



Essais conservation de la poire CH201 Saison 2020-21

Auteurs

S. Gabioud Rebeaud, C. Laveron, M. Quennoz, P.-Y. Cotter. et D. Christen,
Agroscope, Centre de Recherche Conthey

Impressum

Éditeur: Agroscope
Centre de recherche Conthey
Route des Eterpys 18
1964 Conthey
www.agroscope.ch

Rédaction: S. Gabioud

Table des matières

1	Introduction.....	5
1.1	Contexte.....	5
1.2	Objectifs des essais.....	6
1.2.1	Réseau de parcelles en Suisse.....	6
1.2.2	Influence du porte-greffe.....	6
1.2.3	Traitements foliaires.....	6
1.2.4	Conditions d'entreposage.....	6
1.2.5	Influence du nombre de semaines de froid sur la maturation des poires.....	6
1.2.6	Identification des parcelles sensibles aux maladies liées à l'AC par forçage au CO ₂ et mesures NIR	7
2	Matériel et méthodes.....	7
2.1	Fruits.....	7
2.2	Traitements foliaires.....	7
2.3	Traitement SmartFresh™.....	8
2.4	Conditions d'entreposage.....	8
2.5	Besoin en froid.....	8
2.6	Forçage au CO ₂	8
2.7	Analyses NIR.....	8
2.8	Analyses physico-chimiques.....	9
2.9	Détermination des dégâts physiologiques.....	9
2.10	Analyse de la production d'éthylène.....	9
2.11	Analyses des éléments nutritifs.....	9
2.12	Analyses de la Vitamine C.....	10
2.13	Analyses de texture.....	10
2.13.1	Mesures de pénétrométrie avec aiguille.....	10
2.13.2	Mesures de pénétrométrie avec embout cylindrique.....	11
3	Résultats.....	12
3.1	Réseau de parcelles suisse.....	12
3.1.1	Analyses foliaires.....	12
3.1.2	Evolution de la maturité avant la récolte.....	12
3.1.3	Maturité à la récolte.....	12
3.1.4	Production d'éthylène après la récolte.....	13
3.1.5	Paramètres physico-chimiques après entreposage en AC.....	14
3.1.6	Bilan nutritif des fruits après entreposage en AC.....	15
3.1.7	Dégâts physiologiques après entreposage en AC.....	15
3.1.8	Analyses de la vitamine C.....	17
3.2	Parcelle Conthey, FG432 : Influence du porte-greffe.....	18
3.2.1	Maturité à la récolte.....	18
3.2.2	Paramètres physico-chimiques après entreposage en AC.....	19
3.2.3	Dégâts physiologiques après entreposage en AC.....	19

3.2.4	Bilan nutritif après entreposage en AC	20
3.3	Parcelle Saxon1 : Influence des traitements foliaires	20
3.3.1	Maturité à la récolte.....	20
3.3.2	Paramètres physico-chimiques après entreposage en AC.....	21
3.3.3	Dégâts physiologiques après entreposage en AC.....	22
3.4	Influence des conditions d'entreposage.....	22
3.4.1	Teneur en oxygène : Paramètres physico-chimiques après entreposage.....	22
3.4.2	Teneur en oxygène : dégâts physiologiques après entreposage	24
3.4.3	Mise en AC retardée : Paramètres physico-chimiques après entreposage.....	25
3.4.4	Mise en AC retardée : dégâts physiologiques après entreposage	25
3.4.5	Traitement 1-MCP : Paramètres physico-chimiques après entreposage	26
3.4.6	Traitement 1-MCP : dégâts physiologiques après entreposage	26
3.5	Influence du nombre de semaines de froid sur la maturation des poires	27
3.5.1	Paramètres physico-chimiques	27
3.5.2	Texture	28
3.6	Identification des parcelles sensibles aux maladies liées à l'AC par forçage au CO ₂ et mesures NIR	29
3.6.1	Forçage au CO ₂	29
3.6.2	Mesures NIR.....	30
4	Conclusions	31
5	Bibliographie	32
6	Annexes	33
	Annexe I : Tests de maturité.....	33

1 Introduction

1.1 Contexte

La variété de poire 'CH201' (nom commercial FRED®) est issue du programme de sélection du centre de recherche Agroscope de Conthey et résulte du croisement entre les variétés 'Harrow Sweet' et 'Verdi'. A côté de ses nombreuses qualités agronomiques, elle a également un potentiel de longue conservation, comparable à Conférence et Beurré Bosc. Les essais d'entreposage menés à Conthey ont montré un très bon maintien de la fermeté en conditions AC, mais également une sensibilité au développement de cavernes. Les conditions optimales d'entreposage sont une faible teneur en gaz carbonique (CO₂) dans l'atmosphère (0.8-1%) et une mise en AC retardée de 4 semaines. Une augmentation de la teneur en oxygène (O₂) de 2 % à 5 % semble également diminuer l'incidence des cavernes. Toutefois, malgré ces précautions, certaines parcelles développent quand même des dégâts de cavernes.

Selon certains auteurs, les cavernes dans les poires proviennent à l'origine d'un brunissement de la chair (Lammertyn et al., 2000; Roelofs and de Jager, 1997). Différents facteurs pré-récolte peuvent influencer l'apparition de ces dégâts: les facteurs liés au climat (température, précipitations), les caractéristiques du verger (type de sol, irrigation, fumure, taille, etc.) et la position des fruits sur l'arbre (Franck et al., 2007). Les paramètres principaux des poires influencés par des facteurs pré-récolte et connus pour leur influence sur le développement du brunissement la chair (et donc des cavernes) durant l'entreposage sont : le calibre des fruits, la vitamine C, les composés phénoliques et les propriétés de diffusion des gaz (Lentheric et al., 1999; Lammertyn et al., 2000; Hamauzu and Hanakawa, 2003).

Les facteurs post-récolte qui influencent fortement le brunissement de la chair des poires sont essentiellement le stade de maturité à la récolte, la durée de refroidissement des fruits, la concentration en O₂ et en CO₂, la température et la durée de stockage (Lammertyn et al., 2000). De manière générale, les fruits cueillis tardivement, de gros calibre, et entreposés à faible teneur en O₂ et forte teneur en CO₂, à des températures élevées et trop longtemps sont plus susceptibles au développement de brunissement de la chair (Lammertyn et al., 2000).

Selon Franck et al. (2007), l'apparition de brunissement dans la chair des fruits est liée à une oxydation enzymatique des composés phénoliques en o-quinones par la polyphénoloxidase (PPO). Les o-quinones sont des composés très réactifs qui forment des polymères de couleur brune. A noter que le l'acide ascorbique (L-AA ou vitamine C) est capable de reconvertir les o-quinones en diphénols. L'hypothèse de Franck et al. (2007) est qu'un entreposage des poires avec une faible teneur en O₂ et une teneur en CO₂ élevée peut conduire à des conditions anoxiques vers le cœur du fruit (surtout si les espaces intercellulaires sont relativement petits ou que les cellules ne sont pas toutes bien entourées de pores). Le manque d'oxygène dans les cellules provoque un stress oxydatif et le transfert du métabolisme de respiration vers celui de fermentation. Ce dernier est moins efficace en terme d'apport en énergie comparé à la respiration et ne permet pas la maintenance « normale » des cellules, par exemple pour effectuer la réparation des dommages dus aux ROS. Les ROS (reactive oxygen species : superoxide radical O₂⁻ qui peuvent être réduits ensuite en H₂O₂ ou reactive hydroxyl anion OH⁻) peuvent causer la mort des cellules et sont neutralisés par les antioxydants en conditions normales.

Les essais réalisés durant la saison 2019-20 ont montré que l'origine des fruits influence fortement le développement de dégâts physiologiques tels que des cavernes et du brunissement de la chair durant l'entreposage (Gabioud Rebeaud et al., 2020). Certaines parcelles étaient fortement touchées tandis que d'autres n'ont pas développé de dégâts dans les mêmes conditions d'entreposage. De plus, augmenter la teneur de 2 à 5 % en conditions AC a permis de réduire l'incidence des cavernes. Le délai de 4 semaines entre la récolte et la mise en AC permet également de limiter les dégâts. Un délai plus long de 8 et 12 semaines n'a pas eu d'influence significative sur les cavernes par rapport à un délai de 4 semaines. A noter que les 4 semaines correspondent au besoin en froid pour un affinage optimal en terme de texture et à la crise climactérique. Les résultats semblent montrer que durant les 4 premières semaines d'entreposage au froid normal, les poires ne subissent pas la crise climactérique et seraient plus sensibles au blocage de leur métabolisme par la mise en AC. Ces résultats doivent cependant être confirmés par des essais supplémentaires.

Une étude menée par Xuan et al. (2001) sur les poires Conférence a montré un lien entre une déficience en bore et le développement de dégâts causés par un entreposage en conditions AC (brunissement de cœur, cavernes). Plusieurs applications foliaires au bore ont été effectuées avant la récolte (6 applications à 10 jours d'intervalle, 1ère application 8 semaines avant la récolte, concentration : 0.250 kg ha \pm 1). Les auteurs ont montré que les poires traitées au bore n'étaient pas affectées par des dégâts liés à l'AC (brunissement de la chair, cavernes) durant 4 mois d'entreposage. Le pourcentage de dégâts était par contre très élevé chez les poires non traitées. Le traitement au bore a également diminué la perméabilité des membranes et augmenté la concentration en bore et en vitamine C dans les tissus du cortex interne sans affecter les macronutriments K, Ca, Mg et P ni les paramètres physico-chimiques (fermeté, teneur en sucre, acidité et couleur). A noter que les auteurs n'ont pas observé de différences entre les fruits traités ou non au bore lors de la deuxième année d'essai (les poires traitées ont quand même développé des dégâts liés à l'AC, Xuan et al., 2003). Dans des essais similaires menés dans d'autres pays européens, certains auteurs ont montré un effet positif du traitement au bore sur le développement des dégâts (Italie et Espagne) tandis que d'autres n'ont observé aucun effet (Belgique et Hollande, Xuan et al. (2003)).

Les essais ont donc été poursuivis avec un traitement au bore avec ou sans traitement au calcium foliaire supplémentaire (Xuan et al., 2003). Les traitements ont été appliqués 2, 4 ou 6 fois à 10 jours d'intervalle entre fin juin et fin août. Du Na-borate (0.25 kg/ha) et du Ca-chlorure (1 kg/ha) et la combinaison des 2 traitements ont été appliqués sous forme de sprays foliaires (Xuan et al. (2003)). Les auteurs ont observé un faible pourcentage de dégâts liés à l'AC dans les poires traitées au bore et au calcium en comparaison des fruits non traités et des fruits traités uniquement au bore.

Des applications foliaires au Bore liquide testées sur une parcelle valaisanne (Saxon1) en 2019 ont permis d'augmenter la teneur en Bore dans les fruits mais sans toutefois diminuer le pourcentage de cavernes durant l'entreposage en conditions AC. Le traitement foliaire 'Folanx® Ca29', à base de calcium, a cependant tendanciellement permis de réduire l'incidence des cavernes dans les poires CH201 entreposées en conditions AC. Les différences n'étaient cependant pas significatives et les essais nécessitent d'être répétés pour évaluer de manière rigoureuse l'influence de ces traitements sur les maladies physiologiques liées à l'AC.

1.2 Objectifs des essais

1.2.1 Réseau de parcelles en Suisse

Organiser un réseau d'une vingtaine de parcelles de poires 'CH201' produites dans différentes régions de Suisse. Etablir un suivi du verger à la sortie du frigo afin d'identifier les paramètres pré-récolte qui influencent l'apparition de cavernes.

1.2.2 Influence du porte-greffe

Evaluer l'influence de 6 porte-greffes (Adams, BA29, EMC, Pyriam, MH, Inter Comice) sur la qualité et le développement des cavernes des poires 'CH201' issues de la parcelle FG432 d'Agroscope Conthey.

1.2.3 Traitements foliaires

Evaluer l'influence de 4 traitements foliaires (Folanx, Bore, Bore + Folanx, Calcium sorbitol) et d'un traitement au sol au calcium sulfate sur la qualité et le développement des cavernes des poires 'CH201' durant l'entreposage.

1.2.4 Conditions d'entreposage

Tester 3 concentrations en oxygène sur le développement des cavernes (3, 5 et 21 %).

Tester différents délais de mise en AC (0, 2, 4, 6 et 8 semaines).

Tester différents délais de traitement au 1-MCP (après la récolte et après le démarrage de la crise climactérique).

Tester l'entreposage en modules Janny^{MT} avec adsorption du CO₂ (sacs de Captacal®).

1.2.5 Influence du nombre de semaines de froid sur la maturation des poires

Evaluer le besoin en froid des poires 'CH201' pour un affinage optimal en conditions de shelf life.

1.2.6 Identification des parcelles sensibles aux maladies liées à l'AC par forçage au CO₂ et mesures NIR

Tester la méthode du forçage au CO₂ pour évaluer la sensibilité des poires au développement de cavernes. Prédire la sensibilité au développement de cavernes de manière non-destructive au moyen d'un instrument de spectroscopie en proche-infrarouge.

2 Matériel et méthodes

2.1 Fruits

Les poires 'CH201' ont été récoltées sur différentes parcelles situées dans les cantons du Valais (VS), Vaud (VD), Berne (BE), Lucerne (LU), Zürich (ZH), Thurgovie (TG) et Grisons (GR, *Tab. 1*). Les fruits issus de la parcelle de Conthey FG432 ont été prélevés sur 6 porte-greffes différents (Adams, BA29, EMC, Pyriam, MH, inter Comice) et ceux de la parcelle Morges sur 2 porte-greffes (BA29 et Sydo). Les fruits de 1^{er} choix ont été répartis aléatoirement dans les différentes variantes d'essai.

Tab. 1 Parcelles d'essai. nd : non déterminé.

no	Parcelle	Année de plantation	Porte-greffe
1	VS, Conthey FG432	2017	Adams, BA29, EMC, Pyriam, MH, inter Comice
2	VS, Conthey FG721	2011	BA29
3	VS, Saxon1	2016	BA29
4	VS, Evionnaz	2015	BA29
5	VS, Saillon	2019	nd
6	VS, Vétroz	2019	nd
7	VS, St-Léonard	2018	80% BA29, 20% Adams
8	VS, Saxon2	2019	nd
9	VS, Saxon3	2018	nd
10	VD, Morges	2014	BA29, Sydo
11	LU, Büron	nd	nd
12	BE, Epsach	nd	nd
13	BE, Studen	nd	nd
14	GR, La Gatta	2018	BA29
15	GR, San Bernardo	2019	ELINE
16	GR, Canterana	nd	nd
17	TG, Güttingen	2014	QA
18	ZH, Wädenswil	2014/2018	QA

2.2 Traitements foliaires

Dans le but de diminuer le pourcentage de cavernes, différents traitements ont été appliqués sur les fruits de la parcelle de Saxon1 (*Tab. 2*). 4 traitements foliaires ont été appliqués sur 3 blocs les 22 juillet, 29 juillet, 12 août et 26 août 2020. Le calcium sulfate a été appliqué au sol uniquement dans le 3^{ème} bloc.

Tab. 2 Traitements foliaires appliqués sur la parcelle VS, Saxon1.

Traitement	Formulation
Folanx Ca29	CaO à 5kg/ha
Bore liquide 150	B à 1L/ha
Bore liquide 150 + Folanx Ca29	5kg/ha + 1l/ha
Calcium sorbitol	5l/ha
Calcium sulfate	500g/m ² , 1 application au sol
Témoin	Eau 3l/ha

2.3 Traitement SmartFresh™

Le traitement au 1-MCP (SmartFresh™, 0.14 %, AgroFresh) a été effectué dans une microcellule (volume 0.74 m³) durant 24 heures sur les fruits refroidis à 0.5 °C, le 15 septembre 2020 soit 5 jours après la récolte et le 6 octobre 2020, soit 26 jours après la récolte. Le SF sous forme de poudre a d'abord été pesé dans un flacon de 25 ml. La quantité d'eau définie a ensuite été ajoutée au moyen d'une seringue à travers le septum juste avant le traitement. Après agitation du flacon et transformation de la poudre en gaz, le flacon a été placé dans la microcellule et ouvert. La microcellule a ensuite rapidement été fermée.

- 300 ppb: 355 mg SF (0.14%) + 5.3 ml H₂O

2.4 Conditions d'entreposage

Les poires ont été entreposées en conditions d'atmosphère normale (AN), contrôlée (AC) et modifiée (AM) :

1. **AN**: 0.5°C, 92% H.r.
2. **AC1**: 0.5°C, 92% H.r., 1.0% de CO₂ et 5.0% d'O₂, mise en AC retardée de 4 semaines.
3. **AC2**: 0.5°C, 92% H.r., 1.0% de CO₂ et 3.0% d'O₂, mise en AC retardée de 4 semaines.
4. **AC3** : 0.5°C, 92% H.r., 1.0% de CO₂ et 5.0% d'O₂, mise en AC retardée de 0, 2, 4, 6 et 8 semaines
5. **AM** : 0.5 °C, modules Janny^{MT} avec Captacal® pour adsorber le CO₂, mise en module 4 semaines après la récolte.

La qualité des fruits a été évaluée à la sortie des frigos, en février et en mai, ainsi qu'après une durée de shelf life de 7 jours.

2.5 Besoin en froid

Le besoin en froid des poires CH201 nécessaire pour un affinage optimal en conditions de shelf life a été évalué sur des fruits issus de la parcelle VS, Conthey FG432, porte-greffe EMC. Les poires ont été entreposés durant 0, 2, 4, 6 et 8 semaines en AN à 0.5 °C puis 10 jours à 20 °C. La production d'éthylène a été mesurée durant la shelf life et les paramètres physico-chimiques ainsi que la texture ont été mesurés après 10 jours à 20 °C sur les variantes 2, 4, 6 et 8 semaines.

2.6 Forçage au CO₂

Les poires issues de différentes parcelles ont été entreposées avec 20 % de CO₂ et 5 % d'O₂ dans des Labpods (Storage Control System, UK) à 3 °C. Différentes durées de forçage ont été testées (entre 3 et 10 jours). Les dégâts de cavernes et de brunissement de la chair ont été évalués après 10 jours de shelf life à 20 °C.

2.7 Analyses NIR

Des mesures non-destructives ont été réalisées sur certaines parcelles (Annexe I) avant le forçage au CO₂ par spectroscopie en proche infrarouge à transformée de Fourier à l'aide d'un instrument MPA Multi Purpose Analyzer (Bruker) afin d'identifier si cette technologie permet de prédire la sensibilité des poires aux cavernes

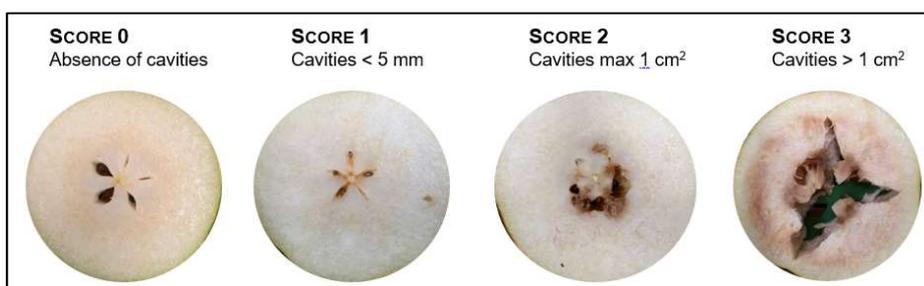
2.8 Analyses physico-chimiques

A la récolte, la teneur en amidon des poires a été déterminée avec une solution iode/iodure de potassium (I/KI). Les fruits ont été dans un premier temps coupés en deux sur le plan équatorial et trempés pendant environ 10 secondes dans la solution I/KI. Après 1 à 2 minutes, le stade de régression de l'amidon a été évalué sur une échelle de 1 à 10 selon le code développé par le CTIFL (1 = amidon sur toute la surface et 10 = amidon totalement transformé).

Les mesures de fermeté, teneur en sucres et acidité ont été réalisées à la récolte et après entreposage au moyen de l'automate Pimprenelle (SETOP, France). La fermeté (kg/0.5 cm²) et la teneur en sucre (°Brix) ont été déterminées pour chaque fruit, tandis qu'une mesure d'acidité (g/L) a été réalisée par lot de 20 fruits. La couleur des fruits a été déterminée à l'aide d'un spectrophotomètre CM-600d (Konica Minolta, Japon) et est exprimée en terme d'angle hue (°H = arctan (b*/a*)).

2.9 Détermination des dégâts physiologiques

Le pourcentage de fruits touchés par des dégâts d'origine physiologique a été déterminé sur un échantillon de 50 poires par lot. Les fruits ont été coupés en lamelles d'environ 0.5 cm de manière transversale. Les dégâts de cavernes ont été déterminés selon l'échelle suivante :



et les dégâts de brunissement de la chair selon l'échelle suivante :



Un indice de sévérité a été calculé selon la formule suivante (Saquet, 2018) :

$$\text{Indice} = \sum \frac{\text{nombre de fruits affectés} \times \text{niveau de gravité}}{\text{nombre total de fruits} \times \text{niveau de gravité maximal}} \times 100$$

2.10 Analyse de la production d'éthylène

Les mesures d'éthylène ont été réalisées sur 5 fruits confinés hermétiquement dans un récipient (volume: 5.6 litres) durant environ 6 heures à température ambiante. La concentration en éthylène a été mesurée à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse (Agilent 7890A, colonne Agilent 19095P-U04 (30m x 530µm x 20µm), température du four 40°C, détecteur FID, standard externe éthylène à 100 ppm) et est exprimée en termes de production d'éthylène par rapport au poids des fruits (µg/kg h).

2.11 Analyses des éléments nutritifs

Des analyses ont été réalisées par Sol-Conseil (Gland, VD) sur les échantillons de feuilles prélevés fin juin 2020 (75 jours après la floraison) dans 18 vergers / PG (Tab. 3). Les éléments suivants ont été analysés : azote (N), phosphore (P), potassium (K), calcium (Ca), magnésium (Mg), bore (B), cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn) et zinc (Zn).

En mai, ces mêmes analyses ont été réalisées sur les fruits de certaines parcelles détaillés dans le *Tab. 3*.

Tab. 3 Analyses effectuées dans les fruits en mai 2021.

Parcelle	Analyses des éléments nutritifs dans les fruits	Analyses de la vitamine C dans les fruits
VS, Saxon1	x	x
VS, Saxon1, BoreFolanx	x	
VS, Saxon1, Folanx	x	
VS, St-Léonard	x	x
VS, Evionnaz	x	x
VS, FG432 BA29	x	x
VS, FG432 Pyriam	x	
GR, La Gatta	x	x
LU, Büron	x	
BE, Studen	x	
ZH, Wädenswil	x	
TG, Güttingen	x	
VD, Morges BA29	x	
France, Lanxade	x	
France, Balandran	x	
VS, FG721		x

2.12 Analyses de la Vitamine C

Des analyses du contenu en acide ascorbique (Vitamine C) ont été effectuées par l'Institut Suisse des Vitamines (Epalinges, Suisse) sur 6 échantillons de fruits détaillés dans le *Tab. 3*.

2.13 Analyses de texture

2.13.1 Mesures de pénétrométrie avec aiguille

Des mesures de pénétrométrie avec aiguille ont été effectuées à l'aide d'un texturomètre (TA-XTplus Texture Analyzer, Stable Micro Systems, UK) afin de mesurer la dureté de l'épiderme et des premières couches tissulaires. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un embout métallique de type aiguille jusqu'à une profondeur de 10 mm à une vitesse de 10 mm/sec. Pour chaque mesure, une courbe force/déplacement a été obtenue (*Fig. 1*) et 12 paramètres en ont été extraits (*Tab. 4*).

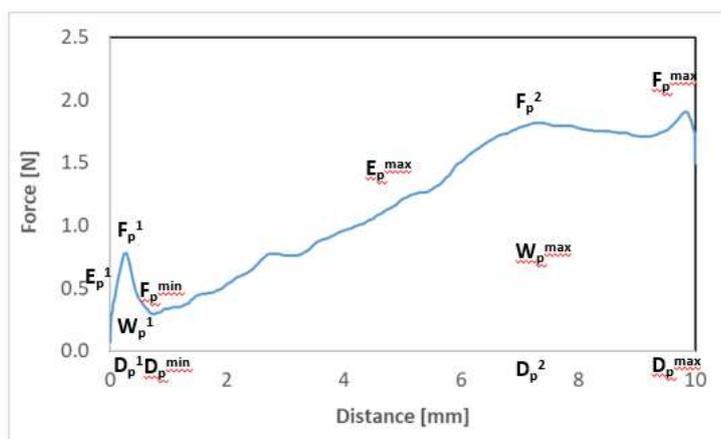


Fig. 1 Courbe de force/déplacement issue de la mesure de pénétrométrie avec aiguille.

Tab. 4 Description des paramètres issus de la courbe force/déplacement obtenue par la mesure de pénétrométrie avec aiguille.

Paramètre	Description
Fp1 (N)	Force nécessaire pour rompre l'épiderme des pommes
Dp1 (mm)	Déplacement de la sonde à Fp1
Ep1 (N/mm)	Rigidité pénétrométrique
Wp1 (N.mm)	Travail mécanique nécessaire pour rompre l'épiderme
Fpmin (N)	Force minimale mesurée après rupture de l'épiderme
Dpmin (mm)	Déplacement de la sonde à Fpmin
Fp2 (N)	Force mesurée au second pic de la courbe
Dp2 (mm)	Déplacement de la sonde à Fp2
Fpmax (N)	Force maximale mesurée sur une profondeur de 20 mm
Dpmax (mm)	Déplacement de la sonde à Fpmax
Epmax (N/mm)	Pente mesurée entre 0 mm et Fpmax
Wpmax (N.mm)	Travail mécanique nécessaire pour atteindre Fpmax

2.13.2 Mesures de pénétrométrie avec embout cylindrique

Des mesures de pénétrométrie avec un embout cylindrique de 2 mm de diamètre ont été effectuées à l'aide d'un texturomètre (TA-XTplus Texture Analyzer, Stable Micro Systems, UK). Les mesures ont été effectuées à une vitesse de 10 mm/sec jusqu'à une profondeur de 10 mm. Pour chaque mesure, une courbe force/déplacement a été obtenue (Fig. 2) et 7 paramètres en ont été extraits (Tab. 5).

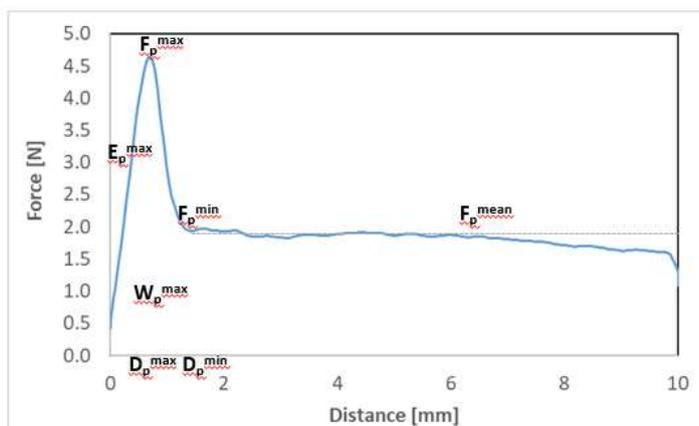


Fig. 2 Courbe de force/déplacement issue de la mesure de pénétrométrie avec embout cylindrique.

Tab. 5 Description des paramètres issus de la courbe force/déplacement obtenue par la mesure de pénétrométrie avec embout cylindrique.

Paramètre	Description
Fpmax (N)	Force au premier point de rupture
Dpmax (mm)	Déplacement de la sonde à Fpmax
Epmax (N/mm)	Rigidité pénétrométrique
Wpmax (N.mm)	Travail mécanique nécessaire pour atteindre le premier point de rupture
Fpmin (N)	Force minimale mesurée après rupture de l'épiderme
Dpmin (mm)	Déplacement de la sonde à Fpmin
Fpmean (N)	Force moyenne mesurée entre Dpmin et 10 mm

3 Résultats

3.1 Réseau de parcelles suisse

3.1.1 Analyses foliaires

Les analyses foliaires effectuées fin juin dans différentes régions de Suisse ont montré de fortes différences selon les parcelles (Fig. 3). Certains vergers avaient une forte teneur en azote, phosphore et potassium, qui pourrait être liée à un apport de fumure important au printemps. La teneur en calcium, élément déterminant dans la stabilité des membranes cellulaires (Kuster et al, 2017) et qui peut être à l'origine des dégâts physiologiques tels que le brunissement de la chair ou des cavernes durant l'entreposage était très faible dans les poires de certaines parcelles, en particulier des jeunes parcelles (Fig. 3, A). La moyenne de la majorité des éléments nutritifs était inférieure aux références établies pour d'autres variétés de poires (Kuster et al., 2017).

En ce qui concerne les micronutriments, de fortes disparités ont également été observées entre les parcelles, en particulier pour le fer, le magnésium et le zinc (Fig. 3, B). A noter que les vergers des Grisons ont montré des teneurs plus élevées en comparaison des autres régions de Suisse pour ces 3 éléments.

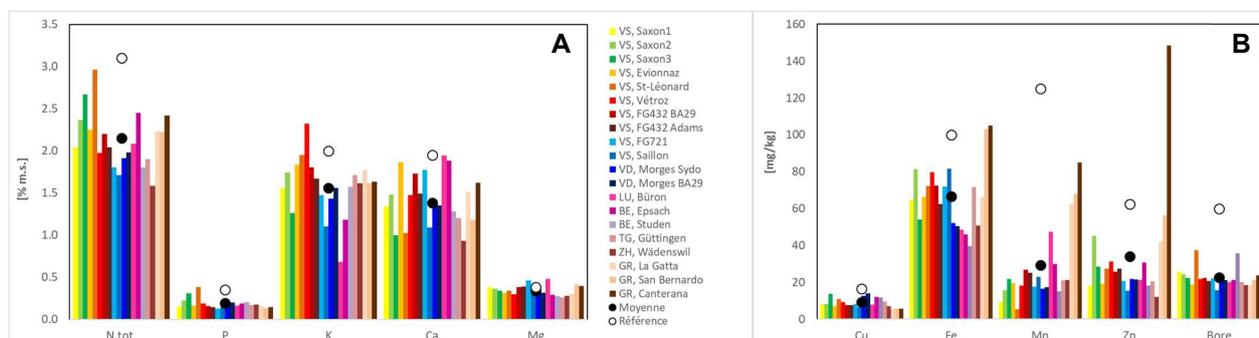


Fig. 3 Analyses des éléments nutritifs d'échantillons de feuilles récoltés sur 20 parcelles fin juin 2020. A : macronutriments et B : micronutriments.

3.1.2 Evolution de la maturité avant la récolte

3 à 6 tests de maturité ont été effectués sur 9 parcelles situées dans diverses régions de Suisse afin d'évaluer l'influence des facteurs liés aux vergers (microclimat, type de sol, conduite du verger, ...) sur l'évolution des paramètres physico-chimiques avant la récolte. Les résultats sont détaillés dans l'Annexe I.

Dans la plupart des parcelles évaluées, les valeurs de fermeté sont restées élevées par rapport aux recommandations établies pour la fenêtre optimale de récolte par Agroscope, y compris au moment de la récolte principale. Les teneurs en sucre étaient également élevées et l'amidon a très peu régressé et est resté au-dessous des valeurs recommandées pour la plupart des vergers évalués. Les conditions climatiques très chaudes précédant la récolte étaient probablement à l'origine des teneurs en sucre et en amidon élevées.

3.1.3 Maturité à la récolte

Les tests de maturité effectués à la récolte sur 17 parcelles ont montré des valeurs de fermeté supérieures aux valeurs recommandées, à l'exception de la parcelle de Wädenswil pour laquelle une valeur de 7.4 kg/0.5cm² a été mesurée (Fig. 4). La parcelle de Büron, à Lucerne, avait la valeur de fermeté la plus élevée du réseau tandis que la valeur la plus faible a été mesurée dans le verger de Wädenswil (Fig. 5, C). Les teneurs en sucre ont varié entre 11.1 et 14.2 °Brix. Les vergers de Morges, Wädenswil et St-Léonard avaient les teneurs en sucre les plus élevées, tandis que les poires issues de la parcelle de Saxon1 étaient les moins sucrées du réseau (Fig. 5, A). L'amidon se situait pour la plupart des vergers en-dessous de la valeur recommandée pour la fenêtre de récolte. Le verger de Güttingen avec une valeur de 6.9 se situait à un stade de régression déjà très avancé. Les valeurs d'acidité ont également fortement varié entre les parcelles, entre 3.9 et 8.5 g/L. Le poids des fruits, très différents selon les parcelles, a fluctué quant à lui entre 168 et 367 g (Fig. 5, B). Les poids les plus faibles correspondaient à des vergers de plus de 4 ans, avec des charges probablement plus équilibrées en comparaison des vergers plus jeunes, de moins de 4 ans.

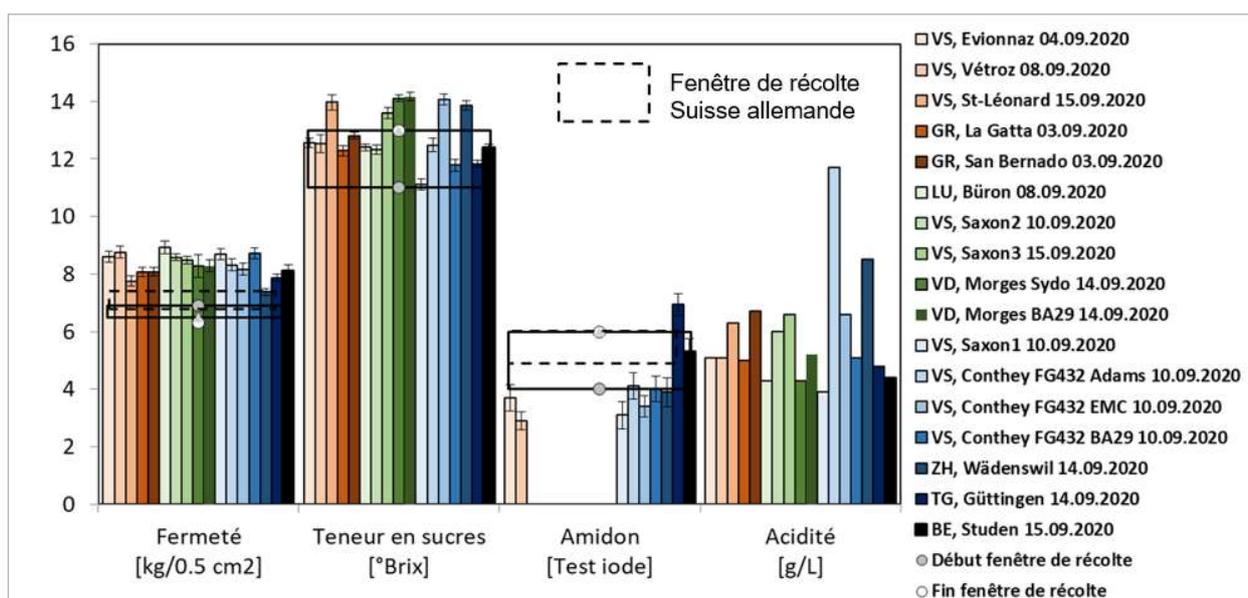


Fig. 4 Valeurs de fermeté, teneur en sucre, amidon et acidité des poires CH201 issues des différentes parcelles d'essai et récoltées entre le 3.9.2020 et le 15.9.2020.

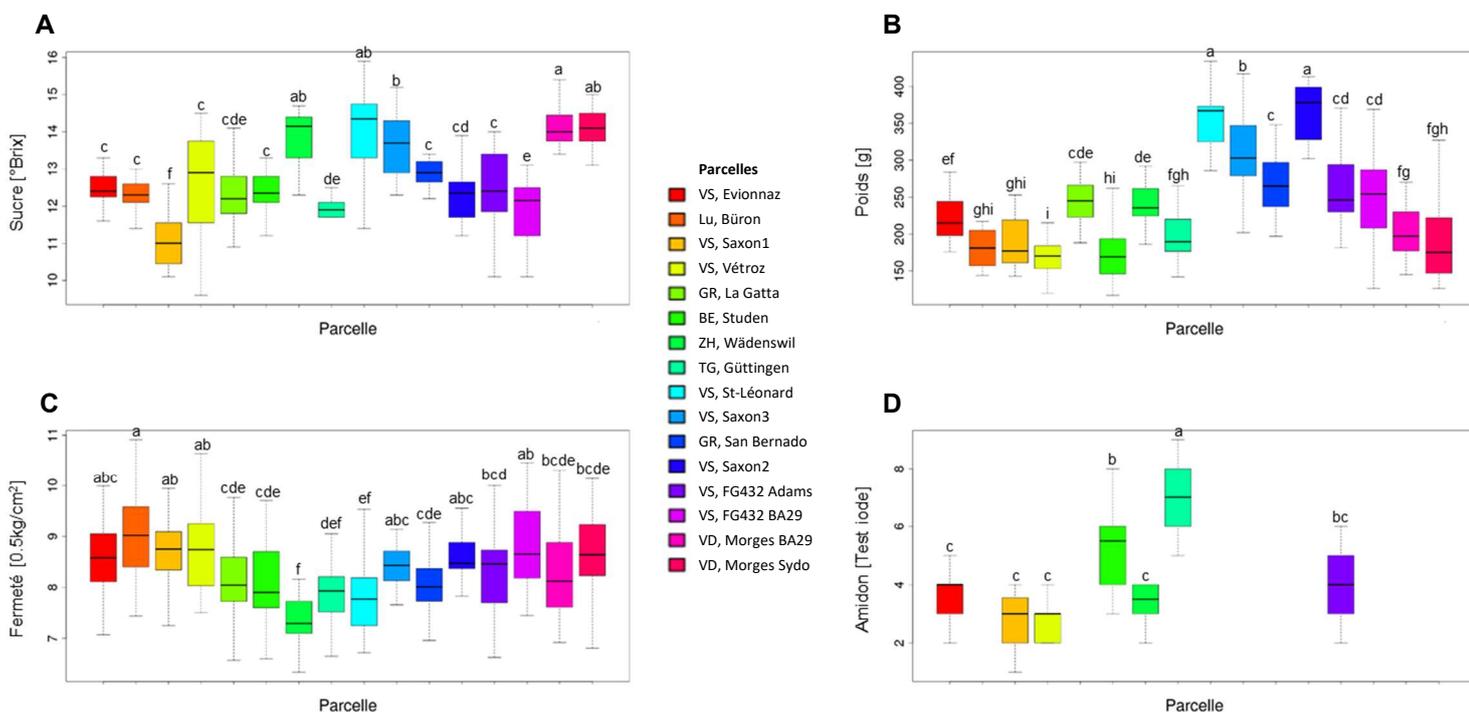


Fig. 5 Influence des parcelles sur A : la teneur en sucre, B : le poids, C : la fermeté et D : l'amidon des poires CH201 récoltées entre le 3.9.2020 et le 15.9.2020. Les valeurs avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à $p \leq 0.005$ selon le test posthoc de Tukey.

3.1.4 Production d'éthylène après la récolte

La production d'éthylène a été mesurée sur les poires issues de 10 parcelles entreposées en conditions d'atmosphère normale à 0.5 °C durant environ 100 jours (Fig. 6). Les résultats montrent que la crise climactérique a débuté environ après 2-3 semaines d'entreposage au froid pour toutes les parcelles.

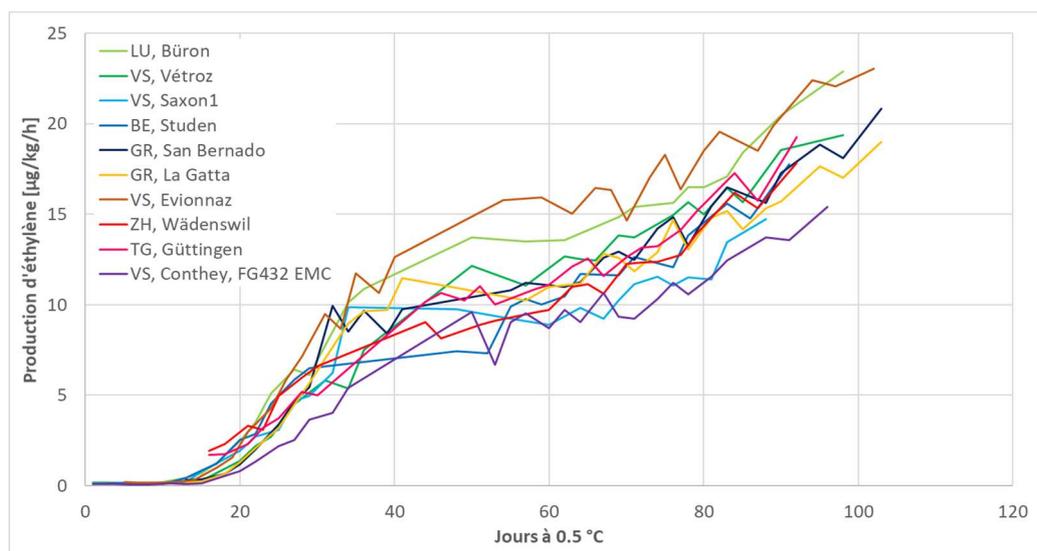


Fig. 6 Influence des parcelles sur la production d'éthylène des poires CH201 récoltées entre le 3.9.2020 et le 15.9.2020.

3.1.5 Paramètres physico-chimiques après entreposage en AC

Les poires issues des différents vergers ont été entreposées en conditions AC jusqu'en mai. En février, après 5 mois d'entreposage, les valeurs de fermeté avaient déjà chuté en moyenne de 1.5 kg. Elles ont ensuite perdu en moyenne 2.2 kg supplémentaires jusqu'en mai (Fig. 7, A). Durant les 7 jours de shelf life consécutifs aux sorties, les poires sont devenues fondantes. Les valeurs de fermeté étaient relativement similaires pour les différents vergers (Fig. 8), en particulier à la sortie de février. En mai, des différences de fermeté ont été notées entre les parcelles: le verger de Saxon2 est resté relativement ferme tandis que les vergers de Wädenswil et de Morges sur Ba29 ont perdu passablement de fermeté. La teneur en sucre moyenne est restée relativement stable durant toute la durée d'entreposage et la shelf life (Fig. 7, B). Les vergers les plus sucrés à la récolte ont également maintenu des valeurs plus élevées durant l'entreposage (Fig. 8). Quant à l'acidité, elle a passablement diminué durant les 7 mois d'entreposage et la shelf life (Fig. 7, C). En mai, la plupart des vergers avaient des valeurs d'acidité faibles (Fig. 8).

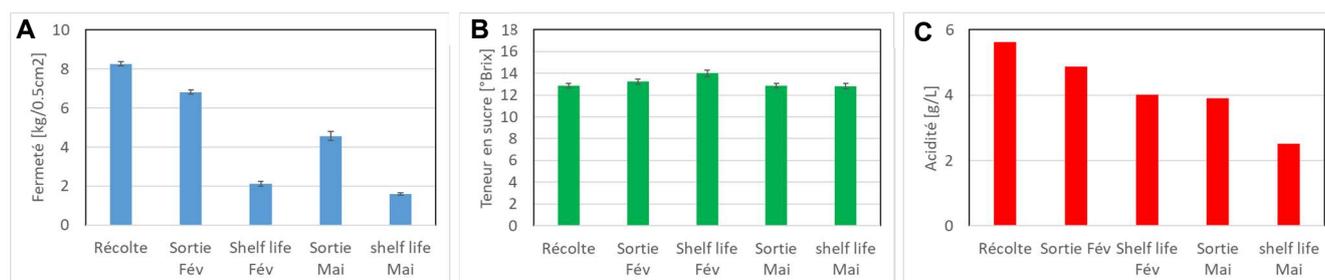


Fig. 7 Valeurs moyennes de fermeté, teneur en sucre et acidité des poires CH201 récoltées entre le 3.9.2020 et le 15.9.2020, entreposées durant 5 mois (Sortie en février) et 8 mois en AC (Sortie en mai) et 7 jours à 20 °C (Shelf life en février et en mai).

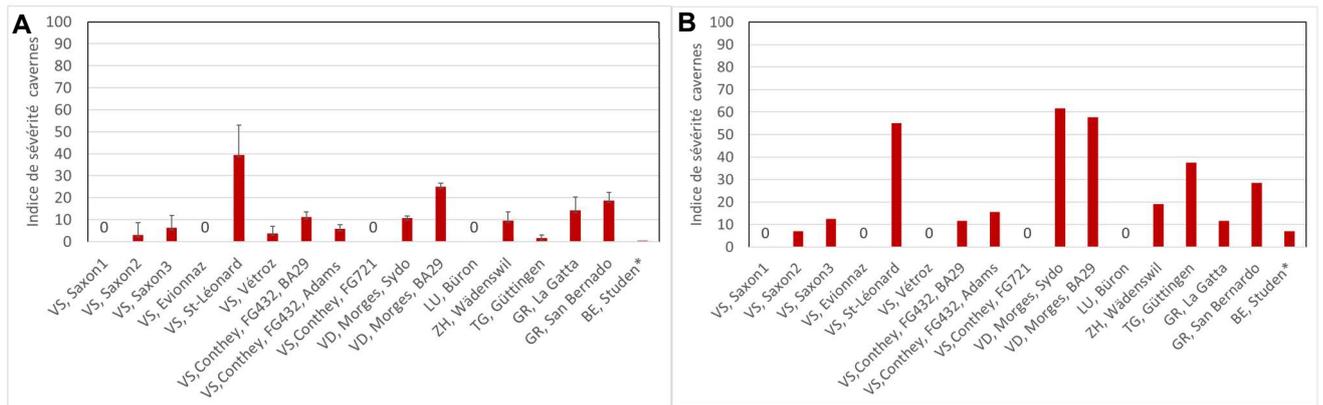


Fig. 10 Influence des parcelles sur les dégâts de cavernes des poires CH201 récoltées entre le 3.9.2020 et le 15.9.2020 et entreposées durant **A** : 5 mois en AC et 7 jours à 20 °C et **B** : 8 mois en AC (5% d'O₂) et 7 jours à 20 °C. * Les fruits de la parcelles de Studen ont été entreposés avec 3 % d'O₂.

L'année de plantation semble montrer un influence sur le développement de cavernes (Fig. 11). A l'exception du verger de Morges planté sur BA29 et sur Sydo en 2014, les parcelles de plus de 4 ans n'ont pas ou que très peu développé de dégâts. A noter que 2 parcelles plantées en 2019 ont également été peu touchées par des cavernes. L'âge des arbres n'est donc pas le seul facteur lié à l'apparition de cette maladie physiologique mais il semble montrer une influence importante. Les arbres jeunes sont en principe peu chargés et produisent de gros fruits qui sont particulièrement sensibles au développement de maladies liées à l'AC telles que les cavernes.

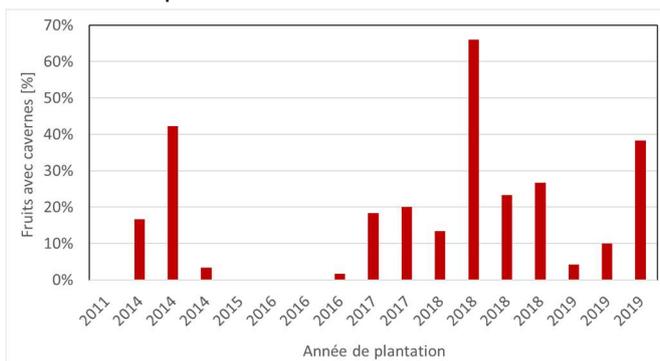


Fig. 11 Influence de l'année de plantation sur le pourcentage de poires affectées par des cavernes en février.

Une analyse en composantes principales (ACP), réalisée sur différents paramètres extraits de 9 parcelles, tend à montrer un lien entre l'incidence des cavernes et la date de récolte (plus elle est tardive, plus l'incidence est élevée), la teneur en sucre et l'acidité à la récolte ainsi que la teneur en cuivre et en phosphore dans les feuilles (Fig. 12). L'incidence des cavernes est inversement corrélée à la fermeté à la récolte, à la teneur en calcium dans les fruits et dans les feuilles ainsi qu'aux teneurs en magnésium et en manganèse dans les feuilles. La variance totale expliquée sur les PC1 et PC2 n'est toutefois pas très élevée (54.7 %) et les résultats doivent être interprétés avec précaution.

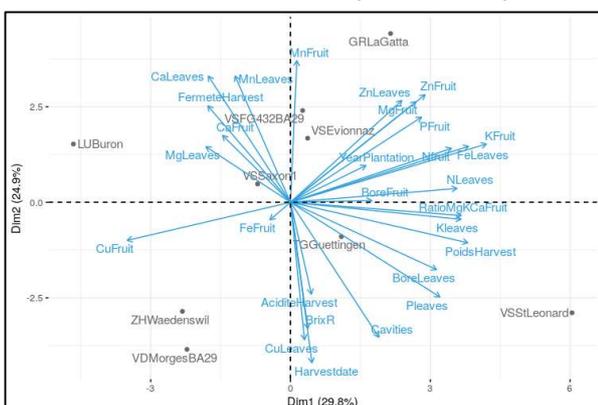


Fig. 12 ACP réalisée sur les analyses foliaires en juin (Leaves), les analyses de éléments nutritifs des fruits en mai (Fruit) et les analyses de qualité à la récolte (Harvest) ainsi que l'indice de sévérité des cavernes (Cavities), la date de récolte (Harvest date) et l'année de plantation des arbres (YearPlantation) de 9 parcelles issues du réseau.

En ce qui concerne les autres types de maladies physiologiques, quelques parcelles ont développé du brunissement de cœur (Fig. 13, A) mais ce problème était moins important en comparaison des cavernes.

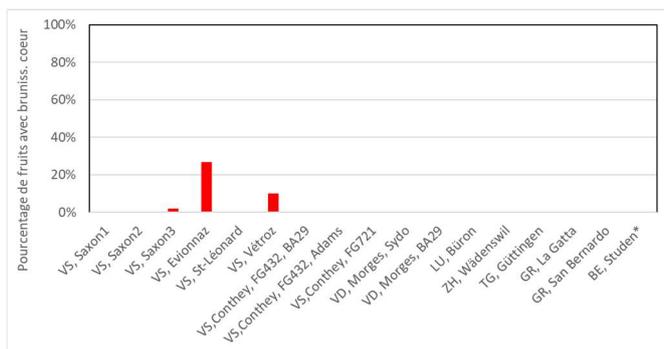


Fig. 13 Influence des parcelles sur les dégâts de brunissement de cœur des poires CH201 récoltées entre le 3.9.2020 et le 15.9.2020 et entreposées durant 8 mois en AC (5% d'O₂) et 7 jours à 20 °C. * Les fruits de la parcelles de Studen ont été entreposés avec 3 % d'O₂.

3.1.8 Analyses de la vitamine C

Les analyses de la teneur en vitamine C effectuées sur les fruits de 6 parcelles après 8 mois d'entreposage ont montré que les poires saines, sans cavernes, avaient des teneurs en vitamine C supérieures à celle mesurée dans les fruits malades (Fig. 14). La vitamine C est un puissant antioxydant qui permet de neutraliser le o-quinones, des composés très réactifs qui forment des polymères de couleur brune. Une teneur plus élevée dans les fruits sains pourrait expliquer l'absence de cavernes.

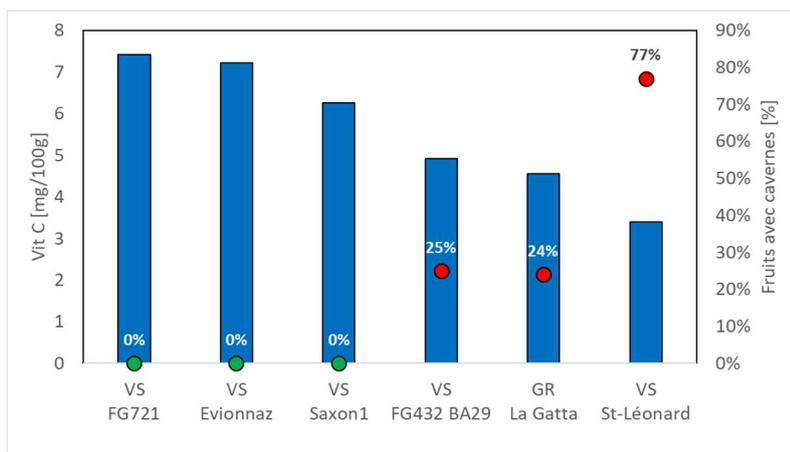


Fig. 14 Teneur en vitamine C après 8 mois d'entreposage en AC (5% d'O₂) contenue dans les poires CH201 issues de 6 parcelles du réseau, 3 parcelles sans cavernes et 3 parcelles avec des dégâts de cavernes.

3.2 Parcelle Conthey, FG432 : Influence du porte-greffe

3.2.1 Maturité à la récolte

Les poires CH201 issues de la parcelle de Conthey FG432 ont été récoltées sur 6 porte-greffes (PG) dans 3 blocs (A, B et C). Les résultats des analyses de maturité effectuées à la récolte ont montré que les différents PG n'ont eu aucune influence sur le poids, la fermeté et l'amidon (Fig. 15, A, B, D). Une faible influence du PG a par contre été observée sur la teneur en sucre (Fig. 15, C) : les poires étaient plus sucrées sur EMC en comparaison de BA29 et d'Intercomice.

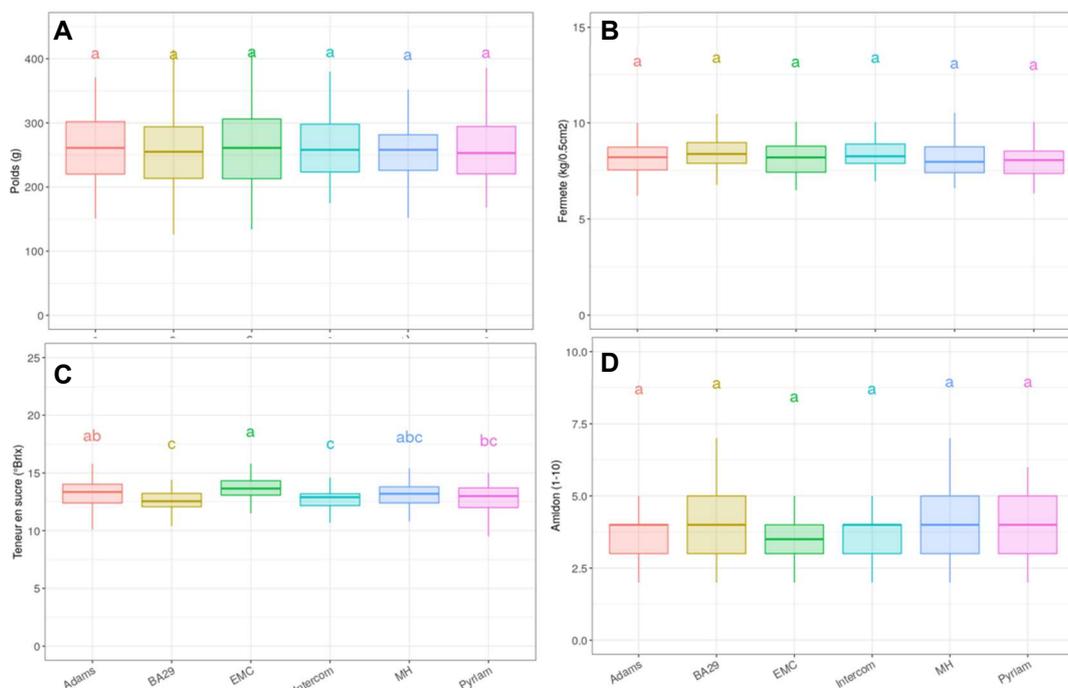


Fig. 15 Influence du porte-greffe sur **A** : le poids, **B** : la fermeté, **C** : le poids et **D** : l'amidon des poires CH201 récoltées le 10.9.2020 sur la parcelle FG432 de Conthey. Les valeurs avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à $p \leq 0.005$ selon le test posthoc de Tukey.

Les différents blocs n'ont pas influencé la fermeté des fruits (Fig. 16, C). Des différences ont par contre été observées pour la teneur en sucre et le poids de fruits en fonction des blocs (Fig. 16, A et B).

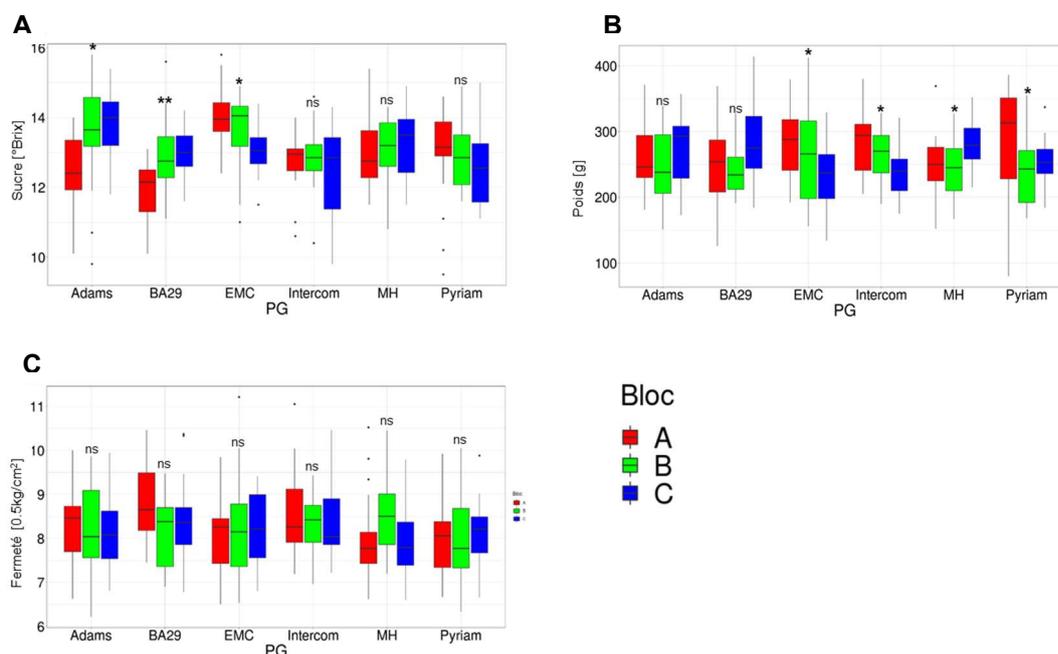


Fig. 16 Influence du bloc sur **A** : la teneur en sucre, **B** : le poids et **C** : la fermeté des poires CH201 récoltées le 10.9.2020 sur différentes porte-greffes dans la parcelle FG432 de Conthey.* : Significativité comprise entre 0.001 et 0.05.** : Significativité inférieure à 0.001. ns : Différence non significative.

3.2.2 Paramètres physico-chimiques après entreposage en AC

Les différents PG n'ont pas influencé la fermeté des poires durant l'entreposage en AC (Fig. 17). Durant la shelf life, les fruits issus du PG Pyriam ont tendanciellement perdu plus de fermeté en comparaison des autres PG. Les PG Adams, EMC et MH ont montré une teneur en sucre légèrement supérieure à celle mesurée dans les autres variantes. L'acidité a quant à elle diminué durant l'entreposage en AC et la shelf life pour tous les PG.

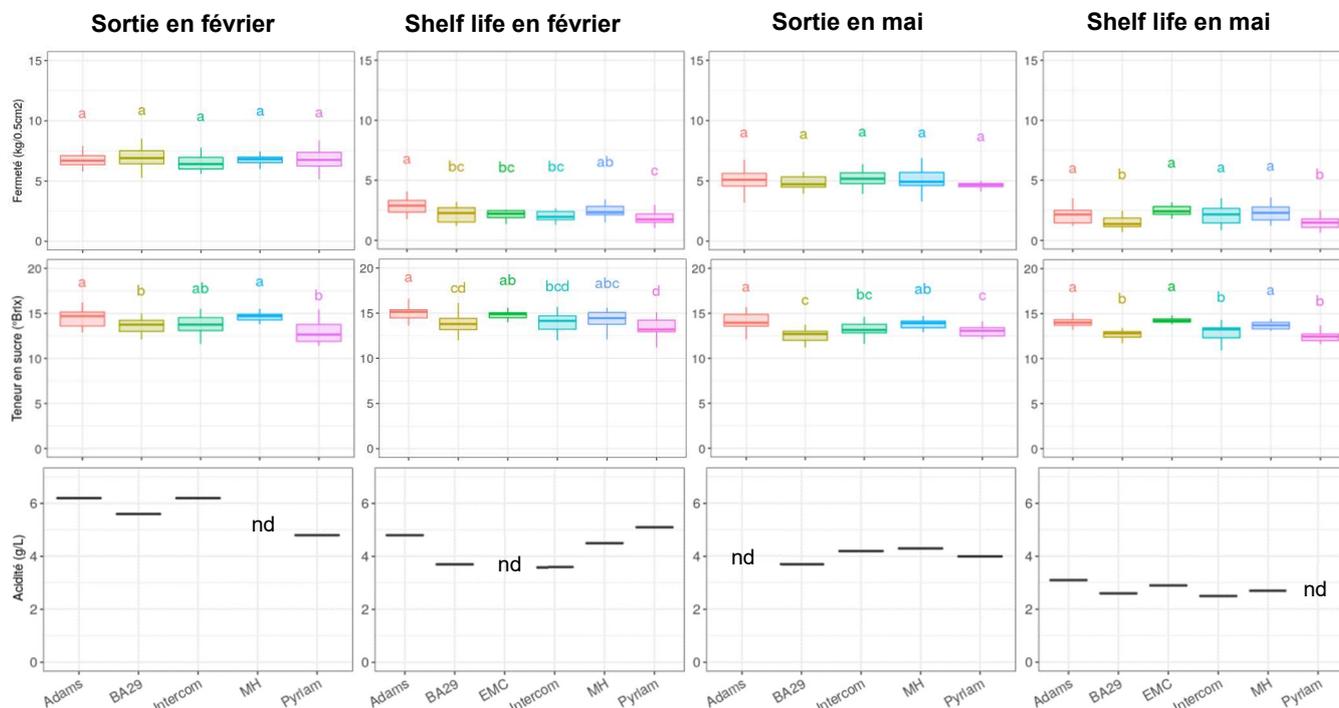


Fig. 17 Influence du porte-greffe sur la fermeté, la teneur en sucre et l'acidité des poires CH201 récoltées le 11.9.2020, entreposées durant 5 et 8 mois en AC (Sortie en février et en mai) et 7 jours à 20 °C (Shelf life en février et en mai). Les valeurs avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à $p \leq 0.005$ selon le test posthoc de Tukey. nd : non déterminé.

3.2.3 Dégâts physiologiques après entreposage en AC

Les poires issues du PG Pyriam ont été plus fortement touchées par des dégâts de cavernes en comparaison des autres PG, affectés de manière similaire (Fig. 18). A noter que les dégâts n'ont que très peu évolué entre février et mai.

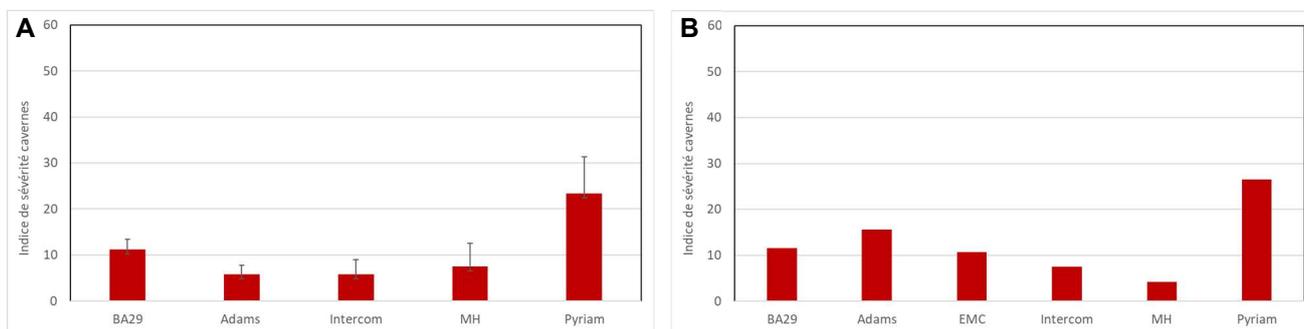


Fig. 18 Influence du porte-greffe sur les dégâts de cavernes des poires CH201 récoltées le 10.9.2020 sur la parcelle FG432 de Conthey et entreposées durant A : 5 mois en AC et 7 jours à 20 °C et B : 8 mois en AC (5% d'O₂) et 7 jours à 20 °C.

3.2.4 Bilan nutritif après entreposage en AC

Les analyses effectuées sur les fruits issus des PG BA29 et Pyriam ont montré que les PG n'ont eu que très peu d'influence sur les macronutriments (Fig. 19, A). Le PG Pyriam a par contre montré une teneur en Fer et en Bore plus élevée en comparaison du PG BA29 (Fig. 19, B).

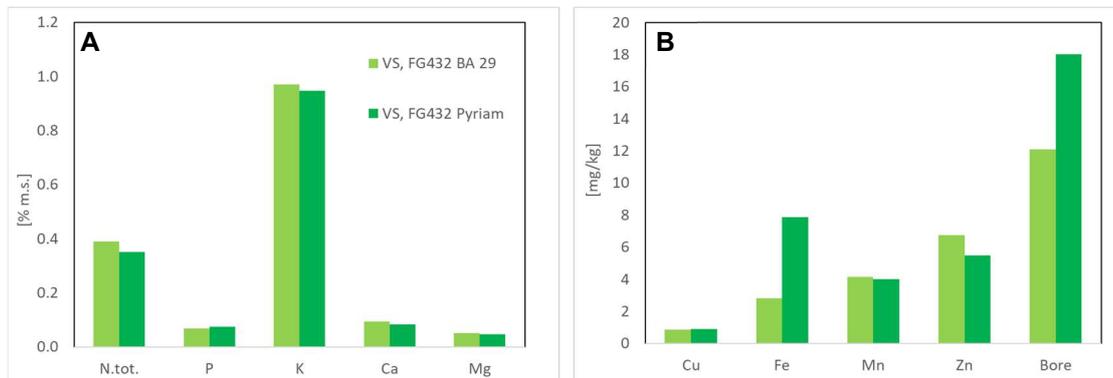


Fig. 19 Influence du porte-greffe (BA29 et Pyriam) sur les éléments nutritifs d'échantillons de fruits entreposés durant 8 mois en AC. A : macronutriments et B : micronutriments.

3.3 Parcelle Saxon1 : Influence des traitements foliaires

3.3.1 Maturité à la récolte

Les différents traitements foliaires appliqués sur les poires de la parcelle de Saxon1 n'ont pas influencé la fermeté (Fig. 20, C). Les fruits issus des traitements au Bore et au BoreFolanx étaient par contre plus sucrés en comparaison des autres variantes (Fig. 20, A). A noter que la variante traitée au BoreFolanx avait le poids moyen des fruits le plus élevé (Fig. 20, B). Une influence des blocs a été observée, en particulier sur les teneurs en sucre (Fig. 21).

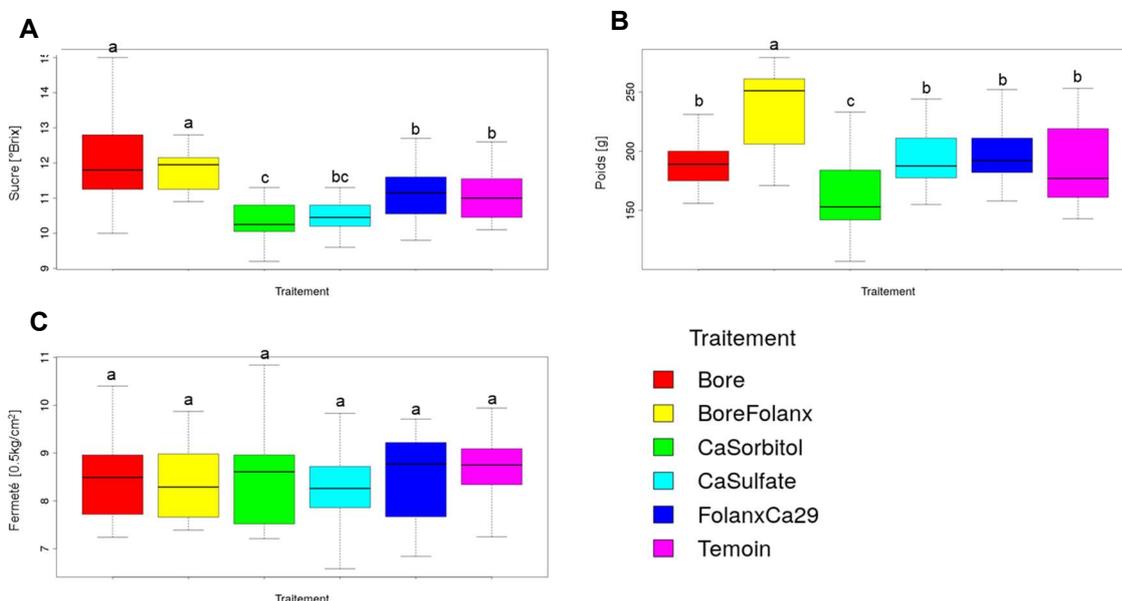


Fig. 20 Influence des traitements foliaires sur A : la teneur en sucre, B : le poids et C : la fermeté des poires CH201 récoltées le 10.9.2020 sur la parcelle Saxon1. Les valeurs avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à $p \leq 0.005$ selon le test posthoc de Tukey.

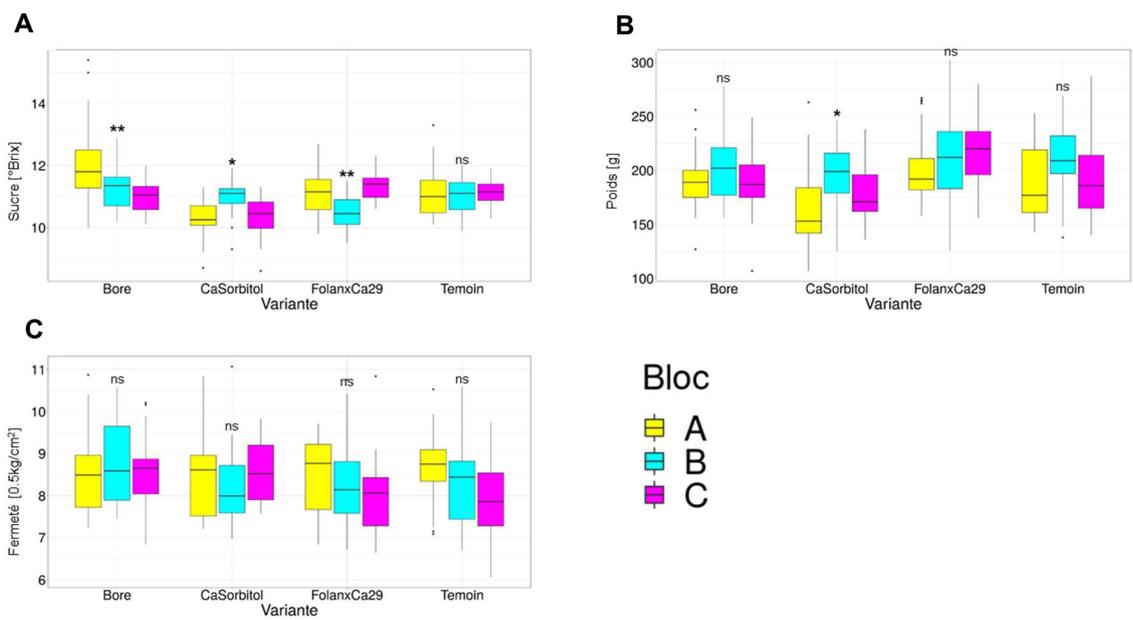


Fig. 21 Influence du bloc d'essai sur **A** : la teneur en sucre, **B** : le poids et **C** : la fermeté des poires CH201 traitées avec différentes applications foliaires et récoltées le 10.9.2020 sur la parcelle Saxon1. * : Significativité comprise entre 0.001 et 0.05. ** : Significativité inférieure à 0.001. ns : Différence non significative.

3.3.2 Paramètres physico-chimiques après entreposage en AC

Les différents traitements n'ont eu aucune influence sur la fermeté durant les 5 premiers mois d'entreposage et la shelf life consécutive (Fig. 22). Par contre, après 8 mois en AC, les poires traitées au Bore et au BoreFolanx étaient significativement moins fermes que les fruits témoins. Les traitements n'ont eu que très peu d'influence sur la teneur en sucre et l'acidité des fruits (Fig. 22).

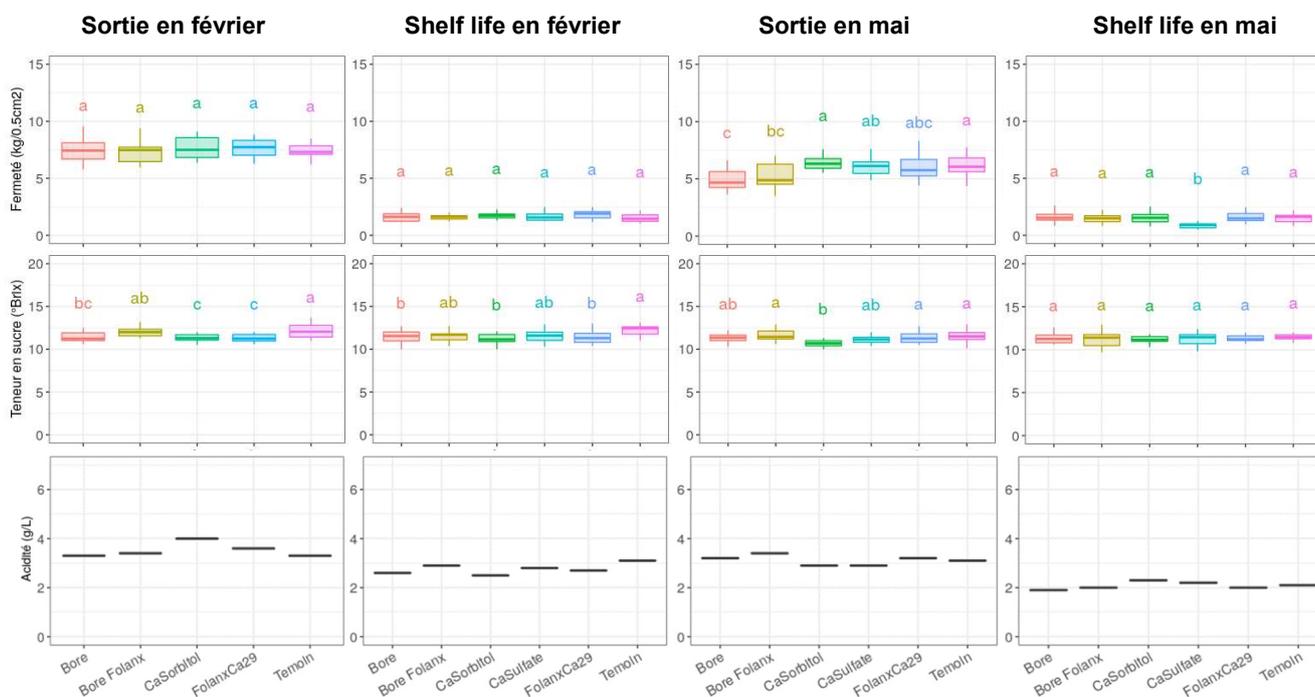


Fig. 22 Influence du traitement foliaire sur la fermeté, la teneur en sucre et l'acidité des poires CH201 récoltées le 11.9.2020, entreposées durant 5 et 8 mois en AC (Sortie en février et en mai) et 7 jours à 20 °C (Shelf life en février et en mai). Les valeurs avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à $p \leq 0.005$ selon le test posthoc de Tukey.

3.3.3 Dégâts physiologiques après entreposage en AC

Quelques fruits pourris ont été dénombrés à la sortie des frigos (Fig. 23) mais aucun dégât de cavernes n'a été observé sur les poires issues de cette parcelle. L'influence des différents traitements sur le développement de cavernes durant l'entreposage en AC n'a donc pas pu être évaluée.

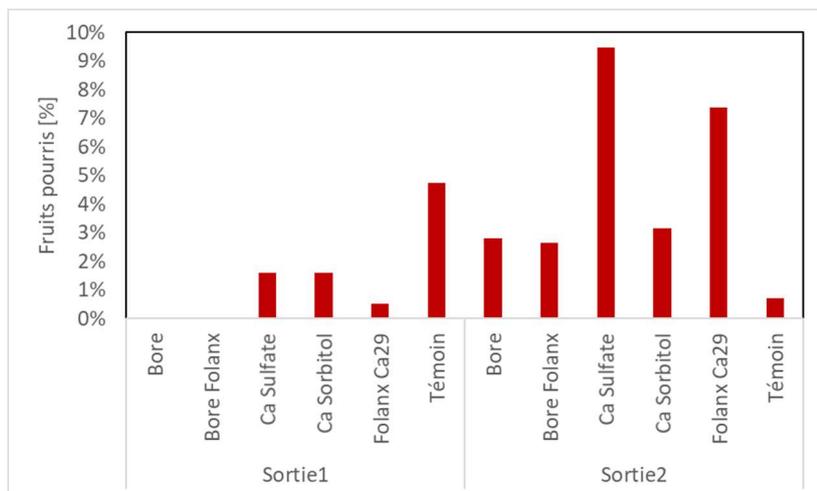


Fig. 23 Pourcentage de fruits pourris après 5 mois (Sortie 1) et 8 mois d'entreposage en AC (Sortie 2).

Le bilan nutritif effectué sur les poires traitées avec du Bore Folanx et du Folanx n'a pas montré de différences pour la macronutriments (Fig. 24, A). Les fruits témoins avaient par contre une teneur en Fer plus élevées que les fruits traités (Fig. 24, B). Comme ni les fruits traités, ni les fruits témoins n'ont développé de cavernes, le Fer n'a probablement pas d'influence sur la sensibilité aux maladies liées à l'AC.

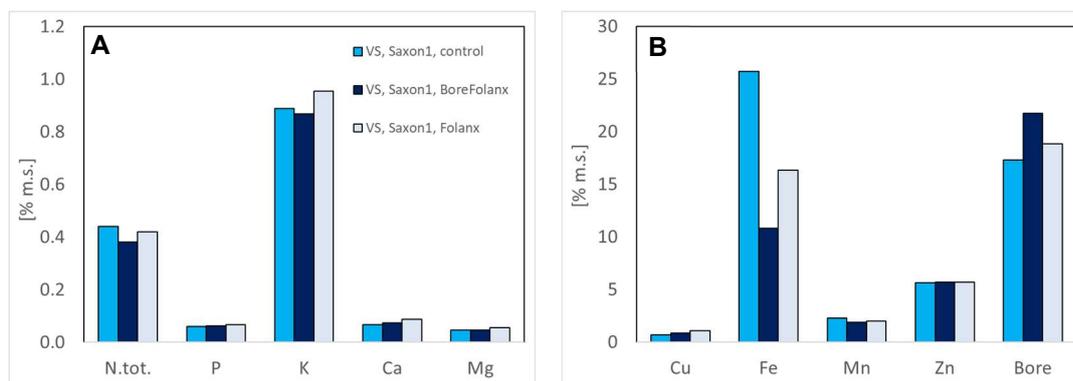


Fig. 24 Influence des traitements foliaires (BoreFolanx et Folanx) sur les éléments nutritifs d'échantillons de fruits de la parcelle de Saxon1 entreposés durant 8 mois en AC. A : macronutriments et B : micronutriments.

3.4 Influence des conditions d'entreposage

3.4.1 Teneur en oxygène : Paramètres physico-chimiques après entreposage

Les conditions d'atmosphère modifiée obtenues à l'aide de modules Janny^{MT} avec adsorption complète du CO₂ ont permis un excellent maintien de la fermeté jusqu'en mai (Fig. 25). L'humidité très élevée dans ces modules a probablement favorisé un meilleur maintien de la fermeté en comparaison des autres conditions d'entreposage testées (humidité à 100 % dans les modules versus 90-95 % dans les cellules AC-AN). Les différentes teneurs en oxygène testées n'ont pas fortement influencé ni la teneur en sucre, ni l'acidité (Fig. 25). Une teneur en O₂ de 3 % a par contre favorisé le maintien de la couleur verte en comparaison d'une teneur à 5 % (Fig. 26).

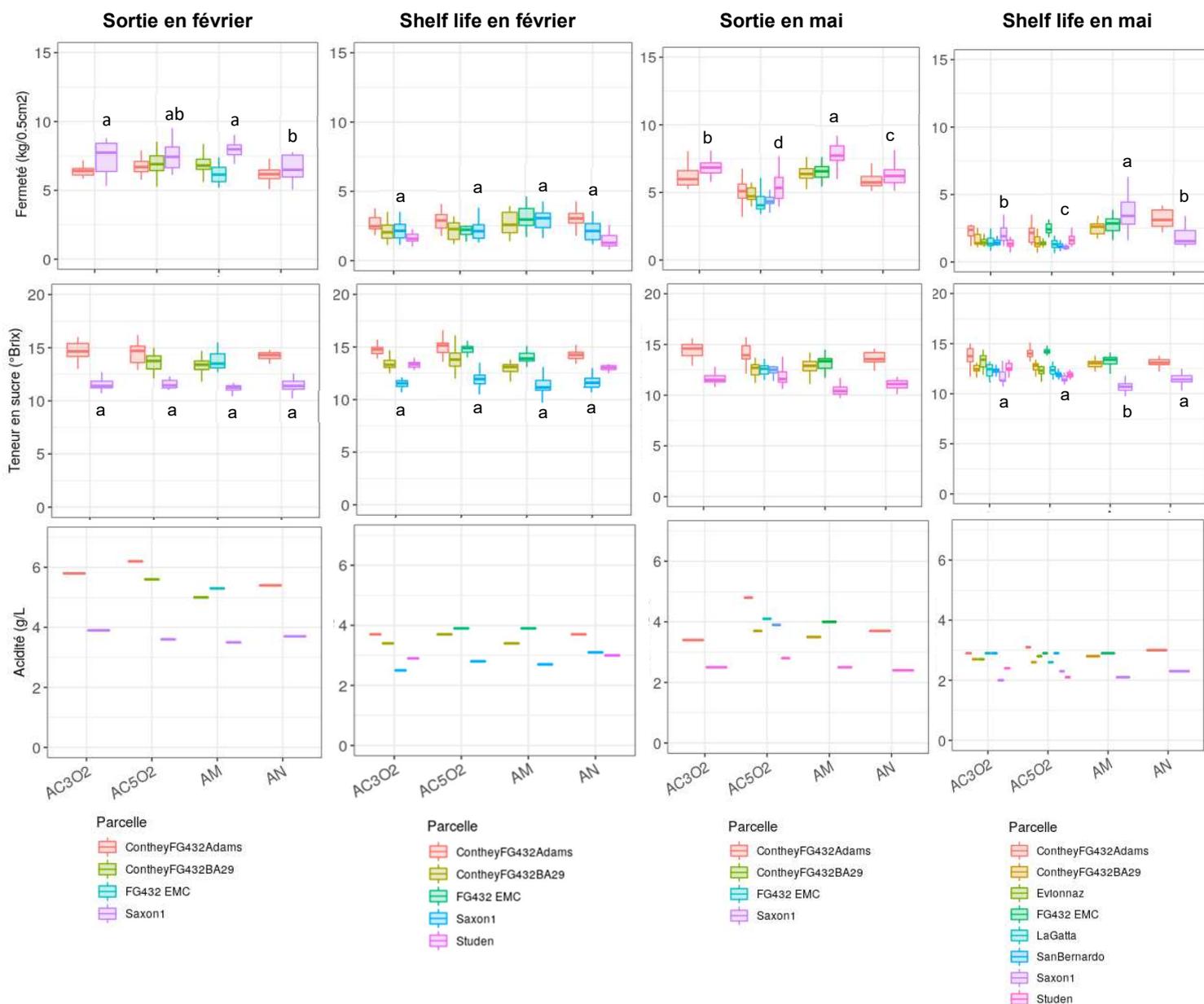


Fig. 25 Influence des conditions de stockage et en particulier de la teneur en oxygène (AC 3 % O₂, AC 5 % O₂, AM 6 % O₂ et AN 21 % O₂) sur la fermeté, la teneur en sucre et l'acidité des poires CH201 issues de différentes parcelles et entreposées durant 5 et 8 mois en AC (Sortie en février et en mai) et 7 jours à 20 °C (Shelf life en février et en mai). Les valeurs avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à $p \leq 0.005$ selon le test posthoc de Tukey et les analyses statistiques ont été uniquement réalisées sur les données de la parcelle de Saxon1.

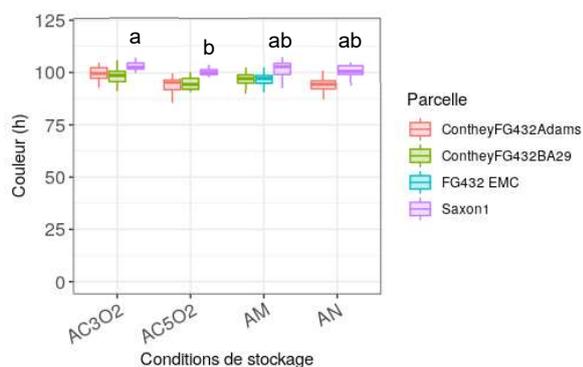


Fig. 26 Influence des conditions de stockage, en particulier de la teneur en oxygène sur la couleur des poires CH201 issues de différentes parcelles et entreposées durant 8 mois en AC. Les valeurs avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à $p \leq 0.005$ selon le test posthoc de Tukey et les analyses statistiques ont été uniquement réalisées sur les données de la parcelle de Saxon1.

3.4.2 Teneur en oxygène : dégâts physiologiques après entreposage

Certaines parcelles n'ont pas développé de dégâts de cavernes, indépendamment des différentes conditions d'atmosphère (Fig. 27 et Fig. 28). Pour celles qui ont été touchées par des cavernes, la diminution de la teneur en oxygène a accentué le problème. En conditions AN, aucune caverne ne s'est développée, ni après 5 mois (Fig. 27), ni après 8 mois d'entreposage (Fig. 28). Les conditions d'entreposage en AM à l'aide de modules Janny^{MT} et de Captacal[®] ont efficacement limité l'apparition des dégâts. L'adsorption du CO₂ a permis de maintenir une teneur de 0.1 % maximum durant toute la durée d'entreposage et a probablement eu un effet positif sur la qualité des fruits. A noter par ailleurs que les poires issues de la parcelle de Saxon1, fortement touchée en 2019-20 n'ont pas développé de cavernes dans aucune des conditions testées, y compris avec 3 % d'oxygène. Ceci confirme que les cavernes se développent principalement sur les fruits issus de vergers « déséquilibrés » (jeunes vergers, faible charge, etc.).

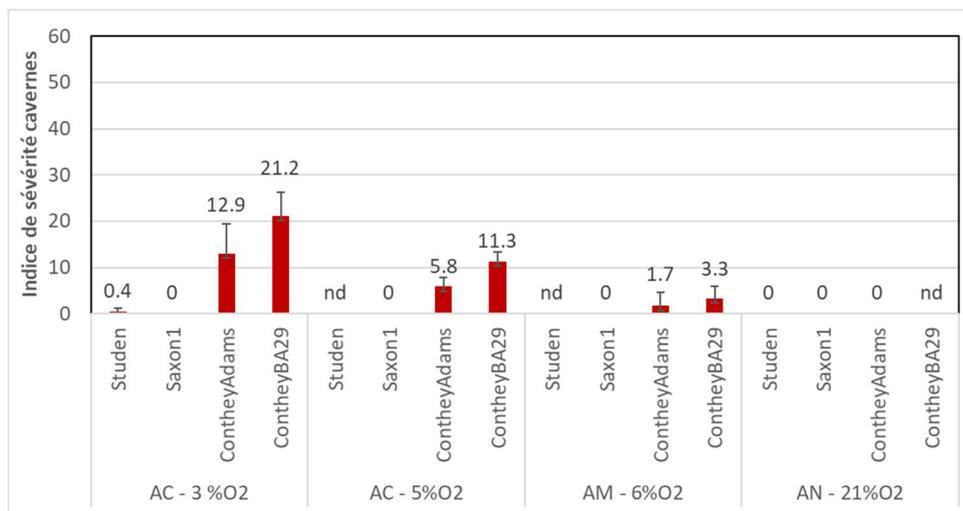


Fig. 27 Influence des conditions d'entreposage et en particulier la teneur en oxygène sur les dégâts de cavernes des poires CH201 issues de différentes parcelles et entreposées durant 5 mois en AC et 7 jours à 20 °C.

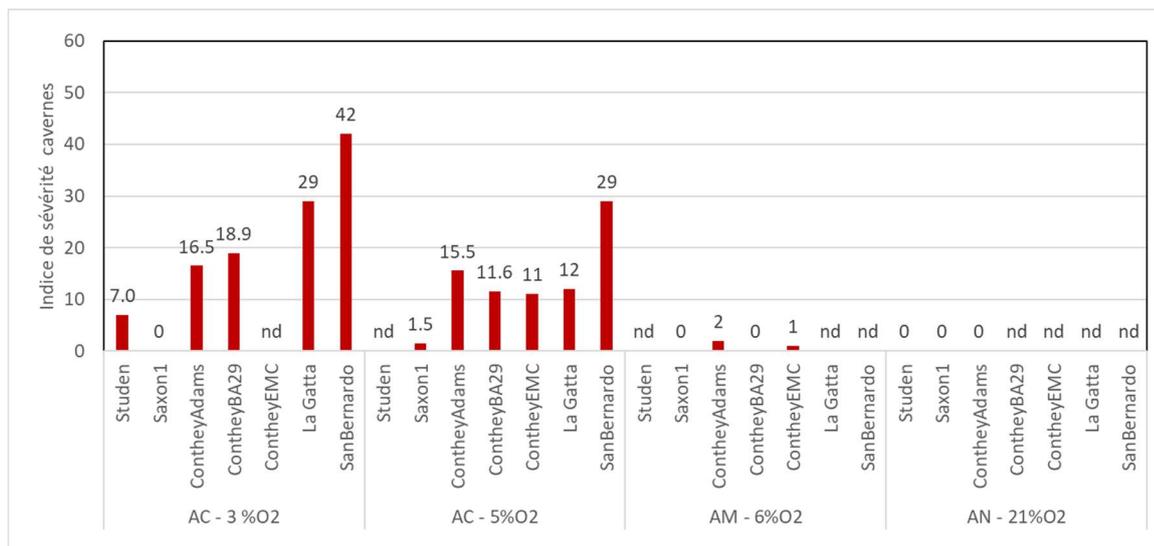


Fig. 28 Influence des conditions d'entreposage et en particulier la teneur en oxygène sur les dégâts de cavernes des poires CH201 issues de différentes parcelles et entreposées durant 8 mois en AC et 7 jours à 20 °C.

3.4.3 Mise en AC retardée : Paramètres physico-chimiques après entreposage

L'essai de mise en AC retardée de 0, 2, 4, 6 et 8 semaines effectué sur les poires issues de la parcelle FG432 (PG EMC) n'a pas montré une forte influence du délai sur les paramètres physico-chimiques mesurés après 7 jours de shelf life en février et en mai (Fig. 29).

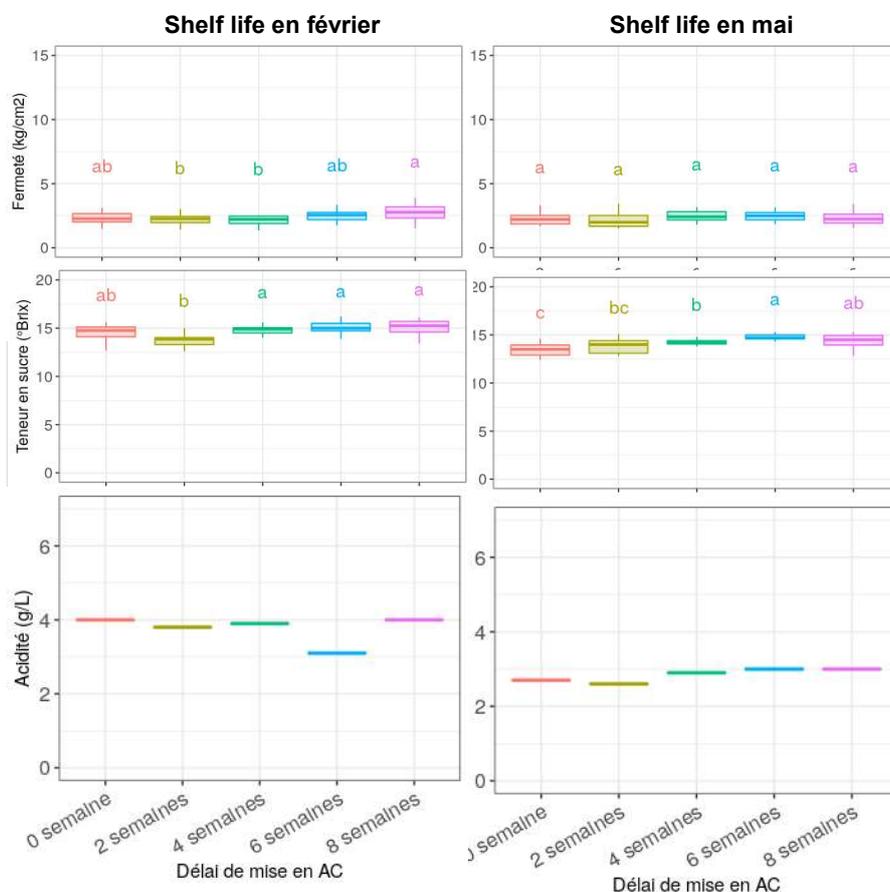


Fig. 29 Influence du délai de mise en AC sur la fermeté, la teneur en sucre et l'acidité des poires CH201 de la parcelle de ContheyFG432EMC entreposées durant 5 et 8 mois en AC (5 %O₂) et 7 jours de shelf life à 20 °C. Les valeurs avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à p<0.005 selon le test posthoc de Tukey.

3.4.4 Mise en AC retardée : dégâts physiologiques après entreposage

Le délai de mise en AC semble avoir légèrement influencé l'apparition des cavernes (Fig. 30). La variante de 0 semaine tend à avoir provoqué moins de dégâts en comparaison des autres variantes. Ces résultats ne sont pas en ligne avec des essais menés les saisons précédentes qui avaient montré plus de dégâts avec une mise en AC directe. Des essais supplémentaires sont donc nécessaire pour vérifier cet effet.

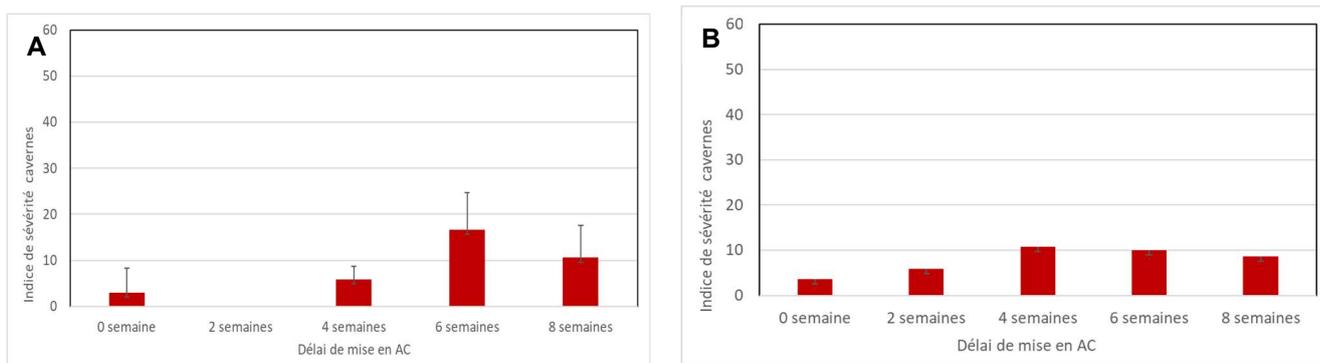


Fig. 30 Influence du délai de mise en AC sur les dégâts de cavernes des poires CH201 de la parcelle de ContheyFG432EMC entreposées durant **A** : 5 et **B** : 8 mois en AC (5 %O₂) et 7 jours de shelf life à 20 °C

3.4.5 Traitement 1-MCP : Paramètres physico-chimiques après entreposage

Un traitement au 1-MCP (300 ppb) appliqué 5 jours après la récolte (direct) ou 4 semaines après la récolte (différé) a été testé sur les poires issues de la parcelle FG432 PG EMC et la parcelle de Saxon1. Les résultats montrent que le traitement appliqué rapidement après la récolte a permis un meilleur maintien de la fermeté en comparaison d'un traitement appliqué 4 semaines après la récolte, en particulier après 7 jours de shelf life (Fig. 31). Le traitement différé n'a pas eu d'influence sur les paramètres physico-chimiques.

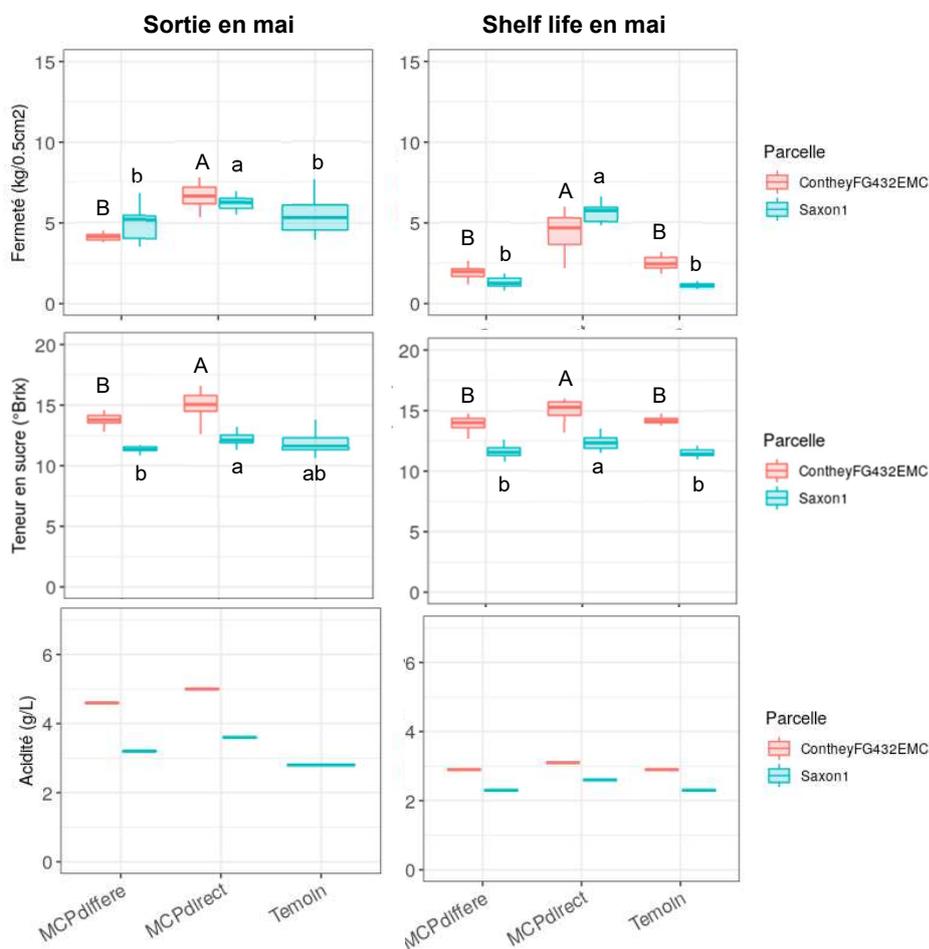


Fig. 31 Influence du traitement 1-MCP (traitement effectué directement après la récolte ou au démarrage de la crise climactérique) sur la fermeté, la teneur en sucre et l'acidité des poires CH201 issues des parcelles de Saxon1 et de ContheyFG432EMC et entreposées durant 8 mois en AC (5 %O₂). Les valeurs avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à $p \leq 0.005$ selon le test posthoc de Tukey.

3.4.6 Traitement 1-MCP : dégâts physiologiques après entreposage

Le traitement au 1-MCP appliqué directement après la récolte a favorisé le développement de cavernes, en particulier sur les fruits issus de la parcelle FG432 PG EMC (Fig. 32). Le traitement différé était similaire, voire inférieur à la variante témoin. A noter que les fruits issus de la parcelle Saxon1 n'ont quasiment pas développé de cavernes, même avec un traitement 1-MCP appliqué directement après la récolte.

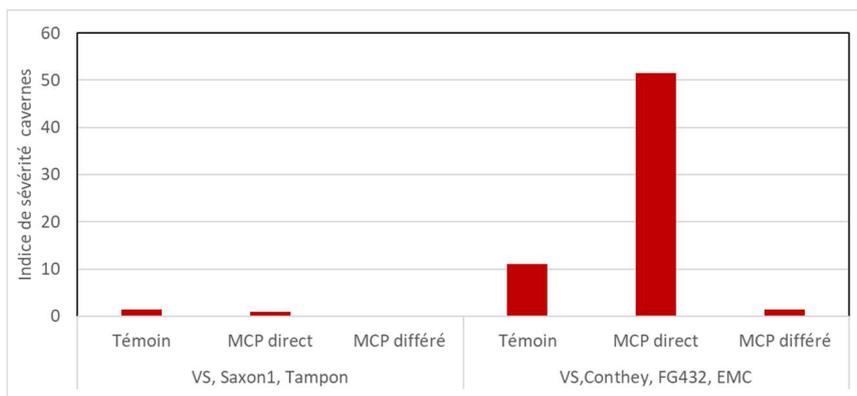


Fig. 32 Influence du traitement 1-MCP (traitement effectué directement après la récolte ou au démarrage de la crise climactérique) sur les dégâts de cavernes des poires CH201 issues des parcelles de Saxon1 et de ContheyFG432EMC et entreposées durant 8 mois en AC et 7 jours à 20 °C.

3.5 Influence du nombre de semaines de froid sur la maturation des poires

3.5.1 Paramètres physico-chimiques

Cet essai a été réalisé avec des poires issues de la parcelle FG432 PG EMC et entreposées en conditions AN à 0.5 °C durant 0, 2, 4, 6 et 8 semaines. Les analyses de qualité ont été effectuées après 10 jours d'entreposage à 20 °C (Shelf life). Les résultats montrent que les poires entreposées durant 4, 6 et 8 semaines au froid ont perdu significativement plus de fermeté durant les 10 jours de shelf life en comparaison des fruits stockés durant 0 et 2 semaines (Fig. 33, B). Ces résultats confirment les effets observés en 2019-20, à savoir que la poire CH201 a besoin d'un minimum de 4 semaines pour mûrir correctement durant la shelf life. En d'autres termes, à moins de 4 semaines de stockage au froid, la texture des fruits ne devient pas fondante durant la shelf life. Le nombre de semaines de froid n'a pas influencé le poids moyen des poires (Fig. 33, A). Les fruits sans période de froid (0 semaine) étaient par contre moins sucrés et tendanciellement plus acides en comparaison des autres variantes (Fig. 33, C et D).

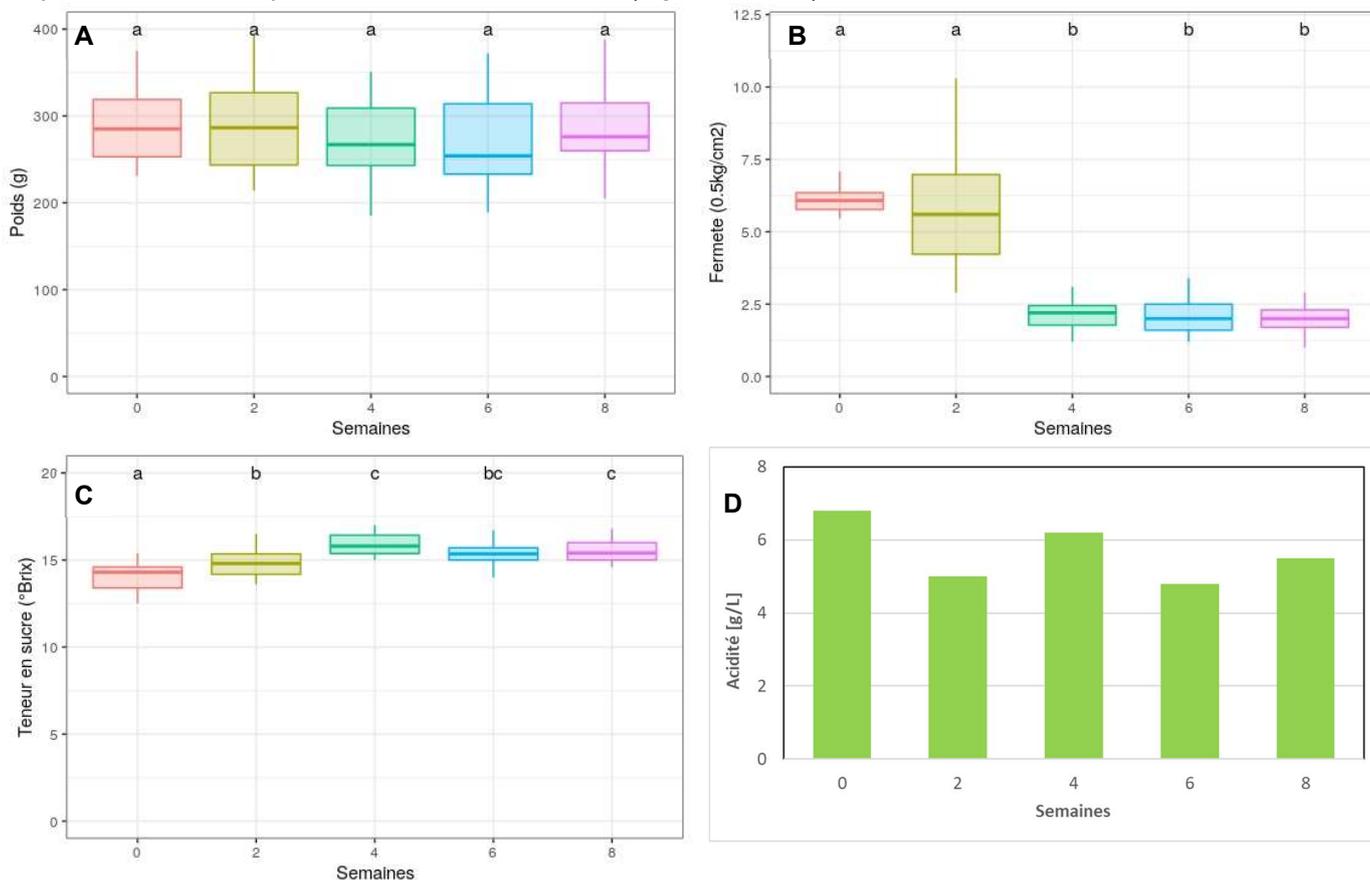


Fig. 33 Influence du nombre de semaine d'entreposage à 0.5 °C en AN sur **A** : le poids, **B** : la fermeté, **C** : la teneur en sucre et **D** : l'acidité des poires CH201 après 7 jours de shelf life, issues de la parcelle Conthey FG432, PG EMC. Les valeurs avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à $p < 0.05$.

3.5.2 Texture

Les mesures de la texture effectuées par pénétrométrie avec une aiguille et avec un embout de 2 mm de diamètre ont montré une influence du nombre de semaine de froid sur les différents paramètres extraits des courbes (Fig. 34). Les fruits entreposés durant 2 semaines au froid avaient une texture de l'épiderme et des premières couches de la chair plus élevée en comparaison des autres variantes, entreposées durant 4, 6 et 8 semaines. Peu de différences de texture ont été constatées entre ces variantes. Ces résultats confirment que les poires 'CH201' ont besoin d'un minimum de 4 semaines de froid pour mûrir correctement et développer une texture fondante.

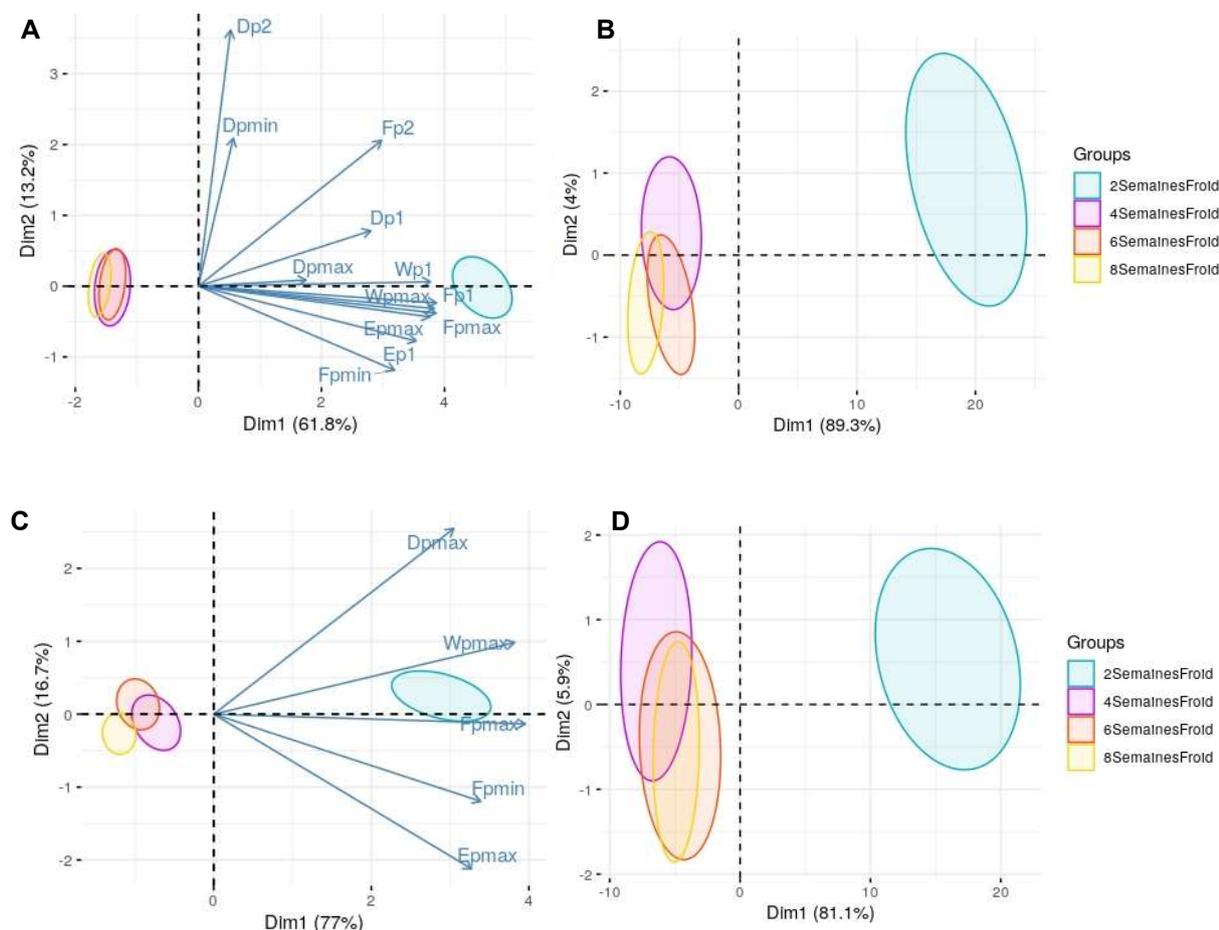


Fig. 34 Influence du nombre de semaine d'entreposage à 0.5 °C en AN sur **A/B** : la texture mesurée par pénétrométrie avec aiguille (**A** : ACP sur les paramètres et **B** : ACP sur les courbes de force/déplacement) et **C/D** : la texture mesurée par pénétrométrie avec embout de 2 mm (**C** : ACP sur les paramètres et **D** : ACP sur les courbes de force/déplacement).

3.6 Identification des parcelles sensibles aux maladies liées à l'AC par forçage au CO₂ et mesures NIR

3.6.1 Forçage au CO₂

Différentes durées de traitement au CO₂ ont été testées entre septembre et décembre. Les premiers essais, démarrés le 14 septembre avec des fruits issus des parcelles de Conthey FG432 (PG EMC) et de Saxon1 (différentes variantes) ont été effectués durant 3 jours à 3 °C avec 20 % de CO₂ et 5 % d'O₂. Les fruits n'ont pas développé de cavernes ni de brunissement de la chair (données non montrées).

Un deuxième test a été effectué le 22 septembre sur les poires de la parcelle Conthey FG432 (PG Adams) en forçant au CO₂ durant 1, 3, 7 et 10 jours à 3 °C. Les résultats ont montré que plus la durée de forçage au CO₂ était longue, plus les poires développaient des cavernes (*Fig. 35*).

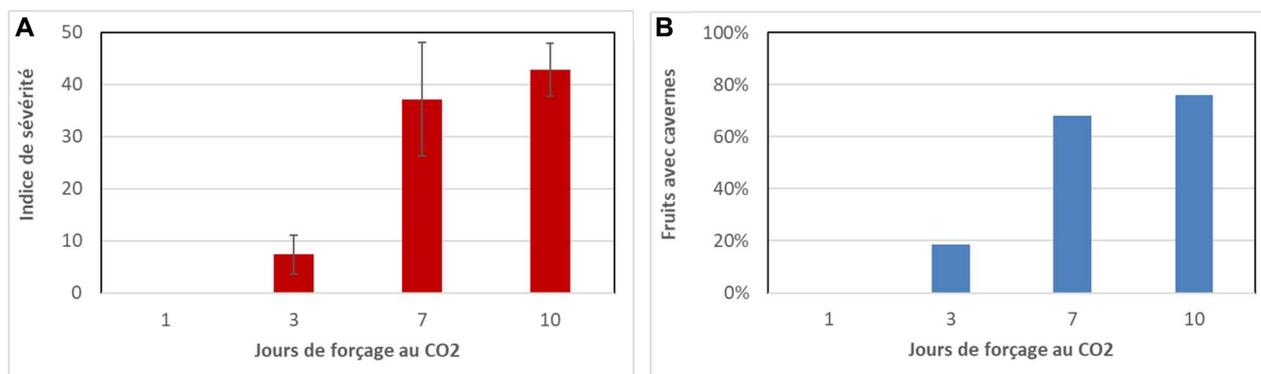


Fig. 35 Influence du nombre de jours de forçage au CO₂ sur **A** : l'indice de sévérité des cavernes et **B** : le pourcentage de fruits avec cavernes des poires CH201 issues de la parcelle Conthey FG432, PG Adams, entreposées à 3 °C avec 20 % de CO₂ et 5 % d'O₂ durant 1, 3, 7 et 10 jours puis durant 10 jours à 20 °C.

L'influence du nombre de semaines de stockage au froid sur les résultats du test de forçage au CO₂ a été évaluée sur les fruits issus de la parcelle Conthey FG432 (PG EMC) et entreposés avant le forçage en AN à 0.5 °C durant 0, 2, 4, 6 et 8 semaines. Les résultats ont montré que le forçage au CO₂ n'a pas induit de cavernes sur les fruits sans période de froid ou stockés durant 2 semaines uniquement (*Fig. 36, A*). A partir de 4 semaines de froid, les dégâts sont apparus après le forçage, en particulier sur la variante entreposée durant 6 semaines en AN. Il est intéressant de constater que l'incidence des cavernes observées après 5 mois d'entreposage en conditions AC (5 % O₂) correspondent relativement bien à celle mesurée après le forçage, à l'exception de la variante 0 semaine (*Fig. 36, B*).

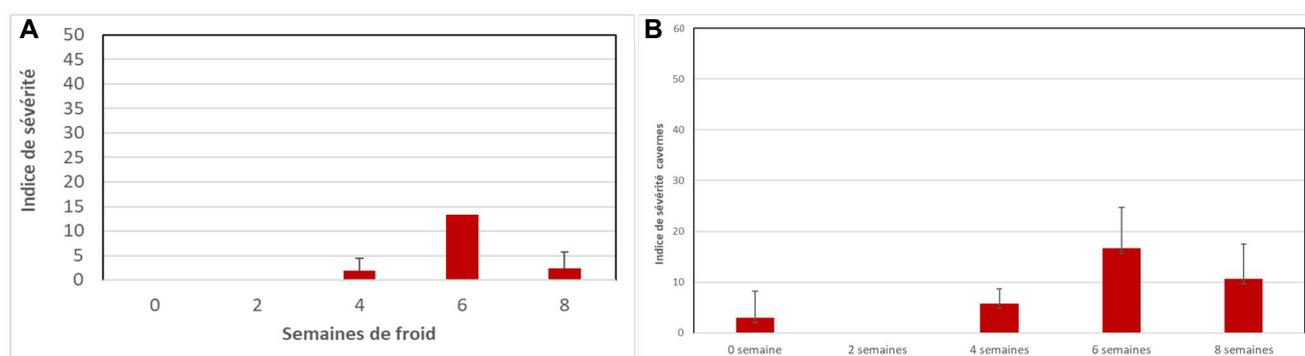


Fig. 36 Influence du nombre de semaines d'entreposage au froid (0.5°C) sur **A** : l'indice de sévérité des cavernes après forçage au CO₂ et **B** : l'indice de sévérité des cavernes après entreposage de 5 mois en AC sur CH201 issues de la parcelle Conthey FG432, PG EMC, entreposées à 3 °C avec 20 % de CO₂ et 5 % d'O₂ durant 3 jours puis durant 10 jours à 20 °C.

Les 12 parcelles/variantes forcées avec 20 % de CO₂ durant 3 jours ont développé des dégâts de cavernes de manière similaire aux fruits issus des mêmes parcelles/variantes après 5 mois d'entreposage en conditions AC (*Fig. 37*). Ces résultats tendent à montrer qu'un forçage de 3 jours avec 20 % de CO₂ permet de prédire la sensibilité aux cavernes des poires en conditions AC. Ces résultats doivent toutefois être confirmés par des essais supplémentaires.

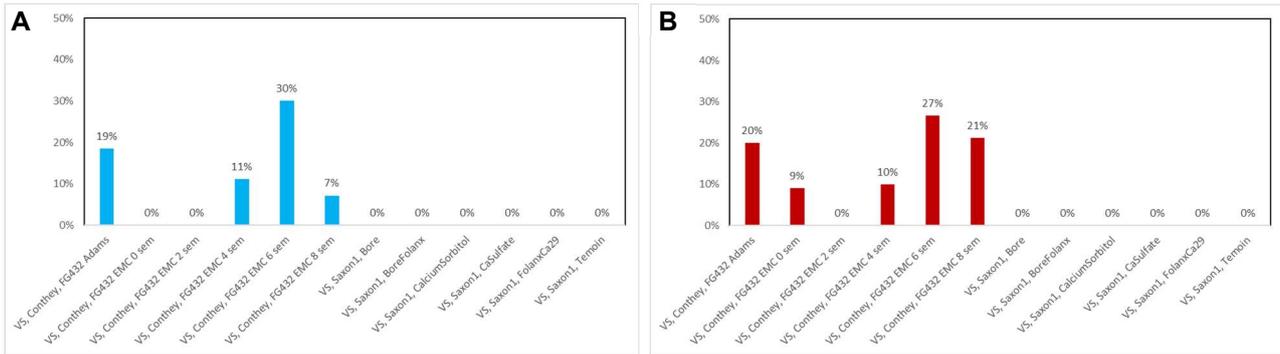


Fig. 37 Indice de sévérité des cavernes après A : 3 jours de forçage au CO₂ et B : 5 mois d'entreposage en AC.

3.6.2 Mesures NIR

Des mesures NIR non-destructives ont été réalisées avant le forçage au CO₂ sur les poires issues de différentes parcelles afin d'identifier les fruits qui seraient susceptibles de développer des dégâts de cavernes. Les résultats montrent que les poires peuvent être discriminées selon leur indice de cavernes (0 : pas de cavernes à 3 : cavernes > 1 cm²) sur la base des spectres NIR mesurés avant le forçage au CO₂ (Fig. 38, A). Les poires de gros calibre étant principalement affectées par les cavernes (Fig. 38, B), ces résultats doivent être interprétés avec précaution et des essais supplémentaires doivent être effectués pour vérifier si la sensibilité aux cavernes peut être prédite par mesures NIR.

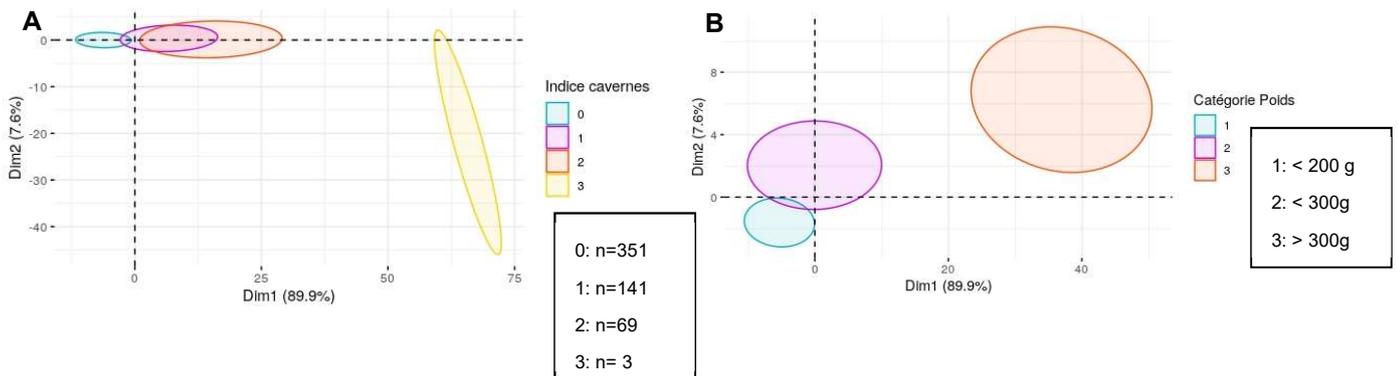


Fig. 38 ACP réalisée sur les spectres NIR des poires CH201 des parcelles VS – Conthey, FG432 EMC, VS – Saxon 1 (VAR Témoïn, Bore, FolanxCa29, CaSorbitol), ZH – Waedenswil et TG – Guettingen. A : groupes selon les indices des cavernes et B : groupes selon le poids des fruits.

4 Conclusions

- Le développement de cavernes est lié aux conditions d'entreposage en AC. Aucune caverne n'a été observée dans nos essais en conditions d'atmosphère normale à 0.5 °C.
- Augmenter la teneur en oxygène de 3 à 5 % en AC a permis de diminuer le nombre de poires affectées par des cavernes.
- Le traitement au 1-MCP effectué 4 semaines après la récolte, au moment du démarrage de la crise climactérique, n'a pas montré d'efficacité en comparaison des fruits non traités.
- Le traitement au 1-MCP effectué 5 jours après la récolte a ralenti la perte de fermeté, en particulier en conditions de shelf life mais a également augmenté l'incidence des cavernes.
- Les tests d'entreposage en atmosphère modifiée effectués à l'aide des modules Janny^{MT} et de sacs de Captacal® adsorbant la quasi-totalité du CO₂ produit par les poires ont permis un excellent maintien de la fermeté (supérieur à celui en AC et en AN) et de diminuer l'incidence de cavernes par rapport aux conditions AC. Ces résultats confirment que la teneur en CO₂ est déterminante dans l'apparition des cavernes.
- La parcelle de Saxon1 qui avait été fortement touchée par des dégâts de cavernes durant la saison 2019-20 n'a développé aucun dégât en 2020-21. Ni la teneur en O₂ de 2 %, ni le traitement 1-MCP effectué 5 jours après la récolte n'ont induit de cavernes. Ces résultats semblent montrer que lorsqu'une parcelle est « équilibrée » (âgée de plus de 4 ans, charge moyenne à forte, bonne teneur en calcium,...), plus les fruits supportent des teneurs en O₂ faibles et un traitement au 1-MCP. Les parcelles moins bien équilibrées (jeunes, faible charge, fruits de gros calibre,...) supportent moins bien de telles conditions et doivent être entreposées avec plus de précautions.
- La provenance des fruits influence fortement la sensibilité au développement de cavernes durant l'entreposage : à l'exception d'un verger, les vergers de plus de 4 ans testés dans le réseau de parcelles suisses n'ont pas ou que très peu développé de cavernes durant l'entreposage en AC. L'âge des arbres est le facteur pré-récolte principal qui influence la sensibilité aux cavernes.
- Les parcelles touchées par des cavernes avaient tendanciellement moins de calcium dans les feuilles et dans les fruits en comparaison des vergers sains.
- Les vergers jeunes avec des teneurs en azote, phosphore et potassium élevées ont tendanciellement développé plus de cavernes.
- Le poids des fruits n'était pas corrélé au pourcentage de fruits avec cavernes.
- Les parcelles sans cavernes avaient une teneur en vitamine C plus élevée que les vergers avec cavernes.
- Le porte-greffe Pyriam a provoqué plus de dégâts de cavernes en comparaison des PG BA29, Adams, EMC, MH et Intercomice.
- L'influence des différents traitements au calcium et au bore effectués sur la parcelles de Saxon1 sur le développement de cavernes n'a pas pu être évaluée car les fruits issus de toutes les variantes sont restés sains durant toute la durée d'entreposage.
- Les fruits issus de différentes parcelles ont démarré la crise climactérique après 4 semaines environ d'entreposage en AN à 0.5 °C.
- Les poires ont besoin de 4 semaines minimum pour mûrir correctement durant la shelf life.
- Un entreposage avec 20 % de CO₂ et 5 % d'O₂ durant 3 jours à 3 °C a permis de prédire la sensibilité aux cavernes en conditions AC. Ces résultats sont très prometteurs mais doivent néanmoins être confirmés.
- Les premiers essais de mesures non-destructives par NIR ont permis de prédire l'évolution de la sensibilité aux cavernes. Ces résultats doivent également être confirmés.

5 Bibliographie

- Franck, C., Lammertyn, J., Ho, Q.T., Verboven, P., Verlinden, B., Nicolaï, B.M., 2007. Browning disorders in pear fruit. *Postharvest Biology and Technology* 43, 1-13.
- Gabioud Rebeaud, S., Cotter, P.-Y. and Christen, D. (2020). Essai conservation de la poire CH201. Rapport interne, éditions Agroscope, 1-33.
- Hamauzu, Y., Hanakawa, T., 2003. Relation of Highly Polymerized Procyanidin to the Potential Browning Susceptibility in Pear Fruits. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 72, 415-421.
- Kuster, T., Eicher, O., Leumann, L., Müller, U., Poulet, J. and Rutishauser, R. (2017). Fertilisation en arboriculture. *Recherche Agronomique Suisse* 8, 1-19.
- Lammertyn, J., Aerts, M., Verlinden, B.E., Schotsmans, W., Nicolaï, B.M., 2000. Logistic regression analysis of factors influencing core breakdown in 'Conference' pears. *Postharvest Biology and Technology* 20, 25-37.
- Lentheric, I., Pinto, E., Vendrell, M., Larrigaudiere, C., 1999. Harvest date affects the antioxidative systems in pear fruits. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 74, 791-795.
- Roelofs, F.P.M.M., de Jager, A., 1997. Reduction of brownheart in Conference pears. In: Mitcham, E. (Ed.), *Proceedings of the Controlled Atmosphere Research Conference on Apples and Pears*, vol.2. University of California, Davis, USA, July 1997, pp. 138-144.
- Saquet, A., 2018. Storability of 'Conference' Pear Under Various Controlled Atmospheres. *Erwerbs-Obstbau*.
- Xuan, H., Streif, J., Pfeffer, H., Dannel, F., Römheld H. and F. Bangerth (2001). Effect of pre-harvest boron application on the incidence of CA-storage related disorders in 'Conference' pears, *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, **76**, 133-137.
- Xuan, H., Streif, J., Saquet, A.A. and Bangerth, F. (2003). Boron Application Affects Respiration and Energy Status of 'Conference' Pears during CA-Storage. *Acta hort*, **628**, 167-174.

6 Annexes

Annexe I : Tests de maturité

