



## Préservation de la qualité de la carotte après récolte

P. CRESPO, D. BAUMGARTNER, A. KÄGI, W. HELLER et E. HÖHN,  
Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, CP 185, 8820 Wädenswil

@ E-mail: [pamela.crespo@acw.admin.ch](mailto:pamela.crespo@acw.admin.ch)  
Tél. (+41) 44 78 36 111.

### Résumé

L'une des principales causes de l'altération de la qualité des carottes lors de la distribution est la pourriture noire des racines. Cette maladie est provoquée par les champignons *Chalara sp.*, présents dans la plupart des sols de production de carottes en Suisse. L'essai présenté ici, mené dans des exploitations commerciales, visait à déterminer l'influence de différents facteurs sur la qualité et le rendement des carottes: contamination du sol, utilisation d'un sac de plastique à l'intérieur des paloxes, température, techniques d'entreposage et de lavage. Dans plusieurs entrepôts, l'utilisation d'un sac en plastique a permis d'obtenir une plus grande proportion de carottes saines. Cet essai a aussi démontré que des carottes produites sur une parcelle contaminée par *Chalara sp.* peuvent être commercialisées sans problèmes de pourriture noire des racines, si les consignes d'entreposage sont respectées et si le lavage est effectué à l'eau courante.

connaît cependant mal les facteurs qui, de la culture au point de vente, altèrent la qualité des carottes (Wellinger *et al.*, 2006; Crespo et Heller, 2006).

La pourriture noire des racines, provoquée par les champignons *Chalara elegans* et *Chalara thielavoides*, est un problème important pour les producteurs de carotte en Suisse (Heller, 2000). Lors d'une étude sur la dissémination des champignons *Chalara sp.* dans les sols suisses, toutes les parcelles examinées étaient infectées (Kägi *et al.*, 2006). Cependant, les facteurs post-récolte comme la température, les blessures et la qualité de l'eau de lavage semblent déterminants pour que la maladie apparaisse sur les carottes durant leur commercialisation (Villeneuve, 2005). Il était donc important de savoir s'il était possible de produire des carottes de qualité sur une parcelle contaminée par *Chalara sp.* De plus, il fallait déterminer les facteurs ayant une influence sur la qualité du produit après la récolte. Le *Manuel suisse des Légumes* (Anonyme, 2007) recommande en effet d'entreposer les carottes de garde dans un sac en plastique perforé et de recouvrir la partie supérieure des paloxes avec celui-ci afin de conserver une humidité élevée.

### Introduction

La carotte est de loin le produit le plus important de la culture maraîchère suisse. Sa consommation annuelle se situe entre 8 et 9 kg par personne. Bien que la carotte occupe avec la tomate la première place parmi les légumes en Suisse, la consommation moyenne individuelle ne dépasse pas 70-72 carottes par année (Höhn *et al.*, 2001). Des enquêtes préliminaires menées par la station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil (ACW) ont montré que le

consommateur recherche des carottes douces et fermes (Höhn *et al.*, 2002). Le seuil de tolérance de l'isocoumarine, une substance responsable de l'amer-tume des carottes, se trouve entre 20 et 40 mg/kg. Afin d'augmenter la consommation de carottes, il est donc important de préserver leur douceur et leur fermeté et d'éviter la formation de substances amères. Maintenir la qualité de la carotte de la production jusqu'au consommateur est donc un enjeu capital pour les différents acteurs de la chaîne de production (Höhn *et al.*, 2003). On



A gauche, carottes saines. A droite, carottes atteintes de la pourriture noire des racines.

Pour cela, un essai dans les conditions de la pratique a été mené durant la saison 2006-2007. Pour la première fois, des carottes d'une seule provenance ont été entreposées dans plusieurs entrepôts. Ces conditions bien contrôlées ont permis de tester différentes variantes d'entreposage ainsi que la relation entre la contamination en champs et les pertes dues à la maladie de la pourriture noire des racines pendant le stockage et lors de la distribution.

## Matériel et méthodes

### Culture, entreposage et conditionnement

Environ 17 t de carottes ont été produites, récoltées, entreposées, lavées et triées. Les carottes ont été cultivées dans des conditions standard pour des carottes de garde. Les conditions de l'essai sont résumées dans le tableau 1. Les carottes ont été récoltées mécaniquement dans des paloxes en bois standard d'une capacité d'environ 480 kg (120 × 80 × 115 cm). La moitié des paloxes avait été préalablement munie d'un film en polyéthylène perforé. Un enregistreur de température (Hamster-A, Elpro, Buchs) a été placé au milieu de chaque paloxe durant son remplissage. Après la récolte, les paloxes ont été distribués dans six entrepôts répartis en Suisse. Le temps écoulé entre la récolte et le stockage variait de 2 heures jusqu'à 48 heures selon les entrepôts.

Après l'entreposage, toutes les carottes ont été centralisées afin d'être lavées et triées dans les mêmes conditions.

Le tunnel de lavage, de taille industrielle, était composé d'une grille cylindrique tournante permettant à l'eau de s'écouler en continu pendant que les carottes étaient brassées à l'intérieur. L'eau utilisée provenait du robinet et n'était à aucun moment recyclée afin d'éviter une contamination croisée entre les charges. A la sortie du tunnel, les carottes ont été triées manuellement en deux catégories, selon les prescriptions suisses pour la qualité des légumes (Qualiservice, 2004): d'un côté celles de taille conforme et d'apparence satisfaisante pour la vente au détail, de l'autre celles présentant des dommages – flétrissements, taches ou blessures. Le contenu de chaque paloxe a été lavé séparément et pour chaque paloxe, le rendement des carottes de chaque catégorie a été déterminé.

### Tests d'infection par *Chalara sp.*

Les échantillons de sol du champ de production ont été testés au moyen du biotest à base de sticks de carottes décrit par Kägi *et al.* (2006).

La contamination des échantillons de carottes non lavées a été analysée par le test de l'abrasion et incubation à température ambiante. Pour chaque échantillon, six carottes ont ainsi été prélevées avec leur terre adhérente et ont été placées dans un sac en

Tableau 1. Conditions expérimentales.

Variété	Bolero
Date du semis	14.06.2006
Densité du semis	1 600 000 grains/ha
Distance entre les buttes	60 cm
Hauteur des buttes	18 cm
Rendement brut	Environ 65 000 kg/ha
Date de récolte	26.10.2006
Lieu de culture	Brüttelen (BE)
Températures lors de la récolte	
Air	26 °C
Sol (à 10 cm sous la surface)	12 °C
Carottes (cœur)	13 °C
Dimensions de l'essai	36 paloxes (environ 17 t)
Variantes	2 variantes (avec et sans film plastique) 6 entrepôts
Répétitions	3 unités (paloxes) par variante et par entrepôt
Durée de stockage	5 mois

plastique avec 500 ml de granules de seramis (Masterfoods AG, Zug) afin d'obtenir l'effet abrasif. Le sac a été fermé puis secoué durant 2 h 30 sur un agitateur (*lab-shaker* Type LSL Adolf Kühner AG, Basel) avec une rotation de 150 rpm, avant d'être incubé à une température de 21 °C. Après sept jours d'incubation, la présence de lésions gris-noir sur les carottes, dues à la formation de spores de *Chalara sp.*, a été évaluée.

Le test *shelf-life* permet de simuler la durée de vie des carottes sur l'étalage non réfrigéré. Ce test a donc été effectué sur des carottes lavées, triées et emballées; il consistait à les laisser à température ambiante durant huit jours dans leur emballage et à observer l'apparition ou non des lésions dues à *Chalara sp.*

### Analyses chimiques

La matière sèche, la teneur en sucre, l'acidité totale ainsi que la concentration en isocoumarine ont été analysées dans les échan-

tillons prélevés avant et après l'entreposage. Trois échantillons par paloxe ont été analysés. Un échantillon pesait entre 1,5 et 2 kg et était composé de 15 à 18 carottes. Pour chaque analyse, les carottes ont été préalablement coupées en rondelles avec une trancheuse ménagère et les rondelles ont été soigneusement mélangées. La matière sèche, les substances solubles totales et l'acidité ont été déterminées selon les méthodes standard du *Manuel suisse des Denrées alimentaires*.

Pour déterminer la teneur en isocoumarine, les rondelles de carottes congelées ont été réduites en poudre avec un moulin ménager (Moulinette D58, Moulinex). L'extraction automatique par solvant ASE2000 (Dionex) a été utilisée pour extraire l'isocoumarine de la poudre de carottes (5 g matière fraîche) avec de l'acétone et du méthanol. Les extraits obtenus ont ensuite été séchés avec un évaporateur rotatif, puis dilués dans 20 ml de méthanol. Pour l'analyse HPLC (Varian ProStar), la solution préalablement filtrée (diamètre des pores 0,45 µm) a été injectée sur une colonne RP-18 (Nucleosil 100-5 C18,

Tableau 2. Résumé des analyses et mesures effectuées.

Mesure	Prise de l'échantillon/moment de la mesure
Test de contamination du sol	Avant la récolte
Test de contamination des carottes	Avant et après l'entreposage (échantillons non lavés)
Poids des paloxes	Avant et après l'entreposage ainsi qu'après le triage (rendement)
Température	Pendant l'entreposage (mesure en continu)
Analyses (°Brix, acidité, matière sèche, isocoumarine)	Avant et après l'entreposage (uniquement sur les carottes lavées présentant une qualité visuelle satisfaisante)
Test de <i>shelf-life</i> à 20 °C	Après le lavage

EC250/4, Macherey Nagel) avec 1 ml/min de méthanol à 60%. La quantification des chromatogrammes à 268 nm a été effectuée avec un standard externe. Le tableau 2 résume les différents tests et analyses effectués.

## Résultats et discussion

### Contamination de la parcelle et pourriture noire des racines

Le test des échantillons de sol a permis de sélectionner la partie de la parcelle contaminée de façon homogène par *Chalara sp.* (fig.1).

A la récolte, seuls 53% des échantillons de carottes présentaient une contamination aux champignons *Chalara sp.* La proportion de carottes contaminées n'a pas changé après l'entreposage.

Après le lavage, 99% des carottes soumises au test du *shelf-life* ne présentaient pas de symptômes d'une contamination aux champignons *Chalara sp.* La faible corrélation entre la contamination du sol et la qualité des carottes lors du test *shelf-life* confirme l'effet positif du lavage à l'eau courante sur la qualité microbiologique des carottes, effet qui a déjà été observé dans d'autres essais (résultats non publiés).

### Effet du film en plastique sur la température d'entreposage des carottes

Les différents intervalles de temps écoulés entre la récolte et l'entreposage se sont exprimés par un décalage de la courbe de refroidissement entre les entrepôts. Après un premier refroidissement, certaines paloxes ont été déplacées vers un autre entrepôt dans les deux jours suivant la récolte, entraînant une hausse temporaire de la température. Ces variations de températures étaient visibles sur les courbes enregistrées par les sondes de température placées dans chaque paloxe.

L'évolution moyenne de la température (fig. 2) est représentée par une courbe rose pour les paloxes munies d'un film en polyéthylène (moyenne de 18 paloxes) et par une courbe bleue pour les paloxes sans film.

Durant les dix jours suivant la récolte, les paloxes sans film de plastique se sont refroidies plus rapidement et les différences de température étaient importantes. La tendance s'est maintenue durant toute la durée de l'entreposage, les différences de température étant

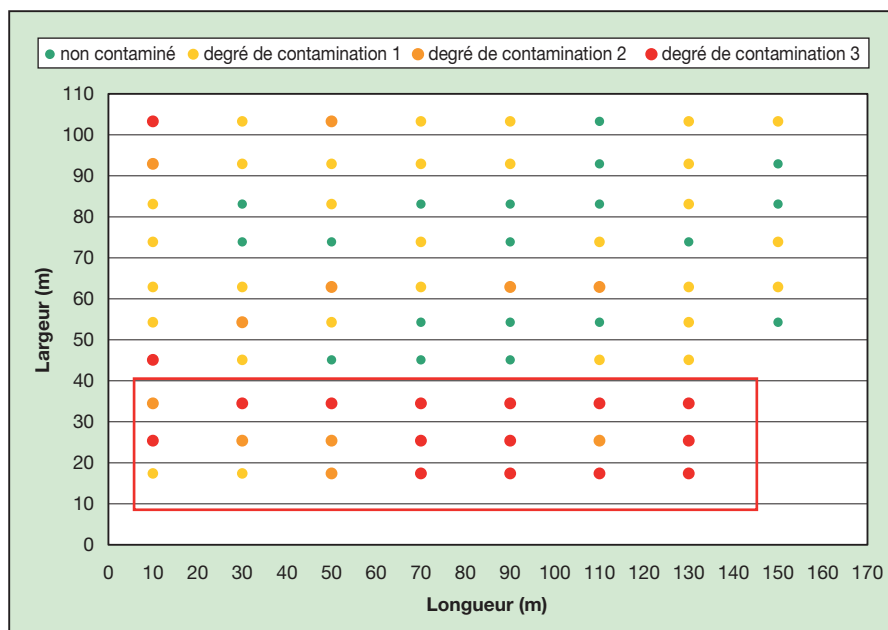


Fig. 1. Répartition de la contamination par *Chalara sp.* sur une parcelle de culture. Le rectangle rouge représente la zone la plus fortement contaminée. Cette zone a été utilisée pour la culture des carottes de cet essai.

cependant inférieures à 2 °C. Les variations de température subies par les paloxes déplacées étaient aussi plus marquées en l'absence de film plastique.

Dans les paloxes avec film, deux variantes ont été observées. Certains entreposeurs ont laissé le sac en plastique ouvert en haut, tandis que d'autres ont refermé le sac en le pliant ou en faisant un nœud. Ces deux techniques ont aussi influencé l'évolution de la température à l'intérieur des paloxes. Quand le sac était laissé ouvert, la température baissait plus rapidement que lorsqu'il était fermé.

Dans les entrepôts A, B et C, la température constante de stockage se situait

entre 1 et 3 °C selon les variantes, tandis que dans les entrepôts D, E et F, la température correspondait aux valeurs de 0 à 1 °C recommandées par le *Manuel suisse des Légumes* (Anonyme, 2007).

D'autres essais ont montré qu'au-dessous de 8 °C, la croissance de *Chalara sp.* était déjà nettement ralentie (résultats non publiés). Les paloxes sans film ont atteint cette température après un jour, les variantes avec film après trois jours (fig. 2). Les températures d'entreposage étaient donc suffisamment basses pour empêcher le développement du champignon durant cette période.

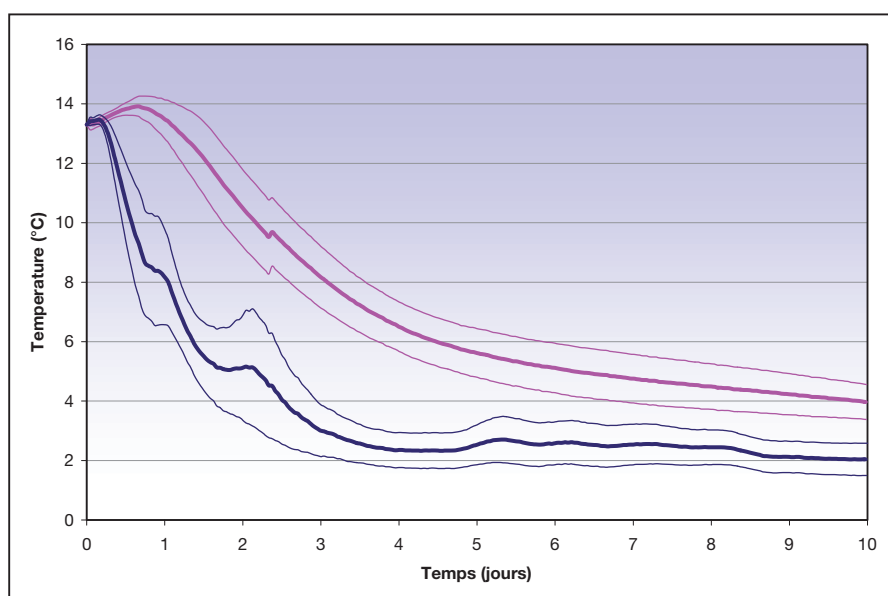


Fig. 2. Evolution moyenne de la température dans les paloxes avec film polyéthylène (courbe rose) ou sans (courbe bleue). Lignes fines = intervalle de confiance.

## Pertes en eau durant l'entreposage et rendement

Afin de déterminer la perte en eau des carottes durant l'entreposage, due à l'évaporation, chaque paloxe a été pesée à l'entrée et à la sortie de l'entrepôt. Le poids des paloxes vides, déterminé sur une moyenne de 12 paloxes, s'élevait à  $67,7 \pm 2,8$  kg. A la sortie de l'entrepôt, les paloxes vides pesaient en moyenne  $76,6 \pm 9,3$  kg. Cela montre que les paloxes ont absorbé en moyenne  $8,9$  kg d'eau durant l'entreposage.

La figure 3 représente les pertes de poids durant le stockage. De façon générale, les variantes sans film plastique ont perdu plus de poids que les variantes avec film. Selon les entrepôts, les pertes varient entre 0 et 17%.

Le rendement exprimait la quantité de carottes par paloxe conformes aux normes de qualité fixées par Qualiser-vice. Le rendement dans les paloxes avec film a atteint 57 à 74% selon les entrepôts et 28 à 68% dans les paloxes sans film plastique (fig. 4). Les différences entre les entrepôts étaient davantage marquées pour les paloxes sans film.

La nature des pertes a aussi été déterminée. Ainsi, dans les entrepôts A et B, les pertes dues à des carottes molles étaient de 0,1 à 21%. Dans les entrepôts A, B et C, les carottes provenant des paloxes sans plastiques présentaient davantage de taches noires dues à des infections fongiques; des champignons des espèces *pythium*, *fusarium* et *stemphylium* ont été trouvés sur ces carottes.

Dans l'entrepôt F, le rendement était similaire pour les deux variantes. Les carottes sont restées très fermes et les pertes étaient plutôt dues à des fissures. Ces lésions pourraient être dues à un excès d'humidité, confirmé par une prise de poids des paloxes stockées dans cet entrepôt.

## Propriétés qualitatives

Les résultats des analyses des échantillons avant et après l'entreposage sont résumés dans le tableau 3. La teneur en matière sèche variait entre 9,1 et 10,5%. La teneur en substances solubles totales (TSS) était comprise entre 8,2 et  $8,8$  °Brix tandis que l'acidité atteignait des valeurs de 0,5 à  $0,7$  g/kg. L'appréciation des carottes par les consommateurs dépend généralement de la teneur globale en sucre. Le rapport entre la préférence et le °Brix dépend de la variété. Pour la variété Bolero, des carottes acceptables par le consommateur devraient atteindre au moins  $7,6$  °Brix

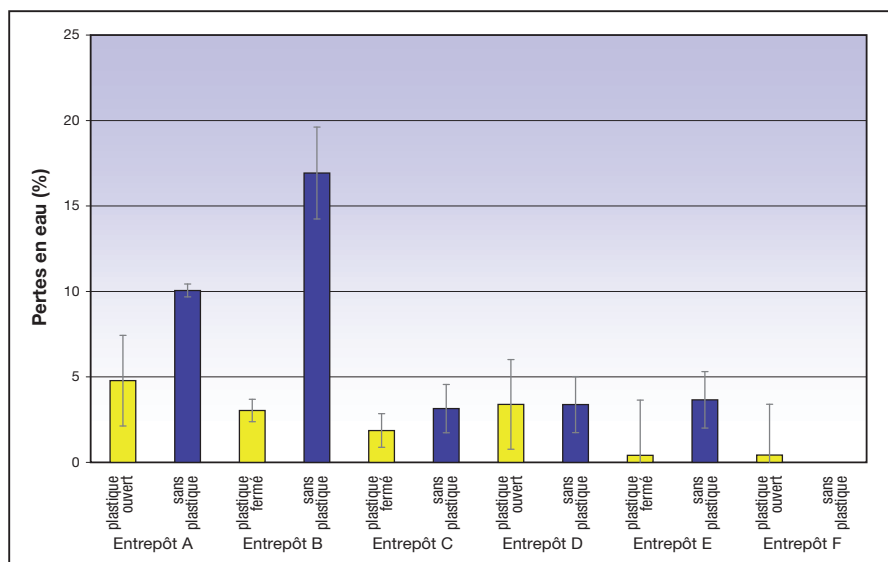


Fig. 3. Pertes en eau des différentes variantes d'entreposage.

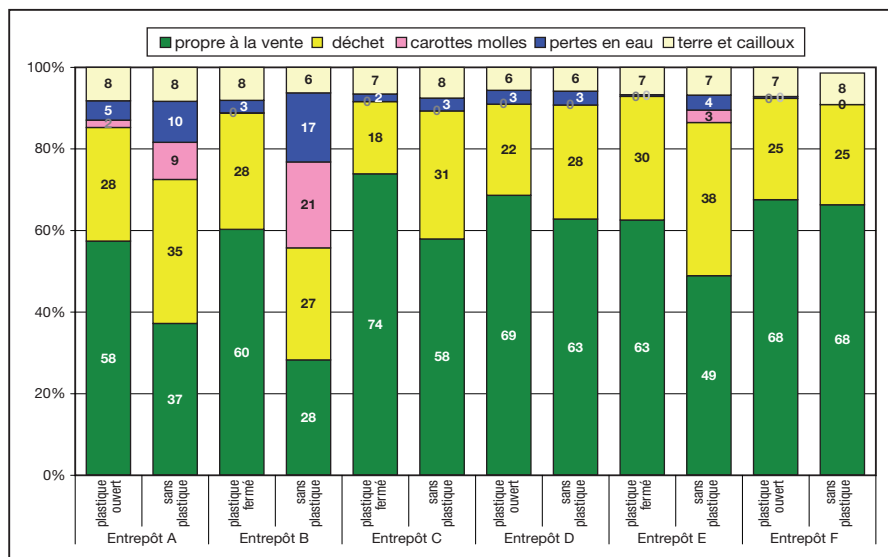


Fig. 4. Rendements et répartition des pertes entre les variantes.

Tableau 3. Analyse des échantillons prélevés à la récolte et après entreposage.

Entrepôt	Film	Matière sèche (n = 9)	Teneur en substance soluble [°Brix] (n = 9)	Acidité totale [g/kg] (n = 9)	Isocoumarine [mg/kg] (n = 1-7)
Récolte		9,5 a	8,7 ab	0,56 ef	0,4 c
A	sans	9,9 a	8,8 a	0,68 ab	1,6 c
A	ouvert	9,9 a	8,4 bc	0,62 bcde	3,2 c
B	sans	10,0 a	8,8 a	0,64 abc	139,0 a
B	fermé	9,1 a	8,2 c	0,60 cde	84,7 b
C	sans	10,2 a	8,7 ab	0,63 bcd	1,2 c
C	fermé	9,9 a	8,4 bc	0,58 cdef	1,7 c
D	sans	10,5 a	8,7 ab	0,58 def	0,6 c
D	ouvert	10,4 a	8,5 abc	0,57 def	4,7 c
E	sans	10,1 a	8,8 ab	0,69 a	3,8 c
E	fermé	9,2 a	8,5 abc	0,64 abc	1,1 c
F	sans	9,9 a	8,4 bc	0,53 f	0,6 c
F	ouvert	9,9 a	8,5 abc	0,58 def	1,2 c

Duncan-Test (1%-Level). Les mêmes lettres dans une colonne indiquent une différence non significative.



(Höhn *et al.*, 2004). Ainsi, les carottes de cet essai, toutes variantes confondues, ont présenté un taux de sucre acceptable. L'acidité a légèrement augmenté durant l'entreposage. Dans l'entrepôt F, cette augmentation était minime, voire nulle, mais elle était plus importante dans les entrepôts A, B et E. Cet indicateur coïncide avec les pertes en eau et les mauvais rendements observés dans ces trois entrepôts.

Pour la matière sèche, le sucre et l'acidité, aucune différence importante n'a été observée entre les variantes d'entreposage. En revanche, des valeurs massivement plus élevées d'isocoumarine ont été trouvées dans l'entrepôt B. Dans les échantillons provenant de cet entrepôt, une différence significative a également été observée entre les variantes avec et sans film plastique. L'entreposage sans film plastique a entraîné une teneur en isocoumarine 1,6 × plus élevée.

A noter que les échantillons analysés ont été prélevés sur les carottes satisfaisant aux normes de qualité exigées pour la vente. Malgré les différences significatives de pertes d'eau observées dans l'entrepôt B (fig. 3), les échantillons provenant de cet entrepôt ne se différenciaient pas des autres quant à leur teneur en matière sèche et à leur teneur en substances solubles totales (°Brix). Ainsi, les valeurs élevées en isocoumarine trouvées dans ces échantillons-là sont imputables à d'autres facteurs que le stress provoqué par la perte en eau.

## Conclusions

- ❑ L'utilisation du sac en plastique à l'intérieur des paloxes ralentit le refroidissement des carottes en chambre froide.
- ❑ Dans plusieurs entrepôts utilisés dans l'essai, le sac en plastique permet cependant d'améliorer le maintien de l'humidité des carottes et ainsi d'obtenir un meilleur rendement.
- ❑ La qualité de l'eau de lavage est le principal élément qui permet d'éviter les problèmes de pourriture noire des racines.
- ❑ En respectant les consignes d'entreposage et en utilisant l'eau du robinet lors du lavage, des carottes produites sur une parcelle contaminée par *Chalara sp.* peuvent être commercialisées sans problèmes de pourriture noire des racines lors de la distribution.

## Summary

### Maintaining carrot quality post harvest

Black root rot of carrots is one of the main quality problems during distribution at point of sale. Soil borne fungi of the *Chalara sp.* are responsible for this carrot disease. They are found in most of the soils in the Swiss carrot production areas. This trial investigated on a commercial level the influence of soil contamination by *Chalara sp.*, use of plastic liner in the storage containers, management of temperature and storage conditions as well as washing procedures on carrot quality and yield. In most of the storehouses the use of plastic liner improved yield. This study has shown that adhering to state-of-the-art storage regimes and using fresh water in the washing process make it possible to prevent black root rot development during the distribution phase of carrots produced in soils contaminated with *Chalara sp.*

**Key words:** carrots, cold storage, carrot quality, black root rot, *Chalara sp.*, storage losses, washing, post-harvest, temperature, humidity.

## Zusammenfassung

### Erhaltung der Karottenqualität nach der Ernte

Die Erhaltung der Qualität von der Ernte bis zu den Konsumentinnen und Konsumenten ist eine wichtige Herausforderung in der Karottenproduktions- und Verarbeitungskette. Eines der wichtigsten Qualitätsprobleme ist die Schwarzfäule, welche oft erst während der Verkaufsphase auftritt. Diese Krankheit wird durch *Chalara* Pilze verursacht. Sie sind in fast allen Karottenproduktionsböden der Schweiz nachweisbar. Das Ziel dieses Praxisversuches war es, den Einfluss auf Qualität und Ausbeute der Faktoren Bodenverseuchung, Plastikeinlage in den Paloxen, Temperatur- und Lagerführung sowie Waschprozess zu bestimmen. In den meisten Lagern brachte der Einsatz von Plastikfolie höhere Ausbeuten. Der Versuch zeigte, dass es möglich ist, auf einer mit *Chalara* Pilzen kontaminierten Parzelle Karotten zu produzieren, welche während der Verkaufsphase frei von Schwarzfäule bleiben, solange die empfohlenen Lagerbedingungen eingehalten werden und Leitungswasser für das Waschen verwendet wird.

## Riassunto

### Conservazione della qualità della carota dopo la raccolta

Una delle principali cause dell'alterazione della qualità delle carote durante la distribuzione è il marciume nero delle radici. Questa malattia è causata dai funghi *Chalara sp.*, presenti nella maggior parte dei suoli utilizzati per la produzione delle carote in Svizzera. L'obiettivo di questo esperimento, condotto in imprese commerciali, era quello di determinare l'influsso di vari fattori sulla qualità e sul rendimento delle carote: la contaminazione del suolo, l'utilizzazione di sacchi di plastica all'interno di cassettoni di legno, la temperatura, le tecniche d'immagazzinamento e di lavaggio. In molti depositi, l'utilizzazione di sacchi di plastica ha permesso d'ottenere una proporzione maggiore di carote sane. Questo esperimento ha dimostrato che le carote prodotte in una parcella contaminata da *Chalara sp.* possono essere commercializzate senza problemi di marciume delle radici, se le consegne di deposito sono rispettate e il lavaggio è effettuato all'acqua corrente.

## Bibliographie

- Anonyme, 2007. *Manuel suisse des Légumes*. Ed. VSGP/UMS, Bern, 315-320 p.
- Crespo P. & Heller W., 2006. Assurance qualité dans la chaîne de production de la carotte: points de contrôle déterminants pour la qualité du champ jusqu'à l'étalage. *Der Gemüsebau/Le Maraîcher* **68** (4), 6.
- Heller W., 2000. Schwarzfleckenpilz: unterschätzte Krankheitserreger der Karotte? *Agrarforschung* **7** (9), 420-423.
- Höhn E., Gysin S., Künsch U., Mattle S., Schärer H., Hesford F. & Schneider K., 2002. Beliebtheit und Bitterkeit – Ergebnisse aus Konsumentenumfragen und Konsumententests / Popularité et amertune – Résultats des sondages effectués auprès des consommateurs et des dégustations par les consommateurs. *Der Gemüsebau/Le Maraîcher* **64** (8), 9-12.
- Höhn E., Heller W., Hesford F., Künsch U., Schärer H. & Schneider K., 2001. Carottes du semis à l'assiette – Développement d'un système d'assurance de qualité à la FAW. *Der Gemüsebau/Le Maraîcher* **63** (1), 17-18.
- Höhn E., Schärer H. & Künsch U., 2004. Carottes du semis à l'assiette – Teneur en sucres: importance et facteurs d'influence. *Der Gemüsebau/Le Maraîcher* **66** (1), 4-8.
- Höhn E., Schärer H. & Künsch U., 2003. Karottengeschmack – Beliebtheit, Süßigkeit und Bitterkeit / Goût de carotte: popularité, douceur et amertune. *Agrarforschung* **10** (4), 144-149.
- Kägi A., Scaramella M., Zoller C. & Theiler R., 2006. Verteilung von *Chalara*-Pilze in Böden. *Der Gemüsebau/Le Maraîcher* **68** (6), 12-13.
- Qualiservice, 2004. Prescriptions suisses pour la qualité des légumes. Adresse: [http://www.qualiservice.ch/pdf/Karotte\\_2004\\_f.pdf](http://www.qualiservice.ch/pdf/Karotte_2004_f.pdf) [20 juin 2004]
- Villeneuve F., 2005. Après récolte et au cours de la commercialisation: les altérations de la qualité chez la carotte – 1<sup>re</sup> partie: les origines pathologiques. *Infos-Citjfl* **210**, 40-44.
- Wellingner R., Buser H. P., Krauss J. & Theiler R., 2006. Karotten: Anbau, Erntezeitpunkt und Lagerung. *Agrarforschung* **13** (10), 412-417.