



# Améliorer la régie d'entreposage des pommes en utilisant les prédictions bioclimatiques de la qualité des fruits à la récolte

Titre anglais : *Improving Tree Fruit Storage Management Using Weather Based Predictions of Fruit Quality at Harvest*

Code d'activité : 3V1

Chercheur principal : Gaétan Bourgeois, Ph.D. (AAFC/HRDC, Saint-Jean-sur-Richelieu, QC)

Collaboratrice :  
Jennifer DeEll, Ph.D. (OMAFRA, Simcoe, ON)

## Résumé du rapport final

03/04/2018

AAFC-AAC et OMAFRA

Auteurs : Dominique Plouffe, Gaétan Bourgeois et Jennifer DeEll

## Table des matières

<b>Objectifs</b>	<b>2</b>
<b>Résultats</b>	<b>2</b>
<b>Inventaire</b>	<b>2</b>
<b>Données supplémentaires</b>	<b>2</b>
<b>Développement des modèles</b>	<b>3</b>
Modèle bioclimatique de la fermeté	3
Modèle bioclimatique de la tache amère, de l'échaudure molle et du brunissement humide de la chair	4
Modèle bioclimatique du brunissement du cœur	6
<b>Discussion</b>	<b>7</b>
<b>Annexe – Description des désordres physiologiques étudiés</b>	<b>9</b>
Tache amère (« Bitter pit »)	9
Échaudure molle (« Soft scald »)	9
Brunissement humide de la chair (« Soggy breakdown »)	10
Brunissement du cœur (« Core browning »)	11

## Objectifs

Les objectifs du projet étaient les suivants :

- 1- Faire un inventaire des données disponibles de l'industrie ou des projets antérieurs sur la qualité des pommes à la récolte (fermeté, teneur en solides solubles, indice d'amidon, concentration interne en éthylène et/ou acidité titrable) et les désordres physiologiques post-récolte des principaux cultivars produits au Québec et en Ontario.
- 2- Acquérir des données supplémentaires sur la qualité des pommes et les désordres post-récolte des principaux cultivars produits au Québec et en Ontario.
- 3- Évaluer les modèles bioclimatiques existants sur la qualité des pommes et les désordres post-récolte, les mettre à jour et en développer de nouveaux.
- 4- Implanter les modèles bioclimatiques dans un système informatique basé sur la météorologie (CIPRA) afin de fournir des informations en temps opportun et d'obtenir une rétroaction rapide de la part des intervenants de l'industrie de la pomme.

## Résultats

### Inventaire

Un inventaire des données de qualité à la récolte et de désordres post-récolte a été réalisé et couvre la période de 2002 à 2017 pour le Québec, l'Ontario et la Nouvelle-Écosse.

De 2002 à 2006, des études portant sur les cultivars 'McIntosh', 'Délicieuse' et 'Honeycrisp' ont permis d'obtenir des observations pour 4 sites différents dans la région de Norfolk en Ontario. De 2009 à 2011, des données ont été recueillies et compilées pour des pommes du cultivar 'Honeycrisp' sur 3 sites en Ontario (Georgian Bay, Newcastle et Norfolk), 2 sites au Québec (Franklin et Île d'Orléans) et 1 site en Nouvelle-Écosse (Kentville). De 2010 à 2013, des études portant sur les désordres causés par le froid sur les cultivars 'Empire' et 'McIntosh' ont permis d'obtenir des données au Québec (Frelighsburg) et en Ontario (Simcoe).

### Données supplémentaires

À partir de 2013 et jusqu'en 2017, différents projets de recherche ont été réalisés sur des pommes 'Honeycrisp' dans le but de relier les données de qualité à la récolte, les désordres observés en entrepôt et les données météorologiques enregistrées durant la saison de croissance. Pour ce faire, des données ont été collectées sur trois sites au Québec (Franklin, Frelighsburg et Île d'Orléans) et trois sites en Ontario (Algoma, Georgian Bay et Norfolk).

Pour compléter les expériences sur les désordres, des données supplémentaires sur 'McIntosh' ont été compilées et analysées en 2014. Finalement, de 2013 à 2017, des projets de recherche portant uniquement sur le cultivar 'Honeycrisp' ont permis de recueillir des données sur deux sites différents au Québec, soit Saint-Bruno-de-Montarville (2013 à 2015) et L'Acadie (2016 et 2017).

Les désordres répertoriés dans cet inventaire sont la tache amère, l'échaudure molle, le brunissement humide de la chair, le brunissement interne et le brunissement du cœur. Voir en [annexe](#) pour la description des désordres étudiés.

## Développement des modèles

Plusieurs modèles bioclimatiques reliés à la qualité des pommes à la récolte et à différents désordres physiologiques post-récolte ont été développés par l'équipe de recherche en bioclimatologie et modélisation d'AAC, que ce soit dans le cadre de ce projet (fermeté de la 'McIntosh', tache amère, échaudure molle et brunissement humide de la chair dans la 'Honeycrisp', brunissement du cœur dans la 'Empire') ou lors d'études antérieures (brunissement vasculaire dans la 'McIntosh', échaudure superficielle dans la 'Cortland'). Les données de qualité compilées entre 2002 et 2017 ont été utilisées soit pour développer les modèles, soit pour valider les modèles existants.

### Modèle bioclimatique de la fermeté

Les analyses sur les facteurs météorologiques influençant la fermeté des pommes ont permis de développer une équation exprimant la fermeté du cultivar 'McIntosh' au moment de la récolte. Ainsi, la fermeté augmente avec la température moyenne durant la période 31 à 60 jours après la floraison (JAF) et diminue avec des précipitations abondantes et des températures chaudes durant la période 61 à 90 JAF. À la suite de cette étude, le modèle de fermeté a été implanté dans le logiciel CIPRA afin de permettre aux producteurs de connaître la fermeté des pommes à partir du 91<sup>e</sup> jour après la floraison et ainsi, planifier leur mise en marché.

Le modèle a été évalué à l'aide de données commerciales couvrant 14 années, de 2000 à 2013, et 14 stations météorologiques, recueillies auprès d'agronomes sur tout le territoire québécois. La fermeté moyenne pour le cultivar 'McIntosh' a été comparée avec la fermeté prédite par le modèle. Cette technique d'analyse a fait ressortir une très forte variabilité. Il faut noter que la fermeté désirée à la récolte varie selon le marché pour lequel les pommes sont destinées (marché frais, entreposage à court terme, entreposage à long terme). Les fruits les plus fermes seront généralement entreposés alors que les moins fermes seront consommés rapidement. Il faut aussi tenir compte du degré de maturité à la récolte, mesuré par l'indice d'amidon présent dans le fruit. Pour la 'McIntosh', un indice d'amidon de 2.5 à 3, selon l'échelle de Cornell, est indiqué pour l'entreposage à long terme alors qu'un indice entre 4 et 6 s'applique pour un entreposage à court terme. Les pommes ayant un indice supérieur à 6 seront rapidement consommées. Le modèle élaboré prédit une fermeté à la récolte pour des indices d'amidon situés entre 2.5 et 4.5.

Ce modèle bioclimatique de fermeté de la 'McIntosh' a été implanté dans le logiciel CIPRA afin de fournir un outil supplémentaire aux producteurs au moment de la récolte. La Figure 1 représente le résultat du modèle après la saison 2017, à partir des données météorologiques de la station de Frelighsburg. Des données futures permettront de valider et d'améliorer les prédictions du modèle.

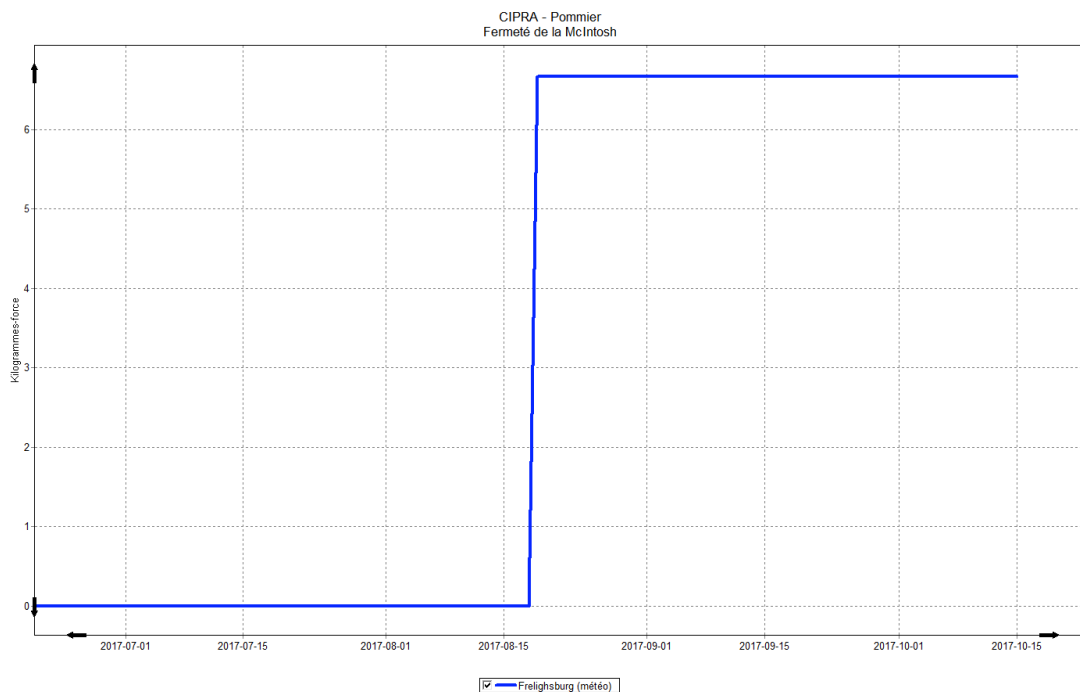


Figure 1. Résultats des prédictions du modèle de la fermeté de la ‘McIntosh’, pour la saison 2017 à Frelighsburg.

### Modèle bioclimatique de la tache amère, de l’échaudure molle et du brunissement humide de la chair

Les analyses ont permis de détecter une variabilité régionale importante entre les résultats du Québec et de l’Ontario de sorte que les paramètres météorologiques utilisés par les modèles étaient différents selon qu’il s’agissait des pommes en provenance de l’Ontario ou du Québec. Suivant la région où se trouve le verger, deux versions de chaque modèle sont disponibles, soit une pour chaque province. Le modèle fournit un indice d’incidence du désordre pour le cultivar ‘Honeycrisp’ au cours de la saison de croissance, plus spécifiquement pendant le développement du fruit. Cet indice est basé sur les données météorologiques (température, précipitation et radiation solaire) entre la date de pleine floraison et la date de récolte. Les modèles développés dans le cadre du présent projet ont été implanté dans le logiciel CIPRA et sont accessibles aux intervenants depuis le printemps 2018. Pour une meilleure prédiction du désordre dans un verger, il est recommandé d’indiquer les dates observées de floraison et de récolte. Toutefois, dans CIPRA, un module permet aussi d’estimer ces dates à partir du modèle de phénologie de la ‘McIntosh’. La saison est ensuite séparée en six sous-périodes et à la fin de chaque sous-période, une équation différente génère une prédiction de l’indice d’incidence fondée sur les données météorologiques mesurées depuis la pleine floraison. La qualité des prédictions s’améliore à mesure que le fruit se développe, et ce, jusqu’à la récolte des fruits. La prédiction finale donne une idée des risques de voir apparaître le désordre selon l’historique météorologique de la saison de croissance.

Les Figure 2 suivantes présentent des exemples des prédictions des modèles, version Québec, à partir des données météorologiques de stations en verger au Québec.

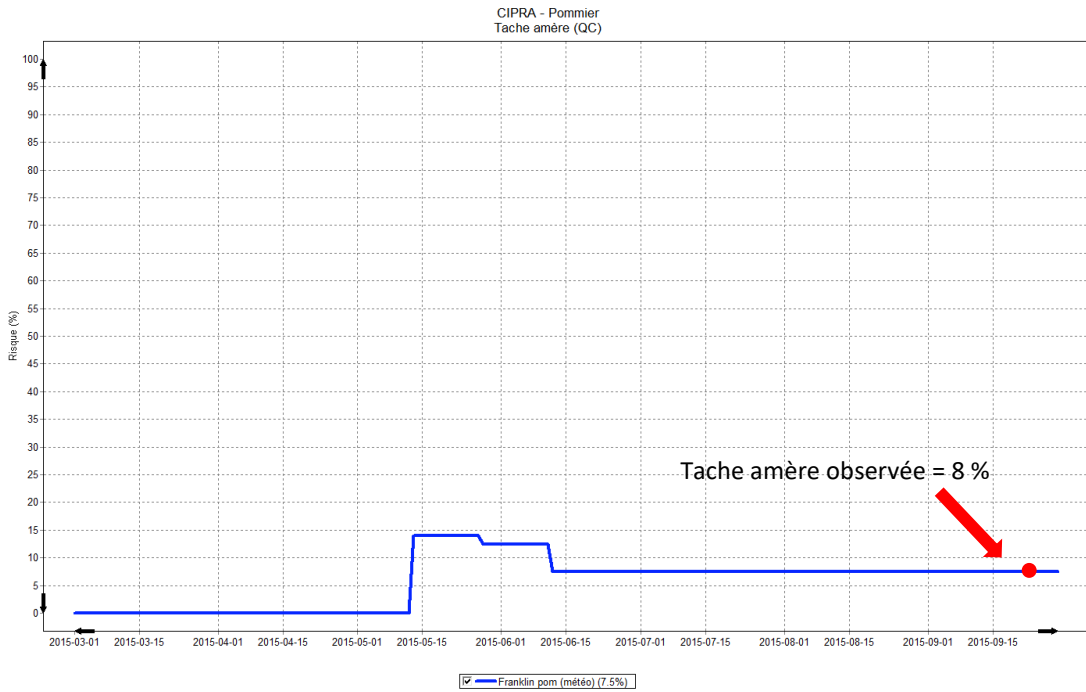


Figure 2. Résultats des prédictions du modèle de la tache amère (QC) dans la pomme 'Honeycrisp', pour la saison 2015 à Franklin. Prédiction du modèle = 7 %.

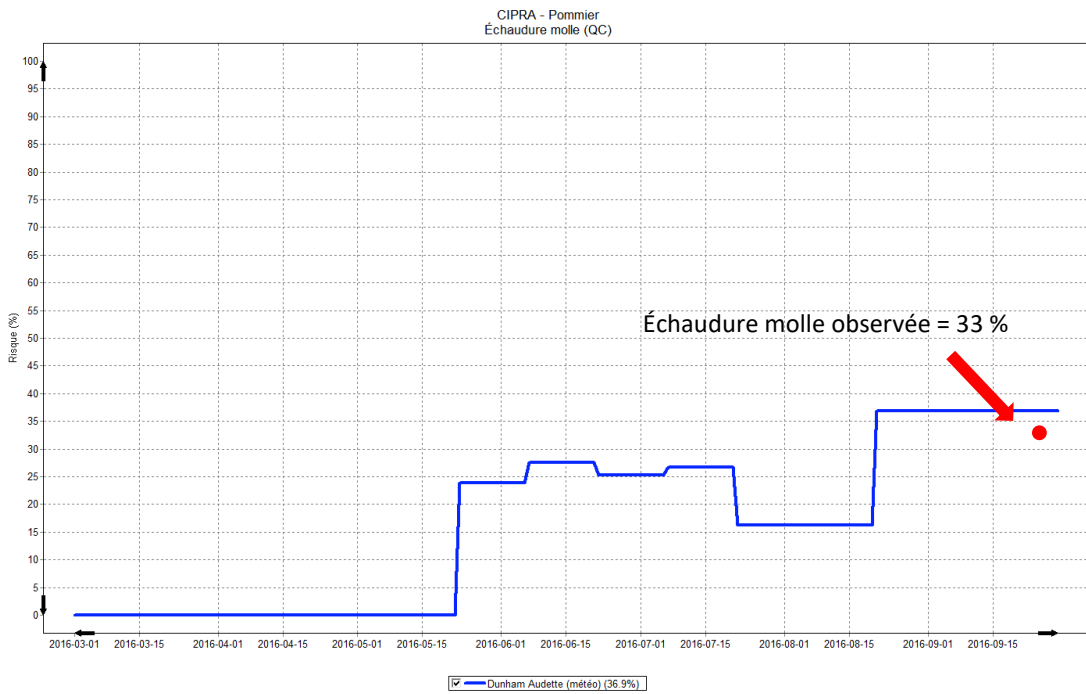
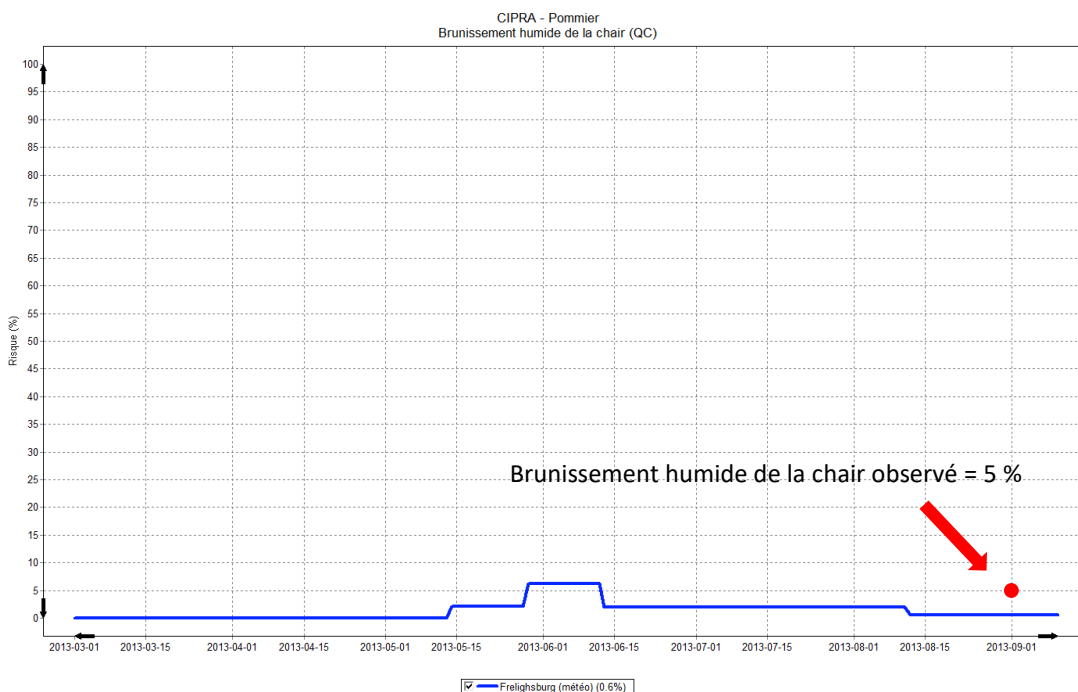


Figure 3. Résultats des prédictions du modèle de l'échaudure molle (QC) dans la pomme 'Honeycrisp', pour la saison 2016 à Dunham. Prédiction du modèle = 37 %.

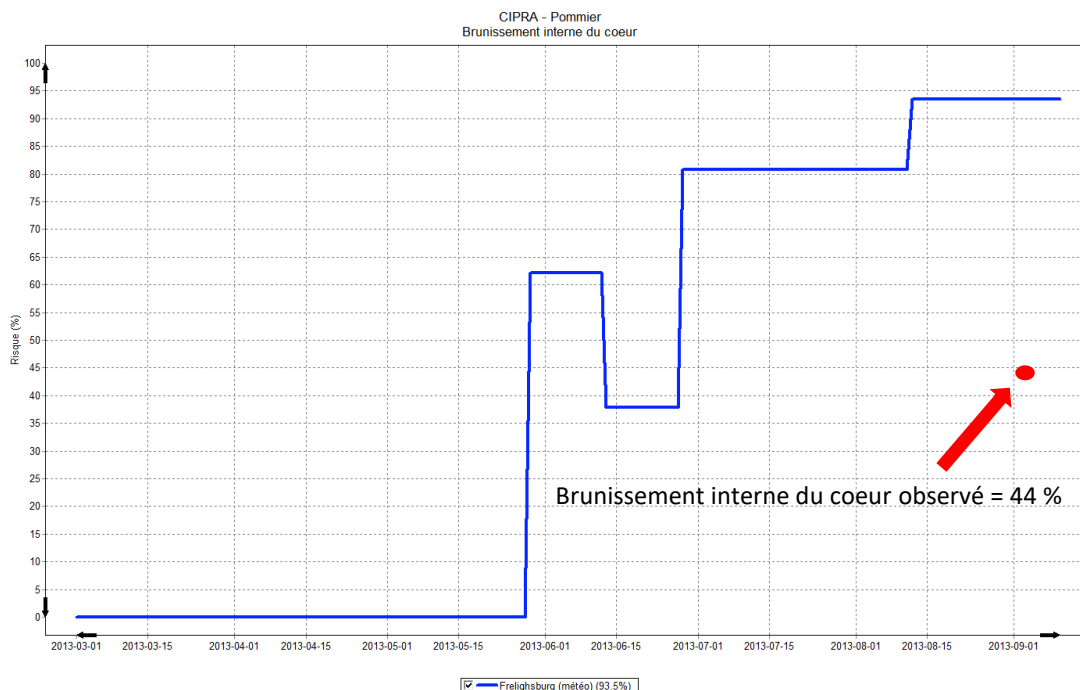


**Figure 4. Résultats des prédictions du modèle du brunissement humide de la chair (QC) dans la pomme ‘Honeycrisp’, pour la saison 2013 à Frelighsburg. Prédiction du modèle = 4 %.**

Pour le développement du modèle du brunissement humide de la chair, les jeux de données étaient moins importants au Québec qu’en Ontario avec 3 et 7 sites respectivement, sur une période de 7 années. Durant la période étudiée, l’incidence observée variait entre 0 et 5 % au Québec et entre 0 et 17 % en Ontario. Le modèle a donc été développé avec un nombre limité de jeux de données et de plus, le désordre n’apparaissait pas de façon systématique à chacun des sites. La variabilité des conditions météorologiques sur la période étudiée étant plus restreinte, l’évaluation avec de nouveaux jeux de données sera d’autant plus importante pour ce modèle, particulièrement au Québec.

### Modèle bioclimatique du brunissement du cœur

Pour le brunissement du cœur, l’analyse des données d’évaluations des pommes a permis de constater qu’il y avait davantage de symptômes sur les pommes ‘Empire’ que sur les ‘McIntosh’, et ce, autant au Québec qu’en Ontario. Contrairement aux autres désordres, le même modèle s’applique pour le Québec et l’Ontario puisqu’aucune différence régionale significative n’a été observée. Certains ajustements restent à faire pour ce modèle étant donné le faible nombre de jeux de données qui étaient disponibles, soit un site au Québec et un site en Ontario sur une période de 4 années. Un exemple des prédictions du modèle implanté dans la version en développement de CIPRA est présenté à la Figure 5 pour la région de Frelighsburg en 2013.



**Figure 5. Résultats des prédictions du modèle du brunissement du cœur dans la pomme ‘Empire’, pour la saison 2013 à Frelighsburg. Prédiction du modèle = 94 %.**

## Discussion

Un des objectifs du projet visait à faire l’inventaire des données disponibles sur la qualité des pommes à la récolte et les désordres physiologiques. Les nombreuses études qui ont été réalisées au cours des années ont permis d’avoir accès à de telles données, qui se sont ensuite avérées une source appréciable d’informations pour le développement des modèles bioclimatiques. Cette banque de données couvre principalement le Québec et l’Ontario.

Au cours du projet, des données additionnelles ont été acquises, particulièrement pour le cultivar ‘Honeycrisp’ qui s’avère très sensible aux désordres d’entrepôt. Ces données ont permis de développer les modèles bioclimatiques pour la tache amère, l’échaudure molle et le brunissement humide de la chair pour ce cultivar. Les analyses ont permis de constater que les facteurs météorologiques jusqu’à 44 jours après la pleine floraison sont ceux qui influencent le plus le développement des désordres post-récolte.

L’analyse des données sur les désordres post-récolte des pommes n’explique pas complètement les phénomènes observés en post-récolte. L’effet de l’eau disponible durant la saison de croissance n’a pas été mesuré au cours des années et peu d’information existait sur la présence ou non d’irrigation dans les vergers d’où provenaient les pommes. Pour tenter de cibler l’effet de l’eau sur le développement des désordres dans le cultivar ‘Honeycrisp’, l’équipe de recherche en bioclimatologie et modélisation a développé un protocole expérimental au verger de la ferme expérimentale d’AAC à L’Acadie. Cette expérience a débuté au printemps 2017, s’est poursuivie en 2018 et sera fort probablement continuer en



2019. L'analyse des données sera effectuée au cours de l'hiver 2019 et permettra potentiellement de raffiner les modèles développés dans le cadre de ce projet.

Les différents désordres mentionnés sont généralement causés par le froid lors de l'entreposage, sauf la tache amère, et il est possible qu'ils s'expriment différemment selon les cultivars mais qu'ils aient la même origine. Il existe tout de même certains types de gestion des récoltes visant à réduire l'incidence des désordres d'entreposage. Parmi ceux-ci, le refroidissement retardé des pommes 'Honeycrisp' est une technique relativement simple. Elle consiste à maintenir la récolte à 10 °C pendant 7 jours avant l'entreposage à long terme. Par la suite, les pommes 'Honeycrisp' peuvent être entreposées à une température entre 3 et 5 °C pour réduire au minimum les risques de développement des désordres. Cette période de préconditionnement s'est avérée efficace dans le contrôle de l'échaudure molle et du brunissement humide de la chair. Il faut aussi mentionner que l'entreposage en atmosphère contrôlée n'est pas encore recommandé pour les pommes 'Honeycrisp' car celles-ci sont particulièrement sensibles aux lésions internes liées au CO<sub>2</sub>.

Les modèles bioclimatiques développés dans le cadre de ce projet étant maintenant implantés dans le logiciel CIPRA et accessibles aux intervenants du milieu, il serait intéressant d'obtenir des observations sur l'incidence des désordres post-récolte sur une période de plusieurs années sur tout le territoire de production pomicole afin de les évaluer sous conditions commerciales. Cela permettrait non seulement d'ajuster les modèles en tant qu'outil de prévision, mais aussi d'assister les producteurs dans la mise en marché des récoltes d'une année donnée.

## Annexe – Description des désordres physiologiques étudiés

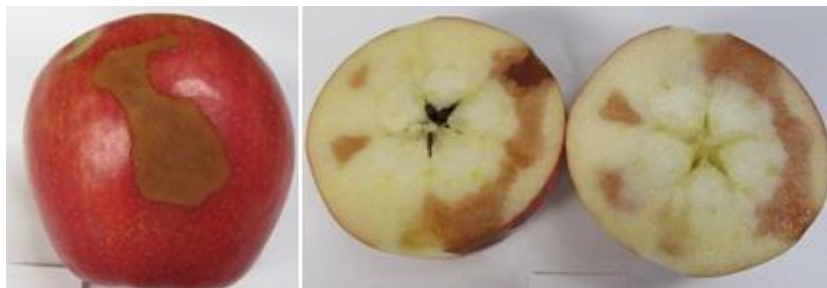
### Tache amère (« Bitter pit »)



<http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/05-048.htm>

La tache amère est un désordre physiologique répandu, lié à de faibles concentrations de calcium et qui peut apparaître à la récolte ou seulement après plusieurs semaines d'entreposage au froid. Les fruits atteints développent des taches liégeuses dans la chair, le plus souvent directement sous la pelure. Extérieurement, le désordre apparaît sous forme de points bruns renfoncés de différentes tailles et se développe habituellement près du calice avant de s'étendre vers la tige. La tache amère est due à une carence en calcium très localisée dans le fruit, mais les causes et les mesures préventives ne se limitent pas à la disponibilité du calcium dans le sol, à l'irrigation et aux applications foliaires de calcium, comme souvent mentionné par l'industrie. De nombreux facteurs tels que les conditions météorologiques, les conditions du sol, les caractéristiques des cultivars et les pratiques culturales jouent tous un rôle, à travers des interactions complexes, dans le développement de la tache amère et le risque d'incidence pour une année et un verger donnés. Au Québec, les cultivars les plus sensibles comprennent 'Honeycrisp', 'Cortland' et 'Passionata' (Grégoire 2017).

### Échaudure molle (« Soft scald »)



L'échaudure molle est un important désordre physiologique lié au refroidissement en entrepôt qui peut apparaître dans les pommes 'Honeycrisp'. Elle se manifeste par l'apparition de lésions brunes, lisses, clairement définies et de formes irrégulières sur la pelure. Le tissu de la pelure est tout d'abord touché, puis le tissu hypodermique est endommagé au fur et à mesure que le désordre se développe. Les lésions de la pelure sont alors souvent envahies par des agents pathogènes secondaires comme *Alternaria* ou *Cladosporium*.

De multiples facteurs sont impliqués dans le développement de l'échaudure molle, principalement la maturité avancée des fruits à la récolte, la faible charge des arbres, les fruits de gros calibre et les basses températures pendant l'entreposage. Le refroidissement différé, qui consiste à placer la récolte le plus tôt possible dans une chambre à 10-20 °C pour une période jusqu'à 7 jours avant l'entreposage est une technique utilisée pour réduire ou empêcher totalement l'échaudure molle. Les pommes sont ensuite entreposées à une température entre 3 et 5°C (DeEll 2017; Prange 2008).

### Brunissement humide de la chair (« Soggy breakdown »)



La pomme 'Honeycrisp' est extrêmement vulnérable au brunissement humide de la chair. Ce désordre physiologique se caractérise par des tissus mous, brunâtres et spongieux dans le cortex du fruit. Dans les cas sévères, des anneaux complets de chair brunâtre peuvent se former. Le brunissement humide de la chair est un trouble lié au refroidissement en entrepôt et se développe habituellement aux températures d'entreposage inférieures à 2 °C. Par conséquent, pour réduire son incidence, il est recommandé d'entreposer la 'Honeycrisp' à 3 °C après un refroidissement partiel (conditionnement) à 10 °C pendant la première semaine d'entreposage. Cette procédure permettra également de réduire les cas d'échaudure molle (DeEll, 2017).

De nombreux facteurs sont associés au développement du brunissement humide de la chair chez les pommes, dont une maturité avancée à la récolte, une faible charge, de gros fruits et une basse température d'entreposage. Les facteurs météorologiques les plus fréquemment mentionnés sont des températures froides et un excès d'humidité près du moment de la récolte (Lachapelle, 2017).

## Brunissement du cœur (« Core browning »)



[www.storagecontrol.com/wp-content/uploads/2016/03/Storage-Disorderso-Apples.pdf](http://www.storagecontrol.com/wp-content/uploads/2016/03/Storage-Disorderso-Apples.pdf)

Dans cette étude, deux types de brunissement ont été observés sur des pommes des cultivars 'Empire' et 'McIntosh', classés en deux désordres différents, soit le brunissement du cœur et le brunissement interne. L'incidence du brunissement du cœur sur 'Empire' était la plus problématique et la plus importante, raison pour laquelle seul le cultivar 'Empire' a été conservé. Les deux désordres n'ont pu être combinés, car certaines pommes présentaient les symptômes de brunissement du cœur en même temps que ceux du brunissement interne.

Le brunissement du cœur se manifeste par une coloration brune diffuse de la chair de la pomme autour du cœur et des carpelles, sans distinction nette entre les tissus sains et les tissus affectés. Il se développe après plusieurs mois d'entreposage au froid et devient plus intense à la température ambiante.

Le brunissement du cœur est plus répandu dans les fruits qui sont récoltés après une période prolongée de temps nuageux, frais ou humide. Par contre, l'incidence est réduite avec une maturité avancée, un refroidissement et un entreposage retardés et des atmosphères à faible teneur en O<sub>2</sub> (DeEll, 2007).