



RÉSUMÉ

L'AC Dynamique est une nouvelle technique de conservation des pommes, développée en Europe par la société Isolcell. Cette méthode se réalise en deux temps: un premier stress d'oxygène lors de la mise en AC, puis un stockage à de très basses valeurs d'O₂ et de CO₂. Le stress initial est observé à travers la réaction de la chlorophylle de l'épiderme des pommes, avec des capteurs de fluorescence (système HarvestWatch™). Les premiers résultats d'essais acquis au centre Ctifl de Saint-Rémy-de-Provence et à la station de La Morinière confirment l'efficacité de cette technique pour lutter contre l'échaudure de prématurité, ainsi qu'une amélioration du maintien de la qualité des fruits. L'efficacité de la technique n'est pas aussi puissante qu'un traitement post-récolte au SmartFreshSM, mais semble présenter une bonne alternative aux traitements post-récoltes. La mise en place de l'AC Dynamique en station nécessite de nouveaux investissements et surtout la formation et l'investissement du personnel responsable du stockage.

APPLE STORAGE IN THE PACKING STATION : DYNAMIC CONTROLLED ATMOSPHERE (DCA) STORAGE, A NEW AND EFFECTIVE TECHNIQUE

DCA storage is a new approach to apple storage developed in Europe by the Isolcell company. It is based on a two-step method: an initial phase induces oxygen stress when the fruit is placed in a controlled atmosphere, then a second phase entails storage with very low concentrations of O₂ and CO₂. The initial stress can be observed in the reaction of the chlorophyll in the fruit epidermis, using fluorescence sensors (HarvestWatch™ system). The early results of testing at the Ctifl centre in Saint-Rémy-de-Provence and at the La Morinière experimental station confirm the effectiveness of this technique for combating superficial scald, and for improving the preservation of fruit quality. Its effectiveness is not as striking as a postharvest treatment with SmartFreshSM, but the technique appears to offer a viable alternative to postharvest treatments. Deploying DCA in packing stations will require new investments and above all, the training and commitment of workers in charge of storage.

LA CONSERVATION DES POMMES EN STATION

AC DYNAMIQUE, UNE NOUVELLE TECHNIQUE EFFICACE

Lutter contre l'échaudure de prématurité sans traitements post-récolte lors de la conservation de certaines variétés de pommes, relève encore de l'expérimentation. De nouvelles techniques de stockage comme l'Atmosphère contrôlée Dynamique nous amènent de nouvelles perspectives.



> CAPTEUR UTILISANT LA TECHNOLOGIE FIRM POUR CONDUIRE L'AC DYNAMIQUE GRÂCE AU SYSTÈME HARVESTWATCH™ DÉVELOPPÉ PAR ISOLCELL



CONTEXTE DE RECHERCHE

La conservation est une étape clef pour les stations stockant et commercialisant des pommes. Les structures doivent être en capacité d'approvisionner leurs acheteurs de la récolte à avril/mai voir août pour certaines variétés. En parallèle, les distributeurs demandent la suppression des traitements post-récolte qui permettent de lutter contre des maladies physiologiques comme l'échaudure et de maintenir la qualité des fruits. À cela s'ajoute le devenir incertain de la diphénylamine (traitement antioxydant contre l'échaudure) suite à sa non réinscription à l'annexe I de la directive 91/414/CEE (texte 2009/859/CE). Seul le traitement au 1-MCP (SmartFreshSM) resterait utilisable pour lutter contre cette maladie en cas de retrait de la diphénylamine. Les modalités assez strictes d'utilisation, parfois difficilement applicables pour les petites structures, et l'interdiction pour quelques variétés (risque de phytotoxicité) nécessitent la recherche d'autres pistes.

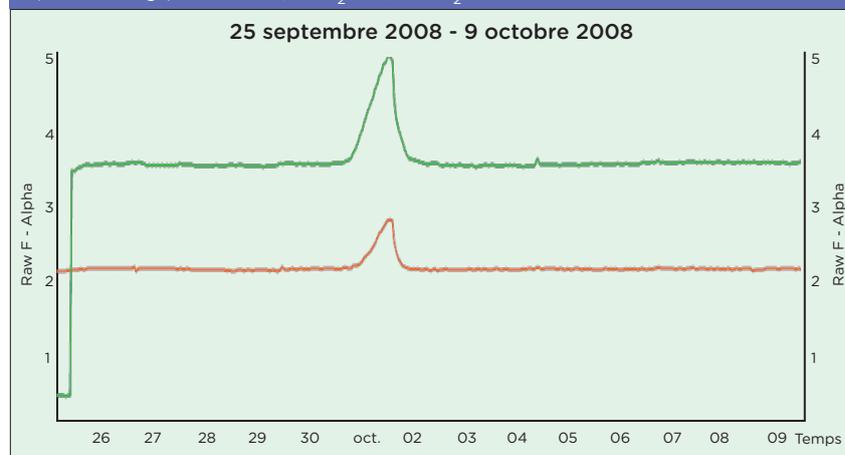
Afin de palier à ces multiples exigences, de nouvelles techniques de stockage sont développées et proposées, dont l'Atmosphère contrôlée Dynamique (AC Dynamique), qui pourrait être une alternative aux traitements post-récolte. Le Ctifl de Saint-Rémy-de-Provence et la station de La Morinière testent cette méthode de stockage depuis respectivement les récoltes 2007 et 2006. Une première synthèse des résultats obtenus sur diverses variétés de pommes était nécessaire et est ici présentée.

HISTORIQUE ET PRINCIPE DE L'AC DYNAMIQUE

Le professeur Robert Prange, chercheur du centre de recherches de l'Atlantique sur les aliments et l'horticulture (ministère de l'Agriculture et des Aliments, Nouvelle-Écosse, Canada), a mis au point la technique de l'AC Dynamique au début des années 2000. Elle nécessite notamment l'utilisation de la technologie FIRM (Fluorescence Interactive Response Monitor).

Il a été mis en évidence, que la réponse d'une pomme au stress revêt plusieurs aspects : la production d'éthanol en cas d'asphyxie, un changement de sa respiration, de son dégagement d'éthylène, mais aussi d'une modification de la

FIGURE 1 : Pic de stress des variétés Granny Smith (courbe verte) et Golden Delicious (courbe orange) obtenus à 0,2 % O₂ et 0,8 % CO₂ - Source : La Morinière



fluorescence de sa chlorophylle (DeEll et coll., 1995). La technique FIRM permet d'enregistrer une mesure exprimant la fluorescence de la chlorophylle de l'épiderme de la pomme. Une lumière basse énergie stimule la chlorophylle de l'épiderme. La lumière fluorescente réfléchie est analysée par le capteur, ce qui donne le $F\alpha$, qui est un pourcentage de la valeur initiale.

R. Prange avec l'entreprise Satlantic Incorporated, a mis au point le système HarvestWatchTM, qui est le logiciel d'interprétation du signal de fluorescence obtenu pour la conservation des pommes. Isolcell détient la licence d'HarvestWatchTM pour l'Europe.

Le principe est d'infliger un stress lors de la mise en AC des pommes. Ce stress est causé par une baisse du taux d'oxygène au-delà de la limite de respiration des pommes (autour de 0,1 à 0,2 % d'oxygène). En parallèle, le taux de gaz carbonique dans la chambre ne doit pas excéder 1%. Dans un second temps, l'objectif d'une conservation en AC Dynamique est de conserver les pommes à une teneur en O₂ en deçà de 1%, à un niveau proche de la limite acceptable par le fruit.

Ce processus est suivi à l'aide du système HarvestWatchTM, en mesurant les changements de fluorescence de la chlorophylle, ce qui permet de bien identifier le seuil auquel le fruit réagit à un stress du à une faible teneur en oxygène. Cette réaction n'intervient pas forcément toujours au même niveau (variation liée à la variété, à l'année...). Il y a adaptation au fruit d'où l'aspect « dynamique » de l'AC. En théorie, lorsque ce stress est observé (pic de la mesure de fluorescence $F\alpha$, Figure 1), le taux d'oxygène est re-

monté de 0,2 % (avec un minimum de 0,4-0,5 %). Au cours du stockage, si un nouveau stress est détecté, il faut alors remonter la consigne.

En pratique, les taux en cours de stockage s'approchent de ceux d'une conservation en extrême ULO (Ultra Low Oxygène), soit entre 0,8 et 1 % d'oxygène et 1 % de gaz carbonique.

Ce type de conservation permet, selon les études réalisées, de lutter contre l'échaudure de prématurité et de maintenir une qualité des produits nettement supérieure à une conservation en atmosphère contrôlée « classique ».

Ce système est commercialisé par la société Isolcell en Europe et surtout développé en Italie. Plus de 300 chambres de stockage de pommes seraient équipées à ce jour en Italie du Nord, selon la société.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

EXPÉRIMENTATION SUR DE PETITES UNITÉS

Les essais effectués au Ctifl de Saint-Rémy-de-Provence sont réalisés dans des caissons (de 200 à 600 l), où la régulation de l'atmosphère de conservation se fait à partir d'un mélange gazeux (air, azote, CO₂). Les fruits sont refroidis avant descente en atmosphère.

La descente du taux d'oxygène se fait par balayage à l'azote : une rapide descente à 2-3 % d'oxygène (en 24-48 heures), puis une descente plus lente jusqu'au niveau « limite ». En fonction des essais, Le pic de stress est obtenu en une à trois semaines à un taux d'oxygène compris entre 0,1 et 0,2 %, pour 0,5 % de gaz carbonique. Le pic est obtenu sur une



demi-journée. Le taux d'oxygène est alors remonté à 0,5 % et 0,5 % de gaz carbonique pour la poursuite du stockage.

EXPÉRIMENTATION EN CHAMBRE « SEMI-INDUSTRIELLE »

Les essais réalisés à La Morinière sont conduits en chambre « semi-industrielle » de 20 tonnes. Celles-ci fonctionnent comme une chambre de station fruitière, avec un générateur d'azote pour descendre le taux d'oxygène et un adsorbant de gaz carbonique pour maîtriser le taux de ce gaz. Les pommes sont récoltées puis refroidies. La descente en atmosphère n'est effectuée qu'après le complet refroidissement des fruits (observation du temps de demande de refroidissement de la chambre). Le balayage à l'azote permet de diminuer de 21 à 2 % le taux d'oxygène de la chambre

en 72 heures. Puis, le balayage est poursuivi pour diminuer le taux d'oxygène, jusqu'à obtention du pic de stress avec des alternances d'arrêt et de reprise. La respiration des fruits est alors utilisée pour continuer de descendre naturellement le taux d'oxygène de la chambre. Le pic de stress est obtenu dans les 8 à 14 jours suivants. Quelque soit les variétés observées, il s'est toujours situé entre 0,2 et 0,1 % d'oxygène dans la chambre. L'obtention du pic n'est pas soudaine. On constate un début d'inversion de pente, avec une obtention du pic qui nécessite 6 à 10 heures (Figure 1). Après observation de ce changement de signal, le taux d'oxygène est remonté autour de 0,8 à 1 % et 1 % de gaz carbonique pour le reste du stockage. La modalité témoin en AC est conservée à environ 2 % d'oxygène et 2 % de gaz carbonique.

EFFICACITÉ CONTRE L'ÉCHAUDURE DE PRÉMATURITÉ

Selon la bibliographie, le pic de stress induit des modifications biochimiques dans le fruit, qui permettent d'éviter l'apparition d'échaudure de prématuration. Des essais sont réalisés depuis deux ans sur la variété Granny Smith. L'efficacité de cette technique est comparée à un stockage en AC et un traitement post-récolte au 1-MCP (SmartFreshSM) ou à la diphénylamine. Depuis deux années d'essais, les résultats confirment l'efficacité de ce mode de traitement pour lutter contre l'échaudure de prématuration.

RÉSULTATS SUR DE PETITES UNITÉS

L'essai réalisé au Ctifl de Saint-Rémy-de-Provence, ici présenté, démontre l'efficacité de la conduite en AC Dynamique pour lutter contre l'échaudure de prématuration. Pour cette expérimentation, les fruits sont conservés en AC et en AC Dynamique jusqu'en mai afin de faire exprimer les différences de comportement des modalités étudiées en longue conservation. Le lot témoin présente une sensibilité légère à la maladie, avec moins de 10 % d'échaudure en février, il atteint 80 % en mai. Dans ces conditions, l'AC Dynamique a permis de lutter contre l'échaudure avec une efficacité de 100 % jusqu'en mai (Figure 2), même avec une période de shelf life de dix jours à température ambiante.

FIGURE 2 : % de fruits atteints d'échaudure de prématuration en fonction des modalités de stockage, variété Granny Smith, sortie d'entreposage début février et début mai, saison 2008/2009 - Source : Ctifl St-Rémy-de-Provence

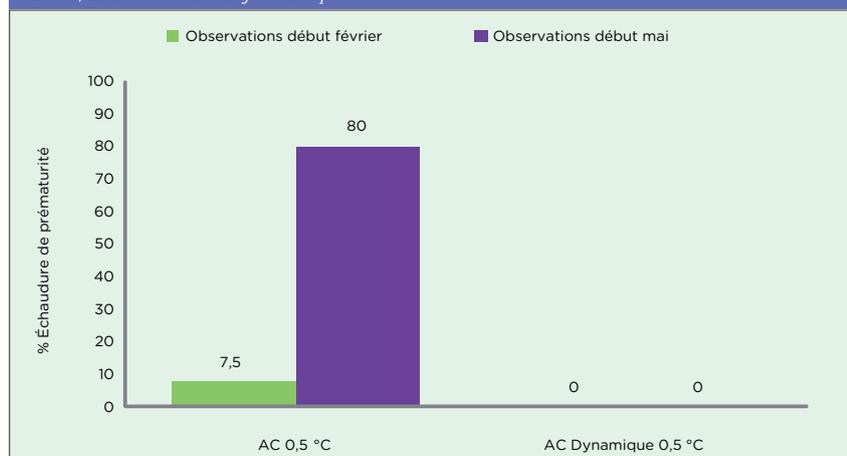
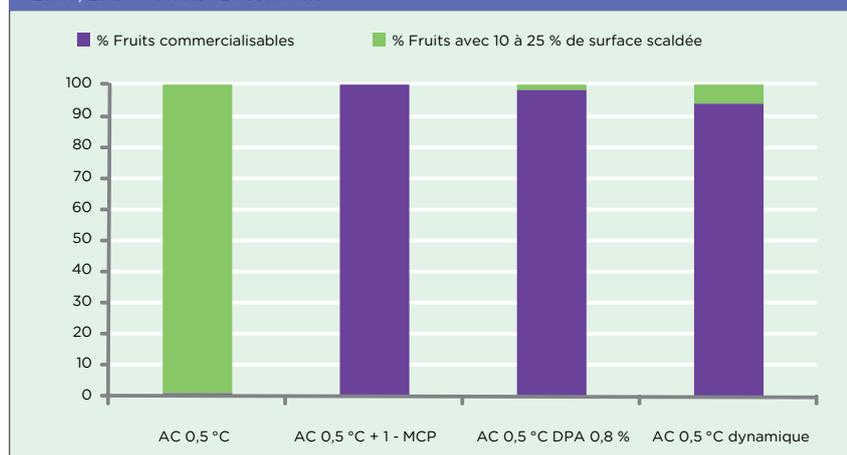


FIGURE 3 : % de fruits atteints d'échaudure de prématuration en fonction des modalités de stockage, variété Granny Smith, sortie d'entreposage fin mars + 8 jours à 18 °C, saison 2008/2009 - Source : La Morinière



RÉSULTATS OBTENUS EN CHAMBRE

« SEMI-INDUSTRIELLE »

Dans ce type d'essais, les fruits sont cueillis précocement (régression d'amidon < 4), afin d'avoir une forte « pression » de la maladie. Dès fin janvier, de l'échaudure est observée sur les fruits non traités conservés en AC. Devant une forte présence de la maladie, les résultats acquis à La Morinière lors de la saison 2008-2009 présentent une efficacité de l'atmosphère contrôlée Dynamique proche de 94 % pour une sortie d'entreposage jusqu'à mi-mars et 8 jours de shelf life des fruits à 18 °C (Figure 3). Les fruits « témoin » non traités sont atteints d'échaudure à 100 % dès l'ouverture de la chambre.

L'essai réalisé en 2009-2010 met en évidence une bonne efficacité de l'AC Dynamique jusqu'à mi-avril. Toutefois, le traitement au 1-MCP reste le plus sûr (100 % d'efficacité, Figure 4).



IMPACT DE L'AC DYNAMIQUE SUR LE MAINTIEN DE LA QUALITÉ

Des essais de conduite d'entreposage en AC Dynamique ont été réalisés sur diverses variétés à La Morinière et au Ctifl de St-Rémy-de-Provence (Gala, Golden, Granny Smith, Tentation®, Pink Lady®...).

Les résultats ici présentés sont ceux obtenus à La Morinière sur la variété Golden Reinders® en comparaison à un témoin en AC « classique » et des fruits traités au 1-MCP.

Globalement, sur plusieurs années d'essais, nous observons un maintien de la qualité des fruits en AC Dynamique, qui est intermédiaire entre l'AC « classique » et les fruits traités au 1-MCP. La couleur de fond évolue moins en AC Dynamique qu'en AC « classique » (Figure 5). Le maintien de la fermeté est moindre en AC Dynamique, qu'avec un traitement au 1-MCP, mais supérieur qu'une AC « classique » (Figure 6). Il en est de même pour le taux d'acidité malique (Figure 7). Aucune influence du mode de conservation n'est mise en évidence aussi clairement sur le taux de sucre des pommes. Après chaque essai, les différents lots sont dégustés en « aveugle » par les équipes des stations. Lors de la saison 2008-2009, les fruits des différentes modalités ont été dégustés par le panel entraîné du laboratoire d'analyses sensorielles du centre Ctifl de Lanxade (responsable Pierre Vaysse). Les différents résultats sont constants, les fruits conservés en AC Dynamique sont globalement les mieux appréciés en terme de parfums et/ou d'arômes et d'une fermeté ressentie équivalente ou légèrement inférieure aux fruits traités avec du 1-MCP (Figure 8).

LA MISE EN ŒUVRE DE L'AC DYNAMIQUE

La technique de l'AC Dynamique testée au centre Ctifl de St-Rémy-de-Provence sur de petites cellules et à la station de La Morinière en chambre « semi-industrielle » est proposée par Isolcell en grande chambre d'un volume équivalent à celles présentes en station fruitière. Les pièces sont équipées de capteurs de fluorescence qui permettent de suivre le « pic de stress ». Ils préconisent six cap-

FIGURE 4 : % de fruits atteints d'échauffure de prématurité en fonction des modalités de stockage, variété Granny Smith, sortie d'entreposage mi-avril, saison 2009/2010
Source : La Morinière

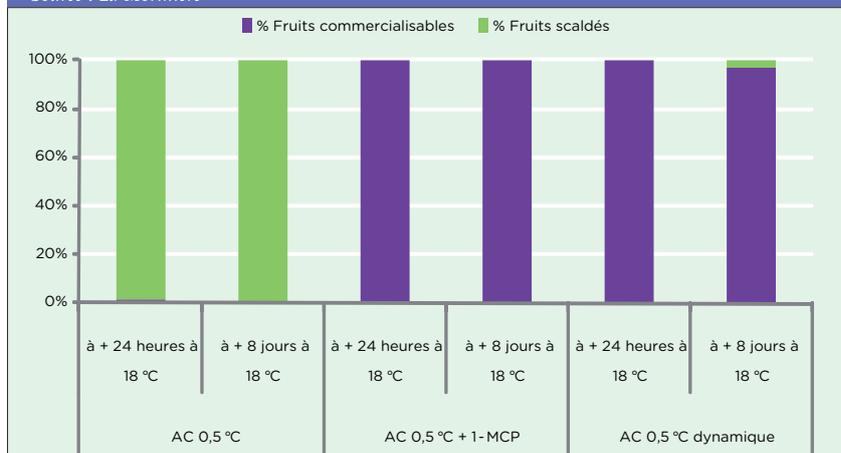


FIGURE 5 : Couleur de fond en sortie d'entreposage en fonction du mode de conservation, Reinders®, sortie d'entreposage mi-avril, saison 2009/2010
Source : La Morinière

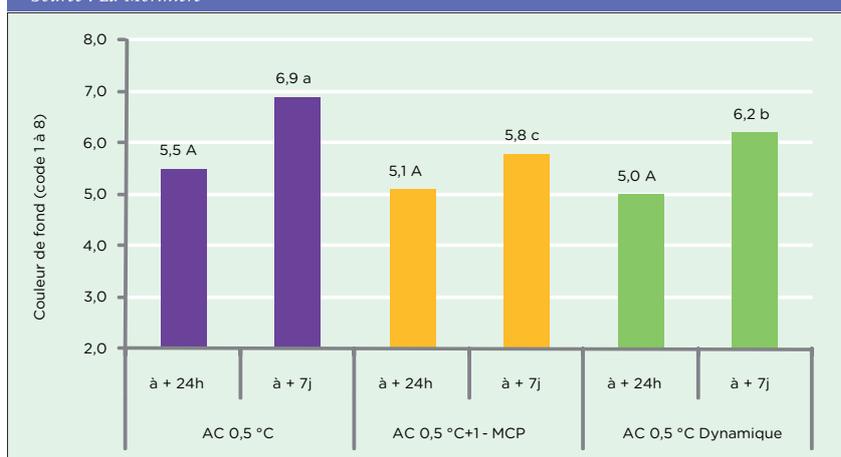
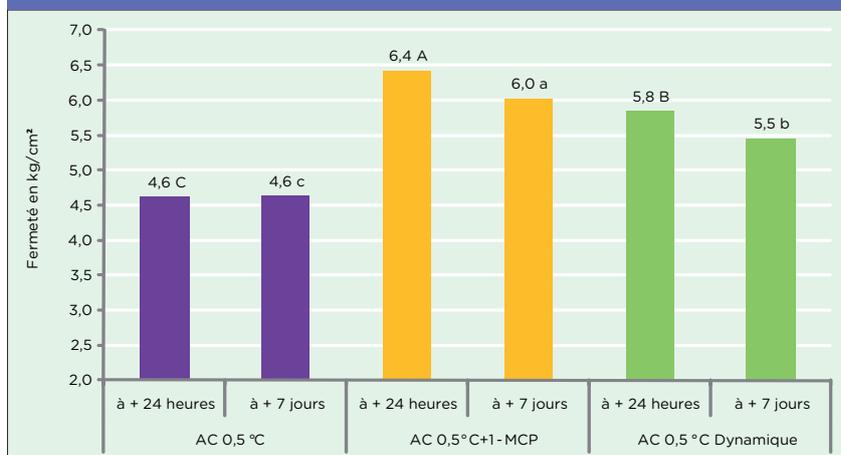


FIGURE 6 : % fermeté en sortie d'entreposage en fonction du mode de conservation, Reinders®, sortie d'entreposage mi-avril, saison 2009/2010
Source : La Morinière



teurs pour une chambre de 300 tonnes. Sous chaque capteur, six pommes sont étudiées. Les capteurs sont à position-

ner dans différents palox dans toute la chambre. Ils doivent représenter les différents lots présents dans la chambre et



les différentes dates de cueillette.

Concernant les essais réalisés à La Morinière, dans une même chambre, tous les lots ont toujours présenté un pic de stress au même moment, quelque soit la date de cueillette, le type de mutant (Gala) et même pour deux variétés différentes (Gala/Golden ou Golden/Granny Smith). La synchronisation des pics de stress est à confirmer en grande chambre froide.

Pour pouvoir descendre le taux d'oxygène d'une chambre froide en deçà de 1%, tout en ayant un taux de gaz carbonique limité à 1%, il est nécessaire d'avoir un absorbeur de gaz carbonique avec rinçage à l'azote. Ce système permet de ne pas réintroduire de l'oxygène dans la chambre à chaque cycle de fonctionnement de l'adsorbent. Il nécessite une cuve « réserve » avec de l'azote à l'intérieur (produite par le générateur d'azote). La chambre doit être parfaitement étanche, afin de limiter les entrées d'oxygène. On a vu lors d'un voyage en Italie, des capteurs de pression entre l'intérieur et l'extérieur de la chambre, avec réintroduction d'azote en cas de dépression dans la chambre. Cette technique doit éviter les réentrées d'oxygène dans la chambre. Ce système n'est pas présent à La Morinière.

Le suivi de la chambre durant le pic de stress doit être journalier. Le pic n'est pas immédiat, il s'initie peu à peu, avec l'expérience, nous pensons qu'il doit pouvoir s'anticiper. Un seul contrôle quotidien est suffisant. La personne qui aura en charge la gestion des chambres en AC Dynamique devra être formée. La surveillance du système est accrue durant la période des « pics de stress », par la suite, le suivi des chambres froides reste classique.

Il est à noter que d'autres méthodes qui reprennent le principe du pic de stress sont disponibles en Italie, sans capteurs, mais avec analyse du taux d'éthanol dans les fruits après une descente en oxygène très basse durant 10 à 15 jours.

INTÉRÊT CONFIRMÉ

Les premiers résultats acquis au sein du réseau national de conservation, confirment l'intérêt de la technique de l'AC Dynamique pour lutter contre l'échaudure de prématurité. L'efficacité est légèrement moindre qu'un traitement au 1-MCP (SmartFreshSM), mais suffisante si les lots ne présentent pas une « pression » trop

FIGURE 7 : Acidité malique en sortie d'entreposage en fonction du mode de conservation, Reinders*, sortie d'entreposage mi-avril, saison 2009/2010
Source : La Morinière

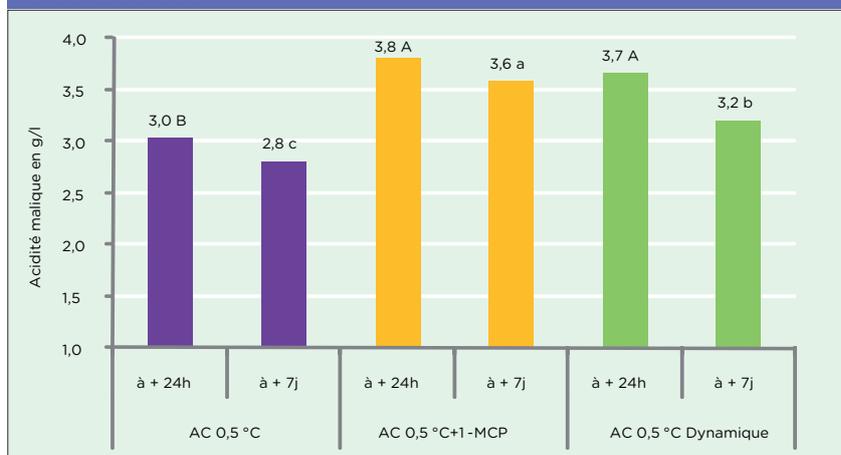
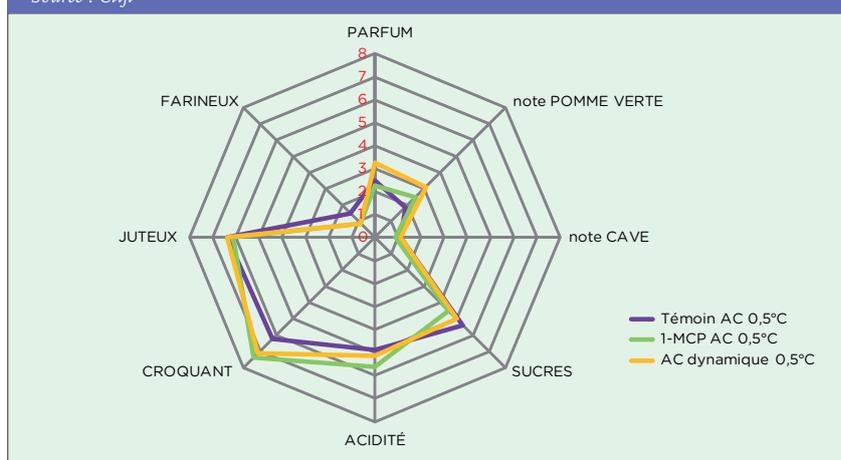


FIGURE 8 : Dégustation des pommes en sortie d'entreposage mi-avril en fonction du mode de conservation, Reinders* saison 2009/2010
Source : Cijfl



importante de la maladie, notamment sur des variétés moins sensibles. Sur Granny Smith, à la vue des résultats, nous pensons qu'une gestion optimale de la date de cueillette (régression d'amidon > 4 pour une année climatique « normale ») couplée à cette technique doit permettre de lutter contre l'échaudure de prématurité jusqu'à début avril.

Par ailleurs, la conservation à des taux très bas d'oxygène et de gaz carbonique, induit, de fait, un meilleur maintien de la qualité des fruits. Ils sont plus fermes et plus acides, la couleur de fond évolue moins. Ce différentiel est toujours observé après huit jours de période de « shelf life » à 18 °C en sortie d'entreposage. Cependant, ces notations ne sont pas du niveau de celles observées avec un traitement au 1-MCP.

La mise en place de cette technique en

station fruitière nécessite des chambres relativement neuves, dans le sens où l'étanchéité doit être parfaite, avec un adsorbent spécifique. La personne responsable de la gestion de ces chambres devra être formée et une vigilance spéciale sera nécessaire lors de la période d'obtention du « pic de stress ».

Depuis de nombreuses années, les techniques de conservation des pommes avaient peu ou pas évolué. L'AC Dynamique ouvre de nouvelles perspectives. Il est probable que toutes les variétés ne pourront pas être stockées selon ce mode. Ainsi, les essais avec des variétés sensibles à l'asphyxie et aux désordres d'AC (comme Pink Lady®) doivent être approfondis. De nombreux tests variétaux sont encore à réaliser, néanmoins la technique semble être une bonne piste pour lutter contre l'échaudure de prématurité. ■