

Évaluation et mise au point de méthodes alternatives aux traitements chimiques après-récolte permettant de lutter contre l'échaudure de prématurité des pommes sans dégradation de la qualité

Mathieu-Hurtiger V.

CTIFL – Centre de St Rémy de Provence - Route de Mollégès – 13210 Saint-Rémy-de-Provence

Correspondance : mathieu-hurtiger@ctifl.fr

Avec la collaboration de l'ensemble des participants au projet : Christophe Aubert, Philippe Bony, Laurence Conq, Bethsabée Gleizer, Pierre Landry, Pierre Vaysse (Ctifl), Marie-Eve Biargues, Ghislaine Monteils (Cefel), Pascale Westercamp (Ctifl – Cefel), Hugues Decrombecque, Christine Tessier (La Morinière), Claude Coureau (Ctifl – La Morinière), Benoit Bortolussi, Sylvain Gerbaud (Société Absoger), Gilles Bompeix, André Marcone (Société Xeda International), Franck Lagasse, Philippe Seguy (Coopérative Stanor), Thierry Clos, Philippe Dupuis (Sica Pom'Alpes), Bertrand Bucher, Jacques Malagie (Les Vergers d'Anjou), Florence Gressier, Patrick Tessier (SICA Gerfruit), Jordi Gine, Christian Larrigaudière, (IRTA - Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries).

Résumé

La pomme est une production majeure en France. En 2013, la France était le 7^{ème} producteur mondial avec plus de 1,7 million de tonnes produites. La France a une clientèle mondialisée, qu'il est nécessaire de pouvoir fournir toute l'année avec un produit sans défaut, notamment sans échaudure de prématurité, brunissement de l'épiderme, tout en maintenant une qualité satisfaisante. Les évolutions techniques et sociétales ont fait qu'il fallait trouver notamment des solutions pour conserver les fruits sans traitements chimiques après récolte. Trois solutions ont alors été identifiées : l'élimination de l'éthylène au cours du stockage, la conservation en atmosphère contrôlée dynamique et le traitement à l'eau chaude après récolte. De ces trois solutions, celle qui est ressortie comme la plus prometteuse est l'atmosphère contrôlée dynamique. Elle permet à la fois un bon contrôle de l'échaudure de prématurité pendant plusieurs mois (jusqu'en mars-avril pour Granny Smith par exemple), avec un niveau de qualité satisfaisante d'un point de vue des mesures physico-chimiques ou d'autres paramètres (qualité gustative, nutritionnelle...). Les deux autres méthodes présentent également un intérêt, mais des travaux complémentaires semblent nécessaires pour affiner leurs utilisations.

Mots-clés : pomme – conservation – Granny Smith – échaudure de prématurité - qualité - 1-MCP – atmosphère contrôlée - atmosphère contrôlée dynamique – traitement à l'eau chaude – élimination de l'éthylène

Abstract: Evaluation and development of alternative methods of post-harvest chemical treatment to fight against superficial scald of apples without quality degradation

The apple is a major fruit production in France. In 2013, France was the 7th world producer with more than 1.7 million tons. France has a worldwide clientele, which it is to be delivered throughout the year with a no-default product, including without superficial scald, darkening of the skin, while maintaining a satisfactory quality. Technical and societal changes made necessary to find new solutions for the storage of fruits without post-harvest chemical treatments. Three solutions were identified: elimination of ethylene during storage, conservation in controlled dynamic atmosphere and treatment with hot water after harvest. From these three solutions, the most promising one is the controlled dynamic atmosphere. It ensures both a good control of superficial scald over several months (until March-April for Granny Smith for example)... with a level of satisfactory quality according to physical and chemical measures or

other parameters (quality taste, nutrition...). The other two methods are also of interest, but further work seems necessary to refine their uses.

Keywords: apple - conservation - Granny Smith - scald of prematurity - quality - 1 - MCP - controlled atmosphere - controlled dynamic atmosphere - hot water - elimination of ethylene treatment

Introduction

Dans un marché concurrentiel et mondialisé, la conservation est une étape clef pour les stations stockant et commercialisant des pommes. La pomme est un des principaux fruits produits dans le monde avec une production annuelle qui se situe entre 70 et 80 millions de tonnes, dont 10 à 12 millions de tonnes pour l'Union européenne, sur la période de 2009 et 2013 selon la FAO (source : FAOSTAT). Sur la même période, la France a produit 1,7 million de tonnes en moyenne par année, ce qui en fait aussi le premier fruit en volume sur le territoire national. La France est l'un des premiers pays exportateurs européens avec l'Italie et la Pologne. Sur la période de 2009 à 2013, la France a ainsi exporté 620 000 tonnes en moyenne (Source : SAA – Statistique agricole annuelle). Ses clients sont nombreux à l'export, notamment au sein de l'Union européenne (le Royaume-Uni, l'Espagne, l'Allemagne et les Pays-Bas...), et sont exigeants en termes de qualité tout au long de l'année.

À l'exception de quelques variétés précoces, la majorité des pommes sont commercialisées pendant plusieurs mois, jusqu'à un an pour les stockages les plus longs. Différents problèmes peuvent apparaître pendant le stockage et dégrader la qualité : maladies fongiques ou physiologiques, perte de fermeté... Pour les variétés sensibles, l'un des principaux risques de déclassement à l'issue de la conservation est l'apparition d'échaudure de prématurité. Cette maladie physiologique est un brunissement de l'épiderme. La performance des techniques de conservation utilisées est donc stratégique d'un point de vue économique pour l'arboriculture.

En 2009, à l'origine du projet, les stations de conservation de pomme utilisaient le froid, l'atmosphère contrôlée (AC) et les traitements chimiques après récolte pour arriver à leurs fins, notamment la diphénylamine (DPA) ou le 1-méthylcyclopropène (1-MCP, dont le nom commercial est SmartFreshSM). La demande professionnelle était alors forte pour trouver des méthodes alternatives aux traitements chimiques après récolte permettant de préserver la qualité des fruits sur le long terme. La DPA était en sursis. Les autorisations de mise sur le marché (AMM) de ces produits furent d'ailleurs retirées en mai 2010. De plus, l'utilisation du 1-MCP restait difficile pour un certain nombre de stations fruitières, en raison de son mode d'application particulier (sous forme gazeuse) et de son coût très élevé, ou son utilisation impossible sur certaines variétés (ex Braeburn ou Ariane_{cov}). Au-delà de cette demande professionnelle, le constat était également fait que les distributeurs et les consommateurs étaient aussi à la recherche de produits « non traités après récolte ». *In fine*, les fruits devaient être non seulement indemnes d'échaudure de prématurité, mais aussi présenter des caractéristiques qualitatives et nutritionnelles satisfaisantes pour le consommateur (fermeté, goût, taux de sucre, arômes, composés d'intérêt nutritionnel...). Les professionnels se devaient donc de revoir certaines méthodes de conservation, ces techniques devant être utilisables en agriculture conventionnelle ou biologique.

Trois solutions techniques alternatives avaient alors été identifiées : l'élimination de l'éthylène au cours du stockage, la conservation en atmosphère contrôlée dynamique (AC Dynamique) et le traitement à l'eau chaude après récolte. À l'époque, ces techniques n'avaient quasiment jamais été utilisées par des stations fruitières françaises stockant des pommes. Il semblait donc nécessaire de les évaluer à un stade expérimental mais également d'accompagner le transfert et l'implantation à l'échelle industrielle.

Dans ce contexte, un projet en réseau fut mené par le Ctifl en partenariat avec les stations régionales d'expérimentation du Cefel et de La Morinière et différents partenaires industriels (les sociétés Absoger

et Xeda International) et professionnels (les stations fruitières : Coopérative Stanor, Sica Pom'Alpes, Les Vergers d'Anjou et SICA Gerfruit). L'IRTA, Centre de recherche espagnol, fut aussi associé au projet pour sa compétence sur la partie des travaux concernant la biochimie de l'échaudure de prématurité. Entre 2010 et 2013, ce travail a été soutenu par le Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt dans le cadre d'un projet CASDAR « Évaluation et mise au point de méthodes alternatives aux traitements chimiques après-récolte permettant de lutter contre l'échaudure de prématurité des pommes sans dégradation de la qualité ».

1. Démarche générale

1.1 L'échaudure de prématurité, un désordre physiologique

Au cœur de ce projet se trouve un désordre majeur pour les pommes : l'échaudure de prématurité (« superficial scald » en anglais). Ce brunissement de l'épiderme a été la principale notation de ces travaux, même si de nombreuses autres étaient réalisées pour évaluer la qualité des fruits.

C'est l'un des principaux défauts apparaissant sur pomme au cours de la conservation. Cette maladie est due à l'oxydation de l' α -farnésène, constituant volatil des cires de l'épiderme. Les produits de cette oxydation sont des triènes conjugués (ou triènes hydroperoxydes) dont l'accumulation conduit à la mort des cellules de l'épiderme et à son brunissement. Les teneurs en α -farnésène augmentent pendant les deux premiers mois de stockage puis diminuent, tandis que celles en triènes augmentent régulièrement pendant la conservation au froid. Les symptômes s'intensifient progressivement au cours du stockage et s'extériorisent pleinement lorsque les fruits sont remis à température ambiante. Pour les variétés sensibles à ce désordre, comme Granny Smith, l'échaudure de prématurité se développe en froid normal à partir de décembre, soit 2-3 mois après la période de récolte. La sensibilité à ce désordre est néanmoins très variable selon les variétés et est accentuée par des récoltes précoces, des températures élevées en verger avant la récolte et la présence d'éthylène dans les chambres froides ; l'éthylène favorisant l'apparition de l' α -farnésène. (Bondoux, 1992 ; Chapon *et al.*, 1996 ; Giraud *et al.*, 2001).

Les méthodes connues agissent en éliminant l'éthylène de l'équation, comme avec le 1-MCP antagoniste de l'éthylène (Coureau *et al.*, 2005), ou en limitant l'oxydation de l' α -farnésène (conservation sous basses teneurs en oxygène).

À partir de ces connaissances préliminaires, les travaux mis en œuvre dans ce projet ont eu pour objectif d'arriver à conserver les pommes sans traitement chimique après récolte, avec différentes méthodes alternatives, avec au final un fruit indemne d'échaudure et présentant une qualité générale satisfaisante.

1.2 Les axes du projet

Avec les partenaires de la recherche et de l'expérimentation, l'objectif était de comprendre le fonctionnement de ces méthodes alternatives et de les évaluer. Avec les équipementiers et les stations fruitières partenaires, l'idée était de travailler à la mise au point et à l'adaptation des différentes méthodes aux conditions des stations fruitières, de façon à permettre leurs implantations à l'échelle industrielle (grandeur nature). La finalité de l'étude était de proposer, après conservation, des fruits indemnes d'échaudure de prématurité et présentant des caractéristiques qualitatives et nutritionnelles satisfaisantes.

Le projet a donc été organisé autour de trois axes :

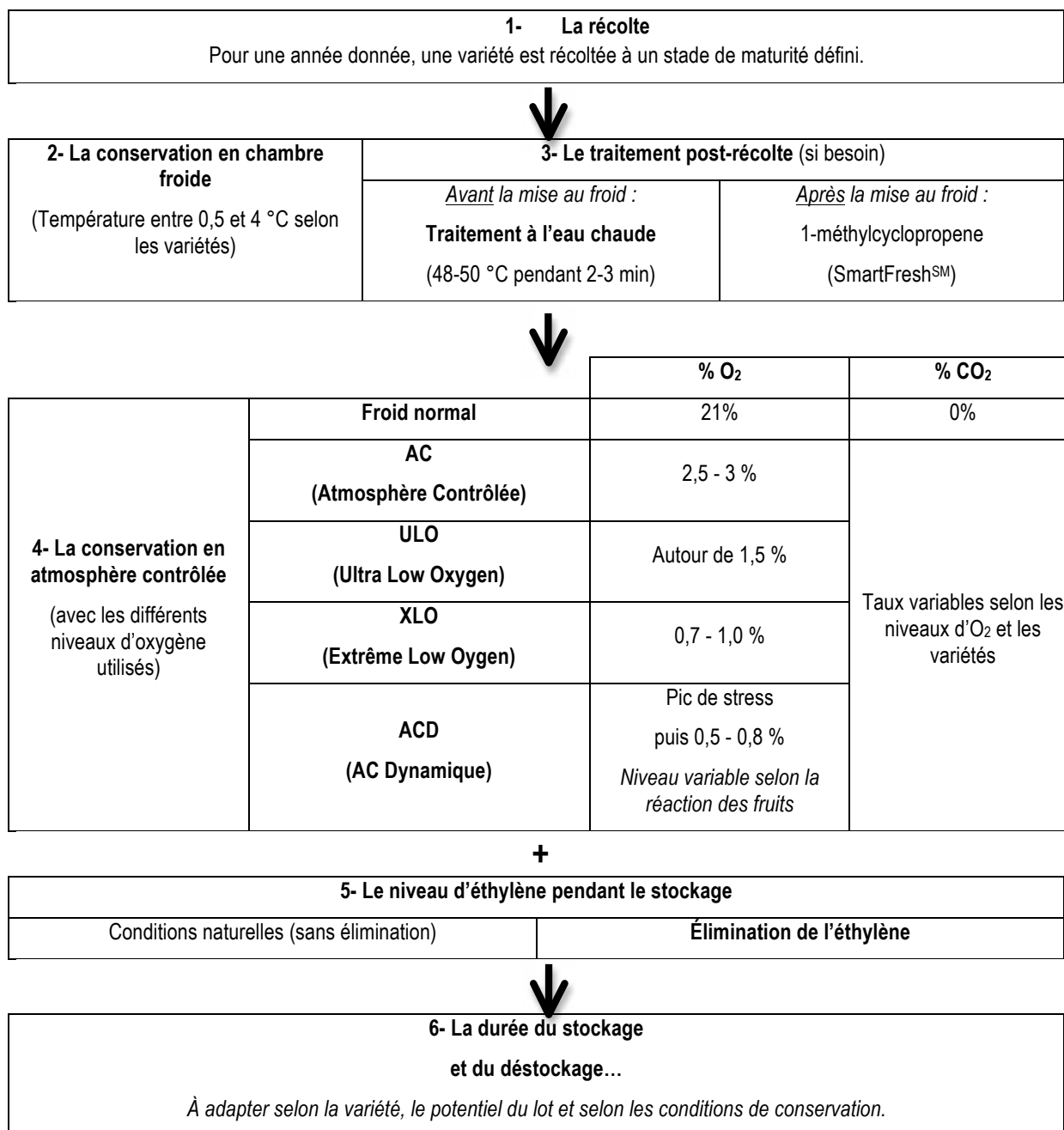
- comprendre le mode d'action au niveau biochimique de ces méthodes et définir un marqueur capable de prédire l'altération avant l'apparition des symptômes d'échaudure de prématurité ;

- identifier la ou les méthodes efficaces vis-à-vis de l'échaudure de prématuration permettant en même temps de préserver la qualité des fruits et optimiser leur application ;
- les tester et les diffuser dans les stations fruitières et auprès de la filière professionnelle « pomme ».

1.3 Les méthodes post-récoltes alternatives évaluées

Comme illustrées par la figure 1, les différentes techniques étudiées dans le projet ne s'emploient pas au même stade dans le processus mis en œuvre pour conserver les pommes. A minima, les pommes sont stockées en chambre froide à une température basse (0,5 à 4 °C¹ selon les variétés).

Figure 1 : Éléments à prendre en compte pour conserver des pommes en atmosphère contrôlée et limiter l'échaudure de prématuration. (Mathieu-Hurtiger *et al.*, 2014)



¹ Les températures indiquées dans l'article sont globalement à considérer à +/- 0,5 °C.

1.3.1. Traitement à l'eau chaude

Le traitement à l'eau chaude est effectué rapidement après la récolte. Il s'agit ici d'un trempage des fruits dans une eau à 48-50°C pendant deux à trois minutes. Les fruits sont ensuite mis au froid après ressuyage.

Principalement utilisé pour ses propriétés antifongique et antiparasitaire, le traitement à l'eau chaude peut également avoir un effet sur le contrôle de l'échaudure de prématurité et sur la maturation du fruit. Premièrement, l'inhibition de la synthèse d'éthylène par la chaleur limite de ce fait l'accumulation d' α -farnesène. Deuxièmement, le traitement thermique réduit la couche de cire des pommes et change sa structure. Or, l' α -farnesène étant volatil, la réduction de la cire facilite sa dissipation et limite l'accumulation des composés oxydés qui conduiront à l'échaudure de prématurité. Enfin, bien que les pommes soient peu sensibles aux basses températures, l'échaudure de prématurité peut être considérée comme un désordre physiologique proche d'un dégât du froid (chilling injury). Or, ce type de traitement engendre une thermotolérance grâce à la synthèse de protéines de stress thermique (Heat shock proteins), qui « protègent » les fruits (Fallik, 2004 ; Lurie 1998a ; Lurie 1998b).

Concernant l'effet sur l'échaudure de prématurité, les travaux menés jusqu'à présent indiquent une efficacité parfois partielle ou limitée dans le temps (Jemric *et al.*, 2006 ; Mazollier *et al.*, 2000 ; Westercamp *et al.*, 2003). Dans le projet, il s'agissait donc d'améliorer l'efficacité de cette méthode, notamment en l'utilisant en complément de l'atmosphère contrôlée (AC ou autres), afin de permettre un contrôle total de l'échaudure de prématurité.

1.3.2. Stockage sous atmosphère contrôlée dynamique

La conservation en AC Dynamique est une atmosphère contrôlée (AC) à un niveau d'oxygène très bas (inférieur à 1%). Utilisée couramment, la conservation en AC a pour objectif de limiter la présence d'oxygène afin de réduire la respiration du fruit. La pomme respirant moins, les différents mécanismes conduisant à sa sénescence sont donc ralentis, comme l'apparition d'échaudure de prématurité. Toutefois, il est nécessaire de bien contrôler ces taux d'O₂ et de CO₂ afin de ne pas provoquer d'asphyxie ou de fermentation.

Pour l'AC Dynamique, le principe est d'atteindre la limite en oxygène la plus basse acceptable par le fruit. À cette fin, des capteurs ont été développés (système HarvestWatch) afin de suivre la fluorescence de la chlorophylle pendant la conservation. En effet, les changements de fluorescence de ce composé permettent d'estimer la réponse de la plante à divers stress : environnementaux, chimiques ou biologiques et donc de contrôler les fruits pour éviter asphyxie ou fermentation (DeRell *et al.*, 1999).

Au cours de la descente en oxygène de la chambre de stockage, le suivi des changements de fluorescence permet de savoir à quel moment le fruit est soumis à un stress causé par une faible teneur en oxygène. Le stress n'intervenant pas toujours au même niveau, il y a adaptation à la réaction du fruit, d'où l'aspect « dynamique » de l'AC. Une fois la limite la plus basse atteinte, un pic de stress est identifié. La consigne est alors définie avec un taux d'oxygène de 0,2 % supérieur à ce point (avec un minimum de 0,4 - 0,5 % d'O₂). La mesure de fluorescence se poursuit ensuite durant toute la conservation (Mathieu-Hurtiger *et al.*, 2013)

À l'origine du projet, quelques premiers résultats obtenus au Canada ou en Italie semblaient positifs pour le maintien de la qualité et le contrôle de l'échaudure de prématurité. Les fruits stockés en AC Dynamique étaient en général plus fermes que ceux en AC avec dans la plupart des cas un contrôle de l'échaudure de prématurité. Aucun mauvais goût ou fermentation n'avait été observé (DeLong *et al.*, 2004 ; DeLong *et al.*, 2007 ; Zanella *et al.*, 2005).

Néanmoins, il restait à valider cette technique sur un plus grand nombre d'essais, en tenant compte de l'incidence de l'année et des variétés différentes.

Dans le projet, l'AC Dynamique a été réalisée à l'aide du système HarvestWatch, commercialisé par la société Italienne Isolcell. Il existe désormais différents systèmes d'AC Dynamique, utilisant d'autres mesures. Nous aborderons ce point dans les perspectives de l'article.

1.3.3. Élimination de l'éthylène

L'élimination de l'éthylène se fait pendant toute la durée du stockage. L'objectif, comme évoqué précédemment, est de limiter la présence d'éthylène afin de réduire la production d' α -farnésène et donc l'apparition d'échaudure de prématurité. Divers travaux ont montré un intérêt vis-à-vis du risque d'échaudure de prématurité lorsque l'éthylène est éliminé durant des stockages en AC. Il y est aussi rapporté que différents facteurs influencent l'effet des basses teneurs en éthylène sur les pommes, notamment la variété et l'année. Les résultats peuvent de ce fait être assez variables. Toutefois, les meilleurs résultats ont généralement été observés pour une concentration en éthylène inférieure à 1 ppm (partie par million) alors qu'une chambre en AC peut normalement avoir une concentration en éthylène supérieure à 100 ppm. (Blanpied, 1990 ; Graell *et al.*, 1992 ; Liu, 1984). Il était donc nécessaire de poursuivre les travaux sur cette thématique pour approfondir les connaissances.

En pratique dans ce projet, l'éthylène a été éliminé de manière chimique (à l'aide de billes d'argile imprégnées de permanganate de potassium) ou de manière physique (avec les appareils EcoScrub de la société Absoger). De plus, l'élimination de l'éthylène a été ici associée à des conservations en atmosphère contrôlée (AC ou autres). Un point d'intérêt est à relever : plus la teneur en oxygène diminue, moins il y a d'éthylène à éliminer.

1.4 Matériels et Méthodes

Les principales méthodes comparées ont été listées. L'objectif était de les évaluer par rapport à des modes de conservation connues, pour différentes variétés et en réalisant un grand nombre de mesures.

1.4.1. Les témoins

Pour évaluer l'intérêt de ces nouvelles méthodes, des comparaisons ont donc été faites avec des modalités « témoin », souvent des stockages en AC ou en ULO (Ultra Low Oxygen, autour d'1,5 % d'O₂). Selon les cas, des lots traités au 1-MCP ont été également mis en comparaison. Pour rappel, sur pomme, ce produit est encore à ce jour, en 2015, le seul traitement phytosanitaire autorisé en post-récolte contre l'échaudure. La conservation sous très basses teneurs en oxygène, Extrême Low Oxygen (XLO) avec des taux d'O₂ inférieurs à 1 %, a aussi été associée aux comparaisons. Cette technique se développait dans les stations fruitières françaises. Elle a parfois été combinée à l'élimination de l'éthylène.

Remarque : Le stockage en froid normal a rapidement été considéré sans intérêt pour notre étude car limitant par rapport aux durées de conservation envisagées.

1.4.2. Matériel végétal

Avec des partenaires présents dans les différents bassins de production, l'objectif a été de travailler sur des variétés sensibles à l'échaudure de prématurité. Il s'agissait de pouvoir répéter certains essais et également de faire varier différents paramètres selon les sites. L'objectif était aussi de prendre en compte la variabilité liée à l'année et aux conditions pédoclimatiques. Un grand nombre de tests ont été menés sur Granny Smith qui peut être considérée comme la variété modèle pour cette étude, mais aussi sur un large panel variétal : Golden Delicious, Pink Lady®, Ariane_{cov}, Belchard®, Chouquette®, Gala, Rouge Américaine, Tentation®, Dalinette_{cov} et Juliet® (les deux dernières en Agriculture Biologique).

1.4.3. Observations et mesures

Pour la majorité des essais, à l'ouverture des chambres d'AC, les fruits ont été laissés deux semaines au froid pour simuler la phase d'attente en station avant la commercialisation. Puis, les fruits ont été mis une semaine à 18 °C avant mesures et observations pour simuler une mise au point de vente ou une période chez le consommateur (shelf-life).

L'échaudure de prématurité a été la principale notation de ces travaux. Néanmoins, la qualité globale des fruits a aussi été évaluée à travers des mesures physico-chimiques (fermeté, indice réfractométrique, acidité) et l'observation des autres désordres (pourritures, défauts internes...).

Pour certains essais, des mesures de qualité nutritionnelle, aromatique et gustative ont été faites en complément. Ces mesures n'ont pas été généralisées du fait de leur complexité et de leurs coûts. Les analyses sensorielles et les analyses nutritionnelles et aromatiques ont été réalisées au Ctifl (centre de Lanxade pour la partie sensorielle et centre de Saint Rémy de Provence pour les autres analyses). De même, les mesures de constituants biochimiques de l'épiderme, réalisé par l'IRTA (Lérida, Espagne), n'ont concerné que certains essais.

2. Les résultats obtenus

2.1 Compréhension des phénomènes biochimiques ayant une influence sur l'apparition d'échaudure de prématurité

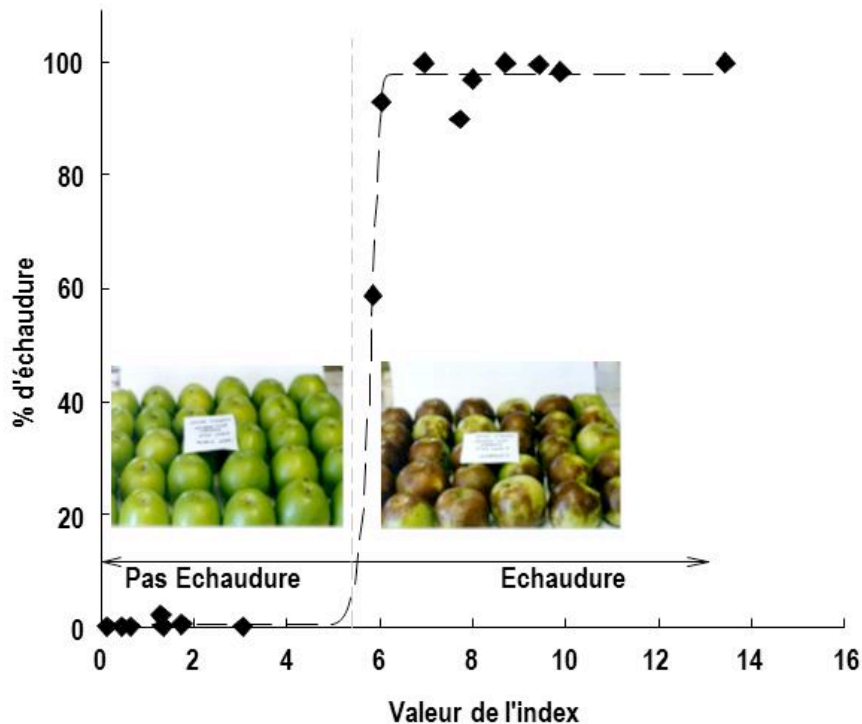
Un des objectifs du projet était d'identifier un marqueur biochimique capable de prédire le désordre avant l'apparition des symptômes, de quantifier pour chacune des méthodes alternatives les variations des marqueurs de l'échaudure de prématurité pour bien comprendre l'impact des méthodes alternatives et enfin d'utiliser cette information pour affiner l'utilisation des méthodes.

Les résultats des deux premières années de recherche n'ont pas permis d'établir une relation satisfaisante entre marqueurs biochimiques de peroxydation et/ou antioxydants et l'incidence d'échaudure. Le suivi des variations en chlorophylles n'a pas permis non plus de développer ce marqueur. Par contre, il a ensuite été établi une étroite corrélation entre l'accumulation des composés du métabolisme de l' α -farnésène (α -farnésène, CT₂₅₈, CT₂₈₁) et l'échaudure. Ces résultats ont permis de développer un modèle de prédiction (Figure 2) basé sur les cinétiques d'accumulation des CTHs.

Ce modèle, bien que ne permettant pas de déterminer le taux d'échaudure final en pourcentage, s'est montré fiable pour décrire les lots qui allaient développer l'échaudure. Le modèle a été validé durant deux années consécutives aussi bien sur des pommes de la variété Granny Smith que sur des pommes de la variété Red Delicious. Il a été établi une corrélation entre le suivi des différences de production d'éthylène à 20°C après 10 jours de conservation à 0,5°C et la sensibilité ultérieure des lots en conservation. Ce nouveau modèle de prédiction, bien que préliminaire, est d'intérêt pour donner une prédiction à court terme après la récolte.

Dans son ensemble, les travaux réalisés au cours des trois années du projet ont permis de définir l'impact que pouvaient avoir différents paramètres biochimiques sur le développement de l'échaudure. Ils ont aussi permis de développer un modèle de prédiction indiquant les lots qui vont développer de l'échaudure dans les deux premiers mois de conservation et un modèle préliminaire de prédiction à la récolte. L'ensemble de cette démarche peut donc être considérée comme une avance substantielle dans le domaine de la prédiction de ce désordre. Une validation complémentaire à grande échelle, spécialement dans le cas du modèle à la récolte, apparaît cependant nécessaire avant de pouvoir mettre en oeuvre ces modèles au niveau commercial.

Figure 2 : Modèle de prédiction de l'échaudure. Relation entre le pourcentage d'échaudure après 4 mois de stockage au froid et 7 jours de shelf-life et le taux d'accumulation CTols (dCTols / dt) tel que rapporté par Giné Bordonaba et al. (2013). La ligne verticale en pointillé indique la valeur de seuil proposé de 5,5.



2.2 Détermination et amélioration des méthodes permettant un bon maintien de la qualité du fruit au cours de la conservation

Les questions ici posées étaient centrales par rapport à ce projet. Il s'agissait principalement d'évaluer l'efficacité des méthodes au regard du contrôle de l'échaudure de prématurité et de la qualité globale des fruits, afin d'identifier les points clefs et les limites des différents systèmes.

2.2.1. Impact sur le contrôle de l'échaudure

Après trois années d'essais, en particulier sur Granny Smith, l'AC Dynamique ou l'Extrême LO apparaissent comme des techniques permettant de conserver les fruits indemnes d'échaudure sur une longue période, au moins 5-6 mois (jusqu'en mars-avril). La figure 3 illustre cette efficacité. Il est possible d'étendre cette période selon les variétés.

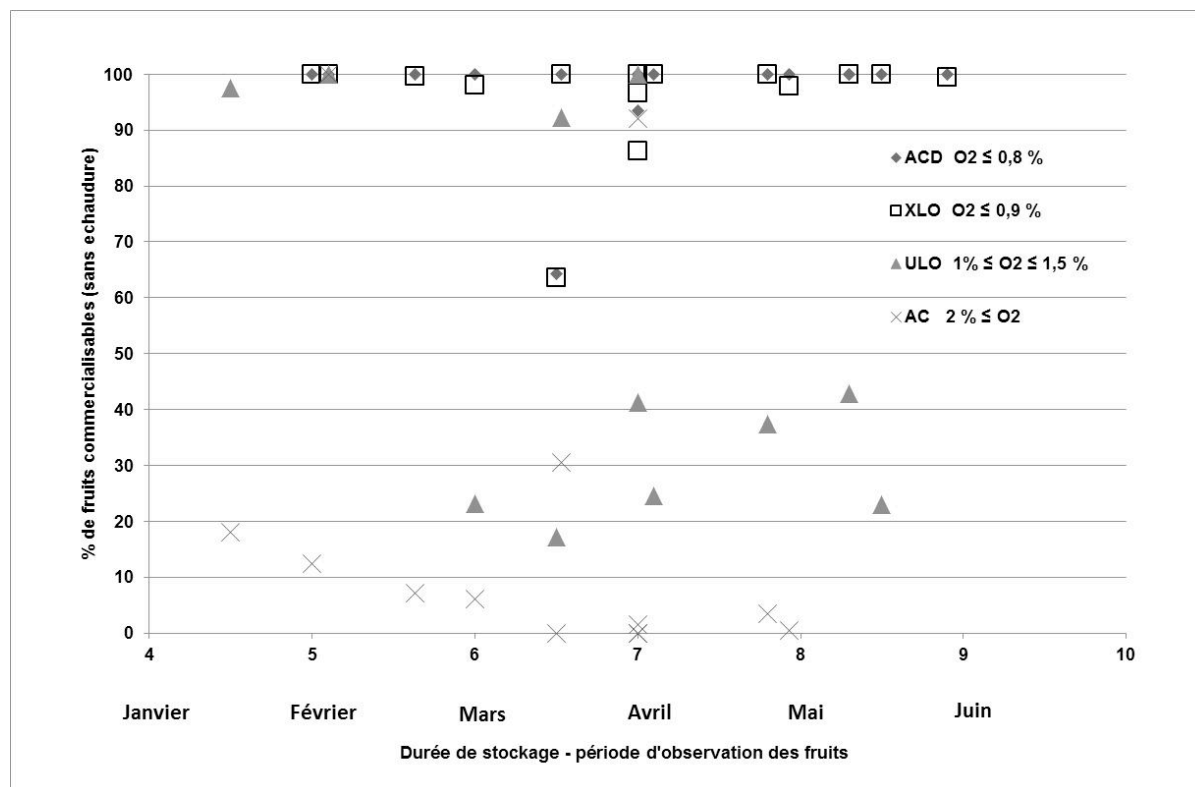
Ces méthodes de conservation sont fiables dans la mesure où un ensemble de bonnes pratiques est respecté. Elles demandent par ailleurs un matériel pointu et une surveillance quotidienne. Ces méthodes peuvent être considérées comme une alternative potentielle aux traitements chimiques post-récolte.

Les autres techniques testées, l'élimination d'éthylène et le traitement post-récolte à l'eau chaude, ne permettent pas de contrôler l'échaudure de prématurité avec leur seule utilisation, sur des variétés sensibles à l'échaudure de prématurité comme Granny Smith. En l'état, pour cette variété, ces méthodes ne sont pas des alternatives aux traitements chimiques après récolte. Il faut *a minima* les associer à une conservation en ULO (Figure 4).

Pour d'autres variétés, une efficacité est constatée avec leur utilisation, mais il apparaît souvent nécessaire de les combiner aussi avec de l'atmosphère contrôlée. (Coureau *et al.*, 2013)

Concernant les techniques de conservations sous très basses teneurs en oxygène (AC Dynamique ou Extrême LO), les travaux menés au cours des différentes années du projet ont permis de prendre en considération un grand nombre de cas de figure et d'explorer les questions autour de leur utilisation.

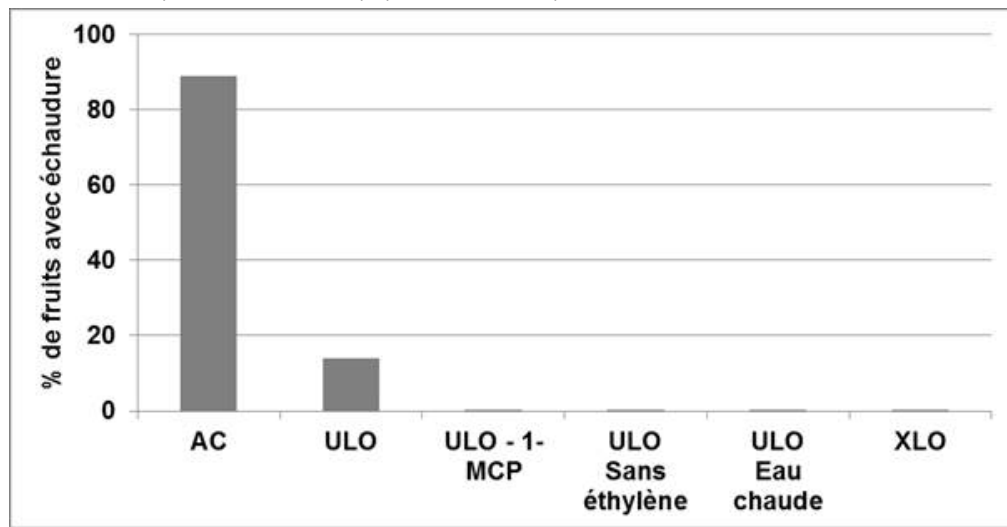
Figure 3 : Compilation des résultats de différents essais conduits au Ctifl, au Cefel et à La Morinière sur Granny Smith. Pourcentage de fruits commercialisables (sans échaudure de prématuration) après la fin du stockage, 15 jours de froid normal et 7 jours de shelf-life. (Coureau *et al.*, 2013)



Ci-dessous, quelques exemples de ces questionnements auxquels des réponses ont été apportées :

- Est-ce qu'il y a un risque pour les fruits à les stocker à des taux inférieurs à 1% d'oxygène ? Non, aucun désordre lié à une fermentation n'a été constaté. Les fruits ne présentaient pas non plus de mauvais goût après stockage.
- Est-ce que l'efficacité de ces conservations est durable dans le temps ? Oui pour des durées de déstockage d'une quinzaine de jours voire d'un mois. Au-delà, pour des déstockages très longs (deux mois), l'utilisation du 1-MCP reste plus fiable. C'est notamment le cas pour des circuits de distribution vers l'Asie, comprenant un délai d'attente dans la station d'expédition, une exportation en conteneur par voie maritime, un passage en magasin et enfin la consommation du produit.
- Est-ce que ces techniques sont efficaces sur des lots très sensibles à l'échaudure ? Oui, mais il est nécessaire de respecter un certain nombre de bonnes pratiques afin d'avoir l'efficacité maximale : mettre rapidement les fruits au froid et en atmosphère contrôlée, ne pas conserver longtemps les fruits récoltés trop précocement.

Figure 4 : Observation de l'échaudure de prématuration sur Granny Smith après 7,5 mois d'atmosphère contrôlée, 14 jours en froid normal et 7 jours de shelf-life. Les conditions de conservation étaient les suivantes : ULO (1,5% d'O₂-1,1% de CO₂) – XLO (1% d'O₂ – 1,1% de CO₂) – sans éthylène (< 0,4 ppm ; sinon entre 10 et 30 ppm) – trempage à l'eau chaude (3 minutes à 50 °C). (essai Ctifl 2012).

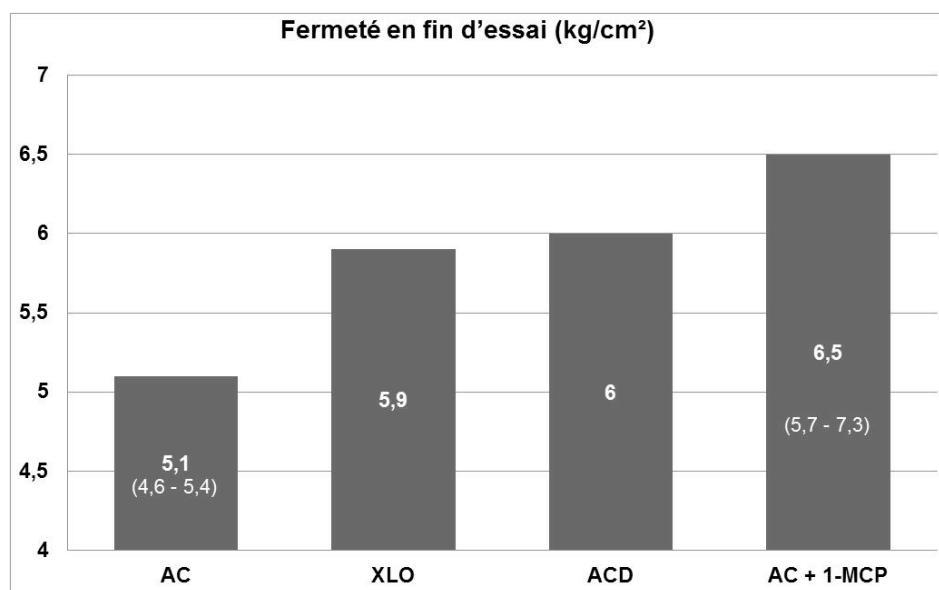


2.2.2. Impact sur le maintien de la qualité globale

En complément, concernant la qualité du fruit (fermeté, sucre, acidité), celle-ci évolue globalement de manière cohérente avec les observations sur l'échaudure de prématuration. La conservation est très satisfaisante dans des atmosphères sous très basses teneurs en oxygène ou avec un traitement au 1-MCP. La figure 5 est une compilation de résultats sur Golden Delicious qui illustre cette tendance sur le maintien de la fermeté.

Dans le détail, les résultats changent d'une variété à l'autre, avec selon les cas des résultats intéressants également pour le traitement à l'eau chaude ou l'élimination d'éthylène.

Figure 5 : Comparaison de la fermeté sur Golden Delicious en fin d'essai. Compilation de 5 essais Ctifl, Cefel, La Morinière sur 3 années. Mesures faites en avril – mai, après une simulation de déstockage et 7 jours de shelf-life. Les valeurs indiquées pour l'AC ou le « AC + 1-MCP » sont les extrêmes constatés. (Mathieu-Hurtiger *et al.*, 2014)



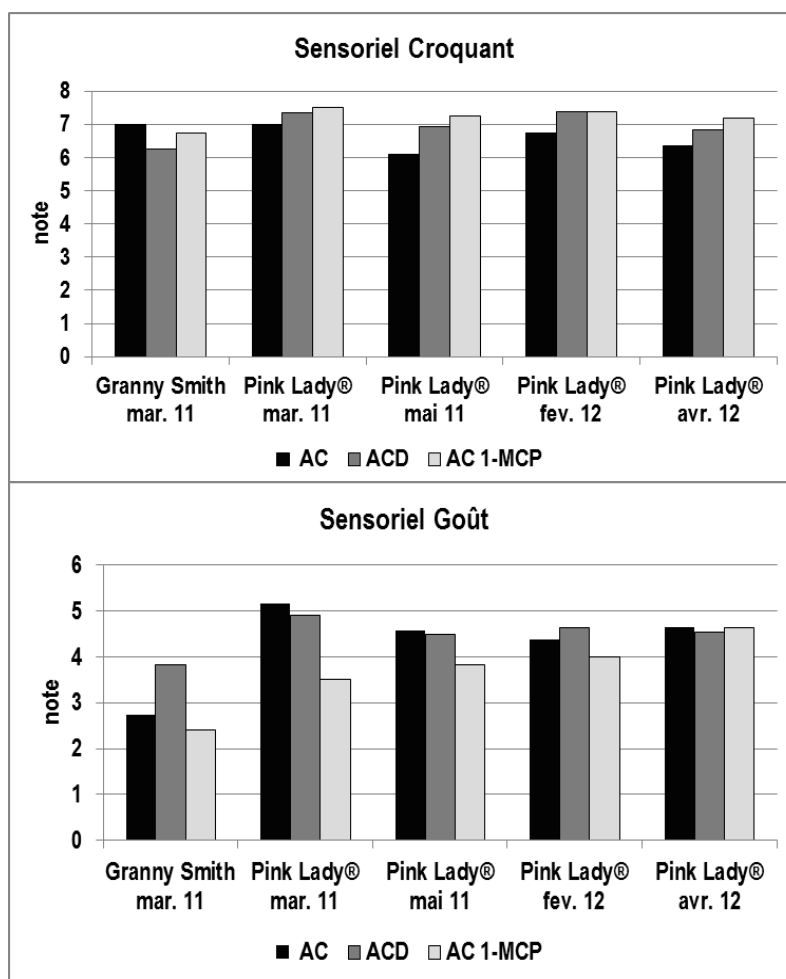
2.2.3. Impact sur le goût, la qualité gustative

Au cours du projet, diverses analyses sensorielles et hédoniques ont été réalisées sur des pommes Pink Lady® ou Granny Smith soumises à des conservations en AC, AC et 1-MCP et AC Dynamique notamment.

Les analyses sensorielles, réalisées par un panel de dégustateurs entraînés, ont permis de dégager des tendances (Figure 6). Concernant l'évolution des critères sensoriels liés aux modes de conservation, une réduction du goût global est constatée avec le 1-MCP et à un degré moindre avec l'AC Dynamique. Pour les descripteurs de texture, les traitements 1-MCP et AC Dynamique augmentent le croquant et réduisent inversement l'aspect farineux. Cette dimension texture est dépendante de la variété avec des effets moins marqués sur la variété Pink Lady®.

En 2013, un test hédonique réalisé sur Pink Lady® a montré que toutes les modalités testées ont reçu des notes de satisfactions élevées. En complément, un test discriminatif a été réalisé sur ces mêmes pommes. Il s'agissait d'un test « 2 parmi 5 » réalisé par un panel de dégustateurs. Le principal résultat est que le panel n'a pas pu différencier les deux paires proposées 1-MCP vs AC Dynamique ou AC vs AC Dynamique. Les écarts sur les mesures physico-chimiques ont été insuffisants pour réellement discriminer les lots. Les lots proposés ont donc été considérés comme gustativement identiques. (Mathieu-Hurtiger, 2014)

Figure 6 : Évolution des critères de goût et de croquant dans le temps pour les diverses variétés. Compilation d'essais Ctifl à différentes dates. (Mathieu-Hurtiger *et al.*, 2014)



2.2.4. Impact sur la qualité aromatique et nutritionnelle

En lien avec l'évaluation de l'impact des différentes modalités sur le goût, les résultats des travaux sur la qualité aromatique de ces fruits montrent que les teneurs en composés volatils sont grandement influencés par le mode et la durée de conservation.

La diminution de ces derniers est importante avec les traitements 1-MCP et dans une moindre mesure avec l'AC Dynamique. Cela corrobore les constats faits ci-dessus concernant la baisse du « goût global » pour les fruits traités au 1-MCP. Cependant, les faibles différences constatées dans les tests de dégustation mettent en évidence la notion complexe de « qualité gustative » qui prend en compte d'autres critères que le potentiel « aromatique » des fruits (Aubert *et al.*, 2012).

Ainsi, si le 1-MCP et l'AC Dynamique génèrent une baisse globale du goût, notamment en début de campagne, le gain de texture que ces techniques procurent est particulièrement intéressant pour des stockages longs.

Concernant la qualité nutritionnelle des fruits, sur laquelle nous avons peu de référence, les résultats de cette étude montrent que d'une manière générale les teneurs en composés polyphénoliques évoluent peu au cours du temps et qu'elles sont peu influencées par les modes de conservation utilisés (Aubert *et al.*, 2015).

2.3 Pré-développement de ces méthodes en stations fruitières et transfert des résultats aux professionnels

Face aux enjeux évoqués en préambule, l'objectif de ce projet était également d'avoir un transfert rapide de l'ensemble de ces techniques et des résultats vers les stations fruitières.

2.3.1. Efficacité des méthodes en station

Les différentes techniques ont été testées dans les stations fruitières partenaires. Le premier constat est que la mise en œuvre de l'ensemble de ces techniques est possible.

Concernant leur efficacité dans les tests menés dans les stations, les résultats les plus intéressants concernent les techniques de stockage sous très basses teneurs en oxygène (AC Dynamique ou Extrême LO). Néanmoins, dans les essais sur Granny Smith, le contrôle de l'échaudure n'a pas toujours été total. Pour d'autres variétés (Golden Delicious ou Ariane_{cov}), les résultats ont été très satisfaisants.

Le traitement à l'eau chaude après-récolte ou l'élimination d'éthylène pendant le stockage ont montré un intérêt, mais leur efficacité s'est avérée insuffisante pour contrôler le désordre dans la durée. Concernant l'élimination de l'éthylène, le matériel fonctionne et permet de réduire le taux d'éthylène dans les chambres de stockage. Toutefois, il est nécessaire de préciser les taux à cibler par variété et par type de stockage pour avoir une efficacité sur le contrôle de l'échaudure.

2.3.2. Utilisation de ces méthodes par les stations à ce jour

Le constat d'une augmentation des chambres froides en Extrême LO ou AC Dynamique au cours du temps indique que les résultats de nos travaux ont su trouver un écho favorable. En 2015, la société Isolcell annonce près de 1500 chambres en AC Dynamique dans le monde, dont 88 en France. En 2009, la même société annonçait 335 chambres dans le monde et aucune en France. En 2015, la société Absoger annonce 580 chambres en Extrême LO en France. Cette méthode était encore en développement en 2009. (Sources : sociétés Isolcell et Absoger).

Les techniques de traitement à l'eau chaude ou d'élimination d'éthylène n'ont à ce jour pas rencontré le même succès.

Certaines stations ont fait le choix de l'élimination de l'éthylène, mais il reste encore des travaux complémentaires à mener afin d'évaluer les variétés à cibler et de préciser les seuils à atteindre.

Le traitement post-récolte à l'eau chaude reste difficile à utiliser à grande échelle. Son intérêt n'est pas nié, notamment vis-à-vis des maladies fongiques, mais les contraintes liées à sa mise en œuvre restent à ce jour trop fortes pour une large utilisation sur pomme.

3. Conclusions - Perspectives.

3.1. Bilan sur l'évolution des pratiques

Comme évoqué en préambule, dans le contexte du retrait de la diphénylamine, les professionnels ont été particulièrement attentifs aux alternatives possibles et existantes. À la fin du projet, des tendances semblent se dessiner. Dans un environnement commercial difficile, la prise de risque n'est pas une option envisageable. De ce fait, pour des variétés sensibles à l'échaudure de prématurité, le 1-MCP reste pour le moment un choix fréquent. Son utilisation permet de conserver les fruits sans échaudure, même sur des longues durées de déstockage ou pour expédier les fruits vers des marchés éloignés (Moyen-Orient, Asie).

Néanmoins, de nombreuses stations françaises ont fait le choix s'équiper de ces nouvelles techniques, notamment des stockages à très basses teneurs en oxygène et dans une moindre mesure de l'élimination d'éthylène. Les résultats issus de ce projet donnent des informations qu'il faut intégrer quant à l'efficacité vis-à-vis de l'échaudure ou du maintien de la qualité. Pour certaines variétés, il est nécessaire d'accompagner la réflexion sur les méthodes à utiliser au regard des objectifs commerciaux. Les techniques de conservation sous très basses teneurs en oxygène se développent. Il faut laisser le temps aux stations de maîtriser ces outils.

Concernant ces techniques, l'enjeu pour les années à venir est de consolider nos connaissances afin de pouvoir garantir aux professionnels une efficacité dans toutes les situations, notamment pour les cas les plus extrêmes. Les progrès réalisés ces dernières années peuvent inciter à un certain optimisme. Il existe aujourd'hui des alternatives intéressantes aux traitements chimiques après récolte.

3.2. Perspectives scientifiques

L'univers de la conservation sous très basses teneurs en oxygène est toujours en évolution. D'autres opérateurs arrivent sur le marché avec des techniques similaires à celles testées dans le cadre du projet. L'indicateur suivi est différent, la méthode peut varier également, mais l'objectif est toujours celui d'aller chercher la limite la plus basse en oxygène. Fruit Control (Italie) propose ainsi une technique basée sur le suivi du taux d'éthanol dans les pommes. Van Amerongen (Hollande) développe un système qui se base sur le quotient respiratoire (QR). Gasser (2010) qui a comparé certains de ces systèmes utilisant la fluorescence de la chlorophylle ou le QR indique que les résultats sur les fruits sont très proches.

À partir de quelques publications récentes de Prange (2012, 2013), qui a participé au développement et au brevet de la technologie Harvestwatch, un point sur les perspectives est fait autour des méthodes d'AC Dynamique. Pour lui, les principales pistes sont notamment liées aux économies d'énergie, à travers la baisse de la respiration ou l'augmentation de la température de consigne et l'impact de la technique sur la qualité aromatique. Il pense également qu'il peut y avoir un intérêt à utiliser la fluorescence de la chlorophylle comme indicateur d'autres stress (dégât de CO₂, dégât du froid...).

Enfin, comme évoqué, concernant l'élimination de l'éthylène, il reste également des travaux à mener afin d'affiner l'utilisation de cette méthode, en précisant par variété, selon le taux d'oxygène ciblé, le niveau d'éthylène à atteindre pour avoir une efficacité totale sur l'échaudure.

Nous devons donc rester attentifs à toutes les solutions qui pourraient être proposées à l'avenir. En effet, le maintien de la qualité et la lutte contre l'échaudure de prématurité restent des enjeux techniques, économiques et sociétaux majeurs pour les producteurs de pommes.

Remerciements : Les travaux ont été menés dans le cadre du projet CASDAR n°10048 soutenu par le Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt sur la période 2010-2013. Projet piloté par le Ctifl et dont les partenaires étaient : le Cefel, La Morinière, la société Absoger, la société Xeda International et les stations fruitières suivantes : Les Vergers d'Anjou, Stanor, SICA Gerfruit et SICA Pom'Alpes. L'IRTA (Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries, Lérida, Espagne) était également associé au projet sur des aspects physiologiques.

Références bibliographiques

- Aubert C., Mathieu-Hurtiger V., Bony P., Chalot G., Landry P., 2012. Qualité aromatique et nutritionnelle des pommes Pink Lady® après conservation. Infos Ctifl 280, 28-38
- Aubert C., Mathieu-Hurtiger V., Vaysse P., 2015. Effects of Dynamic Atmosphere on Volatile Compounds, Polyphenolic Content, Overall Fruit Quality, and Sensory Evaluation of Pink Lady® Apples. Acta Hort. 1071, ISHS 2015, 275-280
- Blanpied G.D., 1990. Low-ethylene CA storage for apples. Postharvest News and Informations 1, 1, 29-34.
- Bondoux P., 1992. Maladies de conservation des fruits à pépins pommes et poires. INRA Paris – PHM Revue Horticole Paris, 60-61.
- Chapon J.F., Westercamp P., 1996. Entreposage frigorifique des pommes et des poires. Tome 2 « Conduite de la conservation ». Ctifl Paris, 153-163.
- Coureau C., Westercamp P., Mathieu-Hurtiger V., 2005. Le 1-MCP ou SmartFresh, Un outil de maintien de la qualité. Infos Ctifl 213, 42-46.
- Coureau C., Tessier C., Mathieu-Hurtiger V., Bony P., Landry P., Westercamp P., Monteils G., 2013. Nouvelles techniques de conservation contre l'échaudure de prématurité. Trois ans d'expériences en réseau. Infos Ctifl 297, 31-37.
- DeRell J., Van Kooten O., Prange R., Murr D., 1999. Applications of Chlorophyll Fluorescence Techniques in Postharvest Physiology. Horticultural Reviews 23, 69-107.
- DeLong J., Prange R., Leyte J., Harrison P., 2004. A new technology that determines low-oxygen thresholds in controlled-atmosphere-stored apples. HortTechnology 14(2), 262-266.
- DeLong J., Prange R., Harrison P., 2007. Chlorophyll fluorescence-based low-O₂ CA storage of organic Cortland and Delicious apple. Acta Hort. 737, ISHS, 31-37.
- Fallik E., 2004. Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing) – Review. Postharvest Biology and Technology 32, 2, 125-134.
- Gasser F., Eppler T., Naunheim W., Gabioud S., Bozzi Nising A., 2010. Dynamic CA storage of apples: monitoring of the critical oxygen concentration and adjustment of optimum conditions during oxygen reduction. Acta Hort. 876, ISHS, p.39-46.
- Giné Bordonaba J., Mathieu-Hurtiger V., Westercamp P., Coureau C., Dupille E., Larrigaudière C., 2013. Dynamic changes in conjugated trienols during storage may be employed to predict superficial scald in Granny Smith. LWT – Food Science and Technology 54, 535-541.
- Giraud M., Westercamp P., Coureau C., Chapon J.F., Berrie A., 2001. Reconnaître les maladies de conservation pomme poire. Ctifl, 58-59.
- Graell J., Recasens I., 1992. Effects of ethylene removal on Starking Delicious apple quality in controlled atmosphere storage. Postharvest Biology and Technology 2, 101-108.
- Jemric T., Lurie S., Dumija L., Pavicic N., Hribar J., 2006. Heat treatment and harvest date interact in their effect on superficial scald of Granny Smith apple. Scientia Horticulturae 107, 155-163.
- Liu F.W., 1984. Factors influencing the effectiveness of low ethylene CA storage of apples. Acta

Horticulturae 157, 113-119.

Lurie S., 1998a. Postharvest Heat Treatments of Horticultural Crops. Horticultural Reviews 22, 91-121.

Lurie S., 1998b. Postharvest heat treatments – Review. Postharvest Biology and Technology 14, 257-269.

Mathieu-Hurtiger V., Bony P., Coureau C., Tessier C., 2013. Conservation des pommes sous Atmosphère Contrôlée Dynamique. Revue Générale du Froid et du Conditionnement d'Air 1133, 49-57.

Mathieu-Hurtiger V., Bony P., Aubert C., Vaysse P., Coureau C., Tessier C., Westercamp P., Monteils G., 2014. Impact des méthodes post-récoltes sur la qualité des pommes. Infos Ctifl 304, 33-40.

Mazollier J., Bony P., Landry P., 2000. Effets des antioxydants biologiques et inhibiteurs. Infos Ctifl 165, 37-39.

Prange R., Delong J., Wright A., 2012. Improving Our Understanding of Storage Stress Using Chlorophyll Fluorescence. Acta Horticulturae 945, ISHS, 89-96.

Prange R., Delong J., Wright A., Zanella A., 2013. History, Current Situation and Future Prospects for Dynamic Controlled Atmosphere (DCA) Storage of Fruits and Vegetables, Using Chlorophyll Fluorescence. Acta Horticulturae 1012, ISHS, 905-915.

Westercamp P., Biargues M.E., Coureau C., Mazollier J., Lelièvre C., 2003. Lutte contre l'échaudure quelles avancées ? Infos Ctifl 188, 34-36.

Zanella A., Cazzanelli P., Panarese A., Coser M., Cecchinell M., Rossi O., 2005. Fruit fluorescence response to low oxygen stress: modern storage technologies compared to 1-MCP treatment of apple. Acta Horticulturae 682, ISHS, 1535-1542.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL)