisagée. Les résultats de cette étude pourraient éventuellement servir au développement et surtout à la validation de modèles mathématiques permettant de prédire les pertes de qualité des produits entreposés tout en tenant compte du délai entre leur récolte et leur prérefroidissement [7, 8].

une chambre tempérée, dépourvue de source d'énergie radiante et maintenue à 25 °C et 90 % HR.

Après le délai prescrit, les brocolis ont été prérefroidis à l'aide de glace liquide. Cette glace a directement été injectée dans les emballages en carton paraffiné afin d'assurer une meilleure distribution [9]. Chaque emballage contenait environ 10 kg de brocoli. Le système d'injection de la glace liquide était composé d'un broyeur à glace, d'une réserve de glace et d'un système de pompage [10]. Un temps de pompage de 15 à 20 sec était nécessaire pour injecter environ 10 kg de glace par emballage. La grosseur moyenne des particules de glace, déterminée par granulométrie [9], était de 5,5 mm. Le mélange eau-glace contenait 25 % de glace afin d'obtenir un maximum d'uniformité dans la température de surface des brocolis [9, 11]. Après le prérefroidissement, les brocolis ont été entreposés aux conditions recommandées, soit 0 °C et 95 à 100 % HR [3].

Des lots de 24 pieds de brocoli constituaient les unités expérimentales ; soit 4 sous-unités de 6 pieds. Un lot subissait l'ensemble des tests d'évaluation aussitôt son arrivée au laboratoire. Les lots étaient refroidis après un délai de 2, 4, 8 ou 12 h après la récolte. Pour chacun des délais, une sous-unité de 6 brocolis a été entreposée pour une période de 5, 12, 19 ou 26 jours, ce qui représente environ 50, 100, 150 et 200 % de la durée de conservation recommandée. La qualité des brocolis de chaque lot a été évaluée à la fin de leur période d'entreposage. Chaque essai a été effectué à trois reprises.

C. Vigneault, Y. Gariépy, D. Roussel, B. Goyette, C. Brodeur : Centre de recherche et de développement en horticulture, Agriculture et agro-alimentaire Canada, 430, bd Gouin, Saint-Jean-sur-Richelieu (Québec), Canada, J3B 3E6. <vigneaultc@em.agr.ca>

Tirés à part : C. Vigneault

Thèmes : Nutrition, hygiène, alimentation humaine.

### Matériel et méthode

Des lots de brocolis (variété Everest) ont été cueillis manuellement et apportés au laboratoire dans un délai maximal d'une heure. Les brocolis devant subir le délai de prérefroidissement le plus court ont immédiatement été évalués en termes de qualité, pesés et séparés en lots. Les autres brocolis ont été entreposés dans

Chacun des pieds de brocoli a été pesé à son arrivée au laboratoire, soit une heure après récolte, afin d'évaluer la perte de masse. L'évaluation de la qualité du brocoli a été menée selon un protocole fondé sur les normes d'inspection des aliments du Canada [12]. La qualité, la couleur, la maturité, la fraîcheur et l'odeur ont été évaluées de façon qualitative au moyen d'échelles de 1 à 9, où 1 représentait le critère le plus défavorable au point de vue de la consommation et 9 le légume le plus « parfait » aux yeux d'un consommateur averti, tel que proposé dans le cas du poireau [13]. Un indice de qualité de 5 est un classement minimal pour la vente et représente la fin de la vie utile du produit. Un indice de pourriture établi selon la proportion de la surface pourrie d'après une échelle de 0 à 11 est généralement utilisé pour quantifier la présence de maladie en pathologie post-récolte [14]. Un indice de 0 indique l'absence de pourriture. Un indice de 1 indique de la pourriture sur moins de 3 % de la superficie. Puisque aucun brocoli n'a présenté de pourriture sur plus de 3 % de sa surface, le nombre de brocolis présentant de la pourriture a été utilisé comme indice de pourriture. Les brocolis de chacun des lots ont été classés en trois catégories selon leur compacité (compact, passablement compact, peu compact). Le nombre de brocolis dans le lot compact a servi comme indice. La présence de défauts tels que brûlures, insectes (vivants ou morts), dommages causés par insectes, meurtrissures, dommages dus au gel ou tiges creuses, a également été notée.

La couleur a aussi été quantifiée par le biais des facteurs  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  mesurés à l'aide d'un colorimètre de type LABSCAN 2 0/45 (Hunter Lab, SN-13582). Pour ce faire, trois lectures ont été effectuées directement sur la ligne centrale de la tête du brocoli.

Des échantillons de 50 g de têtes de brocoli frais (trois échantillons par sous-unité) ont été pesés avant et après 48 heures de séchage à 85 °C. La teneur en eau a été obtenue en prenant la différence de masse, avant et après le séchage, divisée par la masse initiale de l'échantillon.

La variation de la masse des brocolis a été calculée à partir de la différence entre la masse des brocolis à leur arrivée et après l'entreposage, et exprimée en pourcentage de leur masse initiale.

Les données expérimentales ont été analysées sur un logiciel SAS [15] en utilisant le modèle présenté à l'équation (1)

où Y est une variable dépendante, DP est le délai de prérefroidissement, DE est la durée d'entreposage,  $\varepsilon$  est l'erreur,  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  et  $a_3$  sont les constantes de régression.

$$Y = a_0 + a_1DP + a_2DE + a_3DP \times DE + \varepsilon \quad (1)$$

## Résultats et discussion

Une première analyse des résultats a montré qu'il n'y avait pas de différence significative ( $\alpha = 0,05$ ) attribuable aux répétitions et les données ont été regroupées avant leur analyse statistique finale. Les résultats (figure 1) indiquent que la qualité des brocolis décroît de façon significative avec le délai de prérefroidissement et la durée d'entreposage ( $P_{4,32} = 0,0001$ ). Toutefois, le plan expérimental n'a pas permis de montrer l'existence de différences dans la qualité entre certains délais et certaines durées d'entreposage, ce qui suggère la nécessité d'un plus grand nombre de répétitions ou d'échantillons par répétition afin de mieux discriminer l'évolution de la qualité des brocolis en fonction des traitements. Ces résultats ont, par contre, été suffisamment précis pour permettre le développement de l'équation 2 qui estime la variation de la qualité des brocolis en fonction du délai de prérefroidissement (DP en jours) et de la durée d'entreposage (DE en jours). La constante estimée de 8,7 représente la qualité initiale moyenne des brocolis à leur arrivée au laboratoire, soit une heure après leur récolte. En utilisant l'équation 2, l'indice de

qualité calculé pour un brocoli qui aurait subi un délai d'une journée et demie à 25 °C avant d'être prérefroidi serait de 5 ; ce qui correspond à l'indice de qualité présenté dans la littérature pour les mêmes conditions [1].

$$\text{Qualité} = 8,7 - 2,4 \times DP - 0,09 \times DE \quad (R^2 = 0,78) \quad (2)$$

La couleur et la fraîcheur diminuent en fonction du DP et de la DE (tableau). En effet, l'indice de couleur diminue de façon significative ( $P_{4,32} = 0,0001$ ) en fonction de la durée de l'entreposage, passant de 8,7 pour les brocolis frais à 7 après leur séjour en entreposage pour l'ensemble des brocolis prérefroidis deux heures après leur récolte, et à des valeurs variant entre 6 et 6,7 pour ceux ayant subi le délai le plus long. Les valeurs de la clarté, l'angle de teinte et la saturation calculées à partir des valeurs mesurées à l'aide du colorimètre n'ont pas montré de variation significative entre les délais de prérefroidissement.

Les différents groupes de brocolis n'étaient pas significativement différents quant à leurs maturité et compacité avant les traitements (tableau). Ces facteurs n'ont pas été influencés par les délais de prérefroidissement ni par la durée du séjour en entrepôt ( $\alpha = 0,05$ ).

Il n'y a eu aucun signe de pourriture dans les cinq premiers jours d'entreposage mais un changement d'odeur a été perçu (tableau). Au 26<sup>e</sup> jour, la pourriture visible dans toutes les conditions étudiées représentait moins de 3 % de la surface totale du brocoli infecté. Au total, seulement 10 des 96 brocolis pré-

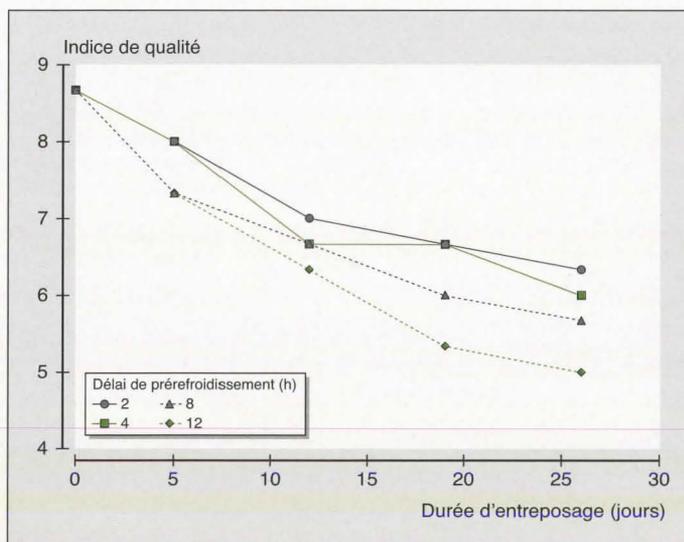


Figure 1. Indice de qualité des brocolis en fonction de la durée d'entreposage et du délai de prérefroidissement.

Figure 1. Quality index as a function of broccoli storage duration and precooling delay.

## Tableau

### Résultats de l'évaluation de la qualité des brocolis

Délai (h)	Durée entreposage (jours)	Couleur	Fraîcheur	Maturité	Compacité	Odeur	Teneur en eau (%)	Pourriture (nombre de brocolis)
0	0	8,7	9,0	6,0	6,0	7,0	88,5	0
2	5	7,7	8,7	6,0	2,3	6,3	89,1	0
	12	7,3	7,0	6,0	3,0	6,0	89,2	0
	19	7,0	7,0	5,3	2,3	6,0	89,2	0
	26	7,0	7,0	5,7	1,7	5,7	89,9	1
4	5	7,7	8,3	6,0	3,0	6,3	88,9	0
	12	7,0	7,0	5,3	2,3	6,0	88,9	1
	19	7,0	7,0	6,3	2,3	6,0	89,4	0
	26	6,7	7,0	6,0	1,7	6,0	89,5	1
8	5	7,3	8,0	5,7	1,3	6,0	89,0	0
	12	7,0	6,3	6,3	1,3	5,7	89,2	0
	19	7,0	6,0	6,3	0,7	5,3	89,5	1
	26	6,3	6,7	6,0	2,3	5,7	89,6	3
12	5	7,3	7,7	5,3	2,0	6,3	88,8	0
	12	7,0	6,3	6,0	2,3	5,3	88,9	1
	19	7,0	7,0	6,0	4,0	5,3	89,1	0
	26	6,0	6,7	6,0	2,3	5,0	89,5	2

### Evaluation results for broccoli quality

sentiaient une incidence de pourriture. Leur répartition dans l'ensemble des brocolis a été telle qu'il n'a pas été possible d'établir une relation significative entre l'apparition de pourriture et le délai de prérefroidissement ( $\alpha = 0,05$ ).

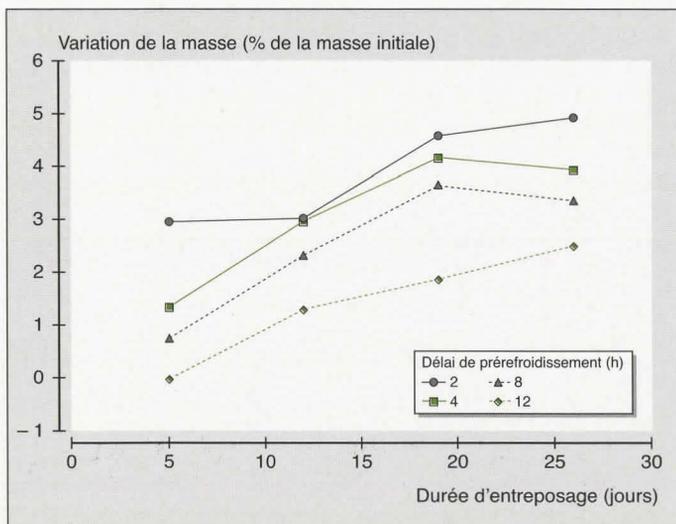
La masse des brocolis a augmenté en fonction de la durée d'entreposage et du délai avant le prérefroidissement (figure 2). Ceci était dû en partie à une augmentation de la teneur en eau (tableau). Des augmentations de la masse et de la teneur en eau de

produits horticoles similaires à celles obtenues chez le brocoli ont aussi été observées chez la carotte [16] et chez le brocoli à l'échelle commerciale [17]. Notons que les brocolis refroidis 2 h après la récolte récupéraient leur turgescence plus rapidement que ceux refroidis après 12 h (tableau). De plus, 20 % des brocolis ayant subi un délai de 12 h, et 8 % de ceux ayant subi un délai de 8 h ont eu une diminution de leur masse dans les cinq premiers jours d'entreposage.

## Conclusion

Les brocolis se sont comportés exceptionnellement bien durant toute l'expérience : la plupart des brocolis sont considérés de bonne qualité après 26 jours d'entreposage, la variété Everest ayant vraisemblablement un bon potentiel de conservation. Si un prérefroidissement hâtif a permis de prolonger la durée de conservation de la qualité d'un brocoli supportant très bien l'entreposage, on peut supposer que cet effet sera aussi bénéfique, sinon davantage, pour les cultivars moins performants.

De façon générale, le délai de prérefroidissement influence la qualité globale des brocolis, telle que perçue par les consommateurs, et cela sur toute la durée d'entreposage. Les différences liées au délai de prérefroidissement étaient généralement plus évidentes pour les périodes d'entreposage plus longues. Quoique moins discriminants, les indices subjectifs comme la couleur, la maturité, l'odeur et la compacité ont assez bien suivi les tendances de qualité globale. De plus, les résultats ont indiqué que le refroidissement rapide des brocolis dans les 4 h suivant la récolte permettait de maintenir une meilleure qualité comparativement à des délais plus longs. La



**Figure 2.** Évolution de la masse de brocolis (% de la masse initiale) en fonction de la durée de l'entreposage et du délai de prérefroidissement des brocolis.

**Figure 2.** Change in broccoli mass (% of initial mass) as a function of storage duration and precooling delay.

## Summary

### Effect of precooling delay on broccoli quality and shelf life

C. Vigneault, Y. Gariépy, D. Roussel *et al.*

*Broccoli samples (cv. Everest) were pre-cooled using a liquid ice injection system 2, 4, 8, or 12 hours after harvest and stored at 0° C and 95-100% relative humidity for 5, 12, 19 or 26 days. A panel of judges rated the overall quality of these samples at harvest and at the end of the storage period. The results revealed the importance of precooling within minimal delay, as well as a tendency towards lower quality for longer storage times. Distinctions in colour, freshness and odour are less apparent than differences in overall quality. In general, the present study shows the importance of avoiding delays in precooling in order to maintain the freshness of broccoli. For an expected storage life of 19 days, a maximal precooling delay of 4 hours can be tolerated for Everest broccoli.*

*Cahiers Agricultures 2001 ; 10 : 121-4.*

qualité des brocolis refroidis rapidement était similaire à celle des brocolis fraîchement récoltés. Une étude plus exhaustive pourrait permettre de valider si un tel maintien de qualité se traduit par une prolongation de la durée de conservation en entrepôt et en étalage ■

#### Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Les Jardins Paul Cousineau et Fils Inc., St Constant (Québec) Canada, pour avoir gracieusement fourni le matériel végétal, ainsi que MM. Pierre Lemoyne et Peter Alvo pour leur participation à l'étude.

## Références

1. Morris LL. A study of broccoli deterioration. *Ice and Refrigeration* 1947 ; 113 : 41-2.
2. Mitchell FG. Cooling horticultural commodities. I. The need for cooling. In : Kader AA, ed. *Postharvest technology of horticultural crops*. University of California : Publication N° 3311, 1992 ; 296 p.
3. Hardenburg RB, Watada AE, Wang CY. *The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks*. US Department of Agriculture, Agriculture handbook, N° 66 (revised), 1986 ; 136 p.
4. Kasmire RF, Thompson JF. Selecting a cooling method. In : Kader AA, ed. *Postharvest technology of horticultural crops*. University of California : Publication N° 3311, 1992 ; 296 p.
5. Mitchell FG. Cooling horticultural commodities. II. Cooling methods. In : Kader AA, ed. *Postharvest technology of horticultural crops*. University of California : Publication N° 3311, 1992 ; 296 p.
6. Fraser HW. *Forced-air rapid cooling of fresh Ontario fruits and vegetables*. Ontario Ministry of Agriculture and Food : AGDEX 202-736, 1991 ; 4 p.
7. Tijssens LMM, Polderdijk JJ. A generic model for keeping quality of vegetable produce during storage and distribution. *Agricultural Systems* 1996 ; 51 : 431-52.
8. Tanner DJ, Cleland AC, Robertson TR, Opara LU. A generalised mathematical model for prediction of mass loss from packaged horticultural produce during storage. In : Tijssens LMM, Hertog MLATM, eds. *Proceedings of the international symposium on applications of modeling as an innovative technology in the agri-food-chain*. *Acta Horticulturae* 1998 ; 476 : 113-20.
9. Vigneault C, Goyette B, Raghavan GSV. Continuous flow liquid-ice system tested on broccoli. *Can Agric Eng* 1995 ; 37 : 225-30.
10. Goyette B, Hui CKP, Vigneault C. An improved continuous liquid-ice system based on submerged mixing of water and ice. *Appl Eng Agric* 2000 ; 16 : 259-63.
11. Goyette B, Vigneault C, Panneton B, Raghavan GSV. Method to evaluate the average temperature at the surface of horticultural crop. *Can Agric Eng* 1996 ; 38 : 291-5.
12. Anonyme. *Document à l'usage des inspecteurs d'Agriculture et agro-alimentaire Canada basé sur les directives d'inspection américaines de destination du brocoli bottelé*. Montréal, Canada : Inspection des aliments, Agriculture et Agro-alimentaire Canada, 1992 ; 13 p.
13. Gariépy Y, Raghavan GSV, Munroe JA. Long-term storage of leek stalks under regular and controlled atmospheres. *Int J Refrig* 1994 ; 17 : 140-4.
14. Horsfall JG, Barratt RW. An improved grading system for measuring plant diseases. *Phytopathology* 1945 ; 35 : 655.
15. Freund RJ, Littell RC. *SAS System for regression*. 2nd ed. SAS Institute Inc. Cary, NC : SAS Institute Inc, 1991.
16. Shibaïro SI, Upadhyas MK, Toivonen PMA. Replacement of postharvest moisture loss by recharging and its effect on subsequent moisture loss during short-term storage of carrots. *J Am Soc Hort Sci* 1998 ; 123 : 141-5.
17. DeEil JR, Toivonen PMA, Roussel D, *et al.* *Characterization of black speck development and scar discoloration in broccoli and the evaluation of possible control methods (Phase III)*. Rapport confidentiel présenté à Les Jardins Cousineau et Fils Inc. Centre de recherche et de développement en horticulture. Agriculture et Agro-Alimentaire Canada, St-Jean-sur-Richelieu, Québec, Canada, 1998 ; 59 p.

## Résumé

Des brocolis (variété Everest) ont été prérefroidis par injection de glace liquide 2, 4, 8 ou 12 heures après leur récolte et entreposés à 0 °C et 95-100 % d'humidité relative pendant 5, 12, 19 ou 26 jours. L'évaluation de la qualité globale des brocolis a montré l'importance du délai entre la récolte et le refroidissement, ainsi que de la durée d'entreposage sur la qualité du produit. Les indices de couleur, fraîcheur et odeur possèdent un pouvoir discriminant moins précis que celui de la qualité globale. Si la durée de conservation n'excède pas 19 jours, un délai maximal de 4 heures peut être toléré pour le prérefroidissement.