

Facteurs de variation de la qualité gustative et nutritionnelle des fraises

Christoph CARLEN, Anne-Marie POTEL, Pamela CRESPO, Zo-Norosoa ANDRIANJAKA-CAMPS
et André ANÇAY, Agroscope, 1964 Conthey, Suisse

Renseignements: Christoph Carlen, e-mai: christoph.carlen@agroscope.admin.ch



La variété de fraise Clery est actuellement la plus importante en Suisse.

Introduction

La fraise est un fruit très apprécié en Suisse. Elle apparaît en quatrième position en termes de quantité de fruits consommés, après la pomme, l'orange et la banane (Rapport agricole 2019 de l'OFAG). La production suisse vise exclusivement le marché frais local et repose sur une qualité gustative élevée des baies (photo 1). Si l'aspect du fruit joue un rôle important pour les consommateurs lors de l'achat, le plaisir et la santé sont les motivations principales à la consommation des fraises. De multiples tests de consommateurs, mis en relation avec des analyses des fruits, ont montré que la qualité telle qu'appréciée par les consommateurs est mesurable rapidement et objectivement par l'analyse de la teneur en sucre et la me-

sure de la teneur en volatils globaux (arômes) (Carlen *et al.* 2001; Carlen et Ançay 2003).

Depuis que de nombreuses études ont montré qu'une alimentation riche en antioxydants et en molécules bioactives réduit le risque de cancer, de maladies cardio-vasculaires et neurodégénératives, de diabète type II et d'inflammation, la fraise peut être considérée comme une importante source de composés bénéfiques pour la santé en raison de sa teneur élevée en vitamine C, en anthocyanines et en autres composés phénoliques (Giampieri *et al.* 2015).

La fraise n'est pas commercialisée sous le nom de la variété. D'importantes fluctuations de la qualité gustative et nutritionnelle de la fraise ont souvent été observées et critiquées. L'objectif de cet article est de résumer les principaux résultats obtenus ces dernières an-



Photo 1 | Production des fraises sous tunnel.

nées par Agroscope sur les facteurs influençant la qualité gustative et nutritionnelle, comme le génotype, l'environnement, l'état physiologique de la plante et les paramètres de récolte.

Matériel et méthodes

Matériel végétal, plantation et conduite de la culture

Les essais présentés dans cet article ont été menés à Conthey (480m; sol avec pH 7,7 et 3,6% de matière organique; 23% argile, 44% silt, 33% sable; 46°12' N/7°18' E) ou à Bruson (1060m; sol avec pH 6,8 et 3,6% de matière organique; 16% argile, 35% silt, 49% sable; 46°04' N/7°18' E). Des plants «frigo» ou des plants mottés ont été utilisés, mis en terre de mi-juillet à début août, en fonction de l'année, à une densité de 4 plants/m², sur buttes mono-ligne. Ces buttes ont été recouvertes de plastique noir. Le tunnel plastique de type fraise (5m de largeur) a été monté en mars. A Bruson, il n'y avait en général pas de tunnel plastique.

L'apport d'éléments fertilisants et d'eau aux plantes a été assuré par la fertigation. Les analyses minérales du sol ont permis d'ajuster les quantités d'apports de fertilisants en fonction des normes établies pour la culture des fraises (en kg par hectare: 100N, 60, 180K₂O et 35Mg) (Carlen et Ançay 2017). Quant au calendrier des apports, il est fractionné en deux périodes (automne et printemps). Au printemps, la solution nutritive a été appliquée une fois par semaine, de la reprise de végétation à la mi-récolte. L'irrigation a été pilotée à partir des relevés des tensiomètres (irrigation de 20mm d'eau dès que 30cbar à 20cm de profondeur du sol sont dépassés). Les traitements phytosanitaires ont été appliqués conformément aux directives de la production intégrée (Steffek *et al.* 2003).

Résumé La production suisse de fraise vise le marché frais local. D'importantes fluctuations de la qualité des fraises sont observées par les consommateurs. L'objectif de ces études a été d'analyser les facteurs de variation de la qualité gustative et nutritionnelle des fraises. Ces études ont montré le rôle primordial de la variété sur la qualité gustative et nutritionnelle des fraises. Le rapport feuille/fruit est vraisemblablement un élément essentiel à considérer pour expliquer les différences variétales et pour l'amélioration de la qualité des fraises. Les effets environnementaux comme l'altitude, la latitude et le tunnel plastique ont une très grande importance pour la formation du rendement en fruits, mais influencent moins les composantes de la qualité des fraises. Au sein d'une même variété le stade de maturité influence la qualité nutritionnelle et gustative des fraises d'une manière importante, notamment les arômes en fin de maturation. Cependant la période de récolte a influencé principalement les propriétés gustatives et non pas les propriétés nutritionnelles des fraises.

Récolte, surface foliaire, qualité

La récolte a été réalisée en trois passages par semaine (photo 2). Le tri des fruits par appréciation visuelle a été effectué selon des critères de calibre (diamètre supérieur à 25mm) et sur l'aspect extérieur du fruit (déformation, couleur hétérogène, problèmes sanitaires, etc.). La somme des fruits de 1^{er} choix et des déchets donne le rendement total. Le poids moyen des fruits a été mesuré lors de chaque récolte en divisant le poids d'une barquette par le nombre de fruits qu'elle contenait.

La mesure de la surface foliaire a été effectuée directement après la dernière récolte. Les feuilles de cinq plantes consécutives par répétition ont été prélevées. Ces feuilles ont été comptées et mesurées au planimètre (Area Meter 3000, LiCor).

Les paramètres qualitatifs analysés ont été la teneur en sucre, en acidité et en arômes, ainsi que la fermeté des fruits. Pour les mesures de la teneur en sucre, en acidité titrable et en arômes, les jus de fraise ont été

préparés à l'aide d'un mixeur de type Kenwood professionnel (Kenwood, Etats-Unis). La teneur en sucre des fruits a été mesurée au réfractomètre (exprimé en °Brix) (Atago, PR-1, Kunzmann, Suisse). L'acidité titrable (exprimée en grammes d'acide citrique par litre) a été déterminée par titration d'un échantillon de 10g à un pH de 8,1 avec 0,1 M NaOH avec le titrateur Metler DL 25 (Mettler-Toledo, Suisse). La fermeté des fruits a été mesurée au Durofel (Coppa Technologie SA/Ctifl, France), exprimée avec l'Indice Durofel (embout plat d'une surface de 0,5 cm²).

Les mesures de composants volatils globaux (arômes) ont été réalisées par une méthode modifiée de celle décrite par Carlen *et al.* (2001) et Azodanlou *et al.* (2003) avec des fibres PDMS (Polydiméthylsiloxane avec une épaisseur de 100 µm, Supelco Co., Etats-Unis), un gaz chromatographe (Carlo Erba HRGC 5300, Carlo Erba S.p.A., Italie) et un détecteur FID (flame ionization detector). La réponse fournie par cet appareil se traduit sous la forme d'un signal.

Les analyses de la teneur en phénols totaux, en anthocyanines et en molécules bioactives comme la vitamine C et la pélagonidine-3-glucoside des fraises, ainsi que les analyses de la capacité antioxydante (DPPH) sont décrites par Crespo *et al.* (2010), Michalska *et al.* (2017) et Andrianjaka-Camps *et al.* (2017).

Dispositif expérimental et statistiques

Dans les essais présentés, le dispositif expérimental (bloc aléatoire complet) a été composé de quatre répétitions. La différence des effets de procédés a été calculée au moyen d'une analyse de variance. Lorsque les différences étaient significatives, le test de Tukey ou le test PPDS (LSD) a été effectué (SigmaStat, SPSS).



Photo 2 | Le succès de la variété Clery est basé sur sa stabilité des rendements en fruits dans diverses conditions environnementales.

Résultats et discussion

Variétés et variations de la qualité des fruits

Afin d'évaluer l'effet du génotype ou de la variété sur la valeur gustative et nutritionnelle des fraises, dix variétés (Antea, Asia, Cléry, Darselect, Elsanta Manille, Matis, Sonata, Sveva et Yamaska) ont été évaluées durant deux ans en plein champ, sous tunnel plastique, à Conthey (VS) et en altitude à Bruson (VS). L'effet de la variété a été important sur le rendement en fruits ainsi que sur la qualité gustative, notamment la teneur en sucre, avec des valeurs comprises entre 8,3% et 9,5% Brix (tabl. 1). Cependant, l'effet de la variété a été très important et significatif quant à leur teneur en vitamine C (de 5,3 à 9,7 mg/g MS), leur capacité antioxydante (de 89,7 à 152,4 µmol équivalent Trolox/g MS), leur teneur en anthocyanines (de 1,5 à 2,7 mg/g MS), en phénols totaux (de 94,8 à 138,2 µmol équivalent Gallic Acid/g MS) (tabl. 2). La pélagonidine-3-glucoside s'est avérée être l'anthocyanine prédominante dans toutes les variétés, représentant entre 75% et 94% de la teneur totale en anthocyanines (Crespo 2010; Crespo *et al.* 2010). Les grandes variations des variétés concernant les composés bénéfiques pour la santé offrent de nombreuses possibilités pour la sélection de variétés à valeur nutritionnelle particulière.

Aucune des variétés testées n'a combiné une valeur gustative et nutritionnelle élevée avec une pro-

Tableau 1 | Effets de la variété sur les rendements en fruits, le poids moyen et de la teneur en sucre des fraises. Les 10 variétés testées ont été cultivées pendant deux ans dans 3 environnements différents (= 6 environnements). Les valeurs correspondent à la moyenne de 6 environnements et 4 répétitions avec le coefficient de variance (CV en %) pour ces 6 environnements (adapté selon Crespo, 2010).

| Variétés | Rendement en fruits | | Poids moyen des fruits | | Teneur en sucres des fruits | |
|-----------|---------------------|--------|------------------------|--------|-----------------------------|--------|
| | g/plant | CV (%) | g/fruit | CV (%) | %Brix | CV (%) |
| Antea | 463 | 25 | 14,8 | 17 | 9,1 | 9 |
| Asia | 524 | 46 | 26,4 | 24 | 9,1 | 5 |
| Clery | 540 | 13 | 17,4 | 16 | 8,9 | 7 |
| Darselect | 513 | 22 | 20,6 | 18 | 9,2 | 5 |
| Elsanta | 531 | 28 | 17,5 | 11 | 9,0 | 7 |
| Manille | 386 | 43 | 11,8 | 19 | 9,5 | 12 |
| Matis | 554 | 17 | 17,8 | 19 | 8,3 | 5 |
| Sonata | 624 | 27 | 17,5 | 17 | 8,9 | 7 |
| Sveva | 462 | 36 | 19,6 | 27 | 9,3 | 9 |
| Yamaska | 486 | 38 | 20,0 | 15 | 8,4 | 7 |
| PPDS.05 | 153 | | 3,5 | | 0,9 | |

PPDS: plus petite différence significative

ductivité importante. A noter cependant que la variété Clery a montré dans l'ensemble les meilleures performances.

Environnement et variations de la qualité des fruits

L'essai avec les dix variétés et trois conditions de croissance très différentes a été mené pendant deux ans et a montré des effets contrastés sur la production de fruits et la qualité des fruits (tabl. 1 et 2). Les coefficients de variation très élevés pour les rendements (CV de 30% en moyenne des dix variétés) soulignent la grande importance des facteurs du climat pour le développement de la plante, l'initiation florale et la formation des fruits (Crespo *et al.* 2009; Crespo *et al.* 2010; Crespo 2010). La teneur en sucre (%Brix) et en composés liés à la santé (capacité antioxydante, phénols totaux, vitamine C) avait des coefficients de variation nettement moins importants (de 7,5% à 16,9%). Cela indique que l'environnement influence les caractéristiques de qualité du fruit d'une manière moins importante que le rendement.

La variation du rendement et de la composition des fruits en fonction du site de production a été spécifique pour chaque génotype. La plus grande stabilité aux différentes conditions environnementales a été démontrée par la variété Clery. La stabilité du rendement, en particulier, pourrait être un facteur clé du succès de Clery (Carlen et Krüger 2009; Carlen et Crespo 2012).

L'effet de l'environnement sous diverses latitudes sur le rendement et la qualité des fruits a été évalué

sur cinq sites allant du sud au nord de l'Europe (Italie, Suisse, Allemagne, Danemark, Norvège) avec les variétés de fraises Elsanta, Korona et Clery (Krüger *et al.* 2012; Josuttis *et al.* 2012). Les variations de rendement étaient surtout en lien avec la gestion des cultures et des stress biotiques dans les différents sites et n'ont pas pu être attribuées à la latitude. Néanmoins, la teneur en sucre des fruits a été influencée par la latitude, avec en général les valeurs les plus élevées dans les sites nordiques. Cependant, les échantillons du nord présentaient principalement des quantités d'anthocyanines plus faibles que ceux du sud et, de plus, la distribution des anthocyanines individuelles était différente (Josuttis *et al.* 2012). En revanche, la teneur en vitamine C et la capacité antioxydante étaient généralement plus élevées dans les latitudes élevées. Pour toutes ces observations, les variétés ont réagi en général de manière similaire et les variations de rendement et de qualité des fruits ont été nettement plus influencées par le génotype que par la latitude.

En conclusion, ces deux travaux montrent que les effets de la variété étaient généralement beaucoup plus importants que les effets environnementaux sur les différents caractères des fruits, comme la qualité gustative et nutritionnelle.

Rapport feuille/fruit et variations de la qualité des fruits

Des tests de consommateurs ont montré que la teneur en sucre et en arômes sont des critères importants

Tableau 2 | Effets de la variété sur la capacité antioxydante des fruits, sur les teneurs en phénols totaux, en vitamine C et en anthocyanines (exprimées par gramme de matière sèche). Les variétés ont été cultivées pendant deux ans dans 3 environnements différents (= 6 environnements). Les valeurs correspondent à la moyenne de 6 environnements et 4 répétitions avec le coefficient de variance (CV en %) pour les 6 environnements (adapté selon Crespo, 2010).

| Variétés | Capacité antioxydante | | Phénols totaux | | Vitamine C | | Anthocyanines | |
|-----------|-----------------------|--------|----------------|--------|------------|--------|---------------|--------|
| | µmol TE/g MS | CV (%) | µmol GAE/g MS | CV (%) | mg/g MS | CV (%) | mg/g MS | CV (%) |
| Antea | 152,4 | 16 | 138,2 | 15 | 9,7 | 12 | 1,9 | 19 |
| Asia | 102,2 | 10 | 95,0 | 5 | 6,1 | 13 | 2,4 | 6 |
| Clery | 116,8 | 10 | 111,4 | 7 | 7,1 | 10 | 3,1 | 18 |
| Darselect | 129,5 | 16 | 129,2 | 14 | 7,3 | 15 | 2,3 | 18 |
| Elsanta | 122,8 | 12 | 123,7 | 13 | 8,2 | 12 | 2,3 | 19 |
| Manille | 105,0 | 9 | 97,5 | 8 | 6,7 | 7 | 2,7 | 15 |
| Matis | 95,7 | 17 | 100,4 | 18 | 5,3 | 17 | 2,7 | 18 |
| Sonata | 89,7 | 20 | 94,8 | 21 | 5,4 | 20 | 2,2 | 31 |
| Sveva | 129,4 | 11 | 129,2 | 8 | 7,0 | 12 | 1,5 | 14 |
| Yamaska | 114,8 | 13 | 113,8 | 10 | 8,4 | 11 | 2,4 | 11 |
| PPDS.05 | 20,7 | | 20,6 | | 1,2 | | 0,5 | |

TE: Trolox équivalent; GAE: «Gallic Acid» équivalent; PPDS: plus petite différence significative.



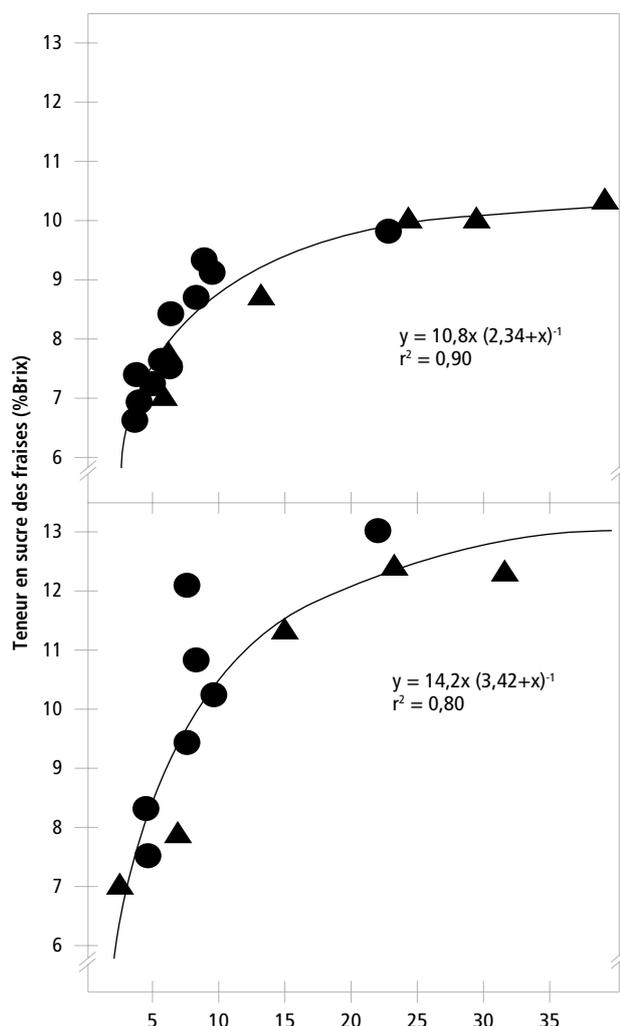


Figure 1 | Rapport feuille-fruits (cm² g⁻¹; surface foliaire totale par plante par rapport au rendement en fruits) et la teneur en sucre (%Brix) des fruits 10 à 14 jours après le début de la récolte pour deux années. Le graphique est composé de données d'un essai variétal (●) et de données d'un essai avec réduction des feuilles et des fleurs (▲) menés sur la même parcelle (selon Carlen *et al.*, 2007).

de définition de la qualité gustative des fraises (Carlen et Ançay 2003). La formation des sucres et des arômes et leur acheminement vers les fruits sont donc deux étapes déterminantes pour obtenir de bons fruits. En comparant des variétés ou des procédés avec et sans diminution des feuilles et des inflorescences, la teneur en sucre et en arômes des fruits a été mise en relation avec différents paramètres du fraisier, afin de mieux comprendre ces processus physiologiques, (Henriot *et al.* 2002; Carlen *et al.* 2005; Carlen *et al.* 2007; Carlen *et al.* 2009). Aucune corrélation significative n'a été obtenue entre le rendement, la surface foliaire, la photosynthèse et la teneur en sucre des fruits. En revanche, il apparaît très clairement que le rapport feuille/fruit est le facteur le plus corrélé et en arômes des fruits (tabl. 3). Plus la surface foliaire disponible par quantité de fruits récoltés est élevée, plus la concentration en sucre et en arômes des fruits est favorisée.

Les relations entre le rapport feuille/fruit des différentes variétés et les teneurs en sucre de leurs fruits ont été étroites (fig. 1). Le critère du rapport feuille/fruit s'est révélé être un bon indicateur pour expliquer la variation de la teneur en sucre entre variétés. Plus la surface foliaire disponible par quantité de fruits récoltés est élevée, plus la concentration en sucre des fruits est favorisée. La courbe d'ajustement indique que les taux de sucres des fruits ont cessé de progresser lorsque la surface foliaire par gramme de fruits a atteint environ 15 cm². Les raisons de cette stagnation de l'accumulation des sucres peuvent être multiples. Avec l'augmentation de la surface foliaire, la superposition des feuilles augmente et fait qu'une partie des feuilles est ombragée avec une activité photosynthétique réduite (Potel 2003; Carlen *et al.* 2009).

Autre raison possible, l'acheminement des sucres vers les fraises est limité dès qu'un certain taux de sucre est atteint dans le fruit. Des relations similaires

Tableau 3 | Influence de la réduction des inflorescences (50%) et de feuilles (50%) du fraisier à la floraison sur le rendement en fruits, la surface foliaire, le rapport feuille-fruit et la teneur en sucre des fruits. Les valeurs correspondent à la moyenne de deux années et quatre répétitions (adapté selon Carlen *et al.*, 2007)

| Variétés | Ciffrette | | | Marmolada | | |
|---|-----------|--------------------|------------------|-----------|--------------------|------------------|
| | Contrôle | Réduction feuilles | Réduction fleurs | Contrôle | Réduction feuilles | Réduction fleurs |
| Rendement en fruits (g/plante) | 194 a | 207 a | 144 b | 692 a | 533 b | 428 c |
| Surface foliaire (cm ² /plante) | 5247 a | 4164 b | 5131 a | 3741 b | 2241 c | 4461 a |
| Rapport feuille-fruit (cm ² /g) | 26,4 ab | 19,6 b | 35,2 a | 5,3 b | 4,3 c | 10,1 a |
| ¹ Teneur en sucre des fruits (%Brix) | 11,2 a | 10,6 b | 11,1 ab | 7,6 ab | 7,0 b | 8,3 a |

¹ Teneur en sucre des fruits (%Brix) mesurée 14 jours après le début des récoltes.

entre le rapport feuille/fruit et la teneur en sucre des fruits ont été décrites pour plusieurs espèces fruitières et la vigne.

Le rapport feuille/fruit est vraisemblablement un élément essentiel à considérer pour l'amélioration de la qualité gustative des fraises. Ceci d'autant plus qu'il semble avoir un effet positif sur les teneurs en arômes des fraises (Henriot *et al.* 2002; Carlen *et al.* 2007). Etablir un rapport feuille/fruit optimal pour le fraisier à travers le choix de la variété et/ou des techniques culturales permettra à l'avenir de mieux concilier qualité et quantité.

Stades de maturation et variations de la qualité des fruits

Des analyses de fraises effectuées à différents stades de maturité ont montré que les teneurs en sucre et en composants volatils évoluent de façon différente lors du mûrissement (Carlen *et al.* 2005). Pour quatre variétés analysées, le taux de sucre a augmenté régulièrement et constamment du stade fruit blanc jusqu'au stade fruit rouge 4/4, et reste relativement stable dès que ce stade est atteint (fig. 2). Quant à l'évolution de la teneur en arômes, elle reste assez stable et à un niveau bas jusqu'au stade fruit rouge 1/2 (fig. 3). Puis, entre les

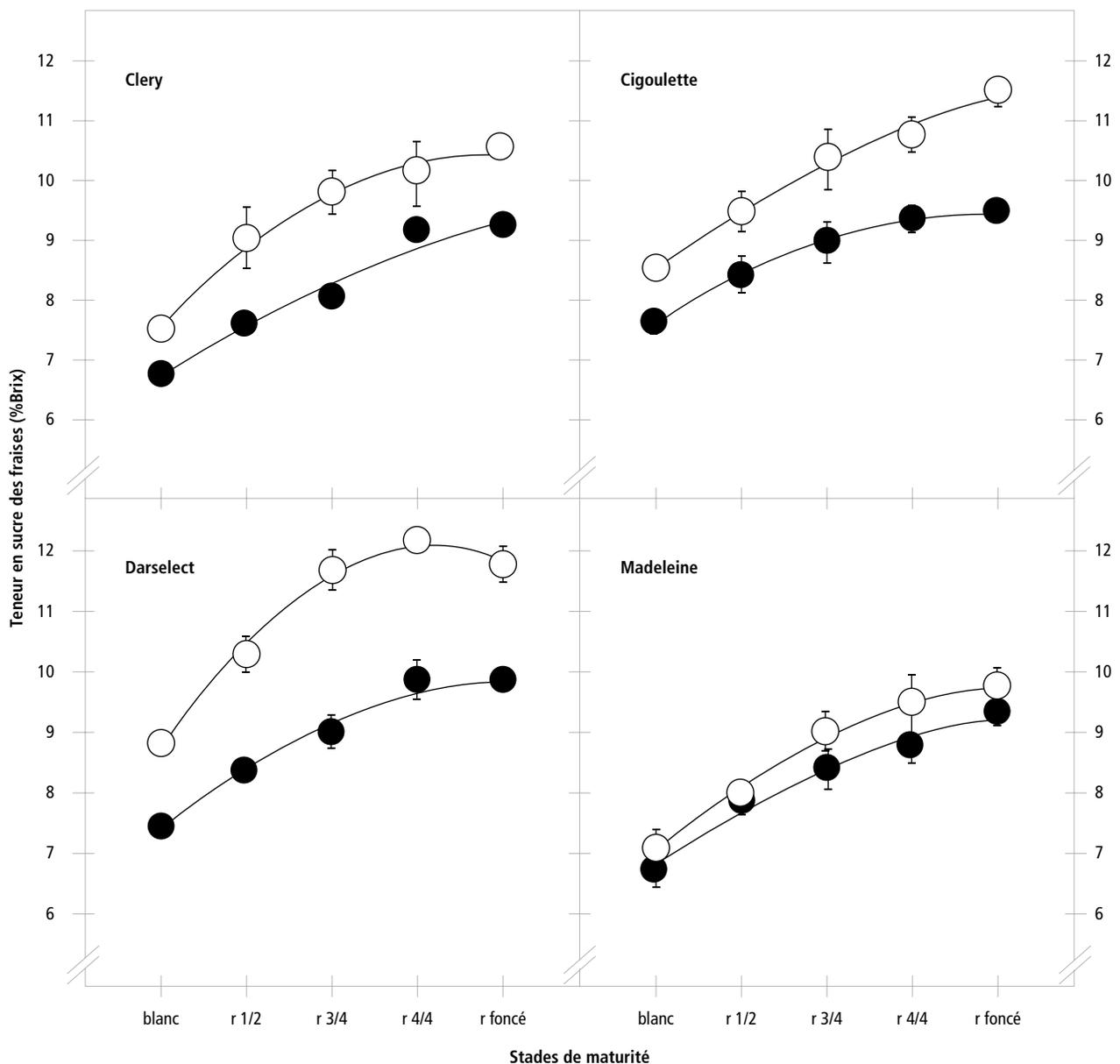


Figure 2 | Relations entre les stades de maturité de la fraise (fruit blanc, fruit rouge 1/2, fruit rouge 3/4, fruit rouge 4/4, fruit rouge foncé) et la teneur en sucre des fruits (%Brix) 7 jours (●) et 14 jours (○) après début de la récolte pour quatre variétés. Les symboles correspondent à la moyenne de quatre répétitions. Les barres verticales représentent l'erreur standard (\pm) (selon Carlen *et al.*, 2005).

stades fruit rouge 3/4 et fruit rouge 4/4, les arômes se sont fortement développés, doublant leur teneur dans les fruits. Ces résultats sont confirmés par Andrianjaka-Camps (2017). Le développement des arômes de fraises, notamment les esters responsables pour les arômes typiques, s'effectue donc dans la dernière phase de la maturation après le stade fruit rouge 3/4.

En plus des arômes, les teneurs en anthocyanines ont aussi fortement augmenté en fin de maturation, du stade fruit rouge 1/2 au stade fruit rouge 4/4 (fig. 4). Cette augmentation a évolué d'une manière plus ou moins identique dans les tissus externe et interne du fruit. Les phénols totaux et la capacité antioxydante

ont été stables durant la maturation, en considérant la totalité du fruit. Cependant, le développement des phénols totaux et la capacité antioxydante se sont développés différemment dans les tissus externe et interne du fruit (fig. 4). Durant la maturation, ces deux paramètres ont diminué dans le tissu externe et augmenté dans le tissu interne.

Ces analyses en lien avec le stade de maturation des fraises montrent que pour assurer une bonne qualité des fraises tant sur les plans visuel et gustatif que nutritionnel, le moment optimal de cueillette est le stade fruit rouge 4/4. Avant ce stade, les teneurs en sucre et surtout en arômes – deux facteurs déterminants pour la qualité

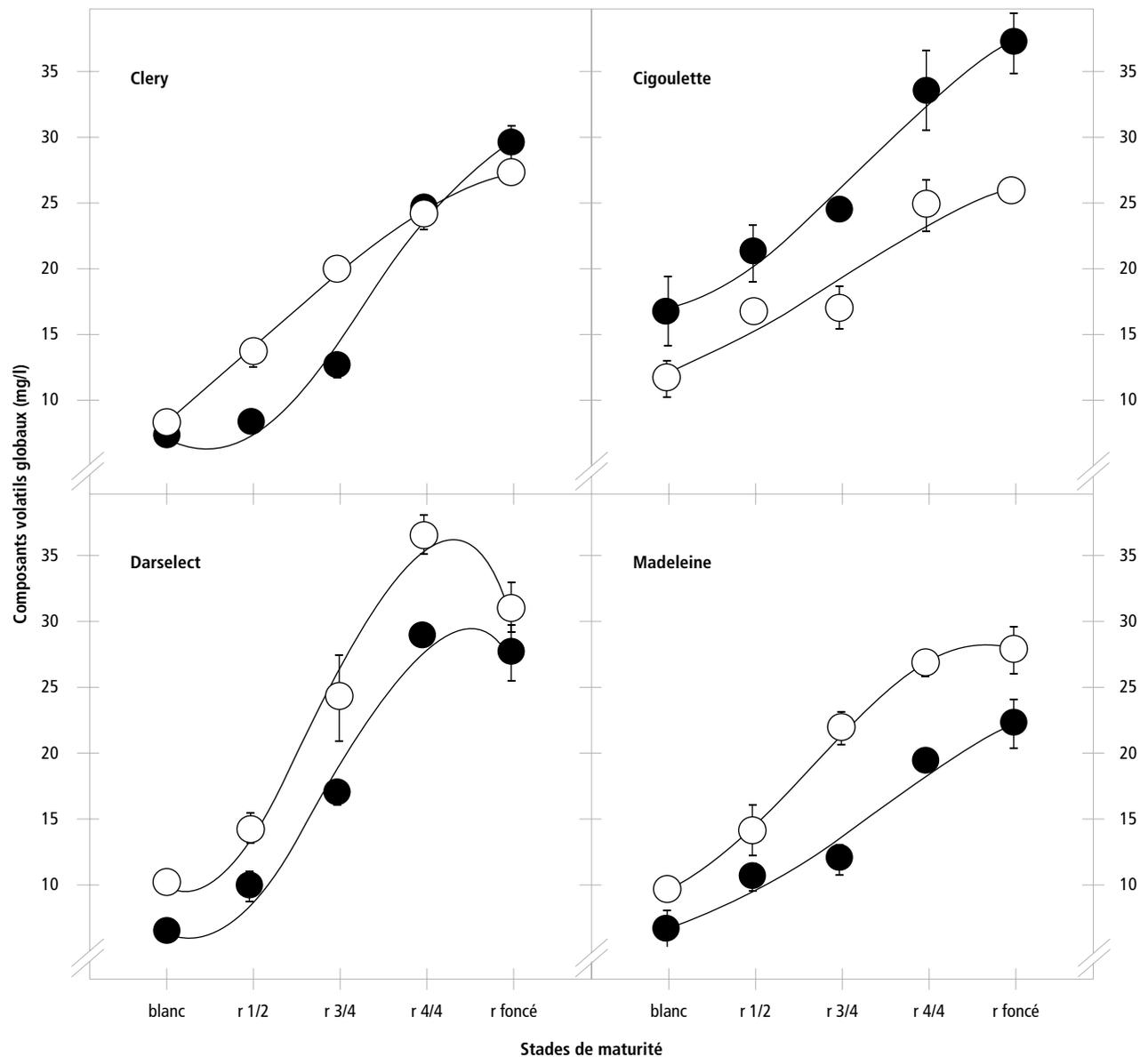


Figure 3 | Relations entre les stades de maturité de la fraise (fruit blanc, fruit rouge 1/2, fruit rouge 3/4, fruit rouge 4/4, fruit rouge foncé) et la teneur en composants volatils globaux des fruits 7 jours (●) et 14 jours (○) après début de la récolte pour quatre variétés. Les symboles correspondent à la moyenne de quatre répétitions. Les barres verticales représentent l'erreur standard (\pm) (selon Carlen *et al.*, 2005).

gustative – sont nettement plus basses. En contrepartie, les fraises cueillies au stade fruit rouge foncé en sur-maturité sont moins séduisantes et sont nettement moins résistantes au transport et à la conservation.

Période de récolte et variations de la qualité des fruits

La période de récolte influence fortement la teneur en sucre des fruits (Crespo 2010; Andrianjaka-Camps 2015). Pour la même plante, des variations d'environ 1,5 à 3,5 %Brix ont été enregistrées selon les variétés testées (fig. 5). La teneur en sucre des fruits a diminué légèrement en tout début de récolte. Puis, au fur et à mesure de l'avancement de la récolte, elle a augmenté pour atteindre le maximum vers la fin de récolte, lorsque le nombre de fruits sur la plante diminue. L'augmentation de la teneur en sucre des fruits en fin de récolte est probablement en lien avec le changement du rapport feuille/fruit. Le nombre de feuilles par plante est relativement stable, voire en léger accroissement durant la période de récolte (Potel 2003; Henriot *et al.* 2001). En revanche, le nombre de fruits à approvisionner en sucres diminue au fur à mesure de l'avancement de la récolte, ce qui se traduit par une augmentation de la teneur en sucre des fruits. Cependant, la teneur en antocyanines et en phénols totaux et la capacité antioxydante n'a pas varié durant la période de récolte (tabl. 4).

En conclusion, ces études ont confirmé la fluctuation importante de la teneur en sucre des fraises au sein d'une même variété au cours de la récolte. Cependant, la qualité nutritionnelle n'est que peu influencée par la période de récolte.

Tableau 4 | Relations entre le nombre de semaines après début de la récolte et le rendement en fruits, le poids moyen des fruits, la teneur en sucre (%Brix) et en anthocyanines des fraises et la capacité antioxydante des fruits de la variété Clery. Les valeurs correspondent à la moyenne de deux années et quatre répétitions. Les lettres différentes indiquent des différences significatives (test de Tukey, $p < 0,05$) (adapté selon Andrianjaka-Camps *et al.*, 2017).

| Semaine après début de récolte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|--------|---------|--------|--------|--------|
| Rendement (g/plante) | 55 c | 185 a | 180 a | 93 b | 25 b |
| Poids moyen par fruit (g/plante) | 21,5 a | 18,3 ab | 15,1 b | 10,9 c | 8,5 c |
| Teneur en sucre (%Brix) ¹ | 8,8 c | 8,1 c | 8,7 c | 10,0 b | 11,2 a |
| Teneur en antocyanes (mg/100 g MF) | 25 | 28 | 31 | 30 | 28 |
| Capacité anti-oxydante (µmol TE/100 g MF) | 878 | 880 | 934 | 952 | 982 |

Les lettres différentes indiquent des différences significatives (test de Tukey, $p < 0,05$) entre procédés par variété.

¹ Teneur en sucre des fruits (%Brix) mesurée 14 jours après le début des récoltes.

Conclusions

- Le choix de la variété joue un rôle primordial sur la qualité gustative et nutritionnelle des fraises.
- Les effets environnementaux comme l'altitude, la latitude et le tunnel plastique ont une très grande importance pour la formation du rendement en fruits, mais influencent

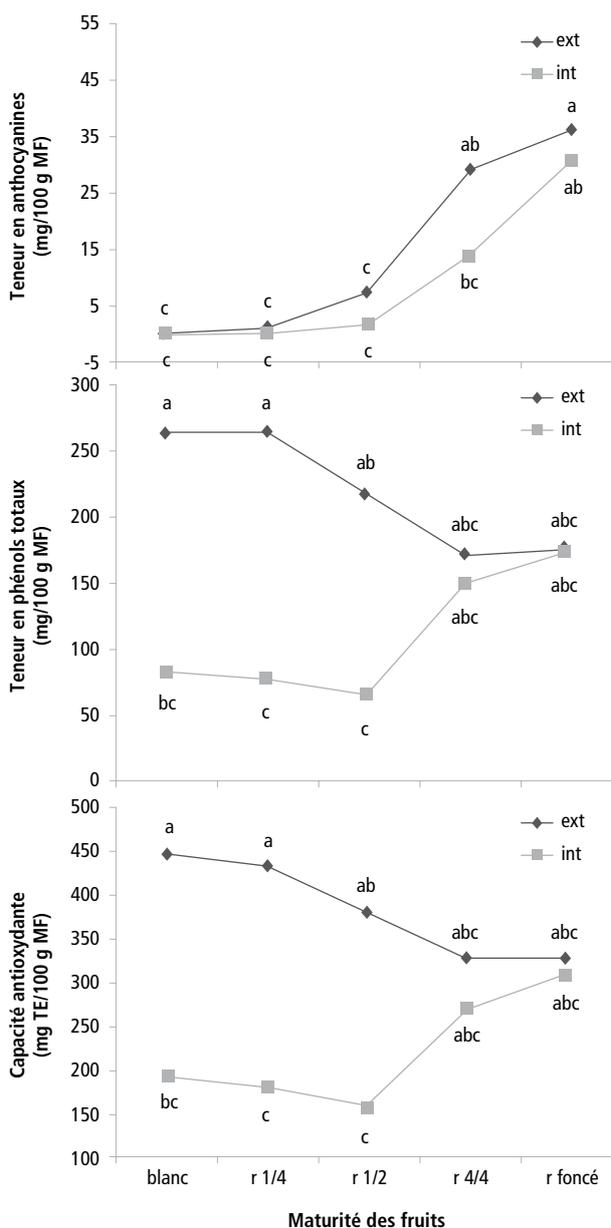


Figure 4 | Relations entre les stades de maturité de la fraise (cv. Clery) (fruit blanc, fruit rouge 1/4, fruit rouge 1/2, fruit rouge 4/4, fruit rouge foncé) et les teneurs en anthocyanines et en phénols totaux et la capacité antioxydante (TE: Trolox équivalent) dans les tissus internes (■) et externes (◆) du fruit. Les symboles correspondent à la moyenne de quatre répétitions. Des lettres différentes indiquent des différences significatives (test de Tukey, $p < 0,05$). (adapté selon Andrianjaka-Camps *et al.*, 2017).

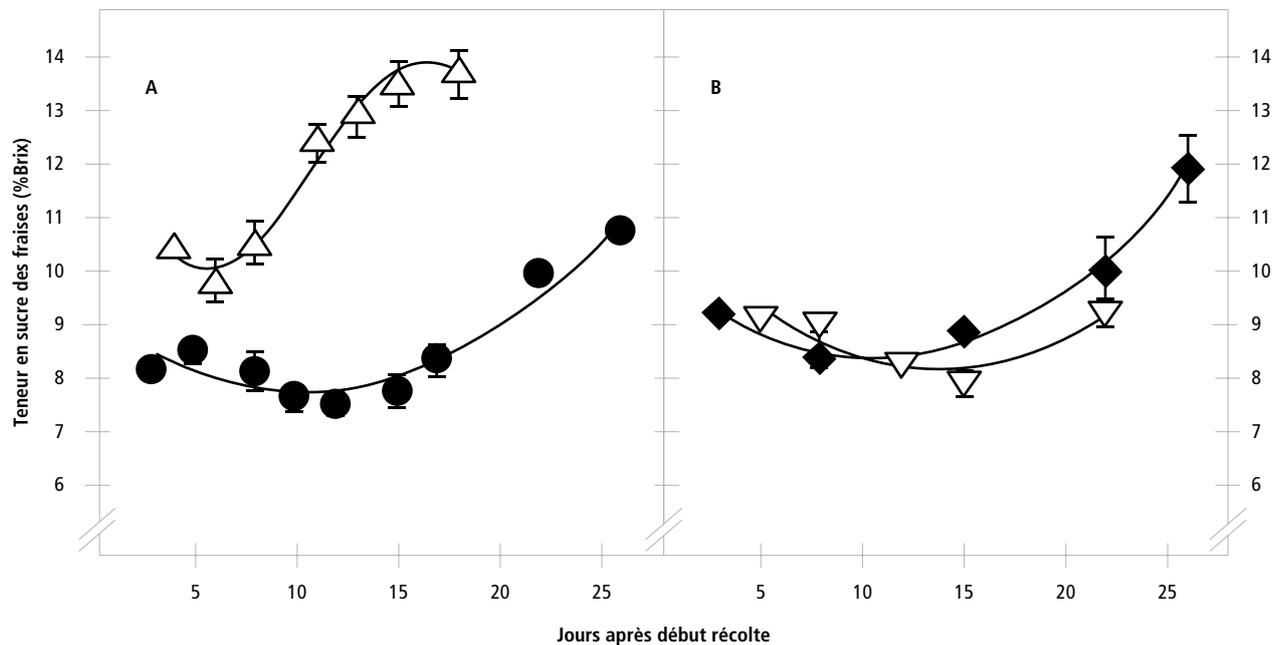


Figure 5 | Relations entre le nombre de jours après début de la récolte et la teneur en sucre des fraises (%Brix) pour les variétés de fraises Marmolada (A, ●) et Ciflorette (A, △), ainsi que Darselect (B, ◆) et Clery (B, ▽). Les symboles correspondent à la moyenne de quatre répétitions. Les barres verticales représentent l'erreur standard (\pm) (adapté selon Carlen *et al.*, 2005).

nettement moins la qualité gustative et nutritionnelle des fraises que les variétés.

- Au sein d'une même variété, le stade de maturité influence fortement la qualité nutritionnelle et gustative des fraises, notamment les arômes en fin de maturation. Cependant, la période de récolte a influencé principalement la qualité gustative et non pas la qualité nutritionnelle des fraises. ■

Remerciements

Les auteurs adressent leurs remerciements au groupe de recherche «Baies et Plantes médicinales» pour ses précieuses contributions.

Bibliographie

- Andrianjaka-Camps Z. N., Crespo P., Ançay A. & Carlen C., 2015. Strawberry 'Clery' Fruit Quality Evolution during Harvest. *Acta Horticulturae* **1099**, 225–232.
- Andrianjaka-Camps Z. N., Héritier J., Ançay A., Andlauer W. & Carlen C., 2017. Evolution of the taste-related and bioactive compound profiles of the external and internal tissues of strawberry fruits (*Fragaria x ananassa*) cv. 'Clery' during ripening. *Journal of Berry Research* **7**(1), 11–22.
- Carlen C., Ançay A., Terretaz R., Azodanlou R. & Tschabold J.-L., 2001. Mesure de la qualité gustative des fraises. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* **33** (2), 81–86.
- Carlen C. & Ançay A., 2003. Measurement of the sensory quality of strawberries. *Acta Horticulturae* **604**, 353–360.
- Carlen C., Potel A.-M., Bellon C. & Ançay A., 2005. Qualité des fraises: effets de la variété, du rapport feuille/fruit, de la période de récolte et du stade de maturité. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* **37**(2), 87–93.
- Carlen C., Potel A.-M. & Ançay A., 2007. Influence of leaf/fruit ratio of strawberry plants on the sensory quality of their fruits. *Acta Horticulturae* **761**, 121–26.
- Carlen C. & Krüger E., 2009. Berry Production in Changing Climate Conditions and Cultivation Systems: Further Research Requirements. *Acta Horticulturae* **838**, 225–228.
- Carlen C., Potel A.-M. & Ançay A., 2009. Photosynthetic response of strawberry leaves to changing temperatures. *Acta Horticulturae* **838**: 73–76.
- Carlen C. & Crespo P., 2012. Genotype, environment and cultivation: what will berry production be like in the future? *Acta Horticulturae* **926**, 381–386.
- Carlen C. & Ançay A., 2017. Fertilisation des cultures de baies. *Recherche Agronomique Suisse* **8** (6), publication spéciale, 1–14.
- Crespo P., Ançay A., Carlen C. & Stamp P., 2009. Strawberry cultivar response to tunnel cultivation. *Acta Horticulturae* **838**: 77–81.
- Crespo P., Bordonaba J. G., Terry L. A. & Carlen C., 2010. Characterization of major taste and health-related compounds of four strawberry genotypes grown at different Swiss production sites. *Food Chem.* **122**(1): 16–24.
- Crespo P., 2010. Variability of health and taste promoting compounds in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruits. Diss. ETH Zürich, 19164: 85 p.
- Giampieri F., Forbes-Hernandez T. Y., Gasparrini M., Alvarez-Suarez J. M., Afrin S., Bompadre S., Quiles J. L., Mezzetti B. & Battino M., 2015. Strawberry as a health promoter: an evidence based review. *Food Funct.* **6** (5):1386–1398.
- Henriot C., Carlen C. & Ançay A., 2002. Influence de la photosynthèse, de la surface foliaire et du rendement sur la qualité gustative des fraises. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* **34**(2), 125–130.
- Josuttis M., Carlen C., Crespo P., Nesby R., Toldam-Andersen T. B., Dietrich H. & Krüger E., 2012. A comparison of bioactive compounds of strawberry fruit from Europe affected by genotype and latitude. *Journal of Berry Research* **2**, 73–95.
- Krüger E., Josuttis M., Nestby R., Andersen T. B., Carlen C. & Mezzetti B., 2012. Influence of growing conditions at different latitudes of Europe on strawberry growth performance, yield and quality. *Journal of Berry Research* **2**, 143–157.
- Krüger E., Carlen C. & Mezzetti B., 2009. Workshop on Berry Production in Changing Climate Conditions and Cultivation Systems. *Acta Horticulturae* **838**, ISHS (eds), 228 p.
- Michalska A., Carlen C., Héritier J. & Wilfried Andlauer W., 2017. Profiles of bioactive compounds in fruits and leaves of strawberry cultivars. *Journal of Berry Research* **7**(2), 71–84.
- Potel A. M., 2003. Le fraisier: Influence de la charge en fruits et de la surface foliaire sur la capacité photosynthétique et la qualité des fruits. Travail de diplôme DESS, Agroscope et ENITA, 37 p.
- Steffek R., Bylemans D., Nikolova G., Carlen C., Faby R., Daugaard H., Tirado L., Pommier J.-J., Tuovinen T., Nyerges K., Manici L., MacNaedhe F., Trandem N., Wander J. & Evenhuis B., 2004. Status of sustainable strawberry production within Europe. *Acta Horticulturae* **649**, 247–250.

Summary ■ **Factors of variation in the taste and nutritional quality of strawberries.**

The Swiss production of strawberries is aimed exclusively at the local fresh market. Significant fluctuations in the taste and nutritional quality of strawberries have been observed by consumers. The objective of these studies was to analyse the factors of variation of these two quality parameters. These studies have shown the essential role of the variety on the taste and nutritional quality of strawberries. The leaf/fruit ratio is probably an essential element to be considered to explain varietal differences and improve the quality of strawberries. Environmental effects such as altitude, latitude and plastic tunnel are very important for the formation of fruit yield, but influenced not very much the taste and nutritional quality of the strawberries. Within the same variety, the stage of ripeness strongly influences the nutritional and taste quality of the strawberries, especially the aromas at the end of ripening. However, the harvest period has mainly influenced the taste quality and not the nutritional quality of the strawberries.

Key-words: Anthocyanins, flavour, sugars, total polyphenols, vitamin C.

Zusammenfassung ■ **Variationsfaktoren der geschmacklichen und ernährungsphysiologischen Qualität von Erdbeeren.**

Die Schweizer Produktion von Erdbeeren ist ausschliesslich auf den lokalen Frischmarkt ausgerichtet. Schwankungen im Geschmack und in der ernährungsphysiologischen Qualität von Erdbeeren wurden von den Konsumentinnen und Konsumenten beobachtet. Ziel dieser Studien war es, die Variationsfaktoren der geschmacklichen und ernährungsphysiologischen Qualität von Erdbeeren zu analysieren. Diese Studien haben die hohe Bedeutung der Sorte für den Geschmack und die Ernährungsqualität von Erdbeeren aufgezeigt. Das Blatt/Frucht-Verhältnis ist wohl ein wesentliches Element, das die Sortenunterschiede erklärt und das für die Verbesserung der Qualität von Erdbeeren zu berücksichtigen ist. Umwelteinflüsse wie Höhenlage, Breitengrad und Plastiktunnel Einfluss beeinflussen die Bildung des Fruchtertrags stark, den Geschmack und die ernährungsphysiologische Qualität der Erdbeeren aber weit weniger. Innerhalb ein und derselben Sorte beeinflusst der Reifegrad die Nährwert- und Geschmacksqualität der Erdbeeren stark, insbesondere die Aromen am Ende der Reifezeit. Die Ernteperiode hat dagegen hauptsächlich die geschmackliche und nicht die ernährungsphysiologische Qualität der Erdbeeren beeinflusst.

Riassunto ■ **Fattori di variazione della qualità gustativa e nutrizionale delle fragole.**

La produzione svizzera di fragole si rivolge esclusivamente al mercato fresco locale. Grandi fluttuazioni nella qualità gustativa e nutrizionale delle fragole sono state osservate dai consumatori. Degli studi, condotti con l'obiettivo d'analizzare i fattori di variazione della qualità gustativa e nutrizionale delle fragole, hanno dimostrato il ruolo essenziale della varietà. Il rapporto foglia/frutta è verosimilmente un elemento chiave da considerare per spiegare le differenze varietali e migliorare la qualità delle fragole. Gli effetti ambientali come l'altitudine, la latitudine e il tunnel di plastica sono molto importanti per la formazione del carico produttivo in frutti, ma influenzano molto meno i fattori oggetto di questo studio. All'interno della stessa varietà, lo stadio di maturazione influenza fortemente la qualità nutrizionale e gustativa delle fragole, in particolare gli aromi a fine maturazione. Tuttavia, il periodo di raccolta ha influenzato principalmente la qualità gustativa e non quella nutrizionale.