



Culture décalée de tomates en serre

Évaluation de l'éclairage LED et de la consommation énergétique

Auteurs

Cédric Camps, Daniel Tran et Robert Farinet



Impressum

Éditeur	Agroscope Route des Eterpys 18 1964 Conthey www.agroscope.ch
Renseignements	Cédric Camps, cedric.camps@agroscope.admin.ch
Traduction	Service linguistique
Mise en page	Petra Asare
Photo de couverture	Cédric Camps
Download	www.agroscope.ch/science
Copyright	© Agroscope 2023
ISSN	2296-729X
DOI	https://doi.org/10.34776/as153f

Exclusion de responsabilité

Les informations contenues dans cette publication sont destinées uniquement à l'information des lectrices et lecteurs. Agroscope s'efforce de fournir des informations correctes, actuelles et complètes, mais décline toute responsabilité à cet égard. Nous déclinons toute responsabilité pour d'éventuels dommages en lien avec la mise en œuvre des informations contenues dans les publications. Les lois et dispositions légales en vigueur en Suisse s'appliquent aux lectrices et lecteurs ; la jurisprudence actuelle est applicable.

Table des matières

Résumé	4
Zusammenfassung	5
Summary	6
1 Introduction	7
2 Matériel et méthodes	8
2.1 Conditions expérimentales	8
2.2 Matériel végétal	8
2.3 L'éclairage artificiel	8
2.4 Phénologie	9
2.5 Rendements	9
2.6 Énergie	9
3 Résultats et discussion	10
3.1 Conditions de la lumière naturelle sur le site	10
3.2 Besoin en lumière de la tomate en serre	11
3.3 Consommation de lumière artificielle en culture CH et décalée	12
3.4 Énergie et coûts	13
3.5 Croissance des plantes	13
3.6 Influence de l'éclairage LED sur les rendements	14
4 Conclusions	16
5 Remerciements	16
6 Bibliographie	16

Résumé

Cette étude visait à évaluer l'intérêt agronomique et financier d'une production décalée de tomates en serre (sept.-juil.) comparée à une production telle qu'elle est traditionnellement pratiquée par les serristes en Suisse (jan.-nov.). L'intérêt de l'éclairage artificiel LED dans ces deux types de productions a notamment été évalué.

Deux campagnes de production ont été mises en place entre 2019 et 2021. La production de tomates cherry grappe a été choisie comme modèle d'étude en raison de son prix de vente plus élevé que celui de la tomate grappe et de son attrait en période hivernale et de fêtes.

Trois variétés adaptées à une culture sous lumière artificielle ont été comparées. Deux variétés se sont avérées bien adaptées aux deux modes de culture (DR0607 et DR0564) tandis que la variété Compétition présentait de nombreuses limites. Les deux premières variétés ont atteint des rendements de 30 % à 50 % supérieurs à la variété Compétition. En termes de croissance végétative, ces deux variétés ont été aisément conduites avec des élongations hebdomadaires (26–29 cm/semaine) et des diamètres de tiges corrects, alors que la variété Compétition présentait des rythmes de croissance hebdomadaire beaucoup trop forts (32–35 cm/semaine).

L'effet de la lumière artificielle a été ressenti différemment par les trois variétés. La variété Compétition a très vite montré des signes de brûlure sous l'effet des lumières interlignes, ce qui a péjoré son potentiel de production. De façon générale, l'apport de lumière a permis un gain moyen de rendement de 20 %, quel que soit le type de production.

En termes de consommation énergétique liée au chauffage, la culture décalée a consommé 100 % d'énergie en plus comparée à la culture non décalée. Ce surplus de consommation n'a pas été compensé par un gain significatif de rendement. En culture non décalée, l'addition de lumière artificielle, qui a permis les 20 % d'augmentation des rendements, a représenté un coût d'environ 8.- /m². Ce coût est à comparer aux 4 kg/m² supplémentaires obtenus avec la variété DR0564 cultivée sous lumière artificielle, ce qui représente un gain financier de l'ordre de 12.- /m² (à 3.- /kg de tomates). Enfin, l'utilisation de lumières LED interlignes en plus de lumières LED-TOP n'a pas montré d'effet positif additionnel comparée à la seule utilisation de LED-TOP.

Zusammenfassung

Zeitversetzter Anbau von Tomaten im Gewächshaus Bewertung der LED-Beleuchtung und des Energieverbrauchs

Ziel dieser Studie war es, die agronomischen und ökonomischen Vorteile eines zeitversetzten Tomatenanbaus im Gewächshaus (Sept.-Juli) im Vergleich zum herkömmlichen Gewächshausanbau in der Schweiz (Jan.-Nov.) zu bewerten. Ein Fokus lag auf der Bewertung des Nutzens von künstlicher LED-Beleuchtung in diesen beiden Produktionsarten.

Es wurden zwei Produktionskampagnen zwischen 2019 und 2021 eingerichtet. Als untersuchtes Modell wurde die Produktion von Cherry-Rispen Tomaten gewählt, da diese höheren Verkaufspreise im Vergleich zu Rispen Tomaten erzielen und wegen ihrer Attraktivität in der Winter- und Weihnachtszeit.

Es wurden drei Sorten verglichen, die für den Anbau unter künstlichem Licht geeignet sind. Zwei Sorten erwiesen sich als gut geeignet für beide Anbaumethoden (DR0607 und DR0564), während für die Sorte Competition verschiedene Einschränkungen bestanden. Die ersten beiden Sorten erreichten 30-50% höhere Erträge als die Sorte Competition. In Bezug auf das vegetative Wachstum konnten diese beiden Sorten bei einem wöchentlichen Längenwachstum von 26-29 cm und korrekten Stängeldurchmessern leicht geführt werden, während die Sorte Competition viel zu starke wöchentliche Wachstumsrhythmen (32-35 cm/Woche) aufwies.

Das künstliche Licht wirkte sich bei den drei Sorten unterschiedlich aus. Die Sorte Competition zeigte sehr schnell Anzeichen von Verbrennungen durch das Licht zwischen den Reihen, was ihr Produktionspotenzial beeinträchtigte. Im Allgemeinen führte die Lichtzufuhr zu einer durchschnittlichen Steigerung der Erträge um 20%, unabhängig von der Produktionsart.

In Bezug auf den Energieverbrauch für die Heizung benötigte der versetzte Anbau 100% mehr Energie als der nicht-versetzte Anbau. Dieser zusätzliche Verbrauch wurde nicht durch einen signifikanten Ertragszuwachs kompensiert. Beim nicht-versetzten Anbau kostete das zusätzliche künstliche Licht, das die 20%ige Ertragssteigerung ermöglichte, etwa 8 Fr./m². Diese Kosten stehen den zusätzlichen 4 Fr./m² gegenüber, die mit der Sorte DR0564 erzielt werden, wenn sie mit Beleuchtung angebaut wird, was einen finanziellen Ertrag von etwa 12 Fr./m² (bei 3.- Fr/kg Tomaten) ergibt. Schliesslich zeigte die Verwendung von LED-Lichtern zwischen den Reihen zusätzlich zu LED-Toplights keinen zusätzlichen positiven Effekt im Vergleich zur alleinigen Verwendung von LED-Toplights.

Summary

Staggered Cultivation of Greenhouse Tomatoes Evaluation of LED lighting and power consumption

This study aimed to evaluate the agronomic and financial benefit of the staggered production of greenhouse tomatoes (Sept.–July) compared to their production as traditionally practised by Swiss greenhouse growers (Jan.–Nov.). In particular, the benefit of artificial LED lighting in these two types of production was evaluated.

Two production campaigns were set up between 2019 and 2021. On-the-vine cherry tomatoes were chosen as a study model due to their higher sales price compared to on-the-vine tomatoes and their appeal during the winter and holiday seasons.

Three varieties adapted to growing under artificial light were compared. Two varieties emerged as well adapted to both growing methods (DR0607 and DR0564), whilst the variety 'Compétition' revealed numerous limitations. The first two achieved yields 30%–50% higher than 'Compétition'. In terms of vegetative growth, these two varieties were easily managed, with appropriate weekly elongation rates (26–29 cm/week) and stalk diameters, whilst the variety 'Compétition' exhibited excessively high growth rates (32–35 cm/week).

The effect of the artificial light was different for the three varieties. 'Compétition' very quickly showed signs of burns due to the interline lights, which diminished its production potential. Generally speaking, the addition of light enabled an average yield increase of 20%, regardless of production type.

In terms of power consumption associated with heating, staggered production used 100% more energy than non-staggered production. This consumption surplus was not offset by a significant increase in yield. In non-staggered production, the addition of artificial lighting enabling the 20% increase in yields represented a cost of around CHF 8.00/m². This cost must be compared with the additional 4 kg/m² obtained with the DR0564 variety grown with lighting and which represents a financial gain of the order of CHF 12.00/m² (at CHF 3.00/kg tomatoes). Finally, the use of interline LED lighting in addition to LED toplights failed to show an additional positive effect over the use of LED toplights alone.

1 Introduction

Traditionnellement en Suisse, une culture de tomates en serre hors-sol débute en janvier avec la pré-plantation et se termine en novembre avec les dernières récoltes. Dans le nord de l'Europe, des cultures de tomates peuvent être pratiquées de façon décalées avec une plantation à la fin de l'été (septembre) et une dernière récolte au cours de l'été de l'année civile suivante (août).

Un des enjeux en culture sous serre est la gestion et l'optimisation des coûts énergétiques au regard des performances agronomiques des cultures (rendement, qualité, etc.). Notamment, une production plus longue dans la période hivernale demandera plus de chauffage et d'éclairage que pendant l'été. Une campagne de production de tomates en serre demande des besoins énergétiques qui peuvent osciller entre 250 kWh/m² et 500 kWh/m², ces besoins étant plus important dans le nord que dans le sud de l'Europe (Grisey *et al.*, 2007). Cette consommation énergétique est principalement utilisée pour le chauffage des serres, mais aussi par l'éclairage si celui-ci est présent.

La consommation d'énergie est liée aux besoins physiologiques de la plante cultivée ainsi qu'aux caractéristiques de son environnement. En terme d'énergie lumineuse, la tomate est une espèce dite à haute valeur en DLI (Daily Light Integral), ce qui signifie qu'elle utilise aisément une accumulation de lumière de plus de 20 moles/jour/m². On comprend donc que la situation géographique ainsi que la période de production (été vs hiver) vont jouer un grand rôle dans les coûts énergétiques en lien avec la culture. La tomate est aussi caractérisée par le fait qu'elle ne supporte pas, ou très mal, une température inférieure à 10°C. De ce point de vu, la période et la zone de production vont aussi jouer un rôle important dans les coûts énergétiques liés au chauffage.

Des stratégies de gestion climatiques ont déjà été étudiées et ont prouvées qu'il était possible d'économiser de l'énergie. En particulier, l'intégration des températures (IT) permet de conduire une culture de tomates avec une économie d'énergie de l'ordre de 20 % à 30 % (Gilli, Kempkes, *et al.*, 2017). Cette étude a aussi montré que toutes les variétés de tomate ne permettaient pas cette économie tout en maintenant un bon rendement. Il est aussi possible d'économiser de l'énergie en installant et en gérant des écrans thermiques et d'ombrages (ou mixtes) (Gilli, 2012; Gilli & Camps, 2012).

La présente étude a consisté à tester le potentiel d'une culture décalée de tomates cherry grappe en comparaison avec une culture non décalée. Dans les deux cas, les modalités d'utilisation de la lumière LED différaient. Les questions qui se sont posées étaient les suivantes:

- Quelle est l'influence de cette technique de production sur différentes variétés de tomate cherry grappe ?
- Quelles sont les différences de besoins en lumières et énergie entre les deux techniques culturales ?
- La production décalée est-elle économiquement réalisable en Suisse ?
- L'éclairage artificiel est-il pertinent en culture non décalée en Suisse ?

2 Matériel et méthodes

2.1 Conditions expérimentales

Deux cultures de tomates cherry grappe telles qu'elles sont pratiquées en serre hors-sol en Suisse ont été réalisées en 2020 et 2021 (Culture CH). Ces cultures ont été pré-plantées en janvier, ont commencé à produire en mars et ont été arrachées en novembre de la même année. Deux cultures décalées ont été réalisées en 2019-2020 et 2020-2021. Ces cultures ont été pré-plantées en septembre, ont commencé à produire en novembre de la même année et ont été arrachées fin juillet de l'année suivante. Elles ont été cultivées dans des serres de type Venlo de 360 m² chacune. Le pilotage du climat a été effectué à l'aide du logiciel climatique Superlink (Senmatic DGT, NL), la gestion de l'irrigation et des engrais a été pilotée par des mélangeurs de type AMI-Completa (Senmatic DGT, NL). Les plants de tomate ont été cultivés sur un substrat à base de fibre de coco (Palmeco®).

2.2 Matériel végétal

Trois variétés de tomate cherry grappe ont été testées lors de la première campagne, DR0564 (Bayer), DR0607TC et Competition (Nunhems) (tableau 1). Lors de la seconde campagne, seule la variété DR0607TC a été retenue. L'ensemble de ces variétés sont reconnues pour pouvoir être cultivées sous éclairage artificiel. Les variétés ont toutes été greffées sur le porte-greffe Maxifort.

Tableau 1: Variétés de tomate cherry grappe de l'étude.

Variété	Description
DR0564	Bouquets réguliers, coloration rouge prononcée, résistante au cracking, facile à conduire, bonne qualité organoleptique, fruits de 15-20 g, vigueur moyenne.
DR0607TC	Bouquets réguliers, coloration rouge prononcée, résistante au cracking, facile à conduire, bonne qualité organoleptique, fruits de 13-15 g, vigueur moyenne. Haute résistance à la cladosporiose et bon comportement face à l'oïdium. Bon rendement et maturation groupée de la grappe. Bonne conservation après récolte.
Compétition F1	Fruits rouge prononcé, grappe régulière de 16-20 fruits, fruits de 10-12 g, haut de sucre à plus de 9 °Brix, HR: ToMV: 0,2, Fol: 0,1, Ff: A-E.

2.3 L'éclairage artificiel

L'éclairage a été assuré par des lampes LED (4R/1B) d'une puissance de 190W produisant 440 μmoles.m⁻².s⁻¹ (Philips GreenPower LED toplighting module, Philips). Une photopériode de 14h de jour et de 10h de nuit a été définie. Le seuil de lumière naturelle pour que l'éclairage artificiel s'enclenche était de 150 μmoles m⁻² s⁻¹. Pour certaines variantes testées, un deuxième éclairage d'appoint situé à l'intérieur des cultures a été mis en place (Gilli, Fleury, *et al.*, 2017). Cet éclairage était assuré par des lampes dites interlignes (GreenPower LED interlighting module, Philips) (tabl. 2).

Tableau 2: Caractéristiques des éclairages artificiels LED.

Paramètre	Philips GreenPower LED toplighting module, Philips	GreenPower LED interlighting module, Philips
System Efficacy (μmol/J)	2,3	2,7 (3)
Power factor @400 VAC	>0,95	>0,9
Lifetime (h)	25 000	25 000
Module length/height/width	1250/100/50 mm	2 m (aussi 2,5 m)
Photon flux PPF (μmol /s)	440	175 (240)
PPFD (μmol/s/m ²)	150 (exp data in our greenhouse)	
Power (W)	190	64 (81)

2.4 Phénologie

L'élongation et le diamètre de la tige ont été mesurés de façon hebdomadaire.

L'élongation : une marque est apposée chaque semaine sur la ficelle de palissage avec un feutre, au niveau de l'extrémité du plant. La distance entre deux marques donne l'élongation hebdomadaire. La mesure à l'extrémité du plant doit s'arrêter au sommet de la partie du plant qui est en croissance, sans tenir compte de la jeune feuille qui peut pointer vers le haut.

Le diamètre de la tige: la mesure s'effectue avec un pied à coulisse. Elle doit être prise au niveau de la marque réalisée la semaine précédente sur la ficelle de palissage. Comme la tige présente une section «ovale», il faut prendre le côté le plus étroit. S'il y a un obstacle au niveau de la marque (feuille, grappe), la mesure est faite juste en dessous.

2.5 Rendements

Les fruits sont récoltés en grappe selon les prescriptions de qualité décrites par Qualiservice sàrl, le centre suisse de compétence pour tout ce qui a trait à la qualité dans la filière des fruits, légumes et pommes de terre (Swisscofel & UMS, 2017). Le tri est également effectué selon ces prescriptions. Les mesures sont réalisées par parcelle élémentaire. Les rendements sont exprimés en kg de poids frais de tomates par m² de surface de production. Comme il s'agit de tomates cerises, le calibre des fruits ne doit pas excéder 35 mm.

2.6 Énergie

Le relevé de la consommation d'énergie électrique a été réalisé de façon hebdomadaire (kWh/m²). La consommation d'énergie utilisée pour le chauffage des serres a été relevée quotidiennement (KWh/m²). Les consommations cumulées d'énergie ont été effectuées pour chacune des deux serres (culture décalée et culture CH).

3 Résultats et discussion

3.1 Conditions de la lumière naturelle sur le site

Les conditions lumineuses sont étroitement liées à la situation du site de production. Au cours des trois années civiles 2019-2020-2021, le site de production a reçu une somme de lumière moyenne équivalant à 5038 moles/m²/an (tabl. 3). Durant cette période, la culture décalée a utilisé 4497 moles/m²/an, soit 89 % du rayonnement total et la culture CH 4676 moles/m²/an, soit 96 % du rayonnement total.

Tableau 3: Somme de lumière accumulée en moles/m² au cours de l'année civile (jan.-déc.) ou au cours des périodes de cultures décalées et cultures CH.

Période	Culture décalée	Culture CH	Année civile complète
2019	4328	4688	4884
2020	4684	5007	5208
2021	4277	4676	4819
Moyenne	4497 (89 %)	4857 (96 %)	5038 (100 %)

La figure 1 représente les valeurs moyennes de DLI sur la période 2019-2020-2021 dans les serres d'Agroscope à Conthey (latitude: 46.211639, longitude: 7.301278). On peut observer un profil «en cloche» avec des valeurs minimales de DLI pendant la période hivernale comprises entre 5 et 10 moles.m².jour⁻¹. Les valeurs augmentent progressivement en février et mars pour atteindre les 20-25 moles.m².jour⁻¹ en été. Dès le mois de septembre, les valeurs de DLI décroissent pour atteindre un minimum de 5 moles.m².jour⁻¹ à la mi-novembre. Par conséquent, de mi-février à mi-novembre les cultures bénéficient d'un DLI moyen supérieur à 10 moles.m².jour⁻¹, de mi-mars à mi-septembre, elles bénéficient de plus de 15 moles.m².jour⁻¹ et de plus de 20 moles.m².jour⁻¹ de la fin mars à la mi-août.

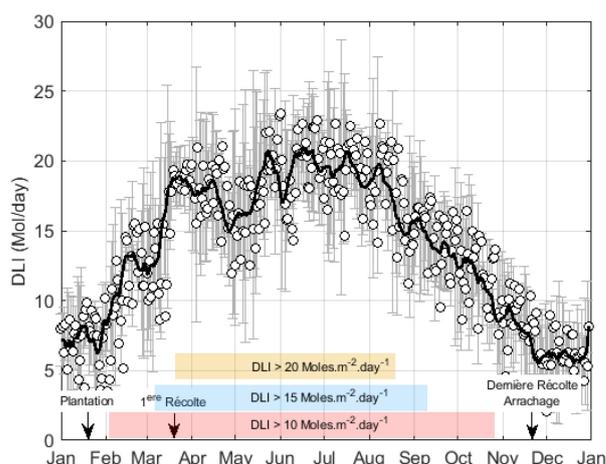


Figure 1. Valeurs moyenne du DLI sur la période 2019-2021.

3.2 Besoin en lumière de la tomate en serre

La tomate est une plante qui tolère de grandes quantité de lumière, on dit qu'elle est une plante à fort DLI. Plus précisément, elle fonctionne de façon optimale avec plus de 20 moles.m⁻².jour⁻¹. Toutefois, cette accumulation journalière de lumière va être dépendante non seulement de la durée du jour, mais aussi de la capacité de la plante à transformer les fortes intensités de lumière. C'est pourquoi, il est important de connaître le comportement de l'activité photosynthétique de la plante en fonction de l'intensité lumineuse. La figure 2 représente la photosynthèse nette mesurée en fonction de l'intensité lumineuse.

L'activité photosynthétique mesurée sur des feuilles situées sur la partie basse de la plante, déjà dans un processus physiologique de sénescence, atteint rapidement une saturation autour des 300-400 μmoles.m⁻².s⁻¹. Concernant les jeunes feuilles, situées dans la partie haute de la plante, la saturation se produit autour des 900 μmoles.m⁻².s⁻¹. Autrement dit, la plante pourra utiliser une intensité lumineuse maximale de 900 μmoles.m⁻².s⁻¹ pour la transformer en biomasse. Au-delà de cette valeur, l'intensité lumineuse ne sera pas utilisée par la plante. Par conséquent, lorsqu'on parle de DLI à apporter à la plante, il convient de ne prendre que les valeurs d'intensité de lumière comprises entre 0 et 900 μmoles.m⁻².s⁻¹. Autre conséquence de cette saturation lumineuse: un apport d'éclairage artificiel dans les périodes où la plante reçoit une intensité lumineuse naturelle avoisinant les 900-1000 μmoles.m⁻².s⁻¹ sera peu ou pas utilisé par cette dernière pour fabriquer de la biomasse.

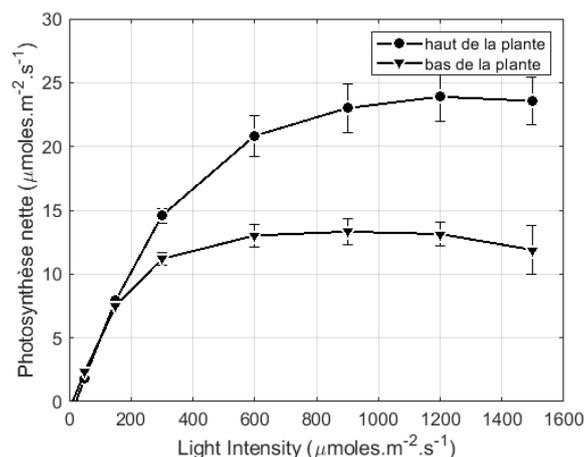


Figure 2. Courbes de la photosynthèse nette en fonction de l'intensité lumineuse mesurées pour des feuilles dans la partie basse et des feuilles dans la partie haute de la plante.

3.3 Consommation de lumière artificielle en culture CH et décalée

Au cours des deux campagnes de cultures décalées et de cultures CH, l'éclairage artificiel a permis de compléter l'apport de lumière naturelle. Cet apport a été particulièrement important dans les périodes automnale et hivernale avec jusqu'à 6 moles.m⁻².Jour⁻¹ (fig. 4). Durant la période estivale, l'apport de lumière artificielle était inexistant ou au maximum de 1 mole.m⁻².Jour⁻¹ (fig. 3).

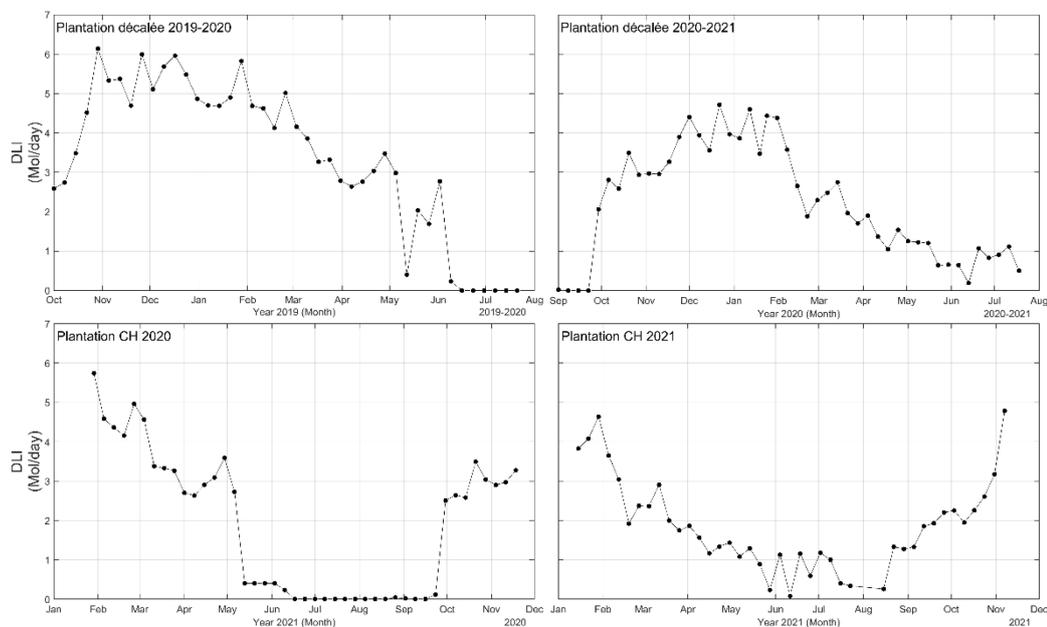


Figure 4. Somme de lumière par jour (Daily Light integral : DLI) apportée par l'éclairage artificiel LED au cours des deux cultures décalées et des deux cultures CH.

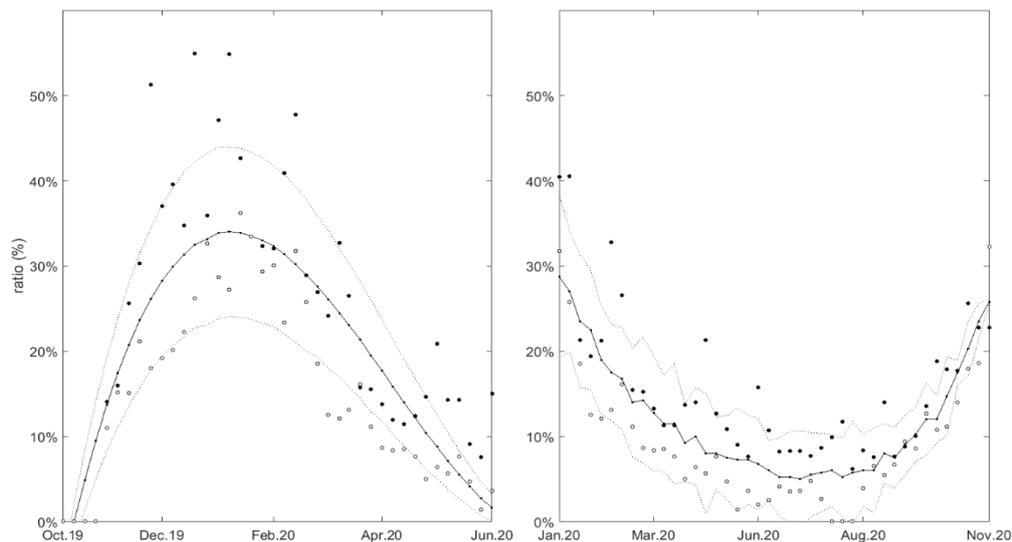


Figure 3. Ratio de quantité de lumière apportée par l'éclairage artificiel par rapport à celle apportée par la lumière naturelle. Culture décalée (à gauche) et non décalée (à droite).

Afin de connaître l'importance de l'éclairage artificiel par rapport à l'éclairage naturel, le ratio de quantité de lumière apportée par l'éclairage artificiel par rapport à celle apportée par la lumière naturelle a été calculé tout au long de la saison (fig. 4). Concernant la culture décalée, plus de 20 % de la lumière est issue de l'éclairage artificiel pendant environ 6 mois. En culture CH, seuls les mois de janvier et novembre montrent un ratio supérieur à 20 %.

3.4 Énergie et coûts

Les deux techniques culturales nécessitent différents besoins en énergie (tabl. 4). Le poste énergétique le plus onéreux demeure le chauffage. Il a représenté 80 % des coûts totaux de l'énergie utilisée dans la saison, quel que soit le type de technique culturale (culture CH ou décalée). La part de l'énergie utilisée pour l'éclairage représente environ 20 % de l'énergie totale utilisée dans la saison, quel que soit le type de technique culturale pratiqué.

Toutefois, même si ces ratios sont équivalents pour les deux techniques culturales, la consommation énergétique liée au chauffage représente, pour la culture décalée, le double de celle de la culture CH (429kWh.m² vs 211kWh/m²); il en va de même de la consommation liée à l'éclairage (122kWh.m² vs 68kWh/m²). Le total de la consommation énergétique pour la culture décalée a atteint 478 kWh.m² contre 245 kWh.m² pour la culture CH.

Tableau 4: Consommation énergétique des deux systèmes de productions sur la saison de production.

Système de production	Saison	Consommation énergétique (kWh/m ²)	Consommation électrique due à l'éclairage (kWh/m ²)	Consommation TOTALE (kWh/m ²)
Plantation CH	2020	211	68	279
	2021	165	46	211
	Moyenne	188	57	245
	Coût (CHF /m ²)*	28.-	8.-	36.-
Plantation décalée	2019-2020	429	122	551
	2020-2021	320	87	407
	Moyenne	374	104	478
	Coût (CHF /m ²)*	56.-	15.-	71.-
	<i>Écart rel. de coût (%)</i>	+ 100 %	+ 87 %	+ 97 %

*Pour un coût de l'énergie de CHF 0.15 /kWh.

3.5 Croissance des plantes

La variété Compétition a très tôt présenté des limites de compatibilité avec l'éclairage LED interlignes en plantation décalée, cette variété présentant des traces de brûlures à mi-hauteur où se trouvaient précisément les lampes LED interlignes. Ces brûlures ont affaibli les plantes durant quelques semaines. Des différences de vigueur ont rendu la culture des trois variétés relativement difficile, en particulier concernant le palissage en raison des vitesses de croissances très différentes. En culture décalée, la variété Compétition a présenté une élévation et des diamètres de tiges supérieurs aux deux autres variétés qui étaient déjà bien vigoureuses (tabl. 5). Lors de la plantation CH, aucune ou peu de différences ont été observées entre les trois variétés sous éclairage artificiel. Par contre, privée d'éclairage artificiel, la variété Compétition a montré de fortes élévations hebdomadaires qui étaient de l'ordre de 35 cm. La variété DR0564 n'a pas montré de différence de développement végétatif avec et sans éclairage en culture CH.

Lors de la deuxième saison, seule la variété DR0607 a été cultivée (tabl. 6). Les résultats montrent qu'en culture décalée et en culture CH, l'addition de LED interlignes en plus des LED-TOP n'a pas eu d'effet significatif sur le développement végétatif par rapport à la même variété cultivée sous les seules LED-TOP.

Tableau 5: Valeurs moyennes d'élongation hebdomadaire et du diamètre de tige en fonction des variantes d'éclairage, des variétés et des périodes de culture (saison 1).

Technique culturale	Éclairage	Variété	Élongation hebdomadaire (cm)	Diamètre de tige (mm)
Plantation décalée (oct. 19 - juil. 20)	LED-TOP + INTER	Compétition	32,74 ^b	12,49 ^c
		DR0607	29,28 ^a	11,85 ^a
		DR0564	28,56 ^a	11,39 ^a
Plantation CH (jan. 20 - nov. 20)	LED-TOP + INTER	Compétition	33,16 ^a	12,14 ^b
		DR0607	27,63 ^a	11,50 ^a
		DR0564	28,84 ^a	11,85 ^a
	No-Light	Compétition	35,12 ^b	11,79 ^a
		DR0564	29,80 ^a	11,17 ^a

Tableau 6: Valeurs moyennes d'élongation hebdomadaire et du diamètre de tige en fonction des variantes d'éclairage, des variétés et des périodes de culture (saison 2).

Technique culturale	Éclairage	Variété	Élongation hebdomadaire (cm)	Diamètre de tige (mm)
Plantation décalée (sept. 20 - juil. 21)	LED-TOP	DR0607	26,3 ^a	11,0 ^a
	LED-TOP + INTER		26,8 ^a	11,0 ^a
Plantation CH (jan. 21 - nov. 21)	LED-TOP		28,4 ^a	11,2 ^a
	LED-TOP + INTER		28,5 ^a	11,3 ^a
			28,4 ^a	11,4 ^a

3.6 Influence de l'éclairage LED sur les rendements

Le rendement est le critère le plus important pour connaître la pertinence et la rentabilité d'un éclairage artificiel. En culture non décalée de 2020, les variétés DR0564 et DR0607 sous éclairage artificiel ont produit respectivement 19 kg.m⁻² et 18 kg.m⁻² alors que, dans le même temps, la variété Compétition n'a produit que 12,4 kg.m⁻² (tabl. 3). Les deux variétés DR0564 et DR0607 ont donc eu un rendement 45 % à 53 % supérieur à celui de la variété Compétition. Privées d'éclairage artificiel, Compétition et DR0564 ont produit respectivement 10,6 kg.m⁻² et 14,2 kg.m⁻², soit 17 % et 27 % de moins que sous éclairage artificiel (tabl. 7). La culture de 2021 a permis de mettre en évidence un gain de 13 % des rendements avec éclairage par rapport à l'absence d'éclairage. Par contre, l'addition d'éclairage artificiel interligne n'a pas eu d'effet sur le rendement comparé à celui obtenu sous le seul éclairage artificiel LED-TOP. En moyenne sur les deux années de production et sur les trois variétés testées, un gain de presque 20 % des rendements a été obtenu avec l'utilisation des lumières LED-TOP.

Tableau 7: Rendement de la Plantation CH. ANOVA et comparaison des moyennes à un niveau de signification de $p=0,05$. *: l'absence d'éclairage artificiel n'était pas total, car une légère pollution lumineuse provenant d'autres variantes éclairées de la serre a pu avoir lieu.

Saison	Variété	Éclairage	Rendement cumulé (kg.m ⁻²)
2020	Compétition	LED TOP + INTERLIGNES	12,4 a
	DR0607		19,0 c
	DR0564		18,0 c
	Compétition	No Light	10,6 b
	DR0564		14,2 d
2021	DR0607	LED TOP + INT.	24,4 a
		LED TOP	25,9 b
		No Light*	22,8 c

En culture décalée, l'éclairage artificiel est indispensable. Lors de la campagne 2019-2020, les variétés DR0564 et DR0607 ont respectivement produit 39 % (22,88 kg.m⁻²) et 28 % (20,93 kg.m⁻²) de plus que la variété Compétition (16,38 kg.m⁻²) (tabl. 8). La campagne 2020-2021 a été focalisée sur la variété DR0607. Le premier constat a montré que l'addition de lumières LED interlignes en plus des LED-TOP n'a pas permis d'augmenter le rendement de façon significative. Dans ces deux variantes, un rendement de 18 kg.m⁻² a été obtenu.

Tableau 8: Rendement de la plantation décalée. ANOVA et comparaison des moyennes à un niveau de signification de $p=0,05$.

Saison	Variété	Éclairage	Rendement cumulé (kg.m ⁻²)
2019-2020	Compétition	LED TOP + INTERLIGNES	16,38 a
	DR0564		22,88 b
	DR0607		20,93 c
2020-2021	DR0607	LED TOP	18,15 a
		LED TOP + INTERLIGNES	18,00 a

4 Conclusions

La tomate est une plante qui nécessite de grandes quantités de lumière et qui ne supporte pas les basses températures. Elle est de ce fait potentiellement consommatrice d'énergie.

Intérêt de l'éclairage en culture CH

En culture CH, l'intérêt de l'éclairage LED a aussi été mesuré. Lors de cette culture, l'éclairage a représenté un coût de 8.-/m² contre 0.-/m² pour la variante sans éclairage.

La variante avec éclairage a permis de récolter environ 4 kg.m² de tomate en plus par rapport à la variante non éclairée, ce qui représente un chiffre d'affaires supplémentaire de 12.-/m² (3.-/kg).

Au final, c'est donc un bénéfice net de 4.-/m² (40 000.-/ha) qui a pu être réalisé avec la variante éclairée par rapport à la variante non éclairée.

Culture décalée vs culture CH

En culture CH, l'éclairage artificiel a représenté un coût d'environ 8.-/m² (57 kWh/m²) contre 15.-/m² (104 kWh/m²) en culture décalée. La différence représente donc un surcoût énergétique de l'ordre de 88 %.

D'autre part, le chauffage a nécessité 374 kWh/m² en culture décalée contre seulement 188 kWh/m² en culture CH, soit un différentiel de l'ordre de 100 %.

Le coût énergétique global de la culture décalée a finalement été mesuré à environ 478 kWh/m² contre 245 kWh/m² pour la culture CH, soit un différentiel de l'ordre de 95 %.

Dans nos conditions expérimentales, le prix de vente des tomates permettant d'amortir les coûts énergétiques sont de 1.70.-/kg pour la culture CH et de 3.65.-/kg pour la culture décalée. Bien entendu, il convient d'ajouter les autres frais de production afin de calculer au plus juste la rentabilité globale de la production.

Enfin, la fluctuation actuelle des coûts de l'énergie sont aussi à prendre en considération dans les calculs de rentabilité.

5 Remerciements

J'adresse mes sincères remerciements aux collaboratrices et collaborateurs de l'équipe technique du groupe de recherche Culture sous serre pour leur travail de qualité durant ces trois années d'essais intenses.

6 Bibliographie

- Gilli, C. (2012). Influence of thermal screen management on yield, quality and energy consumption of a soilless tomato culture. In N. Castilla, O. van Kooten, S. Sase, M. F. Meneses, W. H. Schnitzler, & E. van Os (Eds.), *Acta Horticulturae* (Vol. 927, pp. 703-706).
- Gilli, C., & Camps, C. (2012). Influence of two different thermal screen managements on yield, quality and energy consumption of a soilless tomato culture. In C. Kittas, N. Katsoulas, & T. Bartzanas (Eds.), *Acta Horticulturae* (Vol. 952, pp. 97-102).
- Gilli, C., Fleury, Y., & Camps, C. (2017). Eclairage LED interligne en culture de tomate sur substrat. *RVSAH*, 49(5), 302-308.
- Gilli, C., Kempkes, F., Munoz, P., Montero, J. I., Giuffrida, F., Baptista, F. J., Stepowska, A., & Stanghellini, C. (2017). Potential of different energy saving strategies in heated greenhouse. *Acta Hortic.*, 1164, 467-474.
- Grisey, A., Pommier, F., Chantry, N., Piasentin, J., & Chassériaux, G. (2007). Utilisation rationnelle de l'énergie dans les serres.
- Swisscofel, & UMS. (2017). Prescriptions suisses pour la qualité des légumes - Tomate cerise (cherry). <https://www.qualiservice.ch/uploads/normen2017/fr/Tomate-cerise.pdf>.