

Détermination de paramètres physiologiques pour la sélection de cultivars de tomates aptes à une bonne conservation

D NAJEH
T TISSAOUI
Laboratoire des cultures
maraîchères et florales
Institut national agronomique
de Tunisie
43, av Charles-Nicolle
1082-Tunis Mahrajène
Tunisie

C WILLEMOT
Département de phytologie
Centre de recherches
en horticulture
Université Laval
Québec G1K 7P4
Canada

Reçu le 1^{er} mars 1996
Accepté le 2 août 1996

Détermination de paramètres physiologiques pour la sélection de cultivars de tomate aptes à une bonne conservation.

RÉSUMÉ

Le comportement physiologique des fruits de quatre cultivars (E11026, Caruso, BS-56 et Vision) de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) entreposés à 12 °C a été étudié pendant 25 jours, et certaines caractéristiques physiologiques de ces variétés ont été observées à la récolte. Au cours de la période de stockage, le taux d'acidité titrable et de sucres solubles, la fermeté et la coloration du fruit, ainsi que le taux respiratoire et la production d'éthylène ont été évalués. La qualité commerciale des fruits a été évaluée visuellement. À la température de 12 °C, les cultivars Caruso et BS-56 ont montré les meilleures aptitudes à la conservation ; ils se différencient des deux autres cultivars par une meilleure fermeté et un taux accru d'acidité titrable. La diminution de l'activité respiratoire et le moment d'apparition du pic de production d'éthylène peuvent expliquer en partie la différence du comportement des cultivars, au cours de l'entreposage.

MOTS CLÉS

Tomate, essai de variété, stockage, physiologie après récolte, acidité, sucres, texture, respiration, éthylène.

Physiological parameters for breeding tomato cultivars with good storage potential.

ABSTRACT

The physiological behaviour of the fruit of four tomato cultivars (E11026, Caruso, BS56 and Vision), stored at 12 °C for 25 days, was studied and some physiological characteristics of these tomatoes were observed at harvest. At each sampling date during the storage period, the titratable acidity, the soluble sugars, the firmness, the respiration rate and the ethylene production were measured. The commercial acceptability of the fruit was visually assessed. At this 12 °C temperature, the Caruso and BS-56 cultivars showed the best storage potential. Firmness and titratable acidity were the criteria which characterized these cultivars. The decrease of the respiration rate and the moment of maximum ethylene production can partly explain the difference of tomato cultivar behaviour during storage.

KEYWORDS

Tomatoes, variety trials, storage, postharvest physiology, acidity, sugars, texture, breathing, ethylene.

Determinación de parámetros fisiológicos para la selección de cultivares de tomate aptos para una buena conservación.

RESUMEN

Durante 25 días se estudió el comportamiento fisiológico de las frutas de cuatro cultivares (E110-26, Caruso, BS-56 y Visión) de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) almacenados a 12 °C y se observaron ciertas características fisiológicas de estas variedades durante la cosecha. Durante el período de almacenamiento fueron evaluados el porcentaje de acidez pudiéndose graduar y de azúcares solubles, la firmeza y la coloración de la fruta, así como el porcentaje respiratorio y la producción de etileno. La calidad comercial de las frutas se evaluó visualmente. A la temperatura de 12 °C, los cultivares Caruso y BS-56 mostraron las mejores aptitudes a la conservación ; se diferencian de los dos otros cultivares por una mejor firmeza y un porcentaje más importante de acidez pudiéndose graduar. La disminución de la actividad respiratoria y el momento de aparición del pico de producción de etileno pueden explicar por parte la diferencia del comportamiento de los cultivares durante el almacenamiento.

PALABRAS CLAVES

Tomate, ensayos de variedades, almacenamiento, fisiología postcosecha, ácidos, azúcares, textura, respiración, etileno.

● introduction

Plusieurs phénomènes physiologiques sont associés au mûrissement de la tomate : l'apparition du pic climactérique, qui se signale par une augmentation de l'activité respiratoire et par l'émission d'éthylène, la différenciation des chloroplastes en chromoplastes et la dégradation des parois cellulaires (DAVIES et HOBSON, 1981 ; STEVEN et al, 1979). Bien que ces changements soient inscrits dans le génome de l'espèce (GRIERSON et al, 1987 ; STEVEN, 1986), ils peuvent varier en fonction des conditions de la culture (DAVIES et HOBSON, 1981), de l'entreposage (ABDEL-MAKSOUUD et al, 1974 ; GOODENOUGH et al, 1982 ; KING et LUDFORD, 1983) ou de la variété, ou être le résultat d'une mutation (ROBINSON et TOMES, 1968 ; TIGCHELAAR et al, 1978).

Selon le cultivar auquel elles appartiennent, les tomates ne mûrissent pas toutes de la même façon. Cette particularité a une incidence directe sur la durée de conservation (KADER, 1986). Grâce à certaines techniques de modification de l'expression du gène, qu'il s'agisse de celle de la surexpression (*overexpression*) d'un gène ou celle dite de l'antisens, des tomates qualifiées de *long life*, caractérisées par une longue durée de conservation, ont été développées récemment (DENISE et al, 1995 ; GRAY et al, 1992 ; KRAMER et al, 1992 ; THEOLOGIS et al, 1992 ; TIEMAN et HANDA, 1994).

D'une manière générale, le choix du cultivar conditionne fortement la durée de conservation des fruits et des légumes (DALI et al, 1992a et 1993 ; KADER, 1986). Les cultivars présentant de bonnes aptitudes à la conservation méritent donc d'être mieux identifiés. Pour la tomate, il importe d'identifier, au préalable, les facteurs limitant de la conservation des fruits, puis de les prendre en compte dans la définition d'un programme d'amélioration. Ainsi, l'étude du comportement de différents cultivars au cours de la période d'entreposage constitue l'une des premières étapes à réaliser pour atteindre ces objectifs.

Pour identifier le cultivar dont les fruits présentent la meilleure aptitude à l'entreposage, les caractéristiques physiologiques de quatre variétés de tomates ont été observées à la récolte et leur comportement physiologique a été étudié pen-

dant une phase d'entreposage à basse température.

● matériel et méthode

matériel végétal et conditions d'entreposage

Les quatre cultivars de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) testés, respectivement E110-26, Caruso, BS-56 et Vision, couramment utilisés en cultures industrielles, ont été fournis par la compagnie Enza Zaden (Hollande) et cultivés sous serre ; les fruits ont été récoltés au stade vert (*mature green* : MG). Pour améliorer l'homogénéité du degré de maturité des tomates observées au cours de ces travaux, les fruits de même âge (même nombre de jours après l'anthèse) ont été récoltés en s'appuyant sur la charte définie par l'USDA (USDA Marketing Service, 1976).

L'entreposage a été effectué au froid, à 12 °C, sous un flux d'air continu à près de 100 % d'humidité relative (DALI et al, 1992 a et b).

dispositif expérimental et analyses statistiques

Douze récipients en plastique, de 26,7 l, fermés, ont été utilisés pour le stockage des tomates. Chaque répétition, trois au total, a été constituée par quatre de ces récipients (un par cultivar). Chacun d'eux a été subdivisé en cinq lots expérimentaux, représentant les cinq dates d'analyse.

Les résultats ont été soumis à une analyse de variance appliquée à un dispositif en blocs complets avec répétition des mesures (SAS, 1985). L'homogénéité de la variance a été vérifiée au moyen du test Bartlett Standard (ANDERSON et MCLEAN, 1974). Les moyennes ont été séparées selon le test de Duncan (SAS, 1985).

paramètres physiologiques

Pour prévenir l'accumulation de gaz dans les conteneurs, la composition de l'atmosphère en CO₂, O₂ et C₂H₄ a été vérifiée chaque jour par CPG (Fisher-Hamilton Gas Partitioner, model 29, Fisher-Scientific, Ottawa, ON, Canada). Par ailleurs, certains autres paramètres ont été évalués : sucres solubles, acidité titrable, fermeté et couleur. La qualité commerciale des fruits a été appréciée par un panel de trois groupes de

personnes (CHRISTI et KADER, 1983), à partir du barème suivant : 10 pour une tomate saine, ferme et commercialisable, 1 pour une tomate peu ferme, infectée et sans valeur commerciale.

méthodes analytiques

Le taux de sucres solubles a été mesuré à l'aide d'un réfractomètre (Bausch & Lomb, série optique YB 3301, Bausch & Lomb, Rochester, NY) et exprimé en pourcentage de matière fraîche (DALI et al, 1992a).

L'acidité titrable a été évaluée par titration sur 10 g d'homogénéat. Le titrage a été réalisé par une solution d'hydroxyde de sodium (0,1 N) à un pH de 8,1. La titration a été reportée en acide citrique, qui est le principal acide présent dans le jus de tomate (DAVIES et HOBSON, 1981).

La fermeté a été mesurée sur dix disques de tomates de 3 cm de diamètre, au moyen d'un tensiomètre de type Instron Universel Instrument (modèle 29). Le poinçon utilisé, de 1,12 cm de diamètre, était enfoncé à une vitesse de 20 cm/min et pénétrait le fruit à une profondeur de 1 cm (DALI et al, 1992a). La fermeté a été exprimée en N/cm.

La couleur a été évaluée par colorimétrie (Hunter L a b, Colorgard system 1000/05, Gardner Neotel, Pacific Scientific, Silverspring, MD) et exprimée en TCI (*tomato color index*), selon la formule :

$$TCI = a/L \times [L/(a^2 + b^2)] \text{ (YEATMAN et al, 1960).}$$

L, a et b sont des valeurs chromatiques lues sur le colorimètre, lors de la mesure de la coloration de l'échantillon. La valeur L traduit le degré de luminosité, alors que a et b rendent compte de la teinte (FRANCIS, 1980).

La respiration et l'émission d'éthylène ont été évaluées à 12 °C sur quatre tomates de chaque cultivar, placées dans un récipient étanche. Les teneurs en CO₂ et en C₂H₄ accumulées pendant 2 heures, ont été mesurées à l'aide d'un chromatographe GLC (MAKHLOUF et al, 1989). L'évaluation, exprimée en ml de CO₂/kg/h, a tenu compte du poids de l'échantillon, du volume résiduel du récipient et du temps d'incubation.

● résultats et discussion

Des changements spécifiquement associés à la maturation et à la sénescence des tomates, tels que le changement de couleur, le ramollissement, l'apparition du pic climactérique avec augmentation de la production d'éthylène et de l'activité respiratoire, ont pu être observés au cours de l'entreposage. À la fin de cette phase, l'évaluation visuelle a montré que les cultivars Caruso et BS-56 présentaient la meilleure aptitude à la conservation (fig 1).

acidité titrable et sucres solubles

D'une manière générale, les acides organiques et les sucres représentent les principaux composés de l'arôme des tomates (DE BRUYN et al, 1971 ; STEVEN et al, 1977). Dans les analyses effectuées, ces teneurs en acides organiques et en sucres solubles, mesurées au moment de la récolte, ont été variables d'un cultivar à l'autre (figs 2 et 3).

Aucune corrélation entre la teneur en sucres solubles et l'aptitude à la conservation des cultivars n'a été mise en évidence.

Comme l'avaient déjà observé DAVIES et HOBSON (1981), durant les premiers jours de stockage,

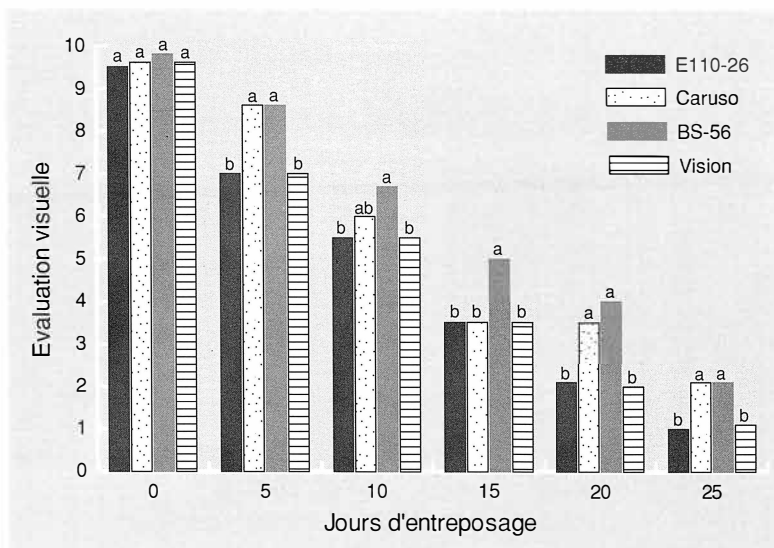


Figure 1
Évaluation visuelle de la qualité de quatre cultivars de tomate à l'issue de 25 jours d'entreposage à 12 °C. Échelle de notation : indice 10 = tomate ferme, saine et commercialisable ; indice 1 = tomate molle, infectée et non commercialisable. Les barres d'histogramme surmontées d'une même lettre représentent des valeurs qui ne sont pas significativement différentes selon le test de Duncan ($P \leq 0,05$).

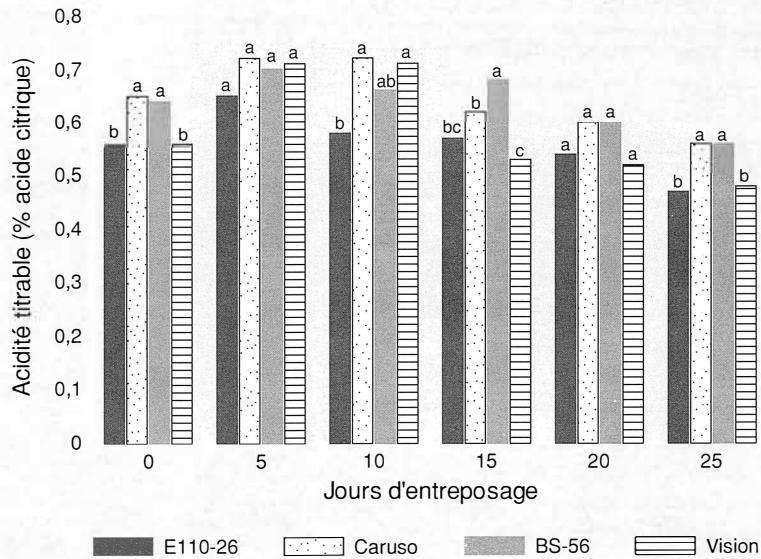


Figure 2

Évolution de l'acidité titrable moyenne (% d'acide citrique) des fruits de quatre cultivars de tomate au cours de 25 jours d'entreposage à 12 °C. Les barres d'histogramme surmontées d'une même lettre représentent des valeurs qui ne sont pas significativement différentes selon le test de Duncan ($P \leq 0,05$).

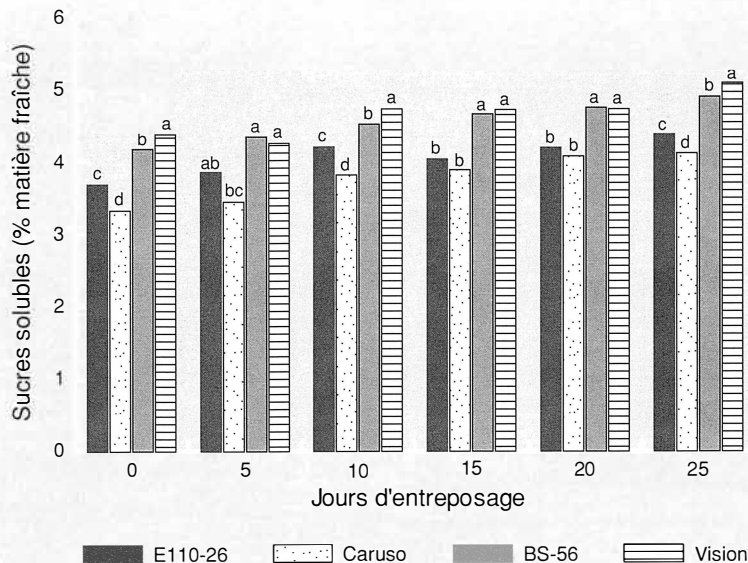


Figure 3

Évolution des sucres solubles (% matière fraîche) dans les fruits de quatre cultivars de tomate au cours de 25 jours d'entreposage à 12 °C. Les barres d'histogramme surmontées d'une même lettre représentent des valeurs qui ne sont pas significativement différentes selon le test de Duncan ($P \leq 0,05$).

l'acidité titrable a eu tendance à augmenter pour diminuer par la suite. Au moment de la récolte et en fin d'entreposage, les cultivars présentant la plus forte acidité ont été Caruso et BS 56, mais cette tendance ne s'est pas maintenue tout au long de l'entreposage. Des résultats similaires ont été rapportés chez la fraise par DALI et al (1992a).

fermeté des fruits

Au moment de la récolte, la fermeté des tomates était très différente d'un cultivar à l'autre (fig 4). Le cultivar Caruso présentait les fruits les plus fermes, il était suivi de la variété BS-56 ; ces fruits sont restés les plus fermes pendant les 25 jours d'entreposage.

Le maximum de ramollissement a coïncidé avec le pic climactérique. D'après BRADY et al (1983), ce phénomène, chez la tomate, est principalement dû à la dégradation des parois cellulaires par l'enzyme polygalacturonase. Puisque le ramollissement des tomates des cultivars Caruso et BS-56 est positivement corrélé avec la durée de conservation, la sélection de tomates fermes à la récolte serait apte à prolonger la durée d'entreposage.

coloration des tomates

Comme l'avaient déjà signalé D'SOUZA et al, (1992), au moment de la récolte, il n'est apparu que peu de différences de couleur des fruits d'une variété à l'autre (fig 5). Au cours de la période d'entreposage, l'intensité de la coloration a augmenté, et pendant les 15 premiers jours, Caruso et BS-56 ont montré l'indice de TCI le plus faible, ce qui signifierait que leur maturation a été plus lente que celle des deux autres variétés (E110-26 et Vision).

activité respiratoire

Au cours des premiers jours d'entreposage, l'activité respiratoire diminue (fig 6) ; en 3 jours, le gaz carbonique dégagé par le cultivar Caruso est passé de 12,58 ml (jour de récolte) à 6,70 ml de $\text{CO}_2/\text{kg}/\text{h}$; les autres variétés étudiées ont présenté une baisse comparable.

Après 7 jours de stockage à 12 °C, la production de CO_2 a atteint des valeurs maximales de 19,51 à 27,39 ml de $\text{CO}_2/\text{kg}/\text{h}$ selon la variété. Le

moment où apparaît ce pic respiratoire précède la période du dégagement de quantités maximales d'éthylène qui s'établit au bout de 8 ou 9 jours de stockage environ, selon les variétés (fig 8).

Aucune corrélation n'a été observée entre l'intensité de l'activité respiratoire mesurée au moment de la récolte et les potentialités de conservation des cultivars. Cependant, il est possible de quantifier la baisse de cette activité, mise en évidence au début de la phase de stockage des tomates, par le calcul d'un taux (T_r) de diminution de la respiration :

$$T_r = \frac{(\text{quantité de CO}_2/\text{kg/h dégagée pendant le jour } i) - (\text{quantité de CO}_2/\text{kg/h dégagée pendant le jour } i + 1)}{\text{quantité de CO}_2/\text{kg/h dégagée pendant le jour } i}$$

La comparaison de ces taux T_r , mesurés pendant les 4 premiers jours d'entreposage pour chacun des cultivars testés (fig 7), montre que les variétés les plus adaptées à la conservation (Caruso et BS-56) présentent une diminution plus rapide de leurs taux d'activité respiratoire.

Ainsi, ce ne serait pas l'intensité de l'activité respiratoire à la récolte qui constituerait le meilleur indice d'aptitude à la conservation des tomates au froid, mais le degré de ralentissement de ce phénomène, qui se révèle être alors davantage corrélé avec la durée de conservation des fruits : plus l'intensité de l'activité respiratoire diminue rapidement au début de l'entreposage, moins l'utilisation des réserves du fruit est importante et plus la durée de conservation pourra être longue.

Par ailleurs, la comparaison des taux d'éthylène dégagés a montré que les cultivars qui se conservaient le mieux présentaient un pic de production d'éthylène ($3,15 \mu\text{l C}_2\text{H}_4/\text{kg/h}$ pour la variété BS-56, $3,55 \mu\text{l C}_2\text{H}_4/\text{kg/h}$ pour la variété Caruso), moins prononcé et plus tardif que celui des deux autres cultivars E110-26 et Vision (fig 8). Cependant, cette observation, à elle seule, ne suffit pas à expliquer les différents comportements des cultivars vis-à-vis de leur aptitude à la conservation. En revanche, avec la diminution de l'activité respiratoire déjà signalée, elle contribue à identifier certaines caractéristiques du métabolisme des cultivars qui se conservent le mieux.

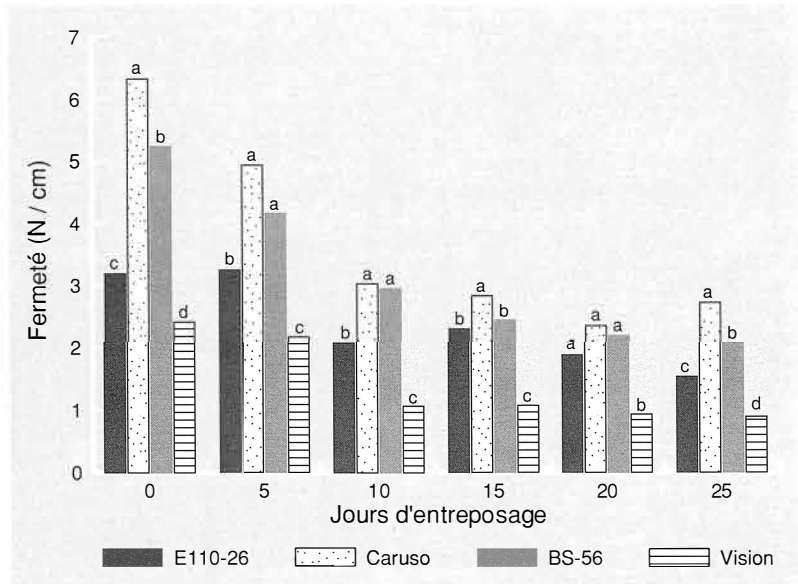


Figure 4
Évolution de la fermeté (N/cm) des fruits de quatre cultivars de tomate au cours de 25 jours d'entreposage à 12°C. Les barres d'histogramme surmontées d'une même lettre représentent des valeurs qui ne sont pas significativement différentes selon le test de Duncan ($P \leq 0,05$).

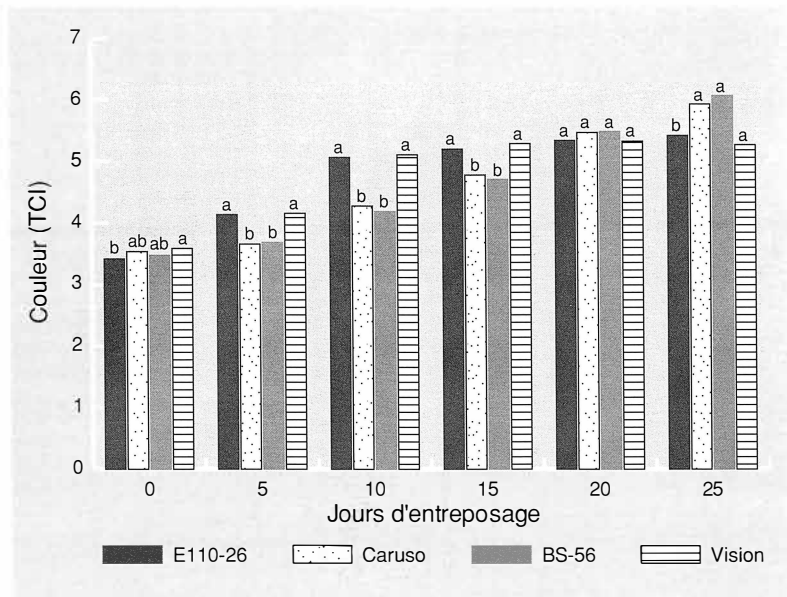


Figure 5
Évolution de la couleur (TCI : tomato color index) de quatre cultivars de tomate au cours de 25 jours d'entreposage à 12°C. Les barres d'histogramme surmontées d'une même lettre représentent des valeurs qui ne sont pas significativement différentes selon le test de Duncan ($P \leq 0,05$).

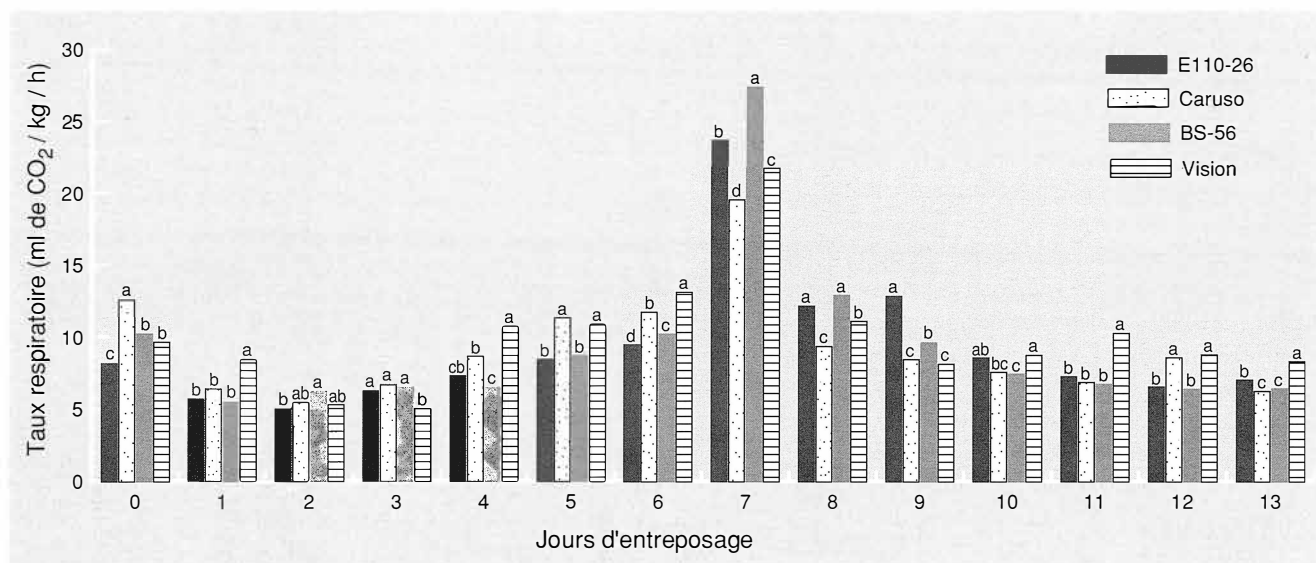


Figure 6
Mesure de l'activité respiratoire des fruits de quatre cultivars de tomate, au cours des 13 premiers jours d'entreposage à 12 °C. Les barres d'histogramme surmontées d'une même lettre représentent des valeurs qui ne sont pas significativement différentes selon le test de Duncan ($P \leq 0,05$).

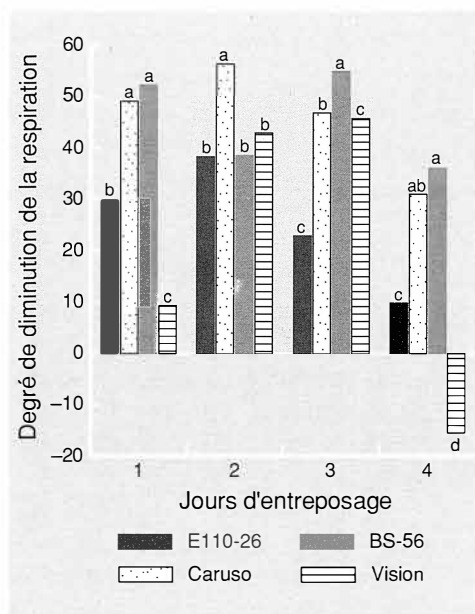


Figure 7
Degré de diminution de l'activité respiratoire T_r des fruits de quatre cultivars de tomate pendant les 4 premiers jours d'entreposage à 12 °C.
 $T_r = [(\text{quantité de } CO_2/\text{kg/h} \text{ dégagée pendant le jour } i) - (\text{quantité de } CO_2/\text{kg/h} \text{ dégagée pendant le jour } i+1)] / \text{quantité de } CO_2/\text{kg/h} \text{ dégagée pendant le jour } i$. Les barres d'histogramme surmontées d'une même lettre représentent des valeurs qui ne sont pas significativement différentes selon le test de Duncan ($P \leq 0,05$).

● conclusion

Les analyses effectuées ont mis en évidence des durées de conservation variables d'un cultivar à l'autre ; parmi les quatre variétés testées, Caruso et BS-56 ont présenté la meilleure aptitude à l'entreposage.

La fermeté et l'acidité se révèlent être des paramètres qui peuvent être utilisés au moment de la récolte pour évaluer la durée de conservation des tomates. La prise en compte de ces critères dans un programme d'amélioration devrait faciliter l'obtention de variétés intéressantes pour une bonne conservation à basse température.

L'intensité de l'activité respiratoire et la production d'éthylène au moment de la récolte ne semblent pas constituer de bons indices pour la sélection. Toutefois, le taux de ralentissement de cette activité respiratoire au début de l'entreposage, et le moment d'apparition du pic de dégagement d'éthylène, semblent pouvoir être liés à une augmentation de la durée de conservation.

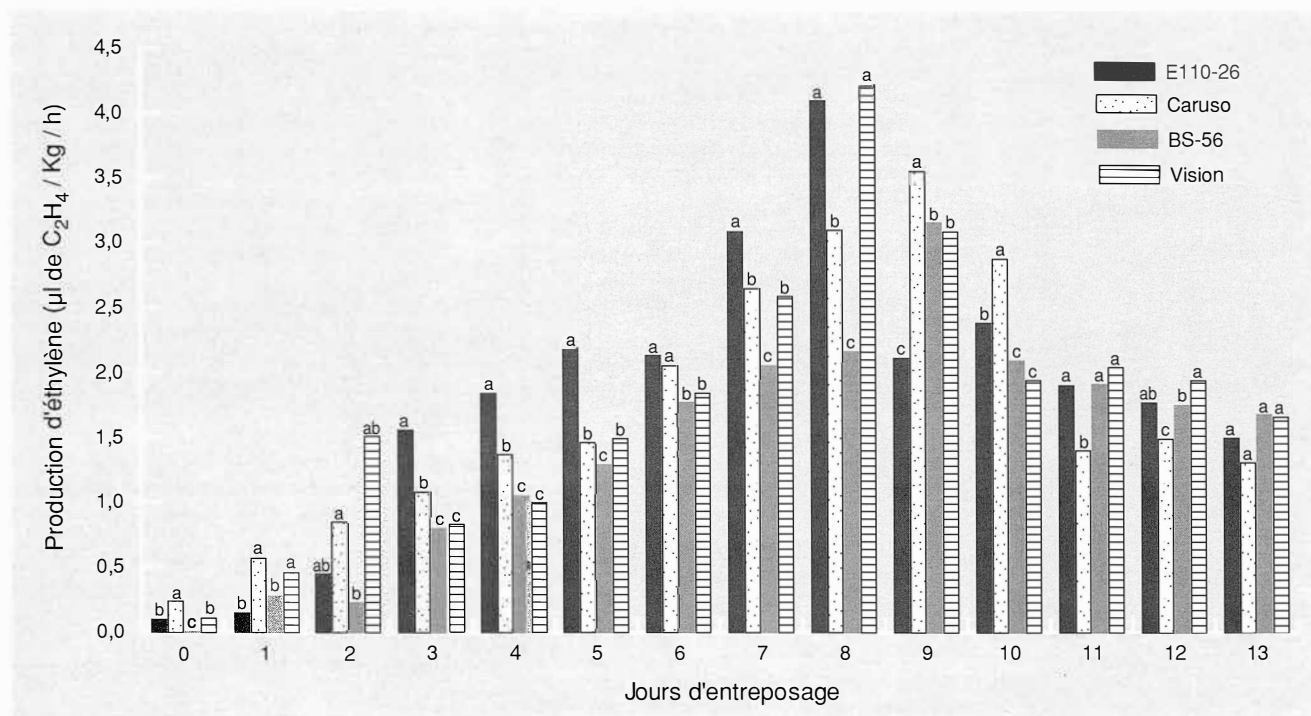


Figure 8

Production d'éthylène (μl de $\text{C}_2\text{H}_4/\text{kg}/\text{h}$) des fruits de quatre cultivars de tomate pendant les 13 premiers jours d'entreposage à 12°C .

Les barres d'histogramme surmontées d'une même lettre représentent des valeurs qui ne sont pas significativement différentes selon le test de Duncan ($P \leq 0,05$).

références

- Abdel-maksoud MM, Aziz A, Abdel-Kader AS, Abdel-Samie KA (1974) Influence of growing season and storage temperature on chilling injury of tomato fruits. *Egyptian J Hort* 1, 171-177
- Anderson VL, Mc Lean (1974) *Design of Experiments*. New York, USA, Dekker, 418 p
- Brady CJ, Meldrum S, Mc Glasson W, Ali Z (1983) Differential accumulation of the molecular forms of polygalacturonase in tomato mutants. *J Food Biochem* 7, 7-14
- Christi MH, Kader AA (1983) Procedures for the sensory evaluation of horticultural crops. *Hortscience* 18 (1), 18-22
- D'Souza MC, Singha S, Ingle M (1992) Lycopene conservation of tomato fruit can be estimated from chromaticity values. *Hortscience* 27 (5), 465-466
- Dali N, Desjardins Y, Willemot C (1993) Comparison of storage potential of five asparagus cultivars (*Asparagus officinalis* L). *Can J Plant Sci* 73, 601-606
- Dali N, Willemot C, Maklouf J, Arul J, Gosselin A, Desjardins Y (1992a) Comparison of storage potential of four canadian strawberry cultivars. *Adv Straw Res* 11, 17-20
- Dali N, Michaud D, Yelle S (1992b) Evidence for the involvement of sucrose phosphate synthase in the pathway of sugar accumulation in sucrose-accumulating tomato fruits. *Plant Physiol* 99, 434-438
- Davies JN, Hobson GE (1981) The constituents of tomato fruit. The influence of environment nutrition and genotype. *CRC Crit Rev Food Sci Nutr* 15, 205-280
- De Bruyn JW, Garresten F, Kooistra E (1971) Variation in taste and chemical composition of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Euphytica* 20, 214-227
- Denise MT, Kurt DK, Delila MS, Avtar KH (1995) Field performance of transgenic tomato with reduced pectin methylesterase activity. *J Am Soc Hort Sci* 120, 765-770
- Francis FJ (1980) Color quality evaluation of horticultural crops. *Hortscience* 15 (1), 58-59

- Goodenough PW, Tucker GA, Grierson D, Thomas TH (1982) Change in color, PG, monosaccharides and organic acids during storage of tomato. *Phytochemistry* 21, 281-286
- Gray J, Picton S, Schuch W, Grierson D (1992) Molecular biology of fruit ripening and its manipulation with antisense genes. *Plant Mol Biol* 19, 69-87
- Grierson D, Purton M, Knapp JE, Bathgate B (1987) Tomato ripening mutants. In : *Developmental mutants in higher plants*. New York, USA, H Thomas et D Grierson, eds, Cambridge Univ Press, 73-94
- Kader AA (1986) Effect of postharvest handling procedures on tomato quality. *Acta Hort* 190, 209-219
- King MM, Ludford PM (1983) Chilling injury and electrolyte leakage in fruit of different tomato cultivars. *J Am Soc Hort Sci* 108, 74-77
- Kramer M, Sanders R, Bolkan H, Waters C, Sheehy RE, Hiatt WR (1992) Postharvest evaluation of transgenic tomatoes with reduced levels of polygalacturase : processing, firmness and disease resistance. *Postharvest Biol Technol* 1, 241-255
- Makhlouf J, Willemot C, Arul J, Casteigne F, Emond JP (1989) Regulation of ethylene biosynthesis in broccoli flower buds in controlled atmospheres. *J Am Soc Hort Sci* 114, 955-958
- Robinson RW, Tomes ML (1968) Ripening inhibitor : a gene with multiple effect on ripening. *Tomato Genet Coop Rep* 18, 36-37
- Statistical Analysis System Institute (1985) *SAS user's guide: Statistics*. California, USA, SAS Institute, ed, Cary NC, 5th edition, 975 p
- Steven MA, Kader AA, Alberight M, Algari M (1977) Genotypic variation for flavour and composition in fresh market tomatoes. *J Am Soc Hort Sci* 102, 680-690
- Steven MA, Kader AA, Albright-Holton M (1979) Potential for increasing tomato flavour via increased sugar and acid content. *J Am Soc Hort Sci* 104, 40-42
- Steven MA (1986) Inheritance of tomato fruit quality components. *Plant Breed Rev* 4, 273-311
- Theologis A, Zarembinski TI, Oeller PW, Liang X, Abel S (1992) Modification of fruit ripening by suppressing gene expression. *Plant Physiol* 100, 549-551
- Tieman DM, Handa AK (1994) Pectin methylesterase regulates cation levels and tissue integrity in ripening tomato fruits. *Plant Physiol* 106, 429-436
- Tigchelaar EC, Mc Glasson WB, Buescher RW (1978) Genetic regulation of tomato fruit ripening. *Hortscience* 13, 508-513
- USDA Marketing Service (1976) United States standards for grades of fresh tomatoes. *Fed Reg* 41, 11464
- Yeatman JN, Sidwell AP, Norris KH (1960) Derivation of a new formula for computing raw tomato juice color from objective measurement. *Food Technol* 14, 16-20