

Economie d'énergie sous serre par intégration des températures en culture de tomate sur substrat

Céline GILLI, André GRANGES et Christoph CARLEN, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Centre de recherche Conthey, 1964 Conthey

Renseignements: Céline Gilli, e-mail : celine.gilli@acw.admin.ch, tél. +41 27 345 35 11



Mise en place de l'essai dans la serre témoin, année 2008.

Introduction

Le prix des énergies fossiles a fortement augmenté entre 2005 et 2008, +40 % pour le gaz naturel et +55 % pour le mazout (Anonyme, 2009). Cette augmentation se répercute directement sur les coûts de chauffage en cultures sous serre, et donc sur les coûts de production. A cette situation économique s'ajoutent des arguments environnementaux liés aux gaz à effet de serre. La réduction de la consommation d'énergie est donc au cœur des préoccupations des serristes. Plusieurs

axes permettent d'y parvenir, en améliorant la structure de la serre (isolation des parois, matériaux de couverture, écrans thermique etc.), la production et la distribution de chaleur (récupération de la chaleur sur les fumées de combustion, cogénération, stockage de chaleur etc.) ou les conduites climatiques. La solution de réduire simplement les consignes de température a été analysée (Elings *et al.* 2005; Granges *et al.* 2008). Une réduction de 2 °C permet d'économiser environ 16 % des besoins en énergie aux Pays Bas (Elings *et al.* 2005). Par contre, cette stratégie demande d'utiliser

des variétés adaptées pour éviter réductions de rendement et malformations de grappes. Une autre approche est l'adaptation des conduites climatiques par l'intégration des températures (IT), fondée sur la capacité des cultures à tolérer des écarts de température autour d'un optimum (De Koning, 1988; Körner et Challa, 2003). Concrètement, lors des journées ensoleillées, la consigne d'aération est augmentée. Ce gain de température de jour est compensé par des températures de nuit plus froides, afin d'obtenir une température moyenne sur 24 heures identique à celle d'une conduite classique. L'intégration des températures s'applique pendant les périodes de chauffage: en hiver, au début du printemps et éventuellement en automne. Elings *et al.* (2005) soulignent qu'il est souvent proclamé que l'intégration de température n'affecte pas le rendement mais que les données bien documentées sur cette technique sont rares.

Dans ce contexte, des essais d'intégration de température ont été mis en place par Agroscope Changins-Wädenswil ACW, en culture de tomate sur substrat, de 2006 à 2008. L'objectif de ces essais est de mesurer l'impact d'une conduite avec intégration de température sur 24 heures sur les économies d'énergie, les rendements, la qualité des tomates et l'évolution des maladies et ravageurs.

Matériel et méthodes

Dispositif expérimental

Les essais ont été conduits dans deux serres identiques de 90 m², munies d'une aération faîtière et deux aérations latérales continues, hautes de 2,9 m et orientées nord-sud. Elles sont équipées de verre Hortiplus en toiture, d'un double-vitrage latéral, d'un écran d'ombrière xls 15 de Svensson et d'aéroconvecteurs pour le chauffage. Une serre est conduite de façon classique (serre témoin) et l'autre avec intégration des températures sur 24 heures (serre IT).

La culture a été menée sur un substrat de fibre de coco, avec recyclage complet de la solution nutritive sans désinfection. Les plants ont été greffés, par nos soins, sur Maxifort (De Ruiter Seeds).

Résumé La modification des conduites climatiques par l'utilisation de l'intégration de température (IT) sur 24 heures est une des voies pour réaliser des économies d'énergie en cultures sous serre. Trois années d'essai de 2006 à 2008 en cultures de tomates sur substrat ont montré qu'une économie d'énergie de 15 à 30 % était possible. Deux années sur trois, le rendement annuel n'a pas été influencé par les différentes conduites de températures. Le rendement a été légèrement réduit par l'IT en première phase de culture, jusqu'à mi-juillet. Par contre, il a été plus élevé en deuxième phase grâce à des processus compensatoires, internes à la plante. En 2008, le rendement annuel a été pénalisé dans la serre IT, essentiellement à la suite de problèmes de nouaison pendant la deuxième phase de culture. En revanche, l'intégration de température n'a eu d'effet ni sur la qualité interne des fruits, ni sur le développement des ravageurs, auxiliaires et maladies. Les résultats confirment que l'intégration des températures est une méthode utile pour économiser de l'énergie. Les conditions à respecter afin d'éviter des diminutions de rendement, sont discutées.

Tableau 1 | Variétés, dates de plantation et périodes d'application de l'intégration des températures.

	Variétés (Obtenteur)	Date de plantation	Périodes IT
2006	Altess (DR) Albis (RZ)	22 février	27 février au 31 mai et 31 août au 27 octobre
2007	Altess (DR) Climberley (SG)	9 février	13 mars au 26 avril et 1 ^{er} septembre au 26 octobre
2008	Climberley (SG) Plaisance (DR)	31 janvier	14 février au 7 mai et 16 septembre au 3 novembre

DR: De Ruiter Seeds, RZ: Rijk Zwaan, SG: Syngenta Seeds.

IT: intégration de température.

Tableau 2 | Consignes de température de nuit, de jour et d'aération.

	Serre témoin			Serre IT		
	T _{nuit}	T _{jour}	T _{aération}	T _{nuit}	T _{jour}	T _{aération}
2006–2007	17 °C	19 °C	20–22 °C*	13–15 °C**	17 °C	20–26 °C*
2008	16 °C	18 °C	20 °C	13–16 °C**	18 °C	20–25 °C*

*Selon le rayonnement instantané. ** Selon le rayonnement global de la journée.

Les variétés et les dates de plantation sont présentées dans le tableau 1. En 2006 et 2007, des plants à une tête ont été cultivés à raison de 12 par parcelle élémentaire, à la densité de 2,3 tiges/m². En 2008, 7 ou 8 plants à 2 têtes ont été utilisés par parcelle élémentaire, à la densité de 2,85 tiges/m². Chaque essai comporte 4 répétitions.

La lutte biologique a été utilisée les trois années pour lutter contre les ravageurs. Les traitements fongicides ont été appliqués selon les indications de la production intégrée.

Conduite de l'intégration des températures

Après une période d'installation de 1 à 4 semaines, selon les années, où les consignes de chauffage et d'aération étaient identiques pour les deux serres, l'intégration des températures a été mise en place (tabl. 1). L'objectif était d'obtenir une température moyenne sur 24 heures identique dans les deux serres. Cette moyenne est relevée au lever du soleil. Les consignes de températures de nuit, de jour et d'aération sont résumées dans le tableau 2. Le seuil d'aération de jour est augmenté de 4 à 5 °C en fonction du rayonnement instantané. La température de nuit est abaissée au maximum de 4 °C en fonction du rayonnement global de la journée. Pour éviter les répétitions, la moyenne des températures moyennes est appelée ici moyenne des températures.

La serre est pilotée avec un ordinateur de gestion climatique (LCC 1240 DGT-Volmatic). La température de nuit dans la serre IT est calculée par un programme établi avec le logiciel Condilink de DGT-Volmatic.

Stade de floraison des bouquets

Les contrôles sont effectués une fois par semaine, toujours le même jour. Le bouquet en floraison le jour du contrôle est noté. Les trois années, les mesures ont été réalisées sur 2 plantes par variété et par répétition.

Analyses de la qualité des fruits

Les analyses portent sur 10 à 15 fruits par répétition, au stade de maturité 11/12 (OCDE) et de calibre uniforme. La fermeté des fruits a été mesurée à l'aide d'un appareil Durofel 25 (Copa Technologie), muni d'un embout de 0,25 cm² (indice de 1 à 100). L'indice de réfraction (°Brix) est donné par le réfractomètre Atago PR-1, l'acidité totale est mesurée par titration à 0,1 M NaOH (titrateur Mettler DL 25). Pour ces deux mesures, les fruits ont été broyés à l'aide d'un presse-tomate pour obtenir un jus sans graine et sans peau, selon la méthode décrite par Granges *et al.* (2003) et la purée ainsi obtenue a été filtrée. En 2008, des tests discriminatifs 2 parmi 5 ont été réalisés pour apprécier les différences sensorielles éventuelles entre les fruits des deux serres (Lespinasse *et al.* 2002). Une seule variété est dégustée lors d'un test.

Suivi des ravageurs et maladies

Une notation présence /absence des ravageurs et auxiliaires a été réalisée une fois par semaine sur 2 feuilles par variété et par répétition.

En 2008, le développement de l'oïdium a été suivi chaque semaine. 24 feuilles par variété et par parcelle ont été notées en 4 classes (0: pas de tache, 1: quelques taches, 2: moins de 50 % de la surface avec des taches, 3: plus de 50 % de la surface avec des taches). En présence de botrytis sur tiges, les chancre ont été dénombrés.

Analyses statistiques

Les valeurs moyennes d'hygrométrie sur 24 heures et les populations de *Macrolophus caliginosus* dans les deux serres ont été enregistrées et comparées avec un test de Mann-Whitney.

Une analyse de la variance a été effectuée pour comparer les rendements, le nombre de fruits/grappe, le nombre de grappes récoltées, le poids moyen des fruits et la qualité analytique des fruits (fermeté, acidité, sucre) entre les deux serres. Le seuil de signification est de 0,05. Les moyennes ont été comparées avec un test de Fisher.

Tableau 3 | Moyennes des températures de jour, de nuit et sur 24 heures sur les périodes d'intégration dans les serres témoin et IT.

		Moyenne des températures moyennes (°C)			Amplitude thermique moyenne (°C)
		Jour	Nuit	24 h	
2006	Serre témoin	22,0 ± 1,6	18,7 ± 2,1	20,6 ± 1,7	3,4 ± 1,4
	Serre IT	22,0 ± 2,1	16,0 ± 1,9	19,3 ± 1,9	6,1 ± 1,7
2007	Serre témoin	21,9 ± 1,6	18,1 ± 1,5	20,0 ± 1,8	3,8 ± 1,2
	Serre IT	22,4 ± 1,8	16,5 ± 1,7	19,4 ± 2,5	5,9 ± 1,4
2008	Serre témoin	20,5 ± 1,3	16,4 ± 0,5	18,5 ± 1,0	4,2 ± 1,0
	Serre IT	21,5 ± 1,5	15,2 ± 1,0	18,5 ± 1,0	6,3 ± 1,5

Résultats et discussion

Climat de la serre

Selon les consignes de température, en 2006 et 2007 (tabl. 2), la moyenne des températures sur 24 heures est plus élevée dans la serre témoin que dans la serre IT de 1,3 °C en 2006 et de 0,6 °C en 2007 (tabl. 3). Les températures moyennes de jour dans la serre IT n'ont pas été suffisamment élevées pour compenser les baisses de température de nuit. La moyenne des températures de nuit a été plus basse de 2,7 °C en 2006 et de 1,6 °C en 2007 dans la serre IT. En 2008, la moyenne des températures sur 24 heures est identique dans les deux serres (18,5 °C). La moyenne des températures de jour a été plus élevée de 1 °C dans la serre IT et la moyenne des températures de nuit y a été plus basse de 1,2 °C. Dans la serre IT, les amplitudes thermiques moyennes jour/nuit sont plus importantes que dans la serre témoin (tabl. 3).

L'hygrométrie moyenne sur 24 heures est proche entre les deux variantes. En 2006, elle a été plus élevée dans la serre IT avec 72,1 % contre 69,6 % dans la serre témoin. En 2007 et 2008, il n'y a pas de différence significative mais les valeurs sont légèrement supérieures dans la serre IT (+1,3 % en 2007 et +0,8 % en 2008). Ces différences peuvent facilement s'expliquer par le retard d'aération dans la serre IT.

Economies d'énergie

La consommation d'énergie a été estimée avec le logiciel Horticorn (Jolliet, 1988) en utilisant les données météorologiques de l'année. La consommation d'énergie sur l'ensemble de la culture dans la serre témoin varie entre 270 et 350 kWh/m² (tabl. 4) pour les trois années d'essai. Cette consommation est liée à la structure de la serre (écran, double vitrage, verre Hortiplus), à la durée de la culture, aux conditions météorologiques, mais également au fait qu'il s'agit uniquement de la consommation dans la serre. Les pertes dues à la chaudière et à la distribution ne sont pas prises en compte. La consommation globale annuelle en énergie est estimée en moyenne à 50 à 60 m³ de gaz/m² (soit 500 à 800 kWh/m²) aux Pays Bas (Van der Ploeg et Heuvelink, 2005) et à 320 kWh/m² en France avec de grandes différences selon les régions: 400 kWh/m² en Bretagne et 240 kWh/m² dans le Sud (ADEME, 2007).

L'économie d'énergie réalisée dans la serre IT par rapport à la serre témoin a été moins importante en 2008 qu'en 2006 et 2007 (tabl. 4).

En 2008, l'économie d'énergie avec la conduite IT a été estimée à 13,5 %, avec des températures moyennes journalières identiques entre les deux procédés. L'économie d'énergie est directement liée à l'ensoleillement et donc à la baisse des températures de nuit. Dans la

Tableau 4 | Consommation d'énergie dans les serres témoin et IT.

	Consommation d'énergie (kWh/m ²)					
	2006		2007		2008	
	Serre Témoin	Serre IT	Serre Témoin	Serre IT	Serre Témoin	Serre IT
Pendant la durée de l'it	206,3	119,9	169,2	102,2	234,5	190,6
Sur l'ensemble de la culture	271,5	171,6	300,6	196,3	346,3	299,7
Taux d'économie global	36,8 %		34,7 %		13,5 %	

Tableau 5 | Répartition des températures moyennes de nuit (en %) pendant les périodes d'intégration.

	2006		2007		2008	
	Serre Témoin	Serre IT	Serre Témoin	Serre IT	Serre Témoin	Serre IT
13 °C < T _{nuit} < 14 °C	0	22,6	0	7,5	0	3,8
14 °C < T _{nuit} < 15 °C	1,4	8,9	0	7,5	0	42,1
15 °C < T _{nuit} < 16 °C	0,7	21,2	2,8	28,3	27,1	39,8
16 °C < T _{nuit} < 17 °C	15,8	19,9	22,6	18,9	61,7	9,0
17 °C < T _{nuit} < 18 °C	34,9	10,3	38,7	14,2	9,0	2,3
18 °C < T _{nuit}	47,3	17,1	35,8	23,6	2,3	3,0

T_{nuit} : température moyenne de nuit en °C.

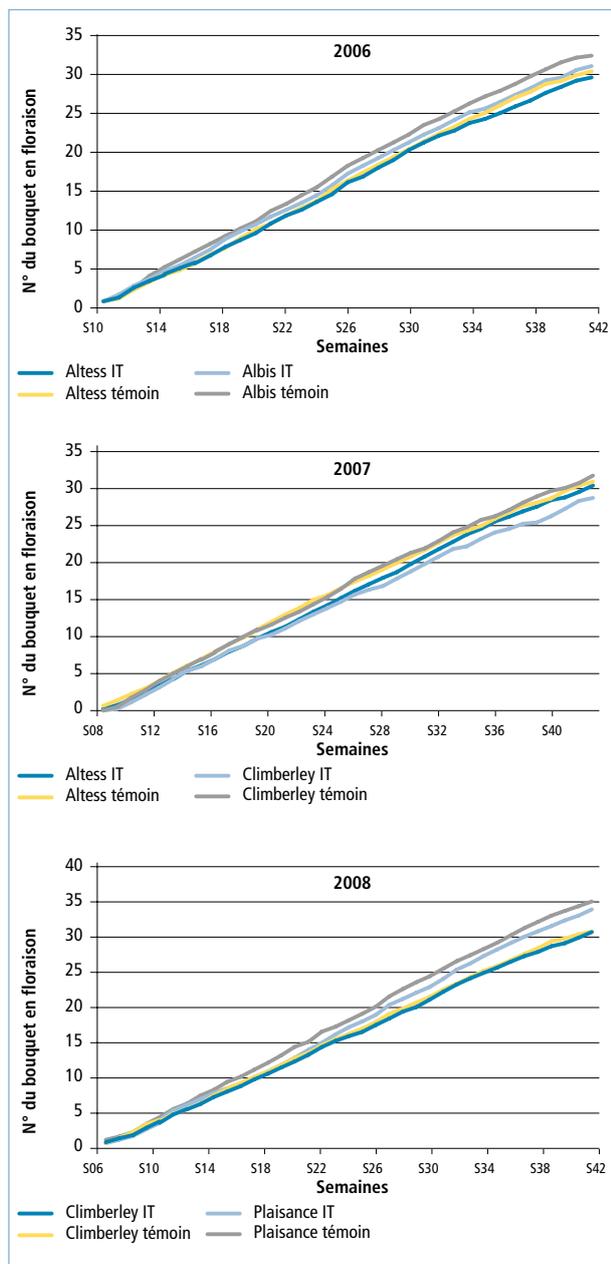


Figure 1 | Suivi de la floraison des bouquets des variétés Altess et Albis, en 2006, Altess et Climberley en 2007, Plaisance et Climberley en 2008 dans les serres IT et témoin.

serre témoin, plus de 73 % des nuits ont une température moyenne supérieure à 16 °C, contre moins de 57 % dans la serre IT (tabl. 5). En France, avec l'intégration seulement en hiver et au printemps, Le Quiliec *et al.* (2007) avaient évalué l'économie d'énergie en conduite avec intégration importante des températures à 8–10 %. Pour les Pays Bas, avec le modèle KASPRO, Elings *et al.* (2005) estiment l'économie d'énergie avec l'intégration des températures sur 24 ou 72 heures à 5 %. En 2006 et 2007, les économies d'énergie réalisées dans nos essais s'élèvent à 35 %, ce qui est très élevé pour une conduite IT. Ces économies nettement plus importantes qu'en 2008 s'expliquent principalement par les consignes de températures de jour de 2 °C plus basses dans la serre IT que dans la serre témoin (17 °C contre 19 °C) (tabl. 2). Ainsi, pendant les périodes de chauffage, les économies n'ont pas été réalisées uniquement la nuit mais aussi durant la journée.

Développement des bouquets floraux

Le développement des bouquets floraux est légèrement plus lent avec l'intégration des températures qu'avec une conduite classique (fig. 1). Les différences de développement varient en fonction de l'année et de la variété.

En 2006, avec la conduite IT, au début juillet, il y avait un retard de 0,5 bouquet pour Altess et de 1 bouquet pour Albis par rapport à la conduite témoin. En 2007, toujours au début juillet, les retards dans la serre IT sont de 1,2 bouquets pour Altess et de 2,4 bouquets pour Climberley et, en 2008, de 0,7 bouquet pour Climberley et de 1,3 bouquets pour Plaisance, en défaveur de la serre IT.

Cette légère réduction de développement des bouquets floraux peut être attribuée, en grande partie, aux températures de nuit plus basses liées à la conduite IT (tabl. 3). Plusieurs travaux ont montré que le développement des bouquets dépend fortement de la température, en particulier la température moyenne de nuit qui peut le ralentir (Nieuwhof *et al.* 1997; Adams

et al. 2001; Van der Ploeg et Heuvelink, 2005). Une étude de De Koning (1994) montre une relation linéaire entre le développement des bouquets et la diminution des températures journalières moyennes entre 27 et 17 °C. De Koning (1990) constate également que le développement des bouquets floraux est plus lent avec une amplitude thermique élevée (6 °C). Or,

les amplitudes thermiques dans la serre IT sont voisines de 6 °C pour les trois années (tabl. 3), contre 3,8 °C dans la serre témoin.

Rendements

En fonction de l'année et de la variété, l'impact des deux conduites de températures sur le rendement a été différent entre la première et la deuxième phase de récolte (tabl. 6; fig. 2). Durant la première phase, du début de la récolte à mi-juillet, les rendements de la variante IT ont été comparables ou inférieurs (tabl. 6), principalement à cause du développement légèrement plus lent des bouquets floraux (fig. 1) et de la maturation plus lente des fruits, probablement liée aux températures de nuits plus basses pendant la première période d'intégration (au printemps). Puis, en 2006 et 2007, à partir de juillet, les résultats s'inversent et, durant la deuxième partie de la culture, les rendements sont plus élevés dans la serre IT (tabl. 6). Cela est essentiellement dû au nombre inférieur de fruits par plante en début de récolte dans la serre IT : le nombre de bou-

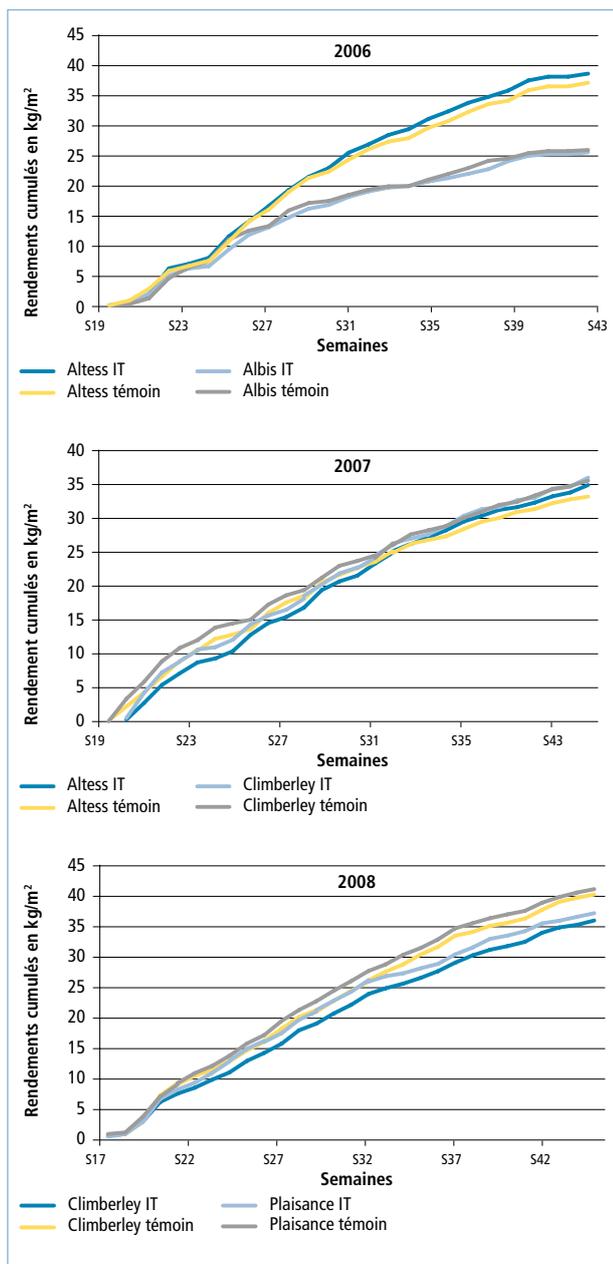


Figure 2 | Rendements cumulés en kg/m² pour les variétés Altess et Albis, en 2006, Altess et Climberley en 2007, Plaisance et Climberley en 2008 dans les serres IT et témoin.

Tableau 6 | Nombre de grappes récoltées/m² et rendements en kg/m² pendant la première (début de la récolte à mi-juillet) et la deuxième phase de récolte (de mi-juillet à la fin de la récolte) dans les serres IT et témoin.

	Variétés	Conduite	Grappes récoltées/m ²		Rendement (kg/m ²)	
			1 ^{re} phase	2 ^e phase	1 ^{re} phase	2 ^e phase
2006	Altess	IT	23,8	28,2	19,3	19,5
		Témoin	22,8	28,9	18,9	18,2
	Albis	IT	25,6a	26,2	14,7	10,9
		Témoin	27,6b	25,6	15,8	10,1
2007	Altess	IT	25,9a	27,6	17,1	17,1a
		Témoin	28,8b	27,7	18,9	14,3b
	Climberley	IT	26,8a	27,6	18,4	16,7
		Témoin	28,4b	27,5	19,7	15,4
2008	Climberley	IT	34,1a	34,0	18,9a	17,1a
		Témoin	38,3b	35,2	21,2b	19,2b
	Plaisance	IT	37,4a	37,1	20,9	16,4a
		Témoin	40,4b	38,5	22,6	18,7b

Les valeurs munies de lettres différentes sont significativement différentes à $P < 0,05$.

IT = intégration de température.

Tableau 7 | Nombre de fruits/grappe, nombre de grappes récoltées/m², rendement et poids moyen des fruits, moyennes sur l'ensemble de la culture dans la serre IT et dans la serre témoin.

	Variétés	Conduite	Fruits/grappe	Grappes récoltées/m ²	Rendement (kg/m ²)	Poids moyen des fruits (g)
2006	Altess	IT	5,2	52,0	38,7	138,2
		Témoin	5,2	51,7	37,2	132,9
	Albis	IT	4,9	51,8	25,6	95,6
		Témoin	5,0	53,2	26,0	92,6
2007	Altess	IT	5,3	53,4a	34,2	121,2
		Témoin	5,1	56,5b	33,2	111,5
	Climberley	IT	5,0	54,3	35,1	129,2
		Témoin	4,8	55,9	35,2	125,2
2008	Climberley	IT	4,6	68,1a	36,0a	116,8
		Témoin	4,7	73,5b	40,4b	116,4
	Plaisance	IT	4,7a	74,5a	37,3a	103,7
		Témoin	5,0b	78,9b	41,2b	103,4

Les valeurs munies de lettres différentes sont significativement différentes à $P < 0,05$.

IT = intégration de température.

quets floraux (et donc de fruits) moins élevé en première phase de récolte a laissé plus d'assimilats à disposition pour la croissance végétative, permettant plus tard la formation plus rapide de bouquets et de fruits (Van der Ploeg et Heuvelink, 2005). Le poids moyen des fruits ne se distingue pas statistiquement entre les deux serres, mais il tend à être plus élevé dans la serre IT (tabl. 7). La formation plus rapide des bouquets et des fruits plus gros pourraient expliquer les rendements légèrement plus élevés en deuxième phase de culture en 2006 et 2007. Cette modification du comportement des plantes entre les deux phases de récolte ramène les rendements globaux des deux conduites de température à des niveaux comparables (tabl. 7; fig. 2).

En 2008, par contre, le rendement global de Climberley et de Plaisance est significativement plus bas dans la serre IT (tabl. 7, fig. 2). Ceci est dû au nombre de fruits par grappe inférieure dans la serre IT, à partir de mi-août. Une mauvaise nouaison en juin (vraisemblablement liée à une mauvaise activité des bourdons dans la serre IT) est à l'origine du nombre réduit de fruits par grappe. A cette période, l'intégration des températures avait déjà été arrêtée.

L'intégration des températures semble donc soit ne pas avoir d'impact sur les rendements globaux, soit les réduire. Ces résultats confirment les observations de Elings *et al.* (2005) et de De Koning (1990), mais contredisent ceux de Le Quillec *et al.* (2007), qui avaient ob-

tenu des rendements supérieurs avec la conduite IT. L'absence d'injection de CO₂ dans nos essais pourrait expliquer, en partie, les résultats. La température au niveau des racines pourrait constituer une autre explication. En effet, les serres ne sont pas équipées de chauffage de végétation. Or, la présence de chauffage au niveau des racines entraîne une augmentation des rendements, y compris avec des températures de nuit basses (Moos, 1983).

Qualité interne des fruits

En 2006, seule l'analyse du 25 mai met en évidence des différences de fermeté, d'indice de réfraction et d'acidité pour la variété Albis entre les deux conduites. Pour la variété Altess, il n'y a pas de différence (tabl. 8).

En 2008, 10 analyses ont été réalisées. La moyenne de ces analyses est présentée dans le tableau 8. La seule différence concernant la fermeté a été enregistrée chez la variété Plaisance le 28 mai : la fermeté était alors plus élevée dans la variante IT. L'indice de réfraction est plus élevé dans la serre témoin le 9 juin et le 15 octobre pour la variété Climberley. L'acidité est alors plus élevée dans la serre IT chez cette même variété.

Au cours des trois années, l'intégration des températures a eu peu d'effet sur la qualité interne des fruits.

Sur les 6 tests discriminatifs effectués, 3 avec Plaisance et 3 avec Climberley, 5 ont permis de distinguer les fruits de la serre IT de ceux de la serre témoin (tabl. 9). Les analyses de fermeté, d'acidité et de teneur en sucre réalisées aux mêmes dates n'ont révélé aucune différence. La différence perçue par les dégustateurs pourrait donc être liée à l'influence de la température sur les arômes. Les températures de jour plus élevées dans la serre IT pendant la période d'intégration ont probablement favorisé la formation des arômes. Buite-laar et Janse (1990) ont montré que les consommateurs préfèrent des tomates produites à des températures de 23 °C plutôt qu'à 17 °C, essentiellement à cause des arômes plus développés.

Maladies et ravageurs

Les populations d'aleurodes et de *Macrolophus caliginosus* ont été comparables en 2006, 2007 et 2008 dans les deux serres.

Chaque année, le même nombre de traitements fongicides contre l'oïdium a été appliqué dans les deux serres. En 2008, la présence d'oïdium a été ponctuellement plus élevée dans la serre témoin.

Concernant le botrytis, aucune différence n'a été constatée entre les deux serres. Selon Le Quillec *et al.* (2007), les conduites avec intégration, en rendant les

plantes plus génératives, limitent le développement du botrytis sur tige. Toutefois, en cas de condensation sur les fruits lors de la remontée de la consigne de température de jour, le risque de botrytis pourrait devenir important. Les conditions de forte humidité doivent être évitées en général en serre afin de prévenir le risque d'apparition et de développement de maladies fongiques (De Koning, 1990).

Conclusions

L'intégration de température sur 24 heures permet de réaliser des économies d'énergie sans pertes de rendement à condition :

- d'utiliser des variétés plutôt végétatives comme Plaisance et Altess
- de commencer l'IT entre l'apparition du deuxième et du troisième bouquet
- de ne pas descendre les consignes en dessous de 13 °C la nuit
- de retarder l'aération à 24–26 °C dans les périodes froides en hiver, lorsque la température dans la serre ne continuera pas de monter après l'ouverture des aérations
- de faire attention à partir d'avril à ne pas laisser monter trop les températures dans la serre, afin d'éviter des problèmes de nouaison. Dans ce cas, adopter un seuil d'aération de 22–24 °C. ■

Tableau 8 | Résultats des analyses de fermeté (indice Durofel), de teneur en sucre (°Brix) et en acidité totale réalisées en 2006, 2007 et 2008. Les valeurs correspondent aux moyennes des différentes analyses (3 en 2006, 4 en 2007 et 10 en 2008).

	Variétés	Conduite	Fermeté	°Brix	Acidité*
2006	Altess	IT	71,8 ± 2,0	3,8 ± 0,2	4,4 ± 0,1
		Témoin	72,4 ± 1,9	4,0 ± 0,3	4,5 ± 0,2
	Albis	IT	75,3 ± 4,4	4,1 ± 0,1	4,8 ± 0,2
		Témoin	75,8 ± 3,4	4,4 ± 0,1	4,9 ± 0,2
2007	Altess	IT	74,1 ± 3,0	3,8 ± 0,1	3,5 ± 0,5
		Témoin	74,5 ± 1,3	3,8 ± 0,1	3,6 ± 0,5
	Climberley	IT	73,5 ± 4,4	4,2 ± 0,7	4,2 ± 0,6
		Témoin	70,0 ± 4,2	4,1 ± 0,1	4,2 ± 0,5
2008	Climberley	IT	71,1 ± 6,2	4,7 ± 0,2	4,8 ± 0,3
		Témoin	70,8 ± 5,8	4,8 ± 0,2	4,6 ± 0,2
	Plaisance	IT	70,9 ± 4,8	4,3 ± 0,3	4,3 ± 0,3
		Témoin	69,8 ± 4,7	4,4 ± 0,3	4,4 ± 0,2

* Acidité totale, exprimée en g/l d'acide citrique.

Tableau 9 | Nombre de dégustateurs, de réponses correctes et résultats des tests 2 parmi 5 comparant les tomates de la serre IT avec celles de la serre témoin.

Variété	Date	Nb de dégustateurs	Nb de réponses correctes	Nb minimal de réponses correctes (signification p < 0,05)	Différence significative
Climberley	24.04.08	10	4	4	oui
Climberley	08.05.08	17	5	5	oui
Climberley	30.05.08	13	5	4	oui
Plaisance	08.05.08	15	2	5	non
Plaisance	15.05.08	13	4	4	oui
Plaisance	30.05.08	15	5	5	oui

Bibliographie

- Adams S. R., Cockshull K. E. & Cave C. R. J., 2001. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Annals of Botany* **88**, 869–877.
- ADEME, 2007. Utilisation rationnelle de l'énergie dans les serres. Situation technico-économique en 2005 et leviers d'action actuels et futurs. Synthèse. ADEME, 40 p.
- Anonyme, 2009. Comparaison des prix, moyenne annuelle pour l'énergie de chauffage. Erdoel-Vereinigung. Adresse: <http://www.erdoel-vereinigung.ch/fr/heizenmitoel/Peise/PreisvergleichJahresmittel.aspx> [30 juin 2009].
- Buitelaar K. & Janse J., 1990. Warmte echte smaakmaker. *Groenten en Fruit* **43**, 38–39.
- De Koning A. N. M., 1988. The effect of different day/night temperature regimes on growth, development and yield of glasshouse tomatoes. *Journal of horticultural Science* **63** (3), 465–471.
- De Koning A. N. M., 1990. Long-term temperature integration of tomato. Growth and development under alternating temperature regimes. *Scientia Horticulturae* **45**, 117–127.
- De Koning A. N. M., 1994. Development and dry matter distribution in glasshouse tomato. A quantitative Approach. Thèse, Université de Wageningen, 240 p.
- Elings A., Kempkes F. L. K., Kaasemaker R. C., Ruijs M. N. A., van de Braak N. J. & Dueck T. A., 2005. The Energy Balance and Energy-Saving Measures in Greenhouse Tomato Cultivation. *Acta Hort.* **691**, 67–74.
- Granges A., Gunther V., Deprez A., Dalin J. & Verzaux E., 2003. Mesure de la qualité organoleptique des tomates. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **34** (4), 219–222.
- Granges A., Gillioz J. M., Augsburg J. & Nicollier F., 2008. Variétés de tomate à grappes cultivées hors sol à basse température: valeur agronomique, analytique et gustative. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **40** (4), 223–229.
- Jolliet O., 1988. Modélisation du comportement thermique d'une serre horticole. Thèse n°713, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 247 p.
- Körner O. & Challa H., 2003. Design for an improved temperature integration concept in greenhouse cultivation. *Computers and Electronics in Agriculture* **39**, 39–59.
- Le Quillec S., Brajeul E., Lesourd D., Loda D., Grisey A. & Grasselly D., 2007. L'intégration de température sur 24 heures. *Infos-Ctifl* **229**, 36–42.
- Lespinasse N., Scandella D., Vaysse P. & Navez B., 2002. Mémento évaluation sensorielle des fruits et légumes frais. Ctifl, Paris, 143 p.
- Moos G. I., 1983. Root-zone warming of greenhouse tomatoes in nutrient film as a means of reducing heating requirement. *Journal of horticultural Science* **58** (1), 103–109.

Summary ■ **Energy saving process under glasshouse by temperature integration over 24 hours in tomato culture on substrate**
 Managing climate in the glasshouse by temperature integration (TI) over a 24-hour period is one of the ways to save energy. Three trials from 2006 to 2008 in tomato crops on substrate showed that an energy saving potential of 15 to 30 % is possible with TI compared to the standard temperature treatment. The annual yield was not influenced by TI in two of the three years. The TI reduced slightly the yield during the first cultivation period till mid-July. However, during the second period the yield was higher due to plant compensatory effects. In 2008 though, annual yield was penalised mainly due to problems of pollination during the second cultivation period in the TI treatment. On the other hand, the temperature integration influenced neither the analytical quality of the fruits, nor the development of pests, beneficial insects and diseases. The results confirm that temperature integration is a useful method to save energy. The conditions to respect in order to avoid yield reductions are discussed.

Key words: temperature integration, tomato, glasshouse, energy saving.

Zusammenfassung ■ **Energiesparmassnahmen im Gewächshaus mittels Temperaturintegration während 24 Stunden im Tomatenanbau auf Substrat**
 Die Änderung der Klimaführung im Gewächshaus mittels Temperaturintegration (TI) während 24 Stunden ist einer der Wege, um Energie zu sparen. Drei Versuche von 2006 bis 2008 im Tomatenanbau auf Substrat haben gezeigt, dass eine Energieeinsparung von 15 bis 30 % möglich ist im Vergleich zur klassischen Temperaturführung. In zwei von drei Versuchsjahren ist der Jahresertrag durch die unterschiedliche Temperaturführung nicht beeinflusst worden. Die TI hat in der ersten Kulturphase bis Mitte Juli den Ertrag leicht reduziert. In der zweiten Phase dagegen war der Ertrag etwas höher aufgrund von kompensatorischen Effekten innerhalb der Pflanze. Im 2008 war der Jahresertrag im TI-Verfahren reduziert, vor allem aufgrund von Befruchtungsproblemen in der zweiten Kulturperiode. Die TI hat weder die analytische Qualität der Früchte, noch die Entwicklung von Schädlingen, Nützlingen und Krankheiten beeinflusst. Die Ergebnisse bestätigen, dass die Temperaturintegration eine nützliche Methode ist, um Energie einzusparen. Massnahmen, die zu berücksichtigen sind, um Ertragsverminderungen zu vermeiden, werden diskutiert.

Riassunto ■ **Risparmio energetico in serra per l'integrazione delle temperature nella coltivazione di pomodori su substrato**
 La modifica della gestione del clima attraverso l'integrazione delle temperature (IT) nell'arco delle 24 ore è una delle possibilità di risparmiare dell'energia nelle colture serricole. I tre anni di prova – dal 2006 al 2008 – nella coltivazione di pomodori su substrato, hanno dimostrato che è possibile raggiungere un risparmio energetico del 15 % – 30 %. Tuttavia, la resa annuale non è stata, in due anni su tre, influenzata dalle diverse gestioni del clima. L'IT ha leggermente ridotto la resa nella prima fase di coltura, fino a metà luglio. Per contro, grazie a dei processi di compensazione della pianta, la resa è stata più elevata nella seconda fase. Nel 2008 la resa della serra IT è stata penalizzata essenzialmente in seguito a dei problemi di allegagione durante la seconda fase di coltivazione. D'altronde, l'integrazione delle temperature non ha avuto effetto né sulla qualità analitica dei frutti, né sullo sviluppo di parassiti, ausiliari e malattie. I risultati confermano che l'integrazione delle temperature è un metodo utile per risparmiare energia. Le condizioni da rispettare in modo da evitare diminuzioni di resa sono discusse.

- Nieuwhof M., Keizer L. C. P. & Van Oeveren J. C., 1997. Effects of temperature on growth and development of adult plant of genotypes of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Genetics and Breeding* 50, 185–193.
- Van der Ploeg A. & Heuvelink E., 2005. Influence of sub-optimal temperature on tomato growth and yield: a review. *Journal of horticultural Science & Biotechnology* 80 (6), 652–659.

Remerciements
 Toute l'équipe du groupe culture sous serre de la Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW ainsi que les stagiaires et apprentis qui ont participé à ces expérimentations sont remerciés pour leur précieux travail.