



HAL
open science

Emballages biosourcés recyclables ou compostables pour les fruits et légumes frais

Camille Leclerc

► **To cite this version:**

Camille Leclerc. Emballages biosourcés recyclables ou compostables pour les fruits et légumes frais. Sciences du Vivant [q-bio]. 2019. dumas-02378201

HAL Id: dumas-02378201

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02378201>

Submitted on 25 Nov 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



Année universitaire : 2018-2019

Spécialité :

Horticulture

Spécialisation (et option éventuelle) :

Ingénierie des Produits et des Productions
Horticoles (I2PH)

Mémoire de fin d'études

d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques,
agroalimentaires, horticoles et du paysage

de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques,
agroalimentaires, horticoles et du paysage

d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Emballages biosourcés recyclables ou compostables pour les fruits et légumes frais

Par : Camille LECLERC

Soutenu à Angers, le 05/09/2019

Devant le jury composé de :

Président : Etienne CHANTOISEAU

Expert extérieur : Nicolas BLANLOEIL

Maître de stage : Valérie MERENDET

Expert établissement : Mickaël DELAIRE

Enseignant référent : Emmanuel GEOFFRIAU

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation

«Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0
France»



disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>

Table des matières

Remerciements	7
Liste des abréviations	8
Introduction.....	9
A. Les fruits et légumes frais : des produits vivants.....	9
B. L’emballage en pleine évolution.....	9
Etat de l’art	11
A. Des matériaux alternatifs	11
1. Préambule : fonctions des emballages	11
2. L’offre préemballée aujourd’hui dominée par le plastique	11
3. Matériaux alternatifs et propriétés	11
B. Une fin de vie des emballages plus durable	13
1. Interdiction des emballages à usage unique : le déclic	13
2. Fin de vie des emballages : norme de compostabilité.....	14
C. L’atmosphère Modifiée Passive : une solution ?	15
1. Diminution du taux de respiration.....	15
2. Diminution de la transpiration ou perte de poids.....	15
3. Ralentissement de l’évolution des propriétés physico-chimiques	16
4. Retardement de l’apparition des pathogènes	16
5. Des films trop peu perméables menant à un risque de fermentation ?.....	17
6. Les bénéfices de la microperforation	17
D. Perception de l’emballage par le consommateur	17
Objectifs de l’étude.....	18
I. Présentation du produit étudié : la fraise, fruit modèle	18
II. Identifier les facteurs influençant l’intensité respiratoire	21
A. Matériel et méthode.....	21
B. Analyses statistiques.....	22
C. Résultats.....	22
III. Identifier la surface de perforation optimale des films pour la préservation des qualités physico-chimique des fruits.....	24
A. Matériel et méthode.....	25
1. Composition O ₂ et CO ₂ à l’intérieur de l’emballage	27
2. Meurtrissures	27

3.	Pathogènes.....	27
4.	Présence de vapeur d'eau.....	27
5.	Poids	27
6.	Fermeté.....	28
7.	Brix	28
8.	Acidité	28
9.	Test hédonique	28
B.	Analyse statistique	28
C.	Résultats.....	29
1.	Composition O ₂ et CO ₂	29
2.	Meurtrissures	30
3.	Pathogènes.....	30
4.	Poids	31
5.	Fermeté, Brix et acidité.....	31
6.	Présence de vapeur d'eau.....	32
7.	Analyse en composante principale	32
8.	Test hédonique	34
IV.	Evaluer les propriétés des barquettes alternatives	36
A.	Matériel et méthode.....	36
1.	Observations visuelles et mesure du poids	38
2.	Test de résistance à la chaleur	38
3.	Test UV	38
4.	Test de compression verticale.....	38
5.	Evaluation sensorielle.....	39
6.	Analyses statistiques	39
B.	Résultats.....	39
1.	Meurtrissures	39
2.	Surface de jus.....	40
3.	Photographie de la surface des matériaux	40
4.	Pourriture	41
5.	Variation de poids des barquettes et des fraises	41
6.	Variation des dimensions	42
7.	Test UV	42
8.	Test de compression verticale.....	43
V.	Evaluer la perception de ces matériaux par les consommateurs	44
A.	Matériel et méthode.....	44

B.	Résultats.....	45
1.	Perception de l'emballage des fruits et légumes : utilité usages.....	45
2.	Emballage « écolo » ?	45
1.	Réaction face aux barquettes/films	45
2.	Le prix	47
3.	Acceptation ?	47
VI.	Discussion.....	48
A.	Produit frais-Emballage : un système complexe	48
B.	Un temps de commercialisation allongé	49
C.	Meurtrissures : porte d'entrée des pathogènes	50
D.	Satisfaction des consommateurs	51
E.	Une communication indispensable	52
VII.	Conclusion.....	54
VIII.	Bibliographie.....	54

Table des figures

Figure 1 Offre préemballée fruits et légumes frais, Achan, Plaisir (Leclerc., 2019).	10
Figure 2 Diversification des matériaux utilisés pour le préemballage des F&L frais, Auchan Plaisir (Leclerc.,2019).	12
Figure 3 Capacités de production mondiale des bioplastiques 2018 (par type de matériau) (European Bioplastique, nova institute.,2018).	13
Figure 4 Logo certificateurs	14
Figure 5 Profil variétal des fraises Françaises Printemps 2017 (Mas et Granado, 2017)19	
Figure 6 Emballages les plus communément commercialisés pour la fraise (A : Barquette plastique + flowpack macroperforé; B : Barquette + couvercle macroperforé; C : Panier bois + flowpack macroperforé; D : Cageot bois, fraises litées + film macroperforé, Auchan Plaisir (Leclerc.,2019)	19
Figure 7. Variation de la teneur en O ₂ et CO ₂ au cours du temps.....	21
Figure 8 Intensité respiratoire O ₂ en fonction de la variété, du producteur et de la date.	22
Figure 10 Courbes de régression pour PLA, NVS, PP à partir des résultats des années précédentes et des travaux de l'APEF.	25
Figure 9 Photographies des 4 films microperforés étudiés, CTIFL Rungis (Leclerc., 2019).	24
Figure 11 Positionnement des matériaux étudiés dans le cadre de ces essais en termes de perméabilité O ₂ (OTR : Oxygene Transmission Rate) et H ₂ O (WVTR : Water Vapour Transmission) à partir du graphique de Schmid, 2012)	25
Figure 12 Evolution de la quantité de O ₂ (A) et CO ₂ (B) au cours du temps en condition de simulation magasin 20°C/50HR. Exemple de Mariguette semaine 24.	29
Figure 13 Variation de la note meurtrissure au cours du temps. Exemple de Mariguette Semaine 21.	30
Figure 14 Evolution de l'incidence de la pourriture en fonction de la teneur en O ₂ et CO ₂	Error! Bookmark not defined.
Figure 15 Evolution du nombre de fruits présentant des symptômes de pourriture. Exemple Mariguette Semaine 21).	30
Figure 16 Variation de poids en fonction du temps (A), en fonction de la surface perforée (B), en fonction de la perméabilité du matériau (C)	31
Figure 17 Variation de la fermeté (%) (A); de l'acidité (%) (B) en fonction des classes de O ₂	31
Figure 19 Analyse en Composante Principale.	32

Figure 18 : Matrice de corrélation entre les différentes variables étudiées pour l'essais film (Package Corrplot, logiciel R).....	32
Figure 20 Temps de commercialisation et gain de temps par rapport au témoin macroperforé en fonction de la teneur en O ₂ et CO ₂	33
Figure 21 P-valeur associée au test de Fisher pour le produit (Note) pour chacun des descripteurs.....	34
Figure 22 Cercle de corrélations (A) et Ellipse de confiances (B), graphiques de caractérisation de la note.....	35
Figure 23 Photographies des barquettes étudiées, CTIFL Rungis (Leclerc., 2019).	38
Figure 24 Note globale meurtrissure par barquette en fonction du matériau (A) et sévérité des meurtrissures par matériau (B).	39
Figure 25 Surface totale de jus dans les barquettes en fonction du matériau.....	40
Figure 26 Photographie de la surface des matériau au microscope (objectif X10), CTIFL Rungis (Leclerc.,2019).....	40
Figure 27 Incidence des pourritures (A) et sévérité des pourritures (B) en fonction des matériaux.....	41
Figure 28 Variation de poids des barquettes (A), et des fraises (B) en fonction du matériau.	41
Figure 29 Variation de la longueur (A), largeur (B), hauteur (C) après circuit (2 jours en condition serre 40°C/80%HR, 2 jours avec fraises en chambre froide 5°C/80%HR, 3 jours de magasin 20°C/50%HR.....	42
Figure 30 Contrainte maximale avant rupture ou affaissement avant circuit et après circuit (2 jours en conditions sous serres simulées, 2 jours en chambre froide 5°C/80%RH, 3 jours en conditions magasin 20°C et 50%RH.	43
Figure 31 Représentation simplifiée du système produit emballage réalisé à partir de celui de Matar et al., 2017 (Leclerc.,2019).....	48
Figure 32 Gamme Happy Snacking fruits rouges de la société Bel'Orta (Bel'Orta).	52

Table des tableaux

Tableau 1 Tableau de synthèse des propriétés des matériaux abordé dans l'ouvrage Le préemballage des légumes et des fraises de Philippe Moras., 2005 et les recherches concernant le palmier Areca.	12
Tableau 2 Synthèse sur les résultats obtenus avec MAP.....	17
Tableau 3 Tableau résultats statistiques de l'essai intensité respiratoire (P-valeur issues des tests ANOVA).	23
Tableau 4 Propriétés des films étudiés.	24
Tableau 5 Modalité de surface de perforation en mm ² par matériau.	26
Tableau 6 Surfaces perforées pour atteindre l'intervalle O ₂ =[5-10%] en fonction du matériau testé.	29
Tableau 7 Synthèse des matériaux étudiés.	37
Tableau 8 Tableau de synthèse des analyses statistiques de l'essai barquettes. En noir les P-valeurs résultants du test ANOVA, en gris celle obtenue avec le test non paramétrique de Kruskal-Wallis.....	44
Tableau 9 Synthèse des termes relevés lors de la présentation des matériaux lors des focus groupes C (Conventionnel) et B (Biologique).	46

Remerciements

J'aimerais remercier l'ensemble de l'équipe du CTIFL de l'antenne de Rungis pour son accueil très chaleureux et sa transmission de connaissance tout au long de ce stage. Je remercie tout particulièrement : Valérie Mérendet, responsable de l'antenne, ingénieure de recherche et maître de stage qui m'a guidé, accompagné, et a toujours su se rendre disponible pour m'aider dans les essais malgré ses autres fonctions ; Gilles Christy pour avoir organisé et animé les groupes consommateurs, Sophie Annibal, ingénieure de recherche, qui m'a aidé et soutenu dans mes essais, Marie-Hélène Hochedez ingénieure, formatrice pour m'avoir permis d'assister à la formation « Agréage » lors de mon stage, s'être toujours montrée curieuse et intéressée devant nos essais et pour avoir partagé ses découvertes bibliographiques sur le sujet. Je remercie Corinne Guss, Benoît Dufresne, Alain Roger, pour leur gentillesse, pour s'être adaptés aux horaires parfois tardifs en raison des essais et leur soutien tout au long du stage ; les producteurs, M.Rahem, M. Colibet, Mme Vanhalst et Mme Morisseau pour avoir contribué à cette étude pour nous avoir accueillies, mis à disposition du matériel, fournis les volumes de fraises nécessaires à cette étude et partagé leurs problématiques et observations. Je remercie les grossistes de Rungis et leurs employés qui ont participé aux nombreuses dégustations organisées sur le Marché de Rungis. Enfin, je remercie Emmanuel Geoffriau, tuteur de stage Agrocampus Ouest pour sa disponibilité, ses conseils et ses encouragements et Pierre Santagostini pour son aide précieuse concernant les analyses statistiques réalisées dans le cadre des essais.

Liste des abréviations

F&L : Fruits et légumes

O₂ : Dioxygène

CO₂ : Dioxyde de carbone

H₂O : Eau

PET : Poly Ethylène Téréphtalate

PP : Poly Propylène

PLA : Poly Lactic Acide

CC : Carton Compact

CT : Carton Tomates

CM : Cellulose Moulée

CMP : Cellulose Moulée de Pin

FCS : Fibre de Canne à Sucre

PLM : Palmier

BA : Bois Agrafé

BTH : Bois Thermoformé

PPHA : Paille + PHA

Introduction

A. Les fruits et légumes frais : des produits vivants

Les fruits et légumes (F&L) sont des éléments essentiels de l'alimentation humaine. Leur consommation est associée à de nombreux bénéfices nutritionnels indispensables à notre santé. Pourtant, celle-ci stagne (France AgriMer, 2017), et est même en léger recul par rapport en 2016 pour le cas des légumes et en légère hausse de 0.8% pour les fruits.

Les F&L sont des produits vivants, une caractéristique souvent oubliée ou négligée. Ils poursuivent leurs activités métaboliques après récolte incluant respiration et maturation jusqu'à la phase de sénescence (Sandhya, 2010). Ces causes biologiques de détériorations conduisent à des changements indésirables de leurs qualités, caractérisés par un changement de couleur, de texture, d'aspect visuel (meurtrissures), de saveur, de valeur nutritionnelle et par l'apparition de pathogènes (Kader, 2005). Les F&L sont plus ou moins sensibles à la déshydratation. Si certains ont des épidermes épais qui constituent une barrière à la perte en eau, d'autres ont un épiderme très fin ne jouant pas son rôle efficacement. Les salades, les fruits rouges sont composés respectivement d'environ de 94% et 87% d'eau. La déshydratation a un impact considérable sur leur aspect visuel. En seulement un à deux jours, leur aspect peut être complètement dégradé.

La détérioration rapide de la qualité et de la durée de vie des produits peut être le résultat de désordres physiologiques mais également de la présence de blessures mécaniques, problématiques majeures pour le commerce des F&L (Hussein et al., 2015). Les travaux de récolte, le conditionnement, le transport, les activités de manutention et la manipulation par les consommateurs, sont autant d'étapes durant lesquelles les chocs, les vibrations et les pressions se multiplient. Ces blessures mécaniques sont des portes d'entrées supplémentaires pour les pathogènes alors que les produits frais sont déjà sensibles à leur attaque en raison de leur fort taux de respiration après récolte. Par conséquent, leur durée de vie est très limitée.

Une mauvaise gestion des problématiques mentionnées contribue à des pertes considérables et par conséquent, à des pertes financières. La qualité des produits non climactériques ne peut pas être améliorée après la récolte. Il est néanmoins possible de ralentir leur vitesse d'évolution en maintenant ses qualités et en allongeant sa durée de vie. La filière doit également faire face à l'insatisfaction des consommateurs. La demande croissante de ces derniers pour des produits de qualité renforce le besoin de développer des technologies appropriées en post-récolte. Parmi celles existantes, le pré-emballage est une option en pleine évolution.

B. L'emballage en pleine évolution

L'alimentaire représente 49% du préemballage (Pira International., 2001 in Baros and Vernin, 2005). Les achats de F&L préemballés avaient progressé de 80 % entre 1994 et 2000 et continuent de progresser : +5% entre 2008 et 2009 (Faquet, 2010). Le marché représente 1/3 des F&L en France (Vernin, 2013). Les modifications de consommation telles que l'achat en plus petites portions, le prêt à consommer (4^{ème} gamme, salades, jeunes pousses...), la tendance au snacking contribue à cette hausse.

Le degré d'emballage varie fortement avec le circuit de distribution emprunté par le produit. Les circuits courts sont en pleine expansion : le nombre de producteur a augmenté de

5% entre 2000 et 2010 (Agreste Recensement agricole in France Culture, 2017). Aujourd'hui, 21% des producteurs vendent en circuits courts (Fontaine, 2016). Ces derniers garantissent la qualité et la fraîcheur des produits, consommés très rapidement. De ce fait, les contraintes et les exigences liées aux emballages en circuits courts sont moins nombreuses en termes de durée de vie, solidité, etc... par rapport aux circuits longs. Les emballages doivent généralement assurer 7 fonctions principales détaillées dans l'ouvrage de Patrice Dole : « les 7 fonctions de l'emballage » : 1) préserver la qualité de l'aliment ; 2) prévenir le risque microbiologique ; 3) préserver l'intégrité de l'emballage et de son contenu ; 4) prévenir le risque chimique ; 5) préserver l'environnement ; 6) répondre aux exigences techniques et économiques du fabricant et de l'utilisateur de l'emballage ; 7) interagir et communiquer avec le consommateur.

« Il existe une vraie diversité des matériaux, des volumes, ou poids d'emballages utilisés, ils s'adaptent à de multiples situations et contraintes liées au produit » (Baros, Vernin, 2005). Les matériaux plastiques, pratiques, légers, bons marchés, ont gagné du terrain dans les rayons (**Figure 1**). Ces emballages produisent des déchets potentiellement néfastes pour l'environnement (actualité), et ne garantissent pas toujours une qualité satisfaisante. Les consommateurs réclament à la grande distribution de plus en plus d'emballages en carton ou bois, les points de vente en vrac se multiplient.... Les producteurs contactés pour l'étude affirment également avoir vu le regard des clients sur les marchés changer devant l'emballage ... « les barquettes plastiques, ça les crispe ».

Face à un consommateur de plus en plus exigeant sur la qualité des produits alimentaires qu'il consomme et conscient des impacts de sa consommation sur l'environnement, il est nécessaire pour les professionnels de la filière F&L de trouver des pistes d'amélioration concernant la conservation des produits, de leurs qualités gustatives tout en réduisant l'impact environnemental. Les matériaux d'emballages biosourcés, recyclables et compostables pourraient être une réponse aux attentes des consommateurs comme des professionnels.

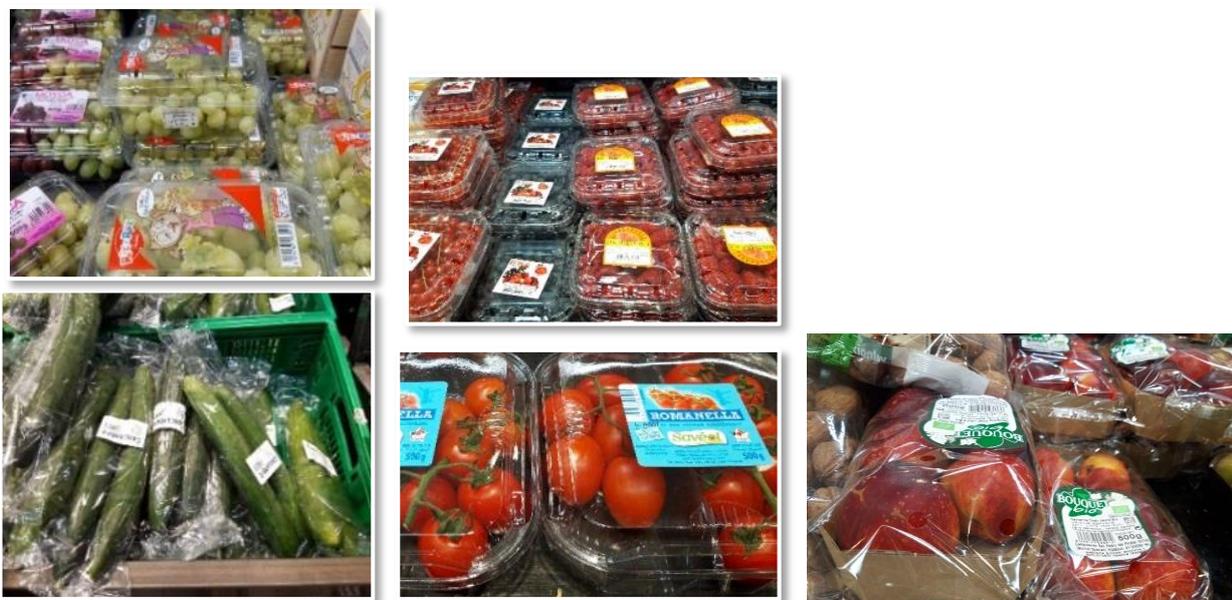


Figure 1 Offre préemballée fruits et légumes frais, Achan, Plaisir (Leclerc., 2019).

Etat de l'art

A. Des matériaux alternatifs

1. Préambule : fonctions des emballages

Le préemballage (au sens de l'article R112-1 du Code de la Consommation) est « un ensemble produit-emballage, conditionné avant sa présentation à la vente de façon à ce que le contenu ne puisse être modifié sans que l'emballage ne subisse une ouverture ou une modification. Il constitue une unité de vente où la notion d'intégrité est mise en avant »(Moras, 2005). Une diversité énorme de conditionnement est possible avec différentes fonctions assurées. « La fonction première de l'emballage consiste toujours à contenir et protéger des produits, en l'occurrence des F&L frais et de faciliter ainsi leur manutention et transport tout au long de leur acheminement depuis les zones de production jusqu'au étalages des points de ventes. Au-delà de la protection mécanique aux chocs et expositions diverses (lumière, intempéries...), ils peuvent contribuer à l'amélioration de la conservation des produits frais »(Baros, Vernin, 2005). L'emballage doit constituer une barrière efficace contre la perte en eau caractéristique des produits frais, prévenir la pénétration de l'oxygène et contrôler les échanges pour la respiration (emballages sous atmosphère contrôlée ou modifiée). Les teneurs en O₂ et CO₂ modifiées peuvent être défavorable au développement de certains micro-organismes. L'emballage doit donc se comporter de manière stable, ne pas ou très peu se déformer sous les contraintes mentionnées, ni sous l'interaction emballage-produit. Il doit également répondre aux exigences des fabricants en ce qui concerne, les coûts des matières premières, les capacités de celle-ci à être transformée, imprimée, conditionnée. Enfin, l'emballage est aussi vecteur d'interaction et de communication avec les consommateurs. Il leur apporte des informations et doit satisfaire leurs besoins de praticité.

2. L'offre préemballée aujourd'hui dominée par le plastique

Le secteur de l'emballage représente 39% des volumes de plastiques utilisés dans le monde (Plastics Europe, 2018). En 2005, la répartition des matériaux pour les F&L était la suivante :70% de plastiques, 10% de bois, 20% de cartons mais ces chiffres auraient besoin d'être réactualisés (Moras, 2005). Au sein de l'offre, les emballages les plus communément commercialisés sont les filets, les sachets et contenants plastiques toujours suremballés d'un flowpack (offrant de grandes possibilités de mécanisation et conservation) ou d'une coque plastique, macroperforés. Ces modèles évitent la condensation entravant la visibilité du produit et empêchent le développement d'atmosphère anoxique (Sousa-Gallagher et al., 2013). Ils ne permettent cependant une conservation plus ou moins satisfaisante (flétrissement, développement de pathogènes....).

3. Matériaux alternatifs et propriétés

Les entreprises et instituts multiplient les recherches vers les matériaux biosourcés (matériau provenant de la biomasse végétale ou animale) et les coproduits (petit lait de l'industrie laitière, résidus de tomates, de feuilles de palmier, de fibre de canne à sucre, pâte de bois, de coquilles de crustacés...). Ces derniers présentent l'avantage de ne pas concurrencer les espaces de cultures dédiés à la production alimentaire. Si certains sont encore à l'état d'expérimentations scientifiques (pulpe de betterave, chitosane, amidon de

patate douce, résidus de paille...), d'autres se développent déjà à l'échelle commerciale (amidon de maïs et pomme de terre, algue, résidus de tomates, cellulose de bois...).

Depuis quelques années, les barquettes en carton (Figure 2 A, C, E,G), bois (D, F), et récemment cellulose moulée (B) entourées dans un flowpack plastique apparaissent en grande



Figure 2 Diversification des matériaux utilisés pour le préemballage des F&L frais, Auchan Plaisir (Leclerc.,2019).

distribution et ce pour une grande diversité de F&L, en rayon agriculture biologique ou conventionnel. L'ouvrage de Philippe Moras publié en 2005 fait l'état des lieux de quelques matériaux commercialisés (Tableau 1) :

Tableau 1 Tableau de synthèse des propriétés des matériaux abordé dans l'ouvrage Le préemballage des légumes et des fraises de Philippe Moras., 2005 et les recherches concernant le palmier Areca.

Matériau	+	-
Plastique	Transparent, léger, recyclable, écran aux échanges gazeux, formes variées	Ecran aux échanges gazeux, moules couteux, pétrosourcé.
PLA (PolyLactique Acid)	Issu de l'amidon de maïs ou pommes de terre, obtenu par fermentation, transparent, biodégradable, perméable à la vapeur d'eau, bonnes propriétés barrières, polyvalent.	Fragilité en haute température
Bois Agrafé	Ressource renouvelable (souvent peuplier), recyclable cousu, thermocollé, pouvoir hygroscopique (maintien de l'humidité), solide, bon absorbant des vibrations, aspect naturel, authentique	Pouvoir hygroscopique (difficulté potentielle si atmosphère humide ou au contact du produit), formes peu adaptables, plus ou moins abrasif selon sa qualité.
Carton compacte	Issu de cellulose extraite du bois ou autres végétaux, papier recyclé, léger, solide, recyclable et biodégradable, supporte des charges lourdes, possibilité d'operculage.	Craint l'humidité, n'absorbe pas tous les chocs.
Cellulose moulée	Issue des fibres végétales naturelles ou recyclées (pulpes moulée et séchée), adaptable en forme, aspect naturel, biodégradable.	Matériau poreux, forte capacité à absorber l'humidité,
Palmier Areca	Issue de ressources non agricole, 7 cycles de ramassage par an, nettoyées, pressées mécaniquement et moulée, biodégradable	Non connu

Les « bioplastiques » quant à eux sont en croissance. Ce terme désigne à la fois l'origine du matériau « biosourcé » et la fin de vie « biodégradable ». Les bioplastiques peuvent donc être biosourcés ou biodégradables ou les deux (Conseil National de l'Emballage, 2009).

Le secteur représente seulement 2.11 millions de tonnes sur les 335 millions de tonnes de plastiques produites dans le monde actuellement soit moins de 1%. Le secteur souhaite passer progressivement d'un marché de niche à une production de masse (European Bioplastics, 2018).

Les bioplastiques biodégradables PBAT, PBS, PLA, PHA, mélanges amidonnés, et autres sur le schéma **Figure 3** représentent seulement 43.2% des bioplastiques. Ils sont pour la plupart issus de plantes riches en produits carbonés comme le maïs (PLA), la canne à sucre, la betterave, issues des cultures alimentaires. Les industriels recherchent des matériaux non issus de ces dernières (bois) ou qui en sont des coproduits comme la paille, les tiges de maïs, les épluchures de pommes de terre, la bagasse de canne à sucre ou betterave sucrière, les tiges et feuilles de tomates. Les polymères innovants comme le PLA (polylactic acid) et le PHA (polyhydroxyalkanoates) sont les principaux matériaux moteurs de cette croissance. Le PHA est une importante famille de polymères dont les capacités de productions pourraient quadrupler dans les 5 années à venir. Ils sont 100% biosourcés, compostables et ont des propriétés physiques et mécaniques très vastes selon leur composition. Les capacités de production du PLA sont aussi amenées à grimper de 60% d'ici 2023. Il pourrait remplacer les PS (polystyrene), PP (polypropylene), and ABS (acrylonitrile butadiene styrene) (European Bioplastics, 2018).

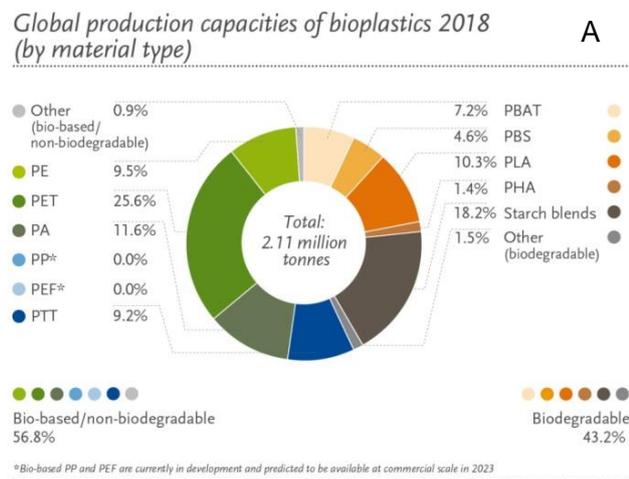


Figure 3 Capacités de production mondiale des bioplastiques 2018 (par type de matériau) (European Bioplastique, nova institute.,2018).

Très peu d'études se sont attachées à étudier l'impact des barquettes biosourcées biodégradables ou compostables sur la qualité des fruits en post-récolte. Les films eux, font l'objet de recherches plus poussées.

B. Une fin de vie des emballages plus durable

1. Interdiction des emballages à usage unique : le déclic

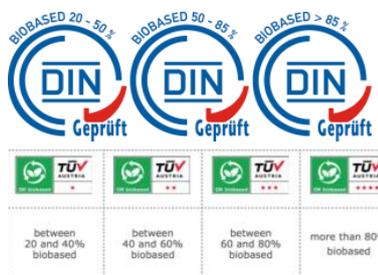
« La grande fonctionnalité et le coût relativement faible du plastique font que ce matériau est de plus en plus omniprésent dans la vie de tous les jours. Si le plastique joue un rôle utile dans l'économie et fournit des applications essentielles dans de nombreux secteurs, son utilisation croissante dans des applications à courte durée de vie, qui ne sont pas conçues en vue d'un réemploi ou d'un recyclage dans des conditions économiquement efficaces, est telle que les modes de production et de consommation qui y sont associés sont devenus de plus en plus inefficaces et linéaires [...]. Afin de limiter l'incidence néfaste de ces produits en plastique à usage unique sur l'environnement, les États membres devraient être tenus d'interdire leur mise sur le marché » (Journal officiel de l'Union européenne, 2019). Bien que la directive Européenne

applicable des 2020 ne concerne pas le pré-emballage, elle a cependant provoquée une onde de choc chez les fabricants et même chez les producteurs qui cherchent désormais de nouvelles alternatives aux barquettes plastiques.

2. Fin de vie des emballages : norme de compostabilité

Logos certificateurs

Biosourcé :



Biodégradable



Compostable industriel



Compostable domestique



Figure 4 Logos certificateurs des matériaux biosourcés, biodégradables, compostables (European Bioplastics, 2018)

Si le recyclage est de loin le moyen de valorisation le plus répandu en France, le compostage semble une option intéressante dans le cadre d'un cycle de vie complet de l'emballage et permet de limiter les déchets (**Annexe II**). La directive Européenne 13432 définit les exigences qu'un emballage doit respecter pour être considéré comme valorisable organiquement. Ces exigences concernent la biodégradabilité, la désintégration, l'effet sur le processus de traitement biologique, l'effet sur la qualité du compost (masse volumique, la teneur en solides secs, teneur en solides volatiles, teneur en sels, pH, présence d'azote total, ammoniacal, phosphore, magnésium, potassium...). Elle requière qu'au moins 90% du matériau soient désintégrés (décomposition physique : taille des résidus doit être inférieure à 2mm) en 12 semaines et 90% biodégradés (CO₂, sels minéraux, biomasse...) en 6 mois et inclut des tests d'écotoxicité et de présence de métaux lourds (**Annexe I**). La biodégradation est le processus biologique par lequel des matériaux sont décomposés en eau, dioxyde de carbone et biomasse grâce à l'action des microorganismes. Il dépend des conditions environnementales (température, humidité, la présence de microorganismes, d'oxygène), du matériau lui-même. Pour certifier la biodégradabilité d'un produit, 90% du produit doivent être biodégradés en 6mois (AFNOR, 2000). Tout ce qui est biodégradable n'est pas nécessairement compostable : les sous-produits libérés pouvant être toxiques. Aucun effet négatif (qualité) ne doit être observé sur le processus de compostage ni sur le compost lui-même. 90% de germination doivent être observés après ajout de l'emballage dans le substrat (AFNOR, 2007 ; 2000 ; Conseil National de l'Emballage, 2009).

« Le volume des déchets présents dans un tas de compost domestique étant relativement restreint, la température y est moins élevée et moins constante que dans un environnement de compostage industriel. Il en résulte que le compostage domestique est un processus plus lent que le compostage dans des installations industrielles »(AFNOR, 2015). La norme Française NF T 51-800 requièrent au moins 81% de surface désintégrés en 6 mois, 90% de dégradation au bout de 365 jours à température ambiante (25°C +/-5°C). 90% de germination doivent également être observés (AFNOR, 2015).

C. L'atmosphère Modifiée Passive : une solution ?

Les F&L continuent à respirer après récolte en consommant du O₂ et en produisant du CO₂. Les emballages avec atmosphère modifiée, s'appuient sur le processus de respiration du produit et les transferts de gaz à travers le matériau d'emballage pour créer une atmosphère naturellement modifiée jusqu'à atteindre un équilibre des gaz.

1. Diminution du taux de respiration

Couramment utilisée sur endive, les MAP ont également été testés sur cerise (Koutsimanis et al., 2015), pêche (Mistriotis et al., 2016), fraises (Both et al., 2017 ; Bovi, Caleb, et al., 2018 ; Briano et al., 2017 ; Matar et al., 2018 ; Nielsen, Leufvén, 2008 ; Panda et al., 2016 ; Sanz et al., 2000) ; framboises (Briano et al., 2015) ; tomates (Castellanos et al., 2016), F&L de 4ème gamme (Caleb et al., 2013 ; Ghidelli, Pérez-Gago, 2018 ; González-Buesa et al., 2009). L'ensemble de ces études s'accordent sur les résultats obtenus : les MAP donnent des résultats intéressants en ce qui concerne l'allongement de la durée de vie utile des produits (Matar et al., 2018). La durée de vie d'un produit frais fait référence à la durée depuis la récolte jusqu'au consommateur pendant laquelle le produit est toujours consommable (Robertson, 2010 in Matar et al., 2018). Elle dépend du produit lui-même (respiration, transpiration, production d'éthylène, etc.), les conditions environnementales (température, composition des gaz, humidité relative) et le développement de pourritures (Kilcast and Subramaniam, 2000 in Matar et al., 2018). La durée de vie est directement liée au taux de respiration (Sousa et al., 2017), phénomène métabolique par lequel la cellule obtient son énergie. La respiration implique une série de réactions enzymatiques, d'oxydo-réductions des composés organiques des cellules, oxydés par le O₂ en CO₂ et H₂O, avec la production d'énergie (Fonseca et al., 2002 in Sousa et al., 2017). La respiration dans les tissus des F&L cueillis conduit à l'utilisation des substances de réserves accélérant la sénescence. Plus le taux de respiration est faible, plus l'évolution des cellules vers le processus de sénescence et la détérioration générale du produit sont ralentis. D'autres processus de détérioration incluant la croissance d'autres organismes (pathogènes...) sont généralement retardés. Le taux de respiration dépend de nombreux paramètres : nature du produit vivant, le stade de récolte, température, hygrométrie, la perméabilité du film, la composition en gaz. (Parvez, Wani, 2018). La mesure précise de l'intensité respiratoire est un élément important à prendre en compte pour comprendre l'évolution des produits et développer des solutions adaptées pour allonger leur durée de vie

2. Diminution de la transpiration ou perte de poids

La transpiration, tout comme la respiration, est l'un des processus physiologiques les plus connus participant à la perte de poids des produits frais. Une fois détaché de la plante, le fruit peut simplement compter sur ses réserves internes. La perte en eau dépend de nombreux paramètres : le ratio Surface/Volume du fruit, la surface de meurtrissures, les caractéristiques morphologiques, le stade de maturité et les facteurs environnementaux (température, humidité relative, mouvements d'air, pression atmosphérique). La déshydratation, en plus de causer une détérioration esthétique, contribue à des pertes économiques puisque le poids des produits commercialisés diminue. Le ralentissement de l'activité respiratoire induit par une concentration optimale en CO₂ et O₂ permettrait de réduire le taux de transpiration. Néanmoins, la perte de poids et la modification de la texture des fruits sont avant tout dépendantes de la perméabilité à l'eau du matériau et de la surface de perforation. Les MAP ont été très étudiés pour leur capacité à réduire les pertes de poids en maintenant une forte humidité à l'intérieur de l'emballage (Bovi et al., 2018).

La plupart des matériaux d'emballages utilisés ont des perméabilités à l'eau plutôt faible, ce qui provoque l'apparition de buée due à la vapeur d'eau émise par le produit (transpiration) qui ne peut s'échapper de l'emballage en volume suffisant (Bovi, Rux, et al., 2018). Les résultats de l'essai mené en 2017 au CTIFL ont montré que l'usage des films en PP, très peu perméables, n'est pas adapté pour les fraises qui ont un taux de transpiration élevé. Une forte condensation a été observée, empêchant la visibilité des produits. Les accessoires de piégeage d'eau s'étaient révélés inefficaces. Le défi pour les MAP est alors de réduire la condensation tout en maintenant une perte en eau du produit la plus faible possible (Merendet, 2018). Une perte de poids de 5-6% pour les fraises (barquettes de 250g) modifie déjà l'aspect des fraises (Moras, Tamic, 2001). Le taux de transpiration des produits frais est un élément important à connaître pour concevoir un emballage optimal.

3. Ralentissement de l'évolution des propriétés physico-chimiques

Plusieurs auteurs ont étudié l'influence de l'atmosphère sur la qualité physico-chimique des fraises : pH, acidité, Brix, couleur, texture. Dès 1993, Larsen et al., signale qu'au-delà de 15% de CO₂, la texture des fruits est plus ferme, mais des saveurs fermentées se développent. Aucun n'a néanmoins montré de différences significatives de taux de sucre, acidité... entre une barquette témoin, macroperforée et les barquettes sous atmosphère modifiée passive. Panda et al., 2016, expliquent pourtant qu'une modification de la composition de l'atmosphère ralentit sur les processus respiratoires, biochimiques dont les activités d'oxydation (Panda et al., 2016). L'acidité, le taux de sucre, la fermeté sont des critères importants puisque la composition chimique et les attributs aromatiques sont les constituants essentiels du goût, des arômes qui contribuent à l'acceptation du consommateur (Giuggioli et al., 2015). La capacité d'un produit à développer des saveurs fermentées dépendrait de l'espèce, du cultivar, de la température, du temps d'exposition, de la perméabilité du film et de la composition de l'atmosphère à l'intérieur de l'emballage (Nielsen, Leufvén, 2008).

4. Retardement de l'apparition des pathogènes

Le développement de pathogènes est à l'origine de la plus importante part des pertes observées en post-récolte. La pourriture la plus courante est causée par *Botrytis cinerea* aussi appelée pourriture grise (Ceponis et al. 1987). La croissance du champignon débute sur les fruits à partir du moment où les tissus ramollissent (maturation), ou parce que la surface du fruit est meurtrie et l'épiderme ne joue plus son rôle de barrière. Le champignon continue de croître à 0°C mais sa croissance est néanmoins fortement ralentie. L'absence de pourriture fait partie des exigences minimales des normes de commercialisation les produits doivent « de qualité saine, loyale et marchande » (Journal Officiel de l'Union Européenne, 2011). Garcia-Gimeno et al., 2002 ont modélisé la croissance du champignon en fonction de la teneur en CO₂ (0 ; 5 ; 10 ; 20%) et ont montré qu'elle pouvait être retardée en présence d'une forte teneur en CO₂ (García-Gimeno et al., 2002). A 10% de CO₂, l'apparition de pourriture, visible par le consommateur (diamètre supérieur 3mm) était retardée d'un jour, et de 4 jours à 20%. Panda et al., 2016 recommandent de ne pas dépasser 15% sans quoi des saveurs fermentées sont observées (Panda et al., 2016). Dans le cas où le consommateur stocke ses fraises à 20°C, les MAP permettraient de gagner 0.33 jour avant le seuil d'acceptabilité, calculé comme étant égal à 13% de détérioration globale (pourriture, couleur). Si à l'arrivée à son domicile, le consommateur les place au réfrigérateur à 5°C, l'allongement de la durée de vie peut aller jusqu'à 1.68 jours en plus (Matar et al., 2018).

5. Des films trop peu perméables menant à un risque de fermentation ?

Une majorité de films testée avait une perméabilité au O₂ très faible. Lorsque la teneur en O₂ atteignait une valeur inférieure à 2% et le CO₂ une valeur supérieure à 20%, une saveur fermentée se développait. Van der Steen et al. ont montré en 2002, que dans ces conditions se formait l'éthanol acétaldéhyde qui serait responsable de cette saveur/odeur (Van der Steen et al., 2002). Nielsen and Leufvén, (2008) ont montré qu'il existait une différence de comportement des variétés de fraises ('Honeye' et 'Korona') face au stockage sous atmosphère modifiée, avec le développement plus ou moins rapide de d'étyl acétate.

6. Les bénéfices de la microperforation

Briano et al., 2017 indique que l'activité respiratoire des fraises est plus importante et plus rapide que les mécanismes de diffusion à travers les films actuellement commercialisés (Briano et al., 2017). De ce fait, sans aucune perforation, les produits tombent rapidement en anoxie. Le meilleur compromis identifié est l'utilisation des MAP avec des films perméables microperforés qui pourraient fournir une atmosphère plus adaptée à la respiration des produits (Parvez, Wani, 2018). La perméabilité intrinsèque en O₂ de ces films est extrêmement variable selon les matériaux utilisés mais devient négligeable avec les perforations. La détermination de la surface à perforer pour atteindre les intervalles d'O₂ et de CO₂ conseillés dépend de l'espèce, voir des variétés. Mistriotis. A et al., 2016 ont montré que le taux de respiration augmentait avec le diamètre des perforations et le nombre de perforations chez la tomate cerise et la pêche emballées avec un films PLA. Le **Tableau 2** présente les résultats de quelques études.

Tableau 2 Synthèse sur les résultats obtenus avec MAP.

Produit	Matériau	Perméabilité O ₂	Perforations	O ₂ obtenu	T°C	Taux de respiration	Poids	Brix/Acidité	Fermeté	Apparition pathogènes	Référence
Fraises	PP Amidon de maïs	- 147cm ³ .m ² .jour	Macro -	Obtenu 0.2%O ₂	18°C	-	-2%	TSS :11% -sucrée/acidité similaire au témoin	10% moins ferme	-	(Giuggioli et al., 2015)
	PP PLA BIONC	PP : O ₂ (6,24E-13) PLA : O ₂ (3,21E-13) BIONC : O ₂ (3,57E-13) mmol cm/cm ² H/kPa	-	1.3% 5.3% 11.2%	20°C	-	-	-30% d'acidité pour PLA et -15% pourBIONC	Diminution de la fermeté pour les MAP	-	(Briano et al., 2017)
	LPDE	Non précisé	Macro Non perforé	Non communiqué	20°C 5°C	Non communiqué	Non communiqué	-	-	+0.33 jour de durée de vie à 20°C +1.68 à 5°C	(Matar et al., 2018)
Framboise	Biosourcé	3.11E- 13mmol.cm/cm ² /h/kPa	-	10%O ₂ 15%CO ₂	20	-	4x- que témoin	7%-sucrée/12% + acide	-	-	(Briano et al., 2015)
Cerise	PLA	1.3E-2mL.µm ² .jour	-	5%O ₂ - 15- 20%CO ₂	1° - 27 jours	-	8x-élevé	-/4x plus de perte d'acidité	Similaire à valeur initiale	+ de 6 jours gagnés	(Koutsimanis et al., 2015)
Pêche	OP/PLA	CO ₂ : 2.0E-7kg.m ² .s-1	200µ(x100)	1-3%O ₂	20°C/ 60- 65%HR	11-21	3,5% x -/	-	-	12% et 18% après 6 jours	(Mistriotis et al., 2016)
Tomate	OP/PLA	CO ₂ 5.2-7.9µg CO ₂ .kg-1.s-1	200µm (x5)	3-4%O ₂	20°C/ 60- 65%HR	5-8 µg.kg.s-1	2x-/3x-	-	-	4% après 8 jours. 2x – qu'OPP/Té moins pas de pourriture	(Mistriotis et al., 2016)

D. Perception de l'emballage par le consommateur

L'emballage a une forte influence sur la perception, l'attention, la compréhension, le jugement, le comportement, et finalement l'acte d'achat des consommateurs. Il participe à la création de valeur additionnelle à un produit(Krishna et al., 2017). A l'heure actuelle, les consommateurs sont assaillis de stimuli (odeur, son, aspect, brillance, couleur, taille, forme, texte). Le cerveau doit être capable de traiter rapidement toutes ces informations pour aboutir à une décision. Plusieurs études montrent que la couleur, la forme, le type de matériau de l'emballage ont un effet sur le consommateur et sur sa perception du produit à l'intérieur(texture,

goût)(Krishna et al., 2017). L'influence du toucher, du son à l'ouverture... ont également une influence capitale sur l'acte d'achat. L'intérêt pour les emballages durables est en augmentation. Rezaei et al., 2019 soulignent l'importance d'une approche multicritère pour leur sélection au sein de la filière et la nécessité de trouver un équilibre entre produit et emballage pour la protection, le transport, et sa fonction tertiaire (communication, vente). Alors que les emballages bois, cartons et parfois cellulose moulée se développent en grande et moyenne surface et circuits courts pour leur aspect visuel plus naturel, authentique, certains producteurs rapportent une altération du goût des fruits contenus dans les emballages cartons. Ils rappellent également le besoin de film ou de protection rigide pour limiter la perte en poids, la qualité visuelle (flétrissement) des fraises et les manipulations en magasin (manipulation des fruits, renversement de la barquette, ingestion de fruits...). Dans ce contexte les barquettes et films compostables et notamment les films microperforés ont tout leur intérêt.

Objectifs de l'étude

Cette étude a pour objectif global l'amélioration de la tenue, du goût et de l'image des produits frais afin d'apporter, au stade final de commercialisation, une offre plus satisfaisante aux consommateurs. Elle vise à évaluer de nouveaux matériaux biosourcés dans le but de proposer des alternatives aux matières plastiques pour les professionnels. Ces matériaux innovants demandent d'être étudiés plus précisément afin de déterminer s'ils sont aptes à remplir les exigences des acteurs tout au long de la chaîne commerciale (protection physique, chimique et microbiologique de son contenu, maintien de son intégrité au court du circuit, acceptation par les consommateurs).

Dans quelle mesure les matériaux biosourcés recyclables ou compostables peuvent-ils remplacer les emballages plastiques des F&L frais?

Il s'agira dans un premier temps d'identifier les facteurs d'influence de l'intensité respiratoire, responsable de la vitesse d'évolution des produits, puis d'évaluer si les films biosourcés et la technologie de l'atmosphère modifiée passive permettent d'allonger la durée de vie des produits. Cette étude cherchera également à évaluer les propriétés protectrices et de résistance des barquettes biosourcées recyclables ou compostables. Les matériaux montrant les meilleurs résultats seront présentés aux consommateurs pour mesurer leur acceptation. La fraise sera le fruit modèle de cette étude. L'analyse du cycle de vie des matériaux ne sera pas développée dans cet écrit.

I. Présentation du produit étudié : la fraise, fruit modèle

La fraise, *Fragaria x ananassa*, est une vivace appartenant à la famille des Rosacées. La fraise a une image forte auprès des consommateurs et des professionnels, elle est le marqueur de l'arrivée du printemps (Christy, Roty, 2017). La France produit à elle seule 58 200 tonnes de fraises (Agreste., 2017), soit 5% de la production Européenne (Granado, 2014). La production est inégalement répartie sur le territoire français avec 67% produite dans le Sud-Ouest, 14% dans le Val de Loire, 11% en Bretagne, 7 % dans le Rhône Alpe-Sud est et 1 % dans le Nord. Le taux

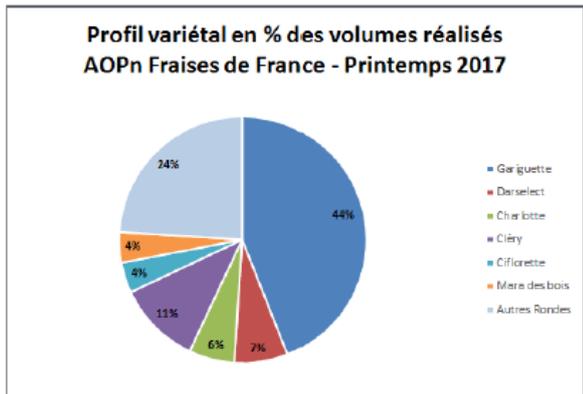


Figure 5 Profil variétal des fraises Françaises Printemps 2017 (Mas et Granado, 2017)

d'autosuffisance est estimé à 40% (CTIFL in Mas and Granado, 2017). Elle doit importer des volumes conséquents (60 764 tonnes) depuis l'Espagne (71%), la Belgique, le Maroc, l'Allemagne et exporte elle-même 9 002 tonnes vers la Suisse (48%), l'Italie (25%), le Royaume-Uni (8%), et l'Allemagne. « Les importations réalisent une part incontournable des ventes sur les rayons. Leur présence élargit le calendrier (précoce), garantit une disponibilité de produit (en volume comme en qualité) et assure des prix très compétitifs »(Vernin, 2012). Celles-ci n'empêche néanmoins pas le consommateur de « reconnaître et d'apprécier la qualité de la production française »(Vernin, 2012).

La variété dominante reste Gariguette avec 44% des volumes produits, suivie de très loin par Cléry, Darselect, Charlotte, Ciflorette et Mara des bois (Figure 5).

Les consommateurs demandent avant tout des fruits de qualité et accordent beaucoup d'importance à la couleur, la taille, la forme, la fermeté, le taux de sucre (7% minimum), l'acidité, les arômes volatiles, les valeurs nutritionnelles et surtout l'absence de défauts et de pourriture (Kader.A., 1999 in Gross et al., 2016).

La fraise se caractérise cependant par une forte fragilité et périssabilité. Les pertes en magasin atteignent entre 5 et 20 % des volumes, jusqu'à 30% sur certains lots (Vernin, 2012). Pour la fraise, le taux de respiration augmente avec la température : 6-10 ml de CO₂/kg/h à 0°; 25-50 à 10°; 50-100 à 20°C. La fraise produit extrêmement peu d'éthylène (<0,1µl C₂H₄/kg/h à 20°C) et y est très peu sensible : sa maturation ne peut être stimulée par ajout d'éthylène après récolte. La gestion de la température est l'un des facteurs clés pour minimiser les dégâts et maximiser la qualité post-récolte (Gross et al., 2016). La température optimale de conservation est comprise entre 0 et 2°C (Kader, 1999). La fraise est un fruit peu sensible au froid. Du fait de sa grande périssabilité, elle nécessite une pré-réfrigération dans l'heure qui suit sa récolte pour éviter les pertes de qualité (Maxie et al. 1959). La fraise est de plus sensible à l'humidité qui favorise le développement de pourriture occasionnée généralement par *Botrytis cinerea*. L'eau représente 90% de son poids. Son épiderme très fin ne constitue pas une barrière suffisante pour limiter la transpiration (Sousa-Gallagher et al., 2013).



Figure 6 Emballages les plus communément commercialisés pour la fraise (A : Barquette plastique + flowpack macroperforé; B : Barquette + couvercle macroperforé; C : Panier bois + flowpack macroperforé; D : Cageot bois, fraises litées + film macroperforé), Auchan Plaisir (Leclerc.,2019)

En circuit classique, les fraises sont récoltées chez le producteur puis emballées en station avant d'être transportées dans la nuit pendant 6 à 8 h jusque sur les plateformes d'approvisionnement ou les marchés de gros où elles sont réceptionnées, stockées, redistribuées. Les plateformes font acheminer des fraises principalement produites dans le sud de la France environ 3 semaines avant que l'île de France ne rentre en production.

La part du préemballé atteint pour la fraise 98 % en grande distribution contre moins de 50% chez primeurs (Vernin, 2012). La **Figure 6** présente les principaux emballages rencontrés. Dans les circuits commerciaux classiques, la durée de vie n'est que de 3 à 4 jours dont seulement 2 à 3 jours en magasin : un temps très faible pour atteindre les marchés nationaux et internationaux (Allais, Letang, 2001). La fragilité intrinsèque du produit est en plus amplifiée par les chocs, vibrations, écrasements, manipulations tout au long de la chaîne commerciale. Elle est également fonction des types variétaux, des conditions pédoclimatiques, des conditions de récoltes.

En raison de son importance économique sur le territoire, de l'affection portée par les consommateurs et des difficultés rapportés par les professionnels pour maintenir la qualité des fruits jusqu'au bout de la chaîne commerciale, la fraise représente un fruit modèle pour cette étude.

II. Identifier les facteurs influençant l'intensité respiratoire

Afin d'optimiser les emballages et maintenir la qualité des fruits, il est indispensable de connaître le produit. Cet essai vise à étudier l'intensité respiratoire de la fraise française et à identifier les facteurs qui pourraient l'influencer. Les essais menés par le CTIFL s'inscrivent dans le cadre d'un projet débuté il y a 2 ans. En 2018 (Mérendet.V et al., 2018), la variété 'Gariguette' présentait un taux de respiration deux fois plus élevée que les autres variétés testées, 'Charlotte', 'Mariguette', 'Cléry' et 'Mara des Bois'. 'Gariguette' avait été fournie par un second producteur et n'avait pas présenté un tel écart. La seule différence notée par le premier producteur était l'âge des plants, 1 an, contre 2 ans pour les autres variétés.

L'intensité respiratoire est-elle uniquement d'origine variétale ? Serait-ce lié à l'itinéraire cultural (effet producteur)? Varie-t-elle au cours de la saison ? L'objectif final est, à partir des résultats obtenus et en se basant sur les valeurs d'intensités respiratoires les plus élevées, d'optimiser l'emballage (perméabilité (nombre de perforation, épaisseur, matériau)) pour maintenir une bonne conservation tout en évitant de basculer dans l'anoxie.

A. Matériel et méthode

Tous les producteurs contactés pour l'étude étaient situés en île de France ou en bordure (**Annexe III et IV**). Leur proximité induisait un temps de trajet très faible (entre 45 minutes et 1h45) peu représentatif des circuits commerciaux classiques. La volonté était néanmoins de 'en rapprocher le plus possible. La sélection géographique des producteurs a également permis de maîtriser les conditions de transport tout au long de l'étude.

Tous les producteurs produisaient en hors sol, sous tunnels plastiques non chauffés. La variété « Gariguette » n'étant produite que sur 3 à 4 semaines maximum en Île de France, d'autres variétés ont été étudiées en remplacement, avec une demande particulière des professionnels sur la variété 'Ciflorette', réputée pour sa fragilité. Au total, 6 variétés ont été étudiées, 4 faisant partie des plus commercialisées en France (Granado, 2017) : **Guariguette, Cléry, Ciflorette, Mariguette, Magnum, Anaïs**. Les mesures se sont échelonnées de fin avril à fin juin en fonction du calendrier de production de chacune des variétés et la mesure de l'effet saisonnalité. La date de maturité du plant n'a pas pu être étudié, tous les plants étant renouvelés annuellement en Ile de France, pour garantir des rendements maximaux. Après récolte chez le producteur, les fraises ont été transportées dans de simples colis plastiques. A leur arrivée, environ 750g (+/-0.05g) de fraises étaient pesés à l'aide d'une balance de précision (Modèle

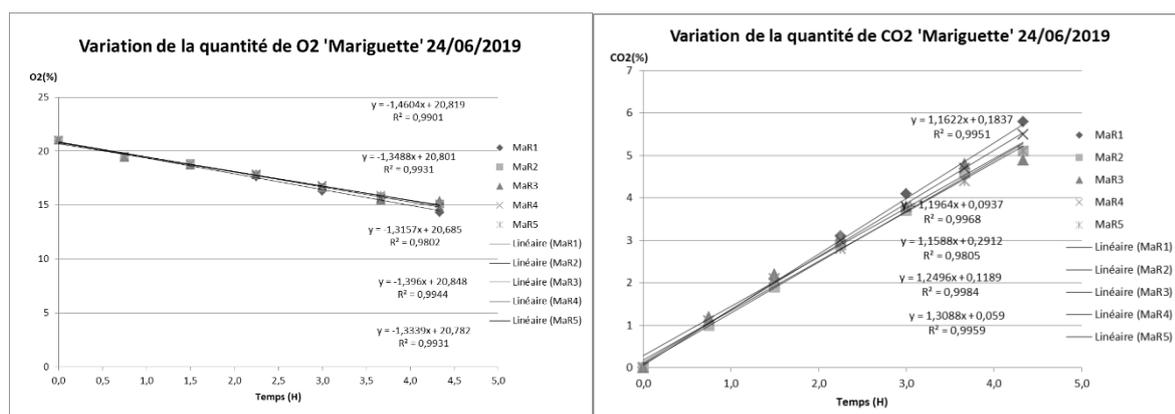


Figure 7. Variation de la teneur en O₂ et CO₂ au cours du temps. Mariguette Semaine 24.

Toledo) et introduits dans des bocaux hermétiques. Les fruits abîmés ou verts étaient écartés. Cinq bocaux par variétés sont préparés pour obtenir 5 répétitions. Les bocaux sont laissés ouverts à 20°C et 70% d'humidité dans l'enceinte climatique Servathin® pendant 30 min à 2h en fonction de la température des fruits initiale des fruits, de manière à limiter l'effet température sur leur intensité respiratoire. L'hygrométrie était volontairement plus élevée qu'en conditions réelles en magasin pour ne pas déshydrater les fruits pendant cette phase. L'enceinte est un simulateur d'ambiance reliée à un ordinateur, permet de régler les paramètres de température (+/- 0.2°C), d'hygrométrie (+/-5%), la vitesse de l'air (0.1m.s⁻¹) et l'éclairage. A l'intérieur, des sondes relèvent les valeurs en temps réel. La température était majoritairement comprise entre 17 et 19 °C lors du début des mesures. En début de saison, le calibre n'était pas mesuré puis le fût par la suite pour déterminer l'existence ou non d'un effet significatif du calibre sur l'intensité respiratoire. Les 5 bocaux étaient ensuite fermés hermétiquement et les mesures de teneur en oxygène et dioxyde de carbone prise toutes les 45min avec l'analyseur de gaz (Modèle Abiss®, Anéolia) pendant 4 heures (**Figure 7**). Les mesures ont été saisies dans un fichier Excel et ont servi aux calculs des intensités respiratoires en O₂ et CO₂ en mL.h⁻¹.kg⁻¹ avec les formules ci-dessous (Varoquaux et al., 2002):

$$IR\ O_2\ ou\ CO_2 = \frac{|a\ O_2\ ou\ CO_2| * 24}{100 / ((273 + T) * 22,4 * M * (Vb) * 273 * 1000)}$$

Avec :

a : la pente de la droite O₂ ou CO₂ (mmol

T : la température en °C

M : la masse de l'échantillon (kg)

24 : Constante des gaz parfait à 20°C

22,4 : constante des gaz parfait à 0°C(L/mol)

Vb : le volume d'air dans le bocal (L)

B. Analyses statistiques

Les données suivant les lois normales ont fait l'objet d'une ANOVA avec le logiciel R. Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé lorsque la transformation des données avec Exp(x) et Log(x) ne permettait pas de remplir les conditions (normalité des données et égalité des variances) pour procéder à une ANOVA. Si l'effet du ou des facteurs étudiés était significatif, des groupes associés liés aux moyennes observées étaient réalisés grâce aux tests de Bonferroni et Newman-Keuls (Package agricolae).

C. Résultats

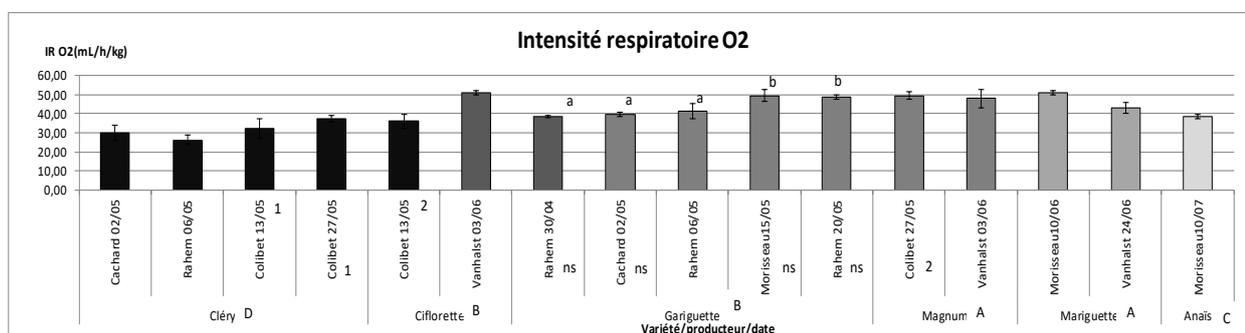


Figure 8 Intensité respiratoire en mL/h/kg d'O₂ en fonction de la variété, du producteur et de la date.

L'équation de l'intensité respiratoire en O₂ ou en CO₂ prend en la valeur absolue de la pente. Le graphique des intensités respiratoires en O₂ et CO₂ sont donc très similaires. Seul celui présentant les résultats pour l'intensité respiratoire en O₂ sera présenté. Tous producteurs et dates confondues, les variétés montrent des intensités respiratoires significativement différente. La quantité d'O₂ diminue et la quantité de CO₂ augmente avec le temps. Sur la **Figure 8** les variétés Mariguette et Magnum (A) montrent la plus forte intensité respiratoire, suivies de Gariguette et Ciflorette (B) puis Anaïs (C) et enfin Cléry (D) (**Tableau 3**) également notée comme

la variété ayant la plus faible intensité respiratoire l'année dernière. Mariguette et Magnum consomme près de 50mL d'O₂/h/kg alors que Cléry a une consommation 1.69 fois plus faible. Au regard des données bibliographiques, ces valeurs suggèrent que Cléry aura une vitesse d'évolution plus lente que les autres variétés. Les calculs de surface à perforer doivent alors reposer sur Magnum et Mariguette pour concevoir un emballage adapté pour l'ensemble des variétés, tout en évitant de basculer en conditions anoxiques. L'effet variétal a été confirmé avec M.Colibet qui a fourni le 13/05 deux variétés Cléry et Ciflorette statistiquement différentes (1) et (2) et le 27/05, Cléry et Magnum également statistiquement différentes (1) et (2).

Sur la période d'étude, on observe une différence significative d'intensité respiratoire au cours de la saison, visible sur le graphique pour Cléry, Gariguette, les autres variétés n'ayant pas pu être étudiées plus longtemps. Les mesures sur Gariguette se sont étalées sur un mois complet grâce au décalage de production des différents producteurs participants à l'étude. Son suivi a permis d'identifier clairement un effet de la saison sur l'intensité respiratoire qui tend à augmenter au cours de la saison (**Figure 8**). Sur Gariguette, 2 groupes ont pu être constitués, les intensités respiratoires du 30 /04/2019 au 06/05/2019 appartiennent au même groupe statistique (a) et à partir du 15/05/2019 jusqu'au 20/05/2019 à un second groupe (b). Sur ces périodes, 2 producteurs différents avaient fournis les fraises. Au sein d'un même groupe statistique date, aucune différence significative n'a été obtenue entre les producteurs, ni pour le groupe (a) ni pour le groupe (b). Cléry a montrer la même tendance à la fois pour la saison et pour l'absence d'effet producteur.

Des mesures complémentaires ont été réalisées pour identifier d'autres facteurs ayant une influence sur l'intensité respiratoire. Le calibre (<2,5cm /2,5-cm/>3,5cm) n'a pas montré de différence significative bien que la littérature mentionne un effet positif du ratio volume/surface sur l'intensité respiratoire. Le facteur température cité comme l'un des éléments majeurs de la régulation de l'intensité respiratoire n'a pas été approfondi dans cette étude. Néanmoins, l'importance de celui-ci a pu être vérifié sur Cléry et Gariguette (**Tableau 3**).

Tableau 3 Tableau résultats statistiques de l'essai intensité respiratoire (P-valeur issues des tests ANOVA).

	Variété	Producteur	Saison	Calibre	Température
Toutes	<2 ^E -16***	-	-	ns	2.17e-07 ***
Gariguette	44.18 b	ns	5.01 ^E -07***	-	2.26e-08 ***
Cléry	29.53 d	-	6.13 ^E -13***	ns	1.92e-06 ***-
Ciflorette	43.65 b	-	-	ns	-
Magnum	49.35 a	-	-	ns	-
Anais	38.59 c	-	-	ns	-
Mariguette	50.84 a	-	-	ns	-

III. Identifier la surface de perforation optimale des films pour la préservation des qualités physico-chimique des fruits

D'après les résultats de 2017 sur Mariguette, les films PLA avec une surface perforée de 0.434 mm² et le film en cellulose de bois NVS avec 0.555mm² permettaient d'atteindre l'intervalle conseillé O₂=[5-10%] et présentaient des résultats intéressants en termes de réduction de la perte de poids, le taux de fruits affectés par les pathogènes. Les résultats se rapprochaient de la barquette témoin placée en chambre froide. Les observations menées en 2018 n'ont pas permis de conclure sur un effet du matériau sur le taux de sucre, l'acidité, analyse sensorielle. Lors de ces dernières, les fruits sous NVS, dont la surface de perforation était plus adaptée, étaient très appréciés. La présence d'emballages microperforés limitaient la présence de jus. Une tendance à la fermentation avait été observée pour le PLA, moins perforé et donc avec un taux de O₂ plus faible. En 2019, les recherches se sont poursuivis avec 4 films : le PLA (amidon de maïs), le Bio04 (30% d'amidon de maïs certifié non OGM + 70% pétrosourcé), le LTBio8 (25% amidon

Tableau 4 Propriétés des films étudiés.

Entreprise	Lien web	Nom commercial	Composition	Epaisseur	Perméabilité O2	Perméabilité H2O	Transparence	Certification compostabilité/ recyclabilité
 SAINT-ANDRÉ PLASTIQUE	http://www.saintandreplastique.fr/	NK	Cellulose bois	30µm Microperforé 200µm de diamètre tous les 1,0 cm	20 cm3 O2/m²/j à 23°C/50%HR ASTM F1927	10g/m²/j à 38°C/90%HR	Non précisé	
 SAINT-ANDRÉ PLASTIQUE	http://www.saintandreplastique.fr/	PLA	100% Amidon de maïs	30µm Microperforé 200µm de diamètre tous les 0,8 cm	730 cm3 O2/m²/j à 23°C/0%HR	270g/m²/j à 38°C/90%HR	ASTM D 1003 1,5 %	
 SAINT-ANDRÉ PLASTIQUE	http://www.saintandreplastique.fr/	Bio04	30% amidons de maïs/ 70% pétrosourcé	30µm Microperforé 200µm de diamètre tous les 0,8cm	1000 cm3/m² .24h ASTM D 3985 23°C-85%RH	ASTM F 1249 38°C-90%RH : 660 g/m².24h	ASTM D 1003 12 %	
 Leygotech	http://www.leygotech.com/	LTBio08	25% amidons de pommes de terre / 75% pétrosourcé	25µm	3350 cm3/m²/24h à 23°/50%RH	625 g/m²/24h à 38°/90%RH et 125 g/m²/24h à 23°/50%RH		

potimorron + 75% pétrosourcé) (Tableau 4, Figure 9, Annexe IX). Le 4^{ème} film, NK (cellulose de bois), a remplacé le NVS étudié les années précédentes, une erreur de la part du fournisseur. Ce film avait en plus été enduit d'un antibuée. Une bobine de film du NVS a été renvoyée en fin de période d'étude et a pu être comparée au NK. Le diamètre et le nombre des perforations a un effet sur la perméabilité des films. Lors des deux études précédentes, les microperforations étaient réalisées à l'aide d'une aiguille chaude avec un diamètre proche de 500µm.



Figure 9 Photographies des 4 films microperforés étudiés, CTIFL Rungis (Leclerc., 2019).

Pour chacun des films, quel est l'intervalle de surface perforée optimal pour assurer une meilleure conservation des fraises ? Quelle est l'influence des microperforations laser de 200µm sur l'établissement de l'atmosphère à l'intérieur de l'emballage pour les films NK, PLA ? Quelle est la perméabilité adéquate pour les films nouvellement étudiés, LTB8 et Bio04 pour atteindre la composition en O₂ et CO₂ recommandée pour la conservation de la fraise ?

A. Matériel et méthode

A partir des résultats des années précédentes obtenus au CTIFL pour le PLA et NVS, une courbe de régression linéaire par matériau a été tracée pour pouvoir déterminer la surface de perforation nécessaire pour obtenir l'intervalle conseillé d'O₂ et de CO₂. Pour le LTBio8, non microperforé laser et le Bio04, aucune donnée n'existait. Pour LTBio8, il a donc été décidé de tester la modalité 0 perforation, 1, 2 et 3 perforations à l'aiguille chaude de surface moyenne 0.160mm². Les graphiques **Figure 10** permettent de déterminer les surfaces « seuils » théoriques à ne pas dépasser. Sachant que le diamètre de perforation proposé par le fournisseur est de 200µm, le nombre de perforations nécessaires pour atteindre une teneur en O₂ particulière (calculée seulement) en est déduit. D'après la fiche technique du Bio04, la perméabilité en O₂ de ce matériau devrait se rapprocher de celle du PP.

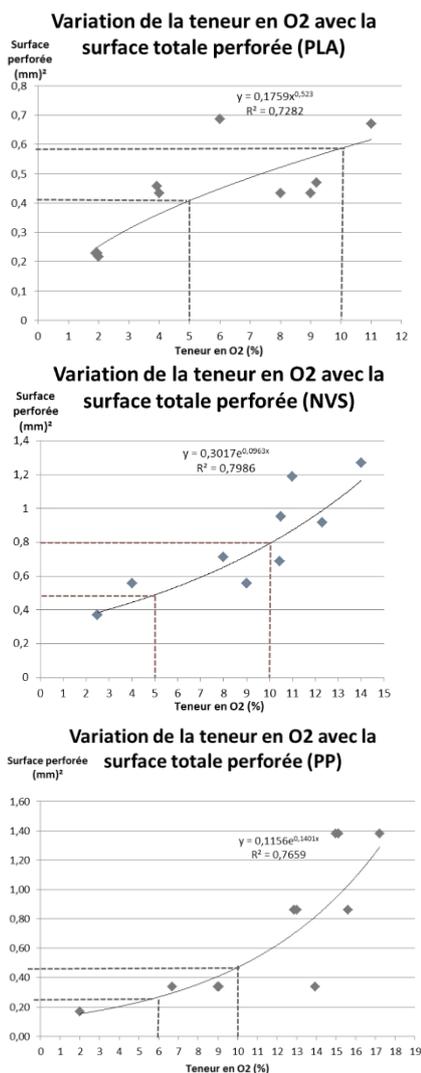


Figure 10 Courbes de régression pour PLA, NVS, PP à partir des résultats des années précédentes et des travaux de l'APEF.

de tester la modalité 0 perforation, 1, 2 et 3 perforations à l'aiguille chaude de surface moyenne 0.160mm². Les graphiques **Figure 10** permettent de déterminer les surfaces « seuils » théoriques à ne pas dépasser. Sachant que le diamètre de perforation proposé par le fournisseur est de 200µm, le nombre de perforations nécessaires pour atteindre une teneur en O₂ particulière (calculée seulement) en est déduit. D'après la fiche technique du Bio04, la perméabilité en O₂ de ce matériau devrait se rapprocher de celle du PP.

Les matériaux biosourcés étudiés se caractérisent par une forte perméabilité à la vapeur d'eau par rapport au polypropylène PP traditionnel et PET (**Figure11** réalisée à partir de celle de Schmid, Samain, 2012). D'après sa fiche technique le LTBio8 est de loin le matériau le plus perméable à l'oxygène. Il devrait nécessiter une surface perforée bien moins importante que les autres films. Le LTBio8 a déjà fait l'objet d'études sur pommes mais jamais sur fraises. Il avait montré des résultats intéressants en ce qui concerne l'amélioration de la durée de vie du produit.

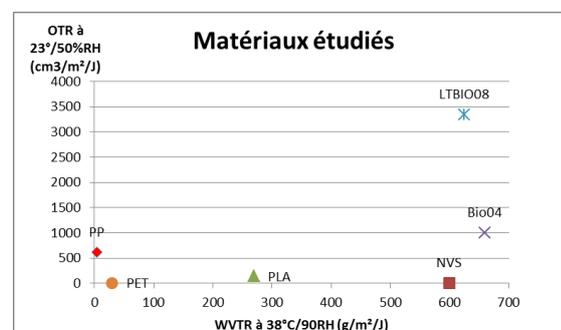


Figure 11 Positionnement des matériaux étudiés termes de perméabilité O₂ (OTR : Oxygene Transmission Rate) et H₂O (WVTR : Water Vapour Transmission) à partir du graphique de Schmid, (2012)

La perméabilité des films biosourcés à l'eau permet d'éviter l'apparition de buée à la surface.

Afin de déterminer avec une meilleure précision la surface perforée nécessaire pour obtenir l'intervalle d'O₂ et CO₂ recommandé, plusieurs modalités de surface perforées ont été étudiées par matériau (**Tableau 5**).

Tableau 5 Modalités de surface de perforation en mm² par

Matériau	Surface perforée (mm ²)				
	Variété	Cléry	Ciflorette	Gariguette	Mariguette
PLA		0,66	-	-	-
		0,57	0,57	0,57	-
		0,47	0,47	0,47	-
		0,41	0,41	0,41	-
		-	0,31	0,31	-
		0,22	0,22	-	0,22
		0,13	0,13	-	0,13
NK		0,85	-	-	-
		0,66	0,66	0,66	-
		0,57	0,57	0,47	-
		0,47	-	0,38	-
		-	0,38	-	-
		0,28	0,28	-	0,28
		0,19	0,19	-	0,19
LT8		-	-	-	0,48
		0,32	0,32	-	0,32
		0,00	0,00	-	-
BIO04		0,28	0,28	-	-
		0,19	0,19	-	0,19
		-	-	-	0,13

Les films étaient préparés découpés, soudés et les perforations (microperforation laser réalisée industriellement) du PLA (tous 1cm), NK et Bio04 (tous les 0,8cm) bouchées avec du scotch pour obtenir la surface perforée désirée (**Figure 10**). Pour LTBio8, les perforations ont été faites à l'aiguille chaude avant soudure. Le producteur cueillait dans des barquettes classiques PET de contenance 250g (+/-7g) (14x9x6cm, Univers de l'emballage) qui lui avaient été fournies auparavant. A l'arrivée sur l'exploitation, les fraises étaient pesées et introduites dans les sachets (15x21cm). Les sachets étaient ensuite fermés hermétiquement par deux soudures réalisées avec une thermoscelleuse à pédale. Cinq répétitions (sachet) par modalité (matériau + surface perforée) ont été observées. Trois à 6 répétitions supplémentaires ont été ajoutées pour réaliser des dégustations auprès des grossistes de Rungis. Entre 15 à 20 personnes ont participé chaque semaine.

Le protocole d'acheminement des fraises sur Rungis est identique à celui décrit pour l'intensité respiratoire. L'évolution des fruits obtenue, trop lente par rapport à celle observée habituellement en magasin a conduit à des modifications de protocoles. La phase de réfrigération pendant le transport et les contenants en polystyrène ont été abandonnés au profit de simple cagettes plastiques ouvertes. A l'arrivée, les barquettes étaient initialement placées en chambre froide pendant 2h de manière à reproduire le plus fidèlement possible le circuit commercial et simuler la mise au froid sur en station. Cette phase de réfrigération en chambre froide à l'arrivée sur Rungis a elle aussi été supprimée de manière à pouvoir observer les fruits plus longtemps. En fin d'étude, une table de secouage horizontal a été intégrée au protocole pour simuler des conditions de transports plus longue (250 mouvements par minutes pendant 1h).

Si certains magasins procèdent à un retrait des F&L des étals et une mise au froid la nuit, la moitié encore laissent les fruits à température ambiante. Souhaitant nous placer dans le cas le plus défavorable, la seconde option a été choisie. Toutes les barquettes étaient donc placées de manière aléatoire sur le meuble de vente à l'intérieur de l'enceinte climatique, simulatrice des

conditions en point de vente, avec pour consigne 20,5°C et 50% d'hygrométrie et éclairage pendant 15H puis arrêt de l'éclairage pendant 9h.

A chaque essai, un colis de fraises supplémentaire était commandé et servait de point de mesure pour l'intensité respiratoire et les mesures physico-chimiques le premier jour (Taux Brix, Acides titrables, fermeté, couleur du jus). Ce même jour et les jours suivants étaient réalisées les observations visuelles des fruits (meurtrissures, présence de pathogène, jus) et les suivis des poids sans ouverture des barquettes. Le deuxième jour de circuit une partie des échantillons étaient utilisés pour réaliser un point intermédiaire de mesures des propriétés physico-chimiques. Des dégustations étaient réalisées les deuxièmes et troisièmes jours de manipulation auprès d'une vingtaine de consommateurs à chaque séance.

Les mesures étaient réalisées dans l'ordre suivant :

1. Composition O₂ et CO₂ à l'intérieur de l'emballage

Un tampon adhésif était placé sur le film. Une aiguille reliée à l'analyseur de gaz portatif transperçait le tampon lors de la mesure et prélève un volume de 4mL de gaz. Elle était ensuite retirée et les valeurs de O₂ et CO₂ étaient affichées sur l'écran.

2. Meurtrissures

Les meurtrissures correspondent à un effondrement cellulaire et peuvent être dues à un choc ou à la sénescence. La sévérité des meurtrissures était mesurée à l'aide de l'échelle de notation de 1 à 5 réalisé par le CTIFL (**Annexe V**) sur chacune des fraises visibles (1 : surface meurtrie de 4 akènes, 2 : 8 akènes, 3 : ¼ de la surface, 4 : 1/3 de la surface, 5 : plus de 1/3). Une moyenne des notations était ensuite effectuée afin de donner une note globale à la barquette.

3. Pathogènes

L'incidence de la pourriture, nombre de fruits présentant des symptômes (tous pathogènes confondus) et la sévérité des symptômes sur chaque fruit était notée selon l'échelle établie par le CTIFL (**Annexes VI et VII**) (1 : 1/8 de la surface, 2 : 1/6 de la surface, 3 : ¼ de la surface, 4 : 1/3 de la surface, 5 : plus de 1/3). L'incidence était relevée tous les jours et a permis de suivre la vitesse d'évolution de la pourriture dans les barquettes.

4. Présence de vapeur d'eau

La visibilité du produit est un critère primordial pour les fruits commercialisés. La présence de condensation à la surface du film sera simplement évaluée qualitativement selon une échelle de notation (Echelle de notation de 1 à 4, 1 représentant la visibilité quasi nulle des produits) (**Annexe VIII**).

5. Poids

Au cours du stockage le poids des produits diminue due à la perte en eau. Chez la fraise, cette perte est d'autant plus importante car son épiderme est extrêmement fine et ne constitue pas une barrière efficace à la déshydratation. Le poids des barquettes (fraises + contenant) est mesuré chaque jour. La perte de poids est calculé avec la formule suivante :

$$\text{Perte de poids (\%)} = \frac{\text{poids initial}(g) - \text{poids instant } t(g)}{\text{poids initial } (g)} \times 100$$

6. Fermeté

La fermeté est corrélée avec la texture et la turgescence du produit. Elle diminue avec la durée de stockage. Durofel® mesure la résistance superficielle à la déformation de l'épiderme du fruit ou légume. L'embout doit être appliqué de façon perpendiculaire au fruit jusqu'à la butée. La durométrie s'exprime en point (Indice Durofel (ID+ surface de l'embout)). Plus le nombre de points se rapproche de 100, plus le produit est ferme. A la fin de chaque série, l'appareil indique la moyenne, le coefficient de variation (CV), l'écart-type (S) ainsi que le nombre de fruits de la série. La mesure de fermeté doit s'effectuer sur une série de 20 à 30 fruits minimum.

7. Brix

Le taux Brix est à la fois un indicateur de maturité et un critère d'appréciation des consommateurs. Après étalonnage avec de l'eau distillée, une goutte de jus est déposée sur le prisme du réfractomètre numérique. La mesure est répétée 2 fois avec le même jus. Elle est exprimée en % Brix (1 % de Brix = 1g de sucre / 100g de solution)(Venien, Tassin, 2000).

8. Acidité

L'acidité (acides citrique, malique, tartrique) figurent parmi les composants les plus importants pour la saveur des fraises. Elle est également un indicateur d'activité métabolique (Liu.Y.,2017). Le principe de la mesure consiste en la neutralisation des acides contenus dans le jus des fruits par de la soude (NaOH, 0.1 M). Après étalonnage, 10,0g de jus (phase limpide du jus) préalablement extrait avec un extracteur de jus, sont pesés dans un bécher à l'aide d'une balance (Mettler Toledo®). Ce dernier est complété avec de l'eau distillée jusqu'à 20 mL pour l'immersion de la sonde. Lorsque le pH = 8,1, le titrimètre s'arrête automatiquement et affiche le volume de soude versée.

$$\text{Acidité (meq/100g)} = \frac{100 \times V_s \times c}{m}$$

Avec :

m : masse (g) de la prise d'essai (m=10,0g)
V_s : est le volume (mL) de soude utilisée pour le dosage
c : concentration : soude (mol/L)

9. Test hédonique

A chaque essai, une vingtaine de personnes étaient sollicitées pour déguster les fraises après 2 et 3 jours de circuit. En raison de la grande variabilité des résultats, une dégustation de plus grande ampleur a été menée avec 58 participants inexpérimentés travaillant sur le MIN de Rungis lors du dernier essai. Chaque participant recevait un plateau de 7 échantillons de fraises saines issues des barquettes préemballées testées avec différents teneurs en O₂/CO₂. Les témoins magasin et froid faisaient systématiquement partie de la dégustation. Chaque fraise était placée dans une coupelle avec le numéro, également inscrit sur la feuille de notation. Sur celle-ci, le dégustateur devait noter de 0 (je n'aime pas du tout) à 9 (j'aime énormément) son appréciation du goût global de chacune des fraises présentées. Le temps accordé était court et ne permettait pas de développer un test avec un questionnement plus détaillé.

B. Analyse statistique

Une Analyse en Composantes Principales a été réalisée avec le package FactoMineR et a permis de mettre en évidence des corrélations entre les différentes variables. Les données suivant les lois normales ont fait l'objet d'une ANOVA. Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé lorsque la transformation des données avec Exp(x) et Log(x) n'a pas permis remplir les conditions pour procéder à une ANOVA. Si l'effet de ou des facteurs étudiés était

significatif, des groupes associés liés aux moyennes observées étaient réalisés grâce aux tests de Bonferroni et Newman-Keuls (Package agricolae). Les résultats des dégustations ont été analysés avec le package SensoMineR.

C. Résultats

1. Composition O₂ et CO₂

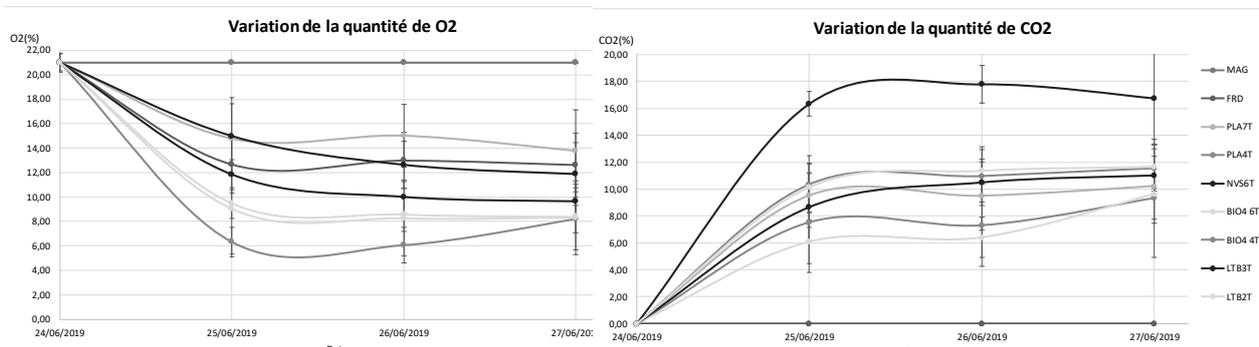


Figure 12 Evolution de la quantité de O₂ (A) et CO₂(B) au cours du temps en condition de simulation magasin 20°C/50HR. Exemple de Mariguette semaine 24.

Toutes les variétés étudiées ont présenté des courbes similaires en ce qui concerne l'évolution de la composition en O₂ et CO₂ au cours du temps. La quantité de O₂ diminue dans un premier temps de manière linéaire avant d'atteindre un plateau (**Figure 12 A**). En parallèle, la quantité de CO₂ augmente de façon linéaire et atteint un plateau (**Figure 12 B**). L'établissement de ce plateau était plus ou moins rapide selon l'intensité respiratoire des variétés. Plus l'intensité respiratoire était élevée, plus le plateau était atteint rapidement. En général, celui-ci était atteint en 1 jour. Les premières semaines d'essai, les fraises étaient placées en chambre froide 1 jour avant de rejoindre l'enceinte climatique en condition magasin. Celles-ci atteignaient le plateau en 1,5 jour environ.

L'intervalle d'oxygène recommandé pour une conservation optimale des fraises est [5-10%] d'O₂ (Mitcham et al., 1996). Cet intervalle a été atteint pour chacun des matériaux avec les surfaces perforées relevées ci-dessous dans le **Tableau 6**. Les résultats soulignent une nouvelle fois l'importance de la connaissance de l'intensité respiratoire. Pour obtenir une atmosphère avec 9 à 11% d'oxygène, la surface perforée doit être presque 2 fois plus importante avec un film en PLA pour les variétés Ciflorette, Gariguette et Mariguette que pour la variété Cléry. Si l'intensité respiratoire des fruits est mal évaluée, le risque de basculer en condition anoxique est fort et le risque de non commercialisation possible des produits aussi. Dans le **Tableau 6**, on note qu'une même surface permet d'atteindre différents intervalles d'O₂. La qualité des films, réalisés manuellement peut peut-être expliquer ces résultats. Des microfuites sont envisageables au niveau des soudures ou au niveau des scotchs sur les perforations. D'autre part, l'hétérogénéité

Tableau 6 Surfaces perforées pour atteindre l'intervalle O₂=[5-10%] en fonction du matériau testé.

Surface perforée en mm ²												
Matériau	PLA			NK			Bio04			LT8		
	Variété	% d'O ₂										
Cléry	0,13	0,13	0,13	x	0,19	0,19	x	x	x	0	0,32	0,32
Ciflorette	0,13	0,13	0,22	0,19	0,19	0,28	x	0,19	0,19	0,32	0,32	0,32
Gariguette	0,13	0,22	0,31	0,19	0,28	0,38	x	x	x	x	x	x
Mariguette	0,13	0,22	0,22	0,19	0,19	0,28	0,13	0,13	0,13	0,32	0,32	0,32

de maturation (et donc d'intensité respiratoire) des fruits présents au sein des barquettes peut aussi y contribuer.

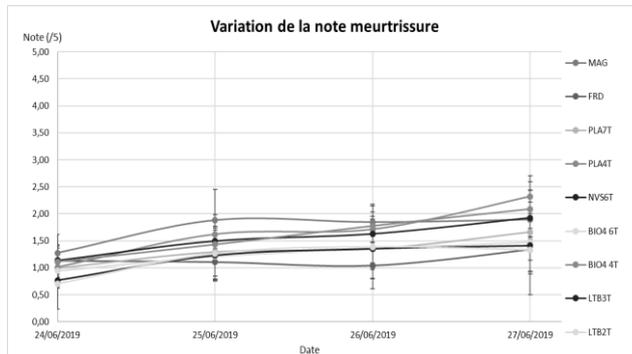


Figure 13 Variation de la note meurtrissures au cours du temps. Exemple de Mariguette Semaine 24.

évolution plus rapide des meurtrissures vers la note 5 (Données non montrées).

3. Pathogènes

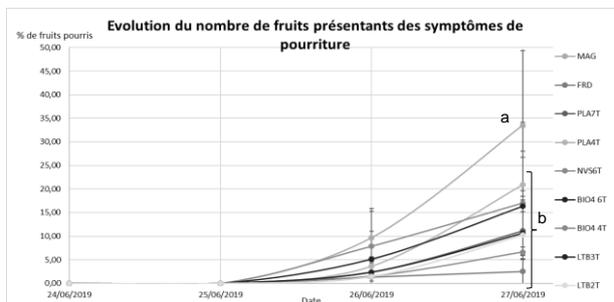


Figure 14 Evolution du nombre de fruits présentant des symptômes de pourriture. Exemple Mariguette Semaine 26).

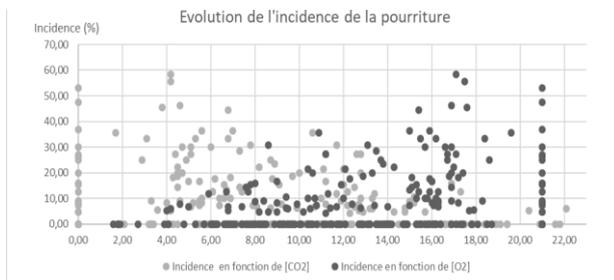


Figure 15 Evolution de l'incidence de la pourriture en fonction de la teneur en O₂ et CO₂, toutes variétés.

teneur en O₂ (gris clair) et la diminution avec l'augmentation de la teneur en CO₂ (gris foncé). La disparité des points n'a pas permis d'émettre une courbe de tendance fiable mais semble montrer qu'entre 9 et 11% d'O₂ et CO₂ la proportion de fruits pourris est la plus faible.

2. Meurtrissures

La Figure 13 montre l'évolution des meurtrissures des différentes modalités au cours du temps. Les résultats de l'ANOVA ne montrent pas de différence significative au 3^{ème} jour liée aux facteurs teneur en O₂ ou CO₂ dans l'emballage que ce soit sur le jeu de données de l'ensemble des variétés ou par variété. Sur les 7 semaines d'études, la modalité macroperforée MAG en barquettes PET + couvercle PET macroperforé semble montrer une

La proportion de fruits présentant des symptômes de pourriture révèle des différences significatives au 3^{ème} jour de circuit pour Ciflorette, Gariguette et Mariguette. L'ensemble des modalités présente une évolution exponentielle de l'incidence une fois la pourriture apparue. La modalité macroperforée MAG, se différencie nettement des autres modalités avec une P-valeur de 0.0008 et permet de confirmer l'intérêt de l'utilisation des MAP sur fraise. Ces derniers appartiennent au même groupe statistique que la modalité en chambre froide (Figure 14 et Annexe X).

La Figure 15 tracée à partir de l'ensemble des données obtenues avec toutes les variétés au 3^{ème} jour de circuit permet de mettre en évidence une tendance à l'accroissement de l'incidence de la pourriture avec l'augmentation de la

4. Poids

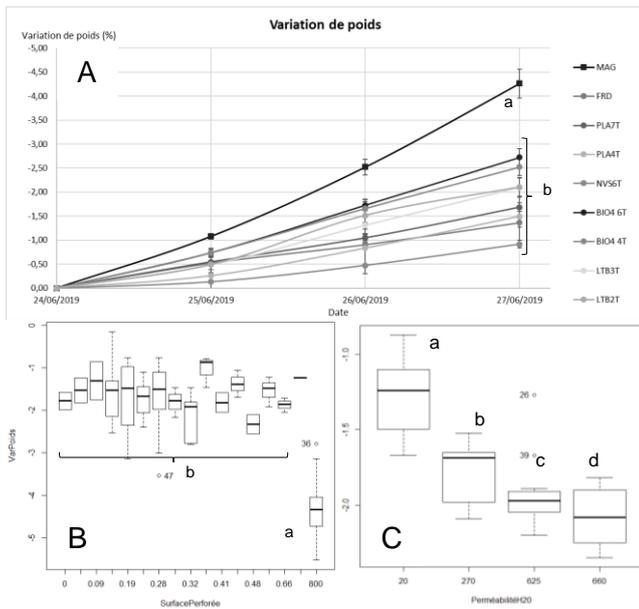


Figure 16 Variation de poids en fonction du temps Mariguette Semaine 26 (A), en fonction de la surface perforée (B), en fonction de la perméabilité du matériau (C)

L'exemple de Mariguette **Figure 16 A** montre qu'une nouvelle fois la modalité MAG se distingue significativement des autres emballages au 3^{ème} jour de circuit en perdant de 2 fois à 4 fois plus de poids que les emballages micro perforés. La modalité en chambre froide est toujours celle permettant d'obtenir la perte de poids la plus faible. Les boîtes de dispersion de la **Figure 16 B** confirment l'effet significatif ($P\text{-valeur}=2^E-16$) de la microperforation sur la perte de poids. Tout matériau confondu (perméabilité du matériau négligeable devant celle apportée par les perforations), MAG avec une surface perforée estimée à 800mm² perd significativement plus de poids (a) que les emballages microperforés (b). La **Figure 16 C** atteste néanmoins de l'importance de la perméabilité à l'eau du matériau à surface perforée similaire ($\pm 0.02\text{mm}^2$) sur la perte de poids ($P\text{-valeur} = 1.51^E-10$). Les Mariguettes

(Semaine 26), perdent en moyenne 0.92 % de leur poids avec NK, 1.68% avec le PLA, 2.08% avec le LTB8% et 2.64% avec le Bio04 pour une teneur en O₂ équivalente. La même tendance est observée pour toutes les semaines d'essais. Sans antibuée (erreur fournisseur), NK perd 2 fois plus de poids et se situerait entre le PLA et LTBio.

5. Fermeté, Brix et acidité

Les résultats concernant la fermeté, le taux Brix et l'acidité à partir des données brutes n'étaient pas concluantes à l'échelle d'une semaine d'essai ni sur une variété qui pouvait avoir des taux de sucre et d'acidité très variables. Néanmoins, la variation de la fermeté, du taux Brix et de l'acidité par rapport aux valeurs initiales (obtenues juste après récolte), calculées pour l'ensemble des variétés, a révélé des résultats en fonction de la variation d'O₂. Sur la **Figure 17**

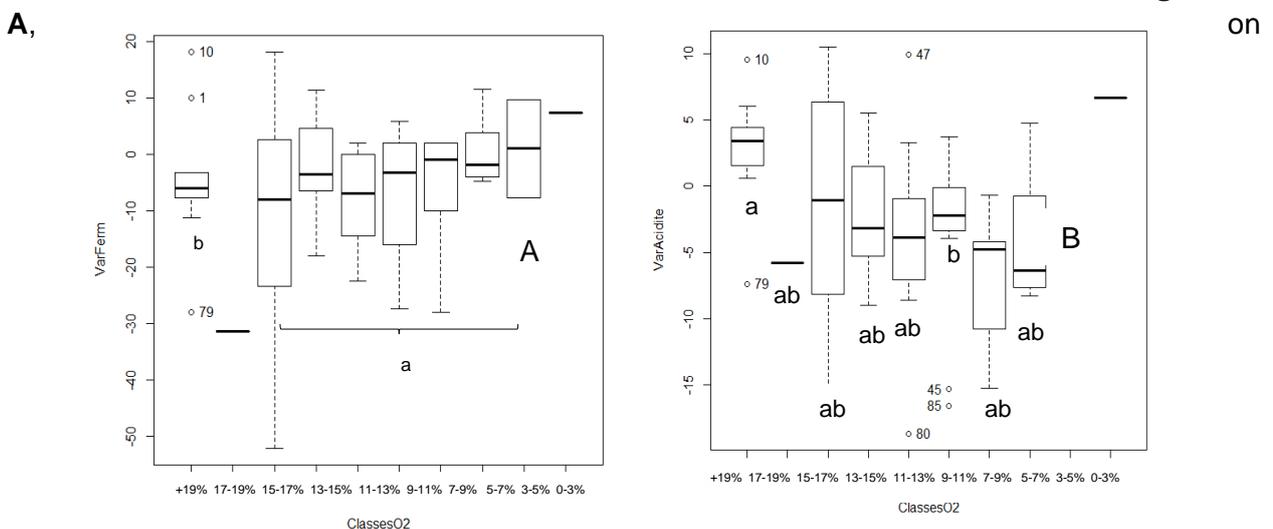


Figure 17 Variation de la fermeté (%) (A); de l'acidité (%) (B) en fonction des classes de O₂.

note que la variation de la fermeté a tendance à augmenter avec la quantité d'O₂, mais les résultats statistiques ne permettent pas de conclure (P-Valeur Kruskal Wallis >0.05). La variation du taux Brix ne permettait pas de déceler de tendance particulière. Les résultats ne sont pas présentés. La **Figure 17 B** montre une diminution significative (P-valeur = 2.72^{E-4}) de l'acidité (variation négative) avec la baisse de la teneur en O₂. Pour la modalité MAG (+19%), les fruits semblent gagner en acidité peut-être en raison de la forte proportion de fruits pourris.

6. Présence de vapeur d'eau

Seules les barquettes avec un flowpack en NK, enduit d'un antibuée, présentaient de la vapeur d'eau (note de 1) à la surface du film, empêchant une bonne visibilité des fruits.

7. Analyse en composante principale

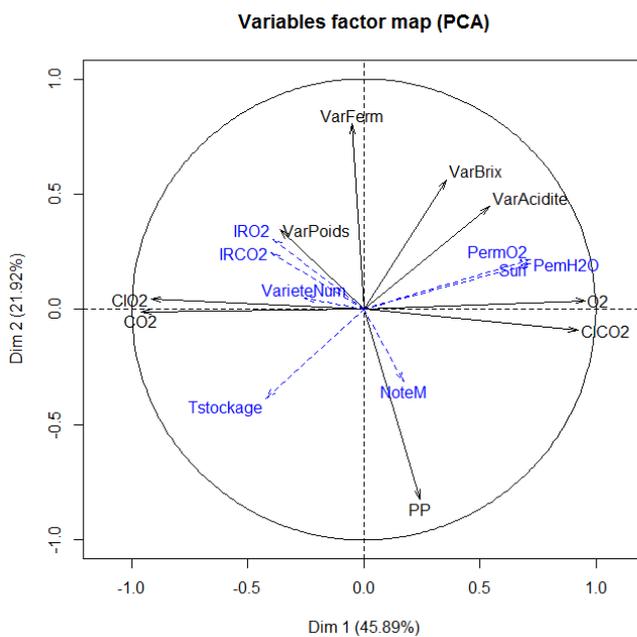


Figure 18 Analyse en Composante Principale.

Les données de toutes les variétés confondues au cours de la période d'essai après 3 jours de circuits permettent d'obtenir l'ACP suivante (**Figure 18**). L'addition des deux dimensions principales permet d'expliquer 66 % des résultats. La variation de poids apparait corrélée avec l'intensité respiratoire et la variété et anticorrélée avec la perméabilité à H₂O, O₂, la surface perforée (Surf). Elle semble également liée à la note meurtrissure (NoteM) et la proportion de fruits pourris (PP). La variation de la fermeté semble clairement anti-corrélée avec la note meurtrissure et le pourcentage de fruits pourris. La température de stockage est anti-corrélée avec la variation du taux brix et de l'acidité.

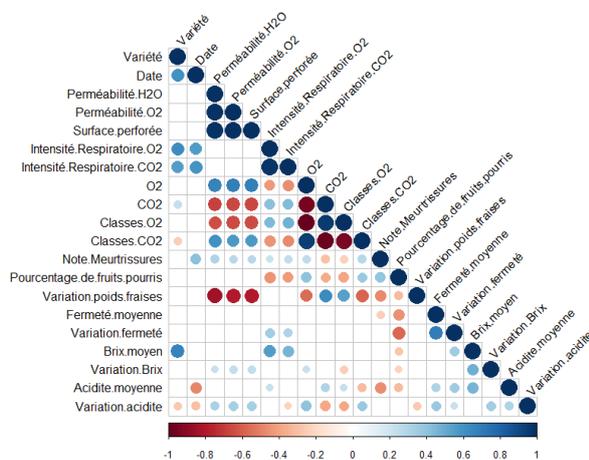


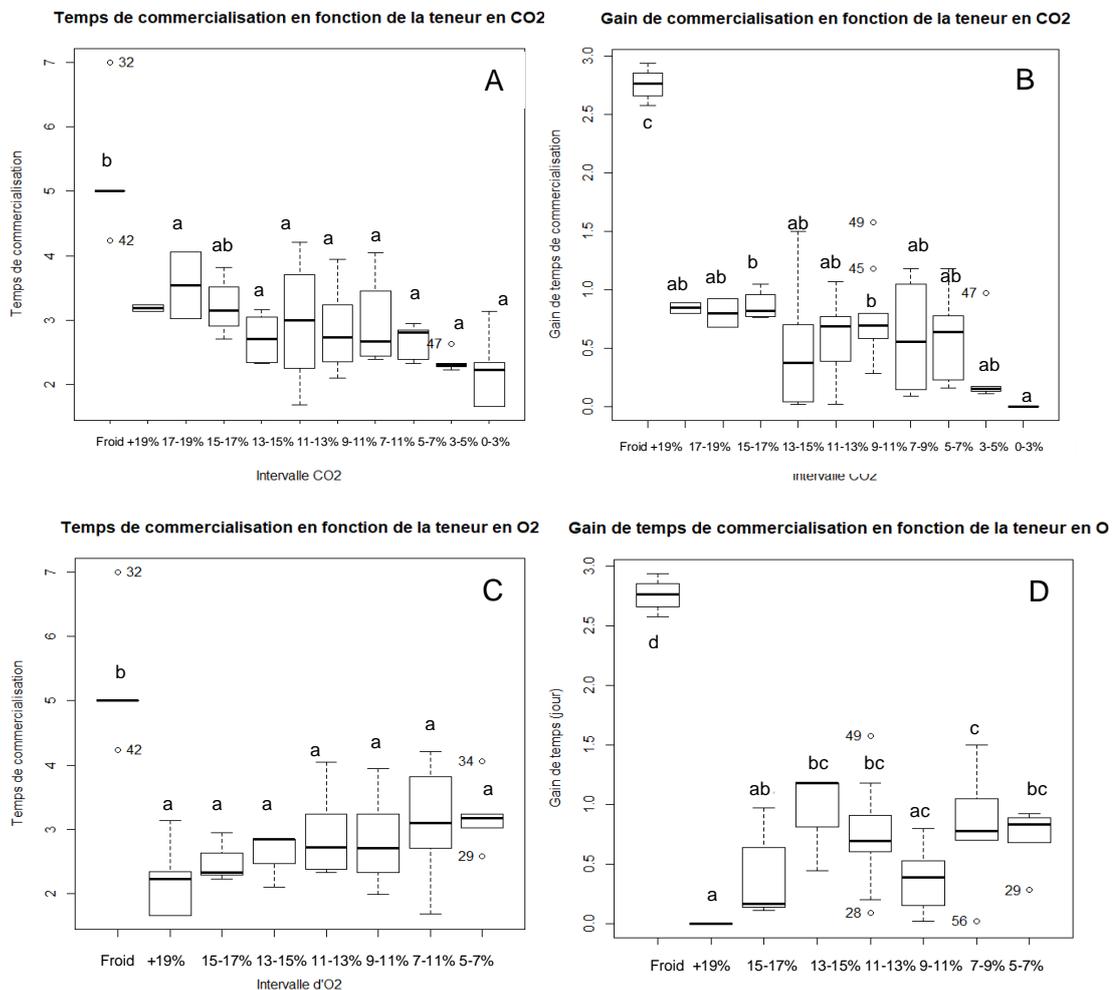
Figure 19 : Matrice de corrélation entre les différentes variables étudiées pour l'essais film (Package Corrplot, logiciel R).

La matrice des corrélations réalisé sur R studio avec le package Corrplot (**Figure 19**) montre plus précisément et de manière plus visuelle ces corrélations. Les couleurs tendent vers le bleu indique une corrélation positive, vers le rouge une corrélation négative. L'intensité de la couleur et la taille des cercles indiquent la force de cette corrélation. Les corrélations non significatives (P-value Pearson <0.05) ne sont pas représentées (cases blanches). La variété est caractérisée par son intensité respiratoire CO₂ et O₂. Le matériau d'emballage, lui, est caractérisé

par la perméabilité en H₂O, O₂, sa surface perforée. L'atmosphère interne de l'emballage est représentée par l'O₂ et le CO₂.

L'intensité de la couleur des points et leur diamètre indique une forte corrélation de la perte de poids liée au matériau d'emballage (perméabilités H₂O et O₂) et surface perforée comme il l'avait été observé dans les résultats précédents. Les valeurs moyennes de Brix, acidité, fermeté et intensité respiratoire sont très corrélées positivement à la variété. L'acidité moyenne montre des corrélations positives intéressantes avec la note meurtrissure et le pourcentage de fruits pourris suggérant une modification des paramètres gustatifs des fruits lors d'une altération physique. On note que le pourcentage de fruits pourris est positivement corrélé avec la note meurtrissure ce qui confirme que les fruits blessés sont davantage sensibles à l'attaque des pathogènes. De plus, il est également corrélé avec tous les paramètres gustatifs et leur variation. La pourriture génère altérations de la qualité gustative des fruits. Le pourcentage de fruits pourris montre une corrélation négative avec les classes de CO₂ et positive avec les classes de O₂, une observation qui va dans le sens des résultats obtenus. Les classes de CO₂, elles, sont négativement corrélées à l'intensité respiratoire confirmant qu'une atmosphère modifiée permet de réduire les activités métaboliques. On remarque également une faible corrélation avec la variation de poids qui n'avait pas été envisagée. L'intensité respiratoire et l'incidence de pourriture réduites par la teneur en CO₂ sont des pistes d'explications plausibles pour ce résultat. Les classes de CO₂ apparaissent également positivement corrélées à l'acidité, la variation de l'acidité, ce qui

avait été identifié avec la **Figure 17 B.**



Le temps de commercialisation (toutes variétés, matériau et surface de perforation confondus) des fruits a été estimé par lecture graphique des courbes d'évolution moyennes (par variété, par matériau et par surface perforée) du pourcentage fruits présentant des symptômes de pourriture. Le seuil de commercialisation a été fixé à 5% soit moins de 1 fruit par barquette lorsque les petits calibres comptent 20 fruits par barquette. Alors que la différence de pourriture apparaissait comme significative au 3^{ème} jour de magasin sur la **Figure 15**, les ANOVA n'ont pas permis de montrer une différence significative de temps de commercialisation entre le témoin macroperforé et les barquettes sous atmosphère modifiée passive, en fonction du O₂ ou du CO₂ (**Figure 20 A et C**). Le témoin conservé au froid est le seul à présenter une différence significative avec en moyenne 5 jours de commercialisation contre 2.21 jours en moyenne pour le témoin macroperforé placé à l'ambiance magasin. Néanmoins, les barquettes sous atmosphère modifiée permettait à chaque essai de retarder l'apparition de pathogène. **La Figure 20 B et D** représente le gain de temps obtenu (tous matériaux et variétés confondus) avec ces barquettes microperforées par rapport au témoin macroperforé en magasin. On observe ici une différence significative entre témoin au froid et les barquettes ayant une teneur en CO₂ comprise entre 9 et 11 % et les barquettes ayant une teneur entre 7 et 11% d'O₂. Ces teneurs permettent de gagner respectivement 0.75 et 0.83 jour de magasin avant l'apparition des premiers symptômes de pourriture. Les 4 films sont aptes à atteindre cette atmosphère (**Tableau 6**)

8. Test hédonique

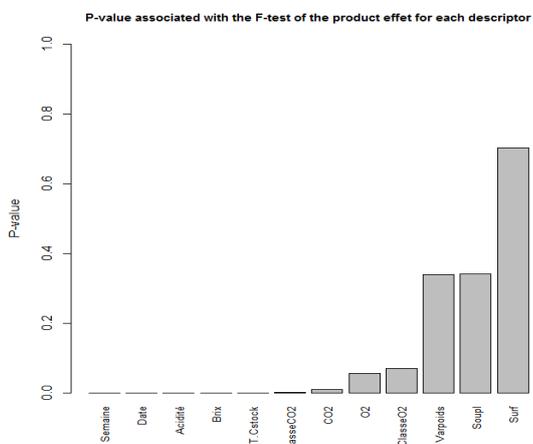


Figure 21 P-valeur associée au test de Fisher pour le produit (Note) pour chacun des descripteurs.

Les notes d'appréciations gustatives extrêmement variables d'un paneliste à un autre, ont été représentées graphiquement avec le package SensoMineR. Celui-ci permet de caractériser un produit en fonction de ses descripteurs. Ici la note a été considérée comme le produit à caractériser afin d'identifier les facteurs qui influent sur la note donnée par le paneliste. **La Figure 21** présente les P-valeurs de chaque descripteur de la note. La semaine de récolte, la date de dégustation, l'acidité, le taux Brix, la température de stockage et le CO₂ ont un effet significatif sur la note. Les autres descripteurs sont jugés non significatifs (P-valeur < 0.05).

60% des panelistes ont donné des notes entre 0 et 4 aux barquettes ayant une teneur en CO₂ > 19% et une teneur en O₂ < 3% et les ont décrites comme « fermentées ».

A partir des données obtenues sur l'ensemble de la période d'étude, un cercle des corrélations (**Figure 22 A**) dont la somme des axes permet d'expliquer environ 92% de la variabilité des données a pu être produit. Le CO₂, l'acidité, le taux Brix, la date et la semaine sont corrélés avec la dimension 1 tandis que la surface perforée l'est avec la dimension 2. La **Figure 22 B** présente les ellipses de confiances autour des barycentres des notes de 1 à 9. La position des notes les plus basses semblent correspondre aux variables acidité et CO₂. Tandis que les notes les plus hautes semblent être corrélées au taux Brix, à la semaine de dégustation et à la date de dégustation. Le facteur semaine de dégustation correspond à l'effet variété puisque chaque semaine ou presque était testée une variété différente. Au total, quatre variétés ont été dégustées au 2ème et 3ème jour de commercialisation. Gariguettes plus acide et Cléry (dégustée au 4ème jour, trop évoluée) ont obtenu des notes plus faibles. Alors que le froid a pour réputation de « casser » les arômes des fruits, les dégustations réalisées auprès de consommateurs inexpérimentés ont révélé une préférence pour cette modalité (Non présenté). Des recherches approfondies avec un panel entraîné seraient nécessaires pour déterminer si une différence de perception des arômes est réellement observée pour la modalité en chambre froide.

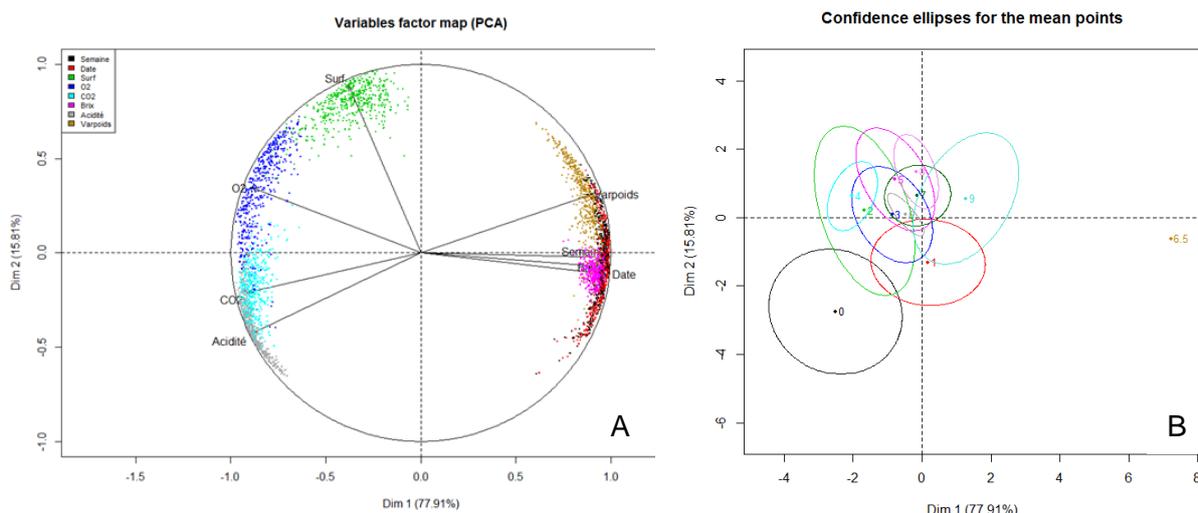


Figure 22 Cercle de corrélations (A) et Ellipse de confiances (B), graphiques de caractérisation de la note d'appréciation des consommateurs.

Cet essai a confirmé l'intérêt des MAP pour la fraise en permettant l'évacuation de vapeur d'eau en volumes suffisants à travers le film lui-même et ses microperforations, évitant ainsi l'apparition de buée. L'atmosphère créée, plus riche en humidité qu'un emballage macroperforé limite considérablement la perte de poids. Une corrélation entre la teneur en CO₂ et l'apparition des pathogènes a été mise en évidence. L'intervalle 7-9% de O₂, présente l'incidence de pourriture la plus faible, permet de gagner 0.83 jour de commercialisation par rapport au témoin macroperforé et ne semble pas modifier l'appréciation des consommateurs. Les 4 films permettent d'atteindre cet intervalle optimal avec des surfaces microperforées précise pour chaque matériau.

IV. Evaluer les propriétés des barquettes alternatives

Aucune recherche scientifique n'a, à notre connaissance, été menée sur la résistance des barquettes alternatives : à base de résidus de tomates, feuille de palmier, de pulpe de canne à sucre, de cellulose de papier ou de pin ni n'a étudié leur impact sur la qualité des fruits. Ces nouveaux matériaux biosourcés permettent-ils de répondre aux attentes des professionnels de la filière et des consommateurs par rapport au PET en termes de résistance des matériaux et de la protection des fruits au cours du transport, après manipulation, changement de température, d'humidité ? L'objectif de cet essai a donc été d'évaluer la résistance de ces différents contenants (test de compression verticale, déformation au cours du circuit, test UV), et d'évaluer leur impact sur la qualité des fruits (meurtrissures, pourritures, jus, perte de poids).

A. Matériel et méthode

De nombreux fournisseurs d'emballages innovants répondant aux critères biosourcés recyclables ou compostables ont été contactés pour cette étude. Au total 16 barquettes ont été testées mais seulement 11 seront présentées dans ce rapport (**Figure 23, Tableau 7 et Annexe XI**). Les barquettes étaient pesées, étiquetées avant d'être remises au producteur avant la cueillette. Six barquettes par matériau ont été testées. Elles étaient ensuite introduites dans un film en polypropylène (PP) macroperforé manuellement puis acheminées de la même façon que dans l'essai précédent. A l'arrivée sur Rungis, les barquettes étaient observées visuellement, pesées à nouveau puis directement entreposées aléatoirement sur le meuble de vente en conditions simulées de magasin (20°C et 50%HR). Dans cette première expérience, la résistance des matériaux n'avait pas été étudiée. Une répétition de l'expérience a été réalisée selon un schéma légèrement différent. Les barquettes ont d'abord subi une première phase de simulation en conditions sous serre (40°C-80%HR pendant 48h) et ont été observées avant d'être remplies avec 250g (+/-7g) fraises achetées chez un grossiste du MIN de Rungis. Elles ont été placées 2 jours en chambre froide (5°C-80%HR) puis ont été entreposées dans le meuble de vente dans le simulateur d'ambiance magasin (20°C-50%HR) pendant 3 jours. En supplément, des observations visuelles et suivis de poids, des tests de compression verticale avant et après circuit et d'exposition aux UV ont été réalisés.

Tableau 7 Synthèse des matériaux étudiés.

Entreprise	Lien web	Nom commercial et cigte	Composition	Fin de vie valorisation
	https://univers-emballage.com/	PET	Polyéthylène téréphtalate	
	https://www.packvert.com/	PLA	Amidon de maïs	  
	https://univers-emballage.com/	Carton Compact (CC)	Cellulose de bois, fibres	
	https://univers-emballage.com/	Bois agrafé (BA)	Bois	
	https://univers-emballage.com/	Cellulose moulée (CM)	Cellulose moulée	  
	http://www.gepackk.fr/	Cellulose moulée de pin (CMP)	Cellulose moulée de Pins avec revêtement PLA - bois d'origine 80% d'Espagne et 20% des pays nordiques	  
	http://www.gepackk.fr/	Carton Compact kraft	Cellulose de bois, fibre	
	https://www.biopac.co.uk/	Palm bowl (PLM)	Palmier asiatique Areca	  
	https://www.groupe-lacroix.com/	Bois thermoformé et thermocollé (BTH)	bois	
	https://www.agroconceptembal.com/fr/	Bols canne à sucre (FCS)	Canne à sucre asiatique	  
	www.zalpak-straatman.nl	Résidus végétaux de culture de tomate (CT)	Cellulose de tomates	
	http://glopack2020.eu/	PPHA	Paille20%+PHA	

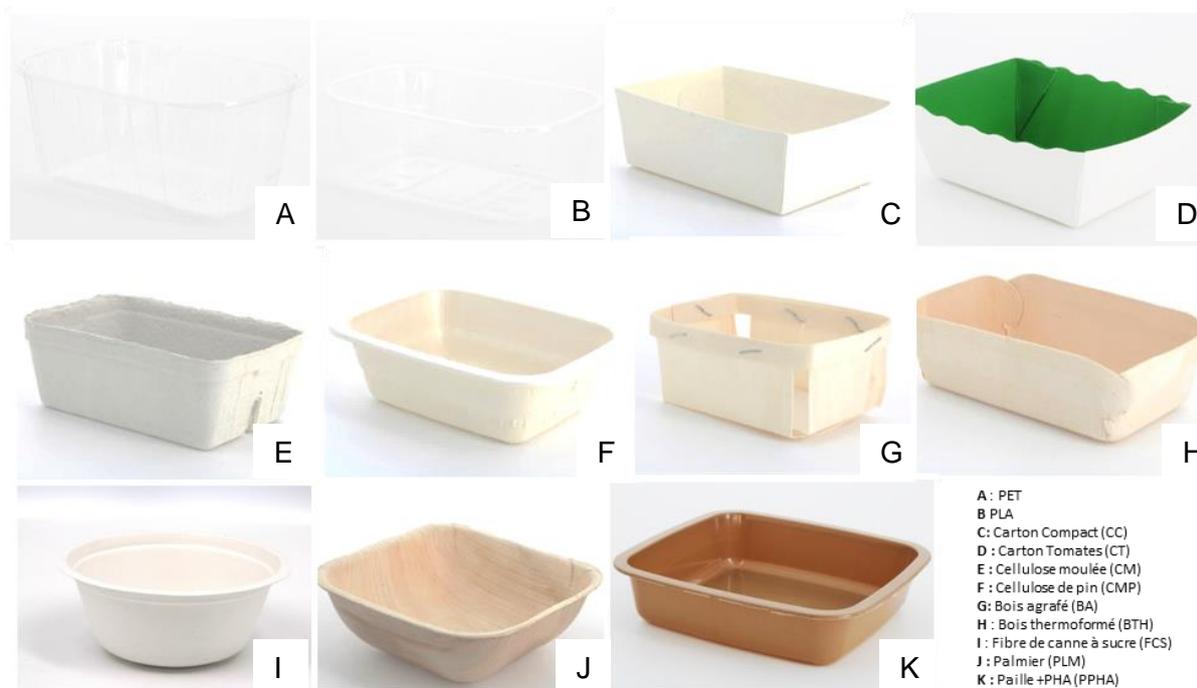


Figure 23 Photographies des barquettes étudiées, CTIFL Rungis (Leclerc., 2019).

1. Observations visuelles et mesure du poids

Les observations visuelles (meurtrissures, pourritures, jus) était réalisées de la même manière que l'essai sur la perméabilité des films. Les mesures des dimensions a été réalisée avec un double décimètre à chaque fin d'étape du circuit (après simulation des conditions sous serre, après simulation des conditions magasin). Les mesures n'ont pas été réalisées après l'étape chambre froide. Les photographies des déformations ont été prise avec le studio photo scan cube. Le poids (fraises et barquettes) a été mesuré le dernier jour de circuit à l'aide d'une balance.

2. Test de résistance à la chaleur

Les producteurs ont à plusieurs reprises mentionné la déformation des barquettes sous serre lorsqu'un carton n'était pas fermé. Bien qu'ils mettaient davantage en cause les UV comme responsables des déformations, il nous a semblé important de vérifier qu'il ne s'agissait pas également de la température et de l'hygrométrie sous serre. Trois barquettes par matériau ont été placées dans l'enceinte climatique avec pour consigne une température de 40°C et une hygrométrie de 80%. La longueur, largeur, hauteur des barquettes ont été notées à la fin du test.

3. Test UV

Le test UV consista simplement en la mise à l'extérieur de 3 barquettes par matériau, en plein soleil 7 h pendant 5 jours. La température extérieure, la longueur, largeur, hauteur et la couleur des barquettes ont été notées chaque jour à l'aide d'un double décimètre.

4. Test de compression verticale

Le test de compression verticale consistaient en l'étude de la déformation de la hauteur des barquettes sur lesquelles on ajoute progressivement du poids jusqu'à la rupture ou début d'affaissement (0.5cm). Une limite maximale fut établie à 10kg. Trois répétitions par matériau ont été soumises à ce test, avant circuit et après un circuit commercial simulé par 2 jours en

conditions sous serres 40°C et 80% d'hygrométrie sans fraises, 2 jours en chambre froide et 3 jours avec fraises en conditions magasin (20°C et 50% d'hygrométrie) afin de déterminer l'influence d'un circuit classique sur la résistance des matériaux d'emballage.

5. Evaluation sensorielle

Lors de la première expérience, les fruits ont été dégustés par 6 consommateurs inexpérimentés. Certains matériaux (Palmier, PHA, cellulose moulée...) ont des odeurs fortes qui pourraient migrer sur les fruits et altérer leurs arômes.

6. Analyses statistiques

Les données suivant les lois normales ont fait l'objet d'une ANOVA à l'aide du logiciel R. Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé lorsque la transformation des données avec Exp(x) et Log(x) ne permettait pas de remplir les conditions pour procéder à une ANOVA. Si l'effet du ou des facteurs étudiés était significatif, des groupes associés liés aux moyennes observées étaient réalisés grâce aux tests de Bonferroni et Newman-Keuls (Package agricolae).

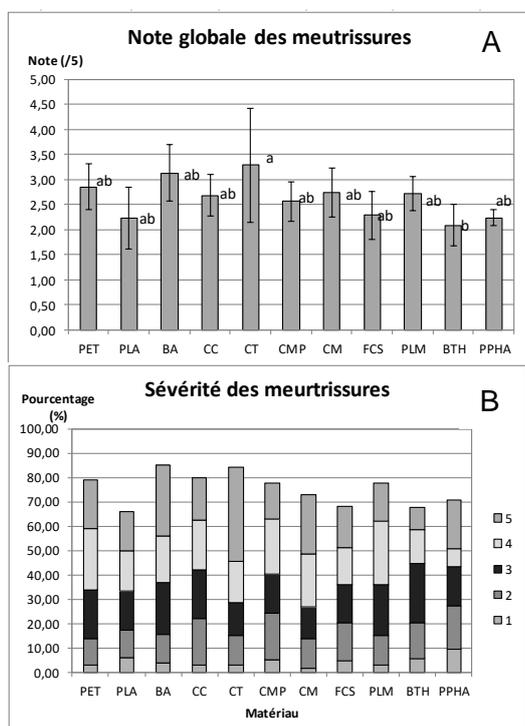


Figure 24 Note globale meurtrissure (/5) par barquette en fonction du matériau (A) et sévérité des meurtrissures par matériau (B).

B. Résultats

L'ensemble des résultats sont issus des moyennes des deux expériences estimés suffisamment proches.

1. Meurtrissures

Le graphique **Figure 24 A** montre une variation significative de la note globale meurtrissure en fonction du matériau (P-valeur = 0.0327). Le carton à base de résidus de tomates (CT) affiche une note meurtrissure statistiquement plus élevée avec beaucoup de variabilité et le bois thermoformé, thermocollé (BTH) la note la plus faible. Le bois agrafé (BA) affiche la deuxième valeur de meurtrissure la plus élevée. Bien que PLA, CMP et FCS appartiennent au même groupe statistique ab, la lecture du graphique montre que ces matériaux tendent à moins meurtrir les fruits contenus. La **Figure 24 B** détaille le pourcentage de fruits meurtris par note de sévérité. Les fruits non meurtris n'apparaissent pas sur le graphique. La majeure partie des fruits meurtris de CT ont des notes de sévérité de 4 et 5. Au sein d'un même groupe statistique, on peut observer des différences de répartition dans les notes de sévérité.

2. Surface de jus

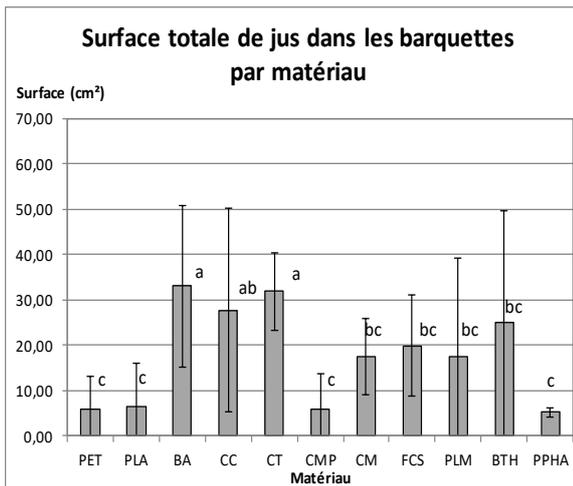


Figure 25 Surface totale de jus dans les barquettes en fonction du matériau.

La surface totale de jus est également significativement différente (P-valeur : 7.35×10^{-9}) selon le matériau (Figure 25). Globalement, les matériaux ayant la plus haute note de meurtrissures sont ceux montrant les plus grandes surfaces de jus observées au fond des barquettes. BA, CC, CT sont les matériaux les plus tachés. Le premier est connu pour être abrasif, pour les deux autres, l'épaisseur du matériau et donc par conséquent de la qualité d'amortissement des chocs est mise en cause. Les matériaux présentant les plus faibles surfaces de jus sont sans surprise, les matériaux dont la surface est la plus lisse : PET, PLA, CMP recouvert de PLA et PPHA (Photographies en Annexe XII).

3. Photographie de la surface des matériaux

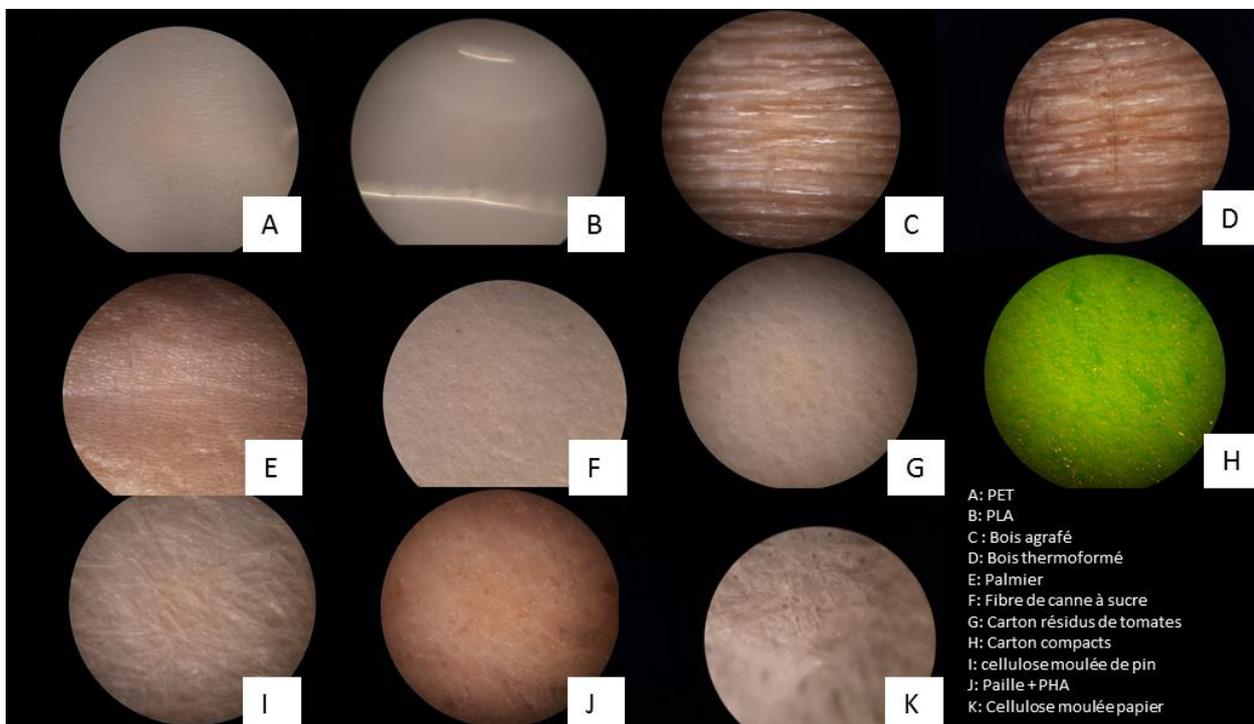


Figure 26 Photographie de la surface des matériaux au microscope (objectif X10), CTIFL Rungis (Leclerc.,2019).

Les photographies de la Figure 26 permettent de mieux se représenter la surface des matériaux en contact avec les fruits. Elles laissent supposer des différences d'abrasivité des matériaux étudiés notamment lors des transports au cours desquels les vibrations verticales, horizontales et les chocs sont nombreux. Le bois agrafé (C), le bois thermoformé (D) se distinguent des autres matériaux avec leurs fibres de grande taille à la fois en largeur et en longueur. Le bois agrafé se différencie néanmoins du bois thermoformé avec ses fibres pointues

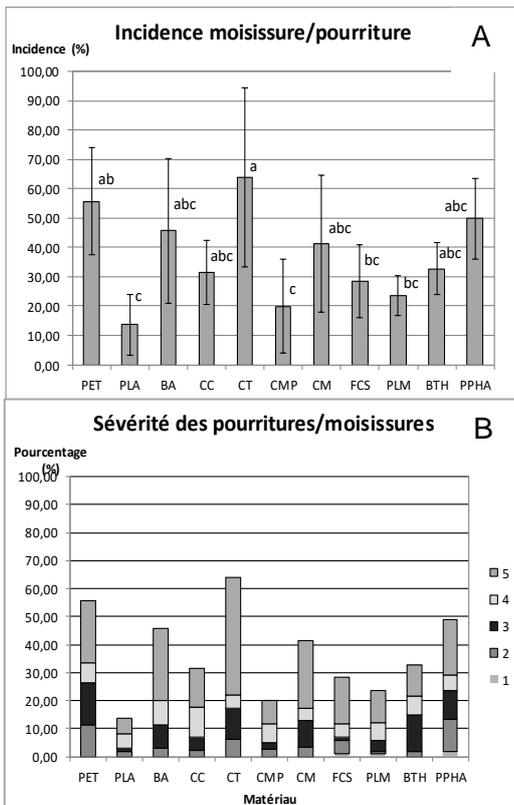


Figure 27 Incidence des pourritures (A) et sévérité des pourritures (B) en fonction des matériaux.

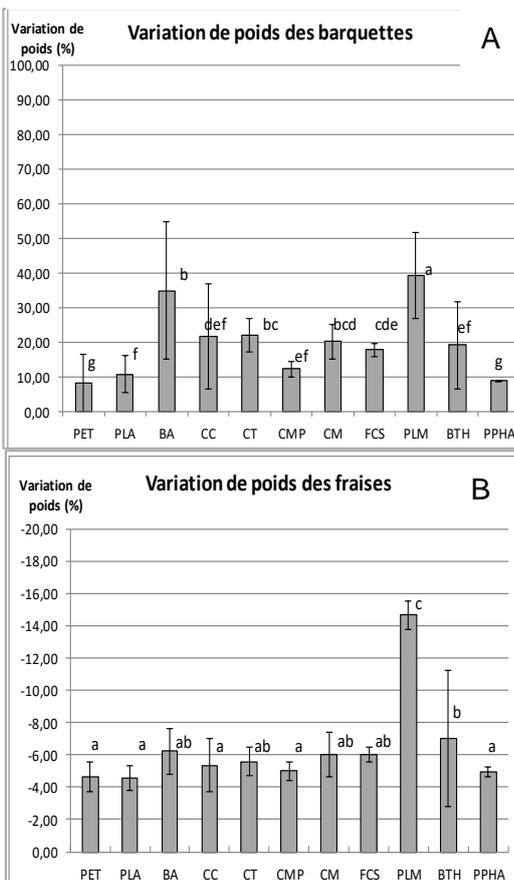


Figure 28 Variation de poids des barquettes (A), et des fraises (B) en fonction du matériau.

en relief. Probablement à cause du traitement thermique pour donner la forme de la barquette et du thermocollage, les fibres du bois thermoformé sont comme lissées rendant la surface moins abrasive. La surface de la cellulose moulée de papier (K), elle, est très en relief. Cette caractéristique est visible sur la photographie avec les parties floues. Enfin, la surface de cellulose moulée de pin (I) semble également fibreuse, mais, son revêtement en PLA, la rend parfaitement lisse.

4. Pourriture

La proportion de fruits pourris est significativement différente selon le matériau étudié. On note également une très forte variabilité des résultats représentée par les écart-types en haut des histogrammes. Comme pour les meurtrissures, CT se distingue des autres barquettes en ayant le plus fort taux de pourriture observé avec plus de 62% de fruits pourris (toutes notes de sévérité confondues). Les barquettes PLA et CMP, à l'inverse montrent des taux de pourritures extrêmement bas avec respectivement 13 et 19% de fruits pourris soit en réalité seulement 1 à 2 fruits pourris par barquette. Les barquettes en fibre de canne à sucre et palmier montrent également des taux intéressants (Figure 27A). La Figure 27B, détaille la proportion de fruits selon la note de sévérité des symptômes. Les fruits des barquettes CT qui montraient le plus fort taux de pourriture ont évolué très rapidement vers des notes élevées. Une fois le champignon apparu dans la barquette, l'incidence et la sévérité des symptômes augmente de façon exponentielle. Comme dans l'essai précédent, la proportion de fruit pourri est fortement corrélée avec les meurtrissures, portes d'entrée des pathogènes.

5. Variation de poids des barquettes et des fraises

Certains matériaux ont des capacités hygroscopiques fortes et donc un risque accru d'absorption d'eau soit de l'atmosphère ambiante, soit de son contenu. Ces deux éléments étaient soupçonnés d'intervenir dans l'évolution du poids des barquettes. La Figure 28 A présente la variation de poids des barquettes après la simulation du circuit commercial. La faible surface de jus observée explique le très faible gain de poids observé chez les barquettes PET, PLA, PPHA et CMP. A l'inverse, on

note que les barquettes BA dont la surface de jus était la plus importante, montrent sur la **Figure 28 (A)** un important gain de poids. Les barquettes palmier affiche étonnamment le plus haut gain de poids alors que la surface de jus observée était faible.

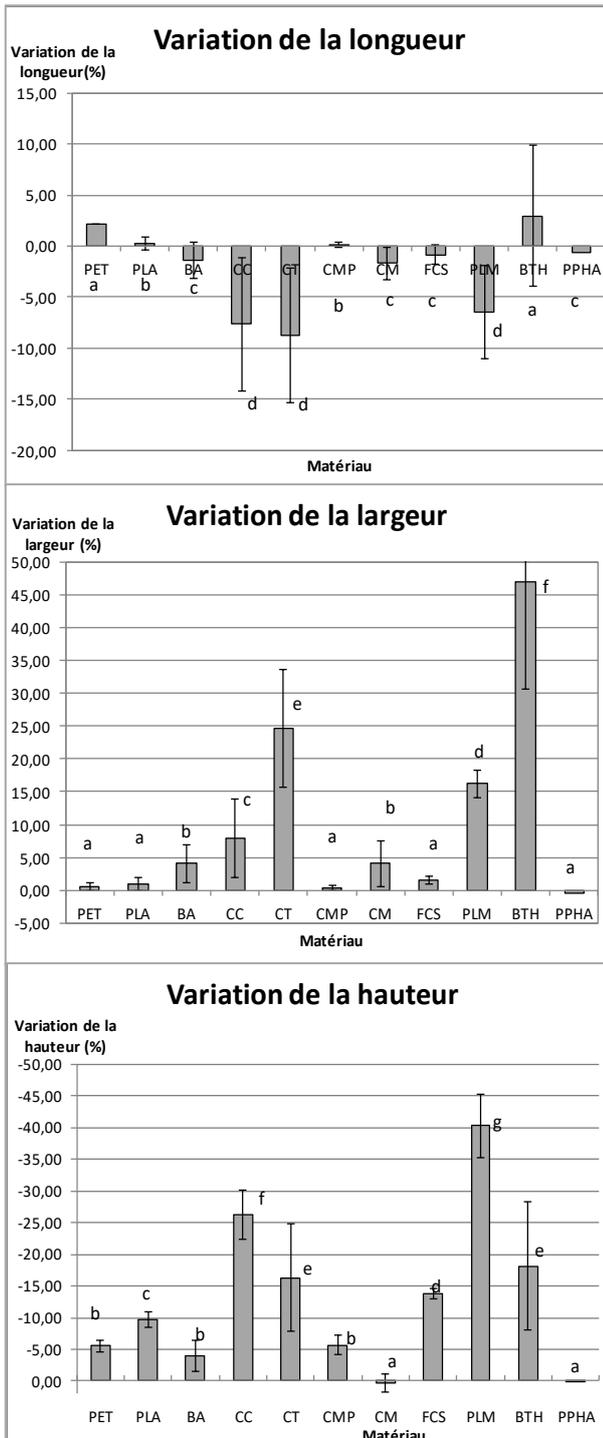


Figure 29 Variation de la longueur (A), largeur (B), hauteur (C) après circuit (2 jours en condition serre 40°C/80%HR, 2 jours avec fraises en chambre froide 5°C/80%HR, 3 jours de magasin 20°C/50%HR).

La **Figure 28 B** permet d'expliquer ce résultat. Les fraises au contact des surfaces très peu perméables à l'eau (PET ; PLA ; CMP ; CC ; PPHA) se sont le moins déshydratées. La valeur de la perte de poids observée chez les fraises contenues dans les feuilles de palmier retient l'attention. Elles ont perdues plus 2 fois plus d'eau que dans les autres barquettes. Le palmier est donc un matériau au pouvoir absorbant, qui capte l'humidité au contact des produits.

6. Variation des dimensions

La sensibilité de certaines barquettes à l'humidité se confirme au regard des résultats de la **Figure 29** présentant des différences de variations de longueur, largeur et hauteur par rapport à leur état initial. Celles-ci sont significatives en fonction des matériaux après simulation du circuit. Les barquettes CC, CT et PLM ont perdu en longueur au profit de leur largeur et d'un affaissement en hauteur. Les points de soudure des barquettes thermocollées BTH ont cédé, probablement à cause de l'humidité, provoquant l'ouverture des barquettes (L : +2,96% ; l : +47%, h : 18,18%). Les barquettes de ces 4 matériaux n'étaient physiquement retenues que par le flow pack en PP et n'étaient ni esthétiquement ni fonctionnellement commercialisables. Les barquettes FCS montrent une variation de hauteur importante plus certainement due à une lecture difficile en raison de sa forme arrondie. Les dimensions des autres matériaux ont des variations très faibles. PET, PLA, CMP, PPHA sont des matériaux peu perméables à l'eau comme observé précédemment sur la **Figure 26**, leurs dimensions ont très peu variées. Les dimensions des barquettes en bois agrafé BA dont le poids avait le plus varier, ont très peu évolué.

7. Test UV

Le test UV n'a pas permis de mettre en avant de différence significative en termes de variation de longueur, largeur, hauteur les 6 premiers jours. L'exposition au soleil a provoqué un

un jaunissement des barquettes CM, BA, CMP et un blanchiment des barquettes CT, PLM (**Annexe XIII**) . Lors du dernier jour d'essai, jour de canicule, les barquettes PLA se sont déformées. Un second test a été réitéré le lendemain afin de vérifier qu'il ne s'agissait pas de l'accumulation des 6 jours d'exposition aux UV mais bien de la température qui avait atteint un seuil au-delà duquel le matériau se déforme. Les barquettes PLA et les barquettes PET sont les deux matériaux susceptibles d'être sensibles à la température et/ ou la lumière. Lors du second test, 4 barquettes PLA et 4 barquettes PET ont été placées en plein soleil et la même quantité sous un carton ajouré pour laisser passer l'air. La température été mesurée toutes les heures en plein soleil pour identifier plus précisément la température seuil. A 49.9°C, les barquettes PLA se sont déformées par le fond, perdant en moyenne 11.90% de leur longueur, 27.66% de leur largeur et 1.28% de leur hauteur (**Annexe XIII**) . Sous serre, les risques de déformation du PLA sont grands en raison des hautes températures. Les autres matériaux n'y sont pas sensibles mais leur couleur peut être altérée en présence de lumière, d'où l'importance d'un lieu de stockage adapté.

8. Test de compression verticale

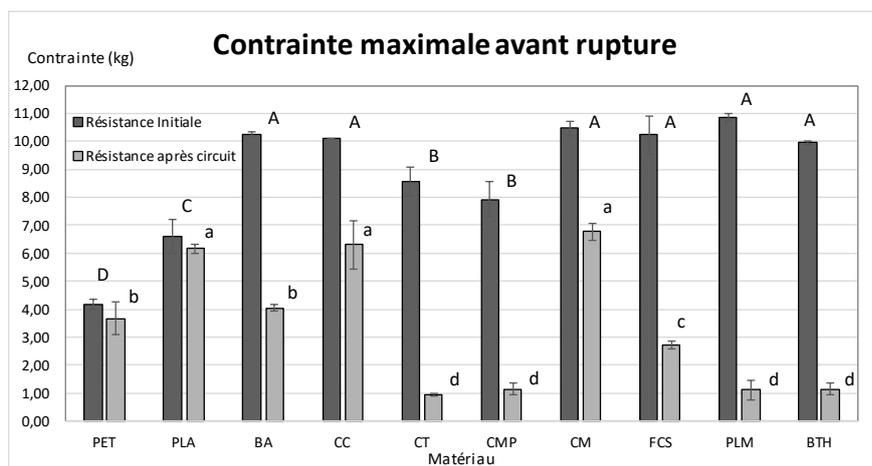


Figure 30 Contrainte maximale (kg) avant rupture ou affaissement avant circuit et après circuit (2 jours en conditions sous serres simulées, 2 jours en chambre froide 5°C/80%RH, 3 jours en conditions magasin 20°C et 50%RH).

La **Figure 30** montre la différence de résistance à la compression verticale des barquettes avant circuit (gris foncé) et après circuit (gris clair) avec des différences significatives entre matériaux. La résistance des barquettes PET et PLA est initialement la plus faible. Pour ces barquettes, la rupture est soudaine tandis que pour les matériaux CMP, CM et FCS, il s'agit davantage d'une rupture du fond (enfoncement pour le premier) ou des bords (pliure irréversible de la partie supérieure pour le second) plutôt qu'une rupture totale de l'intégrité de la barquette comme observé pour PLA et PET. Les résultats des essais précédents ont mis en avant la sensibilité de certaines barquettes face aux conditions de températures et d'humidités variant tout au long du circuit. La **Figure 30** montre une diminution très nette de la résistance de certains matériaux. Ceux présentant une résistance faible sont généralement ceux identifiés comme étant sensibles à l'humidité lors des essais précédents à savoir CT, PLM, BTH. Les valeurs de CMP et FCS ne sont pas représentatives de leur résistance. Les fonds un peu arrondis se sont enfoncés mais une fois déformées, ces barquettes auraient pu supporter une charge bien plus importante. On remarque que si les barquettes BA s'étaient très peu déformées (**Figure 29**), la présence d'humidité et de jus affecte tout de même leur résistance finale. Pour les barquettes PET et PLA, très peu perméables à l'eau, la variation entre la résistance initiale et après circuit est extrêmement faible.

L'ensemble des résultats graphiques a été reporté dans le **Tableau 8**. **Aucun matériau n'est idéal. Les valeurs en rouges sont les meilleurs résultats obtenus**

statistiquement, ceux en jaune sont les résultats intermédiaires approchant les meilleurs. On constate que le plastique obtient de très bons résultats en termes de tenue tout au long du circuit mais que les fruits sont généralement meurtris et l'incidence de pourriture forte. PLA, CMP, FCS, et PPHA obtiennent des résultats satisfaisants à la fois par leur bonne tenue tout au long du circuit et leur protection des fruits. PLA, CMP, FCS et CM seront présentés lors des Focus Groupes. Le PPHA a été écarté (appartenance à un programme de recherche en cours). Un carton compact kraft ayant des propriétés similaires à celui étudié l'a remplacé malgré sa sensibilité à l'humidité. Les matériaux présentés ont aussi été sélectionnés pour leur originalité.

Tableau 8 Tableau de synthèse des analyses statistiques de l'essai barquettes. En noir les P-valeurs résultants du test ANOVA, en gris celle obtenue avec le test non paramétrique de Kruskal-Wallis.

Matériau	Meurtrissures (Note/5)	Pourritures (%)	Surface de jus (cm ²)	Variation Poids barquette (%)	Variation Poids Fraises (%)	Variation Longueur (%)	Variation largeur (%)	Variation Hauteur (%)	Compression verticale Initiale (kg)	Compression verticale J3 (kg)	Différence de résistance Initiale et J3
P-Valeur	0,0327*	0,000259***	7,35e-09***	6,52e-15***	<2e-16***	<2e-16***	3,37E-08	<2e-16***	0,0013**	9,16e-15***	0,0013**
PET	2.85 ab	55.721 ab	4.96 g	2.58 c	-4.61 a	2.19 a	0.11 a	-5.55 b	4.15 d	3.66 bc	c
PLA	2.22 ab	13.69 c	9.99 f	5.04 c	-4.55 a	0.24 b	0.18 a	-9.61 c	6.60 c	6.16 a	ab
CC	2.68 ab	31.55 abc	15.04 def	19.41 ab	-5.20 a	-11.31 d	7.97 c	-27.00 f	10.09 a	6.30 a	a
CM	2.74 ab	41.34 abc	20.30 bcd	12.50 bc	-5.68 ab	-1.66 b	4.07 b	0.33 a	10.47 a	6.76 a	a
CT	3.28 a	63.85 a	22.09 bc	28.54 a	-5.59 ab	-12.09 d	24.74 e	-17.13 e	8.57 b	0.94 d	e
CMP	2.56 ab	19.96 bc	12.22 ef	4.08 c	-5.01 a	0.00 b	0.18 a	-5.66 b	7.92 b	1.13 d	e
BA	3.12 ab	45.58 abc	24.93 b	25.70 a	-6.07 ab	-1.38 b	4.03 b	-3.92 b	10.27 a	4.03 bc	c
BTH	2.09 b	32.67 abc	12.52 ef	8.25 bc	-7.02 b	2.96 a	16.20 f	-18.18 e	9.96 a	1.13 d	e
PLM	2.71 ab	23.63 bc	34.28 a	10.87 bc	-14.65 c	-6.07 c	47.00 d	-37.53 g	10.85 a	1.10 d	e
FCS	2.28 ab	28.45 abc	17.77 de	8.79 bc	-6.02 ab	-0.86 b	1.11 a	-13.81 d	10.24 a	2.51 c	d
PPHA	2.24 ab	49.72 ab	5,17 g	8,79 bc	-4,95 a	-0,66 b	0,06 a	0,22 a	NA	NA	NA

V. Evaluer la perception de ces matériaux par les consommateurs

Les résultats des essais précédents ont permis d'identifier des matériaux intéressants en termes de résistance mécanique (barquettes) et de préservation de la qualité physique et sanitaire des fruits (films et barquettes). Comment sont perçus ces matériaux par les consommateurs ? Quelles sont leurs réactions face à ces nouveaux matériaux ? La visibilité des fruits identifiée comme critère de grande importance lors des essais en 2017 (CTIFL, 2017) est-elle finalement indispensable à l'acte d'achat ? Sur 40 personnes, seulement 24 d'entre elles acceptaient d'acheter un emballage à 25 % embué. D'autre part, les nouveaux films compostables ont parfois un aspect laiteux (ex : Bio04 et LTB8), sont plus ou moins rigides, émettent un son plus ou moins agréable lors de leur manipulation (ex : PLA). Cet essai vise à présenter les matériaux étudiés, à les mettre entre les mains des consommateurs non entraînés. La méthode consiste à relever les termes utilisés, et à analyser leurs attitudes à l'égard des produits (évaluation esthétique, toucher, son) sans avoir connaissance de l'origine biosourcée des matériaux ou propriétés recyclables, compostables.

A. Matériel et méthode

Deux groupes de 10 personnes ont été constitués par l'organisme de recrutement Made in Studio travaillant en partenariat avec le CTIFL dans le cadre d'études consommateurs diverses. Le premier groupe était composé d'acheteurs de F&L conventionnels, peu orientés sur le bio. Le second groupe était à l'inverse, des personnes fréquentant des magasins bio. Tous les âges et une proportion égale d'hommes et de femmes étaient représentés. Une salle conviviale était mise à disposition, équipée de micro, de caméras (enregistrement vidéo et audio) et était accolée à une salle d'observation avec vitre sans tain et retransmission sonore. L'échange durait 3 heures.

La première partie des échanges traitait de la perception des emballages F&L frais en général puis de l'emballage fraise en particulier. Une seconde partie abordait leur connaissance des emballages écolo, des pictogrammes, à jeter, recyclables, compostables industriellement et domestiquement. La troisième partie consistait en la présentation des matériaux films et barquettes et l'échange autour de leur appréciation pour chacun des matériaux. Une partie seulement des éléments obtenus lors de ces échanges seront présentés ci-dessous. Le guide d'entretien a été ajouté en **Annexe XIV**.

B. Résultats

1. Perception de l'emballage des fruits et légumes : utilité usages

« *Trop d'emballages ! La barquette en plastique ou en carton, le plastique par-dessus, c'est un gâchis énorme* » s'écrit Béatrice, « *ça peut être utile* » modèrent d'autres (Propos issus des Focus Groupes). Le pré emballage est-il réellement nécessaire ? C'est la question que se posent de nombreux consommateurs ! Si certains ne voient dans un premier temps aucun intérêt à pré-emballer des produits frais, la fragilité de certains produits les fait revoir leur jugement (ex : fruits rouges). Ils pensent à ces fruits, extrêmement sensibles aux meurtrissures, généralement générées pendant le transport, qui ne supporteraient pas les manipulations quotidiennes des consommateurs, comme celles communément pratiquées sur pommes, poire, pêches/nectarines, avocats... Enfin, certains consommateurs n'hésitent pas à goûter les produits avant de les acheter. Les petits fruits et légumes consommables immédiatement sont les plus visés (tomates cerises, cerises, raisin...). Le vrac est privilégié par les consommateurs biologiques et réduit l'emballage au simple sac distribué en rayon. Finalement, ils n'imagineraient pas les produits fragiles sans un emballage suffisant pour leur assurer la qualité sanitaire souhaitée. Ils évoquent naturellement les fonctions de protection physique des produits contre les chocs durant les phases de transports, de manutention, la vente en plus petits lots, l'utilité d'avoir un contenant pratique jusqu'à leur domicile. La protection sanitaire liée à la manipulation des produits, la conservation des produits, le support de l'information, le marketing vient secondairement. La quantité d'emballage dans le rayon bio choque les consommateurs. « *C'est illogique, c'est bio, ça devrait être écolo* » s'écrient les 2 groupes de consommateurs.

2. Emballage « écolo » ?

Pour les 2 groupes, le terme « emballage écolo » leur fait spontanément penser à la composition de la matière (bois, kraft, sacs amidonnés) et dans un second temps à la valorisation des emballages par le recyclage, la réutilisation et la biodégradation. Les deux groupes ont rappelé l'intérêt des emballages consignés encore présents en Allemagne, mais qui est une pratique perdue en France.

1. Réaction face aux barquettes/films

Sans connaître la composition des matériaux, les consommateurs ont systématiquement rejeté les films les plus transparents, une caractéristique qu'ils associent aux matériaux plastiques. Ils ne connaissent actuellement aucun matériau d'emballage biosourcé capable d'une telle transparence. De ce fait, les films Bio04 et LT8 ont pour les deux groupes remporté les meilleures notes d'appréciations car à l'inverse, l'absence de transparence est associée à des matériaux naturels proches des sacs au rayons F&L que les consommateurs connaissent. Mais entre les deux films, le plus translucide reste préféré car il permet tout de même une meilleure visibilité des produits. Le PLA est de loin le film le moins apprécié. Le bruit qu'il produit à son toucher a été décrit comme insupportable et qui n'a pas sa place au rayon fruit et légumes.

Tableau 9 Synthèse des termes relevés lors de la présentation des matériaux lors des focus groupes C (Conventionnel) et B (Biologique).

Matériau		+	-	Note(/9)
Films NK	C : Doux	C : Pauvre, simple, basique, plastique bizarre, lisse	6/9	
	B : fonction protection	B : Plastique, traditionnel, odeur désagréable	1/9	
PLA	C : Souple, transparent	C : Papier cadeau, énerve, effet cassant, papier alu, envie d'enlever l'emballage, bruit crispant, bruit = non biodégradable	4/9	
	B : X	B : Enerve, paquet de popcorn, papier alu, bruit insupportable, se foisse, bruit au rayon fruits et légumes, non	2/9	
Bio04	C : + transparent, moins flou, souple	C : Non mentionné	8.5/9	
	B : Pas de bruit, moins opaque, fin	B : Qualité		
LTB8	C : Couleur, + écologique	C : Faible visibilité des fruits, non attirants (manque de couleurs), brumeux, flou, laiteux, sale, vieux, jaune, bas de gamme	5/9	
	B : Classe, amidonné, biodégradable, +écologique, toucher agréable, fonction protection	B : Moche, plastique de magazine, sac poubelle, pas beau, on ne voit pas les fruits, odeur désagréable	1/9	
Barquettes PLA	C : Transparence	C : Plastique, craque vite, doutes sur compostabilité	7.5/9	
Carton Kraft	B : Compostable	B : Plastique, fragile, aux ordures ménagères		
Cellulose Moulée	C : Tenante, pourrait être associée au film Bio04, agréable au touché, fraises plus étalées, couleur naturelle, fait appel au recyclage, pas besoin de sticker	C : Non visibilité		
	B : coco, pourrait être operculée, léger, protège bien les fraises, matière étonnante entre papier et carton, recyclable	B : Non mentionné		
Pulpe de Canne à sucre	C : Boîte à oeuf, aérations, absorption, moins de moisissures, étanche, solidité, protection, à travailler	C : Poreux, absorbe le jus des fraises, va garder l'humidité, buvard, non visibilité, pas d'aérations	0/9	
	B : Pas mal, trous sur les cotés, pourrait être operculée, compostable, boîte à oeuf	B : Moins beau		
Cellulose Moulée de Pin Operculée	C : Lisse, moins buvard, bonne protection, pourquoi pas sous vide	C : Soupe restaurant chinois, pas de visibilité, seront tassées, biodégradable ? non visibilité, pas d'aérations, forme inhabituelle, perte de place en magasin		
	B : X	B : Gamelle pour chien, je n'aime pas, polystyrène, touché, trop blanc, coté plastifié à l'intérieur, revêtement naturel ? Profondeur, perforation		
Cellulose Moulée de Pin Operculée	C : Pas mal, visibilité à l'intérieur, scellé, fruits ne bougent pas de trop, moins d'emballage	C : Proche de la viande, non visibilité		
	B : Moins de plastique, strict nécessaire, topissime joliment présenté, super sympa, donne envie, moins d'étage	B : ressemble a des plats préparés en cuisine, transparence		

Etonnamment, les deux groupes de consommateurs se sont focalisés sur l'absence apparente de perforations pour l'ensemble des matériaux. Il leur a paru inconcevable que le produit ne puisse pas respirer. Les emballages sous atmosphère modifiée passive ne sont pas encore suffisamment développés dans les rayons des points de vente pour qu'ils puissent l'envisager sur fraises. Seules les endives, et parfois les carottes utilisent actuellement cette technologie.

L'absence de visibilité des produits s'est révélée être un frein majeur à l'achat. Les consommateurs bio étaient cependant plus tolérants. La transparence reste un critère important à l'acte d'achat. L'ensemble des consommateurs souhaitent avant tout pouvoir contrôler l'état des fraises et surtout celles des étages inférieures, notées comme souvent meurtries et atteintes de pourriture. Les barquettes opaques ne répondent pas à ce critère. Néanmoins, ce dernier peut être contourné si la hauteur de la barquette est diminuée, et la longueur et largeur agrandies de manière à ce que l'empilement des fraises soit minimal et permette un contrôle de l'état général des fraises. Les deux groupes veulent des matériaux naturels, sans additifs ni traitement. Pour les consommateurs bio, la blancheur des matériaux est suspecte.

Les matériaux recueillant les avis les plus favorables seraient finalement le NK, le PLA, le carton kraft et la cellulose moulée de pin. Les consommateurs ne restent pas fermés au Bio04 et LTBio, moins translucides.

2. Le prix

Pour les deux groupes, le prix ne doit pas augmenter. « *Ce n'est pas au consommateur de subir la hausse (des prix), l'entreprise doit changer tous ces packagings qui ne sont pas recyclables, et imposer à tout le monde un modèle de packaging recyclable* » annonce l'un des membres du Groupe Conventionnel. Un second doute de la volonté des familles modestes et moyenne de payer plus cher pour un emballage éco responsable. Un troisième affirme que si celui-ci garantit l'allongement de la durée de vie du produit et est éco-responsable, alors les consommateurs seront prêts à payer plus cher.

3. Acceptation ?

« *Si c'est stipulé dessus, même brumeux, même flou, je l'accepterai sans problème (LTBio8) ! Parce que je sais que c'est écolo.* » explique Priscilla (Focus groupe Conventionnel). Bertrand confirme qu'« *il faut l'indiquer [...], on va comprendre tout de suite pourquoi il a un aspect brumeux et on sera plus tolérant* ». Les deux groupes se disent prêts à accepter ces emballages et à faire des concessions sur leur aspect visuel à condition d'être informés. « *A partir du moment où ce n'est pas du plastique pur, qu'on soit prévenu, c'est 10 fois mieux !* » s'est exclamé Priscilla. Les deux groupes se sont montrés extrêmement surpris lors la révélation de la nature biosourcée de tous les matériaux et notamment des films flowpacks. Le NK (cellulose de bois) associé au premier abord à une matière plastique et de ce fait rejeté, a suscité des exclamations enthousiastes. Il aurait obtenu probablement une bien meilleure note avec une signalétique appropriée, mettant en avant l'origine végétale et sa compostabilité domestique. Même si les consommateurs se disent prêts à accepter les matériaux laiteux, « brumeux », la transparence est un critère qui revient malgré tout en haut de la liste. A choisir entre 2 matériaux qu'ils avaient identifiés comme « éco-emballage », ils auraient pris le plus translucide des deux (Bio04). Pourtant parfaitement transparent et cristallin, le PLA a été totalement rejeté, le son étant finalement encore plus important que la transparence.

Les présentations des pictogrammes actuels des organismes certificateurs a révélé une méconnaissance totale de ces derniers et une grande confusion concernant les pictogrammes de recyclages. Actuellement les fabricants de barquettes positionnent leurs logos commercial et certificateur de recyclabilité ou compostabilité en dessous de la barquette. Les consommateurs interrogés réclament qu'« il faut le mettre en grand », « sur les côtés », « sur le dessus », sur le flowpack s'il y en a un, mais pas en dessous. Il faudrait sinon retourner la barquette, donc retourner les fraises et par conséquent risquer de les meurtrir. Une personne recommande la réalisation d'un documentaire pour présenter la fabrication des matériaux et participer à leur communication et à leur identification sur les étals. Les autres mentionnent des campagnes publicitaires pour les promouvoir et les expliquer.

VI. Discussion

A. Produit frais-Emballage : un système complexe

Les résultats obtenus par cette étude permettent de dresser le schéma ci-dessous (**Figure 31**), réalisé à partir de l'illustration de Matar et al., 2018.

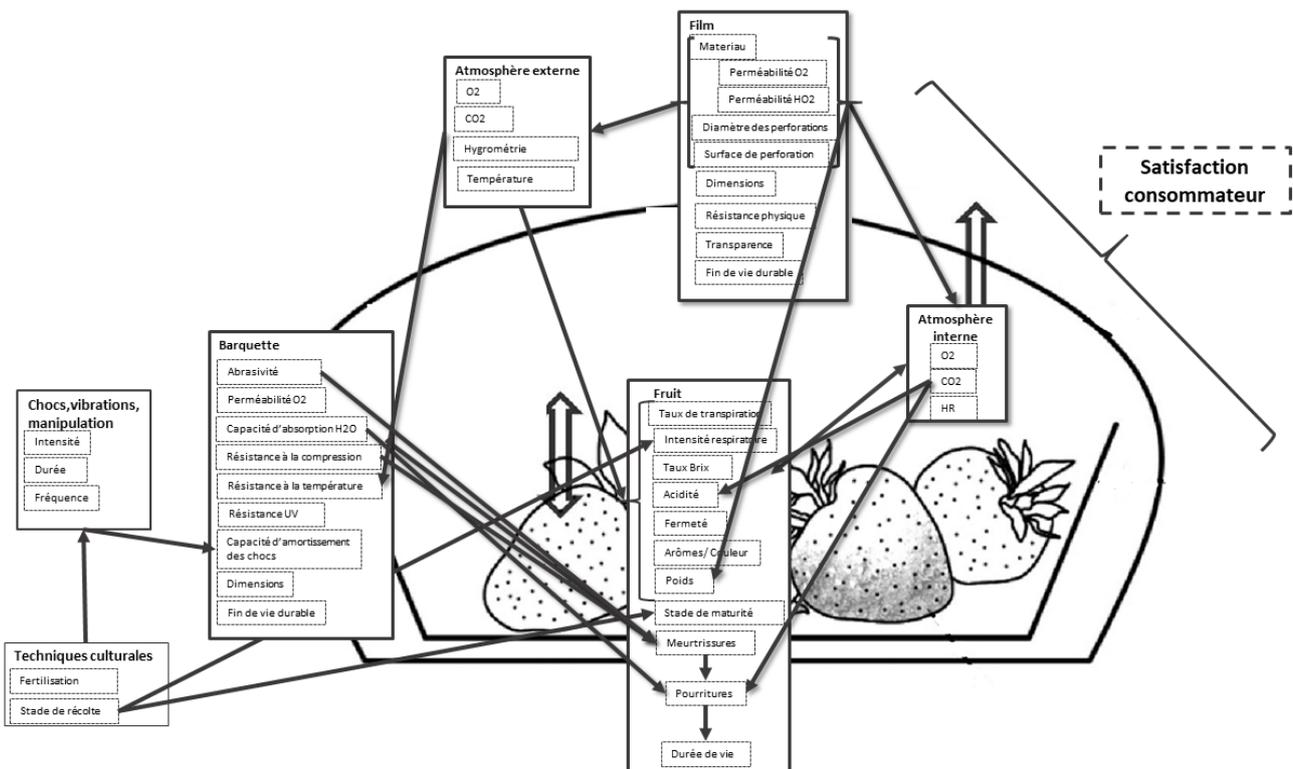


Figure 31 Représentation simplifiée du système produit emballage réalisé à partir de celui de Matar et al., 2018 (Leclerc.,2019).

Le système fruit emballage est complexe et prend en compte de très nombreuses variables. Il est indispensable de connaître les caractéristiques physiologiques du produit pour créer un emballage adapté. Matar et al., 2018 ont mis au point un outil d'aide à la décision pour

y parvenir. Celui-ci prend effectivement en compte **l'intensité respiratoire** et le taux de transpiration du produit. Un emballage par variété est inimaginable à grande échelle ou dès lors que les producteurs ont plusieurs variétés. Parmi les variétés testées, Mariguette et Magnum avaient les intensités les plus élevées mais il serait intéressant de mener cette étude sur un plus grand nombre de variétés afin d'identifier celles ayant à 20°C (température en magasin) la plus forte intensité respiratoire. Baser les calculs de surfaces de microperforation sur ces variétés pour chaque matériau utilisé évitera tout risque de basculement en anoxie. L'essai sur les intensités respiratoires a montré que Cléry était la variété dont l'intensité respiratoire était la plus faible. Pour les produits ayant une intensité respiratoire et taux de transpiration peu élevés, la technologie MAP a potentiellement moins d'intérêt puisque ceux-ci présentent une vitesse d'évolution plus lente et par conséquent ont une durée de vie plus longue. Les résultats néanmoins ont confirmé que la MAP pouvait faire diminuer l'intensité respiratoire des fraises. Le taux de transpiration du produit est un élément également nécessaire. Plus celui-ci sera élevé pour la surface de perforation et la perméabilité du matériau à l'eau devront être élevés pour éviter la création d'une atmosphère saturée en humidité et donc l'apparition de buée à la surface du film, entravant la visibilité du produit.

Les produits frais comme la fraise n'ont pas d'épiderme protecteur ce qui conduit à un fort taux de **déshydratation**. La microperforation permet une diminution significative de la perte de poids. Cette caractéristique contribue à la préservation des qualités visuelles des produits. Le nombre et le diamètre des perforations ont influence significative sur les échanges gazeux comme l'avaient démontré Sousa-Gallagher et al., 2013. En 2018, les perforations avaient été réalisées à l'aiguille chaude. Les résultats indiquent une surface optimale de perforation de 0.431 mm² pour le PLA pour atteindre l'intervalle d'O₂ et CO₂ conseillé ce qui correspondait à 17.5 micro perforations laser de 200µm de diamètre en 2019. Or, cette saison, la surface perforée laser idéale pour atteindre cet intervalle était comprise entre 0.13 et 0.31mm² seulement, pour la même variété. Les fraises de 2018 avaient cependant effectué un trajet bien plus long que celles de 2019, récoltées en île de France. Or le corplot (**Figure 19**) confirme une corrélation entre meurtrissures et variation de poids. Les résultats obtenus dans cette étude sont en accord avec ceux de Sousa-Gallagher et al., 2013, qui s'appuie sur les facteurs morphologiques tel que l'intensité respiratoire, le ratio surface volume, le stade de maturité, les meurtrissures (qui dépendent du matériau d'emballage (contenant) et des facteurs externes (O₂,CO₂, température et hygrométrie à l'intérieur de l'emballage, ses dimensions et les propriétés barrières du film) pour modéliser les échanges d'eau dans les emballages MAP. Ces recherches justifient le besoin de connaître l'intensité respiratoire du produit, son taux de transpiration et le volume de produit placé à l'intérieur pour pouvoir concevoir un emballage adapté.

B. Un temps de commercialisation allongé

Les bénéfices des MAP sont connus pour certains produits frais comme l'endive mais il manquait encore des preuves pour étendre son application à d'autres produits. La fraise est un fruit ayant un fort taux de respiration qui requière un film d'emballage suffisamment perméable à l'O₂. Les matériaux d'emballage existant tels que le PET et le PolyPropylène ou PolyVinyl Chloride qui sont couramment utilisés pour les produits frais ne sont pas suffisamment perméables pour correspondre aux besoins de ces produits. Les MAP avec ces films, conduiraient à une augmentation de la vitesse de détérioration des produits due à une trop faible concentration en O₂ et la condensation sur la face interne du film à moins que ceux-ci ne soit davantage perforés. La température varie beaucoup tout au long de la chaîne commerciale. Si la conception de l'emballage ne prend pas en compte les taux de transpiration et de respiration, cela peut conduire

à l'accumulation d'eau ou de buée dans l'emballage, entravant la visibilité du produit. C'est peut-être pourquoi les emballages actuels ont un nombre de perforations inadapté pour empêcher la condensation et l'anoxie. Par conséquent, le développement de matériaux d'emballage ayant une forte perméabilité aux gaz et à la vapeur d'eau permet d'atteindre les intervalles recommandés pour améliorer la durée de vie des produits et en même temps évite la condensation. Les films étudiés dans le cadre du programme de recherche présentent ces caractéristiques intéressantes et semblent par conséquent plus adaptés aux produits frais. La plupart des fabricants communiquent des données concernant la perméabilité des films à une température de 38°C. Or la température et l'hygrométrie ont une influence sur la perméabilité des films. Il est donc difficile d'évaluer si un film aura une perméabilité adaptée pour un produit dont en plus l'intensité respiratoire varie en fonction de nombreux facteurs.

La température a un très fort impact sur la vitesse de détérioration des produits. Stocké à 5°, les fraises ont une durée de vie d'environ 5 jours contre seulement 2.21 jours de magasin en moyenne avec un emballage macro perforé conventionnel à 20°C. L'essai a néanmoins affirmé une nouvelle fois l'intérêt des MAP, même à 20°C puisqu'elle permet de gagner en moyenne 0.7 jour de commercialisation tous matériaux et toutes surfaces de perforations confondus. Avec une teneur en O₂ comprise entre 7 et 9% et une teneur en CO₂ comprise entre 9 et 11%, la durée de vie peut être allongée de 0.83 jours par rapport au témoin tous matériaux confondus, soit presque 1/3 de la durée de vie actuelle, ce qui n'est pas négligeable. Cela confirme l'influence positive de la MAP sur le ralentissement de l'apparition de pathogène comme l'avaient souligné de nombreuses études. Matar et al., 2018 avaient mesuré la durée de vie des fraises par un indicateur de qualité global qui prenait en compte la texture, le changement de couleur et le développement de pathogènes, couple à la volonté d'achat. Le seuil de détérioration avait été déterminé à 13%. Le bénéfice des MAP avait été estimé à 0.33 jours de gain de temps de commercialisation. Les essais menés au CTIFL ne se sont pas attachés à l'étude de la couleur bien qu'une différence d'intensité de couleur rouge ait été notée entre les fraises sous emballage conventionnel et les fraises sous MAP moins rouge sombre. Le seuil de 5% de pourriture avait été fixé comme seuil maximal et s'est uniquement basé sur l'évolution des pourritures. Si le seuil avait été rehaussé à 10%, le temps de commercialisation aurait été significativement différent des fraises sous emballages macroporés. Les courbes **Figure 15** montre clairement le retardement de l'évolution des pathogènes. Les 4 films permettent d'attendre l'intervalle d'O₂ [7-9%] identifié comme optimal. Le NK permet de réduire le plus la perte de poids mais avait été enduit avec un antibuée. Le PLA ,NVS (NK sans traitement) et LTB8 sont relativement proches avec respectivement 1.68%, 1,80%, 2.08% de perte de poids. Le choix se porte ensuite sur l'aspect visuel. La transparence étant appréciée des consommateurs. L'aspect visuel est en effet le seul critère sur lequel peut se baser le consommateur pour acheter ses produits.

C. Meurtrissures : porte d'entrée des pathogènes

Les consommateurs observent les **barquettes** sous tous leurs angles pour détecter la présence de fruits pourris, abîmés, de jus. Le matériau choisi comme contenant pour les produits frais a une influence considérable sur la préservation des produits tout au long de la chaîne de commercialisation notamment pour ceux ayant un épiderme fin. Le matériau du contenant peut être considéré comme le premier facteur permettant d'améliorer la durée de vie du produit. Le corplot (**Figure 19**) a en effet mentionné une corrélation entre meurtrissures et développement de pathogènes. Dès lors que les fruits sont meurtris, la vitesse de détérioration s'accélère et les MAP ne pourront potentiellement pas jouer leur rôle aussi efficacement. Les essais menés ont mis en évidence l'importance du revêtement des matériaux utilisés. L'abrasivité des matériaux,

son épaisseur, sa rigidité et sa capacité d'amortissement des chocs sont des facteurs participant à la protection des produits pendant le transport et les activités de manutention. L'évolution des températures et d'humidité au cours du circuit fragilise les matériaux. Les essais concernant la résistance à la compression verticale ont été réalisés de manière très simple sans matériel approprié. Il serait intéressant de faire de nouveaux essais avec un matériel plus adapté et ne pas se focaliser seulement sur la compression verticale. La souplesse des parois latérales de certains matériaux contribue certainement à l'augmentation des meurtrissures dès lors que les barquettes se choquent entre elles ou contre les bords des cagettes.

L'étude 2019 a mis en évidence l'importance du **transport** au cours du circuit de distribution. En 2018, les fraises étaient acheminées depuis le sud de la France (Groupe Paysans Rougeline) par camion et étaient récupérées auprès d'un grossiste sur Rungis. Dans ces conditions, la durée de vie des fraises atteignait péniblement les 2 jours. Cette année, les fraises ont été fournies par des producteurs locaux d'île de France et du Loiret situés tous à moins de 2h de route. La durée de vie des fraises était exceptionnellement longue et ont atteint jusqu'à 5 jours sans aucun symptôme de pourriture, même sur la modalité macro perforée. Ne représentant pas de manière fidèle le circuit de distribution classique suivis par les produits frais, le protocole a été modifié à plusieurs reprises. Les caisses en polystyrène absorbant les chocs ont été remplacées par de simples contenants plastiques mais a impliqué l'arrêt de la réfrigération pendant le transport. La durée de trajet, insuffisante, a été prolongée d'une phase de secouage sur table de vibrations pendant 1h pour tenter de se rapprocher de la durée de vie observée classiquement. Les mouvements étaient malheureusement seulement latéraux (250 mouvement/min). La qualité des produits issus des circuits courts n'est plus à démontrer et ces essais l'ont une nouvelle fois confirmé. La durée et les conditions de transport et de manutention sont mises en cause et demanderaient des études approfondies pour identifier des pistes d'amélioration pour diminuer les chocs et vibrations tout au long du circuit commercial. Des travaux sont actuellement en cours au CTIFL sur la thématique du transport. Selon la hauteur à laquelle est placé le colis, l'intensité des chocs diffère (plus de chocs et vibrations en bas de la palette). Les écarts de températures sont importants selon la localisation du colis dans le camion (avant/arrière).

D. Satisfaction des consommateurs

Si l'aspect visuel est certes le seul critère sur lequel peut se baser le consommateur pour acheter ses produits, la qualité gustative reste le plus important. C'est elle qui permet le réachat. Il existe une vraie problématique concernant la qualité gustative des produits. Lors des Focus Groupes, les consommateurs ont mentionné le goût comme critère de sélection des produits. Des produits visuellement beaux sans saveur n'inciteront pas au réachat. Les consommateurs veulent des produits de qualité, qui ont du goût. Souvent citée comme exemple, la tomate a été décriée pour son manque de goût, les fraises espagnoles aussi. La fraise est un produit sur lequel il est possible de se démarquer en termes de saveurs et d'arômes. Les producteurs locaux l'ont bien compris. Parmi ceux contactés pour l'étude, des céréaliers se sont diversifiés vers la fraise, et ont bien du mal à fournir les quantités suffisantes pour satisfaire leurs clients (particuliers ou la distribution). Plusieurs consommateurs ont confié lors des Focus Groupes, qu'ils préféreraient acheter leurs fraises sur le marché, chez leur primeur, chez le producteur ou en cueillette libre où les produits frais leur paraissent être de meilleure qualité. Les circuits courts garantissent une récolte à maturité des produits et généralement un temps de transport plus faible.

L'emballage vient secondairement. Les consommateurs estiment que la quantité de préemballage est trop importante dans le rayon F&L frais et sont choqués par la quantité

d'emballages, souvent plastiques, présents en rayons bio. Les consommateurs notent une différence de qualité des fraises françaises et du packaging, plus recherché que celles importées, mais qui est gâchée par l'abondance de matière plastique (Focus Groupe Biologique). S'ils sont réceptifs aux efforts de packaging de certaines marques (panier en bois, barquettes carton), ils constatent que le packaging, marketing implique souvent un prix plus élevé. A qualité de fraises égale, ils expliquent que le critère prix fera pencher la balance vers l'acte d'achat notamment pour les ménages les plus modestes. Mais les consommateurs semblent prendre conscience de l'importance de substituer le plastique par d'autres matières plus durables. La multiplication des reportages dans les médias sur le plastique (envoi dans les pays asiatiques, pollution des océans...) doit probablement y contribuer. Le groupe biologique était plus virulent que le groupe conventionnel et réclame l'arrêt de son utilisation. Le groupe conventionnel a mentionné l'arrivée des sacs en amidon de maïs ou pommes de terre dans les rayons des supermarchés. Pour passer aux emballages biosourcés, compostables, il faudra une génération entière estiment-ils. Le critère de transparence reste prédominant. Les consommateurs ont « peur de se faire avoir ». Les dimensions des contenants a également été un critère identifié par les deux groupes qui notent la présence fréquente de pourriture à partir du milieu de la barquette, ou la présence de fruits non mûres. Enfin le son émis par le matériau lors de sa manipulation est un critère tout aussi important qui a totalement écarté le PLA de la liste des films commercialisables selon l'avis des consommateurs. La barquette operculée en cellulose de pin avec son film NK microperforé a étonnamment reçu des remarques très positives notamment pour la réduction de sa quantité d'emballage. Les consommateurs ont semblé satisfaits de ce strict nécessaire et se sont demandés pourquoi ils n'y avaient pas pensé plus tôt. La société Bel'Orta, elle, y a pensé. Elle propose désormais pour sa gamme de petits fruits pour snacking un packaging en carton operculé avec un plastique. Il devrait s'étendre à d'autres F&L. Ici, le critère de transparence de la barquette a disparu.



Figure 32 Gamme Happy Snacking fruits rouges de la société Bel'Orta (Bel'Orta).

Les deux groupes ont été sensibles à l'initiative des recherches du CTIFL et l'ont félicité. Les membres du groupe conventionnel se disent prêts à les accepter à prix égal et à être plus tolérants quant à leur aspect esthétique parce qu'ils ont conscience de l'impact du plastique sur l'environnement. Ceci est un élément rassurant pour les fabricants d'emballages qui ont des difficultés à évaluer l'acceptabilité des matériaux qu'ils créent. Néanmoins, cette intention apparente d'achat doit faire l'objet de recherches plus poussées pour déterminer si, dans un magasin grandeur nature, les consommateurs achèteraient vraiment ces produits. Un magasin test verra prochainement le jour dans les locaux du CTIFL de Paris et devrait être un outil intéressant pour mesurer plus précisément le degré d'acceptation des consommateurs.

E. Une communication indispensable

La communication sur ces nouveaux matériaux est indispensable ! Les deux groupes ont étonnamment focalisé une grande partie de leurs remarques sur l'absence visible d'aérations. « // faut de l'air pour la vie ! » s'est écriée Sylvana (Groupe Consommateur Conventionnel). L'absence visible de perforation a été jugée responsable de l'état des fraises qu'ils ont trouvé

« *suffoquantes* ». Les fruits présentés aux Focus Groupes avaient été achetées sur Rungis la veille pour le groupe conventionnel et le jour même pour le groupe biologique. Leur acheminement en transport en commun a très certainement altéré leur qualité visuelle et de ce fait, leur jugement. Aucune barquette témoin macroporeuse n'a été présentée lors de ces soirées. L'objectif était de faire s'exprimer les consommateurs sur ces nouvelles matières. Un plan de communication serait nécessaire pour favoriser l'acceptation des MAP pour des produits autres que l'endive. Le fonctionnement des emballages MAP semble être très mal connu du public. Le groupe biologique a mentionné une odeur désagréable à l'ouverture des sachets alors que cette caractéristique n'avait pas été relevée tout au long de la période d'étude. Des recherches complémentaires à l'aide d'un nez artificiel pourraient permettre de caractériser l'odeur sans MAP et avec MAP. Les films constituent une barrière aux odeurs et aux arômes qui potentiellement pourraient évoluer avec le temps et la faible perméation des matériaux.

Les Focus Groupes ont révélé une grande confusion concernant leur connaissance des pictogrammes classiques et une méconnaissance totale des pictogrammes concernant les matières biosourcées, et compostables industriellement ou domestiquement. Un membre du groupe biologique est plutôt suspicieux concernant la compostabilité des matériaux. Elle a tenté de mettre dans son lombricompost son sac de rayon F&L et a provoqué la mort des lombrics. Son exemple illustre parfaitement la méconnaissance des pictogrammes certificateurs et des conditions nécessaires à la compostabilité industrielle ou domestique des matériaux. Alors que des efforts sont faits au niveau législatif pour encourager le développement des matériaux alternatifs au plastique, il reste des sources de confusions, notamment sur les termes : emballages durables, emballages biosourcés, emballages compostables..... Qu'est-ce qu'un emballage durable ? La question est importante car de plus en plus de consommateurs s'interrogent sur l'impact environnemental de leur consommation, y compris l'impact des emballages (Herbes et al., 2018). Est-ce un emballage biosourcé ? Recyclable ? Compostable ? Les fabricants d'emballages mettent en avant la notion d'emballage « biosourcé », « biodégradable » ou « compostable » mais un produit biosourcé n'est pas forcément biodégradable, biodégradable ne veut pas dire compostable, et compostable ne signifie pas toujours compostable maison. Les fabricants surfent sur la vague de l'emballage compostable, de l'étiquette compostable.... Mais compostables comment ? Les emballages compostables industriellement ont besoin de conditions particulières de température, d'humidité, d'actions mécaniques pour se dégrader. Quelques mois plus tard, les consommateurs retrouvent leur emballage intact ou très peu dégradé et se sentent trompés.

Les logos actuels des organismes certificateurs ne sont pas évidents à comprendre comme l'a démontré la réaction des 20 consommateurs interrogés. De plus, certains fabricants créent leurs propres logos (Coccinelle, feuille verte, feuille bleue...) pour promouvoir la compostabilité industrielle, selon la norme EN 13432 de leurs matériaux ce qui accentue un peu plus la confusion. Des actions de communication doivent être mises en place avant le développement massif de ces matériaux ou d'autres matériaux compostables sur le marché. Les deux groupes ont signalé le caractère indispensable de la structuration de la filière recyclage et valorisation des déchets. Certaines communes n'ont pas encore mis en place la collecte pour le recyclage. A leur échelle, les consommateurs n'ont pas tous l'espace suffisant pour mettre en place à leur domicile un système de tri. Citeo prévoit l'extension des consignes de tri pour 2022 sur tout le territoire Les emballages étudiés sont pour beaucoup d'entre eux compostables industriellement. Les infrastructures de compostage industriel nécessaires sont très insuffisantes. Mettre ces emballages au recyclage est source de confusion lors de la séparation des matériaux

sur la ligne de tri dans ces structures. Le PLA ressemble tant à du plastique qu'il viendrait polluer le bon fonctionnement de la ligne. Aujourd'hui quelques marques commercialisent des produits dont les contenant sont fait en PLA mais donnent pour consigne de tri : « à jeter avec les déchets ménagers ». Des emballages alternatifs intéressants se développent mais les filières de collecte et tri se sont pas organisé et les infrastructures pour les valoriser ne sont pas prêtes à les accueillir.

VII. Conclusion

Les recherches menées depuis 2017 par le CTIFL avaient pour objectif de répondre à la une double problématique : celle des professionnels et consommateur concernant l'importance de limiter les pertes au niveau de la filière, et une seconde concernant l'amélioration de offre produit (amélioration la tenue, du goût et l'image de la fraise française) et emballage. Les bénéfices de la MAP confirment l'intérêt de cette technologie pour les F&L frais. La durée de vie des produits peut être étendue par la conception d'un emballage adapté au produit qui prend en compte les caractéristiques de celui-ci (Intensité respiratoire, transpiration, épiderme), les facteurs responsables de leur variation (stade de maturité, température, hygrométrie, teneur en O₂/CO₂), l'importance du choix du matériau pour le contenant (amortissement des chocs, abrasivité, résistance aux différentes conditions de température et d'hygrométrie tout a long du circuit jusqu'au consommateur), le choix du matériau de suremballage (perméabilité à l'eau, aux gaz, diamètre des perforation, nombre de perforations). De nouveaux essais sont à mener sur une production réelle de F&L préemballés pour évaluer les caractéristiques de machinabilité (aptitudes des matériaux à rouler, à étirer, souder, cadences, imprimer...), le coût des matériaux et surcoûts à la mise en œuvre. Les meilleures combinaisons identifiées sont celles des films NVS, et Bio04 (bien que la perte de poids soit un peu plus importante) avec les barquettes en carton kraft, en cellulose moulée de pin. Le LTbio8 n'est cependant pas à écarter si celui-ci fait l'objet d'une signalisation adaptée. Le PLA est une option à conserver en raison de sa transparence. Le bois, matériau très apprécié par les consommateurs pourrait être ajouté à la liste si sa surface est lissée et les soudures solides (cousues par exemple).

Il est important de rappeler que la conception de l'emballage doit prendre en compte besoin d'une grande diversité d'acteurs et pas seulement ceux du consommateur final. Le producteur, le transporteur, la logistique, etc. font également partie de la boucle. La fraise, fruit modèle de cette étude, bénéficierait d'un allongement de son temps de commercialisation de 0.83 jours grâce aux MAP. Les consommateurs notent que la fraise est un fruit fragile qu'ils ne parviennent pas à conserver et perdent très fréquemment. Ceux-ci pointent du doigt l'importance du goût des produits frais. Les emballages avec une atmosphère permettent de préserver les propriétés physiques et gustatives des produits en limitant la déshydratation des produits et en n'influant pas sur le taux Brix dans le cas de la fraise. La nature des matériaux d'emballages et leur fin de vie interviennent dans la satisfaction du client à acheter un produit. Les recherches se poursuivent actuellement au CTIFL sur abricot et endive afin d'étendre son application à d'autres produits.

VIII. Bibliographie

AFNOR, 2000. *NF EN 13432 : Exigences relatives aux emballages valorisables par compostage et biodégradation*. 2000. S.l. : s.n.

AFNOR, 2007. *NF EN 14995 : Matières plastiques : Evaluation de la compostabilité*. 2007. S.l. : s.n.

AFNOR, 2015. *NF T51-800 : Plastiques : Spécifications pour les plastiques aptes au compostage domestique*. 2015. S.l. : s.n.

ALLAIS, I et LETANG, G, 2001. Qualité post-recolte : influence des conditions de réfrigération sur la qualité finale des fraises. In : [en ligne]. 2001. n° 175, p. 118-121. [Consulté le 29 mars 2019]. Disponible à l'adresse : <http://plateforme-documentaire.ctifl.fr/Record.htm?idlist=1&record=19409008124912272809>.

BAROS, Catherine et VERNIN, Xavier, 2005. *Analyse et perspectives du marché des fruits et légumes préemballés* [en ligne]. S.l. : Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes. [Consulté le 16 août 2019]. ISBN 978-2-87911-252-7. Disponible à l'adresse : <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300122250>.

BOTH, Vanderlei, THEWES, Fabio Rodrigo, BRACKMANN, Auri, DE OLIVEIRA ANESE, Rogerio, DE FREITAS FERREIRA, Daniele et WAGNER, Roger, 2017. Effects of dynamic controlled atmosphere by respiratory quotient on some quality parameters and volatile profile of 'Royal Gala' apple after long-term storage. In : *Food Chemistry* [en ligne]. 15 janvier 2017. Vol. 215, p. 483-492. [Consulté le 12 janvier 2019]. DOI 10.1016/j.foodchem.2016.08.009. Disponible à l'adresse : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814616312390>.

BOVI, Graziele G., CALEB, Oluwafemi J., ILTE, Kathrin, RAUH, Cornelia et MAHAJAN, Pramod V., 2018. Impact of modified atmosphere and humidity packaging on the quality, off-odour development and volatiles of 'Elsanta' strawberries. In : *Food Packaging and Shelf Life* [en ligne]. 1 juin 2018. Vol. 16, p. 204-210. [Consulté le 11 mars 2019]. DOI 10.1016/j.foodpack.2018.04.002. Disponible à l'adresse : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214289417303472>.

BOVI, Graziele G., RUX, Guido, CALEB, Oluwafemi J., HERPPICH, Werner B., LINKE, Manfred, RAUH, Cornelia et MAHAJAN, Pramod V., 2018. Measurement and modelling of transpiration losses in packaged and unpackaged strawberries. In : *Biosystems Engineering* [en ligne]. 1 octobre 2018. Vol. 174, p. 1-9. [Consulté le 11 mars 2019]. DOI 10.1016/j.biosystemseng.2018.06.012. Disponible à l'adresse : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511018301223>.

BRIANO, ROSSELLA, GIUGGIOLI, NICOLE et PEANO, CRISTIANA, 2017. The effects of the green passive MAP on the evolution of the gaseous and quality parameters in strawberries. In : *Emirates Journal of Food and Agriculture* [en ligne]. 2017. Vol. 29, n° 3, p. 198-. [Consulté le 5 mars 2019]. DOI 10.9755/ejfa.2016-10-1426. Disponible à l'adresse : <http://www.ejfa.me/index.php/journal/article/view/588>.

BRIANO, Rossella, GIUGGIOLI, Nicole Roberta, GIRGENTI, Vincenzo et PEANO, Cristiana, 2015. Biodegradable and Compostable Film and Modified Atmosphere Packaging in Postharvest Supply Chain of Raspberry Fruits (cv. Grandeur). In : *Journal of Food Processing and Preservation* [en ligne]. 2015. Vol. 39, n° 6, p. 2061-2073. [Consulté le 5 mars 2019]. DOI 10.1111/jfpp.12449. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpp.12449>.

CALEB, Oluwafemi J., MAHAJAN, Pramod V., AL-SAID, Fahad Al-Julanda et OPARA, Umezuruike Linus, 2013. Modified Atmosphere Packaging Technology of Fresh and Fresh-cut Produce and the Microbial Consequences—A Review. In : *Food and Bioprocess Technology*

[en ligne]. février 2013. Vol. 6, n° 2, p. 303-329. [Consulté le 7 août 2019]. DOI 10.1007/s11947-012-0932-4. Disponible à l'adresse : <http://link.springer.com/10.1007/s11947-012-0932-4>.

CASTELLANOS, Diego A., CERISUELO, Josep P., HERNANDEZ-MUÑOZ, Pilar, HERRERA, Anibal O. et GAVARA, Rafael, 2016. Modelling the evolution of O₂ and CO₂ concentrations in MAP of a fresh product: Application to tomato. In : *Journal of Food Engineering* [en ligne]. 1 janvier 2016. Vol. 168, p. 84-95. [Consulté le 4 août 2019]. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2015.07.019. Disponible à l'adresse : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877415003283>.

CHRISTY, Gilles et ROTY, Catherine, 2017. Usages et attitudes des consommateurs : quelle(s) évolution(s) en 15 ans ? 2001-2017. In : . 2017. p. 43.

CONSEIL NATIONAL DE L'EMBALLAGE, 2009. *Emballages compostables et matériaux plastiques dits « biodégradables » issus de ressources renouvelables*. 2009. S.l. : s.n.

EUROPEAN BIOPLASTICS, 2018. Bioplastic Market Data. In : *European Bioplastics e.V.* [en ligne]. 2018. [Consulté le 8 août 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.european-bioplastics.org/market/>.

FAQUET, Caroline, 2010. Les fruits et les légumes préemballés se portent bien. In : *Isa-conso.fr* [en ligne]. 2010. [Consulté le 16 août 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.isa-conso.fr/les-fruits-et-les-legumes-preemballés-se-portent-bien,113059>.

FONTAINE, Philippe, 2016. Les circuits courts rapprochent les producteurs des consommateurs. In : [en ligne]. 21 décembre 2016. [Consulté le 16 août 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.inra.fr/%2FGrand-public%2FEconomie-et-societe%2FTous-les-dossiers%2FCircuits-courts-du-producteur-au-consommateur>.

FRANCE AGRIMER, 2017. Chiffres et bilans | FranceAgriMer - établissement national des produits de l'agriculture et de la mer. In : [en ligne]. 2017. [Consulté le 16 août 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.franceagrimer.fr/filiere-fruit-et-legumes/Eclairer/Etudes-et-Analyses/Chiffres-et-bilans>.

FRANCE CULTURE, 2017. Circuits courts : la lente évolution des producteurs. In : *France Culture* [en ligne]. 20 juillet 2017. [Consulté le 16 août 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.franceculture.fr/societe/circuits-courts-la-lente-evolution-des-producteurs>.

GARCÍA-GIMENO, R. M., SANZ-MARTÍNEZ, C., GARCÍA-MARTOS, J. M. et ZURERA-COSANO, G., 2002. Modeling Botrytis Cinerea Spores Growth in Carbon Dioxide Enriched Atmospheres. In : *Journal of Food Science* [en ligne]. 2002. Vol. 67, n° 5, p. 1904-1907. [Consulté le 5 mars 2019]. DOI 10.1111/j.1365-2621.2002.tb08744.x. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08744.x>.

GHIDELLI, Christian et PÉREZ-GAGO, María B., 2018. Recent advances in modified atmosphere packaging and edible coatings to maintain quality of fresh-cut fruits and vegetables. In : *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [en ligne]. 4 mars 2018. Vol. 58, n° 4, p. 662-679. [Consulté le 4 août 2019]. DOI 10.1080/10408398.2016.1211087. Disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1211087>.

GIUGGIOLI, Nicole Roberta, GIRGENTI, Vincenzo, BAUDINO, Claudio et PEANO, Cristiana, 2015. Influence of Modified Atmosphere Packaging Storage on Postharvest Quality and Aroma Compounds of Strawberry Fruits in a Short Distribution Chain. In : *Journal of Food Processing and Preservation* [en ligne]. 1 décembre 2015. Vol. 39, n° 6, p. 3154-3164. [Consulté le 29 mars 2019]. DOI 10.1111/jfpp.12390. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpp.12390>.

GONZÁLEZ-BUESA, Jaime, FERRER-MAIRAL, Ana, ORIA, Rosa et SALVADOR, María L., 2009. A mathematical model for packaging with microperforated films of fresh-cut fruits and vegetables. In : *Journal of Food Engineering* [en ligne]. novembre 2009. Vol. 95, n° 1, p. 158-165. [Consulté le 5 mars 2019]. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2009.04.025. Disponible à l'adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877409002222>.

GRANADO, Caroline, 2014. *Situation de la production de fraises en France*. 2014. S.I. : AOPn Fraises de France.

GROSS, Kenneth, YI WANG, Chien et SALTVEIT, Mikal, 2016. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. In : [en ligne]. 2016. [Consulté le 29 mars 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.ars.usda.gov/oc/np/commercialstorage/commercialstorageintro/>.

HERBES, Casten, BEUTHNER, Christoph et RAMME, Iris, 2018. Consumer attitudes towards biobased packaging - A cross-cultural comparative study | Elsevier Enhanced Reader. In : [en ligne]. 2018. [Consulté le 18 avril 2019]. Disponible à l'adresse : <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0959652618314422?token=75A32E1726881BD14796A7168A3FB65A94BA50A3463A1DD6D05F5318A38817B317DE62EF71748F83170DCAB5A767F83E>.

HUSSEIN, Zaharan, CALEB, Oluwafemi J. et OPARA, Umezuruike Linus, 2015. Perforation-mediated modified atmosphere packaging of fresh and minimally processed produce—A review. In : *Food Packaging and Shelf Life* [en ligne]. 1 décembre 2015. Vol. 6, p. 7-20. [Consulté le 11 mars 2019]. DOI 10.1016/j.fpsl.2015.08.003. Disponible à l'adresse : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214289415300107>.

JOURNAL OFFICIEL DE L'UNION EUROPÉENNE, 2011. Règlement d'exécution (UE) no 543/2011 de la Commission du 7 juin 2011 portant modalités d'application du règlement (CE) no 1234/2007 du Conseil en ce qui concerne les secteurs des fruits et légumes et des fruits et légumes transformés. In : . 2011. p. 163.

JOURNAL OFFICIEL DE L'UNION EUROPÉENNE, 2019. DIRECTIVE (UE) 2019/904 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 5 juin 2019 relative à la réduction de l'incidence de certains produits en plastique sur l'environnement. In : [en ligne]. 2019. [Consulté le 7 août 2019]. Disponible à l'adresse : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019L0904&from=FR>.

KADER, A.A., 1999. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. In : *Acta Horticulturae* [en ligne]. mars 1999. n° 485, p. 203-208. [Consulté le 29 mars 2019]. DOI 10.17660/ActaHortic.1999.485.27. Disponible à l'adresse : https://www.actahort.org/books/485/485_27.htm.

KADER, A.A., 2005. Increasing food availability by reducing postharvest losses of fresh produce. In : *Acta Horticulturae* [en ligne]. juin 2005. n° 682, p. 2169-2176. [Consulté le 7 août 2019]. DOI 10.17660/ActaHortic.2005.682.296. Disponible à l'adresse : https://www.actahort.org/books/682/682_296.htm.

KOUTSIMANIS, Georgios, HARTE, Janice et ALMENAR, Eva, 2015. Freshness maintenance of cherries ready for consumption using convenient, microperforated, bio-based packaging. In : *Journal of the Science of Food and Agriculture* [en ligne]. 30 mars 2015. Vol. 95, n° 5, p. 972-982. [Consulté le 2 avril 2019]. DOI 10.1002/jsfa.6771. Disponible à l'adresse : <http://doi.wiley.com/10.1002/jsfa.6771>.

KRISHNA, Aradhna, CIAN, Luca et AYDINOĞLU, Nilüfer Z., 2017. Sensory Aspects of Package Design. In : *Journal of Retailing* [en ligne]. 1 mars 2017. Vol. 93, n° 1, p. 43-54. [Consulté le 20 février 2019]. DOI 10.1016/j.jretai.2016.12.002. Disponible à l'adresse : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022435916300811>.

MAS, Xavier et GRANADO, Caroline, 2017. *Présentation et enjeux de la filière fraise en France*. 2017. S.I. : s.n.

MATAR, Céline, GAUCEL, Sébastien, GONTARD, Nathalie, GUILBERT, Stéphane et GUILLARD, Valérie, 2018. Predicting shelf life gain of fresh strawberries 'Charlotte cv' in modified atmosphere packaging. In : *Postharvest Biology and Technology* [en ligne]. 1 août 2018. Vol. 142, p. 28-38. [Consulté le 29 mars 2019]. DOI 10.1016/j.postharvbio.2018.03.002. Disponible à l'adresse : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521417312413>.

MERENDET, Valérie, 2018. Intérêt des emballages biosourcés innovants - Essais CTIFL sur la fraise préemballée. Infos Ctifl. 345, 16-23. (Consulté le 03 novembre 2018).

MISTRITOTIS, Antonis, BRIASSOULIS, Demetrios, GIANNOULIS, Anastasios et D'AQUINO, Salvatore, 2016. Design of biodegradable bio-based equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for fresh fruits and vegetables by using micro-perforated poly-lactic acid (PLA) films. In : *Postharvest Biology and Technology* [en ligne]. 1 janvier 2016. Vol. 111, p. 380-389. [Consulté le 11 mars 2019]. DOI 10.1016/j.postharvbio.2015.09.022. Disponible à l'adresse : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521415301277>.

MITCHAM, Elizabeth, CRISTOSO, Carlos et KADER, Adel, 1996. Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. In : [en ligne]. 1996. [Consulté le 29 mars 2019]. Disponible à l'adresse : http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores/Fruit_English/?u id=58&ds=798.

MORAS, Philippe, 2005. *Le préemballage des légumes et des fraises* [en ligne]. CTIFL. S.I. : s.n. [Consulté le 29 mars 2019]. Hortipratic. ISBN 2-87911-231-1. Disponible à l'adresse : <http://www.ctifl.fr/Pages/Kiosque/DetailsOuvrage.aspx?idouvrage=791>.

MORAS, Philippe et TAMIC, Hélène, 2001. L'évolution de la fraise dans le circuit commercial - la problématique de l'emballage - l'analyse des pertes et l'influence des modes de conditionnement. In : [en ligne]. 2001. p. 30-33. [Consulté le 29 mars 2019]. Disponible à l'adresse : <http://plateforme-documentaire.ctifl.fr/Record.htm?idlist=3&record=19408224124912264069>.

NIELSEN, Tim et LEUFVÉN, Anders, 2008. The effect of modified atmosphere packaging on the quality of Honeoye and Korona strawberries. In : *Food Chemistry* [en ligne]. 1 avril 2008. Vol. 107, n° 3, p. 1053-1063. [Consulté le 29 mars 2019]. DOI 10.1016/j.foodchem.2007.09.025. Disponible à l'adresse : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814607009387>.

PANDA, A. K., GOYAL, R. K., GODARA, A. K. et SHARMA, Vikas Kumar, 2016. Effect of packaging materials on the shelf-life of strawberry cv. Sweet Charlie under room temperature storage. In : *Journal of Applied and Natural Science* [en ligne]. 1 septembre 2016. Vol. 8, n° 3, p. 1290-1294. [Consulté le 29 mars 2019]. DOI 10.31018/jans.v8i3.955. Disponible à l'adresse : <https://journals.ansfoundation.org/index.php/jans/article/view/955>.

PARVEZ, Sadaf et WANI, Idrees Ahmed, 2018. Postharvest Biology and Technology of Strawberry. In : *Postharvest Biology and Technology of Temperate Fruits* [en ligne]. 2018. p. 331-348. [Consulté le 11 mars 2019]. DOI 10.1007/978-3-319-76843-4_14. Disponible à l'adresse : https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-76843-4_14.

PLASTICS EUROPE, 2018. Les plastiques permettent d'économiser des aliments et des ressources. In : [en ligne]. 2018. [Consulté le 8 août 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.plasticseurope.org/fr/about-plastics/packaging/plastics-save-food-and-resources>.

REZAEI, Jafar, PAPAKONSTANTINO, Athanasios, TAVASSZY, Lori, PESCH, Udo et KANA, Austin, 2019. Sustainable product-package design in a food supply chain: A multi-criteria life cycle approach. In : *Packaging Technology and Science* [en ligne]. 2019. Vol. 32, n° 2, p. 85-101. [Consulté le 1 avril 2019]. DOI 10.1002/pts.2418. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pts.2418>.

SANDHYA, 2010. Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. In : *LWT - Food Science and Technology* [en ligne]. avril 2010. Vol. 43, n° 3, p. 381-392. [Consulté le 7 août 2019]. DOI 10.1016/j.lwt.2009.05.018. Disponible à l'adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643809001546>.

SANZ, C., PEREZ, A.G., OLIAS, R. et OLIAS, J.M., 2000. Modified atmosphere packaging of strawberry fruit: Effect of package perforation on oxygen and carbon dioxide. In : *Food Science and Technology International* [en ligne]. 1 février 2000. Vol. 6, n° 1, p. 33-38. [Consulté le 29 mars 2019]. DOI 10.1177/108201320000600105. Disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.1177/108201320000600105>.

SCHMID, Markus et SAMAIN, Daniel, 2012. Improved barrier properties for Innovative food packaging applications by nanoscale surface modification – a chemical grafting process. In : . S.I. : s.n. 1 janvier 2012.

SOUSA, A. R., OLIVEIRA, J. C. et SOUSA-GALLAGHER, M. J., 2017. Determination of the respiration rate parameters of cherry tomatoes and their joint confidence regions using closed systems. In : *Journal of Food Engineering* [en ligne]. 1 août 2017. Vol. 206, p. 13-22. [Consulté le 7 août 2019]. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2017.02.026. Disponible à l'adresse : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877417300717>.

SOUSA-GALLAGHER, M.J., MAHAJAN, P.V. et MEZDAD, T., 2013. Engineering packaging design accounting for transpiration rate: Model development and validation with strawberries. In : *Journal of Food Engineering* [en ligne]. novembre 2013. Vol. 119, n° 2, p. 370-376. [Consulté le 29 mars 2019]. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2013.05.041. Disponible à l'adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877413002823>.

VAN DER STEEN, C, JACXSENS, L, DEVLIEGHIERE, F et DEBEVERE, J, 2002. Combining high oxygen atmospheres with low oxygen modified atmosphere packaging to improve the keeping quality of strawberries and raspberries. In : *Postharvest Biology and Technology* [en ligne]. août 2002. Vol. 26, n° 1, p. 49-58. [Consulté le 29 mars 2019]. DOI 10.1016/S0925-5214(02)00005-4. Disponible à l'adresse : <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925521402000054>.

VAROQUAUX, Patrick, GOUBLE, Barbara, DUCAMP, Marie-Noelle et SELF, Guy, 2002. Procedure to optimize modified atmosphere packaging for fruit. In : *Fruits* [en ligne]. 2002. [Consulté le 22 août 2019]. DOI Procedure to optimize modified atmosphere packaging for fruit. Varoquaux Patrick, Gouble Barbara, Ducamp Marie-Noelle, Self Guy. 2002. *Fruits*, 57 (5-6) : 313-322.<http://dx.doi.org/10.1051/fruits:2002028> <<http://dx.doi.org/10.1051/fruits:2002028>>. Disponible à l'adresse : <http://agritrop.cirad.fr/510768/>.

VENIEN, Sophie et TASSIN, Bernard, 2000. Agréage fruits et légumes-CTIFL. In : [en ligne]. 2000. [Consulté le 21 août 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.ctifl.fr/Pages/Kiosque/DetailsOuvrage.aspx?idouvrage=740>.

VERNIN, Xavier, 2012. CTIFL - Fraise : analyse du marché et perception de la distribution et du détail. In : [en ligne]. 2012. [Consulté le 7 août 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.ctifl.fr/Pages/Kiosque/DetailsOuvrage.aspx?idouvrage=907>.

VERNIN, Xavier, 2013. *Le segment du préemballé en France : Gamme et circuits de distribution*. 2013. S.l. : CTIFL.

Année universitaire : 2018-2019

Spécialité :

Horticulture

Spécialisation (et option éventuelle) :

Ingénierie des Produits et des Productions
Horticoles (I2PH)

Mémoire de fin d'études

d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques,
agroalimentaires, horticoles et du paysage

de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques,
agroalimentaires, horticoles et du paysage

d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Emballages biosourcés recyclables ou compostables pour les fruits et légumes frais

ANNEXES

Par : Camille LECLERC

Soutenu à Angers, le 05/09/2019

Devant le jury composé de :

Président : Etienne CHANTOISEAU

Expert extérieur : Nicolas BLANLOEIL

Maître de stage : Valérie MERENDET

Expert établissement: Mickaël DELAIRE

Enseignant référent : Emmanuel GEOFFRIAU

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation

«Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0

France» disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



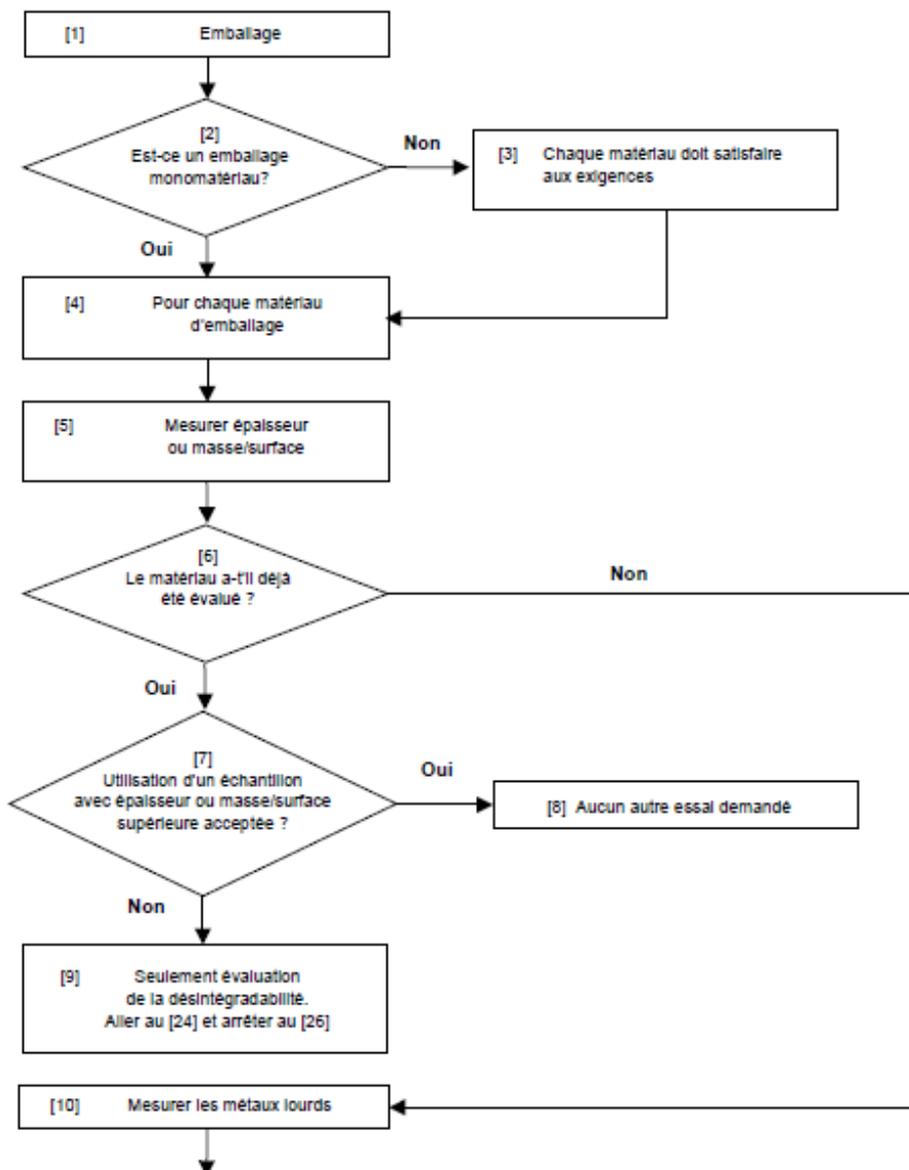
Table des matières

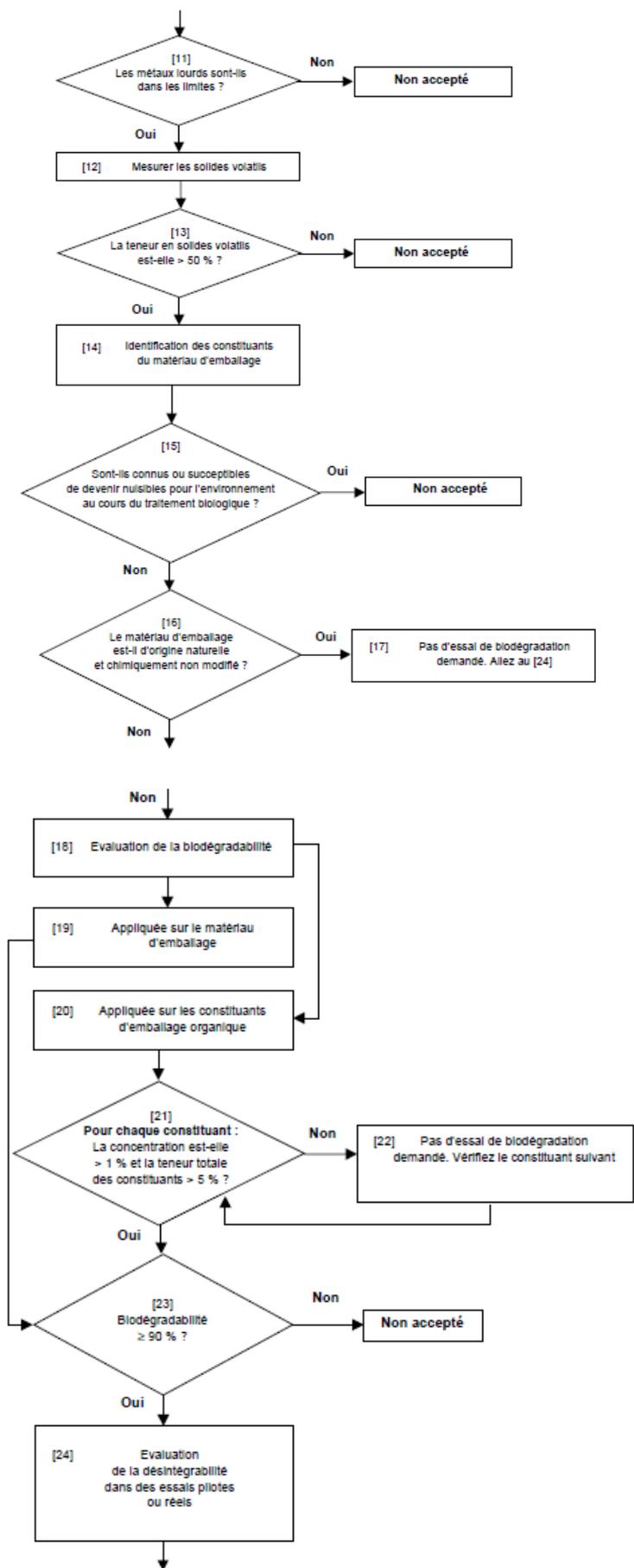
ANNEXE II : Schéma de synthèse, origine et fin de vie des matériaux (en cours de création CTIFL)	5
Annexe III : Carte des producteurs	6
Annexe IV : Photographies des protocoles (Leclerc., 2019)	7
ANNEXE V : Notation meurtrissure	8
ANNEXE VI : Référentiel moisissures	9
ANNEXE VII : Référentiel pourriture	10
ANNEXE VIII : Référentiel buée	10
ANNEXE IX : Photographie films étudiés, CTIFL Rungis (Leclerc., 2019).....	11
ANNEXE X : Photographies semaines d'essais : comparaison incidence pourriture, CTIFL Rungis (Leclerc., 2019).....	12
ANNEXE XI : Photographie des barquettes étudiées, CTIFL Rungis (Leclerc., 2019) ...	13
.....	14
ANNEXES XII : Photographie des barquettes : après circuit, CTIFL Rungis (Leclerc., 2019)	15
ANNEXE XIII : Photographie des barquettes : test UV, CTIFL Rungis (Leclerc., 2019).	16
ANNEXE IV : Guide d'entretien Focus Groupes	18

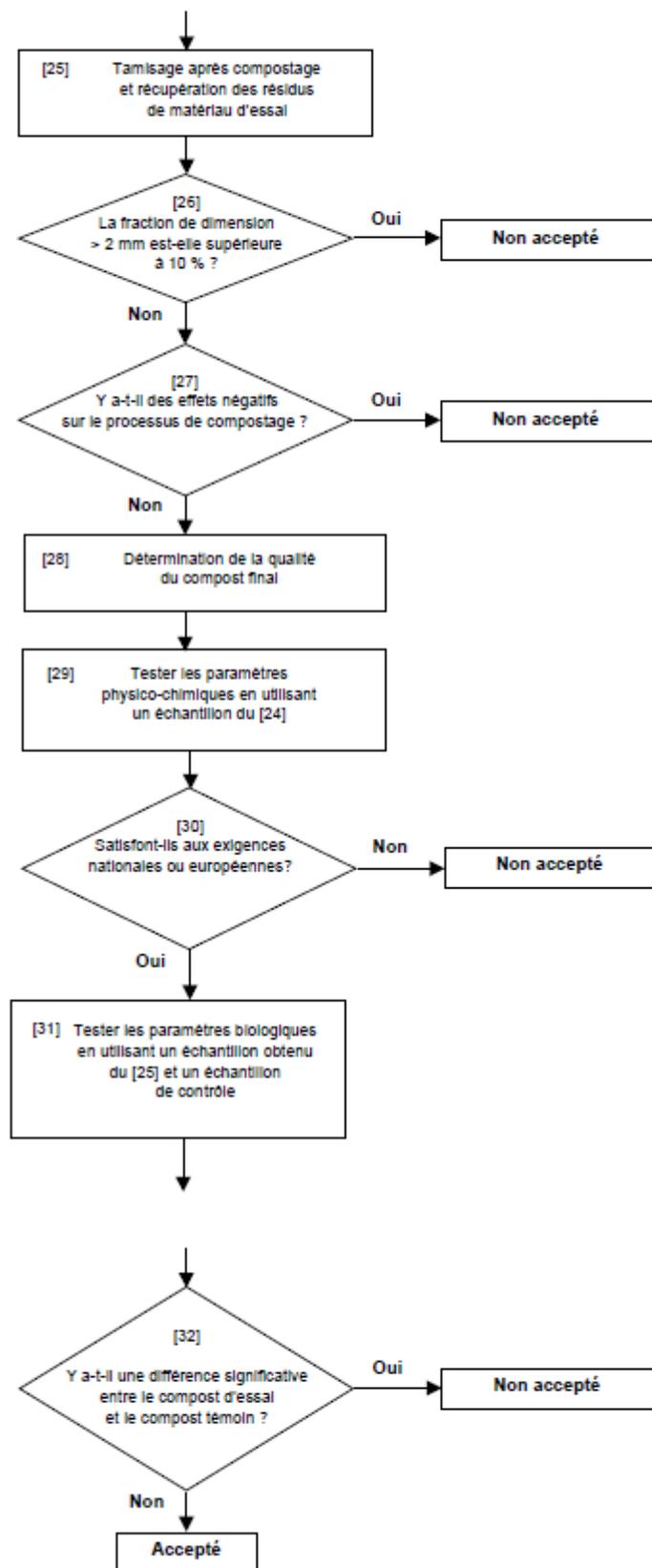
ANNEXE I : Schéma de l'évaluation de la valorisation organique d'un emballage issu de la norme EN 13432

(informative)

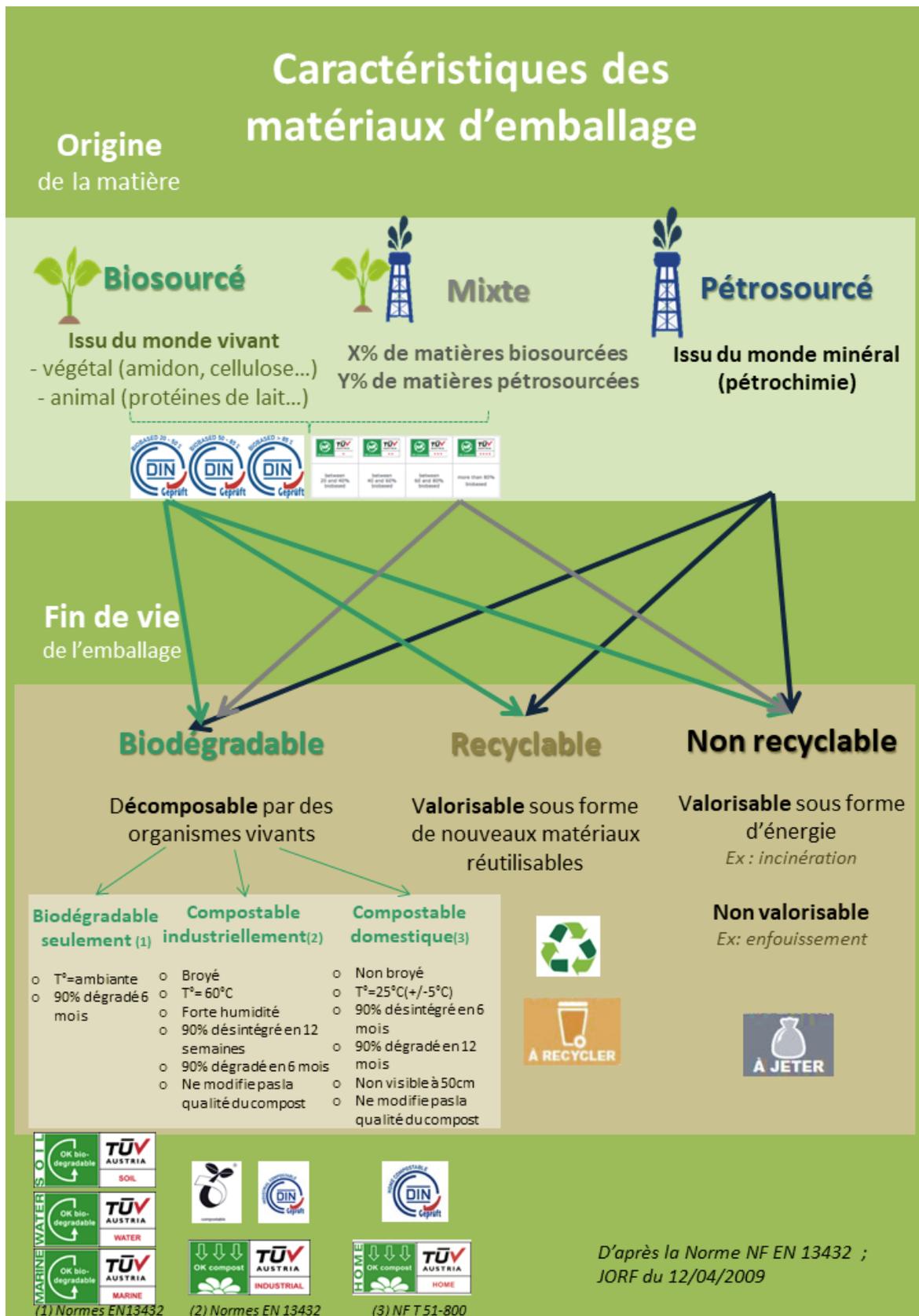
Schéma de flux de l'évaluation de la possibilité de valorisation organique de l'emballage



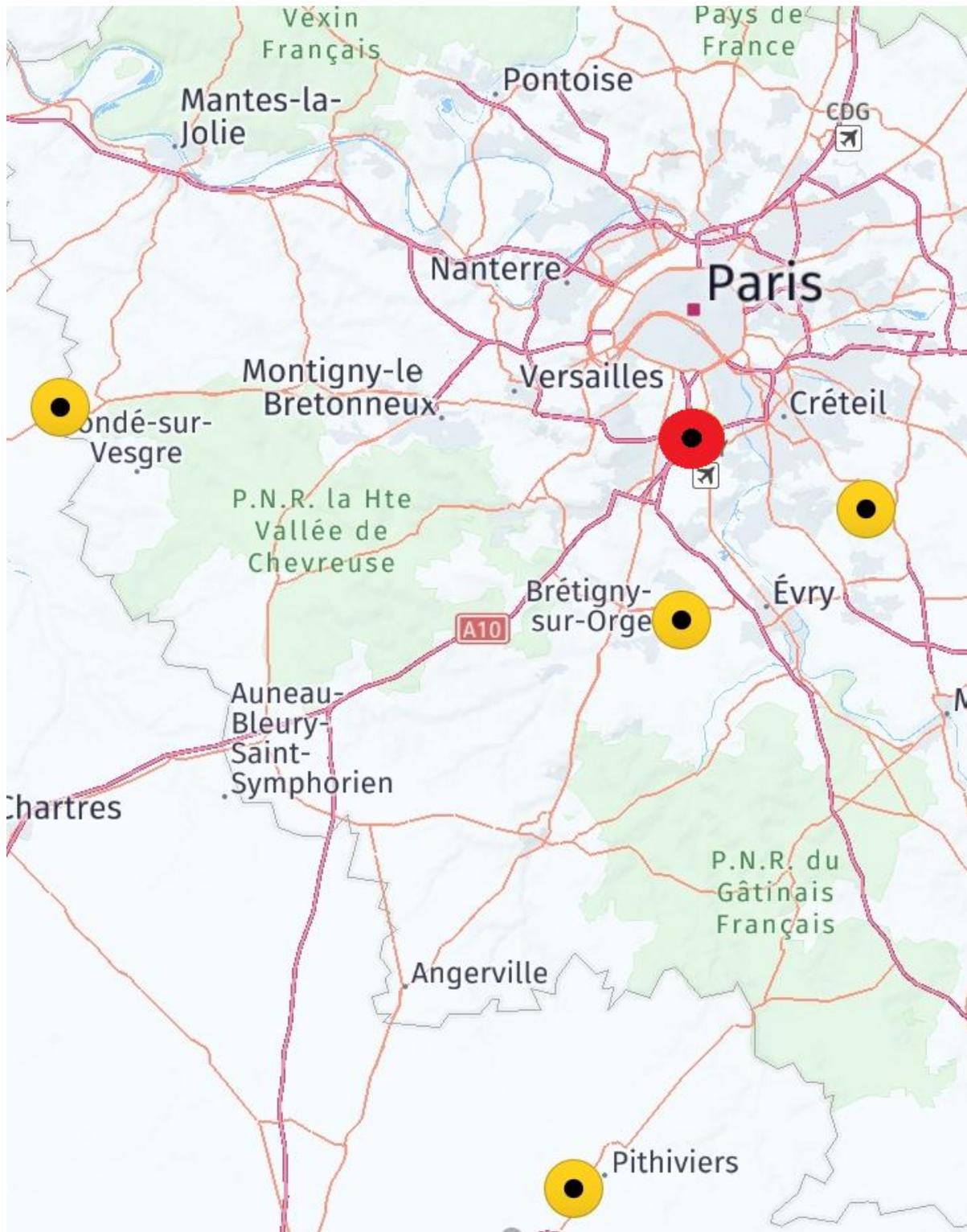




ANNEXE II : Schéma de synthèse, origine et fin de vie des matériaux (en cours de création CTIFL)



Annexe III : Carte des producteurs



Annexe IV : Photographies des protocoles (Leclerc., 2019)

Protocoles

Préparation des films



Acheminement des fraises



Essai Intensité respiratoire



Essai Surface optimale pour les films



Essai résistance des barquettes



Focus Groupes

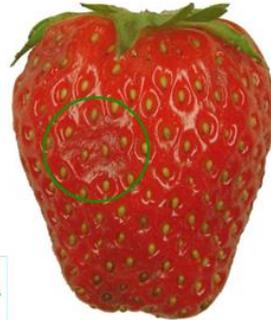


ANNEXE V : Notation meurtrissure

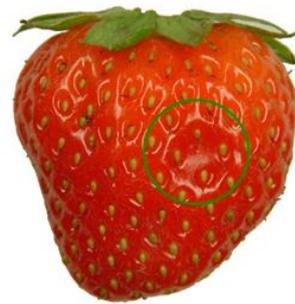
Référentiel « meurtrissures » fraise



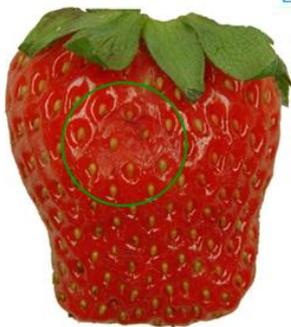
0



1



2



3



4



5

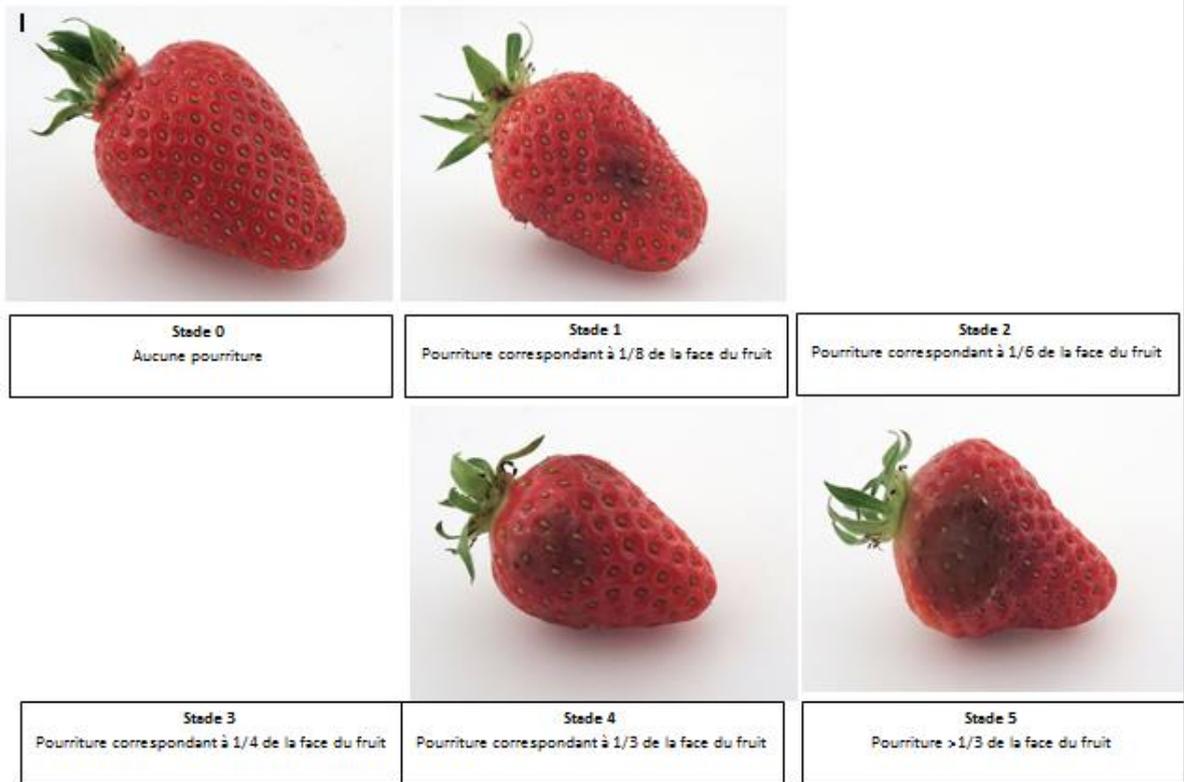
ANNEXE VI : Référentiel moisissures

Référentiel « moisissure » fraise française :
Garigette

		
<p style="text-align: center;">Stade 0 Aucune moisissure</p>	<p style="text-align: center;">Stade 1 Début de moisissure de taille inférieure à 1/8 du fruit</p>	<p style="text-align: center;">Stade 2 Moisissure de taille correspondant à 1/5 du fruit</p>
		
<p style="text-align: center;">Stade 4 Moisissure de taille correspondant à 1/4 du fruit</p>	<p style="text-align: center;">Stade 4 Moisissure de taille correspondant à 1/3 du fruit</p>	<p style="text-align: center;">Stade 5 Moisissure importante correspondant à la moitié du fruit</p>

ANNEXE VII : Référentiel pourriture

Référentiel « pourriture »:



ANNEXE VIII : Référentiel buée



ANNEXE IX : Photographie films étudiés, CTIFL Rungis (Leclerc., 2019).

Matériaux Films



Poly Lactique Acide



NK



BIO04



LTBio8



Témoin PET macroperforé



Barquette operculée
(NK + cellulose de pin)



ANNEXE X : Photographies semaines d'essais : comparaison incidence pourriture, CTIFL Rungis (Leclerc., 2019)



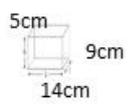
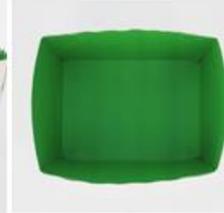
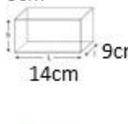
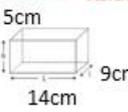
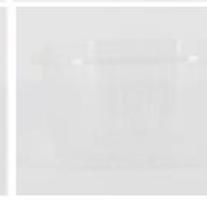
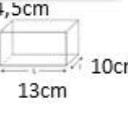
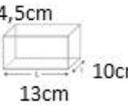
MAG PLA7Trous PLA4Trous NVS9Trous NVS6Trous FRD



MAG Bio049Trous Bio046Trous LTB83Trous LTB82Trous FRD

ANNEXE XI : Photographie des barquettes étudiées, CTIFL Rungis (Leclerc., 2019)

Matériaux Barquettes (1/2)

 Bois Agrafé 				
Cellulose Moulée 				
Carton Compact 				
PolyEthylène Téréphtalate 				
 Poly Lactic Acide 				
 				
 				
Kraft 				

Matériaux Barquettes (2/2)

 Bois Thermoformé G 5,5cm  9,5cm 19,5cm				
Thermoformé G3 + papier Sulfuré 4,0cm  8,5cm 12cm				
 Sandwich box Kraft + PLA 7,2cm  7,7cm 12,7cm				
 7,2cm 8,9cm 11cm				
Feuille de PaLMier 4,5cm  14,5 14,5cm				
 PolyHydroxyAlcanoates 4cm  16,2cm 17,6cm				
Paille (20%) + PolyHydroxyAlcanoates				
 Fibre de Canne à Sucre 6,5cm  15,5 15,5cm				

ANNEXES XII : Photographie des barquettes : après circuit, CTIFL Rungis (Leclerc., 2019)

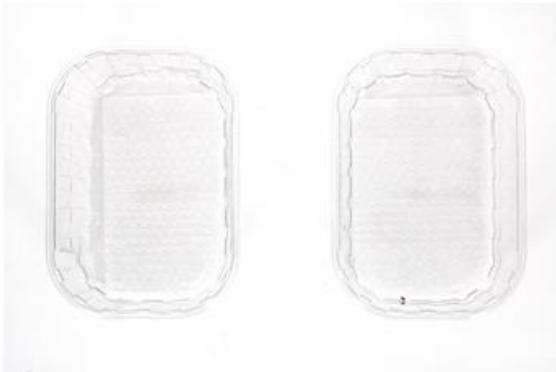
Barquettes après circuit

PET				
PLA				
Carton compact				
Carton Tomates				
Cellulose Moulée				
Cellulose Moulée de pin				
Fibre de canne à sucre				
Bois agrafé				
Palmier				
Bois thermoformé				
Paille + PHA				

ANNEXE XIII : Photographie des barquettes : test UV, CTIFL Rungis (Leclerc., 2019)

Barquettes Test UV(1/2)

PET



PLA



Carton compacte



Carton Tomates



Cellulose Moulée



Cellulos Moulée de Pin



Barquettes Test UV(2/2)

Fibre de canne à
sucre



Bois Agrafé



Palmier



Paille + PHA



PHA



ANNEXE IV : Guide d'entretien Focus Groupes

PERCEPTION DES EMBALLAGES BIO-SOURCES SUR FRAISES

Guide d'animation des groupes de consommateurs (3H - 18h30 / 21h30)

Introduction.... (10 MINUTES / fin 18H40 MINUTES)

Tout de table / présentation (Nom, Passion, activités...)

Vous êtes enregistrés et filmés

Des gens qui regardent derrière nous

Pas de communication tel pendant le groupe, on éteint les portables

Pas de bonnes et mauvaises réponses, tout est entendable et défendable

Tout le monde doit participer et on laisse la parole aux uns et aux autres

Et pour vous motiver, prochaine PAUSE à 20h35

1^{ère} PARTIE : PAYSAGE AGRICOLE FRANÇAIS et FRAISES/ (10 MINUTES / 5 minutes par Thème) / fin 18H50

1.1 Perception des fruits et légumes dans l'agriculture en France

Quand je vous parle F&L quels sont les mots associés ?

C'est important les F&L dans votre alimentation ? Pourquoi ?

Qu'est-ce qui les caractérisent ?

On les aime pourquoi ? On les déteste pourquoi ? Ils nous laissent indifférents

Et pour vous c'est quoi les produits de saisons en ce moment ? / (EN ESPERANT QUE LES
FRAISES SORTENT DU LOT)

1.2. Et les Fraises

Avez-vous déjà acheté des fraises cette année (collectif)

Depuis quand achetez-vous des fraises ?

Les avez-vous trouvées facilement en rayon ? Elles étaient à coté de quels fruits ?

Vous souvenez vous de la provenance, du nom de la variété ?

Si vous les avez déjà mangées, comment les avez-vous trouvées (donner une note de 0 à 10, 10 étant la meilleure note et 0 la moins bonne)

Ça donne envie d'en racheter ?

2^{ème} PARTIE : LES EMBALLAGES Fraises et F&L / (fin 19H30 / 40 MINUTES / 5 minutes par thème)

2.1 Perception des emballages F&L : utilité/usage ?

Comment qualifier les emballages F&L dans le rayon ?

Quels sont les F&L les plus emballés ? Les moins emballés ?

Il y en a qui sont toujours emballés ?

Selon vous quelles sont les raisons pour lesquelles ils sont emballés ?

2.2 Perception des matières de ces emballages ?

Quelles sont les matières utilisées ? Plastique / Carton /

Des matières que vous préférez à d'autres ? Pourquoi ?

Des matières qui ont une utilité comparativement à d'autres ?

Une évolution au niveau des emballages de F&L ? En terme de quantité, de matière, de format.... ?

Et pour vous à quoi il ressemble l'emballage idéal ?

2.3. Perception de l'offre fraises préemballées ? ?

Et pour la Fraise, au niveau emballage ca dit quoi ?

Vos préférés et pourquoi ?

Existe-t-il certains emballages fraises que vous n'achetez jamais ?

Et alors l'offre de fraise emballée a-t-elle changée ? En bien / en mal ?

Comparativement à avant, vous diriez que vous avez plus de fraises emballées ? Et qu'en pensez-vous ?

2.4. Utilité, matière, provenance... pour la Fraise emballée ?

Selon vous les fraises française sou étrangères sont emballées pareil ?

On utilise les mêmes matières en fonction des provenances ?

Et si vous avez un faire un choix entre provenance et emballage ?

Et si on parle emballage et circuit de distribution, vous me dites quoi ?

En GMS on trouve quoi comme emballage fraise ?

Au marché on trouve comme emballage fraise ?

Et chez le primeur ?

2.5 Si vous aviez un me décrire l'emballage Fraise Idéal ?

-il est comment ?

- il est transparent, de couleur

-on le trouve où ?

- Il provient d'où ?

- Et ça coute plus/moins cher ? Combien ?

3ème PARTIE : EMBALLAGES et UTILISATION FINALE après dégustation (fin 20H10 / 50 MINUTES)°

3.1. Que faire des emballages fraises ?

Au final, que faites-vous des emballages fraises ?

C'est pareil pour l'ensemble des emballages de F&L ?

3.2. Les emballages écolo ?

Pour vous ça existe des emballages écolo ?

Pouvez-vous me les décrire ?

Et dans le rayon F&L on en trouve ? (bcp, pas bcp, pourquoi...)

Et dans d'autres rayons vous en trouvez ?

3.3. Les emballages bio-sourcés

Si je vous parle emballage BIO SOURCE, ça vous fait penser à quoi ?

A quoi il pourrait ressembler ?

Il est de quelle couleur ?

Il est fait en quel matière ?

Où on le met après avoir consommé les fraises ?

A votre avis, que devient-il ?
Comment le reconnaître ?
Il a besoin d'un logo pour être reconnu ? D'une couleur ?
Est-ce que c'est tout simplement possible ?
Que doit-on dire pour vous le vendre ?
Vous êtes prêt à payer plus cher ? Combien ?
Et à votre avis, il le faut pour tous les F&L ? C'est juste un début pour la Fraise ?

PAUSE (fin 20H30 / 10 minutes)

4ème PARTIE : Présentation des prototypes d'emballage (Fin 21H15 / 40 MINUTES)

Présenter chaque prototype individuellement avant de les mettre tous ensemble sur la table et choisir éventuellement le plus séduisant en précisant pourquoi.

Les prototypes seront nommés par des lettres (A, B, C, D) permettant de les mémoriser facilement. Il sera très important de bien les répertorier lors de la prise de note sans faire d'erreur.

Lors du 1^{er} groupe, un tirage au sort sera effectué pour éviter de répéter à l'identique dans les 2 groupes le même ordre de présentation.

Présenter la barquette sur la table face aux consommateurs sans qu'il ait la possibilité de la toucher et après un premier tour de table, prise en main individuelle et échange tous ensemble.

SANS PRENDRE EN MAIN LA BARQUETTE

Que pensez-vous de l'aspect général de la barquette présentée devant vous ?

Elle vous fait penser à quoi ?

Ressemble-t-elle aux barquettes de fraises que vous achetez dans le commerce ?

Les points de ressemblance / de différence ?

Et si on parle du film plastique dessus ? Vous en pensez quoi ?

Il est comment ?

C'est le même ?

EN PRENANT EN MAIN LA BARQUETTE

Qu'en pensez-vous ?

Comment qualifiez le film (doux, rêche, épais, fin...)

Et la barquette plastique, à l'œil comme ça pour vous c'est la même ?

Si on doit lui trouver des différences par rapport aux barquettes plastiques classiques, lesquelles ?

Et si je vous dit qu'elle est bio-sourcée ?

Cela vous parle ? Cela veut dire quoi ?

Vous y auriez pensé ?

Comment vous le dire ?

L'idée d'une barquette de couleur vous parle ?

Et le film plastique ?

MAINTENANT ON OUVRE ET ON DECHIRE LE FILM ?

Alors qu'en pensez-vous ?

Il a une odeur, une texture, un bruit... ?

Une note de 0 à 10 ?

REPRENDRE LE MEME PROTOCOLE DE TEST POUR CHAQUE BARQUETTE

Et enfin si on doit en retenir une seule, laquelle et pourquoi ?

Comment je dois communiquer dessus pour vous la « vendre » ?

Un message particulier ?

Un logo, une couleur, une odeur... ?

5ème PARTIE : CONCLUSION (15 MINUTES)

4.1. Bilan sur les barquettes

Finalement, qu'est-ce que vous pensez de ces nouvelles barquettes de Fraises ?

Elles vous plaisent, pourquoi ?

Que pouvons-nous garder / changer ?

Des choses manquantes ?

4.2. Argumentaire :

Si vous deviez défendre un projet de développement des barquettes bio-sourcés :

Les arguments utilisés

Les arguments techniques à développer

Les avantages à mettre en avant

Les mots qui manquent

4.3. Les modalités de diffusion du projet

Quel mode de diffusion serait utile pour faire avancer le projet

Qui aller rencontrer

Quelles actions mettre en œuvre à votre niveau

	Diplôme : Ingénieur Spécialité : Horticulture Spécialisation / option : Ingénierie des Productions et des Produits de l'Horticulture Enseignant référent : Emmanuel GEOFFRIAU
Auteur(s) : Camille LECLERC Date de naissance* : 23/04/1996	Organisme d'accueil : Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes Adresse : 1 rue de Perpignan, 94550, Chevilly-La-Rue
Nb pages : 45 Annexe(s) : 21	Maître de stage : Valérie MERENDET
Année de soutenance : 2019	
Titre français : Emballages biosourcés recyclables ou compostables pour les fruits et légumes frais Titre anglais : Biosourced and recyclable or compostable packaging for fresh fruits and vegetables	
Résumé (1600 caractères maximum) : Face à un consommateur de plus en plus exigeant sur la qualité des produits alimentaires qu'il consomme et conscient des impacts de sa consommation sur l'environnement, il est nécessaire pour les professionnels de la filière fruits et légumes de trouver des pistes d'innovation. Les matériaux d'emballages biosourcés recyclables et/ou compostables pourraient être une réponse à ces attentes. La fraise, fruit modèle pour sa fragilité a été l'objet de cette étude réalisée au CTIFL en 2019. Cette dernière a pour objectif de limiter les pertes au niveau de la filière et d'améliorer la qualité de l'offre produit et emballage. Celui-ci, actuellement en plastique macroperforé permet une conservation plus ou moins satisfaisante. Les essais ont permis d'identifier des facteurs d'influence de l'intensité respiratoire, impliquée dans la conservation du produit. Les emballages microperforés avec atmosphère modifiée ont gagné 0.83 jour de commercialisation avec une teneur en O ₂ comprise entre 7 et 9% sans en altérer les propriétés gustatives, ni l'appréciation des consommateurs. Cet intervalle a pu être atteint avec 4 matériaux biosourcés avec une surface de perforation précise. Parmi les matériaux testés, la cellulose de pin, de papier, la canne à sucre et le PLA ont montré de bonnes capacités de protection du produit (meurtrissures) et de résistance à la température, l'hygrométrie et la lumière variant au cours du circuit commercial. Les matériaux obtenant les meilleurs résultats ont été présentés aux consommateurs qui se sont montrés favorables à leur entrée sur le marché.	
Abstract (1600 caractères maximum) : With customers always more demanding food quality and well aware of the environmental impact of their consumption, it is necessary for fruit and vegetable professionals to find innovations. Recyclable or compostable biosourced packagings seem a promising solution fulfilling both, meeting clients' expectations and sustainability. Strawberry is a very fragile and perishable fruit that has been the object of this investigation program led by the CTIFL in 2019. This study aims to demonstrate the potential of recent biopackagings in preserving fruit quality for long conservation. The current materials are mainly microperforated plastics having unequal performances in conservation. We could identify several factors that influence respiration rate which is implicated in fruit conservation. Modified atmosphere microperforated packaging extended shelf life by 0.83 day with a 7 - 9% O ₂ without altering fruit taste, nor customer appreciation. This interval has been reached with 4 biosourced materials with a precise perforated surface. Among tested materials, pine cellulose, molded paper pulp, sugar cane fibers and PLA showed good capacities to protect fruits and resist to temperature, relative humidity and light variation all along the commercial circuits. Materials that performed best were presented to customers that gave favourable critics for their potential commercial development	
Mots-clés : Emballage, biosourcé, compostable, recyclable, atmosphère modifiée, microperforation, acceptation consommateur, durée de vie. Key Words: Packaging, biosourced, compostable, recyclable, modified atmosphere, microperforation, customer acceptance, shelf life.	

* Élément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires