

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

PROFIL PHÉNOLOGIQUE ET CARACTÉRISATION BIOCHIMIQUE  
DES FRUITS DU SUREAU DU CANADA (*SAMBUCUS CANADENSIS* L.)

MÉMOIRE  
PRÉSENTÉ  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN BIOLOGIE

PAR  
FANNIE MATHIEU

MAI 2009

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

## REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier mon directeur de maîtrise, monsieur Normand Chevrier pour sa patience et ses précieux conseils. Un grand merci à mon co-directeur, monsieur Denis Charlebois pour sa disponibilité exceptionnelle, son encadrement et ses nombreuses critiques constructives mais jamais destructives. Tous deux, je vous remercie sincèrement pour m'avoir accordé votre temps et votre expertise mais surtout, pour avoir cru en mes capacités.

Merci aux employés du centre de recherche et développement en horticulture d'Agriculture et Agroalimentaire Canada pour m'avoir accueillie parmi vous. Vous êtes tous des gens chaleureux, riches de connaissances et vous côtoyer quotidiennement fût un réel plaisir. Je remercie particulièrement les équipes de Marie-Thérèse Charles, Shahrokh Khanizadeh, Jean-Charles Côté, Caroline Lafond, Vicky Toussaint et Gaston Mercier pour le prêt d'équipements, d'espaces et pour leurs précieux conseils. Un merci tout spécial à Mme Éléonore Tremblay pour m'avoir convaincue de m'embarquer dans ce merveilleux projet et pour l'avoir rendu réalisable à mes yeux.

L'acquisition d'autant de données en si peu de temps aurait été impossible sans l'incalculable collaboration de plusieurs étudiants et stagiaires dont il serait ingrat de taire les noms : Rosiane Albert, Éric Boucher, Suzanne Brakel, Cédric Charrois, Sébastien Desset, Dominic Laplante, Amélie Lecompte, Sophie Lefebvre, Rémi Renaudat, Matthieu Saint-Marcel, Ines Santrac et Maude Tougas. Merci infiniment pour la complicité développée et pour les beaux échanges culturels. Vive la France!

Finalement, je tiens à remercier mes amis, ma famille et mon conjoint pour leurs encouragements et leur compréhension. Un merci tout spécial à ma mère pour son soutien et son intarissable amour. Sans toi, je n'y serais jamais arrivée. Maman, merci pour tout, ce diplôme est un peu le tien aussi.

## AVANT-PROPOS

Ce mémoire est présenté sous forme de deux articles scientifiques représentant chacun un chapitre. Je suis l'auteure principale des deux manuscrits de ce mémoire, puisque j'étais responsable de la totalité des analyses de laboratoire et des bases de données. J'ai également effectué l'ensemble des analyses statistiques. Mon directeur de maîtrise, monsieur Normand Chevrier et mon co-directeur, monsieur Denis Charlebois ont participé en proposant l'idée de base de l'expérience, en émettant leur commentaires, en encadrant mes démarches et en effectuant les révisions nécessaires. Monsieur Charlebois a également fourni des efforts pour la recherche de financement, l'équipement du laboratoire, l'élaboration d'une base de données bibliographiques et le recrutement de stagiaires. Son équipe était également responsable de la mise en place de la parcelle expérimentale et de son entretien. Mme Marie-Thérèse Charles a contribué à ma recherche en adaptant la technique d'analyse de la capacité antioxydante (méthode TEAC) et en me prodiguant des conseils. Ces articles seront retravaillés, traduits et soumis pour publication dans « *Journal of Agricultural and Food Chemistry* » et « *American Journal of Botany* » peu après la remise de ce mémoire. Ils sont précédés d'une introduction générale pertinente aux deux articles et suivis d'une conclusion générale rappelant les objectifs de l'étude et les principaux résultats qui en sont dégagés. Par souci d'économie de papier, les références bibliographiques ont été regroupées à la fin du mémoire.

## TABLE DES MATIÈRES

|   |      |
|---|------|
| AVANT-PROPOS .....  | iii  |
| LISTE DES FIGURES.....  | viii |
| LISTE DES TABLEAUX.....   | x    |
| LISTE DES ABRÉVIATIONS UTILISÉES .....  | xii  |
| RÉSUMÉ .....  | xiii |
| MOTS CLÉS.....  | xiii |
| INTRODUCTION GÉNÉRALE .....   | 1    |
| Composés antioxydants et santé.....   | 1    |
| Méthodes d'évaluation de l'activité antioxydante .....  | 3    |
| Facteurs influençant les teneurs en ACY, en CPT et la CA.....   | 6    |
| Avantages des petits fruits .....   | 9    |
| Sureau européen.....  | 10   |
| Sureau du Canada.....   | 14   |
| Objectifs et hypothèses de travail .....  | 18   |
| CHAPITRE 1 : Les teneurs en sucres solubles, en anthocyanes, en composés<br>phénoliques totaux et la capacité antioxydante des fruits du sureau du Canada<br>( <i>Sambucus canadensis</i> L.) sont influencées par la saison de croissance, la<br>maturité et le cultivar ..... | 20   |
| 1.1 RÉSUMÉ .....  | 21   |
| 1.2 INTRODUCTION .....  | 22   |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.3    | MATÉRIEL ET MÉTHODES.....  | 24 |
| 1.3.1  | Produits chimiques.....  | 24 |
| 1.3.2  | Matériel végétal.....  | 24 |
| 1.3.3  | Échantillonnage.....   | 24 |
| 1.3.4  | Évaluation de la teneur en SS.....                                   | 25 |
| 1.3.5  | Préparation de l'extrait.....  | 25 |
| 1.3.6  | Évaluation de la teneur en ACY.....                                  | 25 |
| 1.3.7  | Évaluation de la teneur en CPT.....                                  | 26 |
| 1.3.8  | Évaluation de la CA.....   | 26 |
| 1.3.9  | Analyses statistiques.....   | 26 |
| 1.4    | RÉSULTATS ET DISCUSSION.....   | 27 |
| 1.4.1  | Influence de l'année de croissance.....                              | 27 |
| 1.4.2  | Influence de la maturité sur la teneur en SS.....                    | 32 |
| 1.4.3  | Influence du cultivar sur la teneur en SS.....                       | 33 |
| 1.4.4  | Influence de la maturité sur la teneur en ACY.....                   | 33 |
| 1.4.5  | Influence du cultivar sur la teneur en ACY.....                      | 34 |
| 1.4.6  | Influence de la maturité sur la teneur en CPT.....                   | 35 |
| 1.4.7  | Influence du cultivar sur la teneur en CPT.....                      | 36 |
| 1.4.8  | Influence de la maturité sur la CA.....                              | 36 |
| 1.4.9  | Influence du cultivar sur la CA.....                                 | 38 |
| 1.4.10 | Comparaison entre le sureau du Canada et d'autres petits fruits..... | 38 |
| 1.5    | CONCLUSION.....  | 41 |

|  |    |
|--|----|
| CHAPITRE 2 : Le développement des fruits du sureau du Canada ( <i>Sambucus canadensis</i> L.) n'explique pas l'asynchronisme de l'évolution de leurs teneurs en anthocyanes, en composés phénoliques et de leur capacité antioxydante..... | 42 |
| 2.1 RÉSUMÉ .....   | 43 |
| 2.2 INTRODUCTION .....   | 44 |
| 2.3 MATÉRIEL ET MÉTHODES.....  | 46 |
| 2.3.1 Parcelle à l'étude.....  | 46 |
| 2.3.2 Données météorologiques.....   | 46 |
| 2.3.3 Évaluation des plants.....   | 46 |
| 2.3.4 Caractérisation biochimique des fruits.....  | 47 |
| 2.3.5 Analyses statistiques .....  | 47 |
| 2.4 RÉSULTATS .....  | 49 |
| 2.4.1 Données météorologiques .....  | 49 |
| 2.4.2 Durée totale du processus de développement des fruits.....   | 49 |
| 2.4.3 Phase A .....  | 52 |
| 2.4.4 Phase B.....   | 55 |
| 2.4.5 Phase C.....   | 55 |
| 2.4.6 Phase D .....  | 56 |
| 2.4.7 Phase E.....   | 59 |
| 2.5 DISCUSSION .....   | 60 |
| 2.5.1 Floraison.....   | 60 |
| 2.5.2 Impact de la pluie sur l'espèce indigène .....   | 60 |
| 2.5.3 Teneur en ACY et coloration des fruits .....   | 60 |
| 2.5.4 Détermination du meilleur moment de récolte .....  | 61 |
| 2.6 CONCLUSION .....   | 62 |

|   |    |
|---|----|
| CONCLUSION GÉNÉRALE.....  | 63 |
| Composition biochimique des fruits du sureau du Canada.....   | 63 |
| Développement des fruits du sureau du Canada .....  | 64 |
| Perspectives de recherche .....   | 65 |
| ANNEXE A : Évolution des teneurs en SS, en ACY, en CPT et CA pour<br>l'espèce indigène et les cultivars du sureau du Canada étudiés .....                             | 66 |
| ANNEXE B : Données phénologiques pour les cultivars étudiés .....   | 70 |
| B.1 : Comparaison du début, du maximum et de la durée totale de chaque phase<br>pour l'espèce indigène et les cultivars étudiés .....                                 | 70 |
| B.2 : Phases de maturation des fruits des cultivars non présentés au chapitre 2.....  | 73 |
| B.3 : Parallèle entre l'évolution des teneurs en SS, en ACY, en CPT et de la CA<br>avec la maturation des fruits des cultivars non présentés dans le chapitre 2 ..... | 77 |
| ANNEXE C : Paramètres non présentés dans les articles.....  | 81 |
| C.1 : Comparaison des différents cultivars pour les paramètres non présentés<br>dans les deux chapitres.....  | 81 |
| C.2 : Évolution des paramètres non présentés dans les deux chapitres .....  | 84 |
| C.3 : Données de productivités .....  | 89 |
| C.4 : Force de corrélation entre les paramètres mesurés pour l'ensemble des<br>cultivars étudiés et pour chaque cultivar pris un à un .....                           | 90 |
| LISTE DES RÉFÉRENCES .....  | 93 |

## LISTE DES FIGURES

|  |    |
|--|----|
| Figure 0.1 : Plants de sureau du Canada en floraison et fruits à maturité.....   | 16 |
| Figure 1.1 : Évolution des teneurs en SS, en ACY, en CPT et de la CA pour<br>l'espèce indigène et les cultivars Nova et Victoria .....                     | 31 |
| Figure 2.1 : Températures quotidiennes minimales et maximales.....   | 50 |
| Figure 2.2 : Précipitations quotidiennes et cumulées.....  | 51 |
| Figure 2.3 : Phases du développement des fruits de l'espèce indigène .....   | 53 |
| Figure 2.4 : Phases du développement des fruits du cultivar Nova .....   | 54 |
| Figure 2.5 : Évolution des teneurs en SS, en ACY, en CPT et de la CA, durée et<br>atteinte des maxima pour les phases D et E chez l'espèce indigène.....   | 57 |
| Figure 2.6 : Évolution des teneurs en SS, en ACY, en CPT et de la CA, durée et<br>atteinte des maxima pour les phases D et E chez le cultivar Nova.....    | 58 |
| Figure A.1: Évolution de la teneur en SS.....  | 66 |
| Figure A.2 : Évolution de la teneur en ACY.....  | 67 |
| Figure A.3 : Évolution de la teneur en CPT.....  | 68 |
| Figure A.4 : Évolution de la CA .....  | 69 |
| Figure B.1 : Phases de maturation des fruits du cultivar Kent.....   | 73 |
| Figure B.2 : Phases de maturation des fruits du cultivar Scotia.....   | 74 |
| Figure B.3 : Phases de maturation des fruits du cultivar Victoria .....  | 75 |
| Figure B.4 : Phases de maturation des fruits du cultivar York .....  | 76 |
| Figure B.5 : Évolution des teneurs en SS, en ACY, en CPT et de la CA, durée et<br>atteinte des maxima pour les phases D et E chez le cultivar Kent.....    | 77 |
| Figure B.6 : Évolution des teneurs en SS, en ACY, en CPT et de la CA, durée et<br>atteinte des maxima pour les phases D et E chez le cultivar Scotia.....  | 78 |
| Figure B.7 : Évolution des teneurs en SS, en ACY, en CPT et de la CA, durée et<br>atteinte des maxima pour les phases D et E chez le cultivar Victoria.... | 79 |
| Figure B.8 : Évolution des teneurs en SS, en ACY, en CPT et de la CA, durée et<br>atteinte des maxima pour les phases D et E chez le cultivar York .....   | 80 |

|   |    |
|---|----|
| Figure C.1 : Évolution du volume moyen des fruits pour les cultivars étudiés .....                  | 84 |
| Figure C.2 : Évolution de la MF moyenne des fruits pour les cultivars étudiés .....                 | 85 |
| Figure C.3 : Évolution de la MS moyenne des fruits pour les cultivars étudiés .....                 | 86 |
| Figure C.4 : Évolution de la teneur en eau moyenne des fruits .....                                 | 87 |
| Figure C.5 : Évolution de la teneur en acide moyenne des fruits pour les cultivars<br>étudiés ..... | 88 |
| Figure C.6 : Productivité moyenne des cultivars étudiés .....                                       | 89 |

## LISTE DES TABLEAUX

|   |    |
|---|----|
| Tableau 0.1 : Comparaison de la valeur nutritive des baies de sureau européen avec celle d'autres petits fruits.....                            | 11 |
| Tableau 0.2 : Proportions et concentrations en ACY du sureau européen .....   | 13 |
| Tableau 0.3 : Comparaison des teneurs en ACY, en CPT et de la CA du sureau européen avec celles de petits fruits disponibles sur le marché..... | 14 |
| Tableau 0.4: Caractéristiques des cultivars de sureau du Canada.....  | 17 |
| Tableau 1.1 : Date d'atteinte du maximum de la teneur en SS des fruits à maturité..   | 32 |
| Tableau 1.2 : Date d'atteinte du maximum de la teneur en ACY des fruits à maturité .....  | 34 |
| Tableau 1.3 : Date d'atteinte du maximum moyen de la teneur en CPT des fruits à maturité .....  | 36 |
| Tableau 1.4 : Date d'atteinte du maximum et comparaison de la CA des fruits à maturité des cultivars .....                                      | 37 |
| Tableau 1.5 : Comparaison des teneurs en ACY, en CPT et de la CA des fruits du sureau du Canada avec celle de petits fruits.....                | 40 |
| Tableau 2.1 : Description des phases de maturation.....   | 48 |
| Tableau 2.2 : Durée (en jours) nécessaire pour compléter toutes les phases de développement .....   | 52 |
| Tableau B.1 : Date de début de la phase, de l'atteinte du maximum et durée de la phase A.....   | 70 |
| Tableau B.2 : Date de début de la phase, de l'atteinte du maximum et durée de la phase B .....  | 70 |
| Tableau B.3 : Date de début de la phase, de l'atteinte du maximum et durée de la phase C .....  | 71 |
| Tableau B.4 : Date de début de la phase, de l'atteinte du maximum et durée de la phase D.....   | 71 |

|   |    |
|---|----|
| Tableau B.5 : Date de début de la phase, de l'atteinte du maximum et durée de la phase E .....                            | 72 |
| Tableau C.1 : Date d'atteinte du volume maximal des fruits, volume moyen des fruits et classement de Tukey .....          | 81 |
| Tableau C.2 : Date d'atteinte de la MF maximale, MF moyenne des fruits et classement de Tukey .....                       | 81 |
| Tableau C.3 : Date d'atteinte de la MS maximale, MS moyenne et des fruits et classement de Tukey .....                    | 82 |
| Tableau C.4 : Date d'atteinte de la teneur en eau maximale, teneur en eau moyenne des fruits et classement de Tukey ..... | 82 |
| Tableau C.5 : Date d'atteinte de l'acidité maximale, acidité moyenne des fruits et classement de Tukey .....              | 83 |
| Tableau C.6 : Productivité moyenne des cultivars étudiés et classement de Tukey ...                                       | 90 |
| Tableau C.7 : Corrélations entre les paramètres évalués, tous cultivars confondus ...                                     | 90 |
| Tableau C.8 : Corrélations entre les paramètres évalués pour l'espèce indigène .....                                      | 90 |
| Tableau C.9 : Corrélations entre les paramètres évalués pour le cultivar Kent .....                                       | 91 |
| Tableau C.10 : Corrélations entre les paramètres évalués pour le cultivar Nova .....                                      | 91 |
| Tableau C.11 : Corrélations entre les paramètres évalués pour le cultivar Scotia .....                                    | 91 |
| Tableau C.12 : Corrélations entre les paramètres évalués pour le cultivar Victoria ...                                    | 92 |
| Tableau C.13 : Corrélations entre les paramètres évalués pour le cultivar York .....                                      | 92 |

## LISTE DES ABRÉVIATIONS UTILISÉES

ABTS : Acide 2,2'-azino-bis (3-éthylbenzthiazoline-6-sulfonique)

AG : Acide gallique

ACY : Anthocyane(s)

C3G : Cyanidine 3-glucoside

C3S : Cyanidine 3-sambubioside

CA : Capacité antioxydante

CP : Composé(s) phénolique(s)

CPT : Composés phénoliques totaux

EAG : Équivalent acide gallique

ET : Équivalent Trolox

HPLC: High-performance liquid chromatography

MF : Masse fraîche

MS : Masse sèche

ORAC : Oxygen Radical Absorbance Capacity

SS : Sucres solubles

TEAC : Trolox Equivalent Antioxydant Capacity

Trolox : Acide ( $\pm$ )-6-hydroxy-2,5,7,8-tétraméthylchromane-2-carboxylique

$\beta$ -PE :  $\beta$ -phycoerythrine

## RÉSUMÉ

Les fruits du sureau du Canada (*Sambucus canadensis* L.) possèdent un bon potentiel pour les marchés alimentaires et nutraceutiques. Cependant, peu d'études ont porté sur ces fruits qui auraient besoin d'être caractérisés. Le premier volet de ce projet visait à évaluer la teneur en sucres solubles (SS), en anthocyanes (ACY), en composés phénoliques totaux (CPT) ainsi que la capacité antioxydante (CA) des fruits de cinq cultivars et de l'espèce indigène. Il a été montré que la composition des fruits variait selon le cultivar, le moment de récolte et l'année de croissance. Les cultivars Victoria et Scotia sont les cultivars contenant le plus de SS (16,8 et 16,5 °Brix, respectivement). Les cultivars qui contiennent la plus grande teneur en ACY, en CPT et la plus grande CA sont Nova (771 mg C3G/100 g MF; 1054 mg EAG/100 g MF; 60 µmol ET/g MF, respectivement) et Kent (755 mg C3G/100 g MF; 1015 mg EAG/100 g MF; 55 µmol ET/g MF, respectivement). Après comparaison de nos résultats avec ceux de la littérature, nous avons constaté que les fruits du sureau du Canada contiennent plus de ces composés que d'autres petits fruits habituellement qualifiés de riches en ces derniers. Il a également été observé que tous les cultivars n'atteignaient pas leurs teneurs maximales au même moment. Dans le but d'expliquer cette différence, un suivi du développement des fruits a été effectué. Pour y parvenir, nous avons mis au point une échelle basée sur la coloration des fruits. Par la suite, un parallèle avec les teneurs en SS, en ACY, en CPT et avec la CA a été effectué. Il s'avère que ces paramètres sont tous reliés à l'évolution de la coloration des fruits. De plus, la maturation des fruits variait selon le cultivar et l'année. Les cultivars étudiés présentent un avantage car leur temps de maturation est plus stable d'une année à l'autre (entre 60 et 68 jours) comparativement à celui de l'espèce indigène (64 jours en 2007 et 76 jours en 2006). Finalement, nous avons déterminé que l'utilisation conjointe de la teneur en SS et du suivi visuel de la coloration des fruits constituait un bon moyen d'évaluer le meilleur moment de récolte. Les résultats présentés fournissent, pour la première fois, des informations susceptibles d'orienter les industries alimentaires et nutraceutiques et de permettre aux producteurs de mieux gérer leur récolte.

## MOTS CLÉS

Sureau du Canada, anthocyanes, composés phénoliques, capacité antioxydante, développement des fruits, petits fruits

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

### Composés antioxydants et santé

Une estimation basée sur les travaux de Ames et al. (1995), a montré qu'environ 70% des cancers sont attribuables à une alimentation inadéquate. La consommation régulière de fruits et légumes variés aiderait à prévenir la formation de cancers d'une douzaine de façons différentes. Ils empêchent la prolifération de cellules dont l'ADN est anormal, freinent la formation de tumeurs et de métastases et réparent les cellules endommagées (Ames et al., 1995; Steinmetz et Potter, 1996). L'effet protecteur des fruits et légumes est dû à une variété de composés, tels les vitamines, les minéraux, les fibres et plusieurs composés phytochimiques (Pietta, 2000).

Les réactions d'oxydations sont très importantes dans le métabolisme des organismes vivants. Cependant, un excès de ces réactions entraîne la formation de radicaux libres qui s'attaquent aux lipides, aux protéines et même aux acides nucléiques. Ces réactions peuvent être très dommageables car elles sont impliquées dans la formation de plusieurs types de cancer, les maladies cardiaques et certaines maladies associées au vieillissement tels que les rhumatismes, l'arthrite, les cataractes et le diabète de type 2 (Ames et al., 1995; Prior, 2003).

Les fruits et légumes sont une importante source d'antioxydants, des composés ayant la propriété de contrecarrer les stress oxydatifs. Chez les végétaux, les composés antioxydants sont impliqués dans des stades de développement telle la maturation, la sénescence ainsi que dans la protection contre certaines maladies et certains pathogènes (Brennan et Frenkel, 1977; Rogiers et al., 1998; Wang et al., 1994). Chez l'homme, ils sont reconnus pour avoir de nombreuses propriétés bénéfiques pour la santé. Les plus couramment mentionnées sont : l'activation du système immunitaire, l'activité antivirale, la protection contre les cancers, scléroses, maladies dégénératives, vasculaires périphériques et cardiovasculaires, ainsi que la

réduction du stress (Sardi, 2000). Les composés antioxydants dans les fruits et légumes sont nombreux. Parmi eux, on retrouve les vitamines C et E, les flavonoïdes, les tannins, les lignanes et les composés phénoliques (CP).

Les CP constituent la principale classe de métabolites secondaires chez les plantes (Karakaya, 2004). Ils ont pour rôle d'attirer les insectes pollinisateurs et les animaux responsables de la dispersion des graines car ils confèrent la couleur, l'odeur et la saveur aux fruits. Ils sont impliqués dans le processus de la photosynthèse en tant que composantes de la chaîne de transport des électrons et dans différents systèmes de défense contre les parasites, certains stress et les effets dommageables des rayons ultraviolets (Pietta, 2000). De plus, les CP jouent un rôle important dans les mécanismes de défenses de la plante contre les infections et blessures faites au champ ou lors de manipulations post-récolte (Mayr et al., 1997; Wang et al., 1994). Ils ont également des propriétés antioxydantes. À plusieurs reprises, une forte corrélation entre la teneur en CP totaux (CPT) et la capacité antioxydante (CA) a été observée (Bermúdez-Soto et Tomás-Barberán, 2004; Howard et al., 2003; Tulipani et al., 2008; Wu et al., 2004a). Dans l'industrie alimentaire, ils sont utilisés à faible concentration afin de prévenir contre la détérioration des aliments. À plus forte concentration, ils interagissent avec les protéines, les sucres et les minéraux. Ils ont également plusieurs effets bénéfiques sur la santé. Ils ont des propriétés anticancérigènes et anti-inflammatoires, aident à prévenir contre les mutations, les maladies cardiaques, l'athérosclérose, et seraient même bénéfiques pour les voies gastro-intestinales (Halliwell et al., 2005). Il existe plusieurs classes de CP : les acides hydroxybenzoïques, les acides hydroxycinnamiques, les coumarines, les naphthoquinones, les xanthones, les stilbènes, les lignanes, les tannins, les isoflavonoïdes et les flavonoïdes.

Les flavonoïdes constituent le groupe le plus important de CP avec plus de 6000 composés naturels qui sont présents dans presque toutes les plantes. Ils sont responsables de la coloration jaune, orange et rouge de plusieurs structures végétales. On leur attribue plusieurs propriétés bénéfiques pour la santé telles des propriétés

antioxydantes, inhibitrices d'enzymes, anti-hépatotoxiques, antiallergiques, anti-inflammatoires, anti-ulcérogènes, vaso-protectrices et plusieurs autres (Ghedira, 2005; Heim et al., 2002; Lee et al., 2003). Les flavonoïdes sont divisées en sous-classes de composés, soient : les flavonols (flavones, flavanols, flavonones), les proanthocyanidines et les anthocyanes (ACY) (Harborne et Sherratt, 1961; Macheix et al., 1990; Manach et al., 2005; Pietta, 2000; Prior, 2003).

Les ACY sont des pigments responsables de la couleur bleue, violette, rouge et noire des fleurs et des fruits (Fossen et al., 1998; Prior, 2003). Elles sont les CP les plus consommés dans la diète humaine (Wang et Lin, 2000). Aux Etats-Unis, on a estimé la quantité quotidienne d'ACY ingérées à environ 200 mg par personne (Hollman et Katan, 1999). Les ACY sont aussi de puissants composés antioxydants (Cao et Prior, 1999; Cao et al., 1996; Halvorsen et al., 2002; Prior, 1998). À plusieurs reprises, une forte corrélation entre la teneur en ACY et la CA a été observée (Bermúdez-Soto et Tomás-Barberán, 2004; Prior et al., 1998; Wada et Ou, 2002; Wu et al., 2004a). Par contre, pour que les ACY soient vraiment efficaces dans l'organisme, il faut qu'elles y soient absorbées et métabolisées. La quantité d'ACY nécessaires pour produire un effet *in vivo* n'est pas encore bien définie (Prior, 2003). Par contre, lorsqu'on administre des extraits riches en ACY à des cochons, on observe un effet vaso-protecteur et vaso-activateur (Bell et Gochenaur, 2006). De plus, il a été montré qu'une anthocyane, la cyanidine 3-glucoside, pouvait être absorbée par l'homme (Frank et al., 2003; Frank et al., 2007; Wu et al., 2002).

#### Méthodes d'évaluation de l'activité antioxydante

Depuis le début des années 90, diverses méthodes ont été mises au point afin d'évaluer la CA des aliments. Puisque les composés antioxydants se trouvent dans des mélanges ou des systèmes complexes et agissent à plusieurs niveaux à la fois, ils sont soumis à une multitude de variables qui sont susceptibles d'influencer leur action. L'utilisation d'une seule méthode pour évaluer la CA viendrait sous-estimer l'influence de ces variables (Antolovich et al., 2002). Au début des années 2000,

plusieurs auteurs s'entendaient pour dire qu'il est nécessaire d'utiliser plus d'une méthode afin de déterminer l'activité antioxydante dans la nourriture et les systèmes biologiques. Ils soulignaient également l'urgence d'un consensus quant au choix des méthodes à utiliser pour uniformiser les études et pouvoir ainsi standardiser les résultats (Antolovich et al., 2002; Frankel et Meyer, 2000; Marc et al., 2004). En 2005, l'équipe de Prior et al. (2005) trancha la question. Ils comparèrent l'ensemble des techniques pour en évaluer les avantages et les inconvénients. Selon leurs conclusions, trois d'entre elles sont à considérer pour la standardisation des démarches, soient la méthode de l'« Oxygen Radical Absorbance Capacity » (ORAC), la méthode de Folin-Ciocalteu et la méthode du « Trolox Equivalent Antioxydant Capacity » (TEAC).

La méthode ORAC a été développée par l'équipe de Cao et al. (1993). Elle consiste à mesurer l'effet inhibiteur des antioxydants sur un radical libre couplé à une protéine fluorescente, la  $\beta$ -phycoerythrine ( $\beta$ -PE). Grâce à ce couplage, il est possible de mesurer la CA via la perte de fluorescence de la  $\beta$ -PE. Cependant, la  $\beta$ -PE n'étant pas constante d'un lot à l'autre, la méthode fût améliorée en 2001 grâce à l'utilisation de la fluorescéine (Ou et al., 2001). À l'origine, la méthode était limitée à l'évaluation des composés hydrophiles seulement. A priori, cela ne semblait pas poser de problèmes puisque les antioxydants hydrophiles comptent pour plus de 85% de la CA chez les fruits et légumes, (Pellegrini et al., 2007; Prior, 2003). Cependant, comme les composés lipophiles jouent un rôle important contre l'oxydation lipidique, la méthode a été adaptée afin de les prendre en considération (Huang et al., 2002; Wu et al., 2004d). Cette méthode utilise le Trolox comme standard, un analogue de la vitamine E dont la CA est bien connue. La méthode ORAC a pour avantage d'être relativement simple, requiert peu d'instrumentation et prend en considération les composés hydrophiles et lipophiles (Prior et al., 2005). Cette méthode a largement été utilisée pour évaluer la CA des aliments (Cao et al., 1996; Wang et al., 1996; Wu et al., 2004c). Certaines compagnies nutraceutiques indiquent même l'indice ORAC sur l'étiquette de leurs produits.

La méthode de Folin-Ciocalteu a été mise au point en 1927 (Folin et Ciocalteu, 1927). Aujourd'hui elle est beaucoup utilisée afin de déterminer la quantité de CPT de différents extraits. Puisque pratiquement tous les composés antioxydants sont des CP (Singleton et al., 1999) et qu'elle utilise une réaction d'oxydoréduction, cette méthode peut être considérée comme un moyen d'évaluer la CA (Prior et al., 2005). Le principe est simple : l'oxydation des CP par le réactif de Folin-Ciocalteu résulte en un produit de couleur bleue. Ainsi, plus la quantité de CPT est élevée, plus ils empêchent la réaction d'oxydation et l'apparition de la coloration bleue. L'intensité de la réaction est mesurée à 760 nm et elle est comparée à celle d'un étalon connu, tel l'acide gallique (AG). Cependant, la réaction est lente à pH acide et manque de spécificité. En 1965, la méthode a été revue et adaptée par Singleton et Rossi (1965). Ils ont déterminé les meilleures conditions dans lesquelles la procédure devait être exécutée. Ils ont également déterminé les volumes à utiliser afin d'obtenir une solution alcaline, trouvé le temps de réaction optimal, suivi la densité optique et déterminé que l'AG devait être utilisée comme référence. Cette méthode a pour avantage d'être simple, sensible, précise et peu coûteuse (Prior et al., 2005). Depuis, la méthode de Folin-Ciocalteu se retrouve presque systématiquement dans toutes les études caractérisant la CA des aliments (Kähkönen et al., 2001; Pellegrini et al., 2003a; Velioglu et al., 1998).

La méthode TEAC a été élaborée par Miller et al. (1993). L'activité antioxydante totale de la substance analysée est déduite par sa capacité à inhiber un radical de couleur bleu, l'ABTS, comparativement à un antioxydant de référence, le Trolox. La décoloration de l'ABTS est mesurée à 734 nm. Les valeurs obtenues par la méthode TEAC sont similaires à celles de la méthode ORAC si les temps de réactions sont de 30 et 70 min respectivement (Wang et al., 2004). Cette méthode a pour avantage d'être simple et sensible aux composés hydrophiles et lipophiles. De plus, elle requiert peu d'instrumentation (Prior et al., 2005). Bien que moins fréquemment utilisée que la méthode ORAC, on retrouve plusieurs études où cette méthode est

citée (Deighton et al., 2000; Karakaya et al., 2001; Pellegrini et al., 2003b; Stratil et al., 2006).

#### Facteurs influençant les teneurs en ACY, en CPT et la CA

Plusieurs facteurs sont susceptibles d'influencer les teneurs en ACY, en CPT ainsi que la CA des petits fruits. Il a été montré que ces trois paramètres pouvaient varier d'un cultivar à l'autre chez une même espèce. Cette démonstration a été faite pour une multitude de petits fruits telle la groseille, le cassis, la groseille rouge, l'aronie, la cerise, la fraise, la canneberge, le bleuet, la framboise, la pomme et l'abricot (Hukkanen et al., 2003; Kalt et al., 2001; Mozetič et al., 2002; Scalzo et al., 2005; Tulipani et al., 2008; Wada et Ou, 2002; Wang et Stretch, 2001; Wu et al., 2004a). Par exemple, chez le bleuet, les teneurs en ACY, en CPT et la CA (méthode ORAC) peuvent varier de 34 à 515 mg C3G/100 g MF, de 171 à 961 mg EAG/100 g MF et 19 à 131 mg ET/100 g MF respectivement, selon le cultivar (Moyer et al., 2002). Chez la fraise, la teneur en CPT et la CA (méthode TEAC) peuvent varier de 427 à 937 mg EAG/100 g MF et de 199 à 272 mg ET/100 g MF, respectivement (Rekika et al., 2005). Il apparaît donc que le choix du cultivar est un critère de sélection important pour le producteur, le transformateur et le consommateur.

Chez les bleuets, il a été montré que l'année de croissance avait une incidence significative sur la teneur en ACY ( $p < 0.0001$ ) et la CA ( $p = 0.0291$ ) (Howard et al., 2003). Cependant, aucune incidence significative n'a été décelée sur la teneur en CPT. La date de récolte influencerait également ces paramètres. De telles données ont été obtenues pour la fraise, la framboise, la mûre et le bleuet (Moyer et al., 2002; Pelayo-Zaldivar et al., 2005; Siriwoharn et al., 2004). Par exemple, Wang et Lin (2000) ont récolté des fraises du cultivar 'Allstar' à sept stades de développement, du petit fruit vert au fruit rouge et mûr. Ils ont observé que les teneurs en ACY, en CPT et la CA variaient entre 0.2 et 38.9 mg/100 g MF, 91 à 278 mg EAG/100 g MF et 10 à 23  $\mu\text{mol ET/g MF}$ , respectivement. La CA et la teneur en CPT diminuent au cours de la maturation des fraises alors que la teneur en ACY augmente. Par contre, chez le

bleuet, les fruits venant tout juste d'atteindre leur coloration bleue avaient une CA et une teneur en ACY plus basses que lorsqu'ils étaient récoltés 49 jours plus tard (Prior et al., 1998). Afin d'avoir des fruits de la meilleure qualité possible, c'est-à-dire ayant atteint leurs teneurs maximales pour ces trois paramètres, il importe donc de déterminer à quel moment celles-ci sont atteintes.

### Phénologie et développement des fruits

La phénologie est l'étude de l'apparition d'événements périodiques dans le monde vivant, déterminée par les variations saisonnières du climat. Chez les végétaux, les indices phénologiques sont nombreux : le débourrement, la floraison, la fructification, la coloration et la chute des feuilles en sont de bons exemples. Le patron phénologique d'une espèce peut être décrit selon la durée, le moment d'apparition ou le synchronisme avec un autre événement (Rathcke et Lacey, 1985).

Si les différents processus de croissance des plantes en général sont bien décrits, il existe peu de travaux qui ont porté sur le développement des fruits. Or, les fruits jouent un rôle clé pour la plante car ils sont le résultat de la reproduction sexuée et de plus, ils attirent les animaux qui dans certains cas sont responsables de la propagation de la plante. La maturation des fruits est constituée d'un ensemble d'événements successifs menant à la maturité, ce stade étant défini comme le moment où le fruit est à sa valeur nutritive optimale pour la consommation humaine. Par exemple, le temps requis à la fraise pour passer de la floraison à la maturité est de trois semaines alors qu'il varie entre huit et dix mois pour l'orange. Il s'avère donc important de bien comprendre les processus de maturation afin de s'assurer de récolter les fruits à leur maturité. Chez les petits fruits tels la fraise, la framboise, le bleuet, la mûre et la canneberge, la maturation est caractérisée par une accumulation de plusieurs composés, comme l'eau, les SS, les ions, les flavonoïdes, les CP, les acides aminés, les amides, les protéines, les vitamines, les alcaloïdes, les terpènes, les lipides et beaucoup d'autres (Coombe, 1976).

Plusieurs indices peuvent être utilisés pour effectuer le suivi de la maturation d'un fruit. Pour les espèces de grande importance économique, l'échelle BBCH (« Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt et Chemische Industrie ») a été développée afin de codifier et suivre les stades phénologiques (Meier, 2001). Elle se base sur les principaux stades de développement des fruits. Cependant, certains stades restent difficiles à évaluer. Par exemple, le suivi de la maturité des fruits à pépin se fait selon l'évaluation de la taille des fruits. Or, ce suivi peut s'avérer hasardeux lorsqu'il s'agit de fruits de petites dimensions. Pour la groseille, l'échelle BBCH utilise des critères de coloration pour déterminer la maturité, mais les descriptions sont vagues et peu détaillées. Par ailleurs, il a été montré que la fermeté et la couleur sont de meilleurs indices que la taille pour déterminer la maturité des fruits (Kalousis et al., 2005). Aussi, les échelles pour effectuer le suivi de fruits moins connus n'ont pas été déterminées. Il faut donc tenter d'en créer une à l'aide d'espèces semblables.

La majeure partie des études sur le développement des fruits a porté sur des espèces de haute importance économique tel le raisin et particulièrement celui destiné à la fabrication du vin. Une étude portant sur les raisins destinés à la fabrication des vins Bordeaux a montré que certains cultivars étaient plus sensibles que d'autres aux journées chaudes et à la quantité de pluie lors de la période de véraison, ce qui pouvait diminuer la qualité des fruits (Jones et Davis, 2000). Ceci est un élément important car c'est au moment de la véraison que l'accumulation des SS débute. Leur concentration augmente de manière linéaire jusqu'au moment de la récolte, c'est-à-dire jusqu'à l'obtention d'un indice Brix variant entre 22 et 29, selon le cultivar (Downey et al., 2003). La teneur en ACY des raisins est également un facteur important car c'est elle qui détermine la couleur et le potentiel du vin (Keller et Hrazdina, 1998). Il a été montré que la maturation des raisins était corrélée avec une augmentation de leur teneur en ACY (Kennedy et al., 2001). Des études ont montré que les gènes codant pour les enzymes responsables de la synthèse des ACY sont exprimés avant la véraison, moment où les ACY ne sont pas encore synthétisés (Bogs et al., 2006; Pirie et Mullins, 1980). L'expression de ces gènes pourrait être induite

par l'accumulation d'autres types de CP. Ces auteurs affirment également que la concentration des ACY augmenterait rapidement une semaine après le début de l'accumulation des SS et serait influencée par la quantité de lumière reçue.

#### Avantages des petits fruits

Depuis le début des années 90, une panoplie de recherches ont comparé la CA de plusieurs aliments (Cao et al., 1996; Karakaya et al., 2001; Pellegrini et al., 2003b; Wang et al., 1996; Wu et al., 2004c). Parmi ceux analysés, ce sont principalement les petits fruits de couleur rouge ou bleu foncée qui ont les plus fortes teneurs en ACY, en CPT et la meilleure CA (Wu et al., 2004c). Les plus fréquemment cités sont le bleuet, la fraise, la framboise, la mûre et la canneberge. Ces fruits présentent plus d'avantages que d'autres fruits et légumes car ils contiennent plusieurs nutriments telle la vitamine C et l'acide folique. Ils sont également une bonne source d'acides organiques ayant une activité antimicrobienne et anti-pathogénique dans l'organisme (Beattie et al., 2005).

De plus, ces petits fruits représentent une excellente source de CP, ce qui en font des aliments bons pour la santé (Puupponen-Pimiä et al., 2005). Par exemple, la canneberge est très riche en acides phénoliques. Il a été montré que sa consommation réduisait les risques d'accident cardio-vasculaire (Vattem et al., 2005). Il a également été montré que la canneberge, la framboise et la fraise sont efficaces pour combattre la salmonelle et les staphylocoques. Les composés que ces fruits contiennent ont la propriété d'inhiber la croissance de ces bactéries en déstabilisant et perméabilisant leur membrane plasmique et en inhibant leur métabolisme (Puupponen-Pimiä et al., 2005). De plus, il a été montré que la mûre, le bleuet, la canneberge, la fraise et la framboise inhibent la croissance et stimulent l'apoptose des cellules cancéreuses humaines (Hodges et Kalt, 2003; Seeram et al., 2006). D'autres fruits, comme le sureau européen et le sureau du Canada présentent également un bon potentiel préventif et curatif. Cependant, ceux-ci étant moins connus, peu d'études leur ont été consacrées.

### Sureau européen

Le sureau européen (*Sambucus nigra* L.) [synonyme *Sambucus nigra* ssp. *nigra* (L.) R. Bolli] est un arbuste, pouvant atteindre près de 10 m de hauteur, qu'on retrouve dans la majeure partie de l'Europe de l'Ouest. Ses feuilles sont opposées composées-pennées. Les plants produisent de petites fleurs blanc-crème, regroupées en corymbes. Les fruits sont de petites baies de 6 à 8 mm de diamètre qui deviennent noires à maturité (Atkinson et Atkinson, 2002). En Europe, le marché est très développé pour les fruits du sureau. Au Danemark, on compte plusieurs productions commerciales dont les fruits sont utilisés pour fabriquer des jus et du vin ou comme colorant alimentaire (Kaack, 1989, 1997; Stéger-Maté et al., 2006). Il est également possible de retrouver sur le marché européen une grande variété de produits dérivés du sureau autant au niveau alimentaire que nutraceutique (Novelli, 2003). Dans les marchés alimentaires nord-américains, les Industries Lassonde Inc. utilisent des baies de sureau dans la fabrication de certains de ses jus. On en retrouve également dans des collations proposées par Sun-Rype Products Ltd.

D'après les données fournies par le département de l'agriculture des États-Unis (USDA), les fruits de sureau européen ont une valeur nutritive comparable, voire même supérieure à celle de plusieurs autres petits fruits, notamment en ce qui concerne leur teneur en calcium, en fer, en fibres et en vitamines (tableau 0.1). Ils s'avèrent être une excellente source de vitamines A et C car chaque portion de 100 g contient plus de 60 % de l'apport quotidien recommandé.

Tableau 0.1 : Comparaison de la valeur nutritive des baies de sureau européen avec celle d'autres petits fruits

|            | Eau (%) | Énergie (kcal) | Matières grasses (g) | Fibres (g) | Glucides (g) | Calcium (mg) | Fer (mg) | Phosphore (mg) | Vitamine C (mg) | Vitamine B6 (mg) | Vitamine A (IU) | Acides aminés (mg) | Sodium (mg) |
|------------|---------|----------------|----------------------|------------|--------------|--------------|----------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|--------------------|-------------|
| Bleuet     | 84,2    | 57             | 0,3                  | 2,4        | 14,5         | 6            | 0,3      | 12             | 9,7             | 0,05             | 54              | 0,5                | 1           |
| Canneberge | 87,1    | 46             | 0,1                  | 4,6        | 12,2         | 8            | 0,3      | 13             | 13,3            | 0,06             | 60              | 0,9                | 2           |
| Fraise     | 91,0    | 32             | 0,3                  | 2,0        | 7,7          | 16           | 0,4      | 24             | 58,8            | 0,05             | 12              | 0,6                | 1           |
| Framboise  | 85,8    | 52             | 0,7                  | 6,5        | 12,0         | 25           | 0,7      | 29             | 26,2            | 0,06             | 33              | ND                 | 1           |
| Mûre       | 88,5    | 43             | 0,5                  | 5,3        | 9,7          | 29           | 0,6      | 22             | 21,0            | 0,03             | 214             | ND                 | 1           |
| Raisin     | 80,5    | 69             | 0,2                  | 0,9        | 18,1         | 10           | 0,4      | 20             | 10,8            | 0,09             | 66              | 0,6                | 2           |
| Sureau     | 79,8    | 73             | 0,5                  | 7,0        | 18,4         | 38           | 1,6      | 39             | 36,0            | 0,23             | 600             | 0,6                | 6           |

Légende : ND : Donnée non disponible; les données sont pour une portion de 100 g MF. Source : USDA

Le sureau européen est aussi connu pour son potentiel préventif et curatif. Les différentes recherches effectuées ont montré que les composés actifs présents dans les fruits sont tout aussi divers qu'efficaces. On sait maintenant que les tanins contenus dans les fruits ont pour propriété de diminuer la diarrhée et la congestion nasale. Les fruits contiennent également de l'acide valérique qui facilite la respiration, ce qui justifie leur utilisation dans le traitement de l'asthme (Novelli, 2003). Ils contiennent également des composés solubles capables de stimuler la sécrétion d'insuline et d'augmenter l'absorption de glucose. Cette découverte leur confère donc un bon potentiel pour le traitement des symptômes du diabète (Gray et al., 2000). Dû à leur haute teneur en CPT et une forte CA, les fruits de sureau sont également pressentis comme ingrédient dans des jus fonctionnels (Bermúdez-Soto et Tomás-Barberán, 2004). Une petite dose d'extrait de sureau aurait pour effet de diminuer la teneur en lipides dans le sang, venant ainsi diminuer le risque de maladies coronariennes et

cardiaques. Il est à prévoir qu'une plus forte dose pourrait avoir un impact encore plus important (Murkovic et al., 2004).

D'autres propriétés préventives et curatives intéressantes sont attribuées au Sambucol®, un produit commercial contenant un composé actif du sureau européen. Ce composé possède la capacité de désactiver l'hémagglutinine, protéine présente à la surface de certains virus et qui permet à ceux-ci de se fixer à la cellule hôte. Or, cette protéine est aussi retrouvée chez les mycovirus, groupe contenant notamment le virus responsable de la grippe. Suite à cette observation, le Sambucol® a été testé pour le traitement de la grippe. Il s'est avéré que 93 % des patients chez qui il avait été administré ont vu leurs symptômes diminuer au bout de deux jours alors que 92 % de ceux soignés avec un placebo ont mis jusqu'à six jours pour atteindre le même état (Zakay-Rones et al., 2004; Zakay-Rones et al., 1995). Il a été montré que le Sambucol® avait pour propriété d'inhiber la réplication de 11 souches du virus de l'influenza, venant ainsi accélérer la vitesse de guérison (Barak et al., 2001; Barak et al., 2002). De plus, le Sambucol® aurait la capacité d'activer le système immunitaire en augmentant la production de cytokines. Ces chercheurs pensent même qu'il pourrait avoir un rôle immuno-protecteur ou immunostimulant et qu'il pourrait être avantageux de l'administrer conjointement avec des traitements de chimiothérapie pour traiter les cancers immunodépresseurs ou même le virus d'immunodéficience humaine (VIH). Cette dernière hypothèse a été avancée suite à l'observation de deux patients porteurs du VIH qui, après l'utilisation conjointe d'une décoction à base de sureau, de chondroïtine et de sulfate de glucosamine, ont vu leur nombre de cellules cancéreuses diminuer (Konlee, 1998). Bien que ces observations soient encourageantes, il serait important de faire une étude à plus grande échelle avant d'en tirer des conclusions.

Un autre produit nommé OptiBerry® est fait à partir d'extraits de bleuet sauvage, de fraise, de canneberge, de myrtille sauvage et de sureau européen. Ce produit ne présenterait aucun effet secondaire et combinerait les propriétés bénéfiques de tous les petits fruits qu'il regroupe. On lui attribue plusieurs bienfaits pour la santé

en général : il améliorerait les fonctions cérébrales, la vision, la santé cardiovasculaire, favoriserait la santé de la peau et aiderait à contrôler le niveau de sucre dans le sang. Il aurait également des propriétés anti-vieillessement et anti-sclérotiques et protégerait contre les désordres intestinaux causés par la bactérie *Helicobacter pylori*. De plus, les composés qu'on y retrouve influenceraient les signaux génétiques de manière à promouvoir la santé en prévenant plusieurs maladies (Bagchi et al., 2006; Zafra-Stone et al., 2007).

L'intérêt que l'on voue au sureau est principalement lié à sa forte teneur en ACY (Fossen et al., 1998) qui sont retrouvés principalement dans l'exocarpe des fruits (Prior et al., 1998). La cyanidine 3-glucoside (C3G) et la cyanidine 3-sambubioside (C3S) ont été identifiées comme étant les principales ACY présentes dans les fruits du sureau européen (Cao et Prior, 1999; Jordheim et al., 2007; Watanabe et al., 1998; Wu et al., 2004b). À elles seules, elles représentent plus de 90% de la composition en ACY des fruits (tableau 0.2).

Tableau 0.2 : Proportions et concentrations en ACY du sureau européen

|                                      | Concentration<br>(mg/100 g MF) | Proportion<br>(%) |
|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| cyanidine 3-glucoside                | 739,8                          | 53,8              |
| cyanidine 3-rutinoside               | 4,4                            | 0,3               |
| cyanidine 3-sambubioside             | 545,9                          | 39,7              |
| cyanidine 3-sambubioside-5-glucoside | 82,6                           | 6,0               |
| pelargonidine 3-glucoside            | 1,8                            | 0,1               |
| pelargonidine 3-sambubioside         | T                              | T                 |
| Total                                | 1374,5                         | 100,0             |

Légende : T : Seulement des traces ont été détectées; Source : Wu et al 2004

La nature des ACY présentes dans le sureau européen et dans ses différents cultivars est toujours la même, cependant, leur proportion varie beaucoup d'un cultivar à l'autre (Braga et al., 2002). La C3G du sureau présente l'avantage d'être assimilée par l'organisme car elle a été décelée dans le plasma et l'urine après consommation de jus ou d'extrait (Bitsch et al., 2004; Cao et Prior, 1999; Cao et al.,

2001; Miyazawa et al., 1999; Müllleder et al., 2002; Murkovic et al., 2001). De plus, cette anthocyane possède une CA 3,5 fois plus élevée que le Trolox, ce qui la classe au premier rang parmi les ACY (Elisia et al., 2007). De plus, les ACY du sureau européen seraient davantage absorbées par l'organisme que celles présentes dans le bleuet (Murkovic et al., 2001).

Parmi les fruits utilisés, le sureau représente une meilleure alternative aux raisins dans la fabrication du vin car il contient le plus de CPT et une CA plus élevée (Rupasinghe et Clegg, 2007). Des études portant sur la CA des fruits de sureau européen montrent qu'elle est comparable, voire même supérieure à celle du bleuet, de la canneberge, de la fraise, de la framboise et de la mûre (tableau 0.3) (Pellegrini et al., 2003a; Wu et al., 2004a; Wu et al., 2004c, 2006). Dans ces études, une corrélation positive a été établie entre les teneurs en ACY, en CPT et la CA.

Tableau 0.3 : Comparaison des teneurs en ACY, en CPT et de la CA du sureau européen avec celles de petits fruits disponibles sur le marché

|                 | Teneur<br>en ACY<br>(mg C3G/100 g<br>MF) | Teneur en CPT<br>totaux<br>(mg EAG /100 g<br>MF) | TEAC<br>( $\mu$ mol ET/g<br>MF) | ORAC<br>( $\mu$ mol<br>ET/g MF) |
|-----------------|--|--|---------------------------------|---------------------------------|
| Bleuet          | 387 <sup>a</sup>                         | 795 <sup>b</sup>                                 | 7 <sup>c</sup>                  | 92 <sup>b</sup>                 |
| Canneberge      | 140 <sup>a</sup>                         | 709 <sup>b</sup>                                 | ND                              | 95 <sup>b</sup>                 |
| Fraise          | 21 <sup>a</sup>                          | 368 <sup>b</sup>                                 | 11 <sup>c</sup>                 | 36 <sup>b</sup>                 |
| Framboise       | 92 <sup>a</sup>                          | 504 <sup>b</sup>                                 | 17 <sup>c</sup>                 | 49 <sup>b</sup>                 |
| Mûre            | 245                                      | 660 <sup>b</sup>                                 | 20 <sup>c</sup>                 | 55 <sup>b</sup>                 |
| Sureau européen | 1374 <sup>d</sup>                        | 1950 <sup>d</sup>                                | ND                              | 147 <sup>d</sup>                |

Légende : <sup>a</sup> : Source : Wu, et al. 2006, <sup>b</sup> : Source: Wu, et al. 2004a, <sup>c</sup> : Source: Pellegrini, et al. 2003a, <sup>d</sup> : Source: Wu, et al. 2004d, ND : Donnée non disponible

#### Sureau du Canada

Le sureau du Canada (*Sambucus canadensis* L.) [synonyme *Sambucus nigra* ssp. *canadensis* (L.) R. Bolli] est très près génétiquement du sureau européen. Il est originaire de l'est de l'Amérique du Nord et il pousse naturellement dans le sud du Québec et dans l'est des États-Unis où le nom commun est « American elder ». On le

retrouve à l'état sauvage sur des sols fertiles et humides, le long des forêts ou sur les terres en friche (Atkinson et Atkinson, 2002; Craig, 1978; Small et al., 2004). Il s'agit d'un arbuste à feuilles opposées, composées-pennées qui peut atteindre jusqu'à 4 m de hauteur. Il forme des corymbes ombelliformes de petites fleurs blanc-crème qui apparaissent au mois de juin (figure 0.1 a). Les résultats obtenus par Guillemette et al. (2007) montrent que sa floraison dépend davantage de la photopériode que du cumul thermique. Ses fruits, de petites baies, apparaissent au mois de juillet. Au moment de la véraison, elles sont vertes, virent au rouge puis au mauve de plus en plus foncé pour devenir complètement noires à maturité (figure 0.1 b), vers la fin du mois de septembre (Bolli, 1994). Ils sont prisés pour la confection de tartes, gelées, confitures, jus et vin (Craig, 1978).

Les plants du sureau du Canada sont appréciés des espèces animales sauvages. On rapporte que près de 80 espèces différentes d'oiseaux l'utilisent pour s'abriter ou s'y nourrir (Martin et Mott, 1997). Les baies de sureau du Canada sont également prisées par plusieurs mammifères, telles les souris, les rats, les ratons laveurs, les opossums et les tamias, les renards gris, les ours noirs et les chevreuils. De manière générale, les fruits sont consommés dès qu'ils sont mûrs (Martin et Mott, 1997). Pour plusieurs mammifères, les cultivars Kent et Victoria seraient plus appréciés que le cultivar York (Grime et al., 1988).



a) Plant de sureau en fleur

b) Grappe de fruits à maturité

Figure 0.1 : Plants de sureau du Canada en floraison et fruits à maturité

La culture du sureau du Canada reste marginale malgré les avantages que cette culture comporte. Les plants résistent bien aux dommages mécaniques, le bouturage est facile et puisque la floraison est tardive, les bourgeons floraux ne risquent pas d'être exposés au gel printanier. De plus, les rendements de fruits sont rapides et élevés. En effet, les plants produisent des fruits dès leur seconde saison en champs et atteignent leur maximum de productivité au bout de trois ou quatre ans. Il n'est pas rare d'obtenir un rendement de 10 kg par plant adulte, pour un rendement variant entre 4 et 12 t/ha (Craig, 1978; Guilmette et al., 2007). Entre 1955 et 1965, plusieurs cultivars ont été développés afin d'obtenir des plants vigoureux et fournissant de bons rendements. Cependant la description qu'on en fait dans la littérature reste sommaire (tableau 0.4) (Craig, 1978; Roper et al., 1998)

Tableau 0.4: Caractéristiques des cultivars de sureau du Canada

| Cultivars  | Caractéristiques  |
|------------|---|
| 'Adams'    | Plant très vigoureux, très résistant aux conditions hivernales. Les fruits atteignent leur maturité en août.  |
| 'Johns'    | Plant très vigoureux et productif, mais moins que le cultivar Adams. Les fruits sont bas et se présentent sous forme de grosses grappes.                      |
| 'Kent'     | Plant modérément vigoureux. Les fruits forment des grappes de taille moyenne et leur mûrissement est hâtif.   |
| 'Nova''    | Plant modérément vigoureux et très productif. Les fruits et les grappes sont de taille moyenne.   |
| 'Scotia'   | Plant modérément vigoureux et productif. Les fruits sont riches en extraits solubles en acides organiques.  |
| 'Victoria' | Plant modérément vigoureux, mais moins productif que les cultivars Johns et York. Les grappes sont de taille moyenne et les fruits s'en détachent facilement. |
| 'York'     | Plant vigoureux et plus productif que le cultivar Adams. Forme de gros bouquets composés de gros fruits dont le mûrissement est tardif.                       |

Source : (Craig, 1978; Roper et al., 1998)

Peu d'études ont porté sur les fruits du sureau du Canada. Cependant, celles qui ont été faites sont très prometteuses. Thole et al. (2006) ont comparé les propriétés anti-cancérigènes du sureau du Canada à celles du sureau européen. Malgré le fait que les deux présentent un bon potentiel protecteur, le sureau du Canada présente un avantage sur l'espèce européenne car les composés qu'on y retrouve inhibent l'ornithine décarboxylase, une enzyme impliquée dans le développement de cancers. De plus, étant donné leur structure, les ACY du sureau du Canada seraient plus stables à la lumière et à la chaleur que celles du sureau européen car elles sont acylées alors que celles du sureau européen sont glycosylées. Cette propriété représente un avantage non négligeable pour le domaine des colorants alimentaires (Inami et al., 1996; Nakatani et al., 1995).

À ce jour, seulement quatre études ont porté sur la composition en ACY des fruits du sureau du Canada et aucun consensus n'a encore été établi. Johansen et al. (1991) ont identifié la cyanidine 3-[G-p-coumaroyl)-2-(xylosyl)-glucoside]-5-glucoside comme étant l'anthocyane principale alors que Nakatani (1995) et Inami

(1996) affirment qu'il s'agit de la cyanidine 3-O-(6-O-E-p-coumaroyl-2-O- $\beta$ -D-xylopyranosyl)- $\beta$ -D-glucopyranoside-5-O- $\beta$ -D-glucopyranoside. La plus récente étude compare les fruits de sept cultivars de sureau du Canada et deux cultivars de sureau européen, mais laisse de côté les espèces indigènes (Lee et Finn, 2007). Les deux ACY principales sont identifiées comme étant la cyanidine 3-(*E*)-*p*-coumaroyl-sambubioside-5-glucoside et la cyanidine 3-sambubioside-5-glucoside. Ces mêmes auteurs ont évalué les teneurs en ACY et en CPT présents dans les fruits du sureau du Canada. Les résultats montrent que les fruits des cultivars du sureau du Canada possèdent des teneurs plus élevées pour ces deux types de composés que ceux du sureau européen. À notre connaissance, aucune étude portant sur le potentiel antioxydant du sureau du Canada n'a été effectuée.

#### Objectifs et hypothèses de travail

L'objectif premier de ce travail était de caractériser les paramètres biochimiques d'intérêt pour les industries alimentaires et nutraceutiques et de mieux comprendre le développement des fruits du sureau du Canada. Pour ce faire, nous avons évalué les teneurs en SS, en ACY, en CPT et la CA de cinq cultivars de sureau du Canada ainsi que d'un écotype indigène. Nous avons également développé une échelle permettant de caractériser les différentes phases de développement des fruits selon leur coloration. Ce travail est présenté sous forme de deux articles scientifiques, représentant chacun un chapitre.

Le premier chapitre de ce travail porte sur la caractérisation des paramètres biochimiques, telle les teneurs en SS, en ACY, en CPT et la CA. Ont été testés l'effet de l'année, de la date et la variabilité entre les cultivars étudiés. Ces paramètres ont été évalués au cours de la maturation des fruits chez l'espèce indigène et les cultivars Kent, Nova, Scotia, Victoria et York et ce, durant deux années de croissance. De plus, les résultats obtenus sont comparés avec ceux d'autres petits fruits. En général, nous croyons que les paramètres évalués devraient se comporter comme ceux obtenus pour divers petits fruits dans d'autres études, c'est-à-dire que les teneurs en différents

composés devraient varier d'une année à l'autre, au cours de la maturation des fruits et entre les différents cultivars. Puisque le sureau du Canada contient plus d'ACY que le sureau européen (Lee et Finn, 2007) nous nous attendons à ce qu'il ait aussi des teneurs en CPT et une CA supérieures à celles de l'espèce européenne ainsi qu'à celles des autres petits fruits fréquemment mentionnés pour ces propriétés. D'autres paramètres ont également été étudiés mais n'ont pas été retenus pour les fins de l'article. Les résultats sont présentés à l'annexe C.

Le second chapitre porte sur le suivi du développement des fruits de sureau. L'objectif était de caractériser les différentes phases de développement des fruits pour ensuite comparer les cultivars étudiés entre eux. Ont été testés l'effet de l'année et la variabilité entre les cultivars étudiés et l'espèce indigène. Pour y parvenir, nous avons caractérisé le développement des fruits à l'aide d'une échelle que nous avons développée. Ensuite, nous avons fait un parallèle avec l'évolution des paramètres présentés dans le premier chapitre. Puisque les ACY sont des pigments responsables de la coloration des fruits et qu'elles sont étroitement reliées à la teneur en CPT et à la CA (Bermúdez-Soto et Tomás-Barberán, 2004; Wu et al., 2004a), nous nous attendions à ce que ces paramètres augmentent au même rythme que les différents stades de coloration des fruits. De plus, nous nous attendions à ce que les durées des différentes phases de développement des fruits varient d'un cultivar à l'autre et d'une année à l'autre.

Les données amassées lors de ce travail devraient permettre de mieux comprendre l'évolution des paramètres étudiés ainsi que le développement des fruits de sureau du Canada. Ces connaissances pourront permettre aux producteurs une meilleure gestion de leur récolte et fourniront des données essentielles à la valorisation du sureau du Canada auprès des industries alimentaires et nutraceutiques.

CHAPITRE 1: Les teneurs en sucres solubles, en anthocyanes, en composés phénoliques totaux et la capacité antioxydante des fruits du sureau du Canada (*Sambucus canadensis* L.) sont influencées par la saison de croissance, la maturité et le cultivar

#### AUTEURS

Mathieu, Fannie<sup>1,2</sup>, Normand Chevrier<sup>2</sup>, Marie Thérèse Charles<sup>1</sup>, Denis Charlebois<sup>1</sup>

#### ADRESSES

<sup>1</sup> Centre de recherche et développement en horticulture, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 430, boulevard Gouin, Saint-Jean-sur-Richelieu, Québec, J3B 3E6

<sup>2</sup> Département des Sciences Biologiques, Université du Québec à Montréal, Pavillon des sciences biologiques (SB), 141 Avenue du Président-Kennedy, Montréal (Québec), H2X 1Y4

## 1.1 RÉSUMÉ

Les teneurs en sucres solubles (SS), en anthocyanes (ACY), en composés phénoliques totaux (CPT, méthode Folin-Ciocalteu) ainsi que la capacité antioxydante (CA, méthode TEAC) des fruits de l'espèce indigène et cinq cultivars du sureau du Canada (*Sambucus canadensis* L.) [synonyme *Sambucus nigra* ssp. *canadensis* (L.) R. Bolli] ont été évaluées. Il existe une forte corrélation positive entre les trois paramètres étudiés. L'année de croissance, le cultivar et le niveau de maturité ont tous une influence significative sur ces paramètres. Les cultivars Kent et Nova sont ceux qui se démarquent le plus car ils contiennent entre 16 et 34% plus d'ACY, entre 12 et 26% plus de CPT et ont une CA de 15 à 30% supérieure à l'espèce indigène ainsi qu'aux autres cultivars étudiés. On retrouve 5 à 13% plus de SS dans les fruits des cultivars Scotia et Victoria comparativement aux autres cultivars étudiés et à l'espèce indigène. Tous les cultivars évalués possèdent des teneurs en ACY, en CPT et une CA supérieures à plusieurs petits fruits réputés pour avoir un effet positif sur la santé. Les données obtenues au cours de cette étude ont permis d'acquérir des connaissances sur les fruits du sureau du Canada qui sont susceptibles d'augmenter l'intérêt des producteurs, de l'industrie alimentaire et des consommateurs.

## MOTS CLÉS

Sureau du Canada, *Sambucus nigra* ssp. *canadensis*, *Sambucus canadensis*, capacité antioxydante, anthocyanes, composés phénoliques, TEAC, petits fruits

## 1.2 INTRODUCTION

Plusieurs études ont montré que les antioxydants aident à prévenir certains cancers, diverses maladies cardio-vasculaires et neuro-dégénératives ainsi que le vieillissement cellulaire. Ils possèdent également des propriétés anti-inflammatoires et neuro-protectrices (Ames et al., 1995; Bell et Gochenaur, 2006; Galli et al., 2002; Joseph et al., 2005; Morton et al., 2000). Plusieurs composés contribuent à la capacité antioxydante (CA), telles les vitamines C et E, les caroténoïdes et divers flavonoïdes (incluant les flavones, isoflavones, anthocyanes (ACY) et catéchines). Parmi ces composés, il a été montré que la teneur en composés phénoliques totaux (CPT) et en ACY contribuent fortement à la CA des aliments (Prior et al., 1998).

C'est pourquoi, depuis la fin des années 90, une panoplie d'études avaient pour but d'évaluer les teneurs en ACY, en CPT et la CA de plusieurs types d'aliments : fruits, légumes, céréales, boissons, etc. (Cao et al., 1996; Ehlenfeldt et Prior, 2001; Szeto et al., 2002; Wang et al., 1996). Ces études arrivent à la conclusion que les petits fruits riches en ACY et en CPT, tels les fraises, les framboises, les mûres et particulièrement les bleuets, sont parmi les aliments ayant la plus forte CA (Ehlenfeldt et Prior, 2001; Sellappan et al., 2002).

Le sureau européen (*Sambucus nigra* L.) [synonyme *Sambucus nigra* ssp. *nigra* (L.) R. Bolli] est depuis longtemps cultivé en Europe et ses fruits sont utilisés dans de nombreux produits destinés à l'alimentation. L'exploitation du sureau du Canada (*Sambucus canadensis* L.) [synonyme *Sambucus nigra* ssp. *canadensis* (L.) R. Bolli], une espèce que l'on retrouve naturellement dans l'est de l'Amérique du Nord, en est cependant qu'à ses débuts. Cette situation est surprenante sachant qu'un plant peut produire 2 à 3 kg de fruits dès la seconde année au champ et atteint sa production maximale, soit 7 à 10 kg, au bout de 3 à 4 ans (Martin et Mott, 1997). De plus, les fruits du sureau du Canada ont de meilleures propriétés anti-cancérogènes (Thole et al., 2006) et ses ACY sont plus stables à la lumière et à la chaleur (Inami et al., 1996; Nakatani et al., 1995) que celles du sureau européen.

Quatre études ont été faites afin de déterminer la composition en ACY dans les fruits de sureau du Canada et aucune d'entre elles ne s'entendent sur l'identité des ACY les plus abondantes (Inami et al., 1996; Johansen et al., 1991; Lee et Finn, 2007; Nakatani et al., 1995). La plus récente compare les fruits de sept cultivars (Lee et Finn, 2007). Les auteurs de cette étude arrivent à la conclusion que les ACY les plus abondantes chez les cultivars du sureau du Canada testés sont la cyanidine 3-(*E*)-*p*coumaroyl-sambubioside-5-glucoside et la cyanidine 3-sambubioside-5-glucoside et que les proportions de ces dernières varient selon le cultivar.

La saison de croissance, la maturité et les cultivars sont considérés comme des facteurs affectant les teneurs en ACY, en CPT et la CA chez les petits fruits (Boyles et Wrolstad, 1993; Connor et al., 2002; Siriwoharn et al., 2004). Moyer et al. (2002) ont déterminé que, chez le bleuet, ces substances pouvaient augmenter de plus de 150% entre la mi-juin et la fin août. Cependant, l'impact de ces facteurs sur les fruits du sureau du Canada n'a pas encore été évalué. De plus, à notre connaissance, il n'existe aucune étude portant sur la CA de ces fruits. Finalement, un suivi temporel des teneurs en ACY, en CPT et de la CA permettrait d'évaluer à quel moment ces paramètres atteignent leurs maxima. Ces informations sont nécessaires pour permettre aux producteurs de mieux gérer leur récolte afin de soutenir adéquatement l'industrie.

La présente étude a donc pour but d'évaluer les teneurs en ACY, en CPT et la CA des fruits de l'espèce indigène du sureau du Canada et de cinq cultivars. L'effet de la saison de croissance, du cultivar et de la maturité sur ces trois paramètres a également été évalué. Finalement, les teneurs en ACY, en CPT et de la CA des fruits de sureau du Canada ont été comparées avec celles d'autres petits fruits.

### 1.3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

#### 1.3.1 Produits chimiques

L'acide gallique (AG) a été acheté chez ICN Biomedicals Inc (Salon, OH). L'ABTS (acide 2,2'-azino-bis (3-éthylbenzthiazoline-6-sulfonique), le réactif de Folin-Ciocalteu, le persulfate de potassium et le Trolox (l'acide ( $\pm$ )-6-hydroxy-2,5,7,8-tétraméthylchromane-2-carboxylique, purum,  $\geq 98.0\%$ ) ont été achetés chez Sigma Chemicals (Oakville, Ontario).

#### 1.3.2 Matériel végétal

Les plants de sureau du Canada étaient situés à la ferme expérimentale d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à L'Acadie, Québec (45.32 °N; 73.35 °O). On y retrouvait les cultivars Kent, Nova, Scotia, Victoria et York ainsi qu'un écotype de l'espèce indigène. La parcelle expérimentale a été implantée en juin 2003 et comprend huit blocs de deux rangs où chaque cultivar est représenté par cinq plants. La position des cultivars dans les blocs a été déterminée aléatoirement. Pour les fins de l'étude, nous disposions de deux plants par cultivar par bloc. Aucune irrigation, herbicide ou fongicide n'a été appliqué sur la parcelle. Une fertilisation de 400 g par plant d'engrais 10-10-10 a été appliquée à quatre reprises entre le début mai et la fin juin et une légère taille visant à retirer le bois mort a été effectuée au printemps.

#### 1.3.3 Échantillonnage

L'échantillonnage s'est échelonné sur deux saisons de croissance, à raison de trois récoltes par deux semaines, dès l'apparition de la coloration rouge sur les fruits et ce, jusqu'au début du mois d'octobre, soit du 31 juillet au 2 octobre en 2006 et du 2 août au 1<sup>er</sup> octobre en 2007. Pour chaque cultivar, les fruits ont été prélevés sur 16 plants en n'utilisant qu'une petite quantité de fruits au centre des grappes, sur plusieurs grappes afin d'être représentatif du niveau de maturité du plant. Les fruits ont été placés dans des sacs étanches et conservés à l'obscurité et au frais jusqu'à

l'arrivée au laboratoire. Les fruits de chaque cultivar ont ensuite été mélangés entre eux, de manière à obtenir un échantillon homogène. Puis, ceux destinés à l'évaluation de la CA ont été immédiatement équeutés, pesés puis congelés à  $-80^{\circ}\text{C}$  jusqu'au moment de leur analyse. Finalement, ceux destinés à l'évaluation des teneurs en SS, en ACY et en CPT ont été congelés à  $-20^{\circ}\text{C}$ , puis équeutés et pesés le lendemain pour ensuite retourner au congélateur jusqu'au moment de leur analyse.

#### 1.3.4 Évaluation de la teneur en SS

La teneur en SS du jus des baies de sureau décongelées a été mesurée à l'aide d'un réfractomètre numérique de marque Reichert, modèle AR200. Les analyses ont été faites en triplicata et les résultats sont exprimés en °Brix. L'évaluation de la teneur en SS a été faite au cours des deux à trois jours suivant la récolte.

#### 1.3.5 Préparation de l'extrait

Vingt-cinq g de fruits congelés ont été broyés à l'aide d'un mélangeur sur pied dans un solvant d'extraction composé d'éthanol 85% acidulé à l'acide chlorhydrique 0,1% ( $\text{pH} = 1,8 \pm 0,2$ ), puis filtrés. Ces étapes ont été répétées à trois reprises afin d'extraire la quasi-totalité de pigments. Le volume de filtrat obtenu a été complété à 500 mL à l'aide du solvant d'extraction.

#### 1.3.6 Évaluation de la teneur en ACY

L'extrait a été dilué dans le solvant d'extraction de manière à obtenir une densité optique à 535 nm variant entre 0,2 et 0,8. La cyanidine 3-glucoside (C3G) a été utilisée comme référence. Nous sommes conscients que la C3G n'est pas l'ACY dominante dans les fruits de sureau du Canada (Lee et Finn, 2007), mais il s'agit de l'ACY de référence actuellement utilisée pour ce type de dosage. L'absorbance a été mesurée à 535 nm et un coefficient d'extinction molaire de  $32\,500\text{ cm}^{-1}\text{ M}^{-1}$  a été utilisé (Rapisarda et al., 2000). Les échantillons ont été analysés en triplicata et les

résultats ont été exprimés en mg de C3G/100 g masse fraîche (MF). L'évaluation de la teneur en ACY a été faite dans les deux semaines suivant la récolte.

#### 1.3.7 Évaluation de la teneur en CPT

Un mL d'extrait a été utilisé pour déterminer la teneur en CPT selon la méthode de Folin-Ciocalteu (Slinkard et Singleton, 1977) en utilisant l'AG comme standard. Les échantillons ont été analysés en triplicata et les résultats ont été exprimés en mg d'équivalent acide gallique (EAG)/100 g de MF. L'évaluation de la teneur en CPT a été faite dans les deux semaines suivant la récolte.

#### 1.3.8 Évaluation de la CA

La CA a été évaluée selon la méthode du « Trolox Equivalent Antioxydant Capacity » (TEAC) (Pellegrini et al., 1999). La préparation de l'extrait brut et des solutions a été faite selon la méthode décrite par Gao et al. (2000). Les échantillons ont été analysés en triplicata et les résultats ont été exprimés en  $\mu\text{mol}$  d'équivalent Trolox (ET)/g MF. L'évaluation de la CA a été faite au cours des mois de décembre et janvier suivants la récolte.

#### 1.3.9 Analyses statistiques

Des analyses sur l'ensemble des données pour chaque cultivar ont été effectuées afin de déterminer la force de corrélation entre les différents paramètres. Des analyses de covariances ont été effectuées afin de déterminer si les différents paramètres étaient influencés par le niveau de maturité des fruits. Des tests de Tukey HSD ont été effectués afin de déterminer à quelle date il n'y avait plus de différences significatives au niveau des teneurs. L'aspect général des fruits au moment de l'échantillonnage ainsi que les résultats de ces tests de Tukey HSD ont été utilisés comme critères afin de juger de la date où les fruits avaient atteint leurs maxima. Les données obtenues à cette date, ainsi qu'aux dates ultérieures ont été utilisées pour les

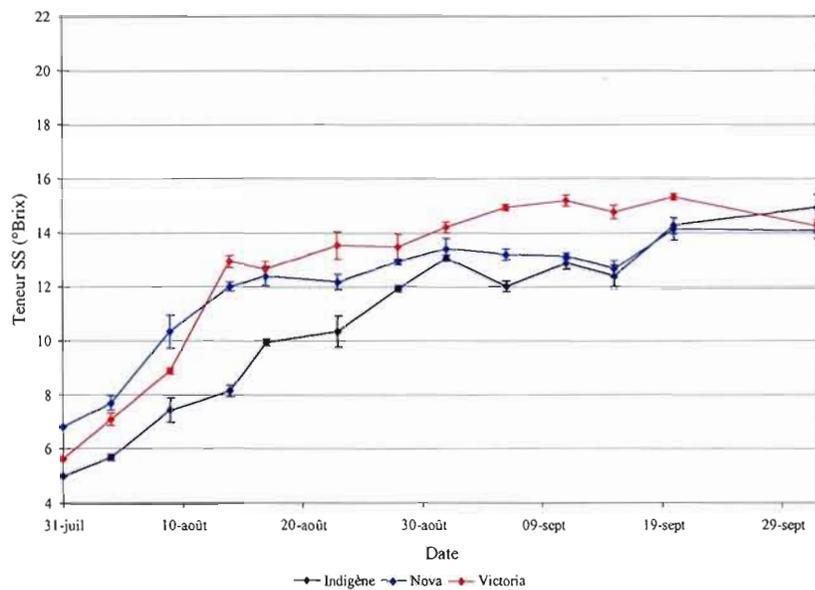
analyses de comparaison des fruits à maturité. Des analyses de variance ont été effectuées afin de déterminer s'il existait un effet du cultivar et/ou de l'année et/ou une interaction et ce, pour les trois paramètres évalués. Finalement, une dernière série de tests de Tukey a été effectuée afin de comparer les différents cultivars étudiés entre eux. Le logiciel JMP ® 7 de SAS (Cary, NC) a été utilisé pour l'ensemble des analyses statistiques.

## 1.4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

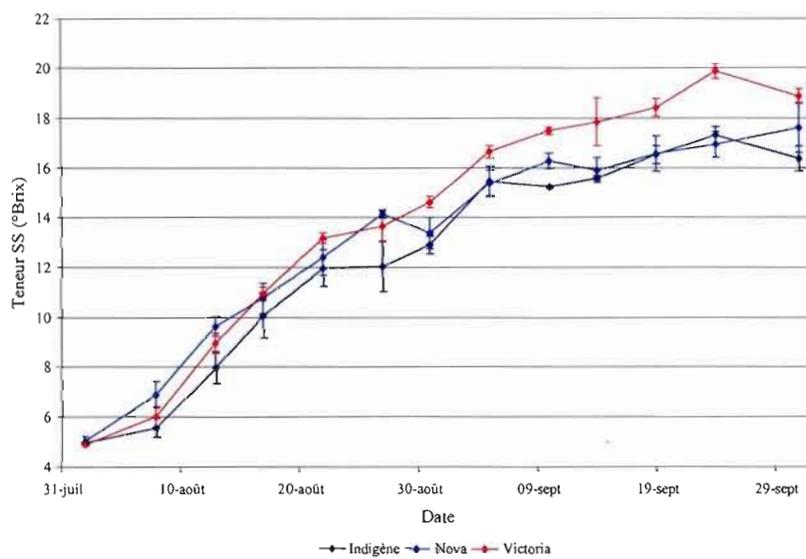
### 1.4.1 Influence de l'année de croissance

Pour l'ensemble des cultivars étudiés, les teneurs en SS, en ACY en CPT et la CA varient d'une année à l'autre ( $p < 0,0001$ , pour chacun des paramètres). En général, les courbes de la figure 1.1 montrent que les valeurs initiales sont plus faibles en 2007 qu'elles ne le sont en 2006 et que les maximums atteints sont plus élevés en 2007 qu'en 2006. Ceci peut être attribuable à la grande quantité de pluie qui est tombée en 2006 par rapport à 2007. D'ailleurs, les fruits contenaient significativement plus d'eau ( $p < 0,0001$ ) en 2006 qu'en 2007 alors que la quantité de matière sèche était restée stable ( $p = 0,7168$ ) (données non présentées). Il est donc possible de déduire que les ACY, les CPT et les composés antioxydants étaient plus concentrés dans les fruits récoltés en 2007 par rapport à ceux de 2006. Lee et Finn (2007) ont analysé des fruits de sureau européen pendant deux années de récoltes consécutives. Ils ont obtenu des valeurs plus élevées en 2005 qu'en 2004, notamment pour la teneur en ACY et pour la teneur en CPT (Lee et Finn, 2007). Des observations similaires ont été faites pour la mûre (Siriwoharn et al., 2004).

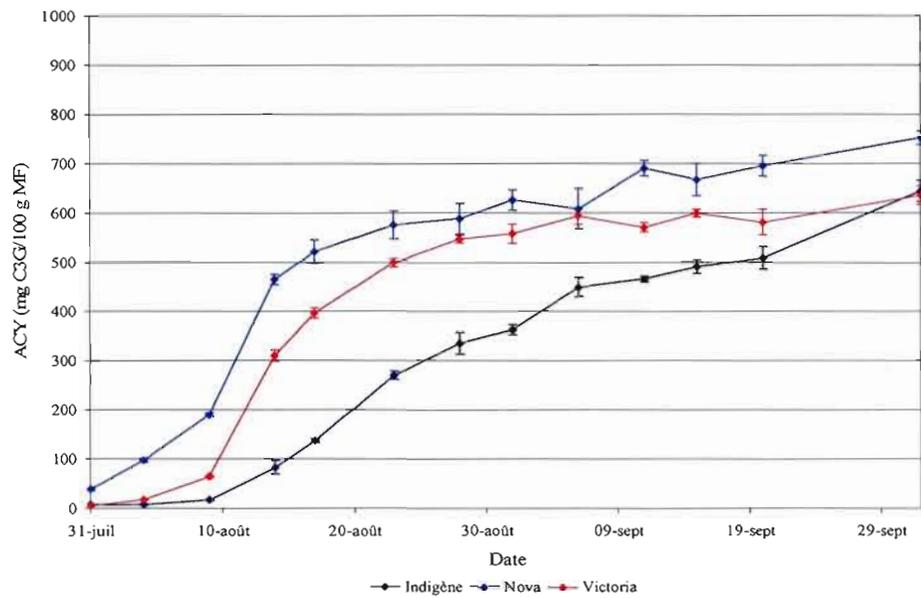
a) SS en 2006



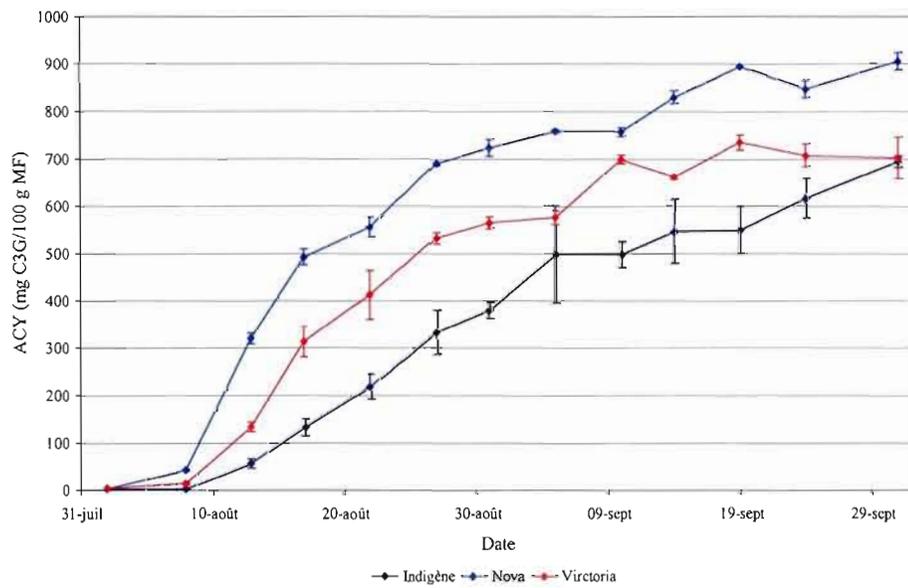
b) SS en 2007



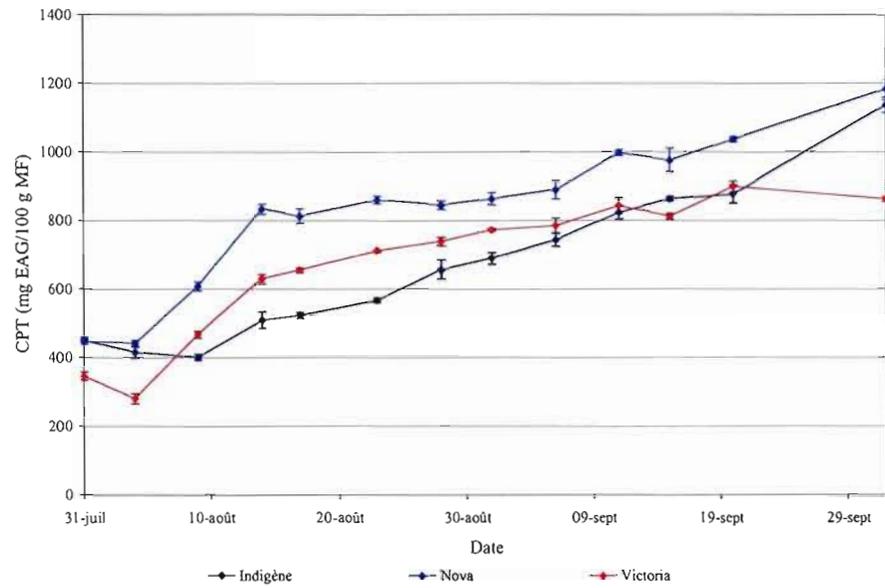
c) ACY en 2006



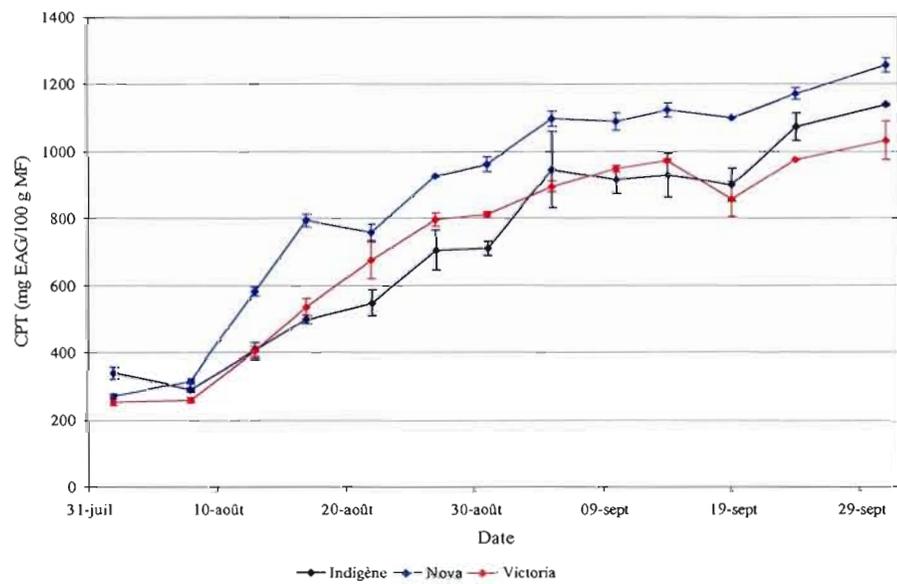
d) ACY en 2007



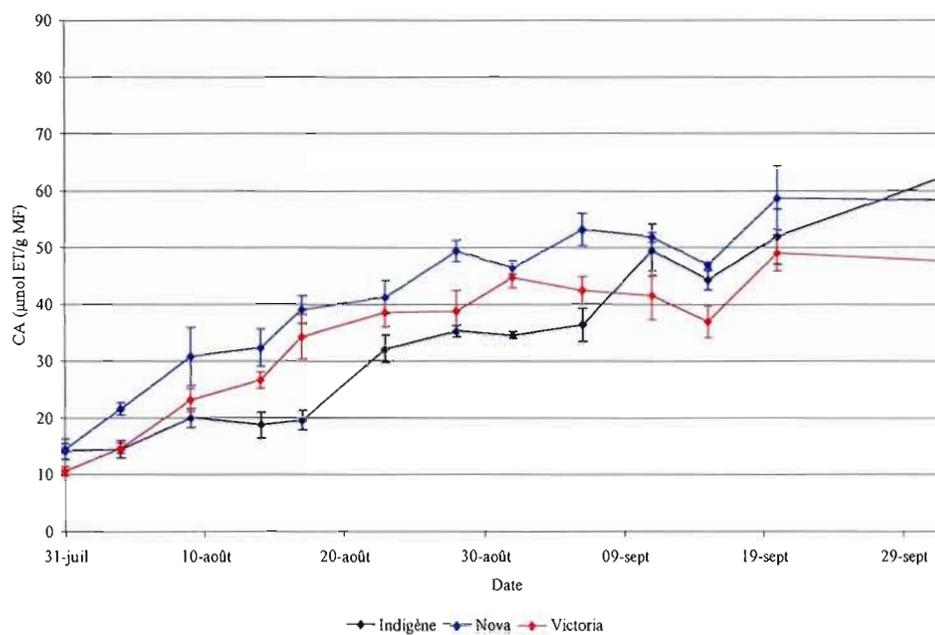
## e) CPT en 2006



## f) CPT en 2007



## g) CA en 2006



## h) CA en 2007

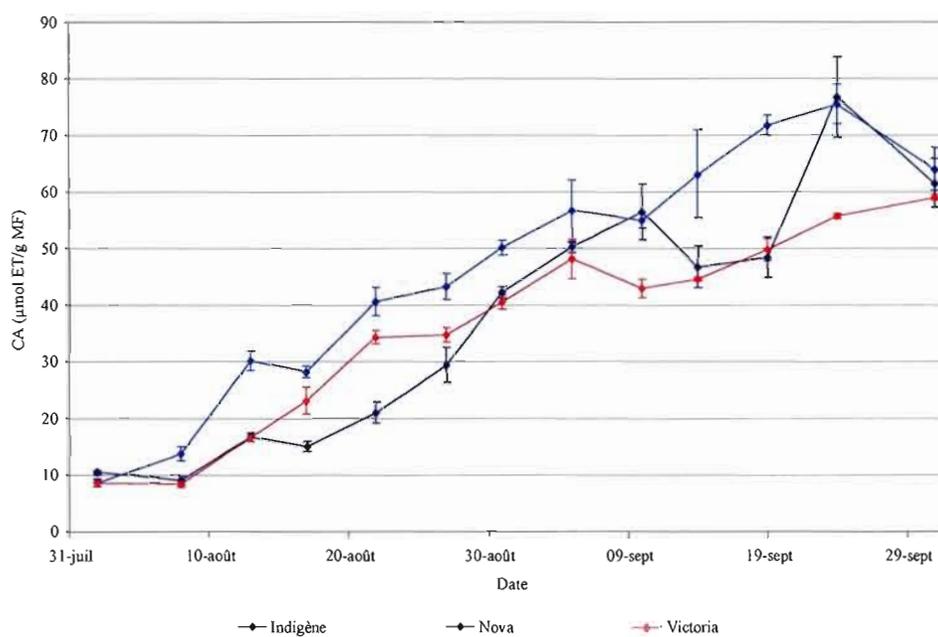


Figure 1.1 : Évolution des teneurs en SS, en ACY, en CPT et de la CA pour l'espèce indigène et les cultivars Nova et Victoria

#### 1.4.2 Influence de la maturité sur la teneur en SS

La figure 1.1 montre l'évolution des teneurs en SS, en ACY, en CPT et l'évolution de la CA pour les années 2006 et 2007. Seuls l'espèce indigène et les cultivars Nova et Victoria sont présentés, les cultivars Kent, Scotia et York ayant un comportement similaire à ceux des cultivars Nova, 'Victoria, et l'espèce indigène, respectivement. Pour l'ensemble des cultivars étudiés, la maturation a un effet significatif sur la teneur en SS ( $p < 0,0001$ ). Les figures 1.1 a et b montrent que la teneur en SS évolue de la même manière pour l'ensemble des cultivars étudiés. En effet, l'augmentation est très rapide jusqu'à la fin août, moment où elle ralentit considérablement. Les teneurs individuelles en SS variaient entre 5,0 et 15,9 °Brix en 2006 et entre 4,9 et 19,9 °Brix en 2007.

Les données du tableau 1.1 montrent que l'atteinte du maximum de la teneur en SS ne s'effectue pas au même moment pour tous les cultivars étudiés et que ce moment varie d'une année à l'autre. En 2006, le cultivar York était le plus hâtif alors que les cultivars Scotia, Victoria et l'espèce indigène étaient les plus tardifs. En 2007, le cultivar Kent et l'espèce indigène étaient les plus hâtifs alors que le cultivar Scotia était le plus tardif. De plus, les maxima ont été atteints significativement plus tard en 2007 qu'en 2006 et ce, pour l'ensemble des cultivars étudiés ( $p < 0,0001$ ).

Tableau 1.1 : Date d'atteinte du maximum de la teneur en SS des fruits à maturité

| Cultivar   | 2006                       |            |       | 2007                       |            |       |
|------------|----------------------------|------------|-------|----------------------------|------------|-------|
|            | Date d'atteinte du maximum | SS (°Brix) | Tukey | Date d'atteinte du maximum | SS (°Brix) | Tukey |
| Indigène   | 1 sept.                    | 13,3       | C     | 5 sept.                    | 16,1       | C     |
| 'Kent'     | 28 août                    | 13,4       | C     | 5 sept.                    | 16,7       | C     |
| 'Nova'     | 28 août                    | 13,2       | C     | 10 sept.                   | 16,7       | C     |
| 'Scotia'   | 1 sept.                    | 14,8       | A     | 14 sept.                   | 18,2       | A     |
| 'Victoria' | 1 sept.                    | 15,1       | A     | 10 sept.                   | 18,5       | A     |
| 'York'     | 23 août                    | 13,9       | B     | 10 sept.                   | 17,6       | B     |

#### 1.4.3 Influence du cultivar sur la teneur en SS

Il existe une forte corrélation entre la teneur en SS et la teneur en ACY ( $R^2=0,69$ ), en CPT ( $R^2=0,67$ ) ainsi qu'avec la CA ( $R^2=0,69$ ) tous cultivars confondus, les forces de corrélation augmentent à environ  $R^2=0,90$  en prenant les cultivars étudiés un à un (annexe C4). On observe également une différence significative au niveau de la teneur en SS chez les différents cultivars étudiés. Cependant, l'ordonnance de ces derniers ne diffère pas d'une année à l'autre ( $p=0,2411$ ). Les cultivars Scotia et Victoria avaient la plus haute teneur en SS, suivis du cultivar York. Les cultivars Kent et Nova ainsi que l'espèce indigène avaient la plus faible teneur en SS (tableau 1.1).

#### 1.4.4 Influence de la maturité sur la teneur en ACY

Pour l'ensemble des cultivars étudiés, la maturation a un effet significatif sur la teneur en ACY ( $p<0,0001$ ). Le même type de comportement a été observé chez l'ensemble des cultivars étudiés, soit un taux d'augmentation rapide au cours du mois d'août et plus faible au mois de septembre (figures 1.1 c et d).

Les teneurs individuelles en ACY variaient entre 4,6 et 767,3 mg C3G/100 g MF en 2006 puis entre 2,5 et 918,8 mg C3G/100 g MF en 2007 (figures 1.1 c et d). Chez les bleuets, il a été observé que ces paramètres pouvaient varier de plus de 160% entre le début du mois de juillet et la fin du mois d'août (Moyer et al., 2002). L'augmentation mesurée est de beaucoup supérieure à celle rapportée pour le bleuet car les mesures ont débuté à un stade de maturation moins avancé de la baie, mais aussi parce que les baies de sureau du Canada contiennent plus d'ACY à maturité que les bleuets.

Les données du Tableau 1.2 montrent que l'atteinte du maximum de la teneur en ACY ne s'effectue pas au même moment pour tous les cultivars étudiés et que ce moment varie d'une année à l'autre. En 2006, le cultivar le plus tardif a été le cultivar Scotia, tandis qu'en 2007, il s'agissait de l'espèce indigène. En 2006, les cultivars les plus hâtifs sont Kent, Nova et Victoria et en 2007, il s'agissait du cultivar York.

Tableau 1.2 : Date d'atteinte du maximum de la teneur en ACY des fruits à maturité

| Cultivar   | 2006                       |                       |       | 2007                       |                       |       |
|------------|----------------------------|-----------------------|-------|----------------------------|-----------------------|-------|
|            | Date d'atteinte du maximum | ACY (mg C3G/100 g MF) | Tukey | Date d'atteinte du maximum | ACY (mg C3G/100 g MF) | Tukey |
| Indigène   | 11 sept.                   | 527 ± 74              | D     | 19 sept.                   | 620 ± 71              | C     |
| 'Kent'     | 1 sept.                    | 671 ± 21              | A     | 14 sept.                   | 839 ± 41              | A     |
| 'Nova'     | 1 sept.                    | 673 ± 54              | A     | 14 sept.                   | 869 ± 35              | A     |
| 'Scotia'   | 20 sept.                   | 591 ± 49              | BC    | 10 sept.                   | 711 ± 35              | B     |
| 'Victoria' | 1 sept.                    | 589 ± 30              | BC    | 10 sept.                   | 700 ± 31              | B     |
| 'York'     | 15 sept.                   | 553 ± 20              | CD    | 31 août.                   | 626 ± 36              | C     |

#### 1.4.5 Influence du cultivar sur la teneur en ACY

Il existe une forte corrélation entre la teneur en ACY et la teneur en CPT ( $R^2=0,92$ ) et la CA ( $R^2=0,82$ ), tous les cultivars étudiés confondus, les forces de corrélation augmentant en prenant les cultivars un à un. On observe également une différence significative au niveau de la teneur en ACY chez les différents cultivars étudiés ( $p<0,0001$ ). De plus, l'ordonnance des différents cultivars étudiés varie d'une année à l'autre ( $p<0,0001$ ). En 2006, les cultivars Kent et Nova ont été les plus riches en ACY, suivis des cultivars Scotia et Victoria, qui avaient une teneur en ACY comparable à celle du cultivar York et ce dernier avait une teneur en ACY comparable à celle de l'espèce indigène, cette dernière étant moins riche en ACY que les cultivars Scotia et Victoria. Le même type de classement était observable en 2007, à la différence près que la teneur en ACY des cultivars Scotia et Victoria était supérieure à celle du cultivar York et de l'espèce indigène et qu'il n'existait aucune

différence significative entre les teneurs en ACY de ces deux derniers (tableau 1.2). Siriwoharn et al. (2004) ont également observé une variation chez la fraise où la teneur en ACY pouvait varier de 131 to 256 mg/100 g MF entre les cultivars étudiés.

#### 1.4.6 Influence de la maturité sur la teneur en CPT

Les figures 1.1 e et f montrent l'évolution de la teneur en CPT pour les années 2006 et 2007 respectivement. Tout comme pour les ACY, il existe une variation significative au cours de la maturation ( $p < 0,0001$ ) et leur évolution est sensiblement la même, c'est-à-dire, une rapide augmentation durant le mois d'août et l'atteinte d'un maximum au mois de septembre.

Les teneurs individuelles variaient de 272 à 1213 mg d'EAG/100 g MF en 2006 et de 245 à 1270 mg d'EAG/100 g MF en 2007, soient des augmentations de 445 et 518% respectivement. Des données prises sur différents cultivars de bleuets montrent également que la teneur en CPT augmente de 169 et 113% chez les cultivars Brightwelle et Tifblue, respectivement (Prior et al., 1998).

Il existe également une différence quant au moment où la teneur en CPT atteint un maximum (tableau 1.3). En 2006, le cultivar York était le plus hâtif et le cultivar Scotia le plus tardif. En 2007, l'espèce indigène et le cultivar Kent étaient les plus hâtifs tandis que les cultivars Nova, Scotia et York étaient les plus tardifs. Les cultivars Scotia et Victoria sont les seuls pour lesquels les quantités d'ACY et de CPT ont cessé d'augmenter sensiblement au même moment. Cette similarité reflète probablement un bagage génétique semblable entre ces deux cultivars. En effet, ceux-ci sont issus d'une pollinisation ouverte à partir d'un même parent (Adams 2) (Galletta et Himelrick, 1990). Cependant, les cultivars Kent, Nova et York possèdent le même bagage génétique et leur comportement n'est pas identique à celui des trois autres.

Tableau 1.3 : Date d'atteinte du maximum moyen de la teneur en CPT des fruits à maturité

|            | 2006                       |                        |       | 2007                       |                        |       |
|------------|----------------------------|------------------------|-------|----------------------------|------------------------|-------|
|            | Date d'atteinte du maximum | CPT (mg EAG /100 g MF) | Tukey | Date d'atteinte du maximum | CPT (mg EAG /100 g MF) | Tukey |
| Indigène   | 11 sept.                   | 855 ± 130              | B     | 5 sept.                    | 941 ± 107              | B     |
| 'Kent'     | 11 sept.                   | 960 ± 36               | A     | 5 sept.                    | 1070 ± 54              | A     |
| 'Nova'     | 11 sept.                   | 1002 ± 87              | A     | 14 sept.                   | 1106 ± 63              | A     |
| 'Scotia'   | 15 sept.                   | 880 ± 95               | B     | 14 sept.                   | 927 ± 58               | B     |
| 'Victoria' | 11 sept.                   | 855 ± 47               | BC    | 10 sept.                   | 902 ± 66               | BC    |
| 'York'     | 6 sept.                    | 793 ± 42               | C     | 14 sept.                   | 876 ± 59               | C     |

#### 1.4.7 Influence du cultivar sur la teneur en CPT

Il existe une forte corrélation entre la teneur en CPT et la CA ( $R^2=0,87$ ), tous cultivars confondus, et les forces de corrélation augmentent lorsque les cultivars sont évalués un à un. Les données du tableau 1.3 montrent que la teneur en CPT varie significativement selon le cultivar ( $p<0,0001$ ). Cependant, il n'existe aucune différence significative quant à l'ordonnance des cultivars étudiés entre 2006 et 2007 ( $p=0,3527$ ). Les cultivars Kent et Nova sont ceux qui possédaient le plus de CPT à maturité, suivis de l'espèce indigène, des cultivars Scotia et Victoria. Les cultivars York et Victoria étaient comparables, quoique les teneurs du premier soient plus faibles que pour 'Scotia' et l'espèce indigène. L'impact du cultivar sur la teneur en CPT a déjà été constaté chez les fraises, les bleuets et la mûre (Häkkinen et Törrönen, 2000; Siriwoharn et al., 2004).

#### 1.4.8 Influence de la maturité sur la CA

Les figures 1.1 g et h montrent la variation de la CA pour les années 2006 et 2007. On observe que cette dernière varie significativement lors de la maturation des fruits ( $p<0,0001$ ). L'allure des courbes est sensiblement la même que celle observée pour les teneurs en ACY et en CPT, bien que le taux d'augmentation soit moins

important: ce dernier est plus élevé durant le mois d'août et plus faible au mois de septembre. On observe également que les écart-types sont proportionnellement plus élevés pour la CA que pour la teneur en ACY ou en CPT. Ceci peut être expliqué par le fait que la méthode TEAC requiert l'utilisation de réactifs moins stables que ceux utilisés pour les autres procédures, notamment l'ABTS qui est très sensible à la lumière (Pellegrini et al., 2003a). Les données individuelles varient de 7,9 à 68,8  $\mu\text{mol ET/g MF}$  en 2006 et de 3,4 à 86,5  $\mu\text{mol ET/g MF}$  en 2007. Bien que dans une proportion moins élevée, une augmentation dans le temps de la CA chez des cultivars Brightwell et Tifblue du bleuet a également été observée (Prior et al., 1998). Les données du tableau 1.4 montrent que tous les cultivars étudiés n'atteignent pas leur maximum de CA au même moment. En 2006, les cultivars Victoria et York étaient les plus hâtifs et l'espèce indigène la plus tardive. En 2007, le cultivar Scotia était le plus hâtif et le cultivar Nova le plus tardif.

Tableau 1.4 : Date d'atteinte du maximum et comparaison de la CA des fruits à maturité des cultivars

|            | 2006                       |                                |       | 2007                       |                                |       |
|------------|----------------------------|--------------------------------|-------|----------------------------|--------------------------------|-------|
|            | Date d'atteinte du maximum | CA ( $\mu\text{mol ET/g MF}$ ) | Tukey | Date d'atteinte du maximum | CA ( $\mu\text{mol ET/g MF}$ ) | Tukey |
| Indigène   | 11 sept.                   | 52,0 $\pm$ 7,7                 | AB    | 10 sept.                   | 55,9 $\pm$ 13,1                | BC    |
| 'Kent'     | 28 août                    | 47,8 $\pm$ 3,6                 | BC    | 14 sept.                   | 62,8 $\pm$ 5,4                 | AB    |
| 'Nova'     | 28 août                    | 52,1 $\pm$ 5,5                 | AB    | 19 sept.                   | 68,6 $\pm$ 6,8                 | A     |
| 'Scotia'   | 28 sept.                   | 45,8 $\pm$ 5,2                 | BC    | 27 août                    | 49,8 $\pm$ 7,4                 | CD    |
| 'Victoria' | 23 août                    | 42,5 $\pm$ 4,9                 | C     | 5 sept.                    | 54,7 $\pm$ 6,5                 | BCD   |
| 'York'     | 23 août                    | 42,1 $\pm$ 6,9                 | C     | 5 sept.                    | 49,9 $\pm$ 6,7                 | CD    |

#### 1.4.9 Influence du cultivar sur la CA

La CA varie significativement selon le cultivar ( $p < 0,0001$ ) et l'ordonnance des cultivars étudiés est significativement différente d'une année à l'autre ( $p < 0,0001$ , tableau 1.4). En 2006, l'espèce indigène ainsi que les cultivars Kent, Nova et Scotia étaient ceux présentant la plus forte CA, suivis des cultivars Victoria et York, chez qui les valeurs de CA étaient comparables aux cultivars Kent et Scotia. En 2007, les cultivars ayant la CA la plus élevée étaient Kent et Nova, suivis de Victoria et de l'espèce indigène, qui eux possédaient une CA similaire à celle du cultivar Kent, mais inférieure à celle du cultivar Nova. Finalement, on retrouvait les cultivars Scotia et York qui eux avaient une CA similaire au cultivar Victoria et à l'espèce indigène, mais inférieures aux cultivars Kent et Nova. Moyer et al. (2002) ont également observé des variations de CA entre différents cultivars de bleuet, de framboise et de mûre où la CA pouvait varier de 19 à 131, 13 à 146 et 17 à 116  $\mu\text{mol ET/g MF}$ , respectivement.

#### 1.4.10 Comparaison entre le sureau du Canada et d'autres petits fruits

Dans leur analyse de cultivars de sureau du Canada, Lee et Finn (2007) ont étudié deux cultivars en commun avec ceux de notre étude, soit les cultivars Scotia et York. Leur évaluation de la teneur en ACY s'est effectuée selon deux protocoles différents, soit la méthode du pH différentiel et par HPLC (« high-performance liquid chromatography »). Les données obtenues par la première méthode s'avèrent nettement inférieures, mais néanmoins fortement corrélées à celles de la méthode par HPLC. Ils expliquent cette différence par l'utilisation d'un pigment pur comme référence dans la seconde méthode. Les données que nous avons obtenues s'apparentent davantage aux résultats obtenus par HPLC car elles font toutes deux référence à un pigment pur. La comparaison entre cette méthode et celle utilisée dans ce travail est donc valable.

En comparant les teneurs en ACY obtenus pour les cultivars Scotia et York avec celles de Lee et Fin (2007), les valeurs à maturité présentées ici sont plus

élevées que les leurs. Cela s'explique fort probablement par le fait que notre échantillonnage s'est terminé plus tard (début octobre, comparativement à la fin août), laissant ainsi le temps aux ACY de s'accumuler davantage et d'atteindre leur maximum, soit à la mi-septembre (tableau 1.2). Il est donc fort probable que Lee et Finn (2007) aient récolté leurs baies alors qu'elles n'avaient pas encore atteint ce stade.

Les données présentées dans le tableau 1.5 comparent les teneurs en ACY, en CPT et la CA du sureau du Canada (moyenne pour les années 2006 et 2007) avec des données prises dans la littérature pour d'autres petits fruits (méthodes HPLC, Folin-Ciocalteu et TEAC, respectivement) (Pellegrini et al., 2003b; Wu et al., 2004c, 2006). Parmi les petits fruits présentés, le bleuet apparaît comme étant celui avec les valeurs les plus élevées pour l'ensemble des paramètres présentés dans le tableau 1.5. Par contre, lorsqu'on le compare aux données obtenues avec le sureau du Canada, on voit bien que ce dernier présente des valeurs plus élevées. Bien que les fruits de l'espèce indigène possèdent une quantité d'ACY moins élevée que ceux des cultivars étudiés, ses fruits contiennent 187 mg de C3G/100 g MF de plus que le bleuet, soit 48% de plus. En ce qui concerne la teneur en CPT et la CA, le cultivar York présente des valeurs plus faibles que l'espèce indigène et les autres cultivars de sureau du Canada. Néanmoins, il contient 40 mg d'EAG/100 g MF de plus que le bleuet, soit 5% plus élevé ainsi qu'une CA de 46  $\mu\text{mol ET/g MF}$ , soit 2,3 fois plus élevée que celle du bleuet.

Tableau 1.5 : Comparaison des teneurs en ACY, en CPT et de la CA des fruits du sureau du Canada avec celle de petits fruits

|                         | ACY<br>(mg C3G/100 g MF) | CPT<br>(mg EAG/100 g MF) | CA<br>( $\mu$ mol ET/g MF) |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| <b>Petits fruits</b>    |                          |                          |                            |
| Bleuet                  | 387 <sup>a</sup>         | 795 <sup>b</sup>         | 20 <sup>c</sup>            |
| Canneberge              | 140 <sup>a</sup>         | 709 <sup>b</sup>         | N/A                        |
| Fraise                  | 21 <sup>a</sup>          | 368 <sup>b</sup>         | 11 <sup>c</sup>            |
| Framboise               | 92 <sup>a</sup>          | 504 <sup>b</sup>         | 17 <sup>c</sup>            |
| Mûre                    | 245 <sup>a</sup>         | 660 <sup>b</sup>         | 1 <sup>c</sup>             |
| <b>Sureau du Canada</b> |                          |                          |                            |
| Indigène                | 574                      | 898                      | 54                         |
| 'Kent'                  | 755                      | 1015                     | 55                         |
| 'Nova'                  | 771                      | 1054                     | 60                         |
| 'Scotia'                | 651                      | 904                      | 48                         |
| 'Victoria'              | 645                      | 879                      | 49                         |
| 'York'                  | 590                      | 835                      | 46                         |

Légende: <sup>a</sup> : Source : Wu, et al. 2006; <sup>b</sup> : Source: Wu, et al 2004; <sup>c</sup> : Source: Pellegrini, et al 2003b

## 1.5 CONCLUSION

Les résultats de cette étude ont permis d'acquérir des données sur la composition biochimique des fruits du sureau du Canada. Il a été montré que ces fruits possèdent des teneurs élevées en SS, en ACY, en CPT et une excellente CA. Ces paramètres atteignent leurs valeurs maximales au mois de septembre dans le sud du Québec et sont tous fortement corrélés entre eux. Les cultivars Kent et Nova sont les plus riches en ACY, en CPT et ont la CA la plus élevée. De plus, la teneur maximale en ces composés est atteinte plus tôt que pour les autres cultivars étudiés. Les cultivars Victoria et Scotia sont les plus riches en SS. Après comparaison avec le sureau européen et d'autres petits fruits également riches en ces composés, nous avons constaté que les fruits de sureau du Canada possèdent une teneur en ACY, en CPT et une CA supérieures à ceux-ci. En dépit de la qualité des résultats obtenus, il serait important de les valider pour des plants cultivés dans d'autres zones de rusticité que celle de la parcelle d'étude, sachant que l'aire de distribution du sureau du Canada s'étend de la Gaspésie (QC) à la Floride (USA). D'autres études devront également être faites notamment pour bien caractériser la composition exacte en ACY et vérifier si les composés antioxydants peuvent être assimilés efficacement par l'humain.

CHAPITRE 2 : Le développement des fruits du sureau du Canada (*Sambucus canadensis* L.) n'explique pas l'asynchronisme de l'évolution de leurs teneurs en anthocyanes, en composés phénoliques et de leur capacité antioxydante

AUTEURS

Mathieu, Fannie<sup>1,2</sup>, Normand Chevrier<sup>2</sup>, Denis Charlebois<sup>1</sup>

ADRESSES

<sup>1</sup> Centre de recherche et développement en horticulture, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 430, boulevard Gouin, Saint-Jean-sur-Richelieu, Québec, J3B 3E6

<sup>2</sup> Département des Sciences Biologiques, Université du Québec à Montréal, Pavillon des sciences biologiques (SB), 141 Avenue du Président-Kennedy, Montréal (Québec), H2X 1Y4

## 2.1 RÉSUMÉ

La présente étude porte sur le développement des fruits du sureau du Canada (*Sambucus canadensis* L.) et des cultivars Kent, Nova, Scotia, Victoria et York. Nous avons mis au point une échelle basée sur la forme et la coloration des fruits permettant de suivre leur processus de développement. L'espèce indigène s'est avérée plus tardive que les cultivars étudiés, nécessitant 76 jours en 2006 et 64 jours en 2007 pour atteindre sa pleine maturité. Le cultivar Nova a été le plus précoce et a nécessité un peu plus de 60 jours. Nous avons également fait un parallèle entre la coloration des fruits et leur teneur en sucres solubles totaux (SS), en anthocyanes (ACY), en composés phénoliques totaux (CPT) et leur capacité antioxydante (CA). Ces paramètres sont tous corrélés à la couleur des fruits. Cependant, le fait de se baser uniquement sur la coloration des fruits pour déterminer le meilleur moment de récolte peut avoir pour conséquence de sacrifier une bonne partie des ACY, des CPT et de la CA. L'utilisation conjointe de la coloration et de la teneur en SS pour évaluer le meilleur moment de récolte permet de minimiser ces pertes. Ces données permettront aux producteurs de mieux gérer leur récolte.

**MOTS CLÉS :** Sureau du Canada, phénologie, maturation des fruits, anthocyanes, composés phénoliques, capacité antioxydante

## 2.2 INTRODUCTION

La phénologie est l'étude de l'apparition des événements périodiques. Chez les végétaux, par exemple, les indices phénologiques les plus couramment étudiés sont le débourrement, la floraison, la fructification et la coloration des feuilles. Le patron phénologique d'une espèce peut être décrit selon la durée, le moment d'apparition ou tout autre événement (Rathcke et Lacey, 1985). Basée sur ces critères, l'échelle BBCH (« Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt et Chemische Industrie ») développée par Meier (2001) permet de faire le suivi phénologique de plusieurs espèces d'importance économique. Cependant, cette échelle présente plusieurs lacunes. Tout d'abord, certains stades restent difficiles à évaluer. Par exemple, on utilise la taille des fruits à pépins pour suivre leur développement. Or, pour des fruits de petite taille, ce type de critère peut être difficile à évaluer. De plus, certains critères manquent de précision. Dans le cas du raisin on ne retrouve aucune description physique du fruit mature. Aussi, aucun paramètre biochimique comme la teneur en pigments ou en sucre n'est pris en compte dans ces échelles, alors qu'il s'agit souvent de critères d'importance pour décider du moment de la récolte. Finalement, les espèces fruitières n'y occupent pas une grande importance et plusieurs d'entre elles n'ont pas été décrites. Mentionnons entre autre la framboise, le bleuet et la canneberge (Meier, 2001). D'autres paramètres ont également été utilisés pour suivre le développement des fruits, comme la masse sèche (MS), l'arrivée des prédateurs, le volume et la caractérisation ponctuelle de la couleur (Koike et al., 2008; Li et al., 1999; Whitney, 2005).

Plusieurs études ont porté sur les processus de maturation du raisin, particulièrement celui destiné à la fabrication du vin. Certains auteurs ont déterminé que la maturation de certains cultivars peut être affectée par le niveau d'ensoleillement ou de pluie à la période de véraison (Jones et Davis, 2000). Cette période est particulièrement critique car c'est à ce moment que l'accumulation des SS débute (Downey et al., 2003). Il a été montré que le développement du raisin était

également corrélé avec l'augmentation de la quantité d'anthocyanes (ACY), pigments responsables de sa couleur (Kennedy et al., 2001). La présence de ces pigments constitue un critère d'importance pour la récolte des fruits car ils déterminent le potentiel du vin (Keller et Hrazdina, 1998). Il a été montré chez la fraise, la framboise, le bleuet et la canneberge, que la maturation est caractérisée par une accumulation d'eau, de SS, de flavonoïdes, de composés phénoliques (CP) et plusieurs autres éléments (Coombe, 1976).

Le sureau du Canada (*Sambucus canadensis* L.) [synonyme *Sambucus nigra* ssp. *canadensis* (L.) R. Bolli] produit des petits fruits dont les propriétés sont susceptibles d'intéresser les industries alimentaires et nutraceutiques. Mathieu et al. (2009, chapitre 1) ont montré que ces fruits avaient des teneurs en ACY et en CP totaux (CPT) et une CA supérieures à celles de plusieurs petits fruits riches en ces composés. De plus, le taux d'accumulation de ces composés est rapide de juillet à la mi-août, puis diminue au mois de septembre. Un asynchronisme de la période de stabilisation de ces paramètres a également été remarqué entre les différents cultivars étudiés. Jusqu'à présent, les producteurs de sureau se fiaient à la couleur des fruits pour juger du meilleur moment pour récolter car ils présument que les fruits possèdent leurs teneurs maximales en sucres solubles (SS), en ACY, en CPT et la meilleure CA lorsque leur couleur a atteint son intensité maximale. Cependant, aucune étude n'a été effectuée pour effectuer un parallèle entre ces paramètres et la coloration des fruits afin de valider ce critère de récolte.

Nous avons cherché à vérifier si l'asynchronisme au niveau de la production de certains composés entre les cultivars étudiés peut être expliqué par une différence au niveau du développement des fruits. Pour y parvenir, un parallèle entre la coloration des fruits et leurs teneurs en SS, en ACY, en CPT et la CA a été effectué.

## 2.3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.3.1 Parcelle à l'étude

Les plants de sureau du Canada étaient situés à la ferme expérimentale d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à L'Acadie, Québec (latitude 45.32 °N; longitude 73.35 °O). On y retrouvait les cultivars Kent, Nova, Scotia, Victoria et York ainsi qu'un écotype de l'espèce indigène. La parcelle expérimentale a été implantée en juin 2003 et comprenait huit blocs de deux rangs où chaque cultivar était représenté par cinq plants. La position des cultivars dans les blocs a été déterminée aléatoirement. Pour les fins de l'étude, nous disposions de trois plants par cultivar par bloc. Aucune irrigation, herbicide ou fongicide n'a été appliqué sur la parcelle. Une fertilisation de 400 g par plant d'engrais 10-10-10 a été appliquée à quatre reprises entre le début mai et la fin juin et une légère taille visant à retirer le bois mort a été effectuée au printemps.

### 2.3.2 Données météorologiques

Les données météorologiques utilisées dans ce projet proviennent d'une station installée à la ferme expérimentale.

### 2.3.3 Évaluation des plants

Une échelle basée sur la coloration et la forme des fruits a été développée pour ce projet. Elle est divisée en cinq phases qui sont décrites dans le Tableau 2.1. En 2006, l'observation a été effectuée sur un plant par bloc par cultivar pour un total de 48 plants. Sur chacun de ces plants, 10 inflorescences ont été sélectionnées de façon aléatoire et chaque inflorescence a été évaluée individuellement, puis une moyenne a été calculée pour chaque plant. Dans un souci de représentativité, la méthode d'évaluation a été revue en 2007. L'observation a été effectuée sur trois plants par bloc, sur trois blocs choisis aléatoirement. Les plants ont été évalués dans leur ensemble en déterminant dans quelle proportion chaque phase était représentée. Pour

les deux années, l'évaluation s'est déroulée du début de la nouaison jusqu'à ce que toutes les grappes des plants aient légèrement dépassé le stade de pleine maturité. Durant cette période, les plants ont été visités trois fois par semaine.

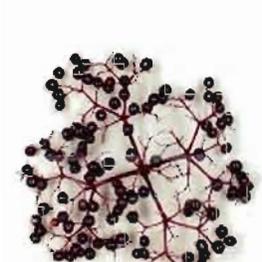
#### 2.3.4 Caractérisation biochimique des fruits

La caractérisation biochimique des fruits s'est faite telle que décrite dans Mathieu et al. 2009 (voir chapitre 1). Les analyses biochimiques ont débuté dès que les fruits présentaient une coloration rouge.

#### 2.3.5 Analyses statistiques

Des analyses descriptives ont été faites afin de comparer les moments où les différentes phases débutent et atteignent leurs maxima. Des analyses de variance ont été faites sur les durées des phases ainsi que sur la durée totale du processus de maturation. L'effet de l'année, du cultivar ainsi que les interactions ont été déterminés, puis un test de Tukey HSD a été pratiqué afin de déterminer si certains cultivars étaient plus hâtifs ou plus tardifs que d'autres. Les analyses statistiques ont été faites avec le logiciel JMP<sup>®</sup> 7 de SAS (Cary, NC).

Tableau 2.1 : Description des phases de maturation

| Phase | Description  | Illustration <sup>a</sup>   |
|-------|--|---|
| A     | 50% ou plus des bourgeons floraux de l'inflorescence sont ouverts.   |    |
| B     | 50% ou plus des fleurs de l'inflorescence sont en nouaison. Les fruits sont verts, petits, ovoïdes et peuvent ne pas être lisses.  |    |
| C     | 50% ou plus des fruits de l'infrutescence sont turgescents et ont atteint une forme sphérique. Les fruits sont verts et lisses.  |   |
| D     | 50% ou plus des fruits de l'infrutescence présentent une coloration rouge. Cette coloration peut être partielle ou complète. La coloration commence généralement sous la forme de méridiens partant des extrémités des fruits et se rejoignant au centre pour ensuite s'étendre à tout le fruit. |  |
| E     | 50% ou plus des fruits de l'infrutescence présentent une coloration violette à noire.  |  |

<sup>a</sup> : Ces photos représentent les phases de maturation du cultivar Victoria

## 2.4 RÉSULTATS

### 2.4.1 Données météorologiques

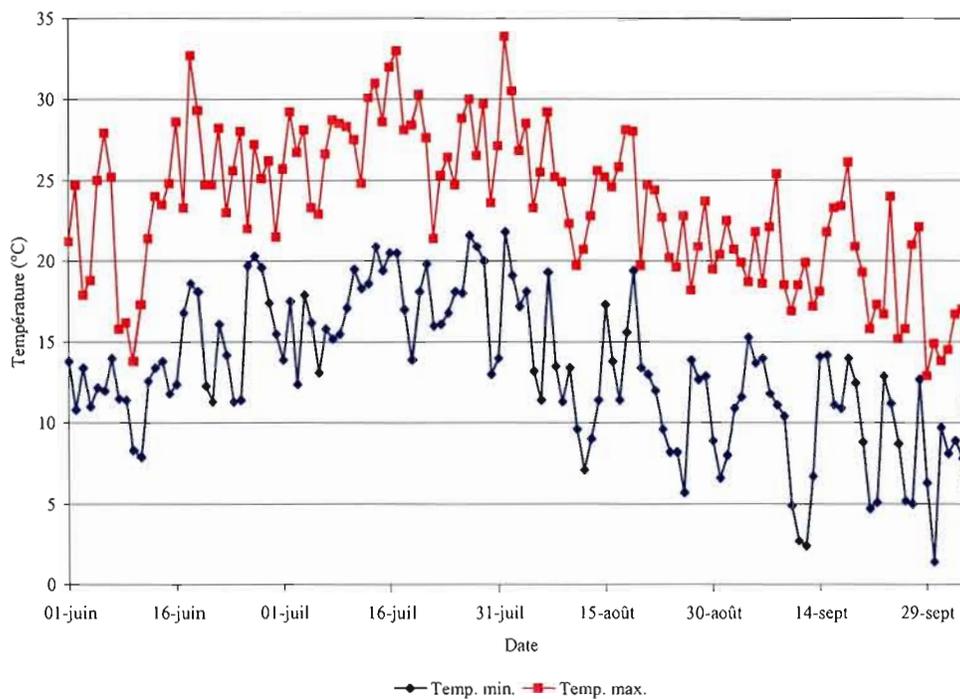
La figure 2.1 montre les températures quotidiennes minimales et maximales relevées pour les années 2006 et 2007. On remarque que, de manière générale, la température était plus élevée en 2007 qu'en 2006, surtout lors des mois de juin et septembre. La figure 2.2 montre la quantité de pluie reçue pour ces deux années. On remarque que les précipitations sont plus fréquentes en 2006 et que la quantité de pluie cumulée dépasse celles de 2007 par plus de 100 mm.

### 2.4.2 Durée totale du processus de développement des fruits

La durée totale représente le nombre de jours séparant le début de la floraison du jour où la totalité des grappes des plants ont atteint la phase E. Cette durée varie significativement d'une année à l'autre ( $p < 0,0001$ ) et a nécessité près de deux semaines de plus à l'espèce indigène en 2006 comparativement à 2007 alors que pour les autres cultivars, seulement deux jours de différence ont été observés (tableau 2.2).

Les différents cultivars nécessitent une durée totale significativement différente en 2006 par rapport à 2007 ( $p < 0,0001$ ) et l'ordonnance de ces derniers varie significativement d'une année à l'autre ( $p < 0,0001$ ). En 2007, la totalité des cultivars ont présenté une durée comparable alors qu'en 2006, des différences significatives étaient observables. Les cultivars Kent et Nova ont été les plus hâtifs, suivis des cultivars Scotia, Victoria et York. L'espèce indigène était la plus tardive, avec près de deux semaines de différence (tableau 2.2).

a) 2006



b) 2007

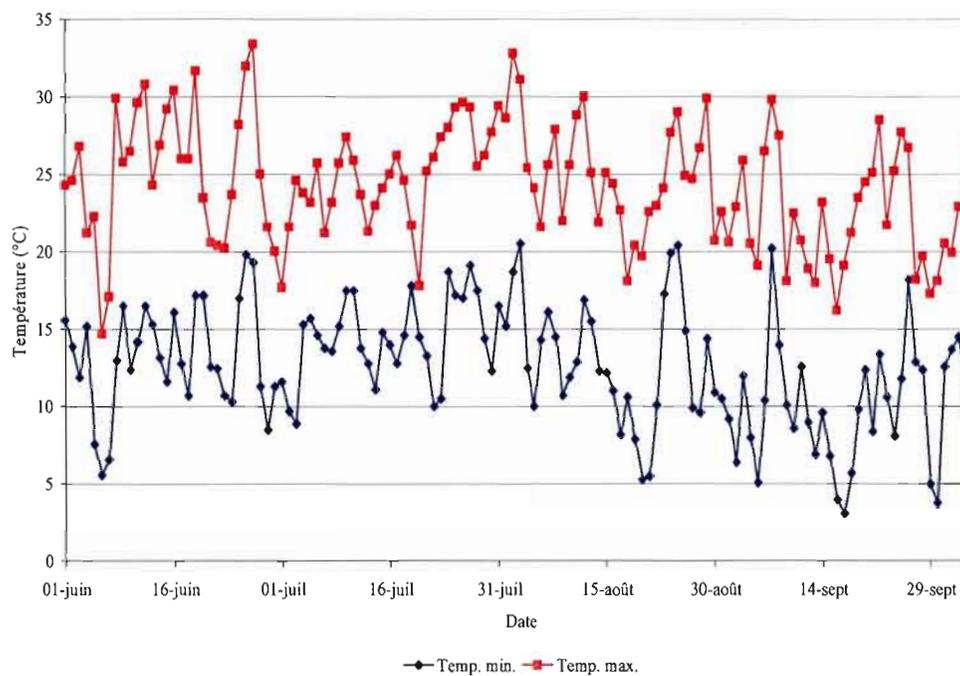
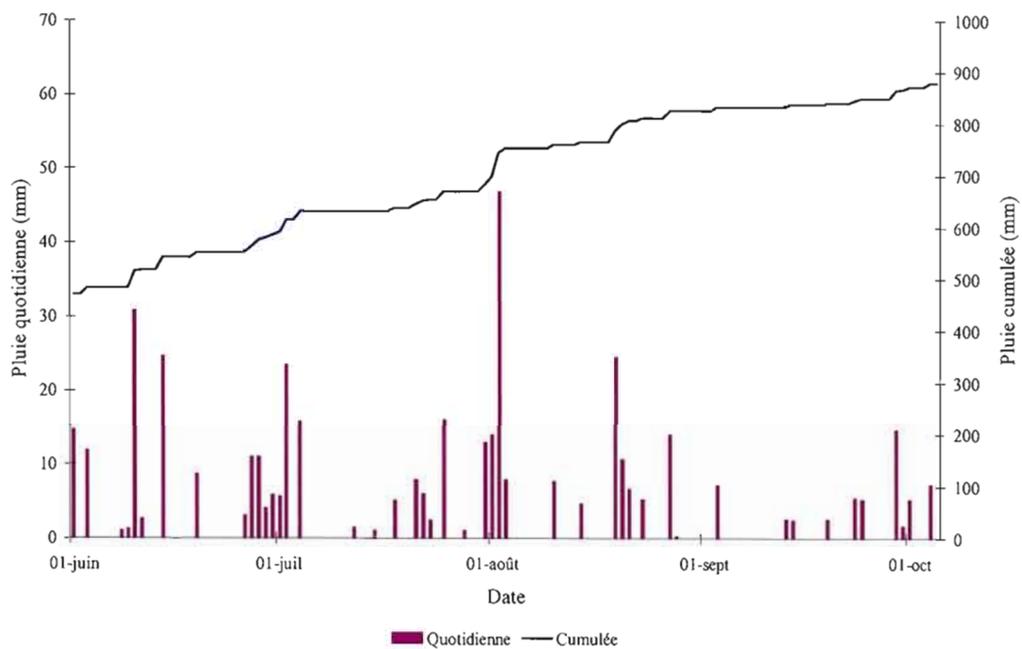


Figure 2.1 : Températures quotidiennes minimales et maximales

a) 2006



b) 2007

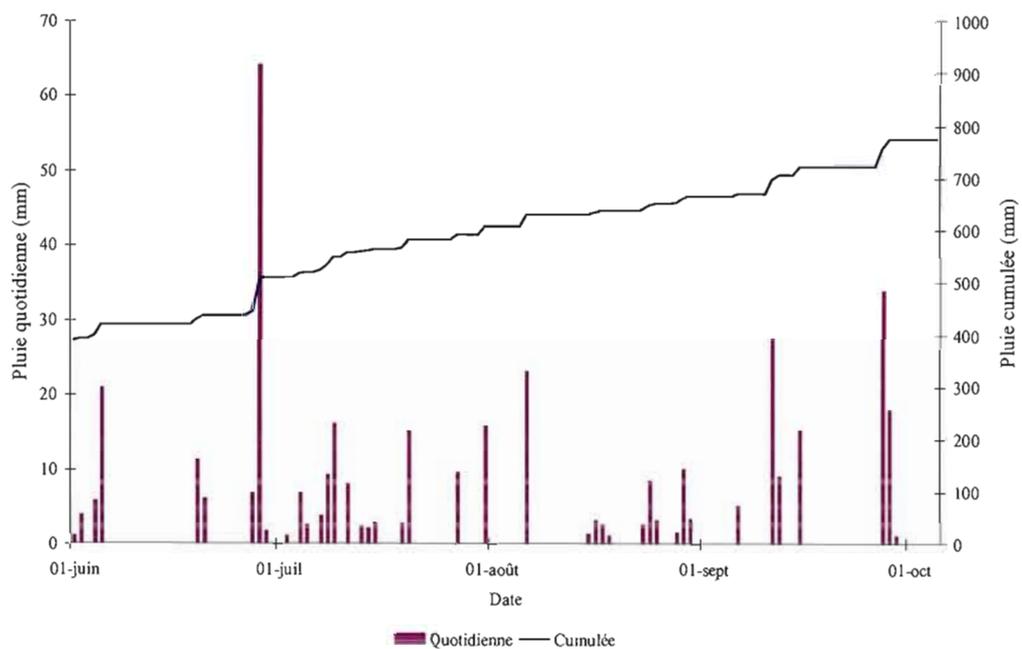


Figure 2.2 : Précipitations quotidiennes et cumulées

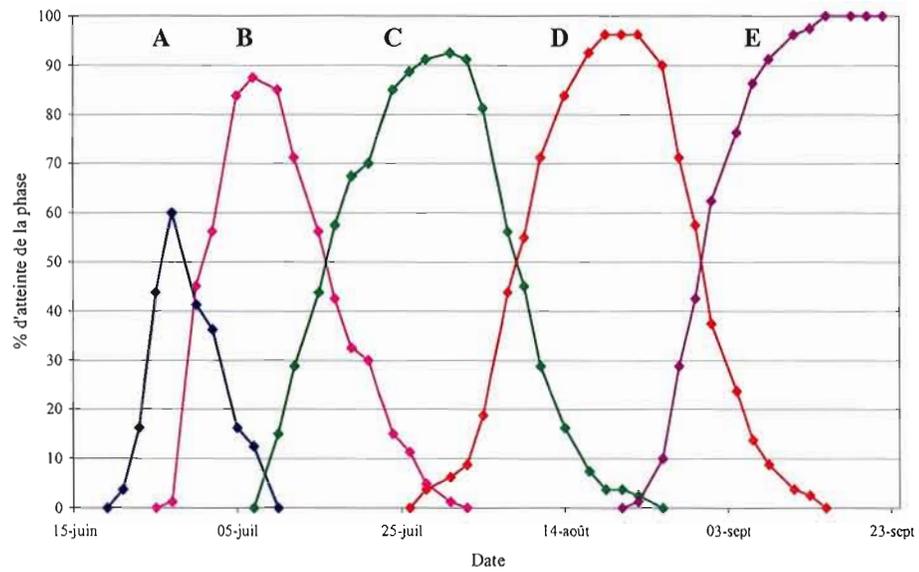
Tableau 2.2 : Durée (en jours) nécessaire pour compléter toutes les phases de développement

|            | 2006       |       | 2007       |       |
|------------|------------|-------|------------|-------|
|            | Durée      | Tukey | Durée      | Tukey |
| Indigène   | 76,6 ± 3,9 | A     | 64,2 ± 8,2 | A     |
| 'Kent'     | 61,9 ± 4,5 | C     | 61,9 ± 1,3 | A     |
| 'Nova'     | 61,3 ± 3,6 | C     | 63,9 ± 2,0 | A     |
| 'Scotia'   | 66,4 ± 2,0 | B     | 64,6 ± 2,7 | A     |
| 'Victoria' | 66,4 ± 2,0 | B     | 64,4 ± 1,1 | A     |
| 'York'     | 68,3 ± 4,8 | B     | 66,0 ± 2,2 | A     |

#### 2.4.3 Phase A

La figure 2.3 représente celles de l'espèce indigène, la plus tardive. La figure 2.4 représente la durée des phases du développement des fruits pour le cultivar Nova, soit le plus hâtif de l'ensemble des cultivars étudiés. La phase A représente la phase de floraison. Chez l'espèce indigène et l'ensemble des cultivars étudiés, cette phase débute sensiblement la même journée et ce pour les deux années, soit entre le 20 et le 23 juin (Figure 2.4). Le maximum de floraison est atteint à la même période pour les deux années, soit entre le 26 juin et le 1 juillet. Par contre, la phase A a été plus longue à compléter en 2007 qu'en 2006 ( $p < 0,0001$ ). La différence observée varie entre 3 et 7 jours, selon le cultivar. De plus, la durée de cette phase varie significativement d'un cultivar à l'autre ( $p = 0,0018$ ), cependant l'ordonnance des cultivars d'une année à l'autre ne varie pas significativement ( $p = 0,2293$ ). Pour les cultivars Kent, Scotia et Victoria, la phase A avait une durée similaire à celle des cultivars Nova et York, tous étant plus hâtifs que l'espèce indigène.

a) 2006



b) 2007

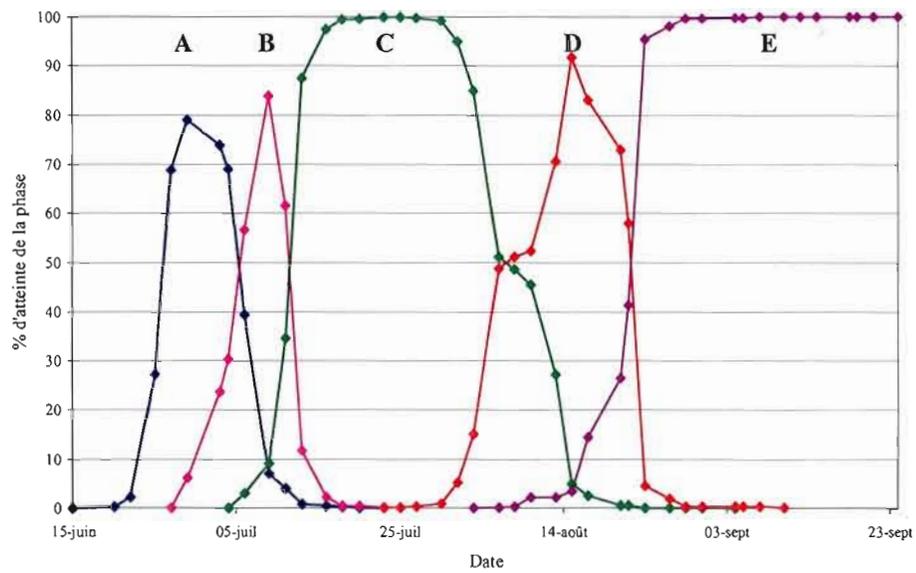
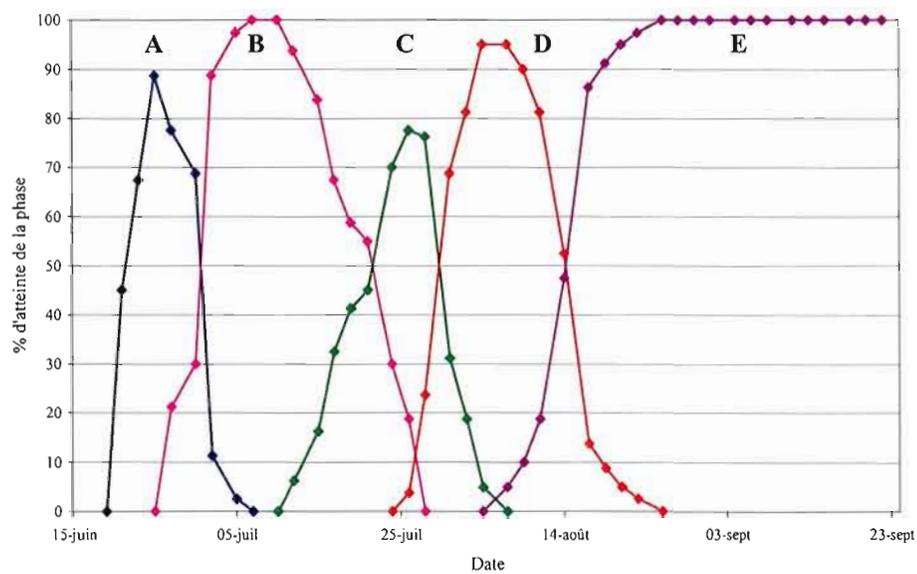


Figure 2.3 : Phases du développement des fruits de l'espèce indigène

a) 2006



b) 2007

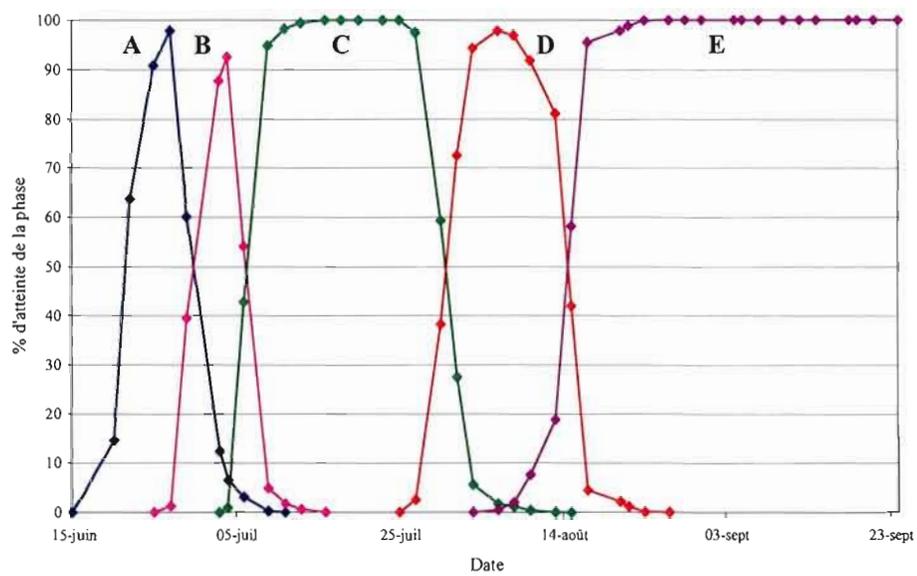


Figure 2.4 : Phases du développement des fruits du cultivar Nova

#### 2.4.4 Phase B

La phase B représente la phase de nouaison. Elle a débuté environ au même moment pour les deux années et pour tous les cultivars, soit entre le 28 juin et le 1 juillet. Le maximum de nouaison a également été atteint à peu près au même moment pour les deux années et pour l'ensemble des cultivars, soit entre le 4 et le 8 juillet. Encore une fois, même si le début de la phase et l'atteinte du maximum se font environ au même moment pour l'ensemble des cultivars, et de manière comparable d'une année à l'autre, une variation significative a également été observée dans la durée de la phase B. En effet, cette phase a duré deux fois plus longtemps en 2006 qu'en 2007 ( $p < 0,0001$ ), soit 27 jours en moyenne en 2006 et 13 jours en 2007. Il existe une différence significative entre les différents cultivars ( $p = 0,0005$ ), mais l'ordonnance de ceux-ci est maintenue pour les deux années ( $p = 0,7504$ ). Contrairement à la phase A, la phase B est plus rapide chez l'espèce indigène que pour l'ensemble des cultivars étudiés. En 2006, elle a nécessité 25 jours pour l'espèce indigène comparativement à 28 pour les cultivars étudiés alors qu'en 2007, 12 et 14 jours ont été nécessaires, respectivement.

#### 2.4.5 Phase C

La phase C représente la phase d'augmentation en volume du fruit, c'est-à-dire le moment où il atteint sa forme sphérique. Contrairement aux phases A et B, la phase C n'a pas débuté au même moment en 2006 et en 2007. Elle a débuté entre le 12 et le 15 juillet en 2006 et entre le 5 et le 8 juillet en 2007, soit de 6 à 10 jours plus tôt. Le maximum est atteint un peu plus tard en 2006 qu'en 2007, soit entre le 27 et le 28 juillet et le 15 et le 18 juillet, respectivement.

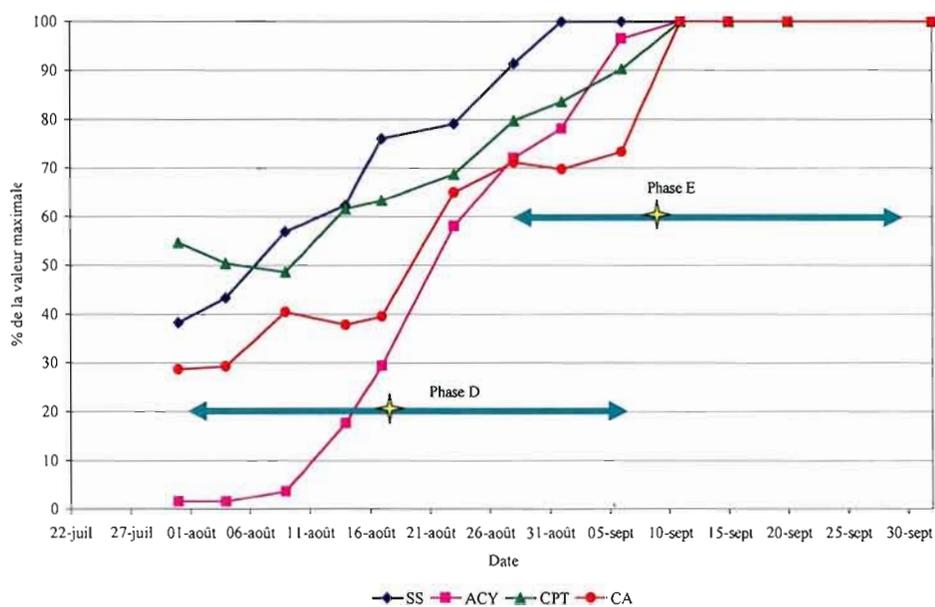
De toutes les phases évaluées, la phase C est celle dont la durée a été la plus longue. Elle a nécessité près de 10 jours de moins en 2006 qu'en 2007 ( $p < 0,0001$ ) et l'ordonnance des cultivars a varié significativement d'une année à l'autre ( $p < 0,0001$ ). En 2006, les cultivars Kent, Nova, Scotia et Victoria ont été les plus hâtifs et le cultivar York a nécessité un nombre de jours comparable à celui des cultivars Scotia et Victoria, mais significativement plus que pour les cultivars Kent et Nova. L'espèce indigène est celle qui a nécessité le plus de temps, soit 36 jours, c'est-à-dire la même durée qu'en 2007. En 2007, tous les cultivars ont nécessité environ le même temps, soit 36 jours en moyenne, pour compléter la phase C.

#### 2.4.6 Phase D

La phase D est la phase où la coloration rouge des fruits commence à apparaître. Cette phase a débuté entre le 22 juillet et le 4 août et atteint son maximum entre le 22 août et le 9 septembre, selon les cultivars. Il s'agit de la seule phase qui a eu approximativement la même durée d'une année à l'autre, soit 25 jours en moyenne ( $p = 0,6193$ ). Il y a une différence significative entre les cultivars ( $p = 0,0314$ ) et l'ordre dans lequel ils se classent diffère significativement d'une année à l'autre ( $p < 0,0001$ ). En 2006, l'espèce indigène a nécessité 36 jours alors que les durées pour les autres cultivars n'ont pas été significativement différentes et ont varié entre 22 et 27 jours. En 2007, l'ensemble des cultivars a nécessité le même nombre de jours pour compléter la phase D, sauf le cultivar Scotia qui a été plus hâtif et dont la durée n'est pas significativement différente du cultivar Victoria.

La phase D correspond également au moment où les analyses biochimiques des fruits ont débuté. Les données présentées aux figures 2.5 et 2.6 montrent l'évolution des paramètres mesurés pour l'espèce indigène et le cultivar Nova, respectivement. Les doubles flèches représentent la période à laquelle se sont déroulées les phases D et E et les étoiles représentent le moment où les maxima ont été atteints. On remarque que l'augmentation de la teneur en ACY est représentative de la coloration des fruits. Cette caractéristique est également reliée aux teneurs en SS et en CPT et à la CA.

a) 2006



b) 2007

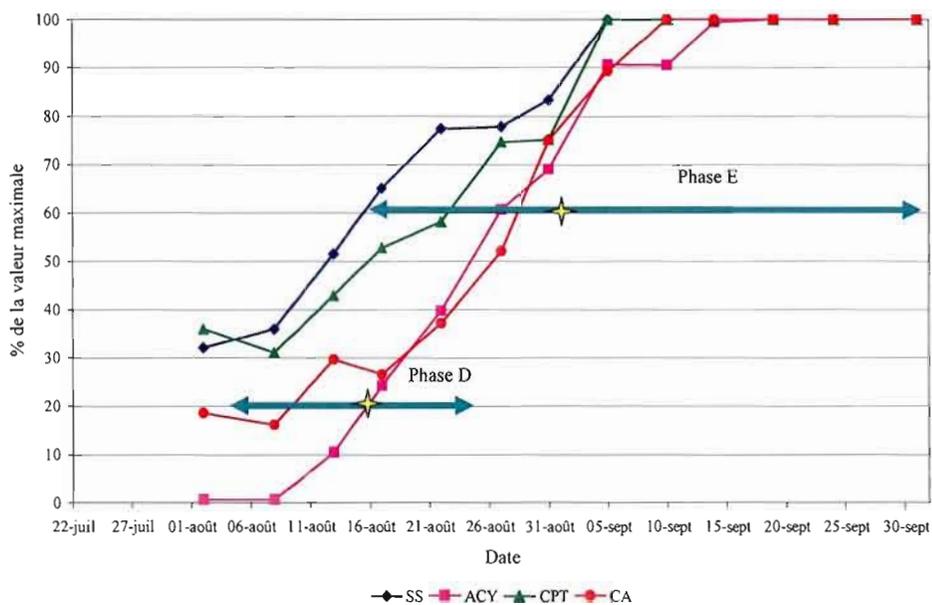
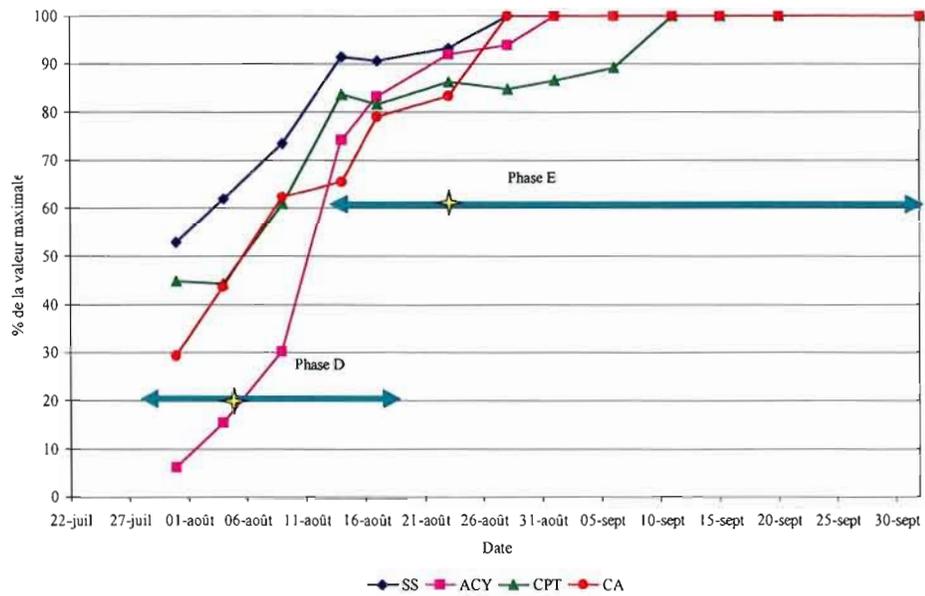


Figure 2.5 : Évolution des teneurs en SS, en ACY, en CPT et de la CA, durée et atteinte des maxima pour les phases D et E chez l'espèce indigène.

a) 2006



b) 2007

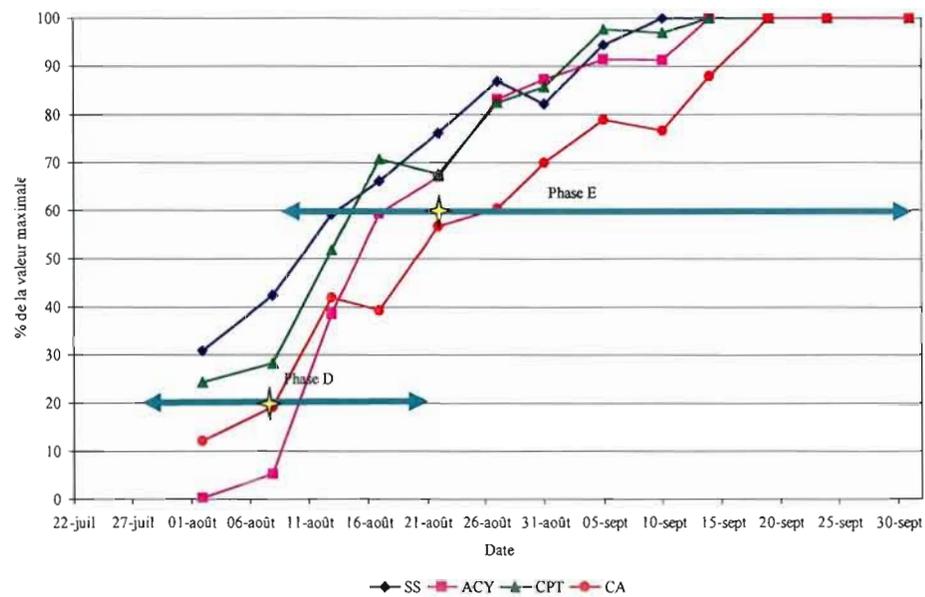


Figure 2.6 : Évolution des teneurs en SS, en ACY, en CPT et de la CA, durée et atteinte des maxima pour les phases D et E chez le cultivar Nova.

En 2006, chez l'espèce indigène, au moment où le maximum de la phase D a été atteint, les fruits contenaient environ 75% de leur teneur maximale en SS, 30% de leur teneur maximale en ACY, près de 65% de leur teneur maximale en CPT et environ 40% de leur CA maximale. Chez le cultivar Nova, ces proportions correspondent à 65, 20, 50 et 50% respectivement (figure 2.5).

#### 2.4.7 Phase E

La phase E correspond à l'intensification de la couleur des fruits. Pendant cette phase, ils passent du violet au noir. Cette phase a débuté environ au même moment en 2006 et en 2007, soit entre le 9 et le 28 août. Les maxima pour cette phase ont été atteints entre le 23 août et le 9 septembre. La durée de cette phase a été légèrement plus longue en 2007 qu'en 2006 ( $p=0,0314$ ) et elle a varié significativement d'un cultivar à l'autre ( $p=0,0190$ ), bien que l'ordonnance de ceux-ci soit restée la même d'une année à l'autre ( $p=0,3245$ ). La durée de cette phase a été similaire pour l'ensemble des cultivars, à l'exception du cultivar Nova pour lequel la durée de cette phase a été significativement plus longue que celle du cultivar Victoria. La phase E est également la phase durant laquelle les teneurs en SS, CPT, ACY et la CA atteignent leurs valeurs maximales.

## 2.5 DISCUSSION

### 2.5.1 Floraison

La floraison des cultivars étudiés est synchrone et invariable d'une année à l'autre comme en témoignent les dates de début et d'atteinte du maximum de cette phase. De plus, les données obtenues concordent avec celles présentées par Guillemette et al. (2007) et viennent appuyer l'hypothèse avancée par ces auteurs qui stipule que la floraison serait indépendante du cumul thermique.

### 2.5.2 Impact de la pluie sur l'espèce indigène

En 2007, le développement des fruits de l'espèce indigène était comparable à celui des cultivars étudiés. Cependant, en 2006, la phase C a nécessité huit jours et la phase D neuf jours de plus pour être complétées comparativement aux cultivars étudiés. La sensibilité de l'espèce indigène aux conditions météorologiques pourrait expliquer les différences observées. Puisque l'accroissement en taille des fruits (phase C) consiste essentiellement en l'accumulation d'eau, cette phase a probablement été affectée par le manque de précipitations au début du mois de juillet en 2006 par rapport à 2007.

Un manque de soleil accompagne généralement des périodes d'averses fréquentes comme celles observées en 2006. Il est possible que l'activité photosynthétique des plants ait été affectée. Par conséquent, moins de composés carbonés auront été synthétisés. Or, ces derniers sont utilisés pour la synthèse des composés phénoliques et des ACY. Le manque d'ensoleillement pourrait donc expliquer le retard cumulé lors de la phase de coloration des fruits (phase D) en 2006 par rapport à 2007.

### 2.5.3 Teneur en ACY et coloration des fruits

Les analyses des fruits ont montré qu'au début de la phase D, la teneur en SS avait déjà atteint 30 à 50% de sa valeur maximale. Cette observation concorde avec ce qui a été observé chez les raisins pour lesquels l'accumulation des SS débute à la

véraison. Les SS sont des composés carbonés du métabolisme primaire dont l'accumulation est nécessaire avant la synthèse des ACY qui sont des composés carbonés du métabolisme secondaire. Le début de la phase D correspond également au début de l'accumulation des ACY qui ne cessent d'augmenter jusqu'à la phase E, au mois de septembre, soit lorsque les fruits ont atteint une couleur noire violacée. De plus, la synthèse de ces pigments débute alors que la teneur en CPT a atteint 25 à 45% de la teneur finale. Ces observations viendraient appuyer les conclusions de l'étude de Bogs et al. (2006) qui stipule que les gènes responsables de la synthèse des ACY sont activés suite à l'accumulation d'autres types de CPT.

#### 2.5.4 Détermination du meilleur moment de récolte

La coloration des fruits est un bon indice de la teneur en SS, en ACY, en CPT et de leur CA; ces paramètres augmentent au fur et à mesure que la couleur des fruits s'intensifie. Cependant, si on se fie uniquement à la couleur pour déterminer le moment de récolte, ces paramètres risquent de ne pas avoir atteint leur valeur maximale. Par exemple, si un producteur avait récolté les fruits du cultivar Nova en 2007 au moment où ceux-ci avaient tous atteint la phase E, il aurait sacrifié environ 15% de SS, 25% des ACY, 35% des CPT et plus de 40% de la CA. Pour palier à ce manque de précision, nous proposons d'utiliser l'évaluation de la teneur en SS conjointement au suivi de la coloration pour estimer les teneurs en ACY, en CPT et la CA des fruits. Aux figures Figure 2.5 et 2.6, on observe que lorsque tous les fruits ont atteint la phase E et que la teneur en SS a cessé d'augmenter, les valeurs des trois autres paramètres ont cessé d'augmenter ou atteint plus de 85% de leur valeur maximale. L'évaluation de la teneur en SS à l'aide du réfractomètre est une technique simple que le producteur peut gérer, contrairement à l'évaluation des teneurs en ACY, en CPT et la CA.

## 2.6 CONCLUSION

Une échelle simple et efficace a été développée afin de bien caractériser le développement des fruits du sureau du Canada. Cette échelle est basée sur la couleur et la forme des fruits. Nous avons réussi à déterminer que la floraison arrivait au même moment d'une année à l'autre et donc qu'elles seraient indépendantes des conditions météorologiques. Les cultivars Kent et Nova sont les plus hâtifs alors que l'espèce indigène est la plus tardive. De plus, nous avons constaté que le développement des fruits de l'espèce indigène est probablement plus affecté par les conditions météorologiques que celui des cultivars étudiés. Une relation proportionnelle a été observée entre le développement des fruits et leurs teneurs en SS, en ACY, en CPT et leur CA. Finalement, il a été montré que le suivi de la coloration des fruits et de la teneur en SS constitue le meilleur moyen pour le producteur d'estimer les teneurs en ACY, en CPT et la CA. De telles données fournissent des informations sur le processus de maturation des fruits de sureau et aideront les producteurs à mieux gérer leur récolte.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

### Composition biochimique des fruits du sureau du Canada

L'évaluation des teneurs en SS, en ACY, en CPT et de la CA des fruits de sureau du Canada montre que ces paramètres évoluent dans le temps. Le taux d'augmentation est élevé au cours du mois d'août mais diminue vers la fin de ce mois. Les paramètres étudiés atteignent leurs maxima au mois de septembre, mais la date précise dépend à la fois du cultivar et de l'année. Si l'on compare les cultivars entre eux lorsque les maxima sont atteints pour l'ensemble des paramètres évalués, les cultivars Kent et Nova sont les plus riches en ACY, en CPT et ont la plus haute CA. Les cultivars Victoria et Scotia sont ceux ayant la plus forte teneur en SS. Nous avons également constaté que les teneurs en SS, en ACY, en CPT et la CA varient d'une année à l'autre. De manière générale, les valeurs par g de MF étaient plus élevées en 2007 qu'en 2006. Cette différence a été expliquée par le fait qu'il n'existe pas de différence significative au niveau de la MS lors des deux années ( $p=0,7168$ ) alors que les fruits de 2006 contenaient significativement plus d'eau que ceux de 2007 ( $p<0,0001$ ) responsable de la dilution des composés chimiques mesurés (voir annexe C)

Finalement, nous avons comparé les teneurs en ACY, en CPT et la CA des fruits de sureau du Canada avec celles de plusieurs petits fruits reconnus pour être riches en ces composés. Il s'avère que l'ensemble des cultivars du sureau du Canada sont tous plus riches en ces composés que ces autres petits fruits.

### Développement des fruits du sureau du Canada

L'étude du développement des fruits du sureau du Canada nous a permis de constater que les phases de floraison (phase A) et de nouaison (phase B) ne sont pas affectées par les facteurs climatiques car elles ont débuté et ont atteint leur maximum au même moment lors des deux années. De plus, ces phases (A et B) débutent au même moment pour l'espèce indigène et l'ensemble des cultivars étudiés. Nous avons également constaté que les fruits du cultivar Nova étaient ceux qui nécessitaient le moins de temps pour compléter l'ensemble des phases de développement alors que les fruits de l'espèce indigène étaient ceux qui requéraient le plus de temps. La phase d'atteinte de la forme ronde (phase C) des fruits est celle qui nécessite le plus de temps et la phase de floraison (phase A) est celle qui en nécessite le moins.

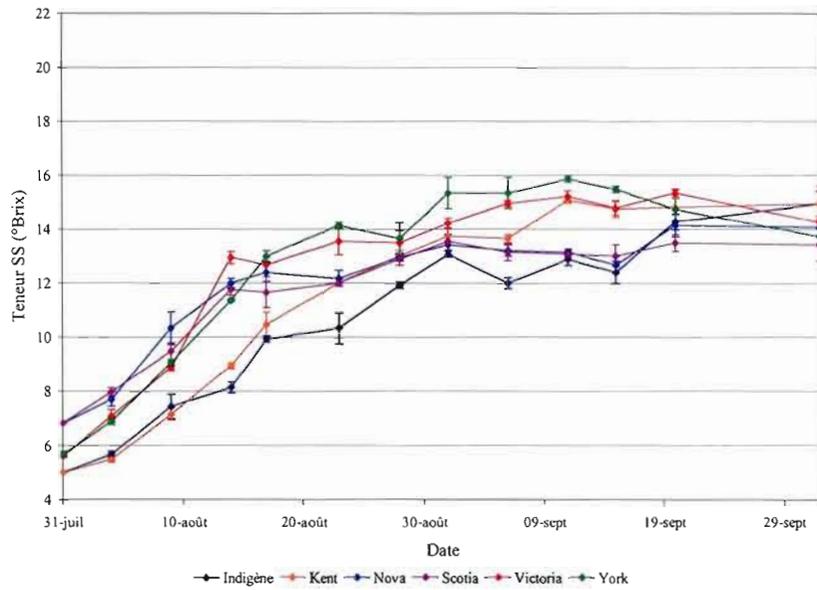
Un parallèle entre le développement des fruits, plus précisément les phases de coloration des fruits et l'évolution des teneurs en SS, en ACY, en CPT et de la CA a été fait. Nous avons constaté que la coloration des fruits est un bon indicateur de leur composition biochimique. Cependant, le critère de la coloration ne permet pas à lui seul de déterminer si les fruits ont atteint leurs teneurs maximales en ces composés. Nous avons remarqué que, lorsque les fruits avaient tous atteint la phase E et que la teneur en SS avait cessé d'augmenter, les fruits avaient également atteint leurs maxima en ACY, en CPT et leur CA maximale. Suite à cette constatation, nous suggérons l'utilisation conjointe de la coloration et la teneur en SS pour évaluer le meilleur moment de récolte des fruits. Ces deux méthodes présentent les avantages d'être simples, peu coûteuses, quasi-instantanées et ne requièrent aucune analyse au laboratoire. De telles données permettront aux producteurs de mieux évaluer le moment idéal de récolte afin d'avoir des fruits les plus riches possibles en ACY, en CPT et possédant une CA optimale.

### Perspectives de recherche

Les données acquises lors de cette étude montrent que les fruits du sureau du Canada présentent un bon potentiel pour les marchés de l'alimentation et l'industrie nutraceutique. Tout d'abord, la composition exacte en ACY des fruits devra être établie. Bien que quelques études aient portées sur ce sujet, elles n'arrivent pas à un consensus. De telles recherches devraient également être faites pour déterminer la composition exacte en CPT. De telles données permettront de déterminer quels sont les composés actifs présents dans les fruits. Ensuite, d'autres études devront être faites pour vérifier dans quelle mesure ces composés peuvent être absorbés par l'organisme humain. Finalement, leur mode d'action devra être déterminé afin de voir à quelles fins précises ces fruits peuvent être utilisés.

ANNEXE A : Évolution des teneurs en SS, en ACY, en CPT et CA pour l'espèce indigène et les cultivars du sureau du Canada étudiés

a) 2006



b) 2007

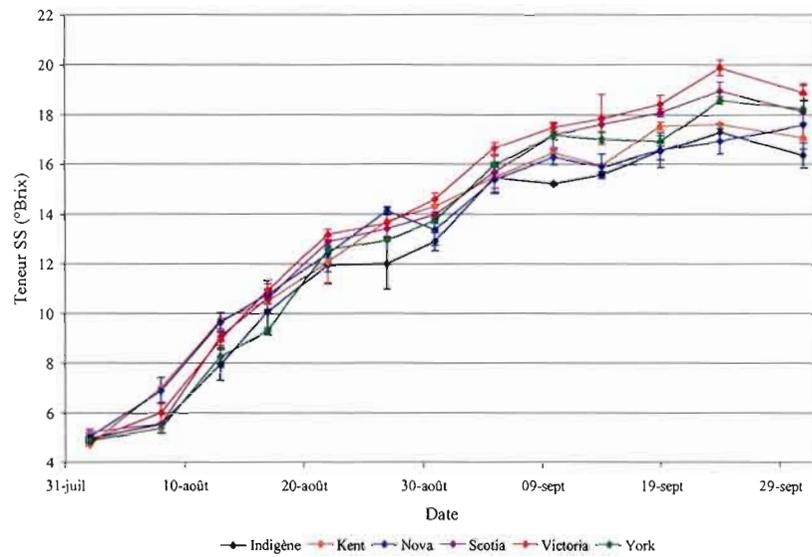
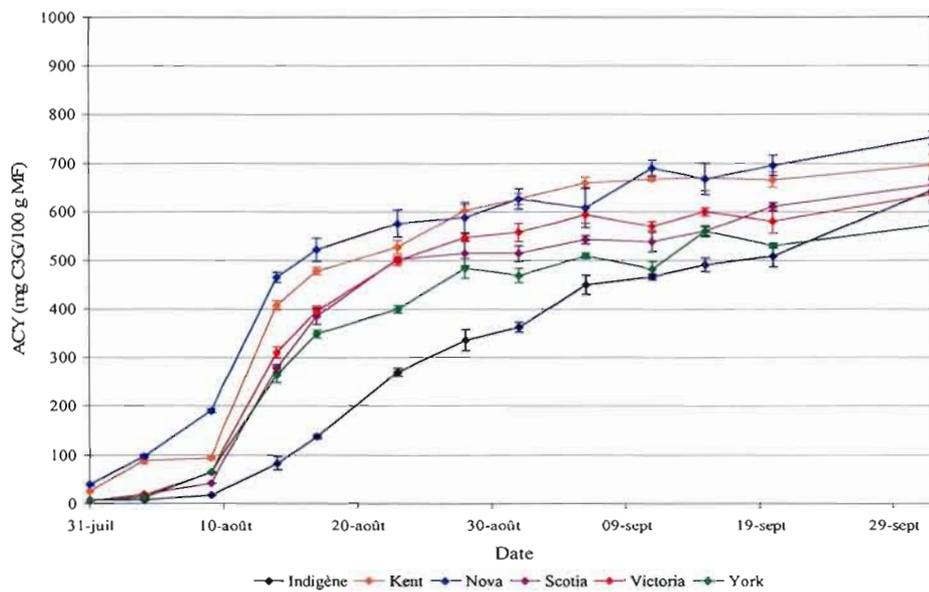


Figure A.1: Évolution de la teneur en SS

a) 2006



b) 2007

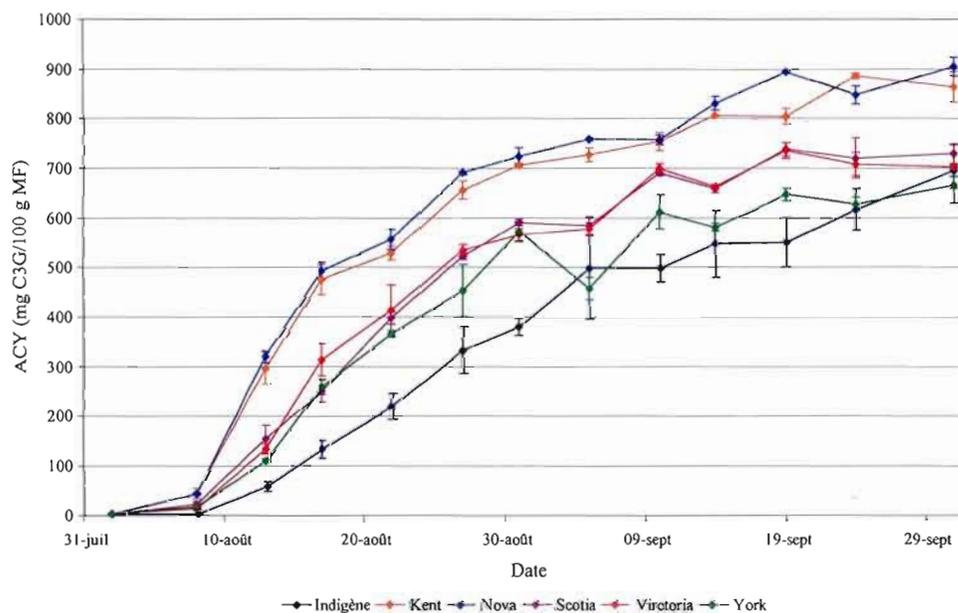
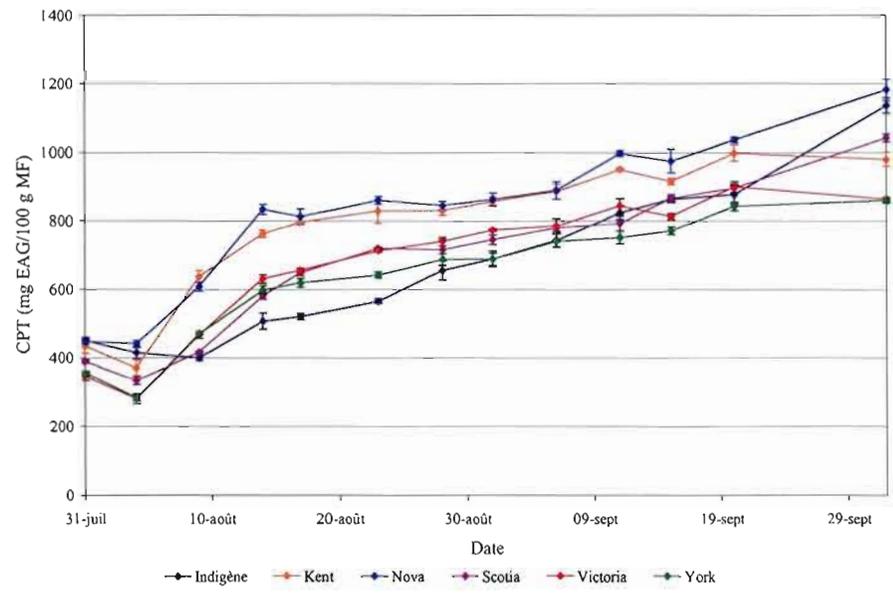


Figure A.2 : Évolution de la teneur en ACY

a) 2006



b) 2007

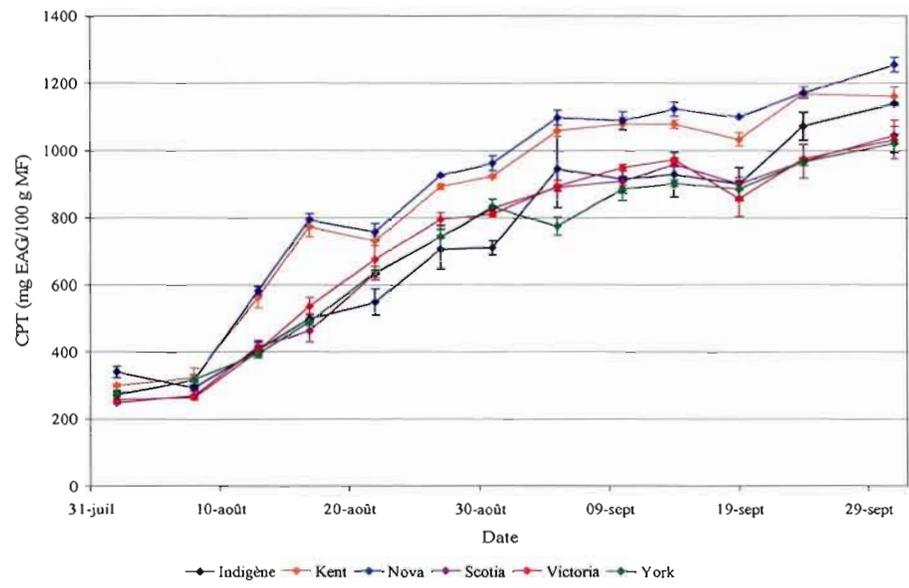
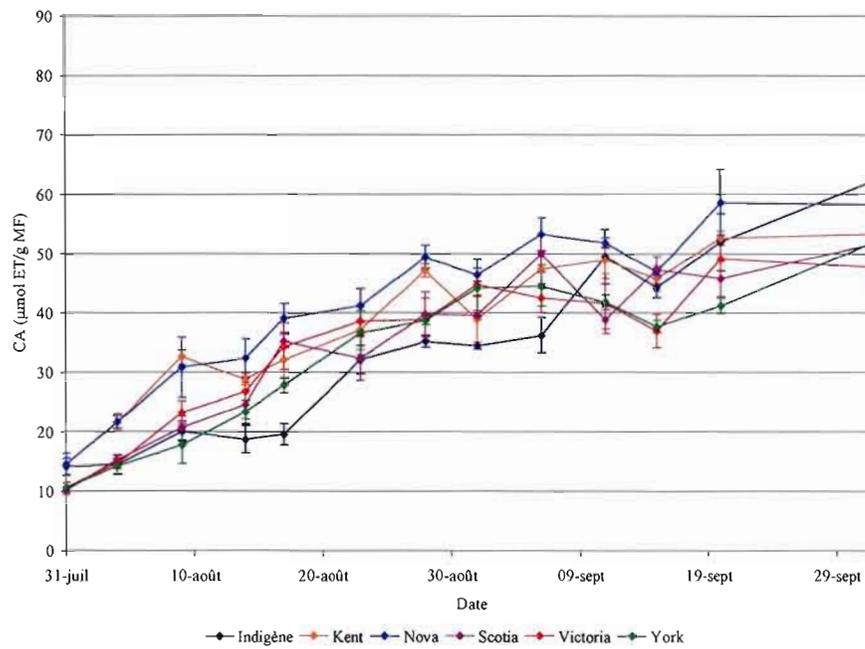


Figure A.3 : Évolution de la teneur en CPT

a) 2006



b) 2007

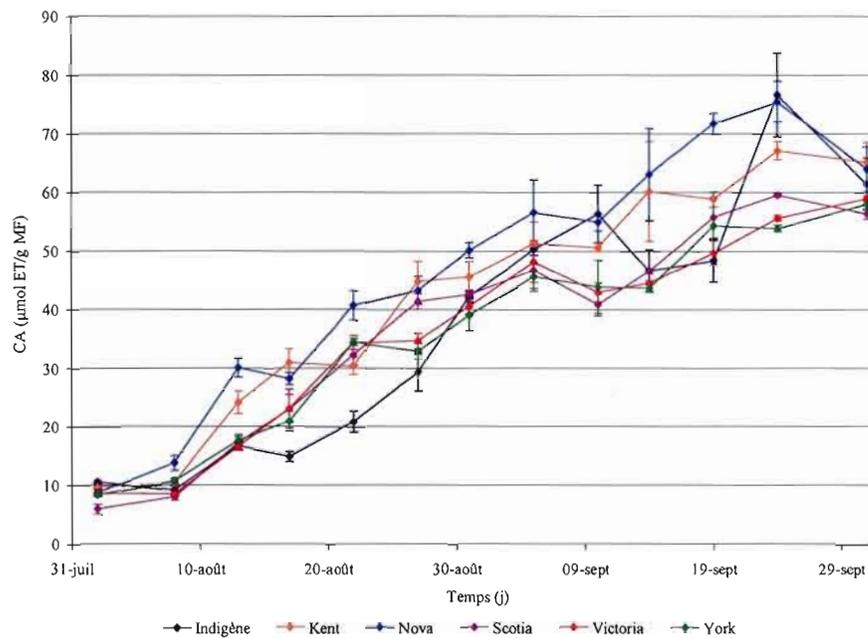


Figure A.4 : Évolution de la CA

ANNEXE B : Données phénologiques pour les cultivars étudiés

B.1 : Comparaison du début, du maximum et de la durée totale de chaque phase pour l'espèce indigène et les cultivars étudiés

Tableau B.1 : Date de début de la phase, de l'atteinte du maximum et durée de la phase A

|            | Début      |            | Maximum    |            | Durée (j)  |       |            |       |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------|------------|-------|
|            | 2006       | 2007       | 2006       | 2007       | 2006       | Tukey | 2007       | Tukey |
| Indigène   | 23<br>juin | 22<br>juin | 29<br>juin | 1<br>juil. | 13,1 ± 2,6 | A     | 16,9 ± 5,3 | A     |
| 'Kent'     | 21<br>juin | 20<br>juin | 26<br>juin | 28<br>juin | 9,6 ± 1,8  | B     | 16,4 ± 2,5 | B     |
| 'Nova'     | 21<br>juin | 20<br>juin | 26<br>juin | 28<br>juin | 11,5 ± 1,7 | AB    | 16,7 ± 1,3 | AB    |
| 'Scotia'   | 21<br>juin | 21<br>juin | 26<br>juin | 28<br>juin | 10,1 ± 1,8 | B     | 14,4 ± 3,4 | B     |
| 'Victoria' | 21<br>juin | 20<br>juin | 26<br>juin | 28<br>juin | 10,3 ± 1,0 | B     | 15,6 ± 0,9 | B     |
| 'York'     | 21<br>juin | 20<br>juin | 26<br>juin | 28<br>juin | 10,5 ± 0,9 | AB    | 16,2 ± 0,4 | AB    |

Tableau B.2 : Date de début de la phase, de l'atteinte du maximum et durée de la phase B

|            | Début   |         | Maximum |         | Durée (j)  |            | Tukey <sup>a</sup> |
|------------|---------|---------|---------|---------|------------|------------|--------------------|
|            | 2006    | 2007    | 2006    | 2007    | 2006       | 2007       |                    |
| Indigène   | 30 juin | 1 juil. | 8 juil. | 8 juil. | 25,4 ± 3,5 | 12,4 ± 4,3 | B                  |
| 'Kent'     | 28 juin | 28 juin | 4 juil. | 4 juil. | 28,4 ± 1,6 | 14,2 ± 1,6 | A                  |
| 'Nova'     | 28 juin | 28 juin | 6 juil. | 4 juil. | 28,1 ± 1,2 | 14,2 ± 1,6 | A                  |
| 'Scotia'   | 28 juin | 29 juin | 5 juil. | 5 juil. | 28,5 ± 1,4 | 13,6 ± 1,3 | A                  |
| 'Victoria' | 28 juin | 28 juin | 5 juil. | 5 juil. | 28,8 ± 0,7 | 14,7 ± 1,7 | A                  |
| 'York'     | 28 juin | 29 juin | 5 juil. | 5 juil. | 28,5 ± 0,9 | 14,1 ± 1,6 | A                  |

<sup>a</sup> : Le classement de Tukey est le même pour 2006 et 2007

Tableau B.3 : Date de début de la phase, de l'atteinte du maximum et durée de la phase C

|            | Début       |            | Maximum     |             | Durées (j) |       |            |       |
|------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|-------|------------|-------|
|            | 2006        | 2007       | 2006        | 2007        | 2006       | Tukey | 2007       | Tukey |
| Indigène   | 12<br>juil. | 8<br>juil. | 28<br>juil. | 18<br>juil. | 36,4 ± 5,5 | A     | 36,0 ± 8,3 | A     |
| 'Kent'     | 14<br>juil. | 5<br>juil. | 27<br>juil. | 15<br>juil. | 20,9 ± 4,8 | C     | 35,2 ± 5,2 | A     |
| 'Nova'     | 15<br>juil. | 5<br>juil. | 27<br>juil. | 15<br>juil. | 19,5 ± 1,8 | C     | 34,8 ± 3,3 | A     |
| 'Scotia'   | 14<br>juil. | 5<br>juil. | 28<br>juil. | 15<br>juil. | 23,9 ± 2,0 | BC    | 38,2 ± 2,5 | A     |
| 'Victoria' | 14<br>juil. | 5<br>juil. | 28<br>juil. | 16<br>juil. | 25,1 ± 2,0 | BC    | 37,7 ± 2,1 | A     |
| 'York'     | 13<br>juil. | 5<br>juil. | 28<br>juil. | 16<br>juil. | 28,1 ± 2,9 | B     | 39,0 ± 1,8 | A     |

Tableau B.4 : Date de début de la phase, de l'atteinte du maximum et durée de la phase D

|            | Début       |             | Maximums   |            | Durées (j)          |       |                     |       |
|------------|-------------|-------------|------------|------------|---------------------|-------|---------------------|-------|
|            | 2006        | 2007        | 2006       | 2007       | Nb de<br>jours 2006 | Tukey | Nb de<br>jours 2007 | Tukey |
| Indigène   | 1<br>août   | 4<br>août   | 19<br>août | 16<br>août | 36,1 ± 3,7          | A     | 20,5 ± 7,9          | C     |
| 'Kent'     | 29<br>juil. | 27<br>juil. | 6<br>août  | 8<br>août  | 22,6 ± 2,7          | C     | 22,8 ± 6,9          | C     |
| 'Nova'     | 28<br>juil. | 28<br>juil. | 5<br>août  | 6<br>août  | 22,3 ± 0,9          | C     | 24,0 ± 1,0          | C     |
| 'Scotia'   | 2<br>août   | 22<br>juil. | 10<br>août | 13<br>août | 23,3 ± 1,5          | C     | 32,0 ± 6,1          | AB    |
| 'Victoria' | 2<br>août   | 26<br>juil. | 11<br>août | 11<br>août | 22,5 ± 1,7          | C     | 26,7 ± 5,0          | BC    |
| 'York'     | 1<br>août   | 31<br>juil. | 11<br>août | 13<br>août | 27,8 ± 1,0          | BC    | 23,9 ± 2,1          | C     |

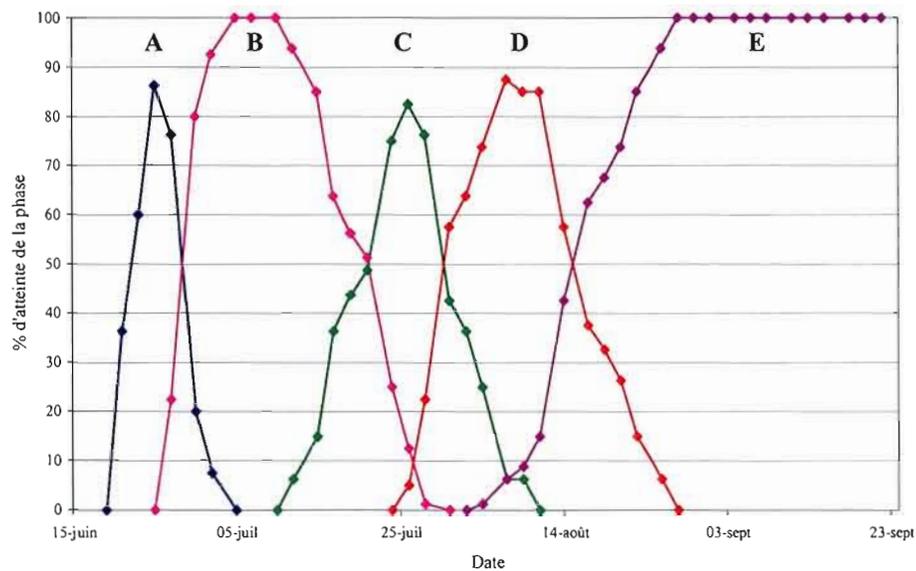
Tableau B.5 : Date de début de la phase, de l'atteinte du maximum et durée de la phase E

|            | Début   |         | Maximum |         | Durée (j)  |            | Tukey <sup>a</sup> |
|------------|---------|---------|---------|---------|------------|------------|--------------------|
|            | 2006    | 2007    | 2006    | 2007    | 2006       | 2007       |                    |
| Indigène   | 28 août | 16 août | 9 sept. | 1 sept. | 11,8 ± 3,1 | 11,0 ± 5,7 | AB                 |
| 'Kent'     | 13 août | 16 août | 23 août | 22 août | 9,4 ± 3,2  | 13,8 ± 2,5 | AB                 |
| 'Nova'     | 13 août | 9 août  | 23 août | 22 août | 12,4 ± 2,8 | 14,8 ± 2,6 | A                  |
| 'Scotia'   | 9 août  | 9 août  | 27 août | 25 août | 9,8 ± 1    | 11,4 ± 2,5 | AB                 |
| 'Victoria' | 17 août | 14 août | 27 août | 27 août | 9,1 ± 1,9  | 10,7 ± 1,1 | B                  |
| 'York'     | 18 août | 14 août | 31 août | 22 août | 10,8 ± 3,6 | 10,9 ± 1,7 | AB                 |

<sup>a</sup>: Le classement de Tukey est le même pour 2006 et 2007

## B.2 : Phases de maturation des fruits des cultivars non présentés au chapitre 2

a) 2006



b) 2007

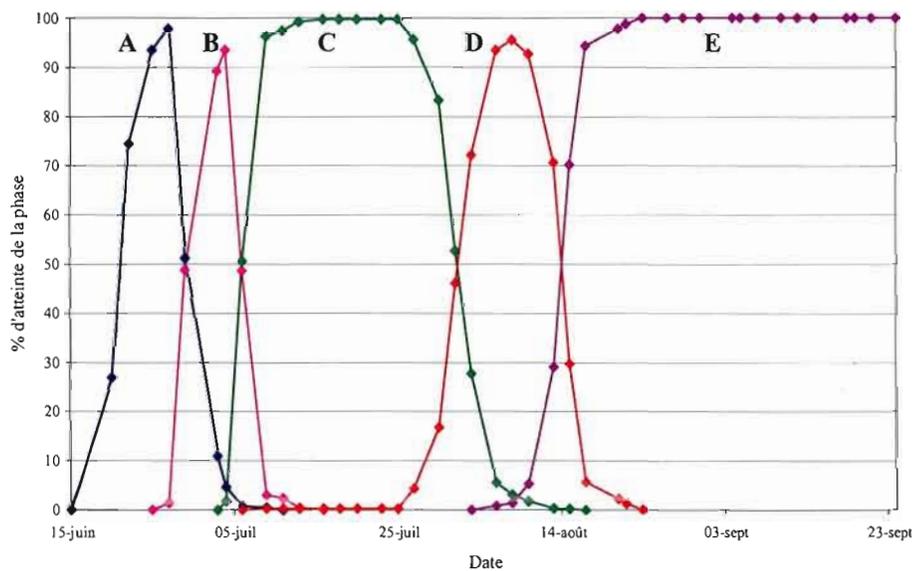
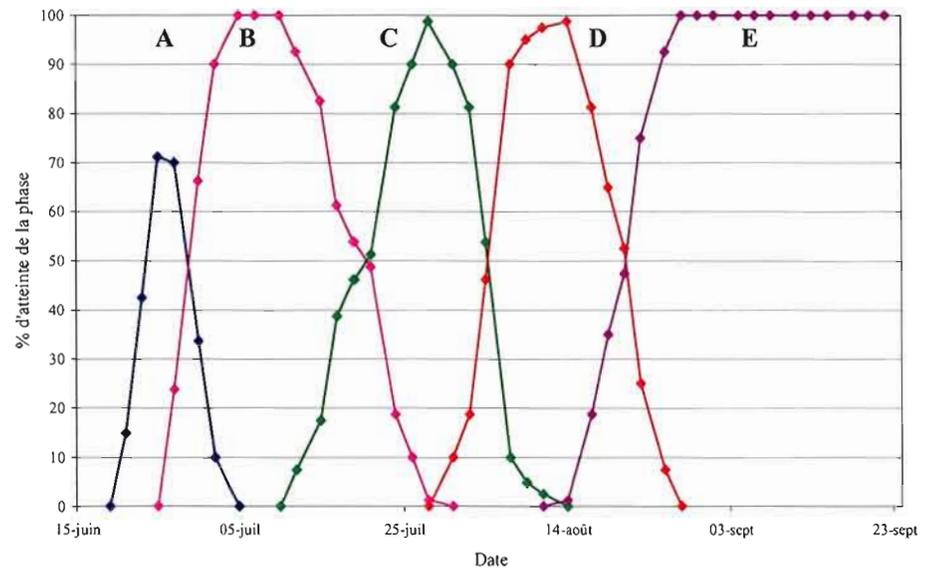


Figure B.1 : Phases de maturation des fruits du cultivar Kent

a) 2006



b) 2007

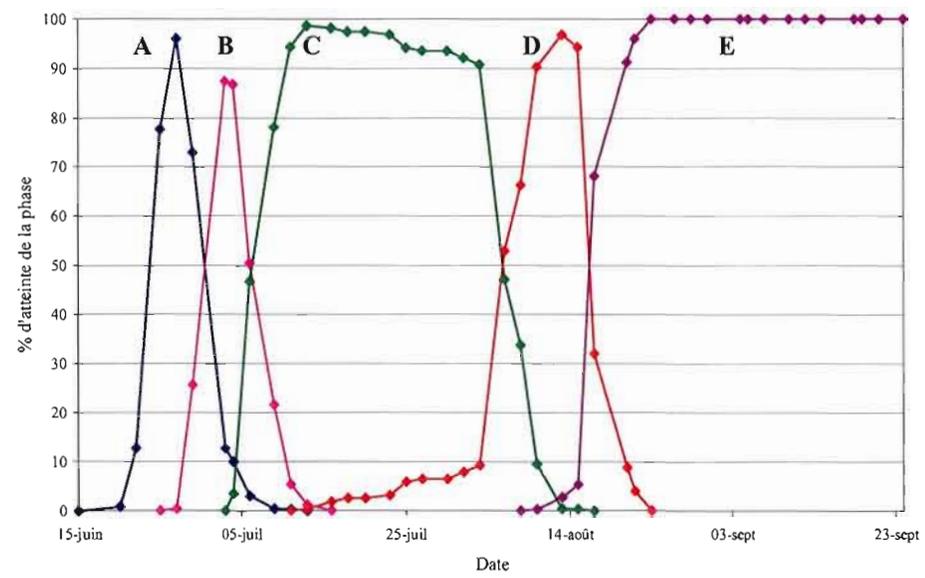
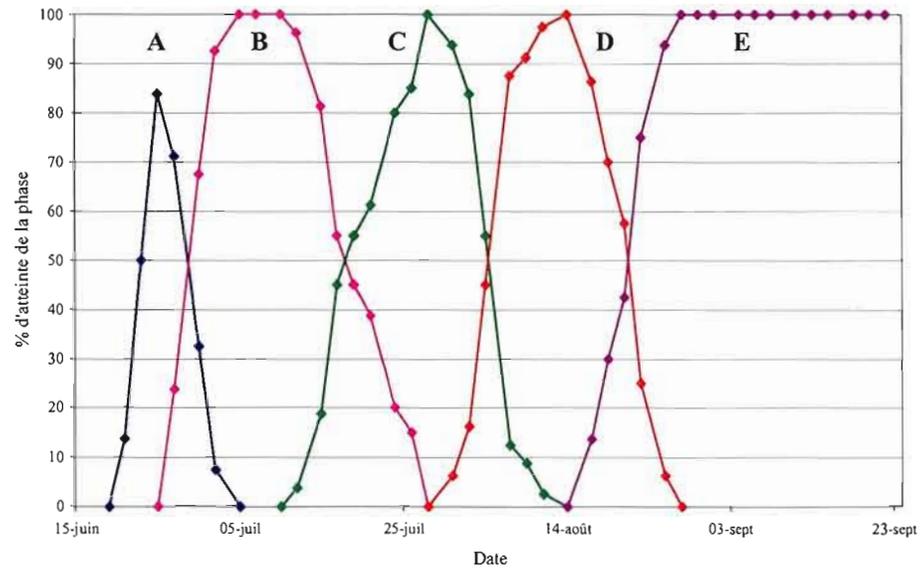


Figure B.2 : Phases de maturation des fruits du cultivar Scotia

a) 2006



b) 2007

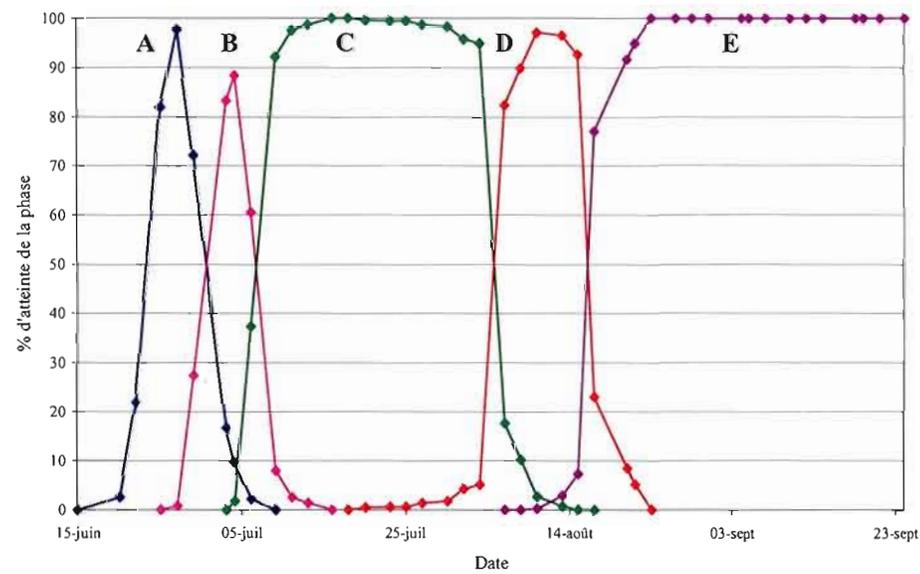
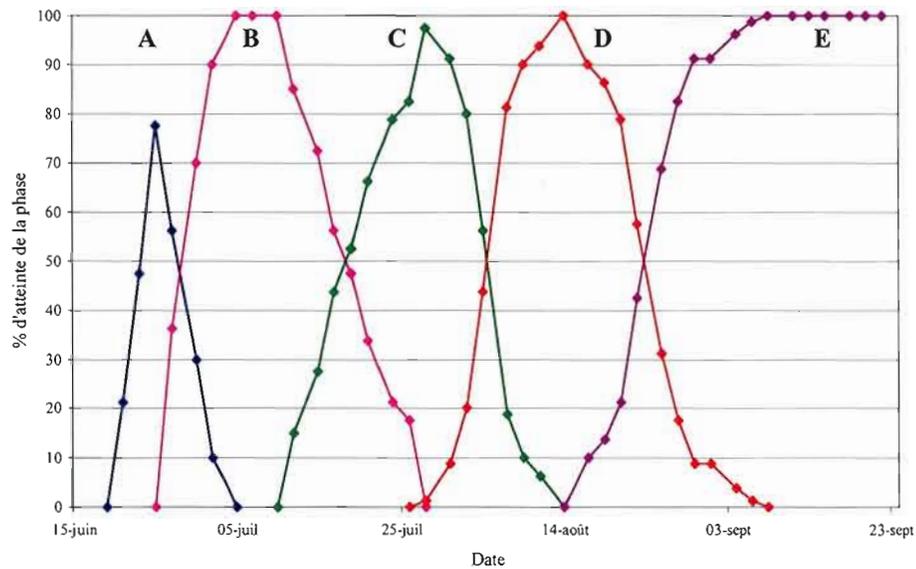


Figure B.3 : Phases de maturation des fruits du cultivar Victoria

a) 2006



b) 2007

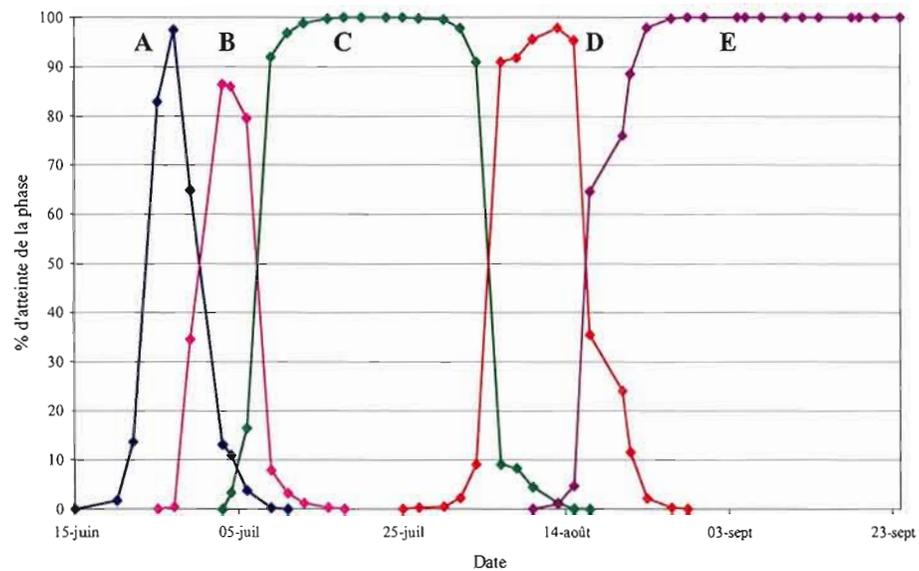
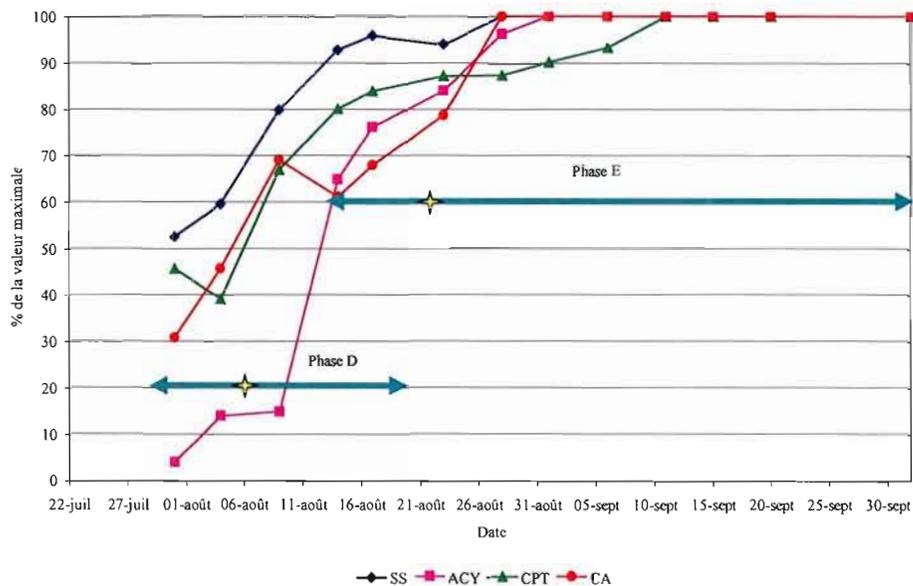


Figure B.4 : Phases de maturation des fruits du cultivar York

B.3 : Parallèle entre l'évolution des teneurs en SS, en ACY, en CPT et de la CA avec la maturation des fruits des cultivars non présentés dans le chapitre 2

a) 2006



b) 2007

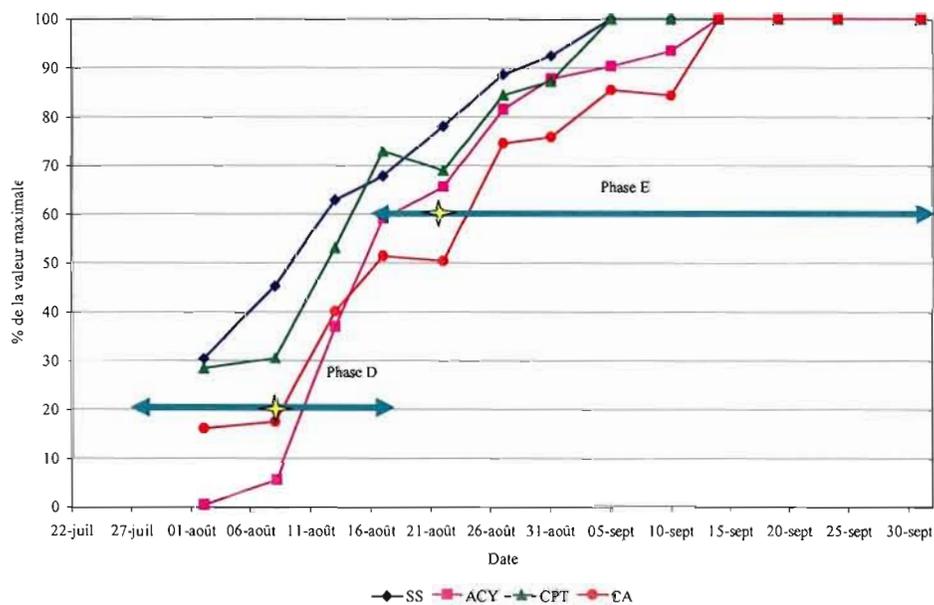
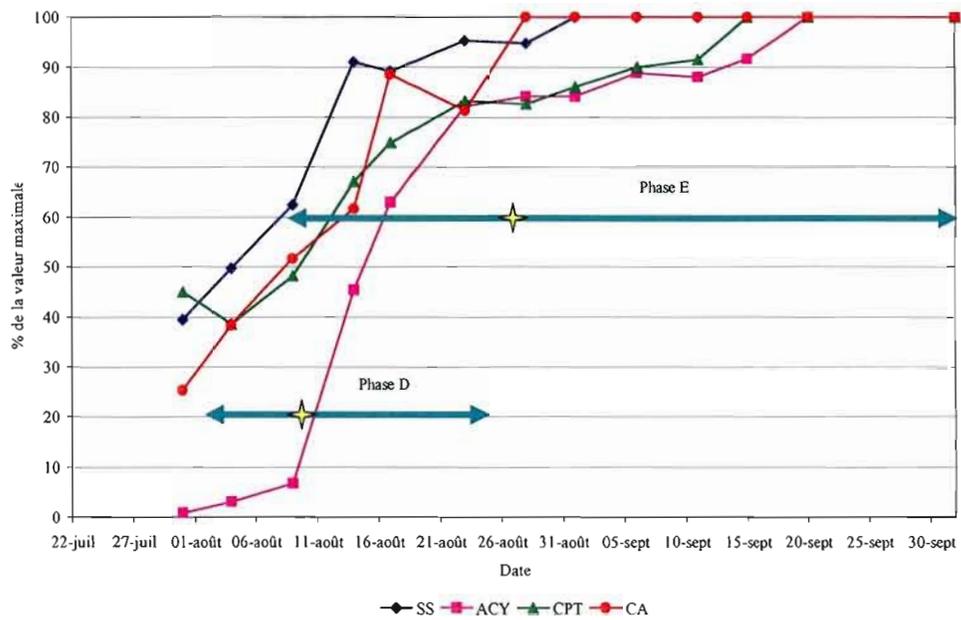


Figure B.5 : Évolution des teneurs en SS, en ACY, en CPT et de la CA, durée et atteinte des maxima pour les phases D et E chez le cultivar Kent

a) 2006



b) 2007

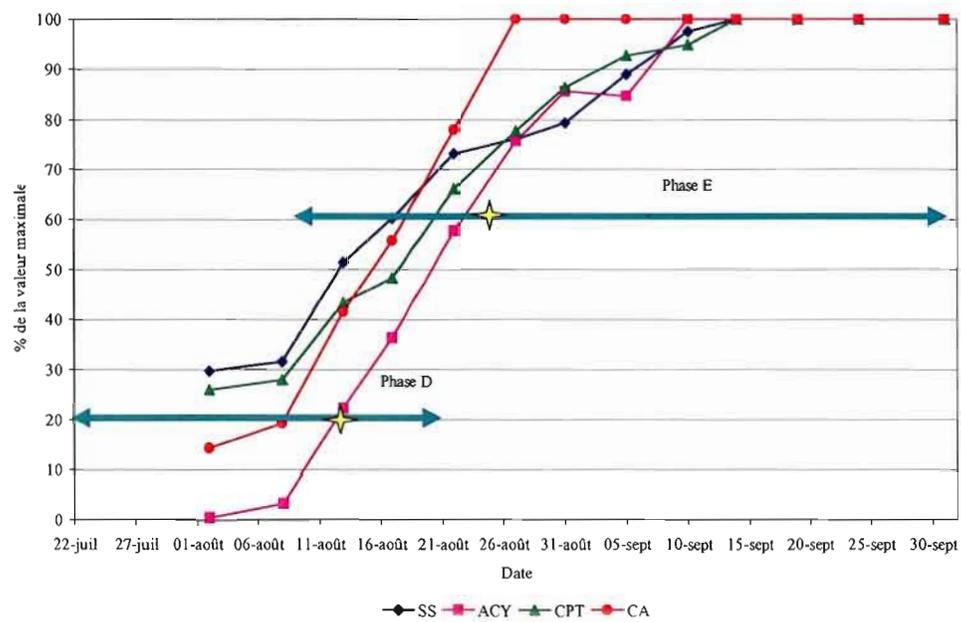
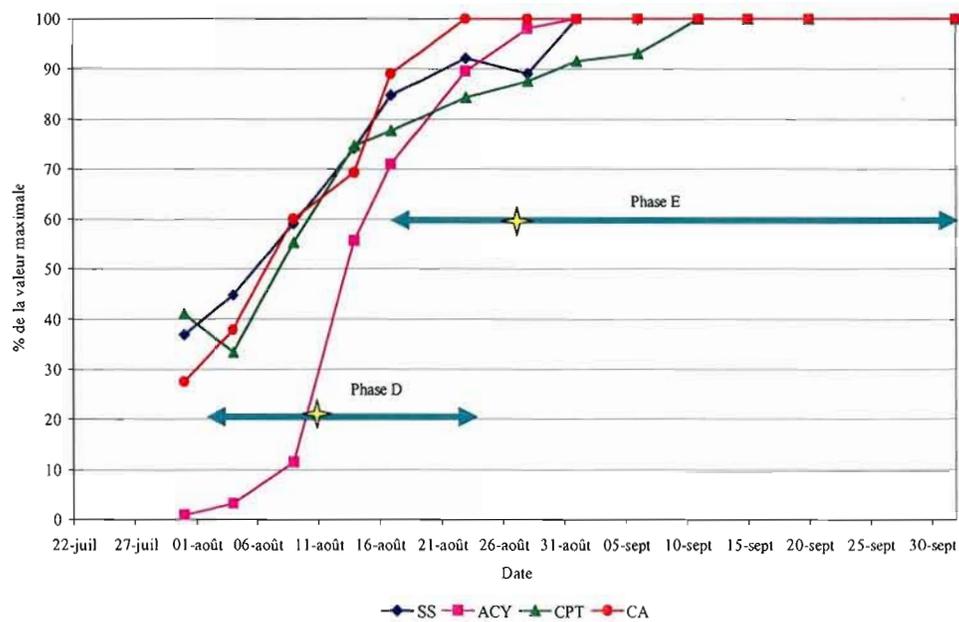


Figure B.6 : Évolution des teneurs en SS, en ACY, en CPT et de la CA, durée et atteinte des maxima pour les phases D et E chez le cultivar Scotia

a) 2006



b) 2007

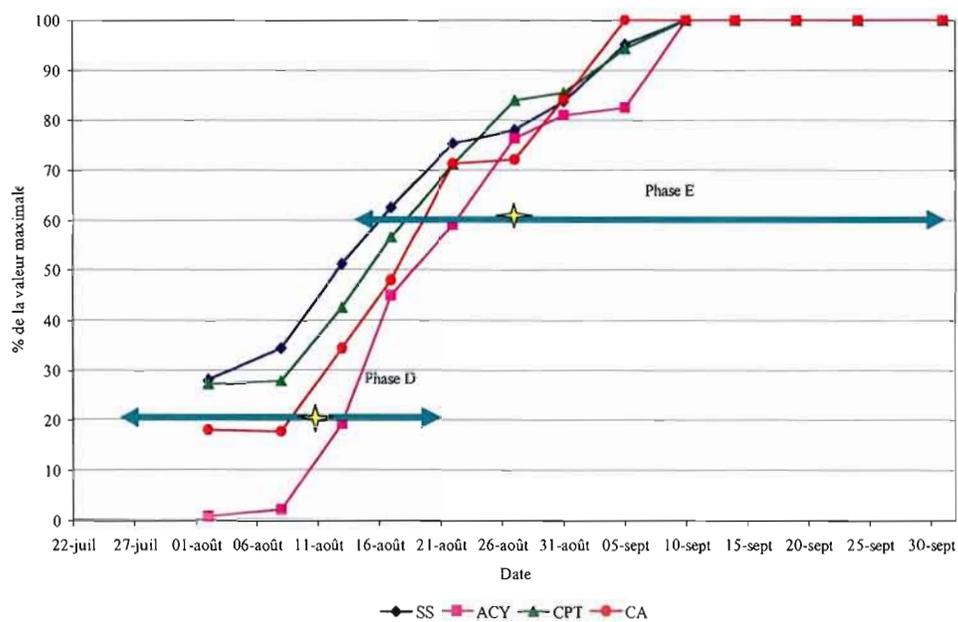
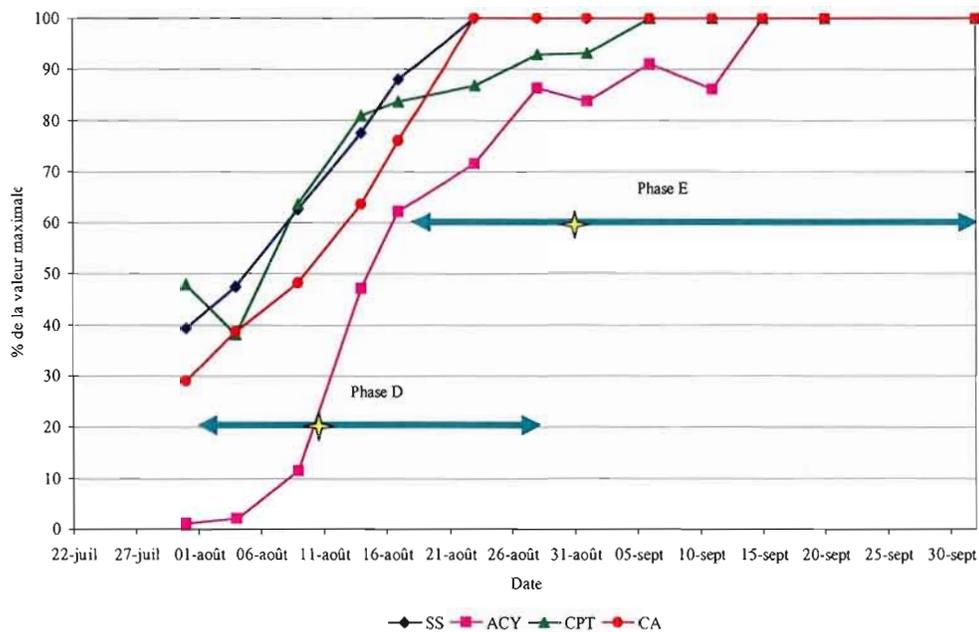


Figure B.7 : Évolution des teneurs en SS, en ACY, en CPT et de la CA, durée et atteinte des maxima pour les phases D et E chez le cultivar Victoria

a) 2006



b) 2007

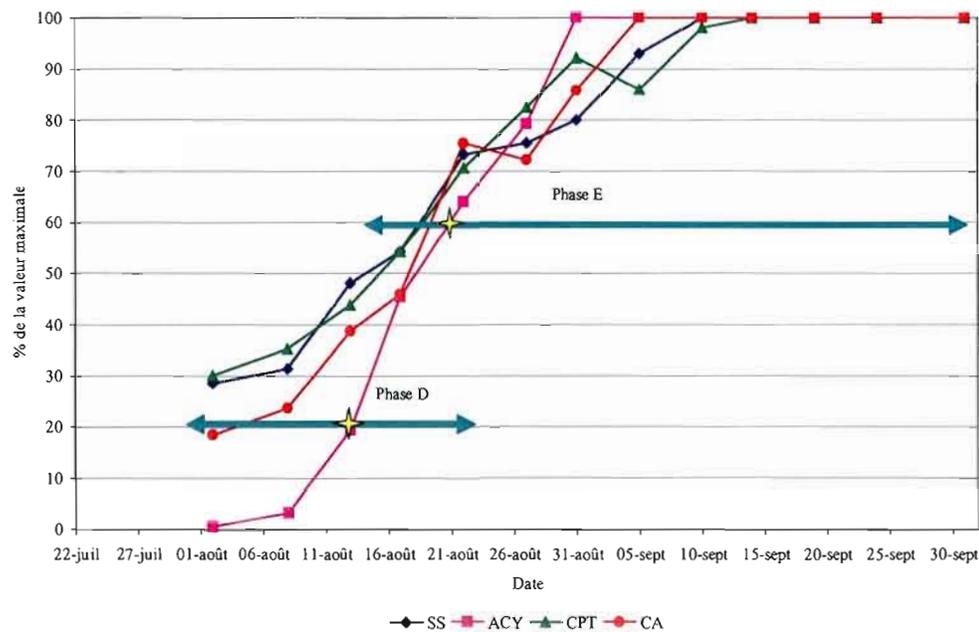


Figure B.8 : Évolution des teneurs en SS, en ACY, en CPT et de la CA, durée et atteinte des maxima pour les phases D et E chez le cultivar York

ANNEXE C : Paramètres non présentés dans les articles

C.1 : Comparaison des différents cultivars pour les paramètres non présentés dans les deux chapitres

Tableau C.1 : Date d'atteinte du volume maximal des fruits, volume moyen des fruits et classement de Tukey

|            | 2006                       |                           |       | 2007                       |                           |       |
|------------|----------------------------|---------------------------|-------|----------------------------|---------------------------|-------|
|            | Date d'atteinte du maximum | Volume (mm <sup>3</sup> ) | Tukey | Date d'atteinte du maximum | Volume (mm <sup>3</sup> ) | Tukey |
| Indigène   | 11 sept.                   | 115,0                     | E     | 22 août                    | 56,4                      | D     |
| 'Kent'     | 28 août                    | 163,2                     | A     | 27 août                    | 121,6                     | C     |
| 'Nova'     | 23 août                    | 154,7                     | B     | 27 août                    | 122,5                     | C     |
| 'Scotia'   | 23 août                    | 155,8                     | B     | 27 août                    | 125,6                     | C     |
| 'Victoria' | 1 sept.                    | 142,4                     | CD    | 27 août                    | 115,0                     | B     |
| 'York'     | 23 août                    | 148,0                     | C     | 31 août                    | 136,4                     | A     |

Tableau C.2 : Date d'atteinte de la MF maximale, MF moyenne des fruits et classement de Tukey

|            | 2006                       |         |       | 2007                       |         |       |
|------------|----------------------------|---------|-------|----------------------------|---------|-------|
|            | Date d'atteinte du maximum | MF (mg) | Tukey | Date d'atteinte du maximum | MF (mg) | Tukey |
| Indigène   | 28 août                    | 63,1    | D     | 22 août                    | 58,2    | E     |
| 'Kent'     | 23 août                    | 145,8   | ABC   | 31 août                    | 128,3   | BC    |
| 'Nova'     | 23 août                    | 137,6   | C     | 27 août                    | 123,5   | CD    |
| 'Scotia'   | 23 août                    | 146,6   | B     | 31 août                    | 133,0   | B     |
| 'Victoria' | 23 août                    | 152,5   | AB    | 27 août                    | 120,8   | D     |
| 'York'     | 23 août                    | 153,9   | A     | 31 août                    | 172,8   | A     |

Tableau C.3 : Date d'atteinte de la MS maximale, MS moyenne et des fruits et classement de Tukey

|            | 2006                       |         |       | 2007                       |         |       |
|------------|----------------------------|---------|-------|----------------------------|---------|-------|
|            | Date d'atteinte du maximum | MS (mg) | Tukey | Date d'atteinte du maximum | MS (mg) | Tukey |
| Indigène   | 6 sept.                    | 13,5    | C     | 5 sept.                    | 14,0    | D     |
| 'Kent'     | 6 sept.                    | 25,6    | B     | 5 sept.                    | 25,6    | BC    |
| 'Nova'     | 28 août                    | 24,9    | B     | 5 sept.                    | 24,9    | C     |
| 'Scotia'   | 28 août                    | 28,8    | A     | 5 sept.                    | 28,8    | A     |
| 'Victoria' | 6 sept.                    | 26,7    | A     | 5 sept.                    | 26,7    | B     |
| 'York'     | 23 août                    | 29,4    | A     | 10 sept                    | 30,0    | A     |

Tableau C.4 : Date d'atteinte de la teneur en eau maximale, teneur en eau moyenne des fruits et classement de Tukey

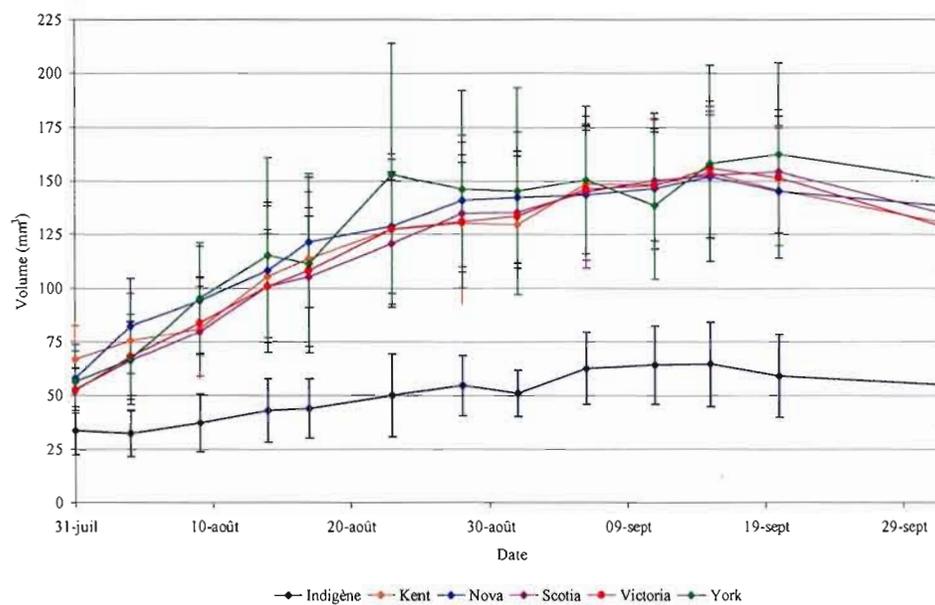
|            | 2006                       |                   |       | 2007                       |                   |       |
|------------|----------------------------|-------------------|-------|----------------------------|-------------------|-------|
|            | Date d'atteinte du maximum | Teneur en eau (%) | Tukey | Date d'atteinte du maximum | Teneur en eau (%) | Tukey |
| Indigène   | 23 août                    | 74,6              | E     | 22 août                    | 74,6              | E     |
| 'Kent'     | 17 août                    | 80,3              | B     | 17 août                    | 79,3              | A     |
| 'Nova'     | 23 août                    | 81,7              | A     | 17 août                    | 79,2              | A     |
| 'Scotia'   | 23 août                    | 79,2              | C     | 17 août                    | 76,7              | C     |
| 'Victoria' | 23 août                    | 78,2              | D     | 17 août                    | 75,7              | D     |
| 'York'     | 23 août                    | 79,4              | C     | 17 août                    | 77,7              | B     |

Tableau C.5 : Date d'atteinte de l'acidité maximale, acidité moyenne des fruits et classement de Tukey

|            | 2006                       |   |       | 2007                       |   |       |
|------------|----------------------------|---|-------|----------------------------|---|-------|
|            | Date d'atteinte du minimum | Acidité (mg eq. d'acide valérique / mL) | Tukey | Date d'atteinte du minimum | Acidité (mg eq. d'acide valérique / mL) | Tukey |
| Indigène   | 11 sept.                   | 5,9                                     | B     | 10 sept.                   | 6,8                                     | C     |
| 'Kent'     | 11 sept.                   | 6,6                                     | A     | 31 août                    | 8,2                                     | AB    |
| 'Nova'     | 11 sept.                   | 6,7                                     | A     | 10 sept.                   | 8,6                                     | A     |
| 'Scotia'   | 11 sept.                   | 6,5                                     | A     | 31 août                    | 8,0                                     | B     |
| 'Victoria' | 11 sept.                   | 6,8                                     | A     | 10 sept.                   | 8,2                                     | AB    |
| 'York'     | 11 sept.                   | 6,5                                     | A     | 10 sept.                   | 6,5                                     | B     |

## C.2 : Évolution des paramètres non présentés dans les deux chapitres

a) 2006



b) 2007

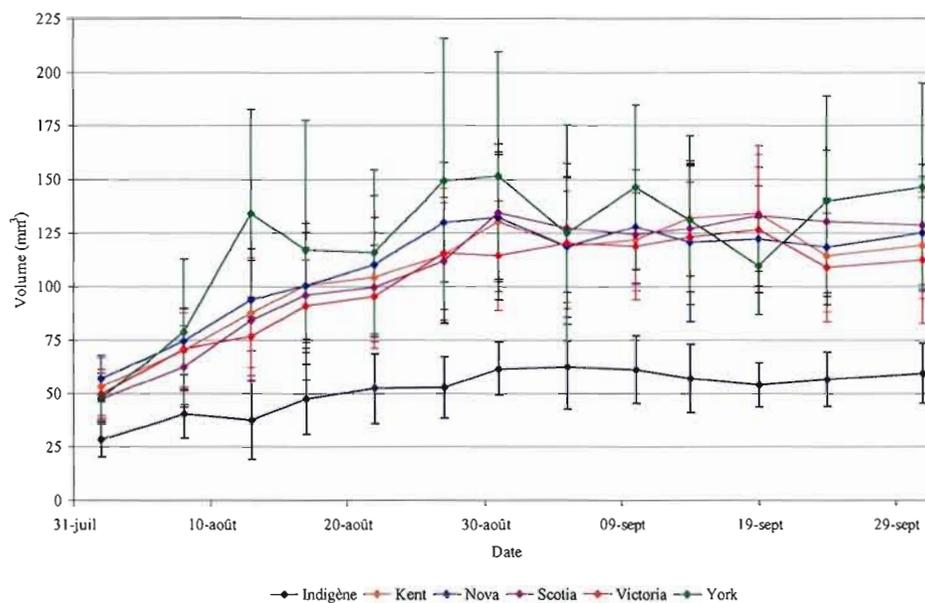
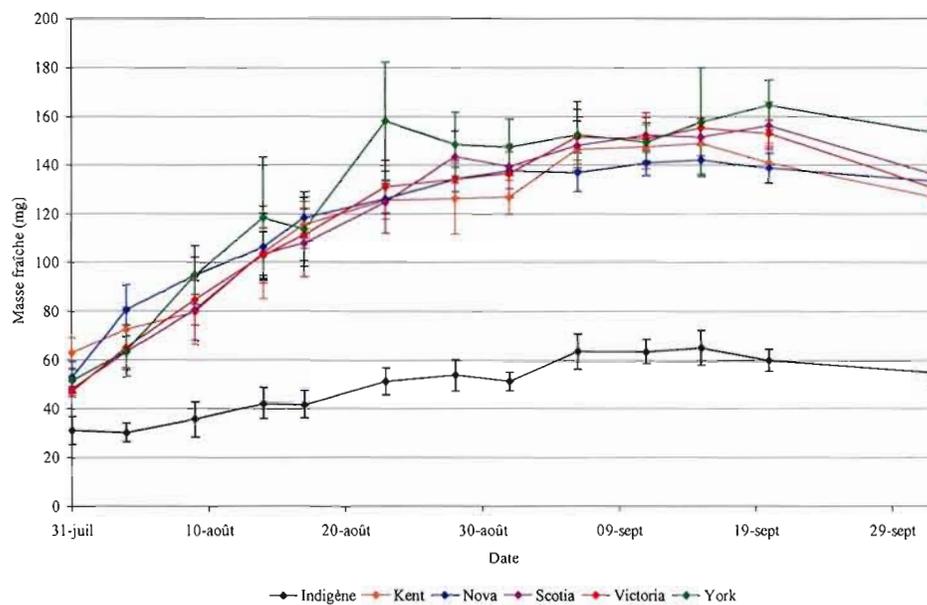


Figure C.1 : Évolution du volume moyen des fruits pour les cultivars étudiés

a) 2006



b) 2007

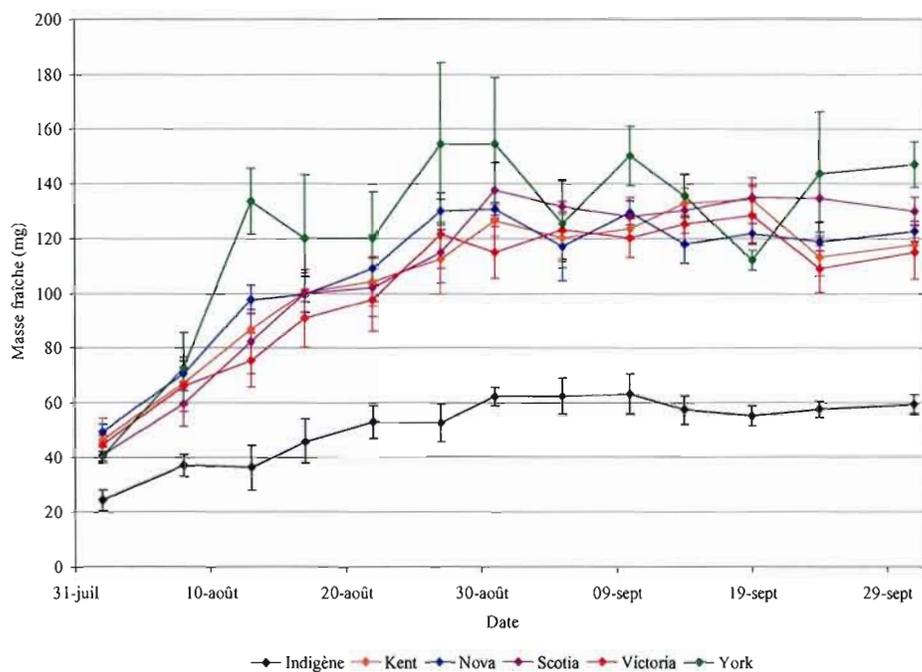
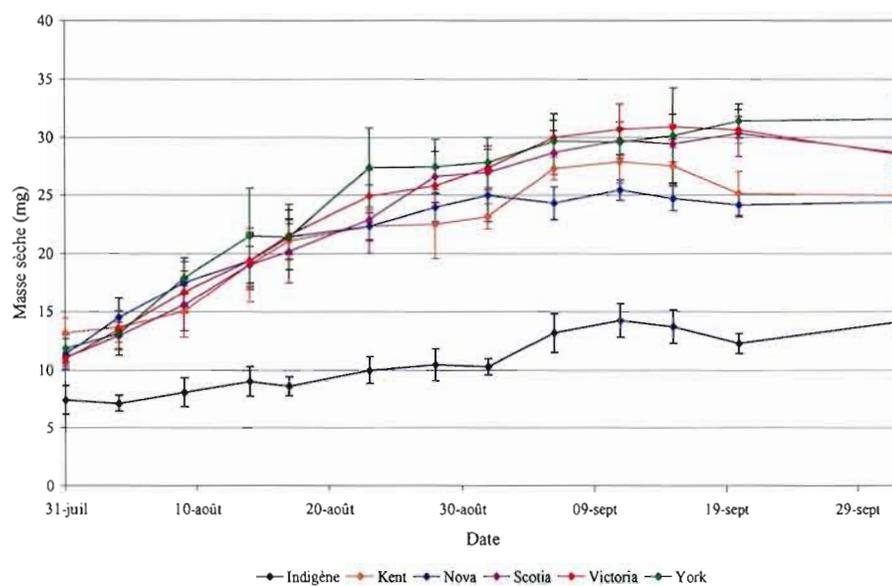


Figure C.2 : Évolution de la MF moyenne des fruits pour les cultivars étudiés  
a) 2006



b) 2007

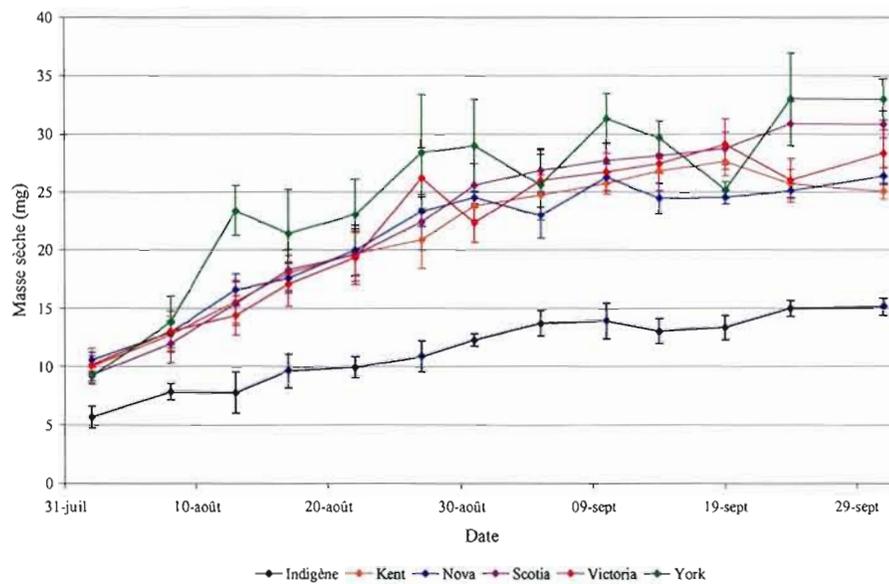
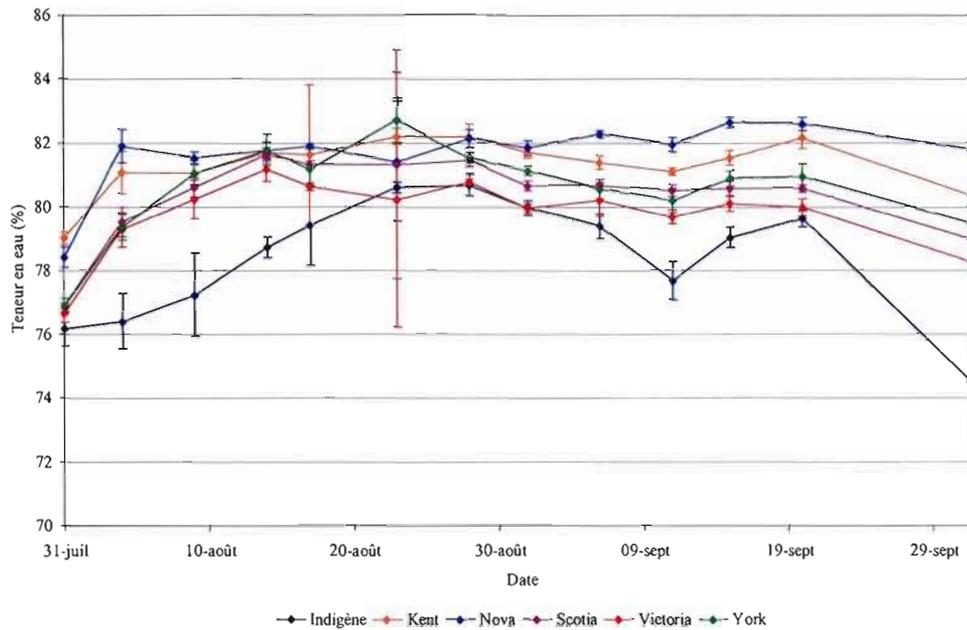


Figure C.3 : Évolution de la MS moyenne des fruits pour les cultivars étudiés

a) 2006



b) 2007

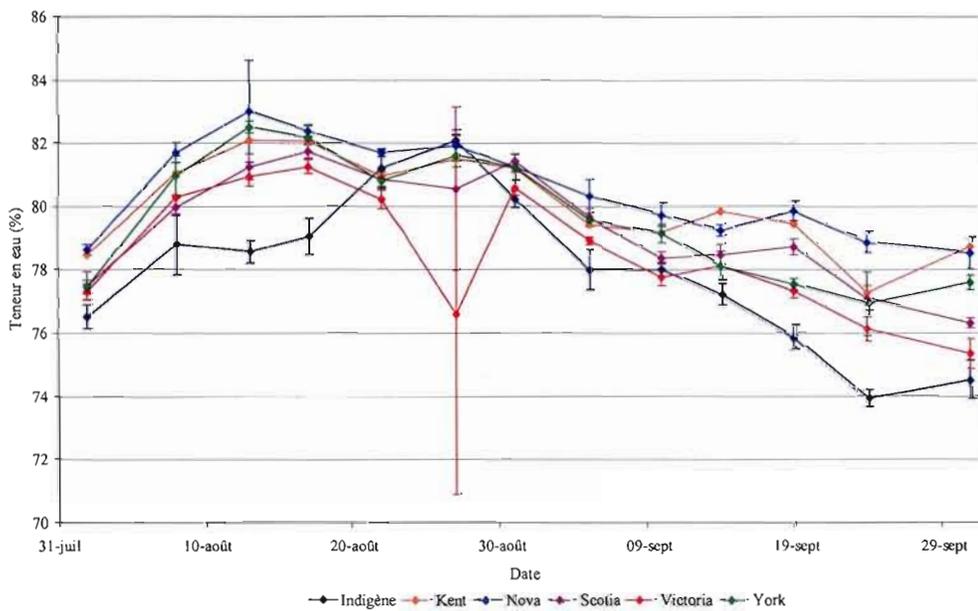
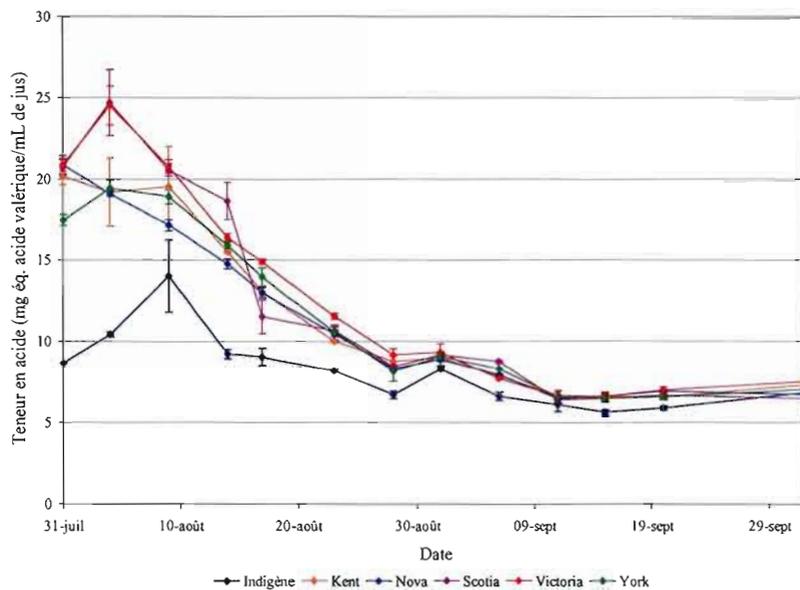


Figure C.4 : Évolution de la teneur en eau moyenne des fruits

a) 2006



b) 2007

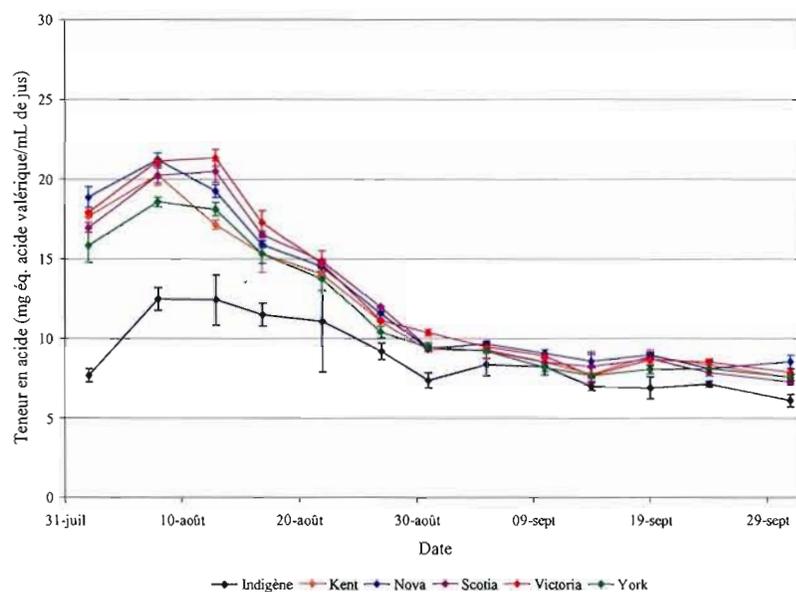
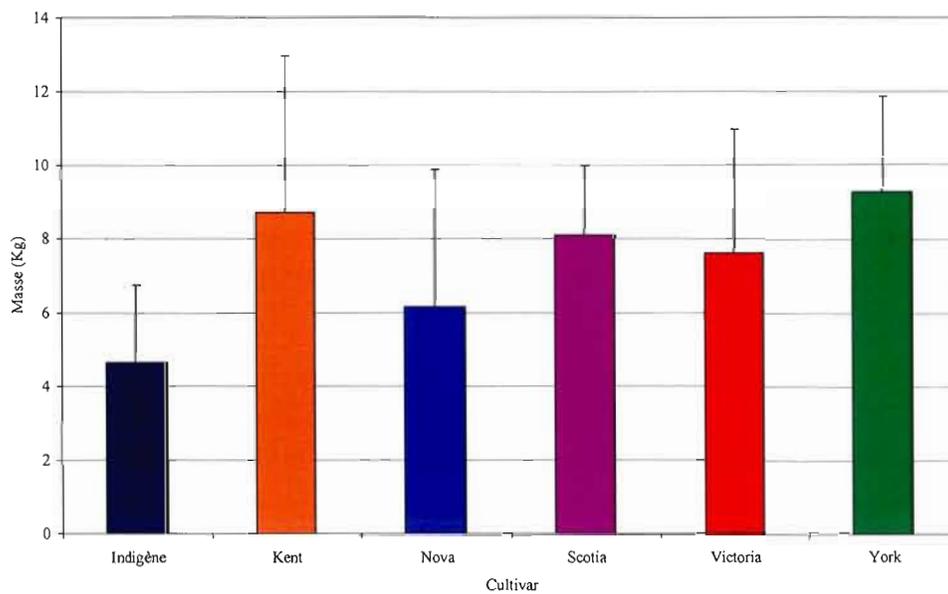


Figure C.5 : Évolution de la teneur en acide moyenne des fruits pour les cultivars étudiés

## C.3 : Données de productivités

a) 2006



b) 2007

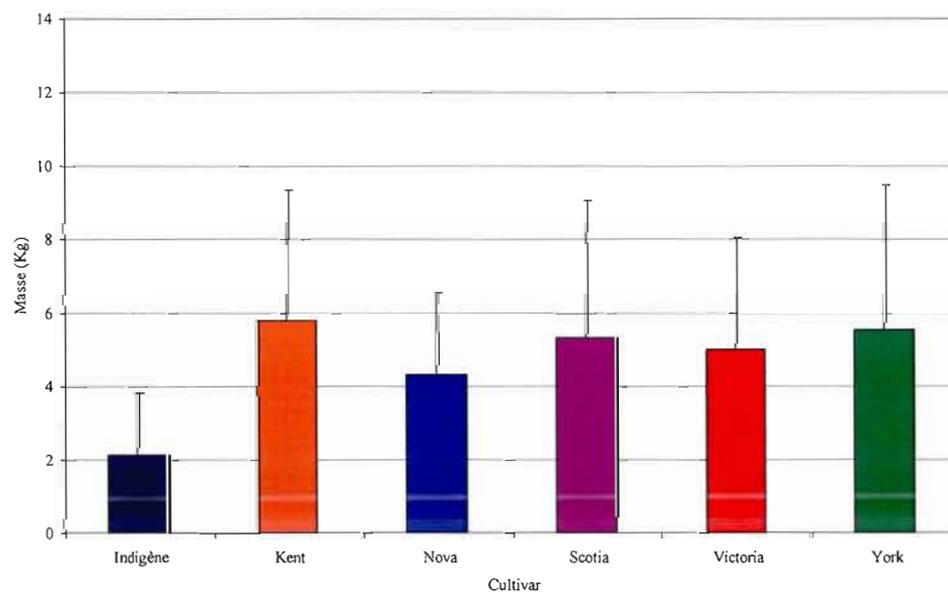


Figure C.6 : Productivité moyenne des cultivars étudiés

Tableau C.6 : Productivité moyenne des cultivars étudiés et classement de Tukey

|            | 2006              |       | 2007              |       |
|------------|-------------------|-------|-------------------|-------|
|            | Productivité (kg) | Tukey | Productivité (kg) | Tukey |
| Indigène   | 4,6               | D     | 2,1               | D     |
| 'Kent'     | 8,7               | ABC   | 5,8               | ABC   |
| 'Nova'     | 6,2               | C     | 4,3               | C     |
| 'Scotia'   | 8,1               | AB    | 5,3               | AB    |
| 'Victoria' | 7,6               | BC    | 5,0               | BC    |
| 'York'     | 9,3               | A     | 5,5               | A     |

C.4 : Force de corrélation entre les paramètres mesurés pour l'ensemble des cultivars étudiés et pour chaque cultivar pris un à un

Tableau C.7 : Corrélations entre les paramètres évalués, tous cultivars confondus

|         | Volume | Eau    | MF     | MS     | Acidité | SS     | ACY    | CPT    | CA     |
|---------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Volume  | 1,000  | 0,405  | 0,873  | 0,794  | -0,164  | 0,130  | 0,429  | 0,243  | 0,184  |
| Eau     | 0,405  | 1,000  | 0,374  | 0,082  | 0,392   | -0,669 | -0,286 | -0,440 | -0,491 |
| MF      | 0,873  | 0,374  | 1,000  | 0,946  | -0,075  | 0,222  | 0,375  | 0,140  | 0,119  |
| MS      | 0,794  | 0,082  | 0,946  | 1,000  | -0,185  | 0,473  | 0,494  | 0,283  | 0,272  |
| Acidité | -0,164 | 0,392  | -0,075 | -0,185 | 1,000   | -0,450 | -0,425 | -0,522 | -0,553 |
| SS      | 0,130  | -0,669 | 0,222  | 0,473  | -0,450  | 1,000  | 0,693  | 0,673  | 0,693  |
| ACY     | 0,429  | -0,286 | 0,375  | 0,494  | -0,425  | 0,693  | 1,000  | 0,916  | 0,820  |
| CPT     | 0,243  | -0,440 | 0,140  | 0,283  | -0,522  | 0,673  | 0,916  | 1,000  | 0,870  |
| CA      | 0,184  | -0,491 | 0,119  | 0,272  | -0,553  | 0,693  | 0,820  | 0,870  | 1,000  |

Tableau C.8 : Corrélations entre les paramètres évalués pour l'espèce indigène

|         | Volume | Eau    | MF     | MS     | Acidité | SS     | ACY    | CPT    | CA     |
|---------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Volume  | 1,000  | -0,116 | 0,273  | 0,263  | -0,513  | 0,131  | 0,402  | 0,388  | 0,357  |
| Eau     | -0,116 | 1,000  | -0,049 | -0,651 | 0,392   | -0,740 | -0,755 | -0,818 | -0,753 |
| MF      | 0,273  | -0,049 | 1,000  | 0,789  | -0,408  | 0,403  | 0,474  | 0,408  | 0,437  |
| MS      | 0,263  | -0,651 | 0,789  | 1,000  | -0,545  | 0,761  | 0,820  | 0,809  | 0,794  |
| Acidité | -0,513 | 0,392  | -0,408 | -0,545 | 1,000   | -0,419 | -0,665 | -0,571 | -0,614 |
| SS      | 0,131  | -0,740 | 0,403  | 0,761  | -0,419  | 1,000  | 0,857  | 0,869  | 0,849  |
| ACY     | 0,402  | -0,755 | 0,474  | 0,820  | -0,665  | 0,857  | 1,000  | 0,973  | 0,907  |
| CPT     | 0,388  | -0,818 | 0,408  | 0,809  | -0,571  | 0,869  | 0,973  | 1,000  | 0,915  |
| CA      | 0,357  | -0,753 | 0,437  | 0,794  | -0,614  | 0,849  | 0,907  | 0,915  | 1,000  |

Tableau C.9 : Corrélations entre les paramètres évalués pour le cultivar Kent

|         | Volume | Eau    | MF     | MS     | Acidité | SS     | ACY    | CPT    | CA     |
|---------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Volume  | 1,000  | 0,393  | 0,866  | 0,543  | -0,570  | -0,235 | -0,133 | -0,141 | -0,003 |
| Eau     | 0,393  | 1,000  | 0,155  | -0,424 | 0,344   | -0,861 | -0,853 | -0,868 | -0,778 |
| MF      | 0,866  | 0,155  | 1,000  | 0,819  | -0,721  | 0,033  | 0,159  | 0,112  | 0,258  |
| MS      | 0,543  | -0,424 | 0,819  | 1,000  | -0,833  | 0,531  | 0,635  | 0,591  | 0,677  |
| Acidité | -0,570 | 0,344  | -0,721 | -0,833 | 1,000   | -0,478 | -0,655 | -0,635 | -0,687 |
| SS      | -0,235 | -0,861 | 0,033  | 0,531  | -0,478  | 1,000  | 0,907  | 0,894  | 0,846  |
| ACY     | -0,133 | -0,853 | 0,159  | 0,635  | -0,655  | 0,907  | 1,000  | 0,941  | 0,916  |
| CPT     | -0,141 | -0,868 | 0,112  | 0,591  | -0,635  | 0,894  | 0,941  | 1,000  | 0,901  |
| CA      | -0,003 | -0,778 | 0,258  | 0,677  | -0,687  | 0,846  | 0,916  | 0,901  | 1,000  |

Tableau C.10 : Corrélations entre les paramètres évalués pour le cultivar Nova

|         | Volume | Eau    | MF     | MS     | Acidité | SS     | ACY    | CPT    | CA     |
|---------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Volume  | 1,000  | 0,532  | 0,822  | 0,397  | -0,529  | -0,327 | -0,254 | -0,148 | -0,064 |
| Eau     | 0,532  | 1,000  | 0,358  | -0,412 | 0,140   | -0,878 | -0,792 | -0,716 | -0,689 |
| MF      | 0,822  | 0,358  | 1,000  | 0,702  | -0,715  | -0,061 | 0,025  | 0,061  | 0,104  |
| MS      | 0,397  | -0,412 | 0,702  | 1,000  | -0,794  | 0,603  | 0,620  | 0,598  | 0,615  |
| Acidité | -0,529 | 0,140  | -0,715 | -0,794 | 1,000   | -0,407 | -0,543 | -0,606 | -0,638 |
| SS      | -0,327 | -0,878 | -0,061 | 0,603  | -0,407  | 1,000  | 0,898  | 0,820  | 0,812  |
| ACY     | -0,254 | -0,792 | 0,025  | 0,620  | -0,543  | 0,898  | 1,000  | 0,921  | 0,866  |
| CPT     | -0,148 | -0,716 | 0,061  | 0,598  | -0,606  | 0,820  | 0,921  | 1,000  | 0,822  |
| CA      | -0,064 | -0,689 | 0,104  | 0,615  | -0,638  | 0,812  | 0,866  | 0,822  | 1,000  |

Tableau C.11 : Corrélations entre les paramètres évalués pour le cultivar Scotia

|         | Volume | Eau    | MF     | MS     | Acidité | SS     | ACY    | CPT    | CA     |
|---------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Volume  | 1,000  | 0,096  | 0,857  | 0,627  | -0,779  | 0,168  | 0,318  | 0,372  | 0,331  |
| Eau     | 0,096  | 1,000  | -0,108 | -0,578 | 0,435   | -0,829 | -0,734 | -0,738 | -0,717 |
| MF      | 0,857  | -0,108 | 1,000  | 0,826  | -0,825  | 0,385  | 0,499  | 0,505  | 0,494  |
| MS      | 0,627  | -0,578 | 0,826  | 1,000  | -0,875  | 0,753  | 0,800  | 0,807  | 0,770  |
| Acidité | -0,779 | 0,435  | -0,825 | -0,875 | 1,000   | -0,638 | -0,766 | -0,807 | -0,713 |
| SS      | 0,168  | -0,829 | 0,385  | 0,753  | -0,638  | 1,000  | 0,896  | 0,815  | 0,809  |
| ACY     | 0,318  | -0,734 | 0,499  | 0,800  | -0,766  | 0,896  | 1,000  | 0,936  | 0,861  |
| CPT     | 0,372  | -0,738 | 0,505  | 0,807  | -0,807  | 0,815  | 0,936  | 1,000  | 0,848  |
| CA      | 0,331  | -0,717 | 0,494  | 0,770  | -0,713  | 0,809  | 0,861  | 0,848  | 1,000  |

Tableau C.12 : Corrélations entre les paramètres évalués pour le cultivar Victoria

|         | Volume | Eau    | MF     | MS     | Acidité | SS     | ACY    | CPT    | CA     |
|---------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Volume  | 1,000  | 0,036  | 0,856  | 0,777  | -0,757  | 0,177  | 0,417  | 0,328  | 0,253  |
| Eau     | 0,036  | 1,000  | 0,160  | -0,335 | 0,452   | -0,818 | -0,759 | -0,794 | -0,777 |
| MF      | 0,856  | 0,160  | 1,000  | 0,857  | -0,697  | 0,111  | 0,316  | 0,206  | 0,187  |
| MS      | 0,777  | -0,335 | 0,857  | 1,000  | -0,881  | 0,531  | 0,687  | 0,596  | 0,568  |
| Acidité | -0,757 | 0,452  | -0,697 | -0,881 | 1,000   | -0,631 | -0,821 | -0,772 | -0,680 |
| SS      | 0,177  | -0,818 | 0,111  | 0,531  | -0,631  | 1,000  | 0,870  | 0,863  | 0,802  |
| ACY     | 0,417  | -0,759 | 0,316  | 0,687  | -0,821  | 0,870  | 1,000  | 0,898  | 0,810  |
| CPT     | 0,328  | -0,794 | 0,206  | 0,596  | -0,772  | 0,863  | 0,898  | 1,000  | 0,835  |
| CA      | 0,253  | -0,777 | 0,187  | 0,568  | -0,680  | 0,802  | 0,810  | 0,835  | 1,000  |

Tableau C.13 : Corrélations entre les paramètres évalués pour le cultivar York

|         | Volume | Eau    | MF     | MS     | Acidité | SS     | ACY    | CPT    | CA     |
|---------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Volume  | 1,000  | 0,115  | 0,735  | 0,681  | -0,407  | 0,126  | 0,304  | 0,298  | 0,088  |
| Eau     | 0,115  | 1,000  | 0,371  | -0,295 | 0,464   | -0,854 | -0,747 | -0,817 | -0,768 |
| MF      | 0,735  | 0,371  | 1,000  | 0,774  | -0,394  | -0,022 | 0,159  | 0,119  | 0,001  |
| MS      | 0,681  | -0,295 | 0,774  | 1,000  | -0,701  | 0,545  | 0,652  | 0,667  | 0,509  |
| Acidité | -0,407 | 0,464  | -0,394 | -0,701 | 1,000   | -0,654 | -0,796 | -0,723 | -0,706 |
| SS      | 0,126  | -0,854 | -0,022 | 0,545  | -0,654  | 1,000  | 0,852  | 0,899  | 0,826  |
| ACY     | 0,304  | -0,747 | 0,159  | 0,652  | -0,796  | 0,852  | 1,000  | 0,949  | 0,827  |
| CPT     | 0,298  | -0,817 | 0,119  | 0,667  | -0,723  | 0,899  | 0,949  | 1,000  | 0,828  |
| CA      | 0,088  | -0,768 | 0,001  | 0,509  | -0,706  | 0,826  | 0,827  | 0,828  | 1,000  |

## LISTE DES RÉFÉRENCES

- Ames, B. N., Gold, L. S. et Willett, W. C. 1995. "The Causes and Prevention of Cancer". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 92: 5258-5265.
- Antolovich, M., Prenzler, P. D., Patsalides, E., McDonald, S. et Robards, K. 2002. "Methods for Testing Antioxidant Activity". *Analyst*, 127: 183-198.
- Atkinson, M. D. et Atkinson, E. 2002. "*Sambucus nigra* L.". *Journal of Ecology*, 90: 895-923.
- Bagchi, D., Roy, S., Patel, V., He, G., Khanna, S., Ojha, N., Phillips, C., Ghosh, S., Bagchi, M. et Sen, C. K. 2006. "Safety and Whole-Body Antioxidant Potential of a Novel Anthocyanin-Rich Formulation of Edible Berries". *Molecular and Cellular Biochemistry*, 281: 197-209.
- Barak, V., Halperin, T. et Kalickman, I. 2001. "The Effect of Sambucol, a Black Elderberry-Based, Natural Product, on the Production of Human Cytokines: I. Inflammatory Cytokines". *European Cytokine Network*, 12: 290-296.
- Barak, V., Birkenfeld, S., Halperin, T. et Kalickman, I. 2002. "The Effect of Herbal Remedies on the Production of Human Inflammatory and Anti-Inflammatory Cytokines". *Israel Medical Association Journal*, 4: 919-922.
- Beattie, J., Crozier, A. et Duthie, G. G. 2005. "Potential Health Benefits of Berries". *Current Nutrition & Food Science*, 1: 71-86.
- Bell, D. R. et Gochenaur, K. 2006. "Direct Vasoactive and Vasoprotective Properties of Anthocyanin-Rich Extracts". *Journal of Applied Physiology*, 100: 1164-1170.
- Bermúdez-Soto, M. J. et Tomás-Barberán, F. A. 2004. "Evaluation of Commercial Red Fruit Juice Concentrates as Ingredients for Antioxidant Functional Juices". *European Food Research and Technology*, 219: 133-141.
- Bitsch, R., Netzel, M., Sonntag, S., Strass, G., Frank, T. et Bitsch, I. 2004. "Urinary Excretion of Cyanidin Glucosides and Glucuronides in Healthy Humans after Elderberry Juice Ingestion". *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 5: 343-345.
- Bogs, J., Ebadi, A., McDavid, D. et Robinson, S. P. 2006. "Identification of the Flavonoid Hydroxylases from Grapevine and Their Regulation During Fruit Development". *Plant Physiology*, 140: 279-291.

- Bolli, R. 1994. "Revision of the Genus *Sambucus*". *Dissertationes Botanicae*, 223: 1-256.
- Boyles, M. J. et Wrolstad, R. E. 1993. "Anthocyanin Composition of Red Raspberry Juice: Influences of Cultivar, Processing and Environmental Factors". *Journal of Food Science*, 58: 1135-1141.
- Braga, F. G., Carvalho, L. M., Carvalho, M. J., Guedes-Pinto, H., Torres-Pereira, J. M., Neto, M. F. et Monteiro, A. 2002. "Variation of the Anthocyanin Content in *Sambucus nigra* L. Populations Growing in Portugal". p. 289-295 Dans, *Breeding Research on Aromatic and Medical Plants*. 9. Haworth Herbal Press. New York.
- Brennan, T. et Frenkel, C. 1977. "Involvement of Hydrogen Peroxide in the Regulation of Senescence in Pear". *Plant Physiology*, 59: 411-416.
- Cao, G. et Prior, R. L. 1999. "Anthocyanins Are Detected in Human Plasma after Oral Administration of an Elderberry Extract". *Clinical Chemistry*, 45: 574-576.
- Cao, G., Alessio, H. M. et Cutler, R. 1993. "Oxygen-Radical Absorbance Capacity Assay for Antioxidants". *Free Radical Biology and Medicine*, 14: 303-311.
- Cao, G., Sofic, E. et Prior, R. 1996. "Antioxidant Capacity of Tea and Common Vegetables". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44: 3426-3431.
- Cao, G., Muccitelli, H. U., Sancher-Moreno, C. et Prior, R. L. 2001. "Anthocyanins Are Absorbed in Glycated Forms in Elderly Women : A Pharmacokinetic Study ". *American Society for Clinical Nutrition*, 73: 920-926.
- Connor, A. M., Finn, C. E., Hancock, J. F. et Luby, J. J. 2002. "Genotypic and Environmental Variation in Antioxidant Activity among Blueberry Cultivars". *Acta Horticulturae*, 574: 209-213.
- Coombe, B. G. 1976. "The Development of Fleshy Fruits". *Annual Review of Plant Physiology*, 27: 507-528.
- Craig, D. L. 1978. *Elderberry Culture in Eastern Canada*. Publication 1280. Information Services, Agriculture Canada.
- Deighton, N., Brennan, R., Finn, C. et Davies, H. V. 2000. "Antioxidant Properties of Domesticated and Wild *Rubus* Species". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80: 1307-1313.

- Downey, M., Harvey, J. S. et Robinson, S. P. 2003. "Analysis of Tannins in Seeds and Skins of Shiraz Grapes Throughout Berry Development". *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 9: 15-27.
- Ehlenfeldt, M. et Prior, R. L. 2001. "Oxygen Radical Absorbance Capacity (Orac) and Phenolic and Anthocyanin Concentrations in Fruit and Leaf Tissues of Highbush Blueberry". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 2222-2227.
- Elisia, I., Hu, C., Popovich, D. G. et Kitts, D. D. 2007. "Antioxidant Assessment of an Anthocyanin-Enriched Blackberry Extract". *Food Chemistry*, 101: 1052-1058.
- Folin, O. et Ciocalteu, V. 1927. "On Tyrosine and Tryptophane Determination in Proteins". *Journal of Biological Chemistry*, 73: 627-250.
- Fossen, T., Cabrita, L. et Andersen, O. M. 1998. "Colour and Stability of Pure Anthocyanins Influenced by Ph Including the Alkaline Region". *Food Chemistry*, 63: 435-440.
- Frank, T., Netzel, M., Strass, G., Bitsch, R. et Bitsch, I. 2003. "Bioavailability of Anthocyanidin-3-Glucosides Following Consumption of Red Wine and Red Grape Juice". *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 81: 423-435.
- Frank, T., Janßen, M., Netzel, G., Christian, B., Bitsch, I. et Netzel, M. 2007. "Absorption and Excretion of Elderberry (*Sambucus nigra* L.) Anthocyanins in Healthy Humans". *Methods and Findings in Experimental Clinical Pharmacology*, 29: 525-533.
- Frankel, E. N. et Meyer, A. S. 2000. "The Problems of Using One-Dimensional Methods to Evaluate Multifunctional Food and Biological Antioxidants (Review)". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80: 1925-1941.
- Galletta, G. J. et Himelrick, D. G. 1990. "The Small Fruit Crops". p. 1-13 Dans, *Small Fruit Crop Management*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, NJ.
- Galli, R. L., Shukitt-Hate, B., Youdim, K. A. et Joseph, J. A. 2002. "Fruit Polyphenolics and Brain Aging". *Annals of the New York Academy of Sciences*, 959: 128-132.
- Gao, X., Ohlander, M., Jeppson, N., Björk, L. et Trajkovski, V. 2000. "Changes in Antioxidant Effects and Their Relationship to Phytonutrients in Fruits of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) During Maturation". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48: 1485-1490.

- Ghedira, K. 2005. "Les Flavonoïdes: Structure, Propriétés Biologiques, Rôle Prophylactique Et Emplois En Thérapeutique". *Phytothérapie*: 162-169.
- Gray, A. M., Abdel-Wahab, Y. H. A. et Flatt, P. R. 2000. "The Traditional Plant Treatment, *Sambucus nigra* (Elder), Exhibits Insulin-Like and Insulin-Releasing Actions *in-vitro*". *Journal of Nutrition*, 130: 15-20.
- Grime, J. P., Hodgson, J. G. et Hunt, R. 1988. "Comparative Plant Ecology: A Functional Approach to Common British Species". Unwin-Hyman. London, UK. p. 742.
- Guilmette, M., Richer, C., Rioux, J. A. et Charlebois, C. 2007. "Impact D'un Apport Supplémentaire De Pollen Sur La Mise À Fruit De *Sambucus nigra* Subsp. *canadensis* (L.) R. Bolli". *Canadian Journal of Plant Science*, 87: 531-536.
- Häkkinen, S. H. et Törrönen, A. R. 2000. "Content of Flavonols and Selected Phenolic Acids in Strawberries and *Vaccinium* Species: Influence of Cultivar, Cultivation Site and Technique". *Food Research International*, 33: 517-524.
- Halliwell, B., Rafter, J. et Jenner, A. 2005. "Health Promotion by Flavonoids, Tocopherols, Tocotrienols, and Other Phénols: Direct or Indirect Effects? Antioxidant or Not?". *American Journal of Clinical Nutrition*, 81: 268s-276s.
- Halvorsen, B. L., Holte, K., Myhrstad, M. C. W., Barikmo, I., Hvattum, E., Remberg, S. F., Wold, A.-B., Haffner, K., Baugerod, H., Andersen, L. F., Moskaug, J. Ø., Jacobs, D. R., Jr. et Blomhoff, R. 2002. "A Systematic Screening of Total Antioxidants in Dietary Plants". *Journal of Nutrition*, 132: 461-471.
- Harborne, J. B. et Sherratt, H. S. A. 1961. "Plant Polyphenols". *Biochemistry Journal*, 78: 298-306.
- Heim, K. E., Tagliaferro, A. R. et Bobilya, D. J. 2002. "Flavonoid Antioxidant: Chemistry, Metabolism and Structure-Activity Relationships". *Journal of Nutritional Biochemistry*, 13: 572-584.
- Hodges, D. M. et Kalt, W. 2003. "Health Functionality of Small Fruit". *Acta Horticulturae*, 626: 17-23.
- Hollman, P. C. H. et Katan, M. B. 1999. "Dietary Flavonoids: Intake, Health Effects and Bioavailability". *Food and Chemical Toxicology*, 37: 937-942.

Howard, L. R., Clark, J. R. et Brownmiller, C. 2003. "Antioxidant Capacity and Phenolic Content in Blueberries as Affected by Genotype and Growing Season". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83: 1238-1247.

Huang, D., Ou, B., Hampsch-Woodill, M., Flanagan, J. A. et Deemer, E. K. 2002. "Development and Validation of Oxygen Radical Absorbance Capacity Assay for Lipophilic Antioxidants Using Randomly Methylated Beta-Cyclodextrin as the Solubility Enhancer". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 1815-18-21.

Hukkanen, A., Anttonen, M., Kokko, H., Kärenlampi, S. et Karjalainen, R. 2003. "Variation in Flavonol Content among Berry Cultivars Grown under Northern Conditions". *Acta Horticulturae*, 626: 45-50.

Inami, O., Tamura, I., Kikuzaki, H. et Nakatani, N. 1996. "Stability of Anthocyanins of *Sambucus canadensis* and *Sambucus nigra*". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44: 3090-3096.

Johansen, O.-P., Andersen, O. M., Nerdal, W. et Aksnes, D. W. 1991. "Cyanidin 3-[6-(P-Coumaroyl)-2(Xylosyl)-Glucoside]-5-Glucoside and Other Anthocyanins from Fruits of *Sambucus canadensis*". *Phytochemistry*, 30: 4137-4141.

Jones, G. V. et Davis, R. E. 2000. "Climate Influences on Grapevine Phenology, Grape Composition and Wine Production and Quality for Bordeaux, France". *American Journal of Enology and Viticulture*, 51: 249-261.

Jordheim, M., Harald Giske, N. et Andersen, Ø. M. 2007. "Anthocyanins in Caprifoliaceae". *Biochemical Systematics and Ecology*, 35: 153-159.

Joseph, J. A., Shukitt-Hale, B. et Casadesus, G. 2005. "Reversing the Deleterious Effects of Aging on Neuronal Communication and Behavior: Beneficial Properties of Fruit Polyphenolic Compounds". *American Journal of Clinical Nutrition*, 81: 313s-316s.

Kaack, K. 1989. "New Varieties of Elderberry (*Sambucus nigra* L.)". *Tidsskrift for Planteavl / Danish Journal of Plant and Soil Science*, 93: 59-65.

Kaack, K. 1997. "'Sampo' and 'Samdal': Elderberry Cultivars for Juice Concentrates". *Fruit Varieties Journal*, 51: 28-31.

Kähkönen, M. P., Hopia, A. I. et Heinonen, M. 2001. "Berry Phenolics and Their Antioxidant Activity". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 4076-4082.

- Kalousis, N. K., Cullum, J. et Wainwright, H. 2005. "Identifying Harvest Maturity Indices for Five Cultivars of Gooseberry (*Ribes uva-crispa*) Fruit". *Small Fruits Review*, 4: 33-41.
- Kalt, W., Ryan, D. A. J., Duy, J. C., Prior, R. L., Ehlenfeldt, M. K. et Vander Kloet, S. P. 2001. "Interspecific Variation in Anthocyanins, Phenolics, and Antioxidant Capacity among Genotypes of Highbush and Lowbush Blueberries (*Vaccinium* Section *Cyanococcus* Spp.)". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 4761-4767.
- Karakaya, S. 2004. "Bioavailability of Phenolic Compounds". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44: 453-464.
- Karakaya, S., El, S. N. et Taş, A. A. 2001. "Antioxidant Activity of Some Foods Containing Phenolic Compounds". *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 52: 501-508.
- Keller, M. et Hrazdina, G. 1998. "Interaction of Nitrogen Availability During Bloom and Light Intensity During Veraison. II. Effects on Anthocyanin and Phenolic Development During Grape Ripening". *American Journal of Enology and Viticulture*, 49: 341-349.
- Kennedy, J. A., Hayasaka, Y., Vidal, S., Waters, E. J. et Jones, G. P. 2001. "Composition of Grape Skin Proanthocyanidins at Different Stages of Berry Development". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 5348-5355.
- Koike, S., Kasai, S., Yamazaki, K. et Furubuyashi, K. 2008. "Fruit Phenology of *Prunus jamasakura* and the Feeding Habit of the Asiatic Black Bear as a Seed Disperser". *Ecological Research*, 23: 385-392.
- Konlee, M. 1998. "An Extract from Elder Berries, Used in Combination With a Common Treatment for Arthritis (Glucosamine and Chondroitin Sulfate), Inhibits HIV and Other Lipid Envelope Viruses.". *Positive Health News*, Fall: 1-29.
- Lee, J. et Finn, C. E. 2007. "Anthocyanins and Other Polyphenolics in American Elderberry (*Sambucus canadensis*) and European Elderberry (*S. nigra*) Cultivars". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87: 2665-2675.
- Lee, K.-G., Shibamoto, T., Takeoka, G. R., Lee, S.-E., Kim, J.-H. et Park, B.-S. 2003. "Inhibitory Effects of Plant-Derived Flavonoids and Phenolic Acids on Malonaldehyde Formation from Ethyl Arachidonate". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 7203-7207.

- Li, X., Baskin, J. M. et Baskin, C. C. 1999. "Comparative Morphology and Physiology of Fruit and Seed Development in the Two Shrubs *Rhus aromatica* and *Rhus glabra* (Anacardiaceae)". *American Journal of Botany*, 86: 1217-1225.
- Macheix, J.-J., Fleuriet, A. et Billot, J. 1990. "Fruit Phenolics". CRC Press. New York. p. 378.
- Manach, C., Williamson, G., Morand, C., Scalbert, A. et Rémésy, C. 2005. "Bioavailability and Bioefficacy of Polyphenols in Humans. 1. Review of 97 Bioavailability Studies". *American Journal of Clinical Nutrition*, 81: 230s-242s
- Marc, F., Davin, A., Deglène-Benbrahim, L., Ferrand, C., Baccaunaud, M. et Fritsch, P. 2004. "Méthodes D'évaluation Du Potentiel Antioxydant Dans Les Aliments". *Medecine/Sciences*. 20: 458-463.
- Martin, C. O. et Mott, S. P. 1997. American Elder (*Sambucus canadensis*); Section 7.5.7. Tech. Rep. EL-97-14. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg, MS
- Mayr, U., Michalek, S., Treutter, D. et Feucht, W. 1997. "Phenolic Coumpounds of Apple and Their Relationship to Scab Resistance". *Journal of Phytopathology*, 145: 69-75.
- Meier, U. 2001. "Growth Stages of Mono-and Dicotyledonous Plants". 2001. Federal Biological Research Center for Agriculture and Forestry. p. 158.
- Miller, N. J., Rice-Evans, C., Davies, M. J., Gopinathan, V. et Milner, A. 1993. "A Novel Method for Measuring Antioxidant Capacity and Its Application to Monitoring the Antioxidant Status in Premature Neonates". *Clinical Science*, 84: 407-412.
- Miyazawa, T., Nakagawa, K., Kudo, M., Muraishi, K. et Someya, K. 1999. "Direct Intestinal Absorption of Red Fruit Anthocyanins, Cyanidin-3-Glucoside and Cyanidin-3,5-Diglucoside, into Rats and Humans". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47: 1083-1091.
- Morton, L. W., Caccetta, R. A.-A., Puddey, I. B. et Croft, K. D. 2000. "Chemistry and Biological Effects of Dietary Phenolic Compounds: Relevance to Cardiovascular Disease ". *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 27: 152-159.

- Moyer, R. A., Hummer, K. E., Finn, C. E., Frei, B. et Wrolstad, R. E. 2002. "Anthocyanins, Phenolics, and Antioxidant Capacity in Diverse Small Fruits: *Vaccinium*, *Rubus*, and *Ribes*". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 519-525.
- Mozetič, B., Trebše, P. et Hribar, J. 2002. "Determination and Quantitation of Anthocyanins and Hydroxycinnamic Acids in Different Cultivars of Sweet Cherries (*Prunus avium* L.) from Nova Gorica Region (Slovenia)". *Food Technology and Biotechnology*, 40: 207-212.
- Mülleder, U., Murkovic, M. et Pfannhauser, W. 2002. "Urinary Excretion of Cyanidin Glycosides". *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, 53: 61-66.
- Murkovic, M., Mülleder, U., Adam, U. et Pfannhauser, W. 2001. "Detection of Anthocyanins from Elderberry Juice in Human Urine". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81: 934-937.
- Murkovic, M., Abuja, P. M., Bergmann, A. R., Zirngast, A., Adam, U., Winklhofer-Roob, B. M. et Toplak, H. 2004. "Effects of Elderberry Juice on Fasting and Postprandial Serum Lipids and Low-Density Lipoprotein Oxidation in Healthy Volunteers : A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Study". *European Journal of Clinical Nutrition*, 58: 244-249.
- Nakatani, N., Kikuzaki, H., Hikida, J., Ohba, M., Inami, O. et Tamura, I. 1995. "Acylated Anthocyanins from Fruits of *Sambucus canadensis*". *Phytochemistry*, 38: 755-757.
- Novelli, S. 2003. *Faits Nouveaux Dans La Production Et L'utilisation Des Petits Fruits*. 16. Agriculture et Agroalimentaire Canada.
- Ou, B., Hampsch-Woodill, M. et Prior, R. L. 2001. "Development and Validation of an Improved Oxygen Radical Absorbance Capacity Assay Using Fluorescein as the Fluorescent Probe". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 4619-4626.
- Pelayo-Zaldivar, C., Ebeler, S. E. et Kader, A. A. 2005. "Cultivar and Harvest Date Effects on Flavor and Other Quality Attributes of California Strawberries ". *Journal of Food Quality*, 28: 78-97.
- Pellegrini, N., Re, R., Yang, M. et Rice-Evans, C. 1999. "Screening of Dietary Carotenoids and Carotenoid-Rich Fruit Extracts for Antioxidant Activities Appliyin 2,2'-Azinobis(3-Ethylenebenzothiazoline-6-Sulfonic Acid Radical Cation Decolorization Assay)". *Methods in Enzymology*, 299: 379-389.

- Pellegrini, N., Del Rio, D., Colombi, B., Bianchi, M. et Brighenti, F. 2003a. "Application of the 2,2'-Azinobis(3-Ethylbenzothiazoline-6-Sulfonic Acid) Radical Cation Assay to Flow Injection System for the Evaluation of Antioxidant Activity of Some Pure Compounds and Beverages". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 260-264.
- Pellegrini, N., Serafini, M., Colombi, B., Del Rio, D., Salvatore, S., Bianchi, M. et Brighenti, F. 2003b. "Total Antioxidant Capacity of Plant Foods, Beverages and Oils Consumed in Italy Assessed by Three Different in Vitro Assays". *Journal of Nutrition*, 133: 2812-2819.
- Pellegrini, N., Colombi, B., Salvatore, S., Brenna, O. V., Galaverna, G., Del Rio, D., Bianchi, M., Bennett, R. N. et Brighenti, F. 2007. "Evaluation of Antioxidant Capacity of Some Fruit and Vegetable Foods: Efficiency of Extraction of a Sequence Solvents". *Journal of Science of Food and Agriculture*, 87: 103-111.
- Pietta, P.-G. 2000. "Flavonoids as Antioxidants ". *Journal of Natural Products* 63: 1035-1042.
- Pirie, A. J. G. et Mullins, M. G. 1980. "Concentration of Phenolics in the Skin of Grape Berries During Fruit Development and Ripening". *American Journal of Enology and Viticulture*, 31: 34-36.
- Prior, R. L. 1998. "Antioxidant Capacity and Health Benefits of Fruits and Vegetables: Blueberries, the Leader of the Pack ". p.
- Prior, R. L. 2003. "Fruits and Vegetables in the Prevention of Cellular Oxidative Damage". *American Journal of Clinical Nutrition*, 78: 570-578.
- Prior, R. L., Wu, X. et Schaich, K. 2005. "Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 4290-4302.
- Prior, R. L., Cao, G., Martin, A., Sofic, E., McEwen, J., O'Brien, C., Lischner, N., Ehlenfeldt, M., Kalt, W., Krewer, G. et Mainland, C. M. 1998. "Antioxidant Capacity as Influenced by Total Phenolic and Anthocyanin Content, Maturity, and Variety of *Vaccinium* Species". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 2686-2693.
- Puupponen-Pimiä, R., Nohynek, L., Hartmann-Schmidlin, S., Kähkönen, M., Heinonen, M., Määttä-Riihinen, K. et Oksman-Caldentey, K.-M. 2005. "Berry Phenolics Selectively Inhibit the Growth of Intestinal Pathogens". *Journal of Applied Microbiology*, 98: 991-1000.

- Rapisarda, P., Fanella, F. et Maccarone, E. 2000. "Reliability of Analytical Methods for Determining Anthocyanins in Blood Orange Juices". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48: 2249-2252.
- Rathcke, B. et Lacey, E. P. 1985. "Phenological Patterns of Terrestrial Plants". *Annual Review of Ecological Systematics*, 16: 179-214.
- Rekika, D., Khanizadeh, S., Deschênes, M., Levasseur, A., Charles, M. T., Tsao, R. et Yang, R. 2005. "Antioxidant Capacity and Phenolic Content of Selected Strawberry Genotypes". *HortScience*, 40: 1777-1781.
- Rogiers, S. Y., Kumar, M. et Knowles, R. 1998. "Maturation and Ripening of Fruit of *Amelanchier alnifolia* Nutt. Are Accompanied by Increasing Oxidative Stress". *Annals of Botany*, 81: 203-211.
- Roper, T. R., Mahr, D. L. et McManus, P. S. 1998. "Growing Currants, Gooseberries & Elderberries in Wisconsin". University of Wisconsin-Extension, Cooperative Extension Publishing. p. 9.
- Rupasinghe, H. P. V. et Clegg, S. 2007. "Total Antioxidant Capacity, Total Phenolic Content, Mineral Elements, and Histamine Concentrations in Wines of Different Fruit Sources". *Journal of Food Composition and Analysis*, 20: 133-137.
- Sardi, B. 2000. "Too Much of a Good Thing". *Nutrition Science News*, June: 1-5.
- Scalzo, J., Politi, A., Pellegrini, N., Mezzetti, B. et Battino, M. 2005. "Plant Genotype Affects Total Antioxidant Capacity and Phenolic Contents in Fruit ". *Nutrition*, 21: 207-213.
- Seeram, N. P., Adams, L. S., Zhang, Y., Lee, R., Sand, D., Scheuller, H. S. et Heber, D. 2006. "Blackberry, Black Raspberry, Blueberry, Cranberry, Red Raspberry, and Strawberry Extracts Inhibit Growth and Stimulate Apoptosis of Human Cancer Cells in Vitro". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 9329-9339.
- Sellappan, S., Akoh, C. C. et Krewer, G. 2002. "Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity of Georgia-Grown Blueberries and Blackberries". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 2432-2438.
- Singleton, V. L. et Rossi, J. A. J. 1965. "Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents". *American Journal of Enology and Viticulture* 16: 144-158.

- Singleton, V. L., Orthofer, R. et Lamuela-Raventos, R. M. 1999. "Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent". *Methods in Enzymology*, 299: 152-178.
- Siriwoharn, T., Wrolstad, R. E., Finn, C. E. et Pereira, C. B. 2004. "Influence of Cultivar, Maturity, and Sampling on Blackberry (*Rubus* L. Hybrids) Anthocyanins, Polyphenolics, and Antioxidant Properties". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52: 8021-8030.
- Slinkard, K. et Singleton, V. L. 1977. "Total Phenol Analysis: Automation and Comparison with Manual Methods". *American Journal of Enology and Viticulture* 28: 49-55.
- Small, E., Catling, P. M. et Richer, C. 2004. "Poorly Known Economic Plants of Canada -41. American Elder (*Sambucus nigra* Subsp. *canadensis* (L.) R. Bolli) and Blue Elderberry (*S. nigra* Subsp. *cerulea* (Raf.) R.Bolli)". *The Canadian Botanical Association Bulletin*, 37: 20-37.
- Stéger-Maté, M., Horváth, D. et Barta, J. 2006. "Investigation of Colourant Content and Stability in Elderberry (*Sambucus nigra* L.)". *Acta Alimentaria*, 35: 117-126.
- Steinmetz, K. A. et Potter, J. D. 1996. "Vegetables, Fruit, and Cancer Prevention: A Review". *Journal of the American Dietetic Association*, 96: 1027-1039.
- Stratil, P., Klejdus, B. et Kuban, V. 2006. "Determination of Total Content of Phenolic Compounds and Their Antioxidant Activity in Vegetables- Evaluation of Spectrophotometric Methods". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 607-616.
- Szeto, Y. T., Tomlinson, B. et Benzie, I. F. F. 2002. "Total Antioxidant and Ascorbic Acid Content of Fresh Fruits and Vegetables: Implications for Dietary Planning and Food Preservation". *British Journal of Nutrition*, 87: 55-59.
- Thole, T. M., Kraft, T. F. B., Sueiro, L. A., Kang, Y.-H., Gills, J. J., Cuendet, M., Pezzuto, J. M., Seigler, D. S. et Lila, M. A. 2006. "A Comparative Evaluation of the Anticancer Properties of European and American Elderberry Fruits". *Journal of Medicinal Food*, 9: 498-504.
- Tulipani, S., Mezzetti, B., Capocasa, F., Bompadre, S., Beekwilder, J., Ric De Vos, C. H., Capanoglu, E. et Bovy, A. 2008. "Antioxidants, Phenolic Compounds, and Nutritional Quality of Different Strawberry Genotypes". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 696-704.

Vattem, D. A., Ghaedian, R. et Shetty, K. 2005. "Enhancing Health Benefits of Berries through Phenolic Antioxidant Enrichment: Focus on Cranberry". *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 14: 120-130.

Velioglu, Y. S., Mazza, G., Gao, L. et Oomah, B. D. 1998. "Antioxidant Activity and Total Phenolics in Selected Fruits, Vegetables, and Grain Products.". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 4113-4117.

Wada, L. et Ou, B. 2002. "Antioxidant Activity and Phenolic Content of Oregon Caneberries". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 3495-3500.

Wang, C. C., Chu, C. Y., Chu, K. O., Choy, K. W., Khaw, K. S., Rogers, M. S. et Pang, C. P. 2004. "Trolox-Equivalent Antioxidant Capacity Assay Versus Oxygen Radical Absorbance Capacity Assay in Plasma". *Clinical Chemistry*, 50: 952-954.

Wang, H., Cao, G. et Prior, R. L. 1996. "Total Antioxidant Capacity of Fruits". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44: 701-705.

Wang, S. Y. et Lin, H. S. 2000. "Antioxidant Activity in Fruits and Leaves of Blackberry, Raspberry, and Strawberry Varies with Cultivar and Developmental Stage". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48: 140-146.

Wang, S. Y. et Stretch, A. W. 2001. "Antioxidant Capacity in Cranberry Is Influenced by Cultivar and Storage Temperature". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 969-974.

Wang, S. Y., Maas, J. L., Payne, J. A. et Galletta, G. J. 1994. "Ellagic Acid Content in Small Fruits, Mayhaws, and Other Plants". *Journal of Small Fruit and Viticulture*, 2: 39-49.

Watanabe, T., Yamamoto, A., Nagai, S. et Terabe, S. 1998. "Analysis of Elderberry Pigments in Commercial Food Samples by Micellar Electrokinetic Chromatography". *Analytical Sciences*, 14: 839-844.

Whitney, K. D. 2005. "Linking Frugivores to the Dynamics of a Fruit Color Polymorphism". *American Journal of Botany*, 92: 859-867.

Wu, X., Cao, G. et Prior, R. L. 2002. "Absorption and Metabolism of Anthocyanins in Elderly Women after Consumption of Elderberry or Blueberry". *Journal of Nutrition*, 132: 1865-1871.

- Wu, X., Gu, L., Prior, R. L. et McKay, S. 2004a. "Characterization of Anthocyanins and Proanthocyanins in Some Cultivars of *Ribes*, *Aronia*, and *Sambucus* and Their Antioxidant Capacity". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52: 7846-7856.
- Wu, X., Gu, L., Prior, R. L. et McKay, S. 2004b. "Characterization of Anthocyanins and Proanthocyanidins in Some Cultivars of *Ribes*, *Aronia*, and *Sambucus* and Their Antioxidant Capacity.". *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 52: 7846-7856.
- Wu, X., Beecher, G. R., Holden, J. M., Haytowitz, D. B., Gebhardt, S. E. et Prior, R. L. 2004c. "Lipophilic and Hydrophilic Antioxidant Capacities of Common Foods in the United States". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52: 4026-4037.
- Wu, X., Beecher, G. R., Holden, J. M., Haytowitz, D. B., Gebhardt, S. E. et Prior, R. L. 2006. "Concentrations of Anthocyanins in Common Foods in the United States and Estimation of Normal Consumption". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 4069-4075.
- Wu, X., Gu, L., Holden, J., Haytowitz, D. B., Gebhardt, S. E., Beecher, G. et Prior, R. L. 2004d. "Development of a Database for Total Antioxidant Capacity in Foods: A Preliminary Study". *Journal of Food Composition and Analysis*, 17: 407-422.
- Zafra-Stone, S., Yasmin, T., Bagchi, M., Chatterjee, A., Vinson, J. A. et Bagchi, D. 2007. "Berry Anthocyanins as Novel Antioxidants in Human Health and Diseases Prevention". *Molecular Nutrition and Food Research*, 51: 675-683.
- Zakay-Rones, Z., Thom, E., Wollan, T. et Wadstein, J. 2004. "Randomized Study of the Efficacy and Safety of Oral Elderberry Extract in the Treatment of Influenza a and B Virus Infections". *Journal of International Medical Research*, 32: 132-140.
- Zakay-Rones, Z., Varsano, N., Zlotnik, M., Manor, O., Regev, L., Schlesinger, M. et Mumcuoglu, M. 1995. "Inhibition of Several Strains of Influenza Virus in-vitro and Reduction of Symptoms by an Elderberry Extract (*Sambucus nigra* L.) During an Outbreak of Influenza B in Panama". *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 1: 361-369.