

Mûrissement des tomates en fin de culture: l'éthylène à la rescousse!

Céline GILLI, Cédric CAMPS et Jürg STALDER¹, Agroscope, 1964 Conthey

¹Carbagas, Hofgut – 3073 Gümligen

Renseignements: Céline Gilli, e-mail: celine.gilli@agroscope.admin.ch, tél. +41 27 345 35 19, www.agroscope.ch



Evolution de la coloration d'une grappe de tomate dans la serre avec injection d'éthylène entre le 9 et le 22 novembre 2012.

Introduction

La maturation des fruits est un mécanisme complexe qui entraîne des modifications de leur coloration (du vert au rouge pour les tomates), de la texture, de la saveur et des arômes. Selon leur mécanisme de maturation, les fruits sont classés en deux groupes: climactériques et non-climactériques. Dans le premier cas, la maturation est accompagnée d'un pic dans la respiration et d'une synthèse importante d'éthylène. Dans le deuxième cas, la respiration n'évolue pas et la production d'éthylène demeure à un niveau faible. La tomate fait partie des fruits climactériques. Sa maturation peut donc être accélérée par l'application d'éthylène à des doses de l'ordre du ppm (Salveit 2005). L'éthylène intervient également dans d'autres processus comme l'abscission et la sénescence (Salveit 1999).

En fin de culture, jusqu'à 4 kg/m² de tomates vertes peuvent demeurer sur les plantes en serre (Andreas 2012). En raison des conditions climatiques automnales, la maturation est lente et la culture doit être chauffée plus longtemps. Actuellement, on utilise de l'éthéphon pour accélérer la maturation des dernières tomates. L'éthylène pourrait donc constituer une solution inté-

ressante pour faire mûrir rapidement les fruits encore présents sur les plantes, et ainsi augmenter les rendements tout en réduisant la consommation d'énergie, sans risque de résidus. Une telle application limiterait également le gaspillage de tomates pas tout à fait prêtes à la consommation, mais pour lesquelles de l'eau, de l'engrais et de l'énergie ont été utilisés. En collaboration avec la société Carbagas, un essai a été mis en place par Agroscope en 2012 et 2013 afin d'évaluer l'effet de l'injection d'éthylène, directement dans une serre, sur la maturation des dernières grappes de tomate.

Matériel et méthodes

Dispositif expérimental

Les essais ont été conduits dans deux compartiments identiques d'une serre de type Venlo, avec double aération, hauteur sous chéneau de 4,7 m et d'une surface de 358,4 m² chacun. Un des compartiments servait de témoin et dans l'autre de l'éthylène a été injecté. Les consignes de chauffage, d'aération et d'irrigation étaient les mêmes dans les deux compartiments pendant la période d'injection de l'éthylène.

En 2012, trois variétés de tomates Levanzo, Endeavour et Kommeet greffées sur trois porte-greffe Maxi-fort, Emperador et DRO141 ont été plantées le 3 janvier. Les porte-greffe n'ayant pas d'effet significatif sur les rendements, les résultats ont été regroupés par variété. En 2013, une seule variété, Endeavour greffée sur Kaiser, a été plantée le 14 février. Des plants à deux têtes ont été installés à une densité de 3,5 tiges/m². Les deux années, les cultures ont été menées sur un substrat de fibre de coco, avec recyclage complet de la solution nutritive sans désinfection.

Chaque compartiment comportait quatre répétitions. Une parcelle élémentaire était constituée de six à dix plantes par variété et porte-greffe en 2012 et de cinquante-quatre plantes en 2013. Les grappes étaient taillées à cinq fruits.

Injection d'éthylène

L'éthylène pur est un gaz inflammable. Son utilisation doit respecter la réglementation des zones à atmosphère explosive. Pour cette raison, une installation destinée au mûrissement des bananes a été utilisée comme source d'éthylène (fig.1). Le mélange de gaz contient 4 % d'éthylène et de l'azote. Le réseau de distribution du CO₂ a servi pour l'injection de l'éthylène dans la serre. Le taux a été fixé à 10 ppm dans la serre. L'éthylène était injecté la nuit de 19 h à 8 h. En 2012, l'injection a eu lieu pendant neuf nuits et pendant dix nuits en 2013. La première injection a été effectuée, les deux années, dans la nuit du 8 au 9 novembre.

Observations et mesures

Le taux d'éthylène a été enregistré dans la serre avec injection (données Carbagas).



Figure 1 | Installation pour l'injection de l'éthylène: bouteilles de gaz, appareil de régulation de l'injection et capteur installé dans la culture.

Résumé En fin de culture, plusieurs kilos de tomates par m² attendent d'être récoltés. L'accélération de la maturation des dernières tomates en serre permet d'économiser de l'énergie et d'éviter de devoir jeter des fruits pas tout à fait prêts à la consommation. Actuellement, la maturation peut être hâtée en appliquant de l'éthéphon. Une autre alternative est d'injecter de l'éthylène, une hormone naturelle, directement dans la serre. Agroscope a testé, en collaboration avec la société Carbagas, l'effet de cette technique sur la maturation des tomates. En moyenne, l'injection d'éthylène a permis de récolter 15000 grappes/ha en plus, soit 7500 kg/ha (+1,5 % du rendement total) par rapport au compartiment témoin. La qualité analytique des tomates à la récolte (acidité, fermeté et substances solubles totales) n'a été que peu influencée par l'apport d'éthylène. Économiquement, une telle application paraît rentable, mais l'injection d'éthylène en serre doit encore faire l'objet d'une autorisation.

Les rendements (nombre de grappes/m² et kg/m²) ont été suivis sur trois récoltes en 2012 (13, 20 et 23 novembre) et en 2013 (11, 15 et 20 novembre).

La qualité des fruits (acidité totale, fermeté et substances solubles totales) a été mesurée dans les deux compartiments avant et après l'injection d'éthylène. Les analyses portaient sur dix fruits par parcelle élémentaire, au stade de maturité 11/12 (OCDE) et de calibre uniforme. La fermeté des fruits a été mesurée au pénétromètre Durofel (Durofel, COPA-Technologie SA/CTIFL), muni d'un embout de 0,25 cm² (indice de 1 à 100). La teneur en substances solubles (°Brix) était mesurée au réfractomètre (ATAGO C.O., LTD, Model PR-1) et l'acidité totale par titration à 0,1 N NaOH (Metrohm, 719S, Titrino). Pour ces deux mesures, les fruits ont été broyés dans un presse-tomate électrique (modèle testarossa, PastorinoCASA, Italie), de manière à obtenir une purée exempte de graines et de peau. Cette purée a été centrifugée (9000 rpm, 2 min) et le surnageant récupéré afin de mesurer la teneur en matières solubles et l'acidité.

Les composantes a* (axe rouge-vert), b* (axe jaune-bleu) et L* (luminosité) de la couleur des fruits utilisés pour l'analyse de qualité ont été mesurées à l'aide d'un chromamètre Konica Minolta CR-400. Deux mesures, en position équatoriale, ont été effectuées par fruit. Puis le Hue ($\text{Arctan}(b^*/a^*)$) et le rapport a^*/b^* ont été calculés. Selon López *et al.* (2004), ces deux indices de

couleur peuvent être utilisés comme indicateurs objectifs de maturation et donnent une estimation réaliste de la perception des consommateurs pour des fruits mûris sur la plante.

Analyses des résultats

Les données de rendement et de qualité des fruits ont été traitées par analyse de variance, suivie d'un test de Tukey de comparaison des moyennes au seuil de 5% (logiciel XLSTAT).

Résultats et discussion

Taux d'éthylène dans la serre

Les taux moyens d'éthylène enregistrés le jour et la nuit dans la serre avec injection sont résumés dans le

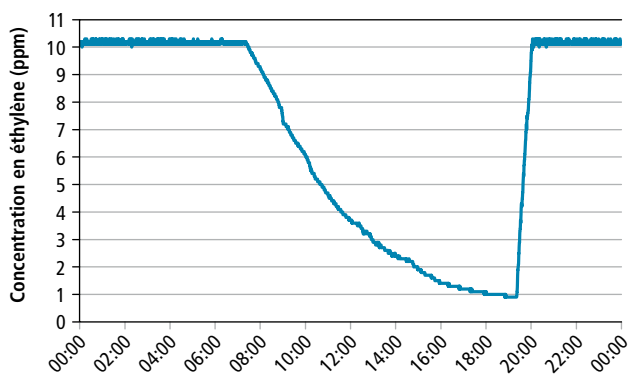


Figure 2 | Suivi de la concentration en éthylène (ppm) dans la serre avec injection au cours de la journée du 15 novembre 2013.

Tableau 1 | Concentration en éthylène dans la serre avec injection. Moyenne nuit (19 h–7 h) et jour (7 h–19 h)

Date	Concentration en éthylène (ppm)	
	Nuit	Jour
08.11.2013	9,6	
09.11.2013	9,6	3,4
10.11.2013	9,7	4,7
11.11.2013	9,6	3,1
12.11.2013	9,7	3,1
13.11.2013	9,9	6,4
14.11.2013	9,6	4,2
15.11.2013	9,6	4,0
16.11.2013	9,5	2,9
17.11.2013	9,6	3,8
18.11.2013	9,6	3,3
19.11.2013	8,9	4,6

tableau 1. La figure 2 illustre la dynamique d'accumulation de l'éthylène la nuit et la diminution durant la journée. A partir de 19h, la concentration en éthylène augmente rapidement dans la serre pour atteindre 10ppm aux alentours de 20h. Durant la nuit, le taux d'éthylène reste stable, puis au cours de la journée, il diminue régulièrement pour atteindre moins de 1 ppm en fin de journée (fig.2). La concentration moyenne pendant la période d'injection (19 h à 7 h) varie de 8,9 à 9,9 ppm et de 2,9 à 6,4 ppm pendant la journée (tabl.1).

Rendements

Le rendement, en nombre de grappes récoltées/m² et en kg/m², est significativement plus élevé dans la serre avec injection d'éthylène (tabl.2). En moyenne, 1,6 grappe/m², soit 0,8 kg/m² (entre 0,7 et 0,9 kg/m²), a été récoltée en plus en 2012 et 1,4 grappe/m² soit 0,5 kg/m² en 2013. Les compartiments expérimentaux étant contigus, il est possible que le compartiment sans apport d'éthylène en ait reçu de faibles doses: une mesure ponctuelle effectuée dans ce compartiment a mis en évidence des pics d'éthylène pouvant aller jusqu'à 4 ppm. Ainsi, l'effet sur les rendements est probablement plus élevé. Le gain de rendement est similaire chez les différentes variétés. Des essais réalisés en Allemagne (Andreas 2012) ont également montré que l'injection d'éthylène dans la serre accélérât la maturation des fruits. Les trois concentrations testées (5, 10 et 15 ppm), appliquées jour et nuit, ont eu le même effet sur la maturation. En Hollande, une concentration

Tableau 2 | Nombre de grappes récoltées, rendements et poids moyen des fruits avec et sans injection d'éthylène pour trois variétés de tomates en 2012 et pour une variété en 2013. Moyenne de quatre répétitions

Année	Variété	Facteurs de rendement	Sans éthylène	Avec éthylène
2012	Kommeet	Nb. de grappes récoltées/m ²	3,5a	5,1b
		Rendements (kg/m ²)	1,6a	2,5b
		Poids moyen des fruits (g)	107,5	107,2
	Levanzo	Nb. de grappes récoltées/m ²	3,7a	5,2b
		Rendements (kg/m ²)	1,5a	2,2b
		Poids moyen des fruits (g)	90,4	96,0
	Endeavour	Nb. de grappes récoltées/m ²	3,5a	5,1b
		Rendements (kg/m ²)	1,3a	2,2b
		Poids moyen des fruits (g)	87,1	93,4
2013	Endeavour	Nb. de grappes récoltées/m ²	6,4a	7,8b
		Rendements (kg/m ²)	2,6a	3,1b
		Poids moyen des fruits (g)	99,9	98,5

Les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes à $P < 0,05$, pour une même année et une même variété.

beaucoup plus faible de 1,3 ppm pendant trois jours a permis d'accélérer nettement la maturation des tomates (Janse 2012). Ces résultats indiquent qu'une concentration inférieure à 10 ppm pourrait être efficace. De plus, le gain de rendement réalisé est du même ordre qu'avec une application d'éthéphon, un précurseur de l'éthylène: lors d'un essai réalisé en 2009, une application d'éthéphon avait augmenté le rendement de 0,5 kg/m² (Gilli 2009).

Qualité

La qualité (acidité, fermeté, °Brix) des tomates des deux serres était la même avant l'injection d'éthylène, sauf chez la variété Levanzo (données non présentées), dont les fruits étaient moins fermes dans la serre sans injection d'éthylène.

L'éthylène n'a pas eu d'effet sur l'acidité totale des tomates (tabl. 3). Celle-ci était par contre influencée par la variété, Levanzo et Kommeet se distinguant par une acidité plus élevée et Endeavour par une acidité intermédiaire.

La teneur en substances solubles totales n'a pas été modifiée avec l'injection d'éthylène (tabl. 3). Là encore, les différences observées sont liées aux variétés.

En 2012, l'éthylène a augmenté la fermeté des fruits de la variété Endeavour (tabl. 3). Les tomates sont récoltées en fonction de leur couleur. Or, d'un côté, l'éthylène stimule la dégradation de la chlorophylle et la synthèse des pigments et, de l'autre, régule de nombreuses enzymes impliquées dans le ramollissement

des fruits (Alexander et Grierson 2002). Il est possible que ces effets ne soient pas simultanés et que le changement de coloration ait précédé le ramollissement. Ces résultats montrent également que toutes les variétés ne réagissent pas de la même manière à l'éthylène. Selon Salveit (1999), plusieurs facteurs déterminent la réponse des plantes à une exposition à l'éthylène, dont notamment la variété, mais aussi les pratiques culturales, le stade de développement et la température.

Aucune différence de coloration (Hue et Tomato Color Index) n'a été constatée entre les tomates des deux procédés (tabl. 4).

Analyse économique

L'injection d'éthylène a permis de récolter 16 000 grappes en plus par hectare en 2012 et 14 000 en 2013, soit environ 5000 à 8000 kg/ha (+1 à 2 % du rendement total), par rapport au compartiment témoin sans injection d'éthylène. Ce gain est dépendant du prix du marché mais représente entre 7500 et 12 000 CHF/ha (prix du kg de tomate évalué à 1,50 CHF). Quant aux coûts de l'installation (amortis sur dix ans) et de l'éthylène, ils sont estimés à 700 CHF/ha par Carbagas. En Allemagne, les recettes de la vente des tomates sont estimées à 20 000 €/ha, et le coût du processus de maturation à 1000 €/ha (Andreas 2012). Le gain est plus conséquent que celui obtenu dans nos essais. L'application d'éthylène jour et nuit a peut-être un meilleur effet sur la maturation des tomates qu'une application seulement pendant la nuit.

Tableau 3 | Acidité totale, fermeté et substances solubles totales avec et sans injection d'éthylène de trois variétés de tomates en 2012 et d'une variété en 2013. Moyenne de quatre répétitions

Année	Variété	Facteurs de rendement	Sans éthylène	Avec éthylène
2012	Kommeet	Acidité totale (méq/100 g)	6,0	5,9
		Fermeté (Indice Durofel)	76,9	79,2
		Substances solubles (°Brix)	3,9	4,0
	Levanzo	Acidité totale (méq/100 g)	6,7	6,8
		Fermeté (Indice Durofel)	75,9	78,9
		Substances solubles (°Brix)	4,2	4,4
Endeavour	Acidité totale (méq/100 g)	6,3	6,3	
	Fermeté (Indice Durofel)	75,6b	81,1a	
	Substances solubles (°Brix)	4,0	4,2	
2013	Endeavour	Acidité totale (méq/100 g)	5,9	5,6
		Fermeté (Indice Durofel)	–	–
		Substances solubles (°Brix)	4,0	3,9

Les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes à $P < 0,05$, pour une même année et une même variété.

Tableau 4 | Hue et Tomato Color Index de la variété Endeavour avec et sans injection d'éthylène. Moyenne de quatre répétitions

Année	Variété	Facteurs	Sans éthylène	Avec éthylène
2013	Endeavour	Hue	29,5	29,5
		a*/b*	0,90	0,91

Hue = $\arctan(b^*/a^*)$

Conclusions

- L'injection d'éthylène a permis d'augmenter les rendements de 7500 kg/ha (+1,5 %).
- La qualité analytique des tomates à la récolte (acidité, fermeté et substances solubles totales) n'a été que peu influencée par l'apport d'éthylène.
- Même si un système de distribution adapté doit encore être développé pour les serres, l'application d'éthylène semble néanmoins économiquement rentable.
- L'injection d'éthylène en serre doit encore obtenir une homologation.

Summary**■ Tomato ripening at the end of the culture: ethylene to the rescue!**

At the end of tomato crop, several kg/m² of tomatoes are still to be harvested. Accelerating last tomatoes maturation in greenhouses at the end of the culture enables energy saving and avoids having to throw away tomatoes that are not quite ready for consumption. It is currently possible to accelerate the ripening of tomatoes by applying ethephon. An alternative is the injection of ethylene, a naturally produced hormone, directly in the greenhouse. In collaboration with the company Carbagas, Agroscope tested the effect of an ethylene injection in the greenhouse on ripening tomatoes. In average over the two years, the injection of ethylene enabled to harvest 1.5 truss/m² or 0.75 kg/m² more compared to the control compartment (1.5 % of the total yield). The addition of ethylene only slightly influenced the analytical quality of tomatoes at harvest (acidity, firmness and total soluble substances). Such an application seems to be economically profitable, but the agreement for ethylene injection in greenhouses must still be obtained.

Key words: ethylene injection, ripening acceleration, greenhouse.

Zusammenfassung**■ Ethylen als Retter für den Reifeprozess von Tomaten bei Kulturrende**

Am Ende einer Kultur im Herbst warten noch mehrere kg/m² Tomaten darauf, geerntet zu werden. Die Beschleunigung des Reifeprozesses der letzten Tomaten ermöglicht eine Energieeinsparung und verhindert, dass die für den Verzehr nicht ausreichend ausgereiften Tomaten vernichtet werden müssen. Zurzeit ist es möglich, den Reifeprozess von Tomaten durch die Anwendung von Etephon zu beschleunigen. Eine Alternative dazu ist die Anwendung von Ethylen, einem natürlichen Hormon, direkt im Gewächshaus. In Zusammenarbeit mit der Unternehmung Carbagas hat Agroscope die Wirkung der Ethylen-Freisetzung im Gewächshaus auf den Reifeprozess von Tomaten getestet. Im Vergleich zur Ernte in einem Standard-Gewächshaus konnte die Ernte dank Ethylen-Anwendung im Durchschnitt um 15000 Rispen/ha, d.h. um 7500 kg/ha (+1,5 % des Gesamtertrags) erhöht werden. Die analytische Qualität der Tomaten zum Erntezeitpunkt (Säure, Festigkeit und lösliche Substanzen) ist durch die Ethylen-Zuführung nur gering beeinflusst worden. Aus wirtschaftlicher Sicht scheint eine solche Anwendung rentabel zu sein. Für die Ethylen-Freisetzung im Gewächshaus muss jedoch noch eine Bewilligung eingeholt werden.

Riassunto**■ Maturazione dei pomodori a fine coltura: etilene alla riscossa!**

A fine coltura, diversi kg/m² di pomodori aspettano di essere raccolti. L'accelerazione della maturazione degli ultimi pomodori in serra permette di risparmiare energia e evitare di dover buttare dei pomodori non del tutto pronti per il consumo. Attualmente è possibile accelerare la maturazione dei pomodori applicando dell'etefon. Un'alternativa è l'iniezione direttamente in serra di etilene, un ormone naturale. Agroscope ha testato in collaborazione con la società Carbagas l'effetto di un'iniezione d'etilene effettuata direttamente in serra sulla maturazione dei pomodori. Mediamente, l'iniezione d'etilene ha permesso di raccogliere 15000 grappoli/ha in più, ossia 7500 kg/ha (+1,5 % della resa totale) rispetto al settore testimone. L'apporto di etilene ha influenzato solo poco la qualità analitica dei pomodori al raccolto (acidità, fermezza e sostanze solubili totali). Economicamente parlando una tale applicazione sembrerebbe redditizia. Ma un'autorizzazione per l'iniezione d'etilene effettuato direttamente in serra deve ancora essere ottenuta.

Remerciements

Toute l'équipe du groupe de recherche Cultures sous serre d'Agroscope ainsi que les apprentis qui ont participé à ces expérimentations et le D^r L. Collet, Grangeneuve, sont remerciés pour leur précieux travail.

Bibliographie

- Alexander L. & Grierson D., 2002. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. *Journal of experimental Botany* 377 (53), 2039–2055.
- Andreas C., 2012. Maturation des tomates au gaz d'éthylène. *Der Gemüsebau/Le Maraîcher* 1, 35.
- Gilli C., 2009. Effet de l'Etephon LG sur la maturation et la qualité des tomates. *Der Gemüsebau/Le Maraîcher* 4, 25.
- Janse J., 2012. Report: The effect of ethylene on tomato ripening. Wageningen UR. Adresse: <http://www.wageningenur.nl/en/show/Report-The-effect-of-ethylene-on-tomato-ripening.htm> [26 février 2014]
- López Camelo A. F. & Gómez P. A., 2004. Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira* 22 (3), 534–537.
- Salveit M. E., 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 15, 279–292.
- Salveit M. E., 2005. Postharvest Biology and Handling. In: Tomatoes. CABI Publishing, Wallingford, 339 p.