



**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE,
DE L'ÉLEVAGE ET DE LA FORÊT,**
*en charge de la promotion et de la formation
aux métiers de la terre, de la souveraineté alimentaire
et des biotechnologies*

P O L Y N E S I E F R A N Ç A I S E

N° 097/IAA/SDR/MAE

PAPARA, le 16 juillet 2012

SERVICE DU DÉVELOPPEMENT RURAL

DÉPARTEMENT DES INDUSTRIES
AGROALIMENTAIRES

RAPPORT D'ESSAI

« Carottes »

Essai de conservation « longue » durée

Par Corinne LAUGROST

* B.P. 2551, 98713 Papeete – TAHITI, Polynésie française

Face à l'école normale, route de l'hippodrome, Pirae, Tél. : (689) 54 49 00

* Service du développement rural – BP 100, 98713 Papeete – TAHITI, Polynésie française – rue Tuterai Tane, route de l'hippodrome, Pirae

Tél. : (689) 42 81 44 - Fax. : (689) 42 08 31 - Email secrétariat direction : sdr.dir@rural.gov.pf

Département des industries agroalimentaires-Papara-p.k. 39,3 route de la carrière-Tél : (689) 57 33 77 - Fax : (689) 57 00 84 -Email : iaa.labo@rural.gov.pf

SOMMAIRE

CADRE DE L'ETUDE	3
I- MATERIELS ET METHODES.....	3
1- Matériel végétal d'essai.....	3
2- Suivi des lots d'essai à l'entreposage.....	4
2.2- Evolution de la qualité initiale.....	4
2.3- Suivi à la commercialisation.....	4
II- RESULTATS	4
1- Caractéristiques biométriques des carottes entreposées.....	4
2- Entreposage réfrigéré entre 0 et 1°C.....	5
2.2- Pertes de poids physiologiques	5
2.3- Altérations physiques	6
2.2.1- Flétrissement des racines.....	6
2.2.2- Processus de repousse.....	7
2.2.3- Contaminations biologiques	8
2.2.4- Pertes totales en carottes.....	8
2.3- Qualité des carottes entreposées.....	9
2.3.1- Qualité commerciale	9
2.3.2- Qualité gustative	11
3- Suivi des lots en conditions simulées de commercialisation.....	12
III- DISCUSSION	13
CONCLUSION	14
BIBLIOGRAPHIE	15
ANNEXE : Evolution des indices de flétrissement au cours de l'entreposage	17

- Carottes -
Essais de conservation "longue" durée

CADRE DE L'ETUDE

La politique agricole de la Polynésie française définie pour 2011/2020 se base sur le concept de souveraineté alimentaire qui impose la constitution de réserves alimentaires dans les différentes îles de notre territoire. Pour ce qui concerne la production de carottes dans l'archipel des Australes, la stratégie proposée est d'augmenter la production aux fins de stockage pour étendre la période de consommation de la carotte locale et de minimiser ainsi les importations. En 2010, la production locale (405 tonnes) couvrait environ 30% de la consommation. La commercialisation d'une carotte de qualité hors période de production permettrait également une meilleure rémunération des producteurs et aurait ainsi un caractère incitatif permettant le développement économique de la filière.

Les premiers essais de conservation post-récolte de la carotte locale menés à Papara se placent dans ce contexte avec pour toile de fond le cofinancement Etat/Pays par le conseil Interministériel des Outre-mer (CIOM) de nouvelles structure de traitement et d'entreposage post-récolte à Tubuai. L'objectif de ces essais est de démontrer dans un premier temps la faisabilité technique d'une conservation « longue durée » de la carotte locale ainsi que celle du négoce des produits conservés.

Ils n'ont pas pour but de déterminer les conditions optimales d'entreposage de la carotte, celles-ci étant par ailleurs connues, mais de tester ces dernières dans nos conditions de production pour évaluer d'une part l'aptitude à la conservation de notre production et déterminer d'autre part la durée de conservation possible afin d'établir les bases d'une argumentation ultérieure face aux différents grossistes.

I- MATERIELS ET METHODES

1- Matériel végétal d'essai

Les carottes (*Daucus carota*) pour essais ont été arrachées manuellement sur la station d'essai de Papara le 24 octobre 2011. Le DIAA a réceptionné au total 100 kg de chaque cultivar, à savoir New Kuroda, Royal Cross et Terracotta. Les racines ont été sommairement lavées, parées (1 à 2 cm de fanes) puis triées pour assurer la qualité initiale de la production à entreposer. Les pourcentages de racines éliminées lors du tri sont importants avec environ 75% de rebus pour les cultivars New Kuroda et Royal Cross et 66% pour la variété Terracotta ce qui traduit une qualité médiocre de la production récoltée.

Chaque lot a ensuite été divisé en 3 en fonction du calibre des racines :

- Classe 1 : diamètre < 40 mm,
- Classe 2 : diamètre compris entre 40 et 50 mm,
- Classe 3 : diamètre > 50 mm.

Les lots ainsi préparés ont été placés en chambre froide à une température voisine de 0/1°C et une humidité relative comprise entre 98 et 100 %.

2- Suivi des lots d'essai à l'entreposage

2.2- Evolution de la qualité initiale

Chaque mois, les paramètres suivants ont été évalués sur l'ensemble des racines entreposées :

- pertes de poids physiologiques: pourcentage de poids perdu établi par pesée,
- altération : la sévérité des altérations rencontrées a été notée sur une échelle de 1 à 4 (1, absence; 2, légère; 3, moyenne; 4, sévère). Le score total évaluant chaque altération a été calculé sous la forme d'un indice en tenant compte à la fois de la sévérité des symptômes développés (S) et du nombre de racines affectées (n) :

$$\text{Indice} = \sum n * S / N \qquad N : \text{nombre total}$$

Trois types d'altérations ont ainsi été quantifiés :

- indice de flétrissement : évalue les dommages liés à la dessiccation et au vieillissement des racines,
 - indice d'altérations biologiques : évalue les contaminations microbiennes,
 - indice de repousse : apparition de nouvelles tiges ou racines sur la carotte qui met fin à sa période de dormance.
- apparence ou score d'acceptabilité : évaluée sur une échelle de 1 à 5 où 5 représente la racine fraîche sans défaut et 3 la limite de commercialisation.

La qualité gustative après cuisson des carottes entreposées est évaluée pour chaque cultivar en fin d'essai : évaluation sensorielle par un panel de dégustation initié aux tests descriptifs (aptitude et entraînement relatif à la description des sensations perçues).

2.3- Suivi à la commercialisation

Chaque mois, un échantillon de 10 carottes saines est prélevé pour chacun des 3 cultivars entreposés et placé en conditions simulées de commercialisation (température et hygrométrie ambiante, lumière). On évalue chaque jour pendant une semaine les pertes totales en racines (repousses, pourritures et pertes de poids) ainsi que leur apparence.

II- RESULTATS

1- Caractéristiques biométriques des carottes entreposées.

La carotte présente selon son cultivar de larges variations de taille et de forme susceptibles d'influencer les pertes d'eau durant l'entreposage (Apeland et Baugerod, 1971). Le poids des carottes pour essai (W), leur diamètre au collet (D) et leur longueur (L) ont été mesurés. L'index C (index de forme) a été calculé selon la formule de Bleadsdale et Thompson (1963) ainsi que la surface du produit (A) selon la formule de Baugerod (communication personnelle) :

$$C = W / (3.142 * R^2 * L)$$

$$A = (4 * C * 3.142 * R * L) / (1 + C)$$

W : poids en g

R : rayon au collet en cm

L : longueur en cm

La gravité spécifique des racines étant voisine de 1, leur poids en g peut être considéré comme une approximation correcte de leur volume et donc le ratio A/W (surface spécifique ou SSA) comme une mesure correcte du ratio A/volume.

	Poids g	Rayon cm	Longueur cm	C	A cm ²	SSA cm ² /g
Terracotta	67.1	1.70	13.0	0.57	100.7	1.50
	137.6	2.44	16.8	0.44	156.9	1.14
	241.3	3.50	22.3	0.28	215.3	0.89
New Kuroda	85.6	1.75	13.7	0.65	118.6	1.39
	147.0	2.27	16.6	0.55	167.5	1.14
	231.9	2.95	20.6	0.41	222.7	0.96
Royal Cross	81.5	1.80	13.9	0.57	114.9	1.41
	136.3	2.20	16.2	0.55	159.5	1.17
	221.5	2.83	19.8	0.44	216.8	0.98

Tableau I : calcul de l'indice de forme C et de la surface spécifique SSA pour chacun des 3 cultivars entreposés.

Les résultats mettent en évidence un indice de forme C relativement similaire pour les 3 cultivars (voisin de 0.5 indiquant une carotte plutôt triangulaire). L'aspect conique de la racine augmente par contre significativement avec son diamètre. La surface spécifique de la carotte étant inversement proportionnelle à la valeur de C, elle est donc plus faible pour les carottes de gros calibre qui seront donc moins susceptibles aux processus d'évapotranspiration (Shibairo, 1996).

2- Entreposage réfrigéré entre 0 et 1°C

2.2- Pertes de poids physiologiques

La figure 1 présente les pertes de poids observées pour chaque cultivar en fonction du calibre initial des racines et de la durée de l'entreposage réfrigéré. Les courbes obtenues mettent en évidence d'importantes interactions entre le facteur cultivar, le calibre des racines et la durée d'entreposage :

- Les pertes de poids diminuent significativement lorsque le diamètre des racines augmente : 30 à 40% de réduction après 4 mois d'entreposage entre 0 et 1°C,
- Le facteur cultivar intervient de manière plus sensible sur les pertes de poids des carottes de petite taille (classe 1) : 15.6, 18.5 et 22.3% de pertes de poids après 4 mois d'entreposage pour respectivement les cultivars Terracotta, New Kuroda et Royal Cross alors que ces pertes sont comprises entre 11 et 12% pour les carottes de calibre supérieur à 40 mm, tous cultivars confondus.
- L'évolution des pertes de poids après 4 mois d'entreposage est différente selon le cultivar considéré : nette diminution pour le cultivar Terracotta avec au final à peine 5.5 % de pertes de poids après 6 mois d'entreposage, accélération des pertes de poids pour le cultivar New Kuroda mis en évidence par une brusque augmentation de la pente du graphe correspondant (figure 1), évolution lente de ces pertes pour le cultivar Royal Cross.

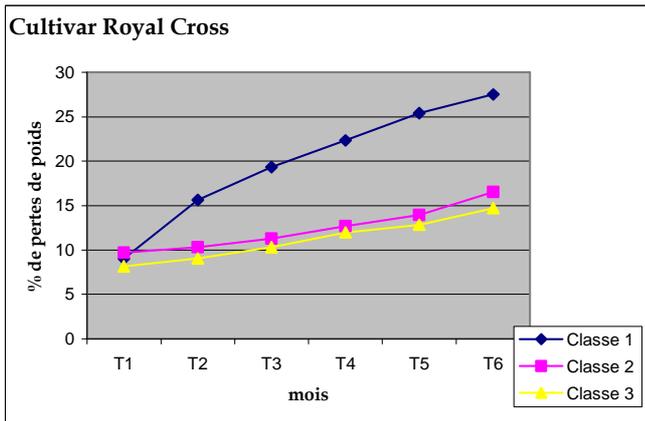
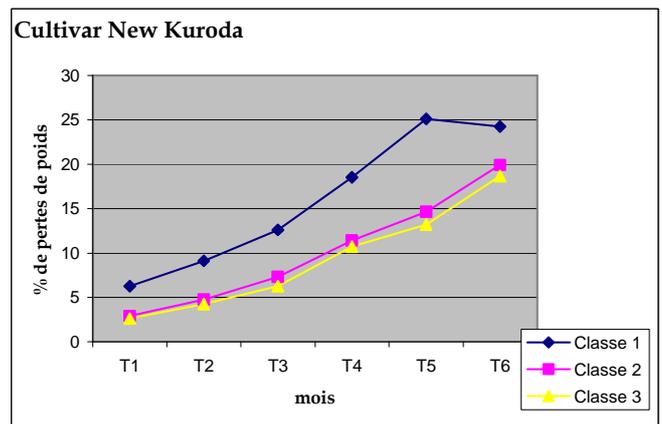
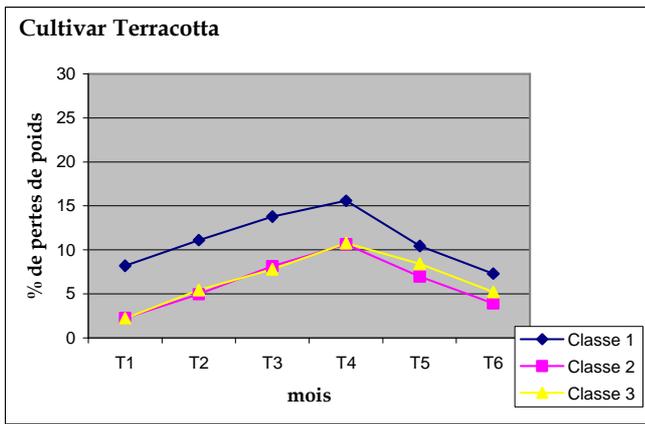


Figure 1 : évolution des pertes de poids des 3 cultivars de carottes retenus pour essai en fonction du diamètre de leurs racines et de la durée de l'entreposage entre 0 et 1°C (HR>98%).

2.3- Altérations physiques

2.2.1- Flétrissement des racines

La figure 2 présente l'évolution dans le temps des indices de flétrissement des 3 cultivars entreposés à 0°C et ce, selon le calibre des racines (résultats complets en annexe).

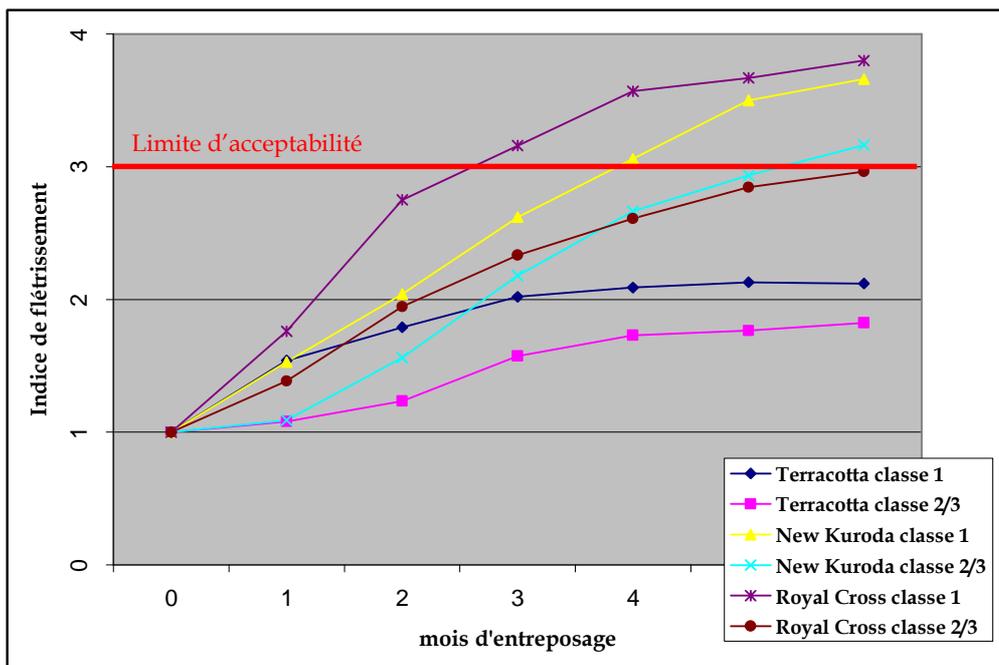


Figure 2 : évolution des indices de flétrissement des 3 cultivars de carottes retenus pour essai en fonction du diamètre de leurs racines et de la durée de l'entreposage entre 0 et 1°C (HR>98%).

L'évolution des indices de flétrissements des racines au cours de l'entreposage réfrigéré met en évidence un impact très significatif du facteur cultivar sur cette altération : indice de flétrissement très modéré pour le cultivar Terracotta en fin d'essai (voisin de 2.0) contre des indices tous supérieurs à 3.0 (limite d'acceptabilité) pour les cultivars New Kuroda et Royal Cross. Pour ces deux cultivars, le diamètre des racines au collet a également un impact très significatif sur l'évolution de leur indice de flétrissement : l'altération affecte plus sévèrement et plus précocement les racines de diamètre inférieur à 40 mm. Les carottes de classe 1 ne sont plus commercialisables après respectivement 2.5 et 3.5 mois pour les cultivars Royal Cross et New Kuroda ; celles de classe 2/3 après 4 à 5 mois d'entreposage pour les 2 variétés.



Photo 1 : flétrissement de niveau 4 (carottes non commercialisables), les carottes sont ridées, peu turgescents et molles.

2.2.2- Processus de repousse

La figure 3 montre le taux de repousses observées pour chacun des 3 cultivars durant l'entreposage réfrigéré et en fonction du calibre de départ des carottes.

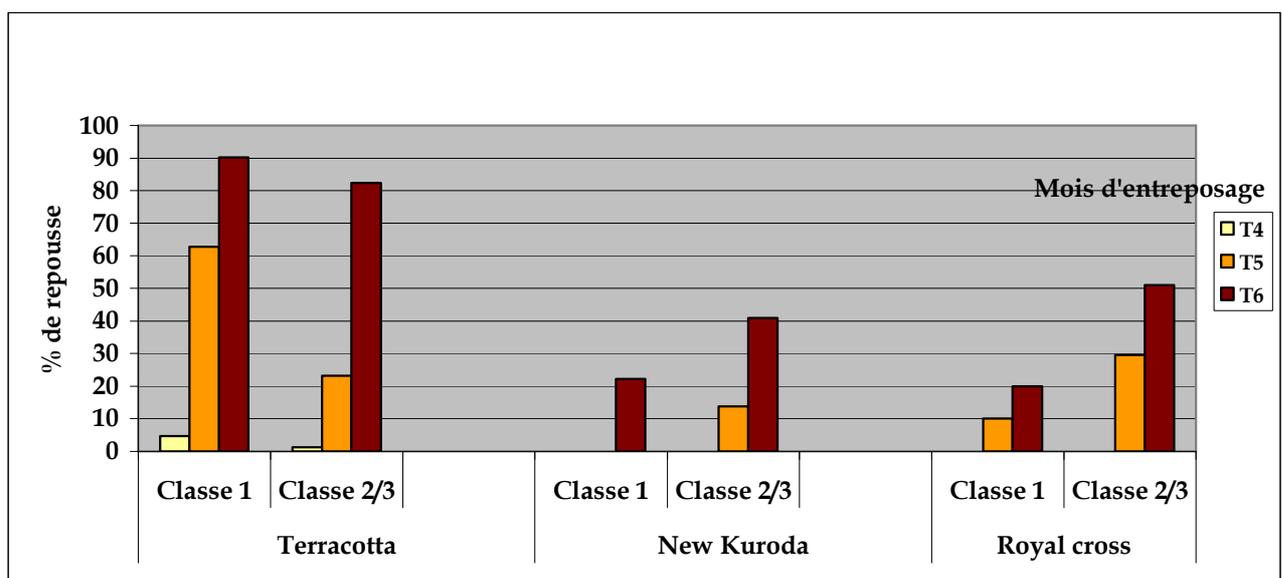


Figure 3 : évolution du taux de repousse dans les 3 lots de carottes retenus pour essai en fonction du diamètre de leurs racines et de la durée de l'entreposage entre 0 et 1°C (HR>98%).

Le facteur cultivar, le calibre des racines et les interactions cultivar/calibre ont un impact visible sur la repousse des feuilles au niveau du collet des racines durant leur entreposage. Les processus de repousse sont significativement plus précoces et plus importants pour le cultivar Terracotta : ils apparaissent dès le 4^{ème} mois de stockage et affectent 80 à 90% des carottes en fin d'essai. La prévalence de l'altération est sensiblement plus importante pour les carottes de classe 1. Les cultivars New Kuroda et Royal Cross sont également sensibles à ce processus physiologique mais de manière plus tardive (5^{ème} mois) et plus modérée avec seulement 40 à 50% de racines affectées en fin d'essai. Contrairement à la variété Terracotta, les grosses carottes sont plus affectées par ce processus que les carottes de petits calibre. Les interactions cultivar/calibre mises en évidence ici laissent supposer un statut physiologique différent des racines à la récolte en relation avec une maturité et une date de récolte optimale cultivar-dépendantes.



Photo 2 : germination ou repousse de niveau 4 (carottes non commercialisables)

2.2.3- Contaminations biologiques

Les contaminations biologiques durant l'entreposage sont quasi-absentes (< 4% en fin d'essai, résultats non reportés). Elles sont peu sévères et se développent essentiellement après 1 à 2 mois d'entreposage réfrigéré sur des blessures subies à la récolte.

2.2.4- Pertes totales en carottes

La figure 4 donne selon leur nature les pertes en carottes subies par chacun des 3 cultivars durant l'entreposage réfrigéré.

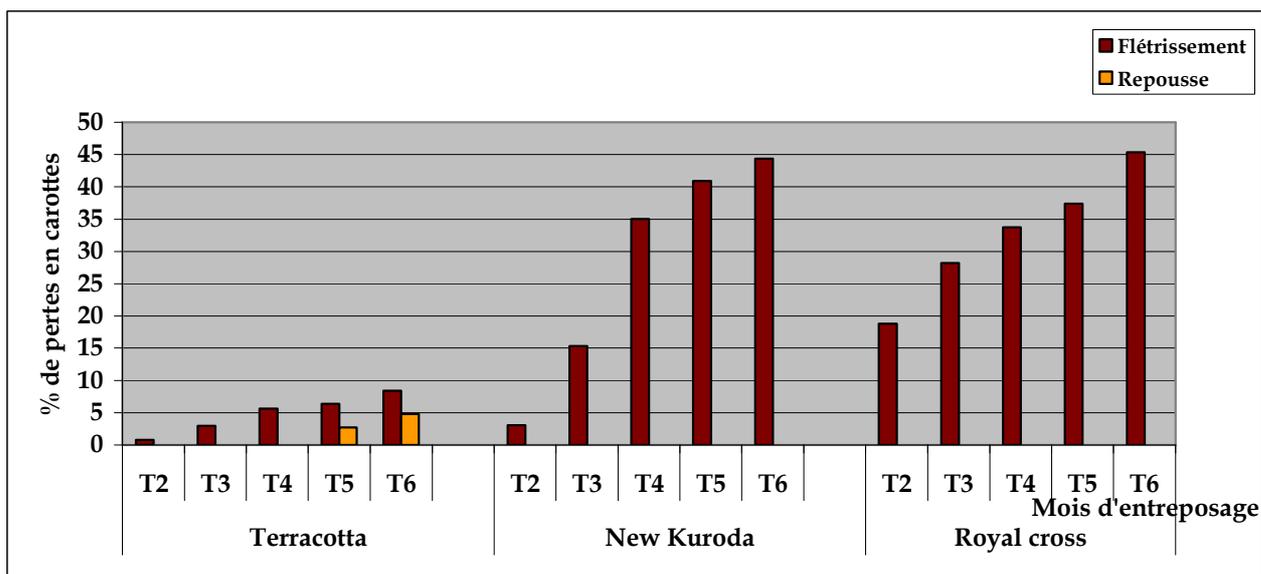


Figure 4 : structure des pertes totales en racines pour chacun des 3 cultivars en fonction de la durée de l'entreposage entre 0 et 1°C (HR>98%).

Les résultats obtenus montrent que le flétrissement est la principale source de dégradation des racines au cours de l'entreposage (64 % des pertes pour le cultivar Terracotta et 100% pour les cultivars new Kuroda et Royal Cross). La quasi-absence de cette altération relevée pour le cultivar Terracotta explique donc le faible taux de pertes totales en fin d'essai (voisin de 13%). La repousse des feuilles pouvant être retardée par l'élimination totale des fanes à la récolte, ce taux pourrait être abaissé sous les 10%.

Les processus de flétrissement des racines est par contre un problème majeur pour les cultivars New Kuroda et Royal Cross avec des pertes élevées dès les 3^{ème} et 4^{ème} mois de stockage (30 à 35%). L'altération est exacerbée pour le cultivar Royal Cross caractérisé par une proportion moins importante de grosses carottes (35% contre 51 et 62% pour les cultivars New Kuroda et Terracotta) et donc plus sensible aux processus d'évapo-transpiration.

2.3- Qualité des carottes entreposées

2.3.1- Qualité commerciale

La figure 5 montre l'évolution des scores d'apparence, donc de la qualité commerciale, des 3 cultivars de carottes entreposés.

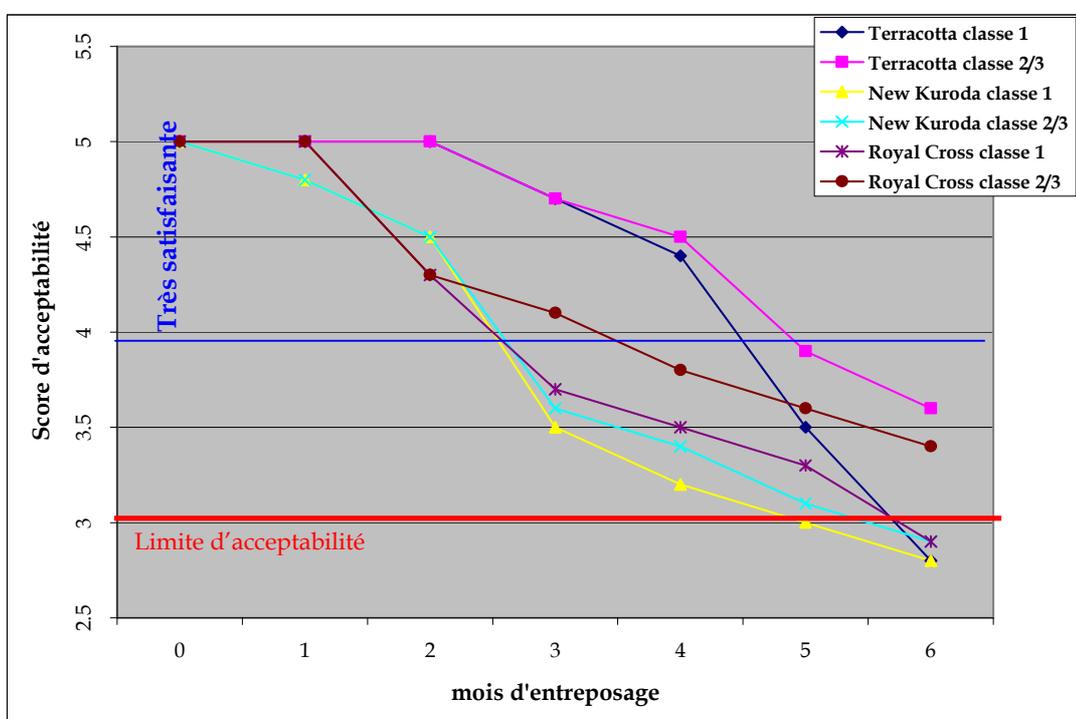


Figure 5 : évolution des scores d'apparence des 3 cultivars de carottes retenus pour essai en fonction du diamètre de leurs racines et de la durée de l'entreposage entre 0 et 1°C (HR>98%).

Le cultivar et le calibre initial des racines ont un impact significatif sur l'évolution des scores d'apparence des lots d'essai:

- La qualité des carottes Terracotta ne subit aucun préjudice durant les 2 premiers mois d'entreposage et se maintient à un haut niveau d'acceptabilité (score>4.0) après 4 mois d'entreposage à 0°C, ce quel que soit le calibre initial des racines. Passé ce délai la qualité commerciale des racines de petit calibre se détériore plus rapidement et n'est plus acceptable après 6 mois d'essai (score d'acceptabilité <3.0). En revanche l'aspect des carottes de classe 2 et 3 présente un niveau satisfaisant en fin d'essai (score >3.5). On note un excellent maintien de la couleur et de la turgescence de ces racines, la diminution de leur aspect général résultant essentiellement de la dégradation visuelle des fanes restantes (photo 3).



Photo 3 : carottes Terracotta (classe 2/3) après 6 mois d'entreposage entre 0 et 1°C (98% HR).

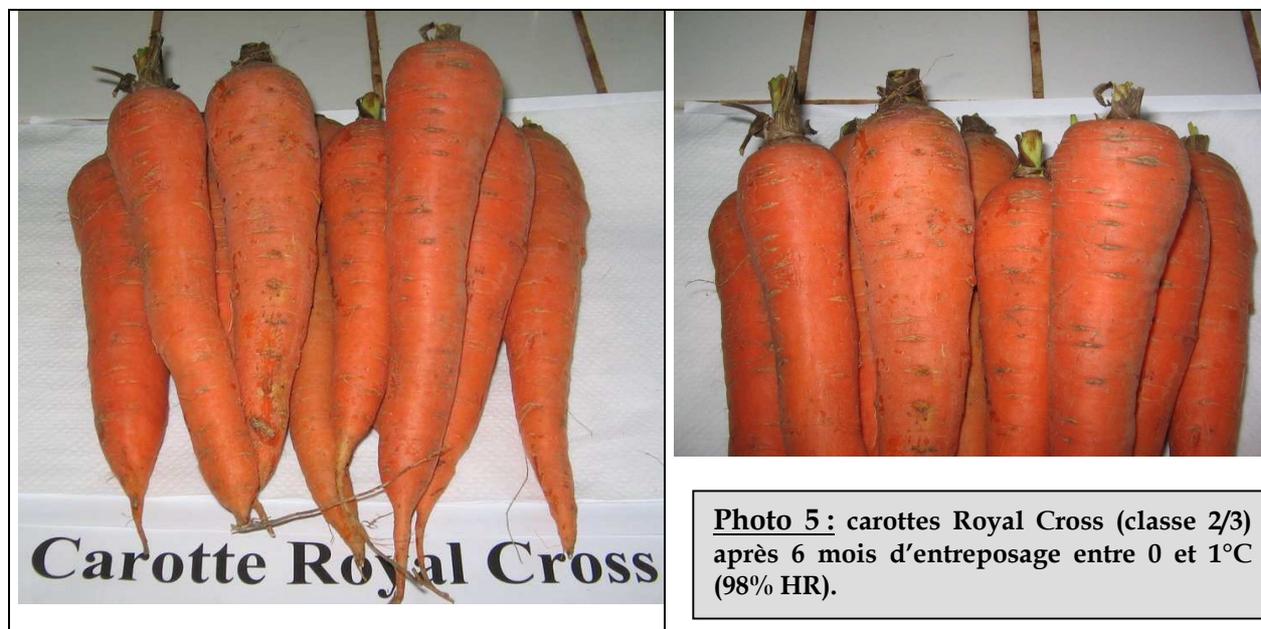
- La qualité des carottes New Kuroda baisse dès la fin du premier mois d'entreposage mais se maintient à un haut niveau d'acceptabilité (score>4.0) après 2 mois d'entreposage à 0°C. On observe ensuite une dégradation rapide de la qualité commerciale des carottes sans impact sensible du calibre des racines : acceptabilité limite des carottes après 5 mois d'essai qui ne sont plus commercialisables en fin d'essai, ce quel que soit le calibre initial des racines. Cette rapide dégradation de la qualité des racines est associée à l'intensité des processus de déshydratation les affectant avec des signes visibles de flétrissement mais aussi une perte importante de leur brillance et un noircissement des fanes (photo 4). On note également pour ce cultivar une décoloration partielle des racines symptomatique d'une récolte très précoce (Suslow et al, 1998).



Photo 4 : carottes New Kuroda (classe 2/3) après 6 mois d'entreposage entre 0 et 1°C (98% HR).

- La qualité des carottes Royal Cross baisse également dès la fin du premier mois d'entreposage avec un maintien à un haut niveau d'acceptabilité (score>4.0) après 2 mois d'entreposage à 0°C. On observe ensuite une dégradation rapide de la qualité commerciale des carottes mais ici avec impact sensible du calibre des racines : les carottes de gros calibre se

détériorient lentement et présentent un aspect encore satisfaisant en fin d'essai (score d'apparence voisin de 3.5). En revanche, on note pour les racines de calibre inférieur à 40 mm une accélération de la dégradation de l'aspect après le 3^{ème} mois d'entreposage, ce dernier n'est plus acceptable en fin d'essai (score < 3.0). Les processus de déshydratation sont, comme pour le cultivar New Kuroda, responsables de la dégradation de la qualité des racines (flétrissement, perte de brillance, noircissement des fanes) mais semblent moins intenses avec en particulier des signes plus modérés de flétrissement (photo 5).



2.3.2- Qualité gustative

Le tableau II présente les résultats des analyses sensorielles réalisées après cuisson sur les 3 cultivars et pour les carottes de moyen et gros calibre (classe 2 et 3). Ces analyses ont été réalisées après 5 mois d'entreposage à 0°C, durée après laquelle l'ensemble des lots présentait encore une qualité commerciale acceptable.

Variété	Aspect	Parfum	Texture	Saveur	Goût sucré	Arrière-goût	Qualité globale
Terracotta	8.0	7.5	7.0	8.0	7.0 ^a	8.0 ^a	7.5 ^a
Royal Cross	7.0	6.0	7.0	8.0	7.5 ^{ab}	5.0 ^b	5.0 ^b
New Kuroda	6.5	6.5	8.0	7.5	8.0 ^b	2.0 ^c	4.0 ^b
	ns	ns	ns	ns	ns	***	***

Echelle de notation sur 9 points : 1 mauvais, 3 médiocre, 5 moyen, 7 bon, 9 excellent.

^{a, b, c} : dans la même colonne, groupes significativement différents selon le test PPDS à p=0.05 (*) et p=0.01 (***)

ns: différence non significative

Tableau II : Caractéristiques organoleptiques après cuisson des carottes entreposées entre 0 et 1°C après 5 mois d'essai (date à laquelle leur qualité commerciale est encore acceptable).

Les résultats des tests sensoriels obtenus après 5 mois d'essai mettent en évidence une différence très significative au niveau de la qualité gustative des 3 cultivars (tableau II) : on note un excellent maintien de cette dernière pour le cultivar Terracotta (score d'acceptabilité > 7.0) tandis que celle des cultivars New Kuroda et Royal Cross est tout juste acceptable (score voisin de 5.0). La dégradation de l'acceptabilité gustative pour ces deux derniers cultivars est clairement liée au développement d'arrière-goûts désagréables et plus particulièrement à une forte amertume inacceptable pour la variété Royal Cross. Ce processus d'amérisation des carottes réfrigérées est un processus connu et serait lié à la formation de composés volatiles (polyacéthylènes, isocoumarines et acides phénoliques provoqués sous l'effet du stress par un

dégagement d'éthylène (Lafuente et al, 1996 ; Seljasen et al, 2001 ; Czepa et Hofman, 2003 ; Kreutzmann et al, 2008).

3- Suivi des lots en conditions simulées de commercialisation

La figure 6 présente l'évolution des pertes de poids et des scores d'apparence des 3 lots d'essai au cours de la phase de simulation commerciale et ce, en fonction de la durée de l'entreposage réfrigéré.

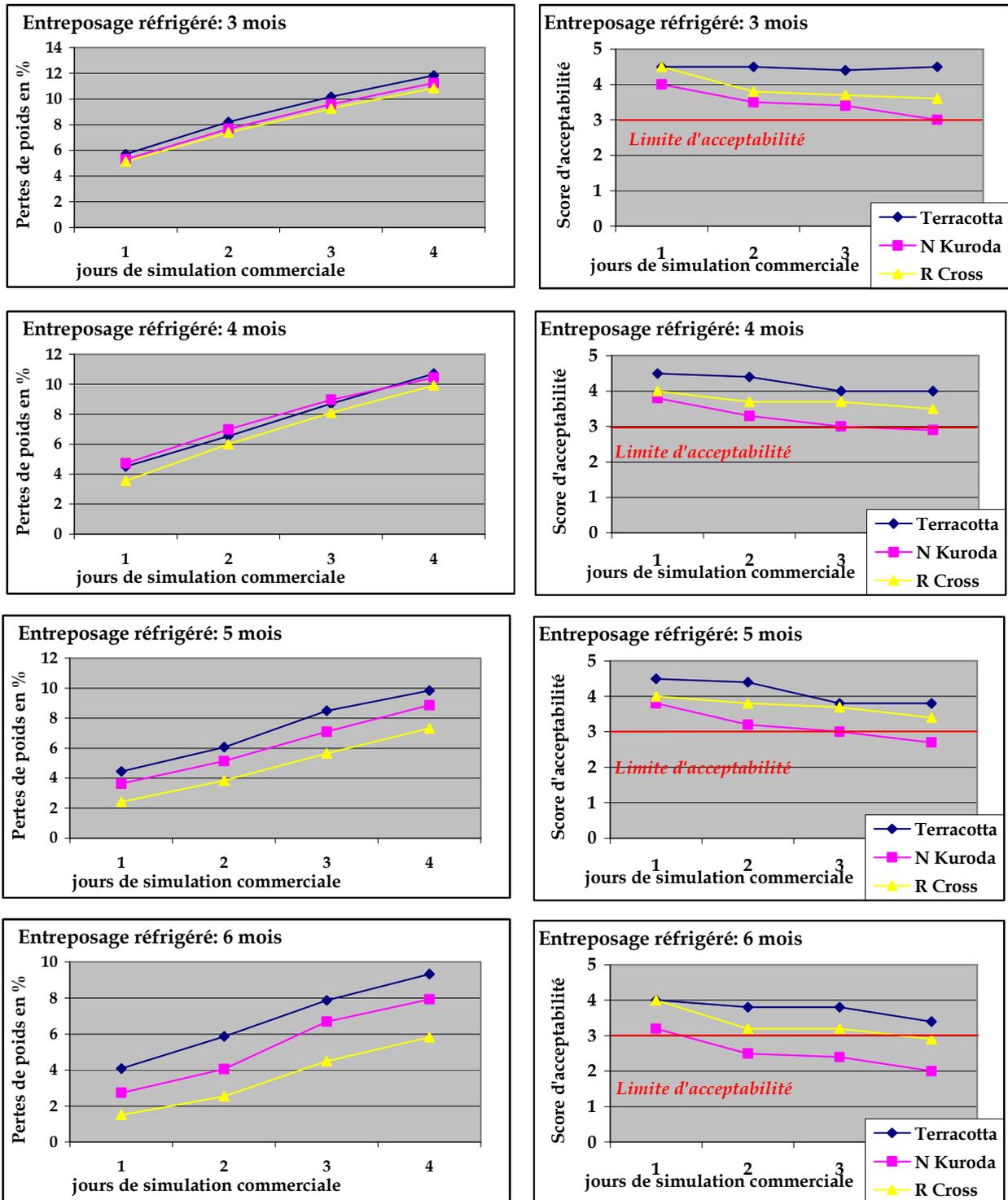
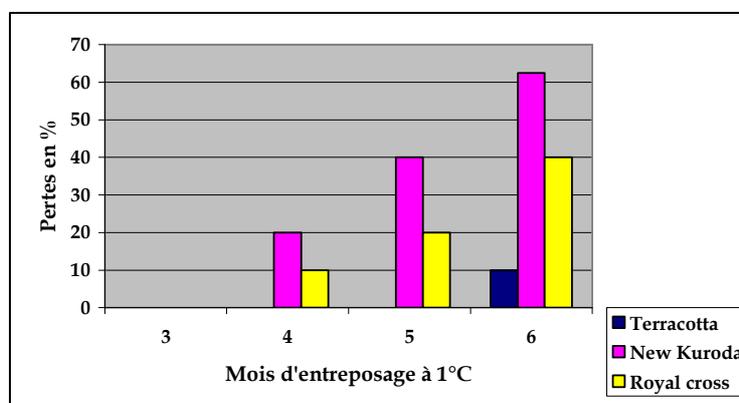


Figure 6 : évolution des pertes de poids et des scores d'apparence des 3 cultivars de carottes retenus pour essai en fonction de la durée de l'entreposage réfrigéré (1°C, HR>98%).

Les pertes de poids après 4 jours de simulation commerciale en conditions ambiantes sont initialement voisines de 10 % (3 à 4 mois d'entreposage). A partir du 5^{ème} mois d'entreposage à 1°C on observe une évolution sensiblement différente de ces pertes lorsque les racines sont remises en conditions ambiantes : peu de modifications pour le cultivar Terracotta avec 9.33 % de pertes en fin d'essai (6 mois à 1°C suivi de 4 jours de simulation commerciale) mais une nette cassure pour les courbes relatives aux variétés New Kuroda et Royal Cross qui révèle une modification sensible des activités métaboliques des racines. La diminution des processus d'évapo-transpiration affectant les racines des cultivars New Kuroda et Royal Cross durant la phase de simulation commerciale et après 4 mois d'entreposage est directement reliée à l'intensité des pertes en eau relevées pour ces deux cultivars durant la phase de réfrigération : 20 et 15% respectivement pour les New Kuroda et les Royal Cross (racines de classe 3) après 6 mois d'essai qui provoquent une diminution de leur pression osmotique et donc le ralentissement des transferts d'eau avec le milieu ambiant.

L'évolution des scores d'apparence au cours de la phase de simulation commerciale met en évidence un maintien satisfaisant de la qualité commerciale des carottes Terracotta et ce, même après 6 mois d'entreposage à 1°C (figure 6). Les carottes remises en conditions ambiantes gardent leur turgescence avec seulement 10% de pertes liées aux processus de flétrissement en fin d'essai (figure 7).

Figures 7 : évolution des pertes en racines liées aux processus de flétrissement durant la phase de simulation commerciale (4 jours en conditions ambiantes) et en fonction de la durée de l'entreposage réfrigéré.



Les carottes Royal Cross sont encore commercialisables après 5 mois d'essai (score d'apparence voisin de 3.5 en fin de phase de simulation commerciale) mais avec un taux de pertes par flétrissement important (20%, figure 7). Le cultivar New Kuroda est en revanche tout juste commercialisable après 3 à 4 mois d'entreposage. Passé ce délai les racines ne sont plus présentables en fin de simulation commerciale et les pertes observées sont inacceptables : 40 et plus de 60% après 5 et 6 mois d'essai.

III- DISCUSSION

Les résultats obtenus lors de cet essai mettent en évidence la nécessité de maîtriser les pertes en eau affectant les carottes tout au long du stockage ; ces pertes sont en effet responsables des dégradations observées durant l'entreposage des racines et plus particulièrement de leur flétrissement responsable de la quasi-totalité des pertes post-récoltes (64 à 100%). Les conditions de production et de conservation des 3 cultivars étudiés étant rigoureusement identiques, le facteur variétal apparaît comme la clé des différences observées quant à leur aptitude à la conservation avec d'un côté d'excellents résultats pour le cultivar Terracotta et de l'autre une durée de conservation post-récolte limitée pour les cultivars New Kuroda et Royal Cross.

Le calcul de l'index C (index de forme) et de la surface spécifique (SSA) a cependant donné pour les 3 cultivars des résultats sensiblement égaux et n'explique donc pas les

différences observées quant à leurs pertes de poids par évapo-transpiration au cours du stockage. L'augmentation de la SSA pour les racines présentant un diamètre au collet inférieur à 40 mm explique par contre leur forte sensibilité à ce processus et leur durée de vie limitée. Avec une SSA moyenne de 1.43 cm² les carottes de petits calibres présentent 20% de pertes en eau après 4 mois d'entreposage à 1°C contre seulement 11% pour celles de calibre supérieur (SSA moyenne de 1.05 cm²).

Le statut physiologique des carottes à la récolte semble par contre différent selon le cultivar considéré et apparaît ici comme la composante principale de leur aptitude à la longue conservation. La récolte interrompt en effet le cycle naturel de la carotte qui est bisannuel et dépendant du facteur variétal (Shibairo, 1996 ; Suojala, 2000). La repousse de tiges secondaires, observée pour le cultivar Terracotta à partir du 4^{ème} mois d'entreposage réfrigéré est un processus connu et caractéristique d'une racine récoltée à pleine maturité (Phan et al, 1973 ; Edelenbos, 2010). Edelenbos (2010) décrit avec précision ces transformations physiologiques à basse température de la carotte mature : arrêt de la dormance après une période de vernalisation de 3 à 4 mois avec une mobilisation des carbonhydrates depuis la racine. Il y a synthèse de glucose et fructose à partir du saccharose et diminution du goût sucré (Tableau II°). Les cultivars New Kuroda et Royal Cross ne présentent pas cette évolution caractéristique et semblent donc avoir été récoltés légèrement immatures.

Cette différence dans le statut physiologique des 3 cultivars explique la majorité des résultats obtenus :

- Les pertes en eau sont moins importantes lorsque les carottes sont récoltées pleinement matures (Shibairo, 1996) : diminution de l'évapo-transpiration mais aussi de la respiration du fait de l'état de dormance qui s'accompagne d'une baisse sensible des activités métaboliques (Kader, 2002). Cette différence est sensible dès le premier mois d'entreposage avec respectivement 2, 3 et 9% de pertes de poids pour les cultivars Terracotta, New Kuroda et Royal Cross.

- La déshydratation des racines provoque leur flétrissement et impacte leur qualité visuelle (donc commerciale). Celle-ci n'est plus acceptable après 4 à 5 mois d'entreposage pour les cultivars New Kuroda et Royal Cross. On considère que le flétrissement des racines n'est plus acceptable pour une perte en eau de 8% (Robinson et al, 1975). La déshydratation des racines provoque également la mort des cellules en surface et explique ainsi au cours du temps leur perte de brillance, en particulier pour le cultivar New Kuroda.

- La déshydratation plus rapide des carottes Royal Cross provoque une diminution de l'amplitude de la pression de vapeur d'eau entre la racine et son environnement et explique les différences observées quant à l'évolution très différentes des pertes de poids des 2 cultivars immatures : évolution plus lente pour le cultivar Royal Cross dont la déperdition d'eau a été maximale en début d'entreposage.

- Le stress post-récolte affectant les carottes immatures semble provoquer en cours d'entreposage un dégagement plus important d'éthylène avec pour conséquence une augmentation de la respiration (Kader, 2002) et la synthèse de composés volatiles (polyacétylènes, isocoumarines et acides phénoliques (Lafuente et al, 1996 ; Seljasen et al, 2001 ; Czepa et Hofman, 2003 ; Kreutzmann et al, 2008). Il en résulte une forte amertume inacceptable pour la variété Royal Cross.

CONCLUSION

Les résultats obtenus lors de ce premier essai permettent d'établir les bases pour une longue conservation réussie de la carotte locale. Sur la base de l'excellente aptitude à la conservation du cultivar Terracotta (6 mois entre 0 et 1°C), les recommandations suivantes peuvent être avancées :

- Entreposage rapide des racines entre 0 et 1°C avec une HR voisine de 100% pour limiter les pertes en eau,
- Elimination des fanes à la récolte pour limiter les processus de repousse au collet,
- Elimination des racines de petit calibre (< 40 mm) trop sensibles aux processus d'évapo-transpiration du fait de leur fort ratio surface/volume,
- Récolte des carottes à pleine maturité pour limiter les stress postrécoltes qui impactent les qualités visuelles et gustatives des racines durant leur entreposage réfrigéré.

Ce dernier point apparaît comme le plus délicat et demande pour chaque cultivar une maîtrise parfaite des conditions de production. Des essais sont prévus sur la prochaine saison de production pour tenter de définir le point optimal de récolte pour au moins 2 des 3 cultivars évalués cette année. Le protocole prévoit 2 à 3 récoltes à 15 jours d'intervalle pour chacune des variétés avec un bilan de matières sèches à la récolte et un suivi en chambre réfrigérée.

BIBLIOGRAPHIE

- Apeland J., Baugerød H., 1971. Factors affecting weight loss in carrots. *Acta Hort.* 20 : 92 - 97.
- Bleasdale J.K.A., et Thompson R., 1963. An objective method of recording and comparing the shapes of carrot roots. *J. Americ. Soc. Hort. Sci.* 38 : 232 - 241.
- Czepa A., Hofmann T., 2003. Structural and sensory characterization of compounds contributing to the bitter off-taste of carrots (*Daucus carota* L.) and carrot puree. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (13) : 3865-3873.
- Edelenbos M., 2010. How do alternative storage methods affect the storage potential of carrots ? *Proc. IIIrd IC Postharvest Unlimited 2008*. Ed : W.B. Herppich. *Acta Hort.* 858, ISHS 2010.
- Kader A.A, 2002. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, 3^{ème} edit., Univ. de California.
- Kreutzmann S., Christensen L.P., Edelenbos M., 2008. Investigation of bitterness in carrots (*Daucus carota* L.) based on quantitative chemical and sensory. *LWT*, 41 : 193-205.
- Lafuente M.T., López-Gálvez G., Cantwell M., Fa Yang S., 1996. Factors influencing ethylene-induced isocoumarin formation and increased respiration in carrots. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121:537-542
- Phan C.T., Hsu H., Sarkar K., 1973. Physical and chemical changes occurring in the carrot root during storage. *Can. J. Plant. Sci.*, 53 : 635-641.
- Robinson J.E., Browne K.M., Burton W.G., 1975. Storage characteristics of some vegetables and soft fruits. *Annals of Applied Biology*, 81 : 399-408.
- Seljåsen R., Hoftun H. and Bengtsson G. B., 2001. Sensory quality of ethylene-exposed carrots (*Daucus carota* L, cv 'Yukon') related to the contents of 6-methoxymellein, terpenes and sugars. *J. Sci. Food Agric.*, 81: 54-61.
- Shibairo S.I., 1996. A study of postharvest moisture loss in carrots (*Daucus carota* L.) during short time storage. Thesis, The University of British Columbia, Faculty of graduate studies, Department of plant science, 141 p.

Suojala T., 2000. Pre- and postharvest development of carrot yield and quality. Univ. of Helsinki. Department of Plant Production. Pub. 37, 43p.

Suslow T., Mitchell J., Cantwell M., 1998. Carrot Produce facts. Recommendations for Maintening Postharvest Quality. <http://postharvest.ucdavis.edu/produce>.

ANNEXE : Evolution des indices de flétrissement au cours de l'entreposage

Lots d'essai	Durée de conservation en mois						
	0	1	2	3	4	5	6
Terracotta 1	1.00	1.54	1.79	2.02	2.09	2.13	2.12
Terracotta 2	1.00	1.14	1.06	1.59	1.79	1.85	1.86
Terracotta 3	1.00	1.02	1.01	1.56	1.67	1.68	1.79
New Kuroda 1	1.00	1.53	2.04	2.62	3.36	3.50	3.56
New Kuroda 2	1.00	1.13	1.42	2.32	2.78	3.12	3.22
New Kuroda 3	1.00	1.05	1.30	2.04	2.55	2.75	3.11
Royal Cross 1	1.00	1.76	2.75	3.16	3.57	3.67	3.80
Royal Cross 2	1.00	1.43	2.09	2.43	2.73	3.04	3.12
Royal Cross 3	1.00	1.34	1.80	2.24	2.49	2.65	2.81

- 1: racines < 40 mm
2: racines entre 40 et 50 mm
3: racines > 50 mm

Indices de flétrissement

- 1 à 2 Flétrissement modéré
2 à 3 Flétrissement acceptable
>3 Flétrissement sévère