

## Influence de la photosynthèse, de la surface foliaire et du rendement sur la qualité gustative des fraises

HENRIOT C.<sup>1</sup>, CARLEN C. et ANÇAY A., Station fédérale de recherches en production végétale de Changins, Centre d'arboriculture et d'horticulture des Fougères, CH-1964 Conthey

@ E-mail: christoph.carlen@rac.admin.ch  
Tél. (+41) 27/34 53 511.

### Résumé

Pour obtenir des fraises de bonne qualité gustative, l'approvisionnement des fruits en carbone (sucres) est déterminant. Afin de mieux connaître ce processus, les effets du rendement, de la surface foliaire et de la photosynthèse sur la teneur en sucre et en arômes des fruits ont été étudiés. Des essais sous tunnel avec les variétés Darselect et Marmolada se sont déroulés en 2000 et 2001 avec deux procédés culturaux: témoin et une variante avec réduction du nombre d'inflorescences. En 2001, l'augmentation du rapport feuille/fruit consécutive à une réduction sensible des inflorescences (60%) a diminué significativement le rendement et s'est traduite par une augmentation du taux de sucre et de la teneur en arômes. Par contre, la photosynthèse nette de la feuille n'a pas été modifiée.

Dans les conditions de l'essai en 2000 et 2001, peu de corrélations significatives ont été obtenues entre le rendement, la surface foliaire, la photosynthèse et les éléments décisifs pour la qualité gustative des fruits. En revanche, il apparaît clairement que le rapport feuille/fruit est le facteur le mieux corrélé à la teneur en sucre et en arômes des fruits. Plus la surface foliaire disponible par quantité de fruits récoltés est élevée, plus la concentration en sucre et en arômes des fruits est favorisée. L'objectif est de trouver le rapport feuille/fruit optimal, permettant le meilleur compromis entre qualité et productivité.

### Introduction

Des tests de consommateurs ont montré que la teneur en sucre et, dans une moindre mesure, la teneur en arômes sont des critères de définition de la qualité gustative des fraises (*Fragaria × ananassa* Duch.) (CARLEN *et al.*, 2001). Pour obtenir de bonnes fraises, l'approvisionnement en carbone (sucres) des fruits est donc un processus important. Il dépend de la surface foliaire, de la capacité photosynthétique des feuilles et de la distribution du carbone assimilé dans les différents organes (FORNEY et BREEN, 1985; CHOMA *et al.*, 1982). Plusieurs études, conduites généralement en serre sur des variétés de fraisiers remontantes, ont montré que les fruits sont de forts importateurs de carbone («puits») (OLSEN *et al.*, 1985). Il semble également que, en réduisant la charge en fruits, la surface foliaire totale des fraisiers augmente (SCHAFER *et al.*, 1986) tandis que la photosynthèse de la feuille diminue (CHOMA *et al.*, 1982).

<sup>1</sup>Avec la collaboration technique de Christophe Auderset, Bernard Sauthier, Pierre-Yves Cotter et Fabien Zuchuat.

Peu d'études ont été réalisées sur la teneur en sucre des fraises. Pour d'autres espèces comme le pommier (HANSEN, 1968; DARBELLAY et DESSIMOZ, 2001) et la vigne (MURISIER et ZUFFEREY, 1997), on sait que le sucre augmente dans les fruits après réduction de la charge. En revanche, l'effet de cette opération sur les composants volatils (arômes) est peu connu.

Pour améliorer la qualité gustative des fraises tout en maintenant la productivité, il est nécessaire d'approfondir les connaissances de la physiologie de la plante concernant le carbone en particulier. Cet article traite de l'influence

de la photosynthèse, de la surface foliaire et du rendement sur la teneur en sucre et en arômes des fruits en culture sous tunnel.

### Matériel et méthodes

#### Matériel végétal et procédés culturaux

Les variétés Darselect et Marmolada ont été choisies pour leurs potentiels de production, leurs vigueur et leurs niveaux de qualité différents. Ces caractères sont décrits dans le tableau 1. Les procédés culturaux

Tableau 1. Description des facteurs expérimentaux en 2000 et 2001.

Facteurs expérimentaux	
<b>Variétés:</b>	
• Darselect:	Production moyenne à élevée de bonne qualité, vigueur importante.
• Marmolada:	Production élevée à très élevée de qualité moyenne, faible vigueur
<b>Procédés culturaux:</b>	
• Témoin:	Pas de suppression d'inflorescences
• Inflorescence:	<i>Consigne 2000</i> : enlever 1 inflorescence pour Darselect et 2 pour Marmolada. <i>Consigne 2001</i> : réduire le nombre d'inflorescences à 3 pour Darselect et à 4 pour Marmolada.

comportaient un témoin et une variante avec réduction du nombre d'inflorescences. La suppression des inflorescences a été réalisée une semaine après le stade pleine floraison, afin de réduire la charge tout en conservant la surface foliaire initiale. L'expérimentation s'est déroulée en 2000 et 2001.

## Plantation et conduite de la culture

La culture de fraises a été installée sous tunnel sur un sol limoneux, riche en silt au Centre des Fougères à Conthey (Valais central). Les plants «frigo» ont été mis en terre à une densité de quatre plants/m<sup>2</sup>, sur des buttes à doubles lignes en 2000 et sur des buttes mono-lignes en 2001. Les buttes ont été recouvertes de plastique noir. Le tunnel de plastique de type fraise (5 m de largeur) couvrait trois doubles lignes en 2000 et quatre mono-lignes en 2001. L'apport de nutriments et d'eau a été assuré par fertigation. Les quantités de fertilisants établies en fonction des normes pour la culture des fraises ont été ajustées selon les analyses minérales du sol (en kg par hectare: 60 N, 45 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 150 K<sub>2</sub>O et 25 Mg). Les apports sont fractionnés en deux périodes (automne et printemps). Dans cet essai, la fumure azotée d'automne n'a pas été nécessaire car les teneurs en Nmin dépassaient 60 kg/ha. Au printemps, la solution nutritive a été distribuée une fois par semaine, de la reprise de la végétation à la mi-récolte. L'irrigation a été pilotée à partir des relevés des tensiomètres et des valeurs d'évapotranspiration. Les traitements phytosanitaires ont été réalisés conformément aux directives de la production intégrée pour cette culture: une application d'acaricide en automne, deux traitements anti-oïdium au printemps).

## Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental se composait de quatre répétitions par procédé cultural et par variété (12 plants par répétition) réparties en blocs aléatoires complets. Pour s'affranchir

de l'effet de bordure, seules la double ligne centrale en 2000 et les deux mono-lignes centrales en 2001 ont été analysées.

## Mesures et observations

### Développement végétatif et floraison

Le développement végétatif des plants a été étudié en mesurant le nombre de cœurs et la surface foliaire. Les cœurs, tiges feuillées à entre-nœuds très courts, sont issus soit du bourgeon terminal à l'état végétatif soit des bourgeons axillaires (RISSER *et al.*, 1997). Lors de la réduction des inflorescences, tous les cœurs et toutes les inflorescences ont été comptés. La mesure de la surface foliaire a été effectuée après la récolte sur cinq plants par parcelle élémentaire. Toutes les feuilles ont été comptées et mesurées au planimètre (Area Meter 3000, LiCor). Des suivis réguliers ont permis de dater les stades phénologiques de la culture (tabl. 2).

### Photosynthèse des feuilles

Ces mesures ont été réalisées en 2001 uniquement. Deux jeunes feuilles étalées et ayant atteint le sommet de la couronne ont été marquées pour chacune des parcelles élémentaires 10 jours après la floraison. Les échanges gazeux ont été mesurés de façon instantanée au moyen d'un système portatif fermé (LiCor 6200) relié à un analyseur de gaz infrarouge (fig. 1). La feuille échantillon est insérée dans une chambre d'assimilation étanche (surface de feuille mesurée connue), reliée à une console de paramétrage. Cet ensemble est lui-même connecté à l'analyseur de gaz infrarouge. L'appareil mesure l'évolution du CO<sub>2</sub> disponible dans la chambre pendant un temps fixé à 15 secondes. Un flux d'air (concentration moyenne en CO<sub>2</sub> ambiant: 365 ppm) circule en continu dans le système grâce à une pompe. Lors de la photosynthèse, la concentration en CO<sub>2</sub> dans la chambre diminue avec l'absorption de ce gaz par la feuille. L'appareil calcule la photosynthèse nette de la feuille. La photosynthèse nette correspond au bénéfice net de CO<sub>2</sub> pour la plante exprimé en µmol de CO<sub>2</sub>

par m<sup>2</sup> de feuille par seconde. Le système LiCor 6200 dispose également de capteurs permettant de mesurer la température de la feuille ainsi que le rayonnement utile à la photosynthèse (PAR) exprimé en µmol de photons par m<sup>2</sup> par seconde. Les mesures ont été effectuées lors de journées ensoleillées dans les conditions climatiques suivantes: humidité relative de l'air comprise entre 25 et 30%, température moyenne de l'air de 29 °C. Les mesures ont été réalisées sur les feuilles, sans modifier leur position initiale dans la couronne.

### Récolte et qualité des fruits

La récolte s'effectue en trois passages par semaine. Les dates de récolte 2000 et 2001 sont rapportées dans le tableau 2. Le triage des fruits par appréciation visuelle s'effectue selon des critères de calibre (diamètre supérieur à 25 mm) et sur l'aspect extérieur du fruit (déformation, couleur hétérogène, état sanitaire, etc.). Les fruits déclassés sont pesés et assimilés au déchet. Les fruits ont été analysés lors de la première moitié de la récolte (11 mai 2000 et 30 mai 2001) et à la fin de la récolte (23 mai 2000 et 7 juin 2001). Pour la mesure du sucre (indice de réfraction en °Brix) et de l'acidité totale, les jus de fraises ont été préparés à l'aide d'un mixer de type Kenwood professionnel (Kenwood, Etats-Unis). Le sucre a été mesuré au réfractomètre (Atago, PR-1, Kunzmann, Suisse). L'acidité totale (exprimée en acide citrique) a été déterminée par titration d'un échantillon de 10 g à un pH de 8 avec 0,1 M NaOH avec le titrateur Mettler DL 25 (Mettler-Toledo, Suisse). La fermeté des fruits a été mesurée au Durofel (Coppa Technologie SA/Ctifl, France). Des mesures de composants volatils globaux (arômes) ont été réalisées par la méthode décrite par CARLEN *et al.* (2001). Les fraises, placées dans un ballon hermétiquement fermé à 25 °C, dégagent leurs arômes. Ceux-ci sont recueillis par une fibre absorbante SPME (*Solid Phase Micro Extraction*). Les composants volatils globaux sont ensuite injectés dans un chromatographe à phase gazeuse puis mesurés par un détecteur FID (*Flame Ionization Detector*). L'intensité du signal exprimée en mVs est proportionnelle à la quantité d'arômes de l'échantillon.

Tableau 2. Dates des stades clés de la culture.

	Année de production 2000	Année de production 2001
Date de plantation	8 juillet 1999	18 juillet 2000
Pleine floraison	18 avril	1 <sup>er</sup> mai
Début récolte	5 mai	21 mai
Fin récolte	26 mai	13 juin

Fig. 1. Mesure de la photosynthèse de feuilles de fraisiers sous tunnel.



## Résultats et discussion

### Cœurs, inflorescences et rendements

Dans cet essai, le nombre de cœurs et d'inflorescences par plant ainsi que les rendements totaux n'ont pas été significativement différents entre variétés pour les deux années (tabl. 3). Les deux variétés ne se sont pas distinguées par leur productivité. Malgré ce constat, le rendement en 1<sup>er</sup> choix de Darselect en 2000 a été significativement supérieur à celui de Marmolada. Cette différence n'a plus été obtenue en 2001. L'année 2000, les faibles rendements obtenus peuvent s'expliquer par un poids moyen des fruits moins élevé et par une forte attaque tardive des feuilles par les acariens jaunes. Celle-ci a eu un effet plus néfaste sur le rendement de Marmolada car la maturation de ses fruits nécessite plus de temps. Après cette forte pression parasitaire, les derniers fruits n'ont pas atteint un calibre suffisant pour être classés dans le 1<sup>er</sup> choix.

Concernant les procédés culturaux, en 2000, la réduction des inflorescences (20 à 30% par rapport au témoin) n'a pas été suffisante pour influencer significativement le rendement (tabl. 3). En revanche, en 2001, la réduction de 60% du nombre d'inflorescences par rapport au témoin a diminué significativement le rendement. Sous l'effet de cette intervention, le rendement a diminué de 43% chez la variété Darselect contre seulement 25% chez Marmolada. L'explication de cette différence réside probablement dans le fait que, chez Marmolada, les fruits de déchet étaient essentiellement constitués par des petits calibres, contrairement aux fruits de déchet de Darselect qui étaient déformés. Conséquence de ce défaut de maturation assez important dans le procédé témoin de la variété Marmolada, la masse de fruits produits a été inférieure et l'effet de la réduction des inflorescences a été moins marqué. Quant au poids moyen des fruits commercialisables, il n'a pas été influencé par le procédé agronomique.

### Surface foliaire et rapport feuille/fruit

Darselect a disposé d'un appareil végétatif plus volumineux que celui de Marmolada (tabl. 4), non par le nombre, mais par la surface de ses feuilles, environ deux fois plus importante que celle de Marmolada. La surface foliaire a été le caractère le plus distinctif entre

**Tableau 3. Nombre de cœurs, d'inflorescences, rendements et poids moyen des fruits des variétés Darselect et Marmolada selon les différents procédés en 2000 et 2001.** Les valeurs correspondent à la moyenne de 4 répétitions.

		2000		2001	
		Darselect	Marmolada	Darselect	Marmolada
Nombre de cœurs par plant	Témoin	2,6	2,5	2,5	3,1
	Inflorescence	2,6	2,4	2,8	3,0
Nombre d'inflorescences par plant	Témoin	4,5 <sup>a</sup>	5,0 <sup>a</sup>	7,5 <sup>a</sup>	8,9 <sup>a</sup>
	Inflorescence	3,7 <sup>b</sup>	3,6 <sup>b</sup>	3,0 <sup>b</sup>	3,7 <sup>b</sup>
Rendement total (g/plant)	Témoin	437	393	583 <sup>a</sup>	536 <sup>a</sup>
	Inflorescence	406	347	334 <sup>b</sup>	401 <sup>b</sup>
Rendement 1 <sup>er</sup> choix (g/plant)	Témoin	356 <sup>A</sup>	286 <sup>B</sup>	576 <sup>a</sup>	528 <sup>a</sup>
	Inflorescence	337	257	331 <sup>b</sup>	396 <sup>b</sup>
Poids moyen du fruit (g)	Témoin	18,3	17,7	23,2	25,6
	Inflorescence	18,5	18,8	25,1	22,8

a, b / A, B: différences significatives pour  $p < 5\%$  selon le test de Newman-Keuls (a, b: entre les deux procédés par variété; A, B: entre les variétés pour le procédé témoin).

**Tableau 4. Surface foliaire, rapport feuille/fruit et capacité photosynthétique des variétés Darselect et Marmolada selon les différents procédés en 2000 et 2001.** Les valeurs correspondent à la moyenne de 4 répétitions à l'exception de valeurs de la capacité photosynthétique.

		2000		2001	
		Darselect	Marmolada	Darselect	Marmolada
Surface foliaire/plant (cm <sup>2</sup> )	Témoin	3637 <sup>A</sup>	1984 <sup>B</sup>	4558 <sup>A</sup>	2554 <sup>b B</sup>
	Inflorescence	3631	2030	5288	4271 <sup>a</sup>
Nombre de feuilles par plant	Témoin	20	26	32	30 <sup>b</sup>
	Inflorescence	21	24	34	49 <sup>a</sup>
Surface foliaire/feuille (cm <sup>2</sup> )	Témoin	181 <sup>A</sup>	76 <sup>B</sup>	141 <sup>A</sup>	83 <sup>B</sup>
	Inflorescence	168	84	156	86
Rapport feuille/fruit (cm <sup>2</sup> /g)	Témoin	8,2 <sup>A</sup>	4,9 <sup>B</sup>	7,9 <sup>b A</sup>	4,7 <sup>b B</sup>
	Inflorescence	8,8	5,7	16,4 <sup>a</sup>	10,8 <sup>a</sup>
Photosynthèse <sup>1</sup> (μmol CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /s)	Témoin	–	–	13,1 <sup>A</sup>	15,7 <sup>B</sup>
	Inflorescence	–	–	13,6	15,9
Photosynthèse <sup>2</sup> (μmol CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /s)	Témoin	–	–	10,9	12,2
	Inflorescence	–	–	9,8	10,6

a, b / A, B: différences significatives pour  $p < 5\%$  selon le test de Newman-Keuls (a, b: entre les deux procédés par variété; A, B: entre les variétés pour le procédé témoin).

<sup>1</sup> Moyennes de 40 mesures par procédé pour des PAR (rayonnement utile à la photosynthèse) supérieurs à 1400 μmol photons/m<sup>2</sup>/s et des températures comprises entre 27 et 34 °C.

<sup>2</sup> Moyennes de 20 mesures par procédé pour des PAR (rayonnement utile à la photosynthèse) supérieurs à 1400 μmol photons/m<sup>2</sup>/s et des températures supérieures ou égales à 34 °C.

ces deux variétés. Le rapport feuille/fruit est plus élevé chez Darselect. Cette variété a produit autant de fruits que Marmolada avec une surface foliaire supérieure d'environ 80%.

La réduction des inflorescences a eu tendance à augmenter la surface foliaire des plants, principalement en 2001, grâce au développement de nouvelles feuilles et de feuilles plus grandes (tabl. 4). Cette année-là, le procédé avec suppression des inflorescences a permis de modifier significativement le rapport feuille/fruit. De nombreux auteurs ont étudié ces relations entre feuilles et fruits chez le fraisier en sup-

primant soit des fleurs soit des fruits. FORNEY et BREEN ont ainsi montré en 1985 une extension de la surface foliaire par l'augmentation du nombre de feuilles, liée à la réduction de la charge en fruits. D'autre part, des expériences de marquage du CO<sub>2</sub> de l'air au <sup>14</sup>C ont révélé que la distribution du carbone radioactif était prioritairement orientée vers les fruits et, en leur absence, plutôt vers les feuilles en croissance (SCHAFER *et al.*, 1985). Ces expériences corroborent nos résultats et montrent que la modification du rapport feuille/fruit influence la répartition du carbone dans les organes.

## Capacité photosynthétique

La photosynthèse dépend de facteurs externes (environnementaux) et internes (physiologiques). Les facteurs climatiques déterminants sont la lumière, la température et l'humidité relative de l'air. Pour comparer la capacité photosynthétique des variétés et des procédés, il est nécessaire de rassembler les données dans des conditions climatiques identiques. Les mesures faites par temps ensoleillé n'ont pas permis de réaliser des courbes de réponses de la photosynthèse à la lumière. Nous avons pu cependant déterminer l'éclairement saturant sous tunnel au-delà duquel la photosynthèse reste stable. Celui-ci a été fixé à 1400  $\mu\text{mol}$  de photons/ $\text{m}^2/\text{s}$ . Pour ce rayonnement, dit saturant, deux classes de températures ont été déterminées dans les conditions d'expérimentation: d'une part les températures de 27 à 34 °C, non limitantes pour la photosynthèse, et de l'autre les températures supérieures ou égales à 34 °C, avec lesquelles la photosynthèse décroît. L'humidité relative de l'air a varié de 25 à 30% selon ces températures. Il est intéressant de constater que ces conditions climatiques sous tunnel sont a priori peu favorables (moyennes des températures maximales atteignant 40 °C, soit 10 °C de plus qu'à l'extérieur). Malgré ces températures élevées et une relative sécheresse de l'air, la photosynthèse des feuilles de fraisier n'a commencé à décroître qu'à partir de 34 °C. Le processus n'est réellement compromis (absorption du  $\text{CO}_2$  proche de 5  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  consécutive à la fermeture des stomates) que vers 40 °C. Dans des conditions climatiques non saturantes, la photosynthèse moyenne a été de

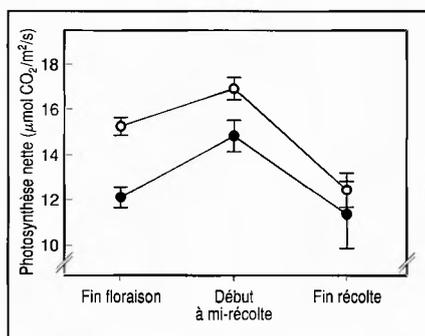


Fig. 2. Comparaison de la photosynthèse nette entre les variétés Darselect (●) et Marmolada (○) aux stades fin floraison (13 mesures pour Darselect, 15 pour Marmolada), début à mi-récolte (resp. 11 et 18) et fin récolte (resp. 3 et 5), avec des PAR (rayonnement utile à la photosynthèse) supérieurs à 1400  $\mu\text{mol}$  photons/ $\text{m}^2/\text{s}$  et des températures comprises entre 27 et 34 °C. Les barres verticales représentent l'erreur standard ( $\pm$ ).

l'ordre de 14,5  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$  (tabl. 4), ces valeurs sont conformes à celles que présente la littérature (CHABOT et CHABOT, 1977; SCHAFFER *et al.*, 1986; JURIK *et al.*, 1979).

Le stade physiologique du fraisier influence la photosynthèse car les besoins de la plante en carbone varient avec son développement. Dans les procédés témoins, la photosynthèse a évolué parallèlement chez les deux variétés: elle a augmenté après la floraison pour culminer à la mi-récolte, puis diminuer à mesure que la récolte se poursuivait (fig. 2). Cette évolution coïncide avec la demande des fruits en carbone au cours du cycle de fructification. Pour tous les procédés et pendant la majorité du cycle de fructification, Marmolada a présenté une capacité de photosynthèse significativement supérieure à celle de Darselect dans les conditions optimales de température et de lumière décrites précédemment (tabl. 4, fig. 2). Seule la période de fin de récolte ne va plus dans ce sens.

La réduction des inflorescences n'a pas induit de diminution significative de la photosynthèse par rapport au témoin, indépendamment du stade de la culture. Ces résultats ne sont pas en accord avec ceux de CHOMA *et al.* (1982) qui ont montré qu'une réduction des inflorescences s'accompagnait d'une diminution significative de la photosynthèse de la feuille. Selon nos résultats en

2001, Darselect et Marmolada n'ont pas réduit leur photosynthèse après la réduction du nombre des inflorescences mais ont mis à profit le carbone fixé (utilisé par les fruits dans le procédé témoin) pour accroître leur surface foliaire. La modification du rapport feuille/fruit a donc influencé la distribution des sucres aux différents organes mais pas la photosynthèse. Du point de vue de la physiologie, la photosynthèse n'a pas été influencée par la modification du rapport feuille/fruit.

## Analyse qualitative du fruit

Bien que la teneur en sucre ait plus varié entre les années qu'entre les variétés (tabl. 5), les fruits de Darselect ont eu tendance à être plus sucrés que ceux de Marmolada. L'acidité a été quant à elle significativement plus élevée dans les fruits de Darselect, quelle que soit l'année de production. En 2001, la réduction des inflorescences a entraîné une amélioration significative du taux de sucre, quelles que soient la variété et la date de prélèvement des fruits pour l'analyse. Cette amélioration semble plus marquée pour Marmolada que pour Darselect. Il semble que la teneur en arômes ait été également favorisée par la réduction des inflorescences, et ce, significativement pour

Tableau 5. Qualité des fruits des variétés Darselect et Marmolada selon les différents procédés à deux dates de récolte<sup>1,2</sup> en 2000 et 2001. Les valeurs correspondent à la moyenne de 4 répétitions.

		2000		2001	
		Darselect	Marmolada	Darselect	Marmolada
Teneur en sucre (°Brix) <sup>1</sup>	Témoin	8,5 <sup>A</sup>	8,0 <sup>B</sup>	7,7 <sup>b</sup>	7,0 <sup>b</sup>
	Inflorescence	8,5	8,4	8,9 <sup>a</sup>	8,2 <sup>a</sup>
Teneur en sucre (°Brix) <sup>2</sup>	Témoin	10,5 <sup>A</sup>	8,1 <sup>B</sup>	9,1 <sup>b</sup>	8,4 <sup>b</sup>
	Inflorescence	10,5	8,5	10,0 <sup>a</sup>	9,7 <sup>a</sup>
Acidité totale <sup>1</sup> (g/l)	Témoin	7,0 <sup>A</sup>	6,1 <sup>B</sup>	7,4 <sup>aA</sup>	5,9 <sup>bB</sup>
	Inflorescence	6,8	6,4	6,9 <sup>b</sup>	6,5 <sup>a</sup>
Acidité totale <sup>2</sup> (g/l)	Témoin	7,1 <sup>A</sup>	5,6 <sup>B</sup>	7,0 <sup>bA</sup>	6,0 <sup>bB</sup>
	Inflorescence	7,1	6,0	7,6 <sup>a</sup>	7,1 <sup>a</sup>
Composants volatils globaux (mV s) <sup>1</sup>	Témoin	—	—	1350	1307
	Inflorescence	—	—	1604	1784
Composants volatils globaux (mV s) <sup>2</sup>	Témoin	—	—	1786	1400 <sup>b</sup>
	Inflorescence	—	—	1975	2396 <sup>a</sup>
Fermeté <sup>1</sup> (indice Durofel)	Témoin	—	—	72	72
	Inflorescence	—	—	74	68
Fermeté <sup>2</sup> (indice Durofel)	Témoin	—	—	80 <sup>A</sup>	75 <sup>B</sup>
	Inflorescence	—	—	81	74

a, b / A, B: différences significatives pour  $p < 5\%$  selon le test de Newman-Keuls (a, b: entre les deux procédés par variété; A, B: entre les variétés pour le procédé témoin).

<sup>1</sup> Analyses réalisées de début à mi-récolte: 11 mai 2000 et 30 mai 2001.

<sup>2</sup> Analyses réalisées en fin de récolte: 23 mai 2000 et 7 juin 2001.

**Tableau 6. Coefficient de corrélation entre la teneur en sucre et en composants volatils globaux et le rendement, la surface foliaire, le rapport feuille/fruit et la photosynthèse (n = 16; 2 variétés, 2 procédés et 4 répétitions).**

Teneur en	Rendement par plante	Surface foliaire par plante	Rapport feuille/fruit	Capacité de photosynthèse
Sucre (°Brix) 11.5.2000	ns	ns	0,69*	–
Sucre (°Brix) 23.5.2000	ns	0,82*	0,81*	–
Sucre (°Brix) 30.5.2001	-0,55*	0,52*	0,79*	ns
Sucre (°Brix) 7.6.2001	-0,53*	ns	0,62*	ns
Comp. vol. globaux (mV s) 30.5.2001	ns	ns	0,63*	ns
Comp. vol. globaux (mV s) 7.6.2001	ns	ns	0,56*	ns

ns: non significatif; \*: significatif (p < 5%).

Marmolada en fin de récolte. Pour la vigne, REYNOLDS et WARDLE (1989) ont obtenu les mêmes résultats: la modification du rapport feuille/fruit a influencé non seulement la teneur en sucre des raisins, mais aussi celle des arômes. En conclusion, la réduction des inflorescences chez le fraisier a permis non seulement d'accroître la surface foliaire mais aussi d'améliorer l'approvisionnement des fruits en sucre, et vraisemblablement en arômes.

## Relations entre rendement, surface foliaire, photosynthèse et qualité gustative des fruits

Pas ou peu de corrélations significatives ont été obtenues entre le rendement, la surface foliaire, la photosynthèse et la teneur en sucre et en arômes des fruits (tabl. 6). En revanche, il apparaît clairement que le rapport feuille/fruit est le facteur le mieux corrélé à la teneur en sucre et en arômes des fruits. Plus la surface foliaire disponible par quantité de fruits récoltés est élevée, plus la concentration en sucre et en arômes des fruits est favorisée (tabl. 6). Le rapport feuille/fruit constitue vraisemblablement un élément essentiel pour l'amélioration de la qualité gustative des fraises. En outre, il semble avoir un effet positif sur les teneurs en composants volatils globaux.

Une meilleure connaissance de la physiologie de la fraise *in situ*, notamment sous tunnel en plastique, est indispensable pour comprendre l'approvision-

nement en carbone des fruits. Le but est de définir le rapport feuille/fruit permettant le meilleur compromis entre productivité et qualité. Ce rapport doit encore être déterminé pour d'autres variétés.

## Remerciements

Nous remercions MM. Ph. Monney, du Centre RAC d'arboriculture et d'horticulture des Fougères, et Vivian Zufferey, du Centre RAC viticole du Caudoz, pour leur précieuse collaboration dans le projet sur la photosynthèse.

## Bibliographie

- CARLEN C., ANÇAY A., TERRETAZ R., AZODANLOU R., TSCHABOLD J.-L., 2001. Mesure de la qualité gustative des fraises. *Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic.* **33** (2), 81-86.
- CHABOT B. F., CHABOT J. F., 1977. Effects of light and temperature on leaf anatomy and photosynthesis in *Fragaria vesca*. *Oecologia* **26**, 363-377.
- CHOMA M. E., GARNER J. L., MARINI R. P., BARDEN J. A., 1982. Effects of fruiting on net photosynthesis and dark respiration of «Hacker» strawberries. *Hortscience* **17** (2), 212-213.
- DARBELLAY C., DESSIMOZ A., 2001. Contrôle de la charge, régularité et qualité de production chez la variété de pomme Maigold. *Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic.* **33** (3), 161-165.
- FORNEY F. C., BREEN J. P., 1985. Dry matter partitioning and assimilation in fruiting and deblossomed strawberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **110** (2), 181-185.
- HANSEN P., 1968. <sup>14</sup>C studies on apple trees. IV. Photosynthate consumption in fruits in relation to the leaf-fruit ratio and to the leaf-fruit position. *Physiol. Plant.* **22**, 186-198.
- JURICK W. T., CHABOT J. F., CHABOT B. F., 1979. Ontogeny of photosynthetic performance in *Fragaria virginiana* under changing light regimes. *Plant Physiol.* **63**, 542-547.
- MURISIER F., ZUFFEREY V., 1997. Rapport feuille-fruit de la vigne et qualité du raisin. *Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic.* **29** (6), 355-362.
- OLSEN J., MARTIN L. W., PELOFSKE P. J., BREEN P. J., FORNEY C. F., 1985. Functional growth analysis of the strawberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **110** (1), 89-93.
- REYNOLDS A. G., WARDLE D. A., 1989. Impact of various canopy manipulation techniques on growth, yield, fruits composition, and vine quality of Gewürztraminer. *Am. J. Enol. Vitic.* **4**, 121-129.
- RISSER G., NAVATEL J. C., VESCHAMBRE D., 1997. La fraise, plant et variétés. *Bulletin Ctifl* **10-12**, 83-99.
- SCHAFFER B., BARDEN J. A., WILLIAMS J. M., 1985. Partitioning of [<sup>14</sup>C]-photosynthate in fruiting and deblossomed day-neutral strawberry plants. *Hortscience* **20**, 911-913.
- SCHAFFER B., BARDEN J. A., WILLIAMS J. M., 1986. Whole plant photosynthesis and dry matter partitioning in fruiting and deblossomed day-neutral strawberry plant. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **111** (3), 430-433.

## Conclusions

- Dans les conditions de cet essai, le rendement en fruits commercialisables des variétés Darselect et Marmolada n'a présenté aucune différence. Les deux variétés se sont distinguées par leur surface foliaire (80% plus élevée chez Darselect) et par leur capacité de photosynthèse (20% plus élevée chez Marmolada). Quant à la teneur en sucre, facteur déterminant de la qualité gustative de la fraise, elle est plus élevée chez Darselect, probablement en relation avec le rapport feuille/fruit plus élevé que chez Marmolada.
- En 2001, l'augmentation du rapport feuille/fruit consécutive à une réduction notable des inflorescences (60%) a abaissé significativement le rendement mais s'est traduite par une élévation du taux de sucre et de la teneur en arômes, voire de la surface foliaire.
- La photosynthèse nette de la feuille n'a pas été modifiée à la suite de l'augmentation du rapport feuille/fruit.
- Le rapport feuille/fruit étant assez bien corrélé à la teneur en sucre des fruits, sa modification peut donc être un moyen d'améliorer la qualité des fruits. Il reste à définir le rapport feuille/fruit permettant le meilleur compromis entre rendement et qualité.

## Riassunto

### Influsso della fotosintesi, della superficie fogliare e della resa sulla qualità gustativa delle fragole

Per ottenere delle fragole (*Fragaria × ananassa* Duch.) di buona qualità gustativa, l'approvvigionamento in carbonio (zuccheri) dei frutti è un processo importante. Per meglio comprendere questo processo sono stati analizzati l'influsso della resa, della superficie fogliare e della fotosintesi sul tenore in zuccheri ed in aroma dei frutti. Le prove con le varietà Darselect e Marmolada si sono svolte sotto tunnel nel 2000 e nel 2001 con due procedimenti colturali: testimone e variante con riduzione del numero d'infiorescenze.

Nel 2001, l'aumento del rapporto foglie/frutto consecutivo ad una riduzione sensibile delle infiorescenze (60%) ha diminuito significativamente la resa per le due varietà provocando però un aumento del tasso di zucchero e del tenore in aromi. La fotosintesi netta della foglia non è stata invece modificata. Nelle condizioni di sperimentazione del 2000 e del 2001 nessuna, o poche, correlazioni significative sono state ottenute fra resa, superficie fogliare, fotosintesi ed elementi decisivi per la qualità gustativa dei frutti. Appare però chiaramente che il rapporto foglia/frutto è il fattore più correlato con il contenuto in zucchero ed in aroma dei frutti. Più la superficie fogliare disponibile per la quantità di frutti è elevata, più la concentrazione in zucchero e in aroma dei frutti è favorita. La prospettiva sarebbe l'identificazione del rapporto foglie/frutto ottimale in grado di permettere il migliore compromesso fra qualità e resa.

## Zusammenfassung

### Einfluss der Photosynthese, der Blattfläche und des Ertrages auf die Essqualität der Erdbeeren

Um Erdbeeren (*Fragaria × ananassa* Duch.) mit guter Essqualität zu erzielen, ist die Versorgung der Früchte mit Kohlenstoff (Zucker) von grosser Bedeutung. Um mehr Informationen über diesen Prozess zu erhalten, wurden die Beziehungen zwischen dem Ertrag, der Blattfläche, der Photosyntheserate der Blätter und dem Zucker- und Aromastoffgehalt der Früchte untersucht. Die Versuche wurden mit den Sorten Darselect und Marmolada unter Plastiktunnels mit und ohne Reduktion von Blütenständen in den Jahren 2000 und 2001 durchgeführt.

Die Erhöhung des Blatt/Frucht-Verhältnisses ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) aufgrund einer starken Reduktion der Blütenstände (60%) hat den Ertrag vermindert. Dagegen wurde der Zucker- und der Aromastoffgehalt der Früchte erhöht. Die Photosyntheserate der Blätter wurde hingegen nicht beeinflusst. Unter den Versuchsbedingungen konnten kaum signifikante Korrelationskoeffizienten zwischen dem Ertrag, der Blattfläche, der Photosyntheserate und den für die Essqualität entscheidenden Parametern gefunden werden. Dagegen war das Blatt/Frucht-Verhältnis signifikant mit dem Zucker- und Aromastoffgehalt der Früchte korreliert. Je höher die Blattfläche pro Fruchtertrag war, desto höher war der Zucker- und Aromastoffgehalt der Erdbeeren. In Zukunft gilt es das optimale Blatt/Frucht-Verhältnis zu bestimmen, das den besten Kompromiss zwischen Ertrag und Qualität darstellt.

## Summary

### Influence of photosynthesis, leaf area and yield on organoleptic quality of strawberries

To obtain strawberries (*Fragaria × ananassa* Duch.) of good organoleptic quality, the carbon (sugar) supply to the fruits is an important process. To get more information about this process, the relations between yield, leaf area, rate of leaves photosynthesis and sugar as well as aroma contents in the fruits were analysed. The experiments were conducted in 2000 and 2001 with both varieties Darselect and Marmolada under plastic tunnels, with and without reduction of flowers.

The increase of the leaf/fruit ratio ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) inducted by strong reduction of flowers (60%) depressed yield. However, sugar and aroma contents were increased in the fruits, whereas the photosynthetic rate of leaves was not modified. Under the experiment conditions, nearly no significant coefficient of correlation could be found between yield, leaf area, rate of photosynthesis and the important parameters for organoleptic quality of strawberries. However, the leaf/fruit ratio was significantly related with the content of sugar and aroma of the fruits. A higher leaf area per total strawberry yield increased sugar and aroma content of the fruits. The aim now is to define what would be the optimal leaf/fruit ratio to realise the best compromise between yield and quality.

**Key words:** strawberry, leaf area, leaf/fruit ratio, photosynthesis, quality, sugar content.

## PÉPINIÈRES VITICOLES

production personnelle:

- gage de qualité
- nombreuses références auprès des viticulteurs suisses depuis 20 ans

JEAN-CLAUDE

# FAY

PÉPINIÈRES VITICOLES  
73250 FRETERIVE  
FRANCE  
TEL. 00 33 479 28 54 18  
00 33 479 28 50 22  
FAX 00 33 479 28 68 85  
E-MAIL: jeanclaud.fay@wanadoo.fr



Vitesse surface  
Heures



Débitmètres



Contrôle pulvérisation

**Tous les compteurs  
pour l'agriculture de précision**

**AgriTechno** L'agriculture de précision

Case postale 24 - CH 1066 Epalinges  
Tél. 021 784 19 60 - Fax 021 784 36 35 - GSM 079 333 04 10  
E-mail: agritechno-lambert@bluewin.ch