



Centre de Développement Bioalimentaire du Québec
Quebec Agrifood Development Center

Rapport final

Projet CDAQ-6792



Évaluation de la maturité du raisin chez trois cépages majeurs cultivés au Québec et implantation d'un réseau de surveillance de la maturité destiné aux vignerons québécois



Agriculture et Agroalimentaire Canada

Agriculture and Agri-Food Canada

Réalisation : 2013-2014



Responsable scientifique :

Karine Pedneault, Ph.D.

Chercheure scientifique,

Centre de développement bioalimentaire du Québec



Équipe et collaborateurs :

Étienne Ouellet, Professionnel de recherche, CDBQ

Gaëlle Dubé, Agr., Conseillère en viticulture

Raphaël Fonclara, Agr., Duraclub

Henry Drocourt, Duraclub

Martine Dorais, Ph.D., Chercheure scientifique,

Agriculture et Agroalimentaire Canada

Paul Angers, Ph.D., Professeur titulaire, Université Laval

Fabien Gagné, Association des vignerons du Québec

Martin Létourneau, Développement des affaires, CDBQ



Table des matières

TABLE DES MATIÈRES	2
1. RÉSUMÉ	3
TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX	4
2. INTRODUCTION	5
3. MÉTHODOLOGIE	7
3.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET SITES ÉCHANTILLONNÉS	7
3.2. ÉCHANTILLONNAGE	8
3.3. ANALYSE DES DONNÉES PHYSIOLOGIQUES ET DES PARAMÈTRES TECHNOLOGIQUES	8
3.4. ANALYSE DES COMPOSÉS PHÉNOLIQUES DANS LES MOÛTS	8
3.5. ANALYSE DES PROFILS AROMATIQUES	9
3.6. ANALYSES STATISTIQUES	9
3.7. MISE EN PLACE DU RÉSEAU DE SURVEILLANCE DE LA MATURITÉ	10
4. RÉSULTATS ET DISCUSSION	10
4.1. SITES VINICOLES ET VIGNES	10
4.2. MARÉCHAL FOCH	13
4.3. FRONTENAC	18
4.4. VIDAL	23
4.5. RÉSEAU DE SURVEILLANCE DE LA MATURITÉ	27
5. CONCLUSION	28
6. RÉFÉRENCES	29
7. REMERCIEMENTS	31
ANNEXE 1 – GRILLE D’ÉVALUATION DES VIGNOBLES (BARRIAULT, 2012)	32
ANNEXE 2 – DERNIER RAPPORT DE MATURITÉ DIFFUSÉ SUR LE SITE AGRI-RÉSEAU (WWW.AGRI-RESEAU.QC.CA)	33
ANNEXE 3 – STATISTIQUES D’ACHALANDAGE DU SITE AGRI-RÉSEAU VIGNE ET VIN	34

1. Résumé

Au Québec, les vignerons cultivent majoritairement des cépages hybrides bien adaptés à la viticulture en climat nordique, mais différents à plusieurs égards des cépages *Vitis vinifera* traditionnels, ce qui rend difficile l'application des connaissances actuelles en viticulture, construites autour des cépages *V. vinifera*, notamment sur la maturité du raisin. La saison de croissance québécoise étant courte et limitée d'une part, par le dernier gel printanier et d'autre part, par le premier gel automnal, une compréhension approfondie de la maturité des cépages hybride est primordiale pour le développement de l'industrie vinicole locale.

Au cours de la saison 2011, notre équipe a complété une première étude sur ce sujet. Cette étude a permis d'identifier et de corrélérer différents indicateurs de maturité chez les cépages Frontenac et Marquette. Afin de poursuivre ce travail, de valider les indicateurs de maturité trouvés, et d'apporter des pistes sur la date optimale de récolte pour les cépages hybrides, ce projet proposait d'évaluer la maturité technologique, phénolique et aromatique chez trois cépages d'importance, cultivés dans trois zones viticoles majeures du Québec. Ce projet visait également l'implantation d'un réseau de surveillance de la maturité pendant la véraison, en rendant les données de paramètre technologiques disponibles aux producteurs dans un délai de 48 heures après les échantillonnages.

Trois cépages, soient Maréchal Foch, Frontenac et Vidal, ont été échantillonnés pendant cinq à six semaines, à raison d'une fois par semaine, sur deux à trois sites localisés à l'île d'Orléans, à St-Paul-d'Abbotsford et à Dunham. Les paramètres technologiques, la maturité phénolique de même que la maturité aromatique ont été analysés. Chez Maréchal Foch et chez Frontenac, la teneur en esters hydroxycinnamiques et en flavonoïdes pourrait être un bon indicateur de maturité phénolique. L'étude des composés herbacés (C_6) a montré que l'augmentation de l'hexanolet et du *trans*-2-hexenol pendant le mûrissement des baies pourrait être un indicateur de maturité aromatique pour Maréchal Foch, à condition de déterminer un seuil de concentration acceptable pour ces composés. Chez Frontenac, le *cis*-3-hexenol et l'hexanol sont les composés ayant montré les plus fortes corrélations avec les autres paramètres de maturité. L'étude du cépage Vidal en vendange tardive a montré une augmentation de la teneur en solides solubles totaux et une augmentation significative du linalool dans le profil aromatique.

Enfin, la mise en place du réseau de surveillance de la maturité du raisin a été un succès auprès de l'industrie, puisque les statistiques du site Agri-Réseau section Vigne et vin, où étaient communiqués les résultats, a montré des hausses d'achalandage significative à chaque mercredi pendant la période des vendanges, jour où les données étaient rendues disponibles.

Table des figures et tableaux

Tableau 1. Dates d'échantillonnage pour les cépages et sites à l'étude.	7
Figure 1. Chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse de type Temps de vol (<i>Time-of-flight</i>), équipé d'un microextracteur en phase solide (Photo : Léonard Pigeon).....	9
Tableau 2. Conditions météorologiques (nombre de jours sans gel, degrés-jours accumulés annuellement, gel de printemps pour l'année en cours), type de sol (pH, teneur en potassium, qualité du drainage, type de sol des horizons A et B) et environnement (altitude, relief) prélevées selon la grille d'évaluation des sites vinicoles (Barriault <i>et al.</i> , 2013).....	11
Tableau 3. Système de conduite et charge fruitière estimée des sites échantillonnés pour le suivi de la maturité des cépages Frontenac, Maréchal Foch et Vidal.....	12
Tableau 5. Composition phénolique extractibles des moûts de Maréchal Foch récolté une fois par semaine, du 26 août au 7 octobre 2013, à deux sites situés en Montérégie-Est (St-Paul-d'Abbotsford) et Montérégie-Ouest (Dunham).....	16
Tableau 6. Profil aromatiques (composés en C ₆ , en µg/L) des moûts de Maréchal Foch récolté une fois par semaine, du 26 août au 7 octobre 2013, à deux sites situés en Montérégie-Est (St-Paul-d'Abbotsford) et Montérégie-Ouest (Dunham).....	17
Tableau 7. Évolution des paramètres technologiques (solides solubles totaux, pH, acidité titrable, indice de maturité) de Frontenac récolté une fois par semaine, du 9 septembre au 28 octobre 2013, sur trois sites localisés respectivement à l'île d'Orléans, en Montérégie-Est (St-Paul-d'Abbotsford) et en Montérégie-Ouest (Dunham).	20
Tableau 8. Composition phénolique des moûts de Frontenac récolté une fois par semaine, du 9 septembre au 28 octobre 2013, sur trois sites localisés respectivement à l'île d'Orléans, en Montérégie-Est (St-Paul-d'Abbotsford) et en Montérégie-Ouest (Dunham).	21
Tableau 9. Profil aromatique des composés en C ₆ (en µg/L) des moûts de Frontenac récolté une fois par semaine, du 9 septembre au 28 octobre 2013, sur trois sites localisés respectivement à l'île d'Orléans, en Montérégie-Est (St-Paul-d'Abbotsford) et en Montérégie-Ouest (Dunham).....	22
Tableau 10. Évolution des paramètres technologiques (solides solubles totaux, pH, acidité titrable, indice de maturité) de Vidal récolté une fois par semaine, du 30 septembre au 28 octobre 2013 (vendange tardive), sur deux sites localisés en Montérégie-Est (St-Paul-d'Abbotsford) et en Montérégie-Ouest (Dunham).....	24
Tableau 11. Composition phénolique des moûts de Vidal récolté une fois par semaine, du 30 septembre au 28 octobre 2013 (vendange tardive), sur deux sites localisés en Montérégie-Est (St-Paul-d'Abbotsford) et en Montérégie-Ouest (Dunham).....	25
Tableau 12. Profil aromatiques (composés en C ₆ et linalool, en µg/L) des moûts de Vidal récolté une fois par semaine, du 30 septembre au 28 octobre 2013 (vendange tardive), sur deux sites localisés en Montérégie-Est (St-Paul-d'Abbotsford) et en Montérégie-Ouest (Dunham).....	26

2. Introduction

L'industrie du vin est en pleine expansion au Québec : la culture de la vigne a presque triplé au cours des dernières années, passant de 227 à 630 ha entre 2006 et 2010, dont environ les deux tiers sont en production (AAC, 2006; MAPAQ, 2010). Entre 2010 et 2013, le nombre de vignobles en opération (produisant leur propre vin) est passé de 86 à 116, soit une augmentation de 35% (RACJ, 2013). Malgré cet engouement, l'industrie vinicole québécoise continue de faire face à plusieurs problèmes, souvent liés à la difficulté de cultiver la vigne en climat froid (MAPAQ, 2006). La plupart des cépages conventionnels (*V. vinifera*) étant peu appropriés à nos conditions météorologiques (tardifs, faible résistance au froid), les vignerons cultivent majoritairement des cépages rustiques et semi-rustiques, des variétés hybrides développées spécialement pour la viticulture en climat nordique. Cependant, l'un des principaux problèmes des cépages hybrides est que leur composition chimique est non seulement différente de celle des cépages *V. vinifera*, mais elle est également différente, à différents degrés, d'un cépage hybride à l'autre. De plus, leur parentage est souvent varié et étendu, ce qui rend difficile la prédiction de leurs caractéristiques biochimiques. De façon générale, ils contiennent davantage de composés colorés (anthocyanes) que les *V. vinifera* (Fisher & Fuleki, 2000); ils peuvent aussi présenter une teneur en sucres plus faible ou une acidité élevée (Dubé et Turcotte, 2011; Fisher & Fuleki 2000). Leur teneur en azote assimilable, qui dépasse parfois largement les valeurs mesurées chez les *V. vinifera*, peut également être problématique lors des fermentations (Pedneault et coll., données non publiées ; Katie Cook, University of Minnesota, communication personnelle). De telles différences rendent les connaissances actuelles sur la vigne et le vin difficilement applicables par les vignerons québécois, ce qui complique significativement leur travail. En effet, faute d'avoir des connaissances sur leurs cépages, dans leurs conditions, ils calquent généralement les méthodes utilisées chez les cépages *V. vinifera*, avec des résultats variables.

C'est le cas notamment pendant la véraison, lors des suivis de maturité. En production vinicole, la maturité du raisin est vue comme un intervalle, plus ou moins grand, où les baies présentent une composition chimique favorable à la production de vins de qualité. La maturité physiologique du fruit se situe généralement dans cet intervalle. La maturité optimale pour la vinification est par la suite déterminée en fonction du style de vin désiré. Cette maturité œnologique peut également dévier de la maturité physiologique du fruit si on s'intéresse aux baies récoltées en vendanges tardives par exemple. En général, à maturité, on s'attend à retrouver une balance sucre/acidité adéquate, à avoir des arômes agréables, propices au développement de notes florales ou fruitées dans les vins, à une présence ou absence calculée d'arômes herbacés (selon le style de vin produit) et à une maturité phénolique propice au développement d'une certaine structure en bouche, bien que ce paramètre demeure nébuleux chez les cépages hybrides, qui donnent généralement des vins peu structurés.

Malgré plusieurs années de recherche en maturité du raisin chez les cépages *V. vinifera*, la détermination de la composition chimique optimale des baies, de son évolution pendant le mûrissement et du lien avec le terroir demeure encore un sujet de recherche largement étudié. Les schémas de maturité sont maintenant bien documentés chez les cépages traditionnels : on sait par exemple qu'un taux de solides solubles totaux de 23-27°Brix peut être atteint et que cela correspond généralement à une acidité assez faible (3 à 7 g/L éq. d'acide tartrique); on sait aussi que, de façon générale, les composés colorés (anthocyanes) atteignent une concentration maximale peu avant la maturité technologique alors que les profils aromatiques

montrent habituellement une diminution des composés herbacés tels que les composés en C₆ et les méthoxypyrazines (chez le Cabernet sauvignon et le Sauvignon blanc par exemple) au cours du mûrissement (Canuti *et al.*, 2009 ; Jackson, 2008 ; Ribéreau-Gayon *et al.*, 2006).

Chez les cépages hybrides, peu d'études ont été suffisamment complètes pour apporter une compréhension intelligible de la maturité de ces cépages. Pourtant, dans les régions froides, la fin de la saison de croissance est rapidement marquée par une baisse de la température en automne, ce qui laisse peu de latitude pour la maturité du raisin, contrairement à ce qu'on voit dans les régions plus chaudes, où on peut attendre plus longtemps la maturité désirée. Ainsi, une compréhension approfondie de la maturité du raisin est d'autant plus importante qu'au Québec, la saison de croissance est courte et demeure coincée entre le dernier gel printanier et le premier gel automnal.

Au cours de la saison 2011, notre équipe a complété une première étude sur la maturité des cépages hybrides cultivés au Québec (Pedneault *et al.*, 2013). Cette étude, menée dans deux vignobles situés dans les régions de Québec et de la Montérégie, a permis d'identifier et de corrélérer ensembles différents indicateurs de maturité chez les cépages Frontenac et Marquette. Par exemple, des indicateurs de maturité phénolique tels que les flavonoïdes et les esters hydroxycinnamiques totaux, qui augmentent de façon linéaire avec la maturité, ont été identifiés chez Frontenac (Pedneault *et al.*, 2013). Au contraire, la teneur en polyphénols totaux, un paramètre traditionnellement utilisé pour le suivi de la maturité phénolique chez les cépages *V. vinifera*, n'a montré aucune linéarité au cours du mûrissement, ce qui démontre bien l'importance de déterminer des indicateurs de maturité appropriés pour nos cépages (Pedneault *et al.*, 2013). Au niveau aromatique, différents marqueurs ont également été identifiés, le plus important étant le *cis*-3-hexenol, un arôme herbacé, dont la teneur diminue de façon linéaire pendant la véraison de Frontenac et Marquette, surtout à l'approche du mûrissement (Pedneault *et al.*, 2013). Ce composé est particulièrement important car il traverse aisément la fermentation et pourrait, de ce fait, contribuer à donner des notes herbacées au vin (Pedneault *et al.*, données non publiées).

Afin de poursuivre ce travail, de valider les indicateurs de maturité trouvés au cours de notre projet précédent sur ce sujet et d'apporter des pistes sur la date optimale de récolte pour les cépages à l'étude, ce projet proposait, comme premier objectif, d'évaluer la maturité technologique, phénolique et aromatique chez trois cépages d'importance du Québec, cultivés dans trois zones viticoles majeures du Québec, soient Québec, St-Paul-d'Abbotsford et Dunham. Ces connaissances permettront d'identifier et de corrélérer des indicateurs de maturité technologique, phénolique et aromatique pour ces cépages avec pour but ultime de définir un moment idéal de récolte pour une qualité optimale des vins issus de ces cépages. Par ailleurs, afin d'améliorer l'information diffusée au sein de l'industrie vinicole pendant la période des vendanges, ce projet proposait également d'implanter un réseau de surveillance de la maturité pendant la véraison, en rendant les données de paramètres technologiques disponibles aux producteurs dans un délai de 48 heures après les échantillonnages. Un tel réseau, qui fournit des données fiables dans un délai rapide, est basé sur ce qui se fait dans la plupart des autres pays producteurs de vin : c'est la base d'une industrie vinicole sérieuse et florissante.

3. Méthodologie

3.1. Dispositif expérimental et sites échantillonnés

Trois dispositifs séparés, un par cépage, ont été construits pour l'étude de la maturité. Un tel design, ne permettant pas la comparaison des cépages, a été choisi parce que l'un d'eux, le Vidal, est un cépage blanc dont la maturité était évaluée en « surmaturité », ce qui est la pratique habituelle des producteurs. Précisons toutefois que le terme de « surmaturité » est utilisé pour indiquer que la récolte a lieu plus tard que la récolte des autres cépages, ce qui ne signifie en rien que le raisin, d'un point de vue physiologique, soit réellement en stade de surmaturité (en sénescence).

Les trois cépages étudiés dans le cadre de ce projet étaient le Frontenac, le Maréchal Foch et le Vidal. Chaque cépage a été échantillonné une fois par semaine, débutant de six à cinq semaines avant l'époque des récoltes commerciales (selon les connaissances actuelles) (Dubé & Turcotte, 2011) (Tableau 1), sur deux à trois sites. Un total de 167 échantillons a été prélevé et analysé, pendant douze semaines au total.

Tableau 1. Dates d'échantillonnage pour les cépages et sites à l'étude.

Site	Cépage	Période habituelle de récolte ¹	Dates d'échantillonnage									
			Août	Septembre					Octobre			
				26 ²	3	9	16	23	30	7	15	21
Ile d'Orléans	Frontenac	Début à mi-octobre			*	*	*	*		*	*	
St-Paul-d'Abbotsford	Frontenac	Mi-octobre				*	*	*		*	*	*
	Maréchal foch	Fin septembre	*	*	*	*	*	*		*		
	Vidal	Fin octobre (surmaturité)						*		*	*	*
	Frontenac	Mi-octobre			*	*	*	*		*	*	*
Dunham	Maréchal foch	Fin septembre	*	*	*	*	*	*				
	Vidal	Fin octobre (surmaturité)						*		*	*	*

¹ Source : Gaëlle Dubé, agronome-conseillère en viticulture (communication personnelle).

² Date d'échantillonnage ; effectués les lundis.

³ Échantillonnage prévu mais n'a pu être réalisé.

Vignobles-pilote :

Trois vignobles-pilotes ont été suivis, distribués respectivement dans les régions de Québec, de St-Paul-d'Abbotsford et de Dunham. Les vignobles-pilotes ont été choisis avec soin : les sites présentant une gestion

agronomique de qualité ont été préconisés. Pour chaque vignoble, la grille d'observation des sites vinicoles, développée par Évelyne Barriault et coll. (2013), a été remplie (Annexe 1). Les paramètres de climat, de sol et d'environnement ont été mesurés ; le système de conduite et la charge fruitière ont également été évalués. Plutôt que de prendre la surface foliaire exposée (SECV ; mesure de la hauteur, de la largeur et de la densité du feuillage par rapport à la densité de plantation), nous avons mesurée la surface foliaire à l'aide d'un analyseur de canopée (LAI-2000, Licor, Lincoln, NB, États-Unis), mais les données n'ont pas encore été traitées. Afin d'obtenir des données météorologiques précises, des stations météorologiques incluant la mesure des températures (minimum, maximum, moyenne), de la pluviométrie et de la radiation solaire ont été installées sur les sites étudiés.

3.2. Échantillonnage

Les échantillons, constitués chacun de 20 grappes, ont été récoltés de façon aléatoire dans chacune des parcelles visées par le projet. Les échantillons ont été récoltés à chaque lundi, à partir du 26 août (Maréchal Foch) au 28 octobre (Frontenac, Vidal), mis sur glace et apportés au laboratoire où ils étaient immédiatement analysés.

3.3. Analyse des données physiologiques et des paramètres technologiques

Tous les échantillons de raisin ont été analysés pour les paramètres suivants : paramètres technologiques (teneur en solide solubles totaux, acidité titrable, pH), et données physiologiques (poids moyen des baies). Les moûts ont été réalisés en pressant un échantillon d'environ 300 baies manuellement, dans un sac de plastique. Chaque moût a par la suite été filtré sur un tamis, puis l'analyse des solides solubles totaux, du pH et de l'acidité titrable a été effectuée selon des méthodologies standard (Amerine & Ough, 1980).

Important : Pour l'acidité titrable, le titrage a été effectué jusqu'à un pH de 8.2, ce qui est le standard de l'*American Society for Enology and Viticulture* (ASEV), une valeur qui est plus exacte, d'un point de vue chimique, mais qui donne des valeurs d'acidité titrable environ 6 à 8% plus élevées que le titrage à pH 7, qui est le standard de l'*Organisation Internationale de la Vigne et du Vin* (OIV) (Moreno & Peinado, 2012; Boulton, 1980). Le standard de l'ASEV a été préconisé afin de faciliter les comparaisons avec les cépages hybrides cultivés aux États-Unis et ailleurs au Canada.

3.4. Analyse des composés phénoliques dans les moûts

La teneur en anthocyanes, en flavonoïdes et en esters hydroxycinnamiques a été mesurée par spectrophotométrie UV-visible dans chacun des moûts, selon les méthodologies précédemment mises en place dans notre laboratoire (Pedneault *et al.*, 2013). Les flavonoïdes et les esters hydroxycinnamiques ont été quantifiés grâce à une courbe standard de quercétine et d'acide caféïque, respectivement, tandis que les anthocyanes (incluant les anthocyanes monomériques et les polymériques) ont été mesurées à l'aide du coefficient d'extinction molaire de la malvidin-3-glycoside (Amerine & Ough, 1980).

3.5. Analyse des profils aromatiques

Les profils d'arômes libres ont été réalisés directement après la récolte, car la congélation peut affecter le profil aromatique (Pedneault *et al.*, données non publiées). Les échantillons de moût (5 mL) ont été analysés sur un chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse de type Temps de vol (*Time-of-flight*) équipé d'un microextracteur en phase solide (GC-MS-SPME; Figure 2). Une fibre de 2 cm incluant trois types de phases (Polydimethylsiloxane, Carboxen et Divinylbenzène) a été utilisée pour l'extraction de l'espace de tête, pendant 25 minutes, à 40 °C. La fibre était par la suite désorbée sur une colonne DB-wax de 60 m. Un gradient de température a été appliqué afin d'optimiser l'élution des composés volatils. La quantification des composés a été effectuée par calibration à l'aide de standards authentiques (Sigma-Aldrich, Oakville, ON, Canada) et de standards internes deutérés (CDN isotopes, Pointe-Claire, QC, Canada). Une soixantaine de composés a été identifiée par spectrométrie de masse, par ratio d'ions sélectionnés et par temps de rétention, et quantifiée par ratio d'aire avec les standards internes, selon la calibration préalablement effectuée. La quantification n'est cependant pas terminée car chaque pic doit être validé ; la quantification de certains composés choisis a été finalisée pour ce rapport.



Figure 1. Chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse de type Temps de vol (*Time-of-flight*), équipé d'un microextracteur en phase solide (Photo : Léonard Pigeon).

3.6. Analyses statistiques

Une analyse de variance (ANOVA) ainsi qu'une analyse de la normalité et de l'homogénéité des données a été effectuée sur les résultats grâce à la procédure Mix du logiciel SAS (Cary, NC, États-Unis). Lorsque significativement différentes, les moyennes des différents cépages, pour une variable donnée, ont été comparées par le test de LSD protégé ($P \leq 0.05$).

3.7. Mise en place du réseau de surveillance de la maturité

Les résultats des paramètres technologiques, de même qu'une évaluation hebdomadaire de la maturité phénolique, ont été diffusés sur le site Agri-Réseau, section Vigne et vin, 48 heures après chaque échantillonnage. À chaque semaine, les données étaient mises en ligne et un courriel était envoyé à tous les abonnés du site (environ 700 abonnés). La visibilité des partenaires a été assurée par l'insertion de leurs logos respectifs sur chaque rapport hebdomadaire, de même que par la notice suivante, figurant sur le rapport : « *Remerciements : L'implantation de ce réseau de surveillance de la maturité du raisin au Québec a été rendu possible grâce à la participation financière d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC), du Conseil pour le développement de l'agriculture au Québec (CDAQ) et d'Agri-Future Nova Scotia, via le Programme canadien d'adaptation agricole (PCAA), ainsi qu'à la participation active des vignobles-pilotes impliqués dans ce projet.* »

Mentionnons également que le Centre de recherche agro-alimentaire de Mirabel (CRAM) a contribué à enrichir les rapports hebdomadaires en acceptant de diffuser les résultats des suivis de maturité technologique (teneur en solides solubles totaux, pH, acidité titrable) effectués sur sa parcelle d'Oka. Il est par contre important de mentionner que leur méthodologie de dosage de l'acidité titrable est conforme au protocole de l'Organisation mondiale de la vigne et du vin (OIV), ce qui explique les valeurs d'acidité plus faibles retrouvées sur leur site (voir la section 3.3 de ce rapport). Une harmonisation des méthodes est prévue afin de pallier à cette non-conformité entre nos laboratoires respectifs.

4. Résultats et discussion

4.1. Sites vinicoles et vignes

Les données climatiques recueillies dans les différents sites ont montré des différences climatiques entre les régions à l'étude, notamment au niveau des paramètres suivants : l'accumulation des degrés-jours (moyenne des 30 dernières années), le drainage des sols, et l'environnement général des sites pilotes (Tableau 2). Sur le plan du nombre de jours sans gel, les trois sites échantillonés sont pratiquement identiques. Par contre, selon le nombre de degrés-jours accumulés annuellement depuis les 30 dernières années, le site de l'île d'Orléans est en marge des deux autres, car il compte, annuellement, de 150 à 175 degrés-jours de moins que les sites de St-Paul et de Dunham. En effet, l'accumulation des degrés-jours est généralement beaucoup plus importante en Montérégie-Est et Montérégie-Ouest qu'à l'île d'Orléans. En climat nordique, l'accumulation des degrés-jours est un paramètre significatif pour la maturité du raisin et il est habituellement bien corrélé avec l'accumulation des sucres (Pedneault *et al.*, 2013).

La teneur en potassium et le pH du sol, de même que la qualité du drainage étaient différents entre les parcelles échantillonnées ; ces paramètres peuvent affecter la composition du raisin, notamment la structure et la teneur en tanins (Delgado *et al.*, 2004; Jackson, 2008). Enfin, pour un même cépage, toutes les parcelles présentaient le même système de conduite, mais les charges fruitières estimées étaient variables, bien que nos données soient incomplètes sur ce point. À première vue, le Frontenac de l'île d'Orléans avait un rendement plus faible que celui de Dunham, tandis que le Maréchal Foch de St-Paul avait un rendement plus faible que celui de Dunham. Une harmonisation de ce paramètre est prévue lors des prochains projets sur ce sujet.

Tableau 2. Conditions météorologiques (nombre de jours sans gel, degrés-jours accumulés annuellement, gel de printemps pour l'année en cours), type de sol (pH, teneur en potassium, qualité du drainage, type de sol des horizons A et B) et environnement (altitude, relief) prélevées selon la grille d'évaluation des sites vinicoles (Barriault *et al.*, 2013).

Critère	Ile d'Orléans	St-Paul-d'Abbotsford			Dunham			
		Frontenac	Frontenac	Maréchal Foch	Vidal	Frontenac	Maréchal Foch	Vidal
Condition météorologiques	Nombre de jours sans gel ¹	163-174	163-174	163-174	163-174	163-174	163-174	163-174
	Accumulation de dj ² (intervalles)	918-1034	1151-1256	1151-1256	1151-1256	1151-1256	1151-1256	1151-1256
	Gel de printemps (2013)	aucun	aucun	aucun	aucun	aucun	aucun	aucun
Sol	pH	6.1	6.4	6.3	6.4	6.2	6.5	6.5
	Teneur en potassium (kg/ha)	196	481	654	481	274	526	506
	Qualité du drainage	imparfait	n.d.	n.d.	n.d.	bon à modéré	bon à modéré	imparfait
	Horizon A	loam sableux	n.d.	loam sableux	n.d.	loam sableux	loam sableux	loam sableux
	Horizon B	loam sableux	n.d.	loam sableux	n.d.	loam sableux	loam sableux	sable loameux
Environnement	Altitude (m)	75	60	293	60	130	130	130
	Relief	plat	dépression	milieu de pente	dépression	milieu de pente	crête	dépression
	Pente (%)	1.9	2.9	5.0	2.9	4.4	1.0	1.0
	Orientation du versant	nord	ouest	ouest	ouest	nord-ouest	est	nord
	Orientation des rangs	nord-sud	nord-sud	est-ouest	nord-sud	nord-ouest	est-ouest	est-ouest

¹ Nombre de jours où la température moyenne est supérieure à -2°C, moyenne sur 30 ans (1978-2008) (Source : Atlas agroclimatique du Québec).

² Degrés-jours en base 10°C, moyenne sur 30 ans (1978-2008) (Source : Atlas agroclimatique du Québec).

Tableau 3. Système de conduite et charge fruitière estimée des sites échantillonnés pour le suivi de la maturité des cépages Frontenac, Maréchal Foch et Vidal.

Site	Cépage	Système de conduite	Charge fruitière estimée (T/ha)
Île d'Orléans	Frontenac	Cordon de Royat	4.7
	Maréchal Foch	Guyot double	4.8
St-Paul-d'Abbotsford	Frontenac	Cordon de Royat	n.d. ¹
	Vidal	Gobelet	n.d.
Dunham	Maréchal Foch	Guyot	7
	Frontenac	Cordon de Royat	8
	Vidal	Gobelet	n.d.

¹ n.d. : Donnée non disponible.

4.2. Maréchal Foch

Les paramètres technologiques de même que les données physiologiques (poids des baies) ont montré des différences significatives entre les dates d'échantillonnages, pour chacun des cépages. Pour Maréchal Foch, la progression du poids moyen des baie a été relativement standard, les baies ayant atteint un point culminant un peu avant la maturité (vers le 16 septembre), pour ensuite voir leur poids diminuer par déshydratation à l'approche de la maturité, autour du 30 septembre sur les deux sites, moment de la récolte commerciale (Tableau 4). L'accumulation des solides solubles totaux a également suivi une progression standard, avec une accumulation rapide au début, puis un plateau à l'approche de la maturité, où les changements n'étaient plus significatifs, ce qui correspond à ce qu'on observe chez les cépages *V. vinifera* également (Bindon *et al.*, 2013). La diminution de l'acidité et l'augmentation du pH ont suivi une progression similaire.

L'indice de maturité (solides solubles totaux/acidité titrable) a atteint 1.7 sur chacun des sites, le 30 septembre, ce qui est beaucoup plus faible que l'indice de maturité des échantillons de Montérégie-Est et Ouest analysés en 2012 par notre équipe, qui oscillait entre 1.8 et 3.0. À titre indicatif, des cépages comme le Cabernet franc et le Merlot, lorsque cultivés en climat frais (Colombie-Britannique), peuvent donner des indices de maturité autour de 2.0-2.1 (22°Brix/10 g éq. ac. tartrique/L ; Mazza *et al.*, 1999), tandis qu'un Syrah cultivé dans le sud de la France peut donner un indice de maturité de 5 (27°Brix/5.5 g éq. ac. tartrique/L) (Fournand *et al.*, 2006). L'indice de maturité attendu est différent d'un cépage à l'autre. Par exemple, pour Marquette et Maréchal Foch, les bonnes années, on peut s'attendre à un indice de maturité au-dessus de 2 tandis que pour Frontenac, il sera toujours difficile d'atteindre un indice de maturité au-dessus de 1.6 à 1.8, à cause de l'acidité naturellement élevée de ce cépage.

L'accumulation des composés phénoliques a été relativement linéaire, pour les deux sites (Tableau 5). Les flavonoïdes et les anthocyanes ont culminé vers le 23 septembre, soit un peu avant la récolte commerciale, puis les concentrations ont diminuées de façon non significative, sauf à Dunham, où le taux d'anthocyanes extractibles dans les moûts est passé de 50 à 30 mg éq. malvidin-3-glucoside/L. Les esters hydroxycinnamiques ont pratiquement doublé entre le début septembre et la récolte commerciale (vers le 30 septembre). De façon générale, les taux sont beaucoup plus faibles que ceux mesurés en 2011, ce qui est principalement lié à la méthodologie d'extraction des moûts, qui endommageait davantage les pellicules, d'où une extraction plus efficace des composés phénoliques. Il faut noter cependant que si, dans le cas de la méthodologie actuelle (essentiellement, une extraction manuelle des moûts, sans dommages importants aux pellicules et pépins) l'extraction a été plus faible au labo, elle ne prend pas en compte l'effet d'une macération du marc dans le moût, qui permet d'extraire une grande partie des petits composés phénoliques comme les esters hydroxycinnamiques, les flavonoïdes et les anthocyanes.

La progression des esters hydroxycinnamiques et des flavonoïdes ayant été plus marquée que celle des anthocyanes, nos résultats suggèrent que ces deux classes de composés pourraient constituer des indicateurs de maturité efficace pour Maréchal Foch, comme c'est le cas pour Frontenac et Marquette (Pedneault *et al.*, 2013). Cependant, au niveau sensoriel, les esters hydroxycinnamiques peuvent apporter de l'amertume et éventuellement être à l'origine de la formation d'éthyl-phénols (surtout dans le cas d'une contamination par *Brettanomyces sp.*), des composés volatils apportant des arômes indésirables au vin (Hufnagel & Hoffmann, 2008; Chatonnet *et al.*, 1992). Leur progression pendant la maturité, mais aussi leur extraction dans le vin est

donc possiblement à surveiller, d'autant plus qu'ils sont facilement extractibles dans les moûts lors de la macération, mais le mieux demeure une hygiène irréprochable afin d'éviter les contaminations par des levures susceptibles de transformer ces précurseurs en éthyl-phénols.

Jusqu'ici, seuls les composés volatils en C₆ ont été analysés car l'évolution de ces composés est souvent liée à la maturité (Bindon *et al.*, 2013 ; Pedneault *et al.*, 2013). Chez Maréchal Foch, une diminution significative de la teneur en hexanalet et en *trans*-2-hexenal, de même qu'une augmentation significative de la teneur en hexanol et en *trans*-2-hexenol ont été observées pendant la maturation des baies (Tableau 6). Par contre, la concentration de *cis*-3-hexenol est demeurée faible tout au long de la maturation, contrairement à nos observations précédentes chez Frontenac et Marquette, pour ce composé. Parmi les composés volatils analysés, l'hexanol et le *trans*-2-hexenol sont ceux ayant montré le plus grand nombre de corrélations significatives ($P < 0.0001$) avec divers paramètres de maturité technologique, dont l'accumulation des degrés-jours, la teneur en solides solubles totaux, le pH, l'acidité titrable et l'indice de maturité et ce, sur les deux sites échantillonnés (matrice de corrélation non montrée).

En dépit du fait que l'hexanol diminuait significativement pendant la maturité de Maréchal Foch sur chacun des sites échantillonnés, ce composé était systématiquement plus concentré dans les échantillons de St-Paul que ceux de Dunham pour une même date d'échantillonnage (ou un même nombre de degrés-jours accumulés). Les profils aromatiques que nous avons jusqu'ici réalisés chez Maréchal Foch indiquent que ce cépage pourrait avoir une activité enzymatique lui permettant de produire certains composés volatils particuliers, comme les esters et, en particulier, des alcools comme l'hexanol et le *trans*-2-hexenol. Il est possible que cette activité enzymatique ait été accrue dans les raisins échantillonnés à St-Paul comparativement à Dunham, en raison des conditions météorologiques plus chaudes sur ce site. Des recherches additionnelles sont nécessaires afin de lier la teneur en C₆ dans les raisins et les vins, et le terroir. Enfin, d'autres composés dont certaines méthoxypyrazines ainsi que des esters éthyliques d'acides gras ont montré une progression pendant la maturité de Maréchal Foch et pourraient constituer des indicateurs de maturité intéressants. Ce travail se poursuit actuellement dans notre laboratoire.

Tableau 4. Évolution des paramètres technologiques (solides solubles totaux, pH, acidité titrable, indice de maturité) de Maréchal Foch récolté une fois par semaine, du 26 août au 7 octobre 2013, à deux sites situés en Montérégie-Est (St-Paul-d'Abbotsford) et Montérégie-Ouest (Dunham).

Site	Date d'échantillonnage	Degré-jours accumulés à l'échantillonnage ¹	Poids moyen des baies (g)	Solides solubles totaux (°Brix)	Acidité titrable (g éq. ac. tartrique/L)	pH	Indice de maturité ²
St-Paul-d'Abbotsford	26 août 2013	1064	0.90 a ³	14.7 a	20.7 c	2.79 a	0.71 a
	3 septembre 2013	1154	1.02 ab	17.0 b	16.5 b	2.90 ab	1.03 b
	9 septembre 2013	1175	1.01 ab	18.3 b	16.4 b	2.95 bc	1.13 b
	16 septembre 2013	1218	1.07 b	19.0 bc	13.7 a	2.99 bcd	1.39 c
	23 septembre 2013	1254	1.04 ab	21.3 cd	13.4 a	3.02 cd	1.59 cd
	30 septembre 2013	1275	0.98 ab	22.4 d	13.0 a	3.08 d	1.73 d
	7 octobre 2013	1306	1.07 ab	23.4 d	13.0 a	3.09 cd	1.80 d
<i>Valeur P</i>			0.0438*	<0.0001*	<0.0001*	<0.0001*	<0.0001*
Dunham	26 août 2013	1108	0.91 a	16.6 a	20.2 d	2.76 a	0.82 a
	3 septembre 2013	1125	1.01 ab	17.5 a	14.9 bc	2.87 ab	1.18 bc
	9 septembre 2013	1154	1.02 ab	17.9 a	15.9 c	2.89 b	1.13 b
	16 septembre 2013	1186	1.11 b	18.5 ab	12.9 ab	2.95 bc	1.44 cd
	23 septembre 2013	1218	0.99 ab	20.8 b	13.1 ab	3.02 c	1.59 d
	30 septembre 2013	1240	0.98 ab	21.0 b	12.3 a	3.04 c	1.71 d
	<i>Valeur P</i>		0.0235*	<0.0001*	<0.0001*	<0.0001*	<0.0001*

¹ Degrés-jours basés sur la température de 10 °C, cumulés à partir du 1^{er} avril et calculés à partir des données des stations météorologiques installées sur chacun des sites.

² Indice de maturité = Solides solubles totaux (°Brix)/Acidité titrable (g éq. ac. tartrique/L).

³ Anova réalisée avec la procédure Mix du logiciel SAS (SAS Institute, Cary, NC). Les paramètres significativement différents à moins de P<0.05 sont marqués d'un astérix ; les cépages suivis de lettres différentes sur une même colonne sont significativement différents les uns des autres.

* Significatif à P<0.05

Tableau 5. Composition phénolique extractibles des moûts de Maréchal Foch récolté une fois par semaine, du 26 août au 7 octobre 2013, à deux sites situés en Montérégie-Est (St-Paul-d'Abbotsford) et Montérégie-Ouest (Dunham).

Site	Date d'échantillonnage	Degré-jours accumulés à l'échantillonnage ¹	Esters hydroxycinnamiques (mg éq. ac. caféïque/L)	Flavonoïdes (mg éq. quercétine/L)	Anthocyanes (mg éq. malvidin-3-glucoside/L)
St-Paul-d'Abbotsford	26 août 2013	1064	78.8 a ²	64.0 ab	23.9 a
	3 septembre 2013	1154	67.6 a	54.5 a	28.9 ab
	9 septembre 2013	1175	97.2 ab	77.6 abc	36.2 ab
	16 septembre 2013	1218	76.1 a	56.8 a	32.2 ab
	23 septembre 2013	1254	119 b	101 c	49.3 b
	30 septembre 2013	1275	119 b	93.8 c	38.6 ab
	7 octobre 2013	1306	124 b	98.3 bc	41.6 ab
<i>Valeur P</i>			0.0002*	<0.0001*	0.0443*
Dunham	26 août 2013	1108	87.1 b	70.2 bc	33.1 ab
	3 septembre 2013	1125	62.2 ab	48.7 ab	33.3 ab
	9 septembre 2013	1154	59.4 a	44.9 a	26.2 a
	16 septembre 2013	1186	66.8 ab	48.8 ab	27.5 a
	23 septembre 2013	1218	115 c	93.2 d	50.3 b
	30 septembre 2013	1240	116 c	83.5 cd	30.3 a
	<i>Valeur P</i>		<0.0001*	<0.0001*	0.0059*

¹ Degrés-jours basés sur la température de 10 °C, cumulés à partir du 1^{er} avril et calculés à partir des données des stations météorologiques installées sur chacun des sites.

²Anova réalisée avec la procédure Mix du logiciel SAS (SAS Institute, Cary, NC). Les paramètres significativement différents à moins de P<0.05 sont marqués d'un astérix; les cépages suivis de lettres différentes sur une même colonne sont significativement différents les uns des autres.

* Significatif à P<0.05

Tableau 6. Profil aromatiques (composés en C₆, en µg/L) des moûts de Maréchal Foch récolté une fois par semaine, du 26 août au 7 octobre 2013, à deux sites situés en Montérégie-Est (St-Paul-d'Abbotsford) et Montérégie-Ouest (Dunham).

Site	Date d'échantillonnage	Degré-jours accumulés à l'échantillonnage ¹	hexanal	<i>trans</i> -2-hexenal	hexanol	<i>cis</i> -3-hexenol	<i>trans</i> -2-hexenol	Somme des composés C ₆
St-Paul-d'Abbotsford	26 août 2013	1064	249 ab ²	1464 b	327 a	27.7	404 a	2472 a
	3 septembre 2013	1154	328 ab	1278 ab	709 a	29.0	801 ab	3146 ab
	9 septembre 2013	1175	506 b	1728 b	606 a	25.2	726 ab	3591 ab
	16 septembre 2013	1218	463 ab	1449 b	1158 ab	29.3	841 b	3941 b
	23 septembre 2013	1254	274 ab	1186 ab	1119 ab	19.2	1094 b	3692 ab
	30 septembre 2013	1275	83.2 a	461 a	1936 b	30.5	1003 b	3514 ab
	7 octobre 2013	1306	88.7 ab	571 ab	1466 ab	11.4	774 ab	2911 ab
<i>Valeur P</i>			0.0177*	0.0045*	0.0009*	0.7578	0.0008*	0.0234*
Dunham	26 août 2013	1108	109	866 b	140 a	16.8	289 a	1420
	3 septembre 2013	1125	99.3	736 ab	261 ab	22.4	418 ab	1536
	9 septembre 2013	1154	126	877 b	551 abc	32.9	751 abc	2338
	16 septembre 2013	1186	85.8	614 ab	762 c	25.1	857 bc	2343
	23 septembre 2013	1218	41.7	350 ab	780 c	20.5	1040 c	2232
	30 septembre 2013	1240	24.4	174 a	698 bc	24.9	949 c	1870
	<i>Valeur P</i>		0.2064	0.0093*	0.0006*	0.4970	0.0011*	0.1012

¹ Degrés-jours basés sur la température de 10 °C, cumulés à partir du 1^{er} avril et calculés à partir des données des stations météorologiques installées sur chacun des sites.

²Anova réalisée avec la procédure Mix du logiciel SAS (SAS Institute, Cary, NC). Les paramètres significativement différents à moins de P<0.05 sont marqués d'un astérix ; les cépages suivis de lettres différentes sur une même colonne sont significativement différents les uns des autres.

* Significatif à P<0.05

4.3. Frontenac

La maturité de Frontenac a été étudiée pendant les semaines précédant la maturité (normalement, autour du 7-15 octobre) ainsi que quelques semaines en surmaturité (sénescence des baies, vers le 21-28 octobre), sur les sites de St-Paul et de Dunham. Sur le plan physiologique, le poids des baies a montré des changements significatifs à l'île d'Orléans et à Dunham, mais il est demeuré stable à St-Paul. Nos résultats montrent que pour l'île d'Orléans et Dunham, le poids moyen des baies était maximal vers la fin septembre (23 – 30 septembre), et qu'il a baissé de façon significative par la suite, probablement par déshydratation (Tableau 7). Une variabilité plus grande entre les poids des baies du site de St-Paul pourrait expliquer qu'aucune différence significative n'ait été observée entre les stades de maturité, pour ce site.

L'accumulation des sucres et la diminution de l'acidité a été beaucoup plus lente à l'île d'Orléans que sur les deux autres sites, ce qui suggère que la charge fruitière plus faible de ce site n'a pas suffit à compenser pour l'accumulation de chaleur insuffisante à la maturation de ce cépage dans cette région. Au niveau de l'indice de maturité, les résultats du site de Dunham suggèrent que Frontenac pourrait bénéficier d'une surmaturité de quelques semaines. En effet, nos données ont montré une augmentation significative du taux de sucre et du pH au 28 octobre 2013, par rapport à une récolte qui aurait été effectuée le 7 ou le 15 octobre. Par contre, l'acidité titrable n'a pas été affectée.

L'accumulation des composés phénoliques a été en concordance avec nos observations antérieures faites sur ce cépage (Tableau 8) : les esters hydroxycinnamiques et les flavonoïdes ont montré une accumulation constante pendant la maturité et sont fortement corrélés avec d'autres paramètres de maturité tels que la teneur en solides solubles totaux, l'acidité titrable et l'indice de maturité (matrice de corrélation non montrée). Dans l'ensemble, les teneurs observées dans les moûts sont plus faibles que celles mesurées en 2011, ce qui est attribuable à des variations dans la méthodologie, tel qu'expliqué plus tôt dans ce rapport. Sur le site de Dunham, et sur le site de St-Paul mais à un degré moindre, les composés phénoliques ont montré deux pics d'accumulation, soit un premier pic à quelques semaines de la maturité (autour du 30 septembre) et un second en surmaturité. Le premier pic correspond au schéma connu de la maturité phénolique, qui arrive normalement une à deux semaines avant la maturité technologique (variable selon les cépages) (Ribéraud-Gayon *et al.*, 2006). Le second pic s'étant produit à un moment où le fruit est en sénescence et où le métabolisme est ralenti, l'explication la plus plausible serait que la sénescence du fruit a augmenté l'extractabilité des composés phénoliques lors de l'extraction des moûts. À cause de l'impact que peuvent avoir les petits composés phénoliques comme les esters hydroxycinnamiques et les flavonoïdes sur l'amertume des vins (Hufnagel & Hoffmann, 2008), il pourrait être pertinent d'évaluer l'impact de la maturité du raisin sur l'extraction des composés phénoliques pendant la vinification de Frontenac. La biosynthèse de ces composés dans les raisins peut-être significativement affectée par l'exposition solaire des grappes, un paramètre qu'on peut contrôler au vignoble par écimage ou par effeuillage par exemple.

Le profil des composés volatils en C₆ n'a montré aucune différences significative entre les stades de maturité, sur le site de l'île d'Orléans, ce qui est probablement attribuable à deux possibilités : 1) les baies n'ayant pas évolué vers une maturité acceptable pendant le temps alloué à l'étude, les changements métaboliques sont demeurés peu perceptibles ; 2) une grande variabilité entre les niveaux de maturité des grappes prélevées à chaque semaine sur ce site a gommé les différences significatives entre les échantillons prélevées à une semaine d'intervalle.

Sur les sites de Dunham et de St-Paul, des changements significatifs ont été constatés entre les niveaux de maturité des échantillons, notamment pour les composés suivants : hexanol, *trans*-2-hexenal, *cis*-3-hexenol, *trans*-2-hexenol (Tableau 9). L'hexanol et le *cis*-3-hexenol sont les composés ayant montré le plus grand nombre de corrélations significatives ($P<0.0001$) avec divers paramètres de maturité, dont l'accumulation des degrés-jours, la teneur en solides solubles totaux, le pH, l'acidité titrable, l'indice de maturité, la teneur en esters hydroxycinnamiques, en flavonoïdes et en anthocyanes (matrice de corrélation non montrées), ce qui est en accord avec les données relevées en 2011 sur Frontenac (Pedneault *et al.*, 2013). De plus, comme pour les composés phénoliques, les résultats montrent une diminution de la teneur en certains composés herbacés à l'approche de la maturité (fin septembre à mi-octobre), ce qui pourrait correspondre à une augmentation de la perception des notes fruitées dans les fruits mûrs, tel qu'on le voit chez les cépages *V. vinifera* par exemple (Bindon *et al.*, 2013), bien que le lien entre le profil aromatique des raisins et celui des vins soit encore peu documenté, même chez les cépages traditionnels. En surmaturité, une augmentation des composés herbacés tels que l'hexanol, le *cis*-3-hexenol, le *trans*-2-hexenal et le *trans*-2-hexenol pourrait être liée à une augmentation des procédés oxydatifs chez le fruit sénescents, à un changement dans l'activité de certaines enzymes liées au catabolisme des lipides (lipoxygénases, peroxydases, enolisomérase, alcool déshydrogénase, etc.) ou à une augmentation de la biodisponibilité des précurseurs lipidiques (acides gras) à cause de la dégradation des membranes cellulaires. Il est difficile d'expliquer comment cette augmentation de composés herbacés peut affecter le profil sensoriel d'une baie sénescente, qui développe habituellement des arômes d'oxydation telles que des notes de fruits confits ou de raisin sec. Il faut cependant considérer que les composés en C₆ sont impliqués à plusieurs égards dans la perception des notes fruitées dans les fruits et les vins, principalement parce que certains sont des précurseurs d'hexyl acétate, un composé à l'arôme fruité (Bindon *et al.*, 2013). Le but n'est donc pas de les éliminer complètement. Par contre, certains d'entre eux, comme le *cis*-3-hexenol, peuvent traverser la fermentation et apporter un arôme herbacé au vin (Kosteridis & Baume, 2000 ; Joslin & Ough, 1978). Enfin, il serait pertinent d'évaluer l'impact de la maturité sur la qualité des vins de Frontenac, notamment sur la perception de notes fruitées et herbacées.

Tableau 7. Évolution des paramètres technologiques (solides solubles totaux, pH, acidité titrable, indice de maturité) de Frontenac récolté une fois par semaine, du 9 septembre au 28 octobre 2013, sur trois sites localisés respectivement à l'île d'Orléans, en Montérégie-Est (St-Paul-d'Abbotsford) et en Montérégie-Ouest (Dunham).

Site	Date d'échantillonnage	Degré-jours accumulés à l'échantillonnage ¹	Poids moyen des baies (g)	Solides solubles totaux (°Brix)	Acidité titrable (g éq. ac. tartrique/L)	pH	Indice de maturité ²
Île d'Orléans	9 septembre 2013	932	1.11 a ²	12.5 a	35.2 b	2.60 a	0.35 a
	16 septembre 2013	968	1.20 ab	12.9 a	31.6 a	2.61 a	0.41 ab
	23 septembre 2013	991	1.28 b	16.0 b	31.0 a	2.61 a	0.52 bc
	30 septembre 2013	1019	1.22 ab	17.8 bc	28.2 a	2.71 b	0.63 cd
	7 octobre 2013	1046	1.12 a	19.1 cd	30.4 a	2.72 b	0.63 cd
	15 octobre 2013	1057	1.14 a	20.3 d	28.3 a	2.86 c	0.72 d
<i>Valeur P</i>			0.0015*	<0.0001*	<0.0001*	<0.0001*	<0.0001*
St-Paul-d'Abbotsford	16 septembre 2013	1218	1.18 a	17.2 a	22.9 a	2.84 a	0.75 a
	23 septembre 2013	1254	1.13 a	18.3 a	23.2 a	2.88 ab	0.79 ab
	30 septembre 2013	1275	1.20 a	19.4 ab	22.7 a	2.92 abc	0.86 abc
	7 octobre 2013	1306	1.21 a	21.1 bc	22.2 a	2.94 abc	0.95 abc
	15 octobre 2013	1327	1.10 a	21.8 bc	22.1 a	2.99 bc	0.99 bc
	21 octobre 2013	1342	1.11 a	22.9 c	22.2 a	3.02 c	1.04 c
<i>Valeur P</i>			0.0785	<0.0001*	0.8678	0.0031*	0.0057*
Dunham	9 septembre 2013	1154	1.25 d	17.4 a	22.8 b	2.86 a	0.76 a
	16 septembre 2013	1186	1.20 cd	17.2 a	19.9 a	2.87 a	0.87 ab
	23 septembre 2013	1218	1.25 d	20.3 b	21.8 ab	2.89 ab	0.93 abc
	30 septembre 2013	1240	1.15 bcd	22.1 bc	20.9 ab	2.97 b	1.06 bcd
	7 octobre 2013	1270	1.04 ab	23.3 c	21.7 ab	2.94 ab	1.07 cd
	15 octobre 2013	1300	1.03 a	24.4 cd	20.9 ab	3.10 c	1.17 de
	21 octobre 2013	1316	1.09 abc	26.1 d	21.6 ab	3.16 cd	1.21 de
	28 octobre 2013	1316	1.08 abc	26.6 d	20.5 a	3.20 d	1.30 e
<i>Valeur P</i>			<0.0001*	<0.0001*	0.0019	<0.0001*	<0.0001*

¹ Degrés-jours basés sur la température de 10 °C, cumulés à partir du 1^{er} avril et calculés à partir des données des stations météorologiques installées sur chacun des sites.

² Anova réalisée avec la procédure Mix du logiciel SAS (SAS Institute, Cary, NC). Les paramètres significativement différents à moins de P<0.05 sont marqués d'un astérisque ; les cépages suivis de lettres différentes sur une même colonne sont significativement différents les uns des autres.

³ Indice de maturité = Solides solubles totaux (°Brix)/Acidité titrable (g éq. ac. tartrique/L).

Tableau 8. Composition phénolique des moûts de Frontenac récolté une fois par semaine, du 9 septembre au 28 octobre 2013, sur trois sites localisés respectivement à l'île d'Orléans, en Montérégie-Est (St-Paul-d'Abbotsford) et en Montérégie-Ouest (Dunham).

Site	Date d'échantillonnage	Degré-jours accumulés à l'échantillonnage ¹	Esters hydroxycinnamiques (mg éq. ac. caféique/L)	Flavonoïdes (mg éq. quercétine/L)	Anthocyanes (mg éq. malvidin-3-glucoside/L)
Île d'Orléans	9 septembre 2013	932	55.7 a ²	42.4 a	12.2 a
	16 septembre 2013	968	52.0 a	38.5 a	16.2 ab
	23 septembre 2013	991	81.1 b	69.3 b	36.4 ab
	30 septembre 2013	1019	85.8 b	71.9 b	42.5 bc
	7 octobre 2013	1046	112 c	97.4 c	70.6 cd
	<u>15 octobre 2013</u>	<u>1057</u>	<u>115 c</u>	<u>99.2 c</u>	<u>72.8 d</u>
<i>Valeur P</i>			<0.0001*	<0.0001*	<0.0001*
St-Paul-d'Abbotsford	16 septembre 2013	1218	103 a	89.7 a	81.4 a
	23 septembre 2013	1254	133 ab	120 ab	82.1 a
	30 septembre 2013	1275	146 b	129 b	88.5 a
	7 octobre 2013	1306	161 b	148 b	105 a
	15 octobre 2013	1327	157 b	134 b	96.9 a
	<u>21 octobre 2013</u>	<u>1342</u>	<u>154 b</u>	<u>127 b</u>	<u>104 a</u>
<i>Valeur P</i>			0.0002*	0.0006*	0.2233
Dunham	9 septembre 2013	1154	88.3 a	74.4 a	67.8 a
	16 septembre 2013	1186	99.2 a	85.7 a	74.5 ab
	23 septembre 2013	1218	135 b	124 b	92.5 abc
	30 septembre 2013	1240	166 cd	150 bc	123 cd
	7 octobre 2013	1270	143 bc	121 b	92.2 abc
	15 octobre 2013	1300	166 cd	139 bc	111 bcd
	21 octobre 2013	1316	195 de	163 c	139 d
	<u>28 octobre 2013</u>	<u>1316</u>	<u>219 e</u>	<u>196 d</u>	<u>135 d</u>
<i>Valeur P</i>			<0.0001*	<0.0001*	<0.0001*

¹ Degrés-jours basés sur la température de 10 °C, cumulés à partir du 1^{er} avril et calculés à partir des données des stations météorologiques installées sur chacun des sites.

²Anova réalisée avec la procédure Mix du logiciel SAS (SAS Institute, Cary, NC). Les paramètres significativement différents à moins de P<0.05 sont marqués d'un astérix ; les cépages suivis de lettres différentes sur une même colonne sont significativement différents les uns des autres.

* Significatif à P<0.05

Tableau 9. Profil aromatique des composés en C₆ (en µg/L) des moûts de Frontenac récolté une fois par semaine, du 9 septembre au 28 octobre 2013, sur trois sites localisés respectivement à l'île d'Orléans, en Montérégie-Est (St-Paul-d'Abbotsford) et en Montérégie-Ouest (Dunham).

Site	Date d'échantillonnage	Degré-jours accumulés à l'échantillonnage ¹	hexanal	trans-2-hexenal	hexanol	cis-3-hexenol	trans-2-hexenol	Somme des composés C6
Île d'Orléans	9 septembre 2013	932	13.4	440	51.9 a ²	558 b	223 a	1287
	16 septembre 2013	968	5.90	426	86.0 ab	286 ab	476 abc	1279
	23 septembre 2013	991	10.6	240	134 b	85.8 a	880 c	1351
	30 septembre 2013	1019	29.3	405	156 b	41.6 a	788 bc	1421
	7 octobre 2013	1046	5.55	285	48.3 a	18.9 a	272 ab	629
	15 octobre 2013	1057	8.21	220	90.5 ab	40.8 a	463 abc	822
<i>Valeur P</i>			0.3944	0.1162	0.0024*	0.0003*	0.0060*	0.0583
St-Paul-d'Abbotsford	16 septembre 2013	1218	14.7 b	658 b	193	65.9 b	662	1593 b
	23 septembre 2013	1254	7.67 ab	214 a	95.6	54.4 ab	608	979 ab
	30 septembre 2013	1275	6.10 ab	166 a	153	32.5 ab	535	893 a
	7 octobre 2013	1306	3.44 a	147 a	86.9	16.7 a	458	712 a
	15 octobre 2013	1327	9.24 ab	179 a	192	60.3 b	664	1104 ab
	21 octobre 2013	1342	10.5 ab	290 a	127	28.8 b	570	1026 ab
<i>Valeur P</i>			0.0290*	0.0005*	0.5655	0.0048*	0.4990	0.0058*
Dunham	9 septembre 2013	1154	19.2	544 d	106 a	109 d	516 a	1294
	16 septembre 2013	1186	15.5	620 d	135 ab	82.0 cd	765 ab	1617
	23 septembre 2013	1218	19.2	503 cd	247 ab	56.1 bc	861 ab	1686
	30 septembre 2013	1240	21.6	445 bcd	170 ab	17.4 a	629 ab	1284
	7 octobre 2013	1270	7.74	118 ab	249 ab	20.6 a	615 ab	1010
	15 octobre 2013	1300	8.26	113 a	288 ab	37.8 ab	921 b	1368
	21 octobre 2013	1316	11.4	171 abc	315 bc	35.8 ab	959 b	1493
	28 octobre 2013	1316	14.9	121 ab	511 c	43.1 ab	738 ab	1429
<i>Valeur P</i>			0.0723	<0.0001*	<0.0001*	<0.0001*	0.0123*	0.0750

¹ Degrés-jours basés sur la température de 10 °C, cumulés à partir du 1^{er} avril et calculés à partir des données des stations météorologiques installées sur chacun des sites.

² Anova réalisée avec la procédure Mix du logiciel SAS (SAS Institute, Cary, NC). Les paramètres significativement différents à moins de P<0.05 sont marqués d'un astérix ; les cépages suivis de lettres différentes sur une même colonne sont significativement différents les uns des autres.

* Significatif à P<0.05

4.4. Vidal

Le Vidal a été étudié de la fin septembre jusqu'à la fin octobre, moment où il est récolté en vendange tardive. Les résultats ont montré qu'entre le 30 septembre et la fin octobre, le poids moyen des baies était stable, alors que le taux de sucre et le pH ont augmenté significativement (Tableau 10). C'est à St-Paul que le taux de solides solubles totaux a connu la plus forte augmentation (18.4 à 20.7°Brix), bien qu'au final, il ait été plus faible que dans les baies récoltées à Dunham. Fait intéressant, l'augmentation de la teneur en solides solubles totaux ne s'est pas fait par une déshydratation des baies, puisque le poids des baies est demeuré inchangé et semble même avoir augmenté entre le début et la fin octobre (quoique cette variation ne soit pas significative). En outre, une augmentation significative du pH a été observée sur les deux sites, le plus grand écart ayant été mesuré sur le site de Dunham, mais aucune variation significative de l'acidité titrable n'a été constatée. L'augmentation de la teneur en solides solubles totaux sans déshydratation des baies pourrait être liée à la présence d'activité enzymatique pendant la période de l'échantillonnage (peut-être via la dégradation de certains constituant cellulaires comme les polysaccharides), ou encore à une augmentation du taux de potassium des baies, ce qui expliquerait aussi la hausse du pH. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour expliquer ces données.

La teneur en esters hydroxycinnamiques n'a pas été affectée pendant la période analysée, sur les deux sites échantillonnés (Tableau 11). Par contre, une augmentation des flavonoïdes a été constatée le 7 octobre sur chacun des sites puis, à partir de cette date, la teneur en flavonoïdes totaux a diminué jusqu'à la fin de l'échantillonnage. L'augmentation des flavonoïdes le 7 octobre pourrait correspondre à la maturité phénolique des baies, qui survient normalement une à deux semaines avant la maturité technologique. En effet, bien que le Vidal soit en partie récolté autour de cette date (autour de 22-23°Brix), il n'a peut-être pas atteint sa pleine maturité physiologique et pourrait probablement, dans des conditions plus chaudes, mûrir encore un peu. Les profils aromatiques des baies appuient cette hypothèse puisque, d'une part, plusieurs composés herbacés tels que l'hexanal, le *trans*-2-hexenal et la somme des composés en C₆ ont atteint un niveau minimal à cette date et, d'autre part, le niveau de linalool, un terpène contribuant aux arômes floraux du Vidal, a augmenté significativement, ce qui suggère que la maturité aromatique a possiblement été atteinte le 7 octobre, sur les deux sites.

Après le 7 octobre, les sites de St-Paul et de Dunham ont montré des changements relativement différents, mais dans les deux cas, plusieurs composés herbacés ont augmenté de nouveau pour redescendre légèrement, à Dunham, vers le 28 octobre. La teneur en linalool est demeurée stable à St-Paul, tandis qu'à Dunham, elle a été beaucoup plus variable. Le linalool a montré une corrélation significative ($P \leq 0.0001$) avec l'accumulation des degrés-jours, ce qui suggère que ce composé pourrait être un indicateur intéressant pour suivre l'évolution du Vidal en vendange tardive.

Tableau 10. Évolution des paramètres technologiques (solides solubles totaux, pH, acidité titrable, indice de maturité) de Vidal récolté une fois par semaine, du 30 septembre au 28 octobre 2013 (vendange tardive), sur deux sites localisés en Montérégie-Est (St-Paul-d'Abbotsford) et en Montérégie-Ouest (Dunham).

Site	Date d'échantillonnage	Degré-jours accumulés à l'échantillonnage ¹	Poids moyen des baies (g)	Solides solubles totaux (°Brix)	Acidité titrable (g éq. ac. tartrique/L)	pH	Indice de maturité ³
St-Paul-d'Abbotsford	30 septembre 2013	1275	1.90	18.4 a ²	12.6	2.88 a	1.46 a
	7 octobre 2013	1306	1.92	18.9ab	13.5	2.92 a	1.41 a
	15 octobre 2013	1327	1.85	20.4 bc	12.4	3.09 b	1.64 b
	21 octobre 2013	1342	1.97	20.7 c	12.6	3.11 b	1.63 b
	Valeur P		0.0746	0.0031*	0.1942	<0.0001*	0.0473*
Dunham	30 septembre 2013	1240	1.81	19.3 a	11.5	2.99 a	1.69 a
	7 octobre 2013	1270	1.92	20.4 ab	11.5	2.99 a	1.77 ab
	15 octobre 2013	1300	1.81	21.7 b	11.2	3.11 ab	1.94 ab
	21 octobre 2013	1316	1.96	22.3 b	10.8	3.18 bc	2.08 b
	28 octobre 2013	1317	2.02	22.1 b	10.7	3.28 c	2.07 ab
Valeur P			0.0770	0.0010	0.5726	<0.0001*	0.0226*

¹ Degrés-jours basés sur la température de 10 °C, cumulés à partir du 1^{er} avril et calculés à partir des données des stations météorologiques installées sur chacun des sites.

² Anova réalisée avec la procédure Mix du logiciel SAS (SAS Institute, Cary, NC). Les paramètres significativement différents à moins de P<0.05 sont marqués d'un astérix; les cépages suivis de lettres différentes sur une même colonne sont significativement différents les uns des autres.

³ Indice de maturité = Solides solubles totaux (°Brix)/Acidité titrable (g éq. ac. tartrique/L).

Tableau 11. Composition phénolique des moûts de Vidal récolté une fois par semaine, du 30 septembre au 28 octobre 2013 (vendange tardive), sur deux sites localisés en Montérégie-Est (St-Paul-d'Abbotsford) et en Montérégie-Ouest (Dunham).

Site	Date d'échantillonnage	Degré-jours accumulés à l'échantillonnage ¹	Esters hydroxycinnamiques (mg éq. ac. caféïque/L)	Flavonoïdes (mg éq. quercétine/L)
St-Paul-d'Abbotsford	30 septembre 2013	1275	92.0	60.6 ab
	7 octobre 2013	1306	98.0	81.8 b
	15 octobre 2013	1327	108	63.1 ab
	<u>21 octobre 2013</u>	1342	104	53.0 a
	Valeur P		0.5639	0.0401*
Dunham	30 septembre 2013	1240	120	49.4 a
	7 octobre 2013	1270	143	91.1 c
	15 octobre 2013	1300	152	79.7 bc
	21 octobre 2013	1316	141	57.4 ab
	<u>28 octobre 2013</u>	1317	134	58.2 ab
Valeur P			0.4794	0.0024*

¹ Degrés-jours basés sur la température de 10 °C, cumulés à partir du 1^{er} avril et calculés à partir des données des stations météorologiques installées sur chacun des sites.

²Anova réalisée avec la procédure Mix du logiciel SAS (SAS Institute, Cary, NC). Les paramètres significativement différents à moins de P<0.05 sont marqués d'un astérix ; les cépages suivis de lettres différentes sur une même colonne sont significativement différents les uns des autres.

* Significatif à P<0.05

Tableau 12. Profil aromatiques (composés en C₆ et linalool, en µg/L) des moûts de Vidal récolté une fois par semaine, du 30 septembre au 28 octobre 2013 (vendange tardive), sur deux sites localisés en Montérégie-Est (St-Paul-d'Abbotsford) et en Montérégie-Ouest (Dunham).

Site	Date d'échantillonnage	Degré-jours accumulés à l'échantillonnage ¹	hexanal	trans-2-hexenal	hexanol	cis-3-hexenol	trans-2-hexenol	Somme des composés C ₆	linalool
St-Paul-d'Abbotsford	30 septembre 2013	1275	28.2 b	172 ab	417	388 b	734 c	1739 b	16.6 a
	7 octobre 2013	1306	5.41 a	93.9 a	306	157 a	501 b	1063 a	44.1 b
	15 octobre 2013	1327	32.9 bc	190 ab	329	185 a	379 ab	1115 a	45.1 b
	21 octobre 2013	1342	51.5 c	286 b	345	259 ab	352 a	1294 a	60.1 b
<i>Valeur P</i>			0.0005*	0.0286*	0.1790	0.0025*	<0.0001*	0.0010*	<0.0001*
Dunham	30 septembre 2013	1240	46.4 ab	333 b	411 b	336	370 ab	1496 b	14.9 ab
	7 octobre 2013	1270	14.9 a	127 a	277 a	256	286 a	961 a	26.1 b
	15 octobre 2013	1300	69.2 b	226 ab	424 b	265	381 ab	1364 b	8.94 a
	21 octobre 2013	1316	61.0 ab	226 ab	408 ab	233	394 b	1322 ab	18.6 ab
	28 octobre 2013	1317	31.2 ab	170 a	489 b	207	469 b	1366 b	29.6 b
<i>Valeur P</i>			0.0157*	0.0112*	0.0029*	0.3462	0.0017*	0.0064*	0.0074*

¹ Degrés-jours basés sur la température de 10 °C, cumulés à partir du 1^{er} avril et calculés à partir des données des stations météorologiques installées sur chacun des sites.

² Anova réalisée avec la procédure Mix du logiciel SAS (SAS Institute, Cary, NC). Les paramètres significativement différents à moins de P<0.05 sont marqués d'un astérix ; les cépages suivis de lettres différentes sur une même colonne sont significativement différents les uns des autres.

*Significatif à P<0.05.

4.5. Réseau de surveillance de la maturité

L'établissement du réseau de surveillance de la maturité a été une première du genre au Québec, dans le secteur de la vigne. Un tel service répondait à un besoin des vigneron pour de l'information fiable, régulière et documentée par région pour les cépages d'importance que sont le Frontenac, le Maréchal Foch et le Vidal. Les rapports de maturité ont été diffusés sur la section Vigne et Vin du site Agri-Réseau, 48 heures après chaque échantillonnage. Ils incluaient les paramètres technologiques, de même qu'une interprétation sommaire de la progression des composés phénoliques. La contribution du Centre de recherche agro-alimentaire de Mirabel (CRAM) a permis d'ajouter un site supplémentaire, localisé à Oka, pour chacun des cépages (le suivi du Vidal n'a cependant pas pu être complété en vendange tardive sur ce site). Bien que les données du CRAM étaient rendues disponibles, ces analyses n'étant pas réalisées dans notre laboratoire, aucun profil phénolique ou aromatique n'a pu être réalisé sur ces raisins. Nous avons cependant apprécié l'apport du CRAM, dont la contribution a permis d'avoir un site représentatif pour la région de Lanaudière/Laurentides.

Dans l'ensemble, la réponse au réseau de surveillance de la maturité a été extrêmement positive de la part des vigneron, puisque les statistiques d'achalandage sur le site Vigne et vin de Agri-Réseau étaient significativement plus élevées les mercredi, moment où les données étaient mises en ligne sur le site et que le courriel d'information était diffusé aux membres (voir Annexe 3). Le défi est maintenant de maintenir ce service, dont le coût annuel est évalué à 12 000\$. Ce chiffre sera prochainement validé et les différentes possibilités de collaborations entre le CDBQ, le MAPAQ, le CRAM et les vigneron seront évaluées, en vue de poursuivre le ce réseau lors des prochaines saisons.

5. Conclusion

Au cours de ce projet, la maturité des cépages Maréchal Foch, Frontenac et Vidal a été étudiée pendant cinq à six semaines, à raison d'une fois par semaine, sur deux à trois sites localisés à l'île d'Orléans, à St-Paul-d'Abbotsford et à Dunham. Les paramètres technologiques, la maturité phénolique de même que la maturité aromatique ont été analysés en vue de déterminer quels seraient les meilleurs indicateurs de maturité phénolique et aromatique chez ces cépages.

Chez Maréchal Foch et chez Frontenac, la teneur en esters hydroxycinnamiques et en flavonoïdes se sont avérées être de bons indicateurs de maturité phénolique. L'étude des composés herbacés (C_6) a montré que l'hexanol et le *trans*-2-hexenol pourraient être un bon indicateur de maturité aromatique pour Maréchal Foch, tandis que chez Frontenac, le *cis*-3-hexenol et l'hexanol sont les composés ayant montré les plus fortes corrélations avec les autres paramètres de maturité, ce qui est en accord avec les résultats que nous avions obtenus précédemment sur ce cépage (Pedneault *et al.*, 2013). Par contre, les résultats obtenus montrent que le total des composés en C_6 , qui est utilisé pour évaluer la maturité aromatique des cépages *V. vinifera*, est peu applicable chez les cépages Maréchal Foch et Frontenac entre autres parce que cette variable ne change pas de façon linéaire chez ces cépages. Néanmoins, la somme des composés en C_6 dans les raisins étant fortement proportionnelle à ce qu'on trouve dans les vins, des recherches supplémentaires sont nécessaire afin de comprendre quels sont les seuils acceptables de composés en C_6 dans les raisins, pour une qualité optimale des vins. La production de vins de différentes maturités pourrait permettre de valider ces indicateurs et de déterminer l'intervalle de maturité acceptable en fonction des styles de vin désirés pour les cépages Maréchal Foch et Frontenac.

L'étude du cépage Vidal en vendanges tardive a montré une augmentation de la teneur en solides solubles totaux, sans déshydratation apparente des baies, ce qui pourrait être lié à une activité enzymatique quelconque pendant cette période. Une augmentation significative du linalool a également été observée dans le profil aromatique, laquelle était corrélée significativement avec l'accumulation des degrés-jours, tandis que les arômes herbacés se sont avérés des indicateurs de maturité moins bien corrélés pour ce cépage.

Enfin, la mise en place du réseau de surveillance de la maturité du raisin a été un succès auprès de l'industrie, puisque les statistiques du site Agri-Réseau Vigne et vin, où étaient postés les résultats, a montré des hausses d'achalandage significative, surtout à l'approche des vendanges, à chaque mercredi, jour où les données étaient rendues disponibles. Les possibilités qui permettront de maintenir ce réseau actif dans les années à venir sont présentement à l'étude auprès des vignerons et des partenaires impliqués.

6. Références

- Amerine, M. A.; Ough, C. S. Methods for Analyses of Musts and Wines. John Wiley and Sons: New York, NY, 1980; 341 p.
- Barriault, E. R. Fonclara, G. Bourgeois, A. Drouin, L. Grenon, A.R. Michaud, D. Plouffe, D. Venneman. 2013. Grille d'évaluation du potentiel viticole. Disponible sur Agri-Réseau: <http://www.agrireseau.qc.ca/vigne-vin/>
- Bindon, K., Varela, C. Kennedy, J.A., Holt, H., Herderich, M. Relationships Between Harvest Time and Wine Composition in *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon 1. Grape and Wine Chemistry. *Food Chem.* 2013, 138, 1696–1705.
- Canuti, V.; Conversano, M.; Li Calzi, M.; Heymann, H.; Matthews, M. A.; Ebeler, S. E. Headspace solid-phase microextraction–gas chromatography–mass spectrometry for profiling free volatile compounds in Cabernet Sauvignon grapes and wines. *J. Chromatogr. A* 2009, 1216, 3012–3022.
- Chatonnet, P.; Dubourdieu, D.; Boidron, J.-N.; Pons, M. The origin of ethylphenols in wines. *J. Sci. Food Agric* 1992, 60, 165–178.
- Delgado, R., Martín, P., del Álamo, M. and González, M.-R. Changes in the phenolic composition of grape berries during ripening in relation to vineyard nitrogen and potassium fertilisation rates. *J. Sci. Food Agric.* 2004, 84: 623–630. doi: 10.1002/jsfa.1685
- Fenoll, J.; Manso, A.; Hellín, P.; Ruiz, L.; Flores, P. Changes in the aromatic composition of the *Vitis vinifera* grape Muscat Hamburg during ripening. *Food Chem.* 2009, 114, 420–428.
- Fournand, D.; Vicens, A.; Sidhoum, L.; Souquet, J. M.; Moutounet, M.; Cheynier, V. Accumulation and extractability of grape skin tannins and anthocyanins at different advanced physiological stages. *J. Agric. Food Chem.* 2006, 54, 7331–7338.
- Hufnagel, J. C.; Hofmann, T. Orosensory-directed identification of astringent mouthfeel and bitter-tasting compounds in red wine. *J. Agric. Food Chem.* 2008, 56, 1376–1386.
- Jackson, R. Wine Science : Principles and Applications, Academic Press, 3^{ième} édition, NY, 2008, 771 p.
- Joslin, W. S.; Ough, C. S. Cause and fate of certain C6-compounds formed enzymatically in macerated leaves during harvest and wine fermentation. *Am. J. Enol. Vitic.* 1978, 29, 11–17.
- Kalua, C. M.; Boss, P. K. Comparison of major volatile compounds from Riesling and Cabernet Sauvignon grapes (*Vitis vinifera* L.) from fruitset to harvest. *Aust. J. Grape Wine Res.* 2010, 16, 337–348.

Kotseridis, Y.; Baumes, R. Identification of impact odorants in Bordeaux red grape juice, in the commercial yeast used for its fermentation, and in the produced wine. *J. Agric. Food Chem.* 2000, 48, 400–406.

Mazza, G.; Fukumoto, L.; Delaquis, P.; Girard, B.; Ewert, B. Anthocyanins, phenolics, and color of Cabernet Franc, Merlot, and Pinot Noir wines from British Columbia. *J. Agric. Food Chem.* 1999, 47, 4009–4017.

Pedneault, K., Dorais, M., Angers, P. Flavor of Cold-Hardy Grapes: Impact of Berry Maturity and Environmental Conditions. *J. Agri. Food Chem.*, 2013. DOI: 10.1021/jf402473u

Ribéreau-Gayon, P.; Dubourdieu, D. ; Donèche, B.; Lonvaud, A. Handbook of Enology, Volume 1: The Microbiology of Wine and Vinifications; John Wiley & Sons: Chichester, UK, 2006; 497 p.

Ribéreau-Gayon, P.; Stonestreet, E. Dosage des anthocyanes dans le vin rouge. *Bull. Soc. Chim. Fr.* 1965, 9, 2649–2652.

Singleton, V.L.; Rossi Jr., J.A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 1965, 16, 144–58.

7. Remerciements

Les projets en viticulture et œnologie actuellement conduits au CDBQ sont issus du financement de différents programmes du **Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation** (MAPAQ) du Gouvernement du Québec. Dans le cadre du présent projet, nous aimerais particulièrement remercier les vignobles-pilotes ayant accepté que nous allions échantillonner chez eux. Sans leur participation, ce projet n'aurait pas pu être conduit ; leur engagement souligne leur intérêt pour le développement leur industrie (nous ne les nommons pas ici, par souci d'anonymat des données).

Nous remercions chaleureusement le **Dr Paul Angers**, professeur titulaire au département des Sciences des aliments et de nutrition de l'Université Laval, grâce à qui nous avons été en mesure de réaliser l'analyse des profils aromatiques et phénoliques des moûts. Merci également au **Dre Martine Dorais**, chercheure scientifique chez Agriculture et Agroalimentaire Canada, qui a apporté son expertise en physiologie végétale au sein de ce projet. Un grand merci à **Étienne Ouellet**, professionnel de recherche au sein de notre équipe, qui a conduit la majeure partie des travaux d'analyse des raisins effectués dans le cadre de ce projet. Sa tâche a été grandement facilitée par la contribution de **Tamara Truchon, Marie-Pier Vigneux** ainsi que **Catherine Saucier-Fillion**, stagiaires de premier cycle, et **Marie-Pascale Gagné**, étudiante à la maîtrise en Sciences et technologie des aliments au sein de notre équipe, qui a également contribué au traitement des échantillons.

C'est avec beaucoup de reconnaissance que nous remercions également les gens qui ont contribué aux échantillonnages et à l'installation des stations météorologiques sur chacun des sites : **Gaëlle Dubé**, agronome-conseil ; **Raphaël Fonclara**, agronome, Duraclub ; **Henry Drocourt**, professionnel de recherche, Duraclub, sans oublier **Alexandre Morin-Boisjoly**, stagiaire chez Duraclub, qui a assuré le transport de tous les échantillons depuis la Montérégie jusqu'à l'Université Laval, où étaient réalisées les analyses, sans compter qu'il a lui-même effectué une grande partie des échantillonnage en Montérégie.

Enfin, un énorme merci à **Évelyne Barriault et Karine Bergeron**, agronomes au MAPAQ, ainsi qu'à **Lyne Desnoyers**, du CRAAQ, qui ont mis les données en ligne : c'est grâce à leur rigueur à boucler la boucle à chaque semaine que tous les vigneron ont pu avoir accès aux données aussi rapidement après les échantillonnages. Un merci particulier à Lyne Desnoyers, qui a fourni les statistiques d'achalandage du site d'Agri-Réseau Vigne et vin, et qui nous a permis de comprendre les retombées réelles du réseau de surveillance de la maturité.

Nous remercions également les associations de vignerons qui ont soutenu ce projet et qui reconnaissent l'importance de nos recherches pour le développement de leur industrie : Fabien Gagné, Raymond Lambert et Simon Naud, du comité de R&D de l'**Association des vignerons du Québec**, de même que Léon Courville, Denis Paradis et Nathalie Tousignant, de **Vignobles Brome-Missisquoi**.

Annexe 1 – Grille d'évaluation des vignobles (Barriault, 2012)

	Classe	Facteurs
	Climat	Nombre de jours sans gel pour la région ($T \geq -2^\circ\text{C}$, moyenne pour 30 ans) Accumulation de dj (ΣDJ en base 10°C pour une région, moyenne de 30 ans) Cumul des degrés-jours pour 2012 Gel de printemps (année en cours, oui/non)
Vignoble	Sol	pH du sol Teneur du sol en potassium (kg K/ha) Qualité du drainage (classe de drainage) Texture du sol (horizon A) Texture du sol (horizon B)
	Environnement	Altitude (m) Position dans le relief (crête, haut de pente, dépression, etc.) Pente (%) Orientation du versant
Cépage	Vignes	Cépage (variété) Âge des plants (ans) Distance entre les ceps (m) Distance entre les rangs (m) Hauteur feuillage (m) Largeur feuillage (m)
	Pratiques culturelles	Effeuillage (nbr) Rognage (nbr) Taille (système de conduite) Enherbement entre rang (oui/non)

Annexe 2 – Dernier rapport de maturité diffusé sur le site Agri-Réseau (www.agri-reseau.qc.ca)

Rapport final fourni en format pdf, à annexer à ce rapport.

Annexe 3 – Statistiques d’achalandage du site Agri-Réseau Vigne et vin

Voir rapport d’achalandage fourni en format pdf, à annexer à ce rapport.