



ESSICA

RESULTATS DES
EXPERIMENTATIONS
DU PROJET



ESSICA Lab

Auprès du Palais Taffini d'Accoglio
Entrée en Via Antica Contrada delle Beccherie
Savigliano 12038 (CN)
Tel. 0172/86472 | Courriel: essicalab@leterredeisavoia.it
www.leterredeisavoia.it/fr/essica-laboratoire/



Ce projet est financé avec le soutien de la Commission européenne. Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations qui y sont contenues.

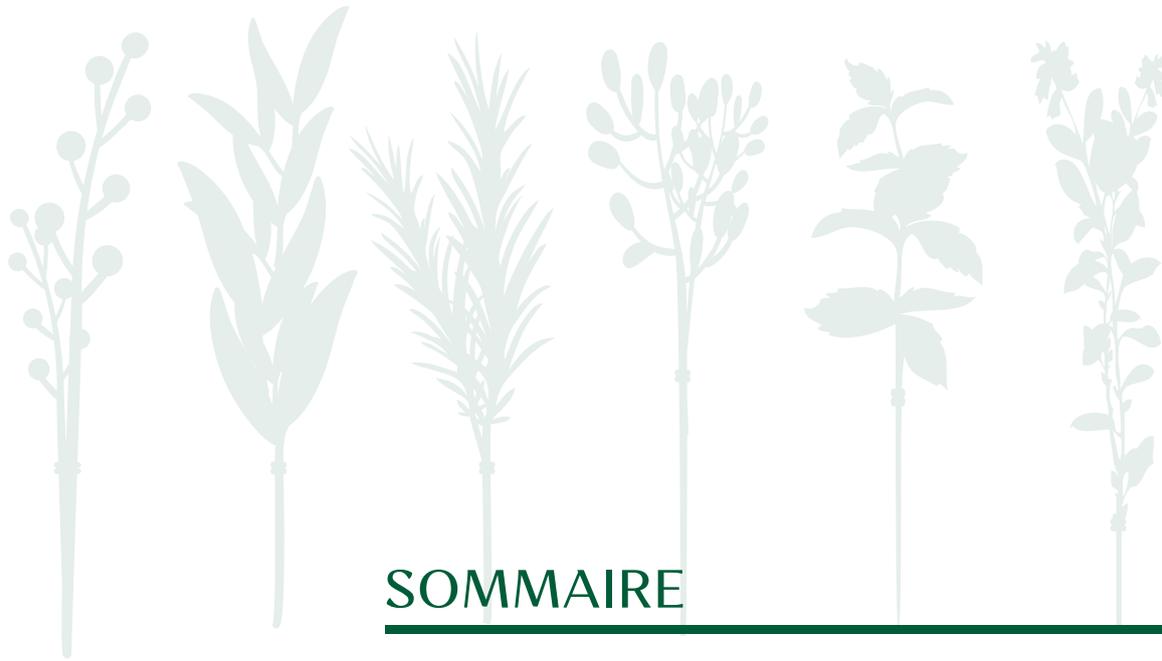
PROJET DE COOPERATION TRANSFRONTALIERE

ESSICA

**RESULTATS DES EXPERIMENTATIONS
DU PROJET**

**APPLICATION DES TECHNIQUES INNOVANTES POUR LE DEVELOPPEMENT
DE LA FILIERE TRANFRONTALIERE DES PLANTES AROMATIQUES**

Édition 2020



SOMMAIRE

INTRODUCTION	5
PARTIE 1 : PRÉSENTATION DU PROJET	9
1.1 UN PROJET DE RECHERCHE AU SERVICE D'UNE FILIÈRE	10
1.1.1 LE PROJET DE RECHERCHE ESSICA	10
1.1.2. LE PROGRAMME EUROPÉEN INTERREG ALCOTRA	14
1.2 LA DÉMARCHE D'ÉTUDE	16
1.2.1 THÉMATIQUES DE RECHERCHE	16
1.2.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL ÉTUDIÉ	16
1.2.3 PARAMÈTRES D'ÉVALUATION ET PROTOCOLES	17
PARTIE 2 : LE SÉCHAGE DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES	25
2.1 RAPPEL DES PRINCIPES DE SÉCHAGE	26
2.2 ESSAIS DE SÉCHAGE	28
2.2.1 PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES DE SÉCHAGE UTILISÉES	28
2.2.2 BATTAGE DES PLANTES APRÈS SÉCHAGE	30
2.2.3 PLAN D'EXPÉRIENCE DES ESSAIS DE SÉCHAGE	31



2.3 RÉSULTATS DES ESSAIS DE SÉCHAGE	32
2.3.1 IMPACT DES MODES DE SÉCHAGE SUR LA STRUCTURE INTERNE DES PLANTES	32
2.3.2 IMPACT DES MODES DE SÉCHAGE SUR LA CHARGE ENTOMOLOGIQUE	42
2.3.3 IMPACT DES MODES DE SÉCHAGE SUR LA CHARGE MICROBIOLOGIQUE	43
2.3.4 IMPACT DES MODES DE SÉCHAGE SUR LA QUANTITÉ ET LA COMPOSITION EN HUILES ESSENTIELLES	47
2.3.5 IMPACT DES MODES DE SÉCHAGE SUR LES EAUX DE CONDENSATION	55
2.3.6 IMPACT DES MODES DE SÉCHAGE SUR LA COMPOSITION PHYSICO-CHIMIQUE ET L'ACTIVITÉ ANTIOXYDANTE	56
2.3.7 IMPACT DES MODES DE SÉCHAGE SUR LE PROFIL SENSORIEL	59
2.3.8 IMPACT DES MODES DE SÉCHAGE SUR LE BILAN ÉNERGÉTIQUE	62
PARTIE 3 : LA DÉBACTÉRISATION DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES	63
3.1 ESSAIS DE DÉBACTÉRISATION	64
3.1.1 PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES DE DÉBACTÉRISATION UTILISÉES	64
3.1.2 PLAN D'EXPÉRIENCE DES ESSAIS DE DÉBACTÉRISATION	67
3.2 RÉSULTATS DES ESSAIS DE DÉBACTÉRISATION	69
3.2.1 IMPACT DES MODES DE DÉBACTÉRISATION SUR LA CHARGE ENTOMOLOGIQUE	69
3.2.2 IMPACT DES MODES DE DÉBACTÉRISATION SUR LA CHARGE MICROBIOLOGIQUE	71
3.2.3 IMPACT DES MODES DE DÉBACTÉRISATION SUR LA QUANTITÉ ET LA COMPOSITION EN HUILES ESSENTIELLES	75
3.2.4 IMPACT DES MODES DE DÉBACTÉRISATION SUR LE PROFIL SENSORIEL	79
3.2.5 IMPACT DES MODES DE DÉBACTÉRISATION SUR LA COMPOSITION PHYSICO-CHIMIQUE ET L'ACTIVITÉ ANTIOXYDANTE	81
PARTIE 4 : CONDITIONNEMENT DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES	83
4.1 DESCRIPTION DES ESSAIS D'EMBALLAGE	84
4.1.1 PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES UTILISÉES	84
4.1.2 PLAN D'EXPÉRIENCE DES ESSAIS D'EMBALLAGE	86
4.2 RÉSULTATS DES ESSAIS D'EMBALLAGE	88
4.2.1 IMPACT DES MODES D'EMBALLAGE SUR LA CHARGE MICROBIOLOGIQUE	88
4.2.2 IMPACT DES MODES D'EMBALLAGE SUR LE PROFIL SENSORIEL	88
PARTIE 5 : LE LABORATOIRE ESSICA	91
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	94
FIGURES	99
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	102
ANNEXE	107



INTRODUCTION



INTRODUCTION

Au cours de ces 10 dernières années, la demande croissante en plantes aromatiques et médicinales (PAM) en Europe a conduit de nombreux agriculteurs à s'intéresser à ce type de production agricole, que soit dans le cadre de l'installation d'une nouvelle exploitation, d'une diversification d'activité ou bien encore d'une augmentation d'une production déjà existante.

En zone Alcotra, les surfaces cultivées en plantes aromatiques et médicinales dépassent ainsi les 4 500 ha (Tableaux 1 et 2).

SURFACES DE PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES CULTIVÉES EN FRANCE	SURFACE (ha)
Territoires de niveau NUTS III transfrontaliers : Départements de Haute-Savoie et de Savoie (Région Rhône-Alpes), des Hautes-Alpes, des Alpes de Haute-Provence et des Alpes-Maritimes (Région Provence-Alpes-Côte d'Azur).	825
Territoires adjacents : Départements de l'Ain, de l'Isère, de la Drôme, du Vaucluse et du Var	2.624
Territoires admissibles : Dipartimenti del Rodano e delle Bocche del Rodano	260
TOTAL	3.709

Tableau 1 : Surfaces de plantes aromatiques et médicinales cultivées en France (données PAC 2016).

NB : Ces surfaces n'incluent pas celles des plantes à parfum françaises comme les lavandes qui sont produites sur plus de 25 000 ha dans la zone considérée.

SURFACES DE PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES CULTIVÉES EN ITALIE	SURFACE (ha)
Piémont	869,18
Ligurie	> 50
Val d'Aoste	10,73
TOTAL	930

Tableau 2 : Surfaces de plantes aromatiques et médicinales cultivées en Italie (estimation FIPPO 2017).



Du fait de conditions climatiques favorables, allant du climat méditerranéen au climat alpin, de nombreuses espèces de plantes aromatiques et médicinales sont ainsi cultivées en zone Alcotra (Tableau 3).

EN FRANCE	EN ITALIE
Thym	Basilic frais
Psyllium et psyllium noir	Romarin
Fenouil	Lavande
Romarin	Menthe poivrée
Sarriette	Passiflore
Origan	Estragon
Mélisse	Coriandre
Chardon-Marie	Sauge officinale
Menthe	Thym
Camomille	Pavot de Californie
Bleuet	Diverses plantes pour liqueurs (absinthe, etc.)
Angélique	

Tableau 3 : Principales espèces de PAM cultivées en zone Alcotra (FranceAgrimer, Etude de marché des PAM, Essica 2017).

Cette diversité des productions entraîne une multitude de produits, dont les débouchés sont majoritairement industriels ; les plantes étant aussi bien utilisées par l'industrie agroalimentaire que par les industries pharmaceutique, cosmétique, et de la parfumerie. Selon le secteur auquel elles se destinent, les plantes sont commercialisées après une ou plusieurs transformations.



INTRODUCTION

Du fait de leurs marchés spécifiques, les productions de plantes aromatiques et médicinales sont confrontées à des attentes extérieures fortes. D'une part, des attentes sociétales explicites de la part de consommateurs toujours plus conscients de leur alimentation, qui recherchent des produits de grande qualité organoleptique, avec une garantie de sécurité sanitaire. D'autre part, un environnement réglementaire strict, dont la segmentation présente des freins à plusieurs niveaux, mais dont l'objectif est axé sur la sécurité sanitaire pour protéger les consommateurs.

Les opérateurs économiques sont ainsi confrontés à des enjeux techniques qui jalonnent le processus de transformation des plantes :

- des enjeux liés à la maîtrise des conditions de séchage pour éviter l'altération des propriétés et la perte de qualité des végétaux ;
- des enjeux liés à la débactérisation afin d'assurer la sécurité sanitaire tout en préservant les qualités du produit ;
- des enjeux de conservation pour garantir les propriétés du produit durant toute sa durée de conservation, voire pour allonger cette dernière.

A la maîtrise de ces enjeux s'ajoute également une volonté collective de réduire les charges liées à la transformation des PAM (dont, en moyenne, 50 % des coûts énergétiques lui sont alloués), afin d'augmenter les performances économiques et réduire les impacts environnementaux.

C'est dans ce contexte particulier que s'inscrit le projet de recherche Essica. Cofinancé par l'Union européenne dans le cadre du programme de coopération Interreg Alcotra, ce projet s'intéresse spécifiquement à la filière des plantes aromatiques et médicinales entre la France et l'Italie.

Cet ouvrage présente les résultats obtenus au cours des trois années d'expérimentation du projet (2017-2020).

Il se veut être un outil précieux au service des producteurs et des transformateurs de plantes aromatiques et médicinales, des écoles et des centres de formation agricoles et agroalimentaires, et enfin des utilisateurs finaux.

En ce sens, il constitue un véritable instrument de dissémination des principaux enseignements du projet au sein du territoire transfrontalier et, au-delà, de l'Union européenne.



PARTIE 1 : PRÉSENTATION DU PROJET



1.1 UN PROJET DE RECHERCHE AU SERVICE D'UNE FILIÈRE

1.1.1 LE PROJET DE RECHERCHE ESSICA

1.1.1.1 PRÉSENTATION ET OBJECTIFS

Principalement commercialisées sous forme séchées, les plantes aromatiques et médicinales sont exposées à divers procédés thermiques visant à assurer leur qualité, leur sécurité et leur durée de conservation. Mais ces procédés peuvent également altérer leurs propriétés organoleptiques, physiques et chimiques, ou ne pas garantir une qualité bactériologique suffisante.

Ainsi, si les conditions de séchage sont mal maîtrisées, les caractéristiques des plantes peuvent être impactées, entraînant des altérations biochimiques, aromatiques et visuelles. Il en est de même pour les procédés de débactérisation qui peuvent ne pas suffisamment réduire la charge microbienne présente dans les plantes ou altérer leur qualité organoleptique.

Le projet Essica vise à répondre à ces enjeux en vue d'accroître la compétitivité de la filière (producteurs et transformateurs) et obtenir des produits de qualité, conformes aux exigences en matière de sécurité sanitaire des aliments.

D'une durée de 36 mois, le projet a eu pour objectifs de :

- évaluer l'impact de deux technologies de séchage,
- évaluer l'impact de deux traitements de débactérisation,
- évaluer l'impact de nouveaux types d'emballages biodégradables,
- diffuser les résultats des expérimentations auprès des producteurs et des entreprises de la filière des plantes aromatiques et médicinales,
- organiser des formations sur les techniques de séchage, de débactérisation et de conditionnement,
- installer un laboratoire de pointe, au MÚSES, Accademia Europea delle Essenze, à Savigliano, mis à disposition des entreprises de tout le territoire.

Le projet s'est composé de 3 phases d'étude :

- **Phase 1** (2017) : réalisation de plusieurs enquêtes préliminaires dans le but de définir les orientations de la phase 2 (choix des plantes et des technologies) ;
- **Phase 2** (2018 – 2019) : réalisation des expérimentations de séchage, de débactérisation et d'emballage dans les 2 zones (France et Italie), analyse et comparaison des résultats obtenus au cours des 2 années d'essais ;



- **Phase 3** (2020) : Diffusion des résultats obtenus auprès des opérateurs transfrontaliers concernés et organisation de plusieurs journées de formation sur les techniques expérimentées. A noter que le calendrier de réalisation prévisionnel de cette dernière phase a été bousculé par la crise due à la pandémie Covid-19.

Le projet a impliqué la participation de producteurs français et italiens avec une attention particulière aux zones défavorisées et de montagne (Valle Varaita, Alta Valle Grana, Valle Maira, Valle Stura, Parco Alpi Marittime, Alta Langa, Alpes-de-Haute-Provence, Hautes-Alpes, Alpes maritimes) ainsi que des coopératives de transformation des plantes aromatiques et médicinales.

Ainsi, le projet a-t-il également cherché à créer un réseau de producteurs et à encourager ces derniers à échanger les uns avec les autres afin de relever ensemble les défis à venir, en misant sur une économie de plus en plus circulaire et efficace.

Cofinancé au titre de l'axe 1 "Innovation appliquée" du programme Alcotra, le projet Essica a bénéficié pour sa réalisation d'un soutien financier de l'Union européenne à hauteur de 798 279 €, représentant 85 % du coût total du projet (Tableau 4).

Chiffres clés en € :

	BUDGET TOTAL	FEDER	CONTREPARTIES
ITALIE	626 805,00	532 784,24	94 020,76
FRANCE	312 346,80	265 494,78	46 852,02
TOTAL	939 151,80	798 279,02	140 872,78

Tableau 4 : Plan de financement du projet Essica.

1.1.1.2 PARTENARIAT

Le projet Essica est porté par un consortium de recherche composé de partenaires français et italiens, chacun apportant son expertise scientifique, technique et organisationnelle au service de la filière des plantes aromatiques et médicinales (Tableau 5).

RÔLE	NOM	PAYS	RÉGION
Chef de file	Associazione Le Terre dei Savoia (TdS)	Italie	Racconigi, Provincia di Cuneo
Partenaire	Università degli Studi di Torino Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (DISAFA)	Italie	Grugliasco, Provincia di Torino
Partenaire	Centre Régionalisé Interprofessionnel d'Expérimentation en Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales (CRIEPPAM)	France	Manosque, Alpes-de-Haute-Provence
Partenaire	FranceAgriMer (FAM)	France	Volx, Alpes-de-Haute-Provence

Tableau 5 : Membres partenaires du projet Essica.



○ L'association Le Terre dei Savoia

Chef de file du projet Essica, l'association italienne Le Terre dei Savoia (TdS) regroupe 53 communes des provinces de Turin, Cuneo et d'Asti. L'association TdS a en charge la promotion du territoire et la valorisation de ses ressources historiques, culturelles, agroalimentaires et naturelles. Son territoire d'action abrite notamment quatre résidences savoyardes inscrites au patrimoine mondial de l'UNESCO : Pollenzo, Govone, Valcasotto et Racconigi qui abrite le siège de l'association.

Grâce à un maillage territorial de qualité, l'association Le Terre dei Savoia est un pôle de développement où convergent les idées, une plateforme d'échange et de débat tournée vers un horizon commun à savoir transformer les idées en actions concrètes et durables.

S'appuyant sur de solides partenariats dont la plupart conclus avec des pays européens, l'association TdS met en œuvre de nombreux projets de coopération dans les domaines de la culture, du tourisme, des sciences, des arts et de l'agroalimentaire.

Dans le cadre du projet Essica, Le Terre dei Savoia a assuré la coordination du partenariat, la communication interne et externe du projet, la diffusion et la promotion des activités auprès du grand public, la gestion des événements de formation et de vulgarisation, le soutien aux partenaires scientifiques durant les phases opérationnelles du projet ainsi que la création du Laboratoire Essica.

○ DISAFA

DISAFA est le département des Sciences de l'Agriculture, des Forêts et de l'Alimentation de l'Université de Turin qui compte parmi les plus anciennes et plus prestigieuses universités d'Italie. DISAFA conduit des projets de recherche fondamentale et appliquée et propose des formations universitaires de premier, deuxième et troisième cycle dans le domaine des procédés de production et de transformation primaires et sur les interactions entre ces activités, le territoire et l'environnement.

Le groupe de recherche du DISAFA est composé de chercheurs, experts en technologies alimentaires, microbiologie, entomologie et chimie. Il a acquis au fil des ans une grande expertise dans l'étude des procédés de production alimentaire, en particulier dans les techniques de production et de conservation, dans les problématiques physico-chimiques, microbiologiques et entomologiques associées à la conservation, ainsi que dans la caractérisation physico-chimique et microbiologique des aliments.

Dans le cadre du projet Essica, le groupe de travail du DISAFA a coordonné les activités d'expérimentation et de mise au point des techniques innovantes en matière de séchage, de débactérisation et de conservation des plantes aromatiques et médicinales, en particulier l'optimisation des procédés de séchage et de débactérisation.



○ CRIEPPAM

Le Centre Régionalisé Interprofessionnel d'Expérimentation en Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales (CRIEPPAM) est un organisme technique français appartenant à la filière des Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales (PPAM). Créé en 1993, il se situe dans le département des Alpes-de-Haute-Provence (04) à Manosque.

Le CRIEPPAM dispose d'une station d'expérimentation, d'un laboratoire et de serres. En tant que centre de recherche et d'expérimentation spécialisé dans les PPAM, l'expérimentation agronomique constitue son activité principale. Celle-ci comporte plusieurs axes :

- production (sélection variétale, tests de produits phytosanitaires et mécanisation),
- transformation (séchage et distillation),
- sécurisation de la production et de la transformation (conservation génétique, etc.).

En parallèle, l'organisme dispose d'une activité de production de plants sains certifiés. Il s'agit de pieds-mères de lavande et lavandin destinés aux pépinières.

Le Centre a également un rôle de diffusion de l'information par le biais de diverses publications (bulletins technico-économiques et comptes-rendus annuels des essais) et formations, notamment sur les techniques de transformation.

Enfin, le CRIEPPAM réalise des prestations à la demande de producteurs ou d'entreprises (distillation, conception d'installations de séchage, appui technique, etc.).

Le CRIEPPAM travaille avec de nombreux partenaires techniques de la filière : l'Institut technique national des plantes à parfum, aromatiques et médicinales (ITEIPMAI), le Conservatoire National des Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales (CNPMAI), l'INRA, les Universités, le Centre d'Etude et de Développement Durable Euro-méditerranéen (CEDDEM) et FranceAgrimer.

Au sein du projet Essica, le CRIEPPAM a réalisé les essais techniques de séchage et de débactérisation des différentes plantes étudiées ainsi que les analyses des échantillons.

○ FranceAgriMer

FranceAgriMer est l'établissement national des produits de l'agriculture et de la mer. Etablissement public sous tutelle du ministère français de l'Agriculture, il dispose d'une antenne nationale implantée à Volx (Alpes-de-Haute-Provence) spécialisée dans la filière des plantes à parfum, aromatiques et médicinales (PPAM) françaises.



Cette antenne est ainsi l'interlocutrice de l'ensemble des professionnels de la filière PPAM. Elle a pour mission de diffuser les informations sur les marchés, la réglementation, la technique et les avancées scientifiques de la filière. Elle joue également un rôle de partenaire financier, en suivant les dossiers d'attribution des aides financières. Enfin, elle peut apporter un soutien technique aux professionnels de la filière.

Dans le cadre du projet Essica, FranceAgrimer a assuré la coordination des études bibliographiques et techniques ainsi que la réalisation et le suivi de certaines analyses, notamment les analyses sensorielles. Enfin, FranceAgriMer a supervisé le groupe d'activités du projet en charge de la diffusion des résultats et des formations aux opérateurs.

1.1.2. LE PROGRAMME EUROPÉEN INTERREG ALCOTRA

ALCOTRA, Alpes Latines COopération TRAnsfrontalière, est un programme européen de coopération transfrontalière entre la France et l'Italie. Il fait partie du programme de Coopération Territoriale Européenne (CTE) nommé INTERREG, et plus précisément de son volet A : « coopération transfrontalière », (Interreg – Alcotra, 2019).

Alcotra a pour objectif principal d'« améliorer la qualité de vie des populations et le développement durable des territoires et des systèmes économiques et sociaux transfrontaliers, grâce à une coopération touchant l'économie, l'environnement et les services aux citoyens ».

Cet objectif se traduit par des actions concrètes, dont les visées se classent en quatre axes stratégiques: innovation appliquée, environnement mieux maîtrisé, attractivité du territoire et inclusion sociale.

Les actions de coopération franco-italiennes soutenues par Alcotra sont financées par le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER). L'enveloppe d'intervention pour 2014-2020 s'élève à 198,8 millions d'euros, répartie entre les quatre axes stratégiques.

Les bénéficiaires de ce programme européen sont nombreux : il peut s'agir de PME, administrations publiques, organismes de formation, universités et centres de recherche, associations, parcs naturels, chambres consulaires, pôles d'innovation et filières d'entreprises.

Le territoire éligible au programme Alcotra (Figure 1) comprend :

- une partie française : départements de Savoie et Haute-Savoie (région Auvergne Rhône-Alpes), Hautes-Alpes, Alpes-de-Haute-Provence et Alpes maritimes (région Provence-Alpes-Côte d'Azur),
- une partie italienne : provinces de Turin et Cuneo (région Piémont), province d'Imperia (région Ligurie) et région autonome Vallée d'Aoste.





Figure 1 : Zone ALCOTRA - territoires transfrontaliers éligibles, INTERREG-ALCOTRA, 2019.

La mise en œuvre d'Alcotra est assurée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes, en tant qu'Autorité de gestion du programme. Un Secrétariat Conjoint, basé en Italie (Turin), est en charge de l'instruction des dossiers et de leur suivi.

Plus d'information sur : www.interreg-alcotra.eu/fr



1.2 LA DÉMARCHE D'ÉTUDE

1.2.1 THÉMATIQUES DE RECHERCHE

Le projet de recherche Essica a visé trois thématiques de recherche :

- **le séchage** : il s'agissait de comparer un système de séchage par ventilation d'air chaud, dit « traditionnel », à un système de séchage à « air froid », c'est-à-dire sans réchauffement de l'air de séchage ; d'optimiser ce processus de séchage par déshumidification et de comparer ses performances à celles du système « traditionnel » ;
- **la débactérisation** : il s'agissait d'appliquer des techniques innovantes de débactérisation en ayant recours à de l'ozone, de l'eau ozonée et à de l'eau électrolysée ;
- **le conditionnement** : il s'agissait d'étudier l'efficacité de nouveaux types d'emballages à faible impact environnemental et à atmosphère modifiée.

1.2.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL ÉTUDIÉ

Le matériel végétal retenu pour le projet a été sélectionné sur la base d'une évaluation portant sur deux critères :

- la significativité pour le territoire, c'est-à-dire l'importance de la plante pour la zone considérée, à savoir la région Provence-Alpes-Côte d'Azur ou la région Piémont. La sélection des espèces végétales les plus significatives pour chaque région a été réalisée après une étude de marché des plantes aromatiques et médicinales et une enquête auprès de producteurs et transformateurs des deux territoires frontaliers ;
- la significativité pour le projet d'étude, c'est-à-dire l'intérêt des caractéristiques internes de la plante pour le projet de recherche en lui-même.

A partir de l'évaluation de ces critères et des conclusions des rapports d'enquête, les plantes suivantes (Tableau 6) ont été sélectionnées pour la réalisation des essais techniques :

FRANCE	ITALIE
Thym (Thymus vulgaris L.)	Menthe (Menta piperita L./ Mentha spicata L.)
Origan (Origanum vulgare L.)	Mauve (Malva silvestris L.)
Mélisse (Melissa officinalis L.)	Mélisse (Melissa officinalis L.)
Sarriette (Satureja montana L.)	Sarriette (Satureja hortensis L.)

Tableau 6 : Matériel végétal étudié par chaque partenaire technique du projet.



Dans le but de pouvoir comparer certains résultats obtenus par les partenaires français et italiens, 2 plantes communes ont été étudiées simultanément dans les 2 zones : la sarriette et la mélisse. Pour la sarriette, il convient de préciser qu'il s'agissait de 2 espèces différentes : *Satureja montana* L. pour la France et *Satureja hortensis* L. pour l'Italie.

1.2.3 PARAMÈTRES D'ÉVALUATION ET PROTOCOLES

Les différents procédés de séchage, de débactérisation et de conditionnement expérimentés dans le cadre du projet ont été évalués au regard des paramètres suivants :

- l'impact sur les populations entomologiques,
- l'impact sur la charge microbologique,
- l'impact sur la composition physico-chimique et l'activité antioxydante,
- l'impact sur la quantité et la composition en huiles essentielles,
- l'impact sur le profil sensoriel des végétaux.

De nombreuses analyses ont donc été réalisées selon les protocoles ci-après.

NB : il convient de noter que toutes les analyses n'ont pas forcément été réalisées sur toutes les matrices ou pour toutes les modalités.

1.2.3.1 Analyse entomologique

Chaque échantillon de plante aromatique et médicinale a été observé au stéréo-microscope afin d'évaluer son niveau d'infestation, selon les modalités suivantes :

- 100 g de matériel frais,
- 50 g de matériel séché à air chaud,
- 50 g de matériel séché à air froid.

Pour chaque insecte trouvé, l'ordre, la famille et l'espèce taxonomiques des spécimens, ainsi que leur état, ont été relevés à l'aide de manuels appropriés et de clés de détermination.

S'agissant des essais de débactérisation, qui ont aussi des effets de désinsectisation, l'analyse entomologique a porté sur 3 espèces d'insectes nuisibles : *Lasioderma serricornis* (coléoptère de la famille des Ptinidae), *Tribolium castaneum* (coléoptère de la famille des Tenebrionidae) et *Plodia interpunctella* (lépidoptère de la famille des Pyralidae).



PARTIE 1 : PRÉSENTATION DU PROJET

Ces insectes sont notamment décrits dans la littérature scientifique comme les principaux insectes nuisibles présents dans les entrepôts.

Per valutare gli effetti delle diverse tecniche di debatterizzazione, è stato misurato il tasso di sopravvivenza degli Pour évaluer les effets des différentes techniques de débactérisation, le taux de survie des insectes a été mesuré avant et après traitement au cours des 4 macro-expériences décrites ci-après :

- **Expérience n°1.** Des *T. castaneum* adultes ont été exposés pendant 30 minutes à différentes concentrations d'ozone afin d'évaluer l'effet du traitement sur leur vitalité et leur survie en fonction de la matrice (mauve, mélisse, menthe, origan, sarriette ou thym), de la méthode de séchage (à froid ou à chaud) et de la concentration en ozone (0, 5, 10 ou 100 ppm) ;
- **Expérience n°2.** Pour cette expérience, le générateur d'ozone a été raccordé à un séchoir à froid. Ce test sur *T. castaneum* n'a été réalisé que pour une seule matrice, la mauve. Les insectes ont été exposés à des concentrations d'ozone de 0 et 100 ppm pendant 4, 24 et 48 heures ;
- **Expérience n°3.** Différentes concentrations et durées d'exposition ont été testées sur des *L. serricornis* et *T. castaneum* adultes ainsi que sur des larves de *P. interpunctella*. Le mélange testé était composé d'1 g de substrat mixte de plantes séchées et d'1 g de farine. 6 valeurs de CT (Concentration x Temps) ont été testées et comparées au témoin non traité (14.400, 28.800, 72.000, 144.000, 288.000, 432.000 ppm x min) ;
- **Expérience n°4.** Des *L. serricornis* et des *T. castaneum* adultes sur matrice de mélisse fraîche ont été plongés pendant 1 minute dans de l'eau électrolysée agitée avec différentes concentrations (0, 100, 200, 400, 2.000 ppm).



1.2.3.2 ANALYSE MICROBIOLOGIQUE

L'analyse microbiologique a porté sur les paramètres analytiques suivants (Tableau 7) :

ECHANTILLONS FRAIS	ECHANTILLONS SECS
Microorganismes à 30°C	Microorganismes à 30°C
Levures moisissures	Levures moisissures
Entérobactéries présumées	Entérobactéries présumées
Bacillus cereus présomptifs	Bacillus cereus présomptifs
	Escherichia coli
	Clostridium perfringens
	Salmonella spp.
	Listeria monocytogenes

Tableau 7 : Critères microbiologiques étudiés sur échantillons frais et secs.

Pour chaque plante et chaque modalité, un échantillon frais et un échantillon sec ont été analysés. Les résultats de la charge microbienne ont été exprimés en unités de colonies par gramme de plante (UFC/g) par rapport au poids sec.

En France, les analyses microbiologiques ont été réalisées par le laboratoire vétérinaire des Alpes-de-Haute-Provence (04).

En Italie, les analyses microbiologiques pour les échantillons italiens ont été réalisées par le laboratoire DISAFA.

1.2.3.3 ANALYSE DE LA COMPOSITION PHYSICO-CHIMIQUE ET DE L'ACTIVITÉ ANTIOXYDANTE

Un dosage des polyphénols présents dans les plantes a été réalisé à l'aide de la méthode de Folin-Ciocalteu avec lecture à 700 nm, et exprimé en mg d'acide gallique/g d'échantillon sec. L'activité antioxydante a, quant à elle, été mesurée à l'aide du test DPPH et exprimée en μmol de Trolox/g d'échantillon sec.

Ces tests ont été réalisés en interne par le laboratoire DISAFA. Une analyse des macro-composants et de la teneur en ochratoxines, métaux lourds et produits phytopharmaceutiques a également été réalisée sur les plantes italiennes séchées à froid.

Ces analyses ont été réalisées par le laboratoire Bioleader srl.



PARTIE 1 : PRÉSENTATION DU PROJET

1.2.3.4 ANALYSE DE LA QUANTITÉ ET DE LA COMPOSITION EN HUILES ESSENTIELLES

Afin d'évaluer un éventuel impact du type de séchage sur la quantité et la composition en huiles essentielles, une hydrodistillation d'une durée de 2 heures a été réalisée :

- pour chaque plante fraîche testée,
- pour chaque modalité de séchage (chaud et froid),
- pour chaque modalité de débactérisation.



Figure 2 : Montage d'hydrodistillation de type Clevenger, CRIEPPAM.

A l'état frais, la plante entière a été distillée (tiges et feuilles), tandis qu'à l'état sec uniquement les feuilles ont été distillées (après l'étape de battage).

Les plantes et l'eau ont été mélangées dans le ballon. La quantité d'eau a varié en fonction de la quantité de végétal à distiller (800 ml ou 1 litre).



La quantité d'huile essentielle extraite a été déterminée par lecture de la burette graduée du montage d'hydro-distillation. La teneur a ensuite été exprimée en ml d'huile essentielle pour 100 g de matière sèche :

$$T = (V/Ms) \times 100.$$

V : Volume d'huile essentielle recueilli (ml)

Ms : Masse végétale sèche (g)

L'huile essentielle a été recueillie dans des flacons de 2,5 ml et stockée à l'obscurité dans un réfrigérateur (+4°C) avant d'être envoyée au laboratoire d'analyses.

Les analyses ont été réalisées par le laboratoire Pyrénéssences Analyses (11) en chromatographie gazeuse dans le respect de la norme NF ISO 11024.

1.2.3.5 ANALYSES SENSORIELLES

○ **Analyses des différences et des préférences**

Cette analyse a eu pour objectifs de :

- déterminer s'il existait des différences visuelles et olfactives entre les diverses modalités de séchage et de débactérisation testées,
- classer les échantillons par ordre de préférence (dans le cas où des différences étaient effectivement perceptibles).

Pour répondre à ces objectifs, deux tests ont été réalisés :

- un test de différence, le test duo-trio ;
- un test de préférence : test hédonique de classement (pour la couleur, l'odeur et la préférence générale).



PARTIE 1 : PRÉSENTATION DU PROJET

La **Figure 3** représente un exemple de fiche de test duo-trio.

TEST duo-trio

Prénom Nom Post

Date

Un produit témoin (T) vous a été présenté

Après examen, indiquez lequel des deux produits

952 168

suivants est ÉGAL au témoin

Un échantillon qui, à votre avis, est ÉGAL au témoin ?

Pourquoi ?

Merci de choisir l'échantillon que vous préférez en terme d'ASPECT.

952 168

Merci de choisir l'échantillon que vous préférez en terme d'ODEUR.

952 168

Merci de choisir l'échantillon que vous préférez GLOBALEMENT.

952 168

Figure 3 : Exemples de fiches utilisées pour le test duo-trio.

Le test duo-trio a été réalisé dans le respect de la norme UNI 10399/2010 avec $\alpha = 0.2$ pour l'Italie et 0.05 pour la France ; $\beta = 0.05$; $pd = 50\%$.

Le risque α tient à la probabilité de conclure à une différence perceptible alors que ladite différence, en réalité, n'existe pas (erreur dite « erreur statistique de type I ») ; le risque β tient à la probabilité de conclure qu'il n'existe pas de différence perceptible alors qu'en réalité, il en existe une (erreur dite « erreur statistique de type II »). Le coefficient pd représente le pourcentage de dégustateurs à avoir décelé une différence entre les deux produits testés. Une valeur basse a été attribuée à β afin d'éviter l'erreur de type II, plus grave que l'erreur de type I.

En Italie, le panel était composé de dégustateurs expérimentés âgés de 22 à 60 ans. Il a en outre été demandé aux dégustateurs d'indiquer sur quel paramètre s'appuyait leur réponse ou quelle caractéristique des produits dégustés avait retenu leur attention, en insistant sur les éventuels défauts du produit.

En France, l'analyse sensorielle a été confiée par FranceAgrimer au pôle agroalimentaire de l'ISA de Lille. Le panel était composé de dégustateurs âgés de 18 à 60 ans et plus.

Les panels recrutés pour l'analyse étaient différents entre les 2 tests pratiqués :

- pour le test duo-trio, il s'agissait d'un panel de 33 dégustateurs expérimentés,
- pour le test de préférence, les panelistes, au nombre de 20, étaient des consommateurs naïfs.



○ Analyse de la couleur

L'évaluation colorimétrique a été réalisée à l'aide d'un spectrocolorimètre Minolta utilisé hors mode réflexion avec les coordonnées CIELab.

La coordonnée L tend vers le blanc pour les valeurs positives ou vers le noir pour les valeurs négatives, la coordonnée a* tend vers le rouge pour les valeurs positives ou vers le vert pour les valeurs négatives, tandis que la coordonnée b* tend le jaune pour les valeurs positives ou vers le bleu pour les valeurs négatives.

L'écart de couleur entre les produits est exprimé par l'indice Delta E, avec une valeur limite maximale de 2.5.

○ Analyse des composés volatils

La composante gazeuse a été évaluée à l'aide d'un nez électronique. Le nez électronique est un outil composé d'un ensemble de capteurs électro-chimiques à spécificité partielle et d'un système de relevé approprié qui permet d'isoler et d'identifier des odeurs complexes (Gardner et Barlett, 1994).

Le test a été réalisé à l'aide d'un nez électronique PEN3 (Airsense Analytics, Milan, Italie), équipé de 10 capteurs à thermostat dont la réponse est exprimée en conductance relative (G/Go) à un moment précis de mesure (avec Go comme valeur de référence, soit la conductance initiale) (Figure 4).



Figure 4 : Nez électronique PEN 3.



PARTIE 1 : PRÉSENTATION DU PROJET

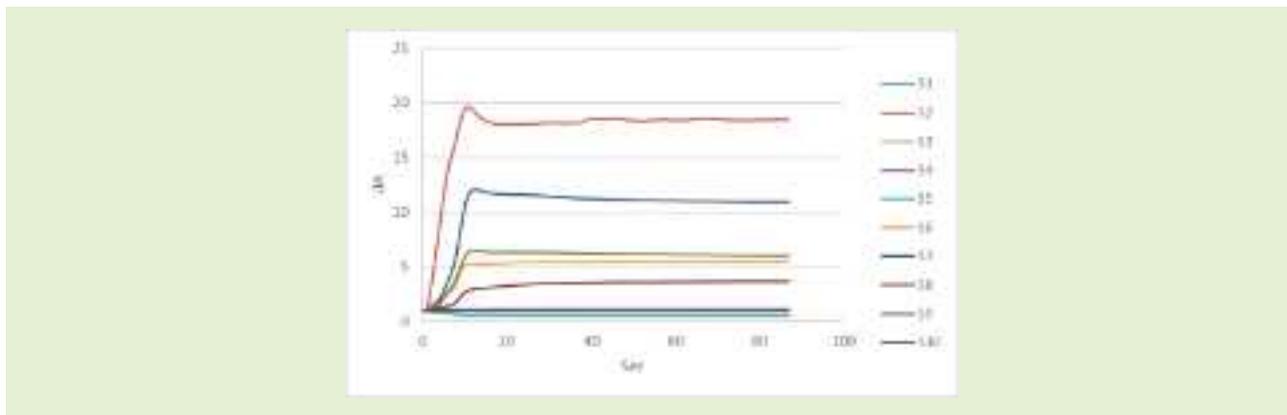
Les 10 capteurs sont plus ou moins sensibles à certains groupes de molécules, notamment :

S1 Hydrocarbures aromatiques	S6 Capteur à large spectre + méthane
S2 Capteur à large spectre	S7 Composés organosulfurés
S3 Hydrocarbures aromatiques	S8 Capteur à large spectre + alcool
S4 Composés hydrogénés	S9 Analytes contenant du soufre et du chlore
S5 Hydrocarbures aromatiques et aliphatiques	S10 Hydrocarbures aliphatiques + méthane

Concrètement, 2 g de produit ont été déposés dans des fioles refermables de 50 ml, équipées d'un septum perçable en silicone et traitées thermiquement à température ambiante pendant 60 minutes jusqu'à saturation de l'espace de tête en analytes gazeux.

Le signal des capteurs a été mesuré pendant 90 secondes, avec un débit d'aspiration de 400 ml/minute.

La **Figure 5** représente un exemple de tracés enregistrés par les 10 capteurs du nez électronique pour un échantillon donné.



UA : Unité arbitraire du signal électrique.

Figure 5 : Exemple de profil relevé à l'aide du nez électronique.

Pour la phase statistique suivante, les aires situées sous chacune des courbes ont été prises en considération et calculées à l'aide de la méthode de Stevin ou méthode des trapèzes.

L'utilisation du nez électronique PEN3 pour les plantes aromatiques n'ayant jamais été référencée dans les bases de données scientifiques consultées, la méthode d'analyse a été élaborée et améliorée en interne.



PARTIE 2 : LE SÉCHAGE DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES



2.1 RAPPEL DES PRINCIPES DE SÉCHAGE

On entend par « séchage », l'extraction de liquide d'un solide par évaporation. Le but du séchage est de réduire la quantité d'eau contenue dans le solide au point d'inhiber le développement des micro-organismes et d'empêcher ou de réduire au minimum l'activité enzymatique et les dégradations chimiques ; l'ensemble permettant donc la conservation du produit séché.

En effet, lorsque le taux d'humidité est très bas, les micro-organismes ne parviennent pas à se multiplier. Précisons néanmoins que le développement des micro-organismes dépend davantage de la disponibilité de l'eau, c'est-à-dire de son coefficient d'activité (A_w), que de la quantité d'eau absolue. Lorsque la valeur du coefficient A_w est inférieure à 0.75, la plupart des micro-organismes voient leur développement inhibé. À 0.61, seules quelques levures osmophiles sont à même de survivre.

Cette élimination s'effectue en général à des températures inférieures au point d'ébullition, bien qu'il existe des techniques applicables à des températures supérieures à ce point.

D'un point de vue physique, le séchage est un transfert convectif, simultané et interdépendant de matière et de chaleur entre l'air et le produit. Il est conditionné par les coefficients de transfert thermique au niveau de l'interface produit/air. Ce transfert convectif entraîne, et résulte lui-même, d'un transfert moléculaire de chaleur (conduction) et de matière (diffusion) à l'intérieur du produit.

Au cours du séchage d'un solide, deux procédés ont lieu :

- un transfert de chaleur vers le liquide à évaporer,
- un transfert de masse sous forme de liquide ou de vapeur à l'intérieur du solide et sous forme de vapeur en surface.

Les facteurs qui déterminent la vitesse de ces deux procédés déterminent la vitesse du séchage.

Dans les systèmes de séchage traditionnels, le transfert de chaleur s'effectue par convection, conduction, rayonnement ou un mélange des trois. Dans tous les cas, la chaleur doit atteindre la surface du solide puis être transférée à l'intérieur de celui-ci.

Le transfert de masse s'effectue sous forme de liquide ou de vapeur à l'intérieur du solide et sous forme de vapeur au niveau des surfaces exposées. En principe, le déplacement de matière à l'intérieur de la matrice solide est provoqué par un gradient de concentration.

La vitesse de séchage dépend donc :

- des coefficients de transfert de chaleur et de masse,



- de la superficie exposée au séchage,
- de la différence de température ou d'humidité entre le courant d'air et la surface du produit à sécher.

Par ailleurs, la vitesse de séchage est directement proportionnelle à la diffusivité du matériel et au volume d'eau libéré et inversement proportionnelle au carré de l'épaisseur du produit.

La durée du procédé est donc proportionnelle au carré de l'épaisseur, d'où la nécessité de limiter l'épaisseur de produit à sécher.

Ces dernières années, les consommateurs ont exprimé une forte demande en faveur de produits séchés de haute qualité offrant des caractéristiques nutritionnelles, structurelles et sensorielles équivalentes à celles des produits frais. Malheureusement, le séchage à haute température modifie le produit à plusieurs égards : oxydation, changement de couleur, durcissement ou encore perte en valeur nutritionnelle. Ces changements sont directement liés aux conditions de séchage et sont d'autant plus marqués que la température de séchage est élevée.

Le séchage à basse température a récemment été introduit pour limiter ces modifications ; cette technique permet d'éliminer l'eau à température ambiante ou à température plus basse.

Le principe du séchoir à froid consiste à déshydrater l'air au moyen d'une installation réfrigérante, et ainsi tirer profit de l'écart de température entre la température ambiante et la température du gaz frigorigène.

Le système permet de propulser de l'air déshydraté sous la grille du fond ou sous le conteneur (type caisson). La déshydratation s'effectue alors par le bas avec le séchage de la couche inférieure de produit. L'eau contenue dans la plante s'évapore et vient humidifier et rafraîchir la couche supérieure de produit. La réaction en chaîne produite par ce phénomène permet d'abaisser la température des couches supérieures jusqu'à 15-18°C.

Ce procédé, qui n'est pas utilisé dans le cadre du séchage à chaud, permet d'humidifier les couches supérieures de produit en phase de séchage, favorisant ainsi l'ouverture des pores ou stomates et, par là même, l'évacuation de l'humidité.

Ce système de déshydratation présente plusieurs avantages :

- possibilité de filtrer l'air en circulation,
- température de séchage non excessive,
- air déshydratant à taux d'humidité très faible,
- appareil très compact,
- aucun rejet d'air humide, d'où une meilleure conservation des arômes et parfums du produit,
- possibilité d'utiliser l'eau d'extraction pour l'alimentation, la cosmétique ou la parfumerie.



2.2 ESSAIS DE SÉCHAGE

2.2.1 PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES DE SÉCHAGE UTILISÉES

2.2.1.1 SÉCHOIR PAR VENTILATION D'AIR CHAUD DIT "SÉCHAGE TRADITIONNEL".

Le séchoir utilisé en France pour les essais est un séchoir expérimental auto-construit par le Crieppam, d'une capacité de 10 kg de plantes fraîches.

Le dispositif se compose d'un cylindre en métal, dont l'extrémité inférieure comprend une grille, sur laquelle est disposée la couche de végétal à sécher. Le dispositif comprend 2 séchoirs indépendants (Figure 6), qui permettent de faire des comparaisons de modalités.

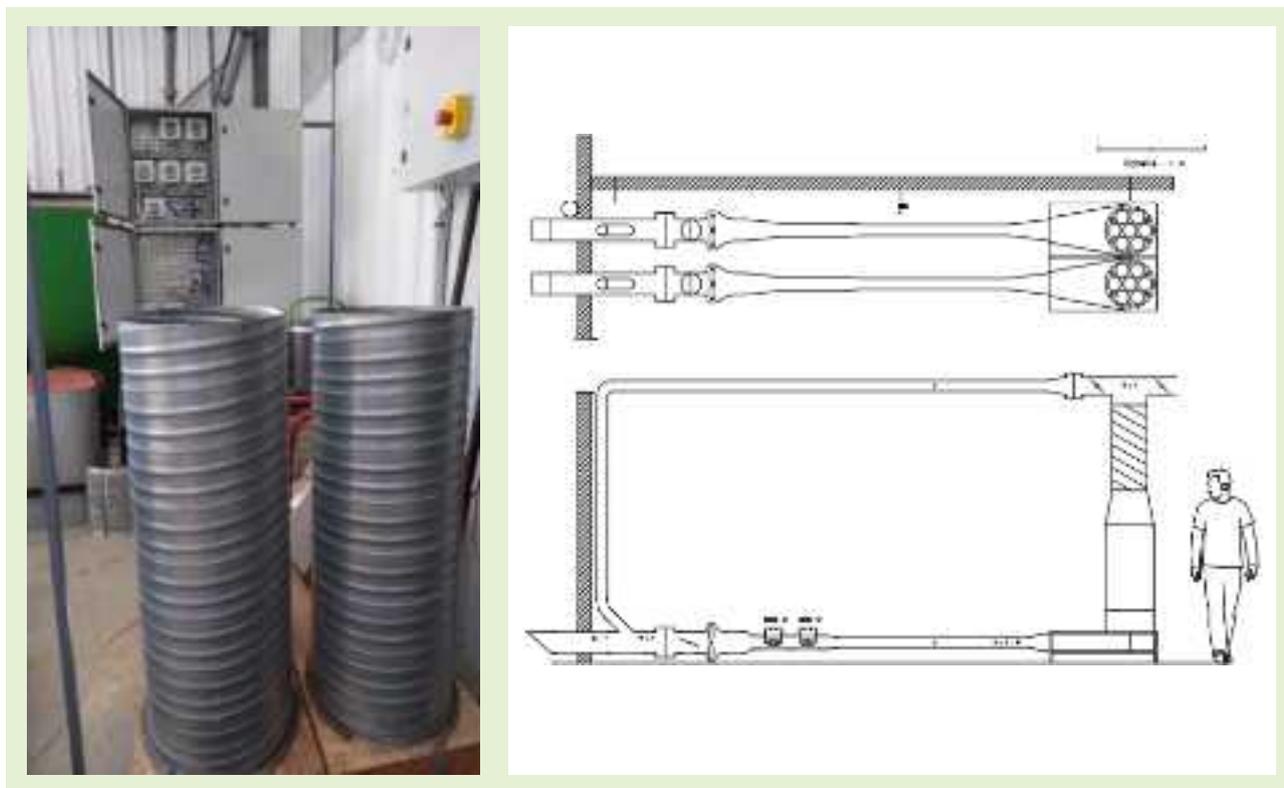


Figure 6 : Dispositif de séchage expérimental pour la modalité de séchage « traditionnel », CRIEPPAM.



En Italie, un séchoir à air forcé a été utilisé pour la réalisation des tests (Figure 7).



Figure 7 : Séchoir à air forcé utilisé en Italie, DISAFA.

2.2.1.2 SÉCHOIR PAR DÉSHUMIDIFICATION : "SÉCHAGE À FROID"

Le système de séchage utilisé pour la modalité de séchage « à froid » est un déshumidificateur par condensation.

Cette technologie a été retenue par le Comité de Pilotage du projet Essica suite à une étude bibliographique réalisée par le CTCPA.

Il s'agit à priori du dispositif le plus pertinent pour répondre aux enjeux principaux de l'étude : préservation des qualités organoleptiques du produit et réduction de la consommation énergétique.

PARTIE 2 : LE SÉCHAGE DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES

Le séchoir utilisé est un déshumidificateur de la technologie Cold Drying de Northwest Technologies :

- modèle NWT35 pour les essais réalisés en France (Figure 8).
- modèle NWT100 pour les essais réalisés en Italie (Figure 9) ;



Figure 8 : Déshumidificateur de marque Northwest Technologies NWT35, CRIEPPAM.

Figure 9 : Déshumidificateur de marque Northwest Technologies NWT100, Le Terre dei Savoia.



2.2.2 BATTAGE DES PLANTES APRÈS SÉCHAGE

A la fin du séchage, les plantes testées en France ont été battues afin de séparer les tiges des feuilles. La batteuse utilisée est une batteuse à poste fixe de la marque italienne CICORIA (Figure 10). Côté italien, les plantes ont directement été broyées entières, sans battage.



Figure 10 : Batteuse stationnaire (PLOT 2375) utilisée, CRIEPPAM.



2.2.3 PLAN D'EXPÉRIENCE DES ESSAIS DE SÉCHAGE

Deux modalités de séchage ont été testées : « séchage traditionnel » et « séchage à froid ».

Le principal paramètre qui distingue ces deux modalités est la température. En conséquence, le temps de séchage était variable.

En France, 3 tests préliminaires ont été réalisés en 2018 afin de fixer les paramètres d'expérience et un essai final en 2019 pour obtenir les résultats définitifs.

Les conditions de température retenues étaient les suivantes :

- 40°C pour le séchage traditionnel,
- 20°C pour le séchage à froid,
- 2 répétitions ont été réalisées pour chaque plante.

En Italie, les tests de séchage ont été réalisés sur deux récoltes (2018 et 2019) selon le même protocole que celui suivi en France.

Dans les deux régions de production, les plantes ont été séchées immédiatement après récolte afin d'éliminer les effets liés à la conservation et ont été conservées sous vide, dans l'obscurité, à basse température (hormis au moment des analyses).

Lorsqu'il s'est agi de mettre en évidence les effets liés à l'année de récolte ou à la zone de culture, les deux groupes de travail ont utilisé les mêmes séchoirs à basse température.

D'après l'AFNOR, qui définit les normes concernant les plantes à usage aromatique, l'humidité maximale des plantes à la fin du séchage doit être de 12 % (ITEIPMAI, 1995). Cette valeur a donc été retenue comme objectif de séchage.

Rappel des plantes testées :

	FRANCE	ITALIE
Mauve		X
Menthe		X
Mélisse	X	X
Sarriette	X	X
Origan	X	
Thym		



2.3 RÉSULTATS DES ESSAIS DE SÉCHAGE

2.3.1. IMPACT DES MODES DE SÉCHAGE SUR LA STRUCTURE INTERNE DES PLANTES

Afin de mettre en évidence l'impact des procédés de séchage sur la structure interne des végétaux, l'association Le Terre dei Savoia a confié au Conseil National de la Recherche (CNR) - Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante (IPSP) la réalisation d'une étude ad-hoc, dont les résultats sont présentés ci-après.

2.3.1.1 PROTOCOLE D'ÉTUDE

Après une phase de tests préliminaires, l'étude réalisée par l'IPSP a porté sur les échantillons suivants :

# ÉCHANTILLON	DÉSIGNATION DE L'ÉCHANTILLON
1	Mauve fraîche A
2	Mauve séchage traditionnel B
3	Mauve séchage à froid C
4	Mélisse fraîche A
5	Mélisse séchage traditionnel B
6	Mélisse séchage à froid C
7	Menthe fraîche A
8	Menthe séchage traditionnel B
9	Menthe séchage à froid C
10	Sarriette fraîche A
11	Sarriette séchage traditionnel B
12	Sarriette séchage à froid C

Tous les échantillons (1/2/3/4/5/6/7/8/9/10/11/12) ont été enrobés de résine selon le protocole standard suivant : fixation en glutaraldéhyde 2,5 % dilué en tampon phosphate 10 mM pH 7,2 - post-fixation en tétraoxyde d'osmium 1 % dilué en tampon phosphate 10 mM pH 7,2 - déshydratation (bains d'éthanol à concentration croissante (30, 50, 70, 90, 100 %), acétone 100 %) - infiltration progressive de résine Epon/Araldite - polymérisation à chaud (étuve à plus de 60°), 10 répliques ont été réalisées pour chaque échantillon (une réplique correspond à un fragment de feuille), soit 120 blocs au total.



Les blocs ont été ensuite découpés à l'ultramicrotome puis montés en tranches semi-fines d'1 µm d'épaisseur et colorés au bleu de toluidine pour être observés au microscope optique et photographies numériques (Figures 11, 12, 13, 14).

Parmi les répétitions de chaque plante, au moins un échantillon a été sélectionné pour découpage en tranches ultrafines de 0,05 µm et contrastées à l'acétate d'uranyle et au citrate de plomb (contraste standard). Elles ont été ensuite observées au microscope électronique (ME) Philips CM10 (Figures 15, 16, 17, 18, 19).

2.3.1.2 OBSERVATIONS SUR LA STRUCTURE INTERNE DES VÉGÉTAUX

○ Observation des tranches semi-fines

L'observation des tranches semi-fines a permis de constater que les techniques de séchage avaient un impact sur les échantillons examinés.

Alors que les feuilles fraîches (utilisées comme témoins) possèdent toutes une structure caractéristique à épiderme supérieur/inférieur et mésophylle avec, bien entendu, de légères variations d'une espèce à l'autre, les feuilles séchées présentent des modifications des contours des cellules et de la disposition des chloroplastes à leur périphérie.

Pour la mauve, les observations révèlent que les deux méthodes de séchage ont un impact différent. En effet, il semblerait que la méthode de séchage traditionnel (B) ait un impact moindre sur la structure des cellules de la feuille que le séchage à froid (C).

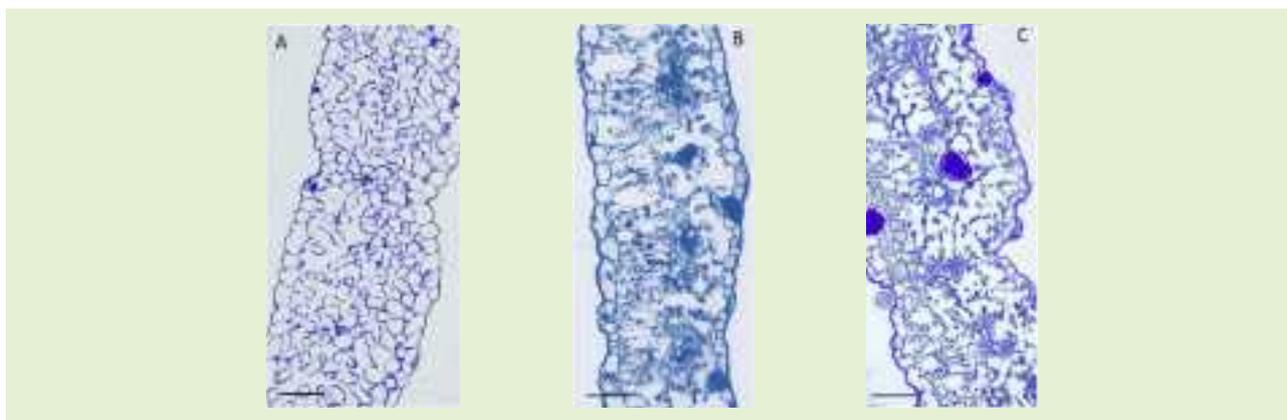


Figure 11 : Tranches semi-fines de mauve observées au microscope optique (A : plante fraîche, B : plante séchée air chaud, C : plante séchée air froid).

PARTIE 2 : LE SÉCHAGE DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES

Pour la mélisse, on constate un effet sur les cellules de l'épiderme, dont les parois cellulaires deviennent ondulées, en particulier les échantillons séchés de manière traditionnelle (B). En revanche, au niveau interne, les cellules très endommagées par le séchage n'ont révélé aucune différence entre les deux méthodes.

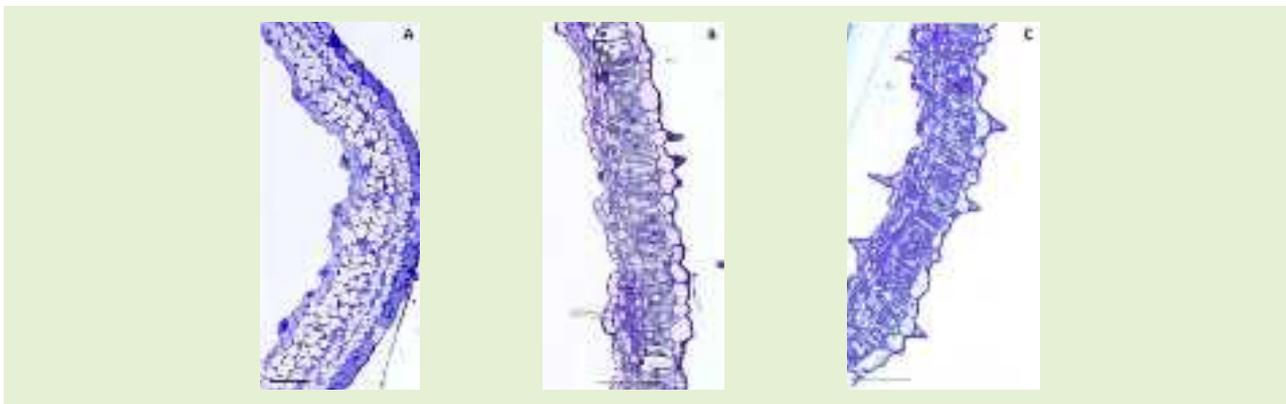


Figure 12 : Tranches semi-fines de mélisse observées au microscope optique (A : plante fraîche, B : plante séchée air chaud, C : plante séchée air froid).

Pour la menthe, aucune différence n'a été constatée entre les deux échantillons de menthe séchée, du moins pas d'après l'observation des coupes semi-fines.

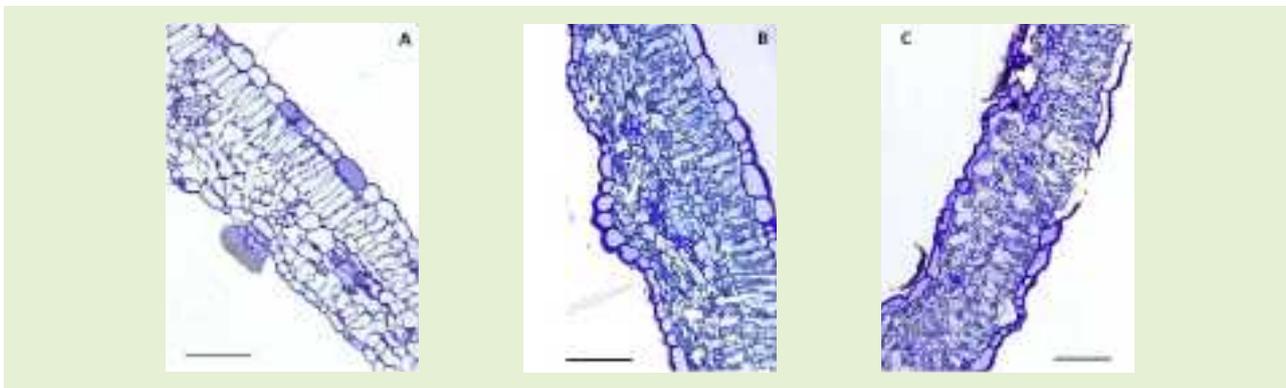


Figure 13 : Tranches semi-fines de menthe observées au microscope optique (A : plante fraîche, B : plante séchée air chaud, C : plante séchée air froid).



Pour la sarriette (*Satureja hortensis* L.), sa feuille apparaît comme la plus endommagée par le séchage, et ce quelle que soit la méthode employée - sans doute en raison de sa petite taille.

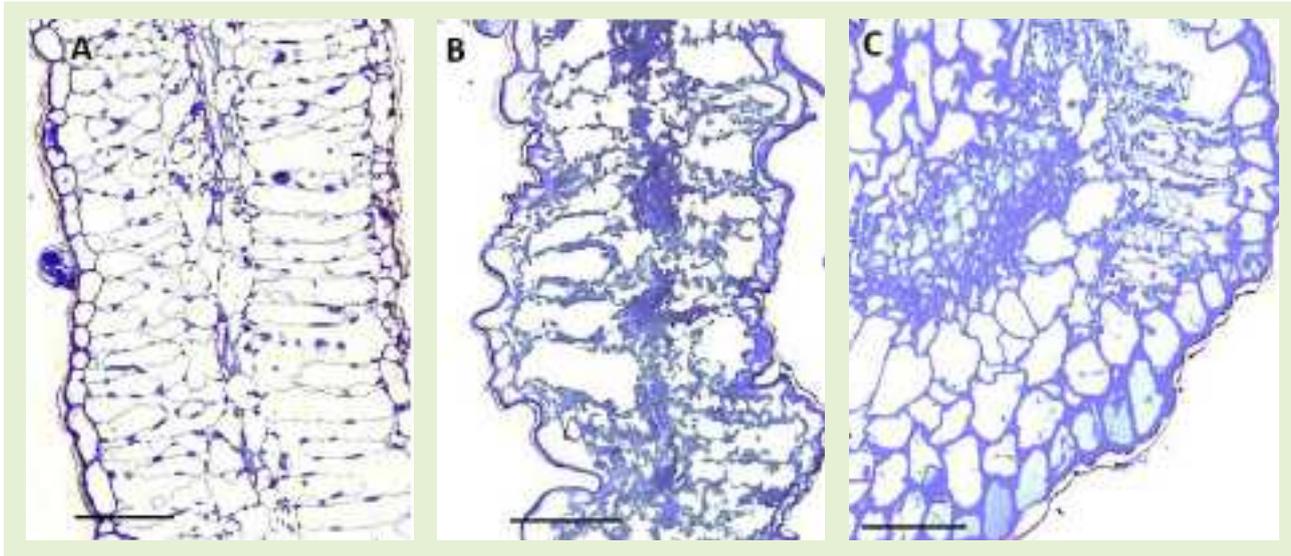


Figure 14: Tranches semi-fines de sarriette observées au microscope optique (A : plante fraîche, B : plante séchée air chaud, C : plante séchée air froid).

○ Observation des tranches fines

N'ayant pas, à ce stade, observé de différences entre tranches semi-fines d'échantillons d'une même espèce par rapport au traitement, il a été procédé au découpage et à l'observation au microscope électronique (ME).

Pour la mauve, les résultats ont permis d'observer (Figure 15) que le procédé de séchage, quelle que soit la méthode employée, modifie la position caractéristique des chloroplastes (chl) autour de la paroi cellulaire, contrairement à ce que l'on observe en A, C.

Dans les deux groupes d'échantillons séchés (séchage traditionnel : D, E, F et séchage à froid : G, H, I), on observe distinctement une concentration des chloroplastes dans la zone centrale de la cellule ainsi qu'une dispersion des plastoglobules (p) en raison de l'éclatement des protoplastes ; cette dernière étant particulièrement visible sur les échantillons séchés de manière traditionnelle.



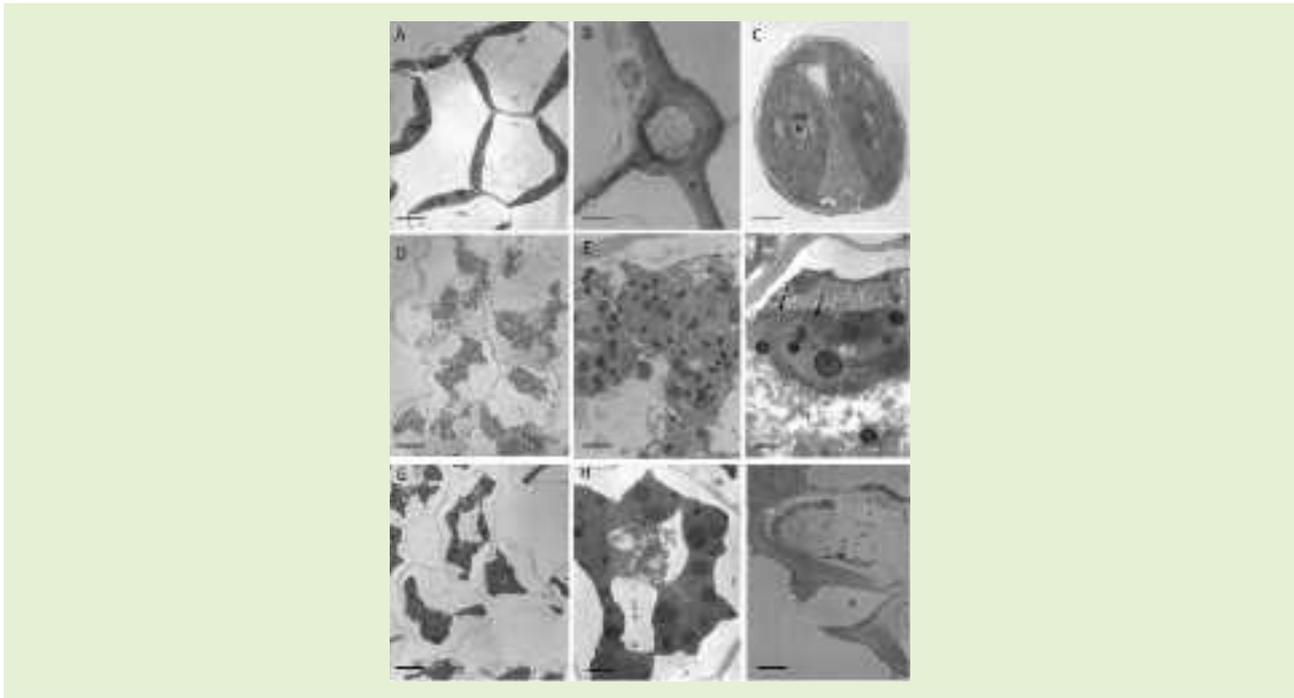


Figure 15 : Tranches fines de mauve observées au microscope électronique.

On observe ainsi une autre caractéristique des chloroplastes, qui semblent se réunir pour former une masse à l'intérieur de la cellule, quelle que soit la méthode de séchage employée.

Sur l'échantillon séché de manière traditionnelle, les chloroplastes présentent un nombre élevé de plastoglobules (p) et semblent fortement endommagés, mais les membranes des thylakoïdes sont bien visibles (flèches). Sur l'échantillon séché à froid, les chloroplastes et plastoglobules ont un aspect différent, ce qui laisse penser qu'il ne s'agit pas de sénescence cellulaire.

Les échantillons de mauve séchée de manière traditionnelle et de mauve séchée à froid révèlent la présence d'un champignon pathogène du genre *Puccinia* (Figure 16 A, B). Les téléospores de ce champignon (que l'on distingue aussi au stéréoscope sous la forme de pustules à la surface des feuilles séchées) se retrouvent dans les tranches semi-fines et fines (Figure 16 C, D, E). Les hyphes fongiques (F) sont notamment visibles au ME entre les cellules de la plante. Ce genre de champignon étant fréquemment associé à la mauve, il est probable que sa présence soit antérieure au séchage.



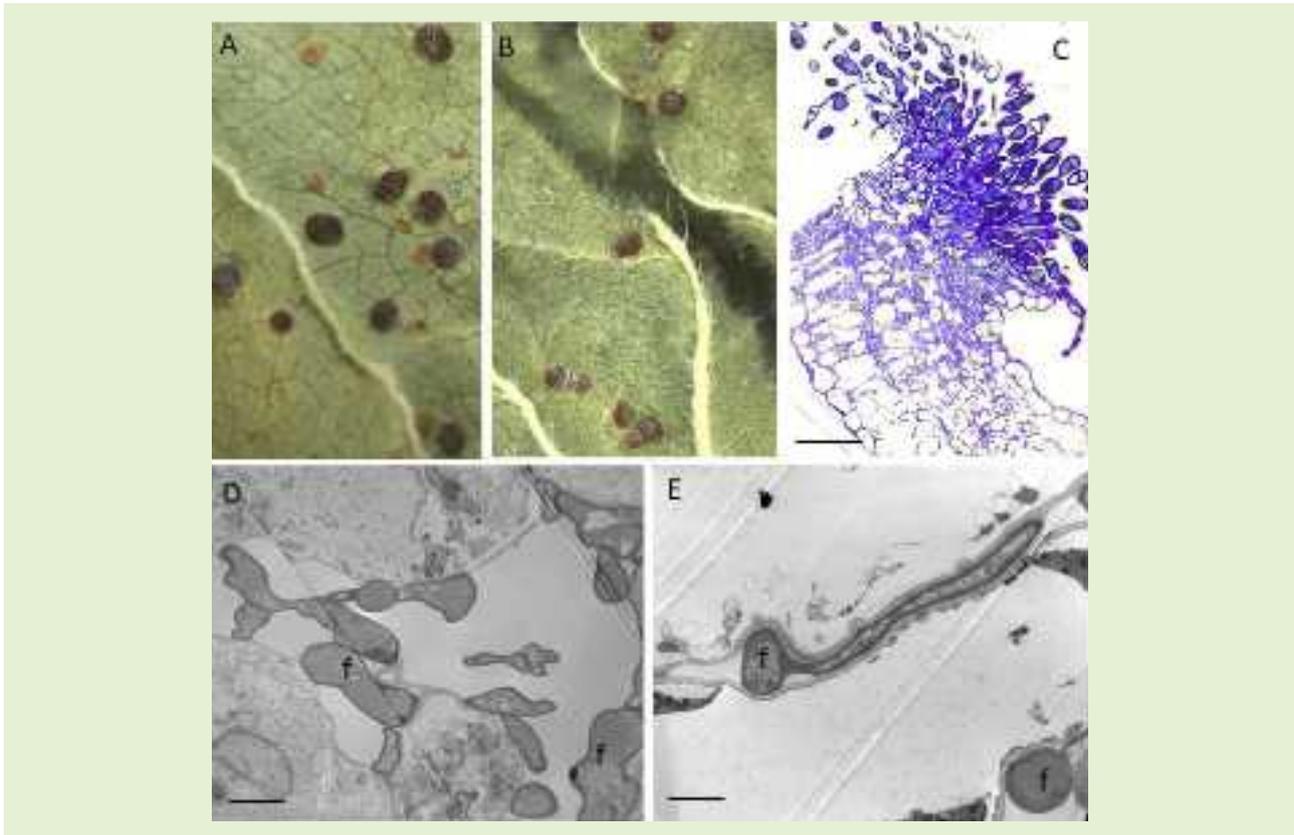


Figure 16 : Tranches fines de mauve observées au microscope électronique et contamination fongique.

Pour la mélisse, les cellules des feuilles fraîches semblent être bien conservées, avec la présence de nombreux chloroplastes (chl), noyaux (n), et vacuoles (v) (Figure 17 A, B). Sur la photographie C, on aperçoit un stomate et deux cellules de garde dans lesquelles on retrouve les organites en bon état de conservation. Après séchage, les chloroplastes semblent fortement endommagés et les cellules de garde des stomates (image E) ne présentent pas tous les organites visibles dans les feuilles fraîches (image C). On observe également de nombreuses vésicules de petite taille qui proviennent probablement du plasmalemme ou du tonoplaste (membrane de la vacuole) suite au séchage (astérisque). Ces vésicules sont particulièrement nombreuses dans les échantillons séchés à froid (F), ce qui suggère que les deux méthodes de séchage ont un impact différent.



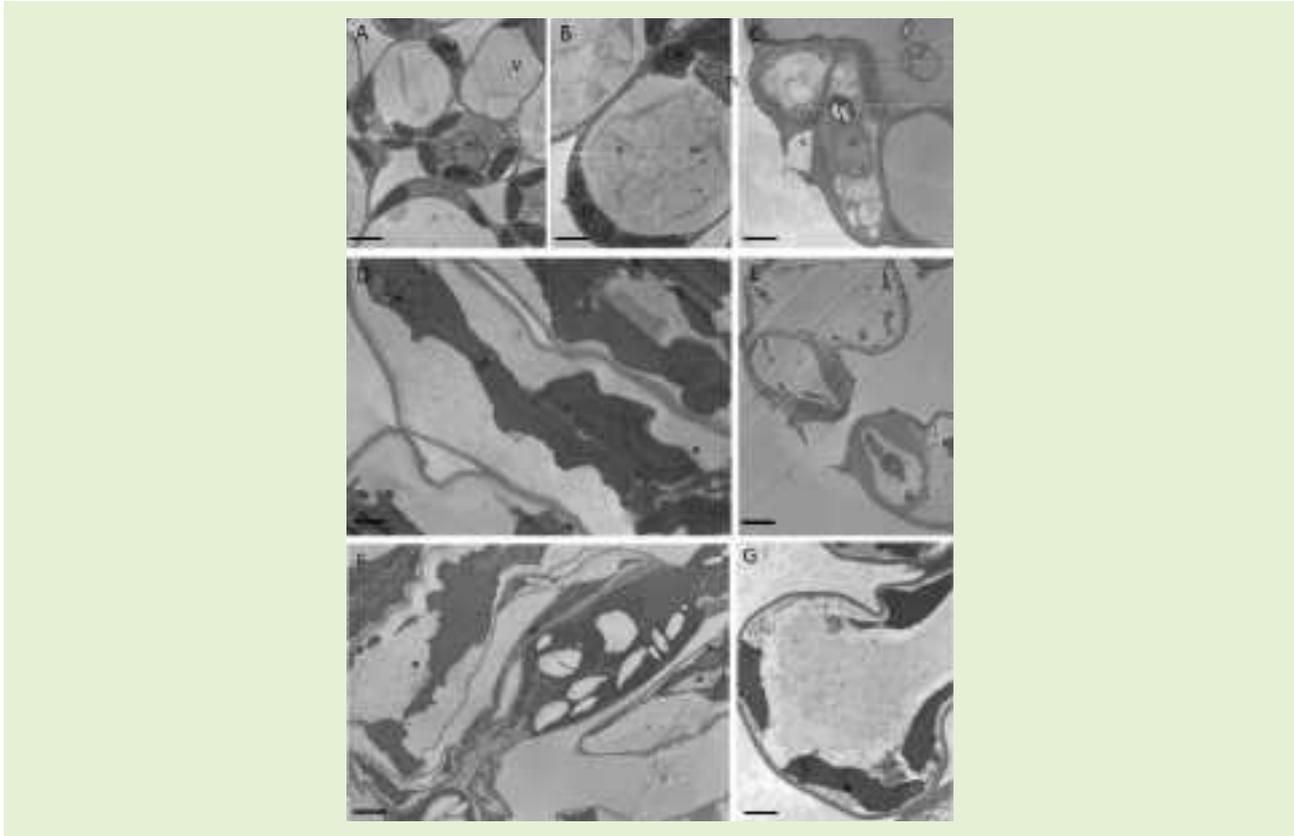


Figure 17 : Tranches fines de mélisse observées au microscope électronique.

Pour la menthe, les feuilles prélevées directement à même la plante (Figure 18 A, B) semblent bien conservées, avec la présence de nombreux organites (n, noyau ; chl, chloroplastes). On observe également des masses devenues noires à la suite du traitement à l'osmium et qui sont probablement des masses de nature huileuse (flèches). Après séchage, ces masses noires ne sont plus visibles mais l'on observe d'autres masses plus volumineuses et plus claires (double astérisque C, D, E, F) qui pourraient correspondre à une accumulation d'huiles essentielles. Les chloroplastes (chl) changent de forme et de localisation cellulaire après séchage. Après séchage à froid, le noyau (n) conserve sa structure avec des zones de chromatine plus ou moins denses et l'on distingue des mitochondries (m) et des systèmes de vésicules à l'intérieur d'un trichome (t) en coupe transversale (photo G).



Les parois deviennent ondulées après séchage, comme il est possible de le constater sur les photographies C, D, E et F de la Figure 18.

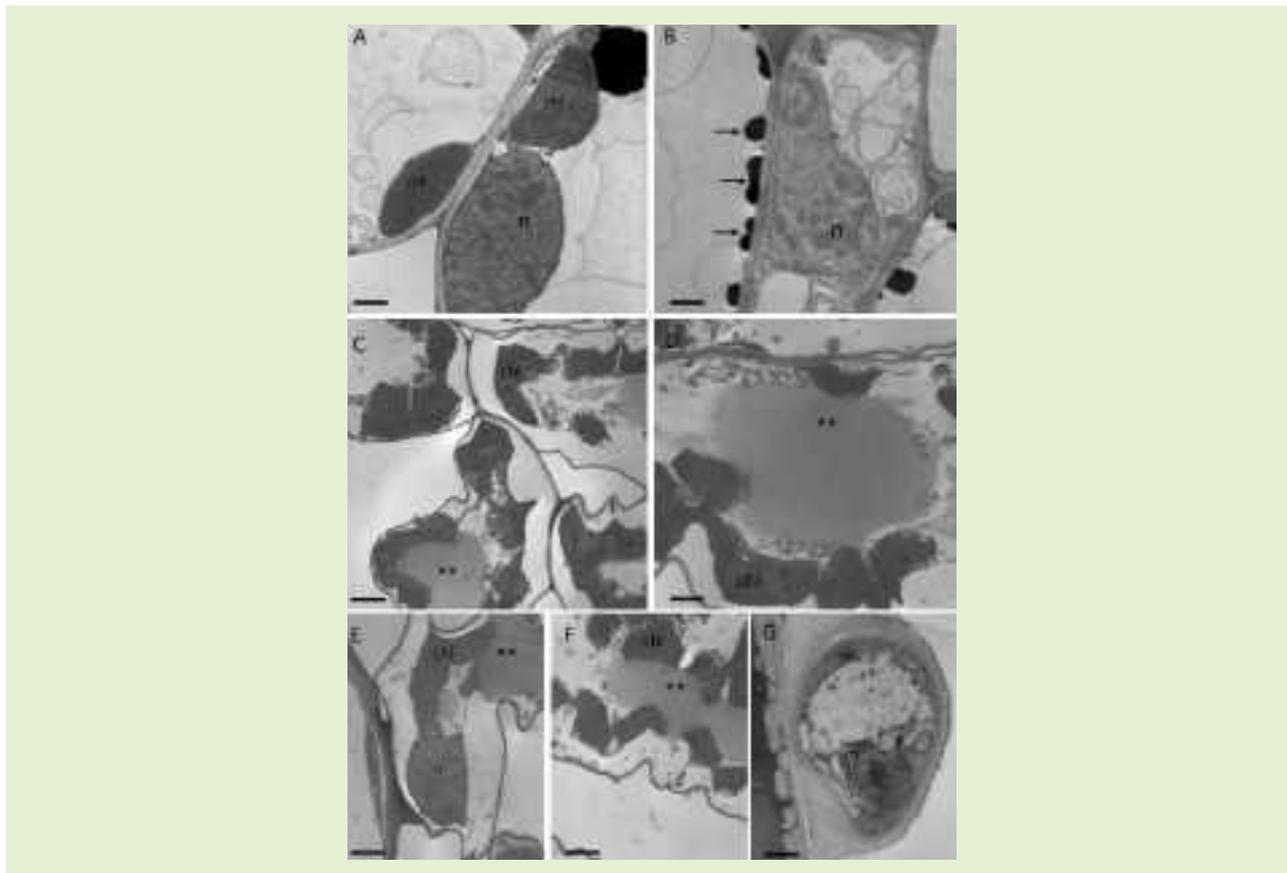


Figure 18 : Tranches fines de menthe observées au microscope électronique.

Quant à la sarriette (Figure 19), comme observé à partir des tranches semi-fines, il semblerait que les techniques de séchage aient un fort impact sur les feuilles de la plante, sans doute en raison de leur petite taille. Au microscope électronique, les cellules de la feuille fraîche (A) présentent des chloroplastes dans lesquels on distingue des thylakoïdes (t) et des granas. Après séchage, la matrice des chloroplastes s'épaissit ; les chloroplastes deviennent plus sombres et homogènes au microscope électronique (C, D, E, F).



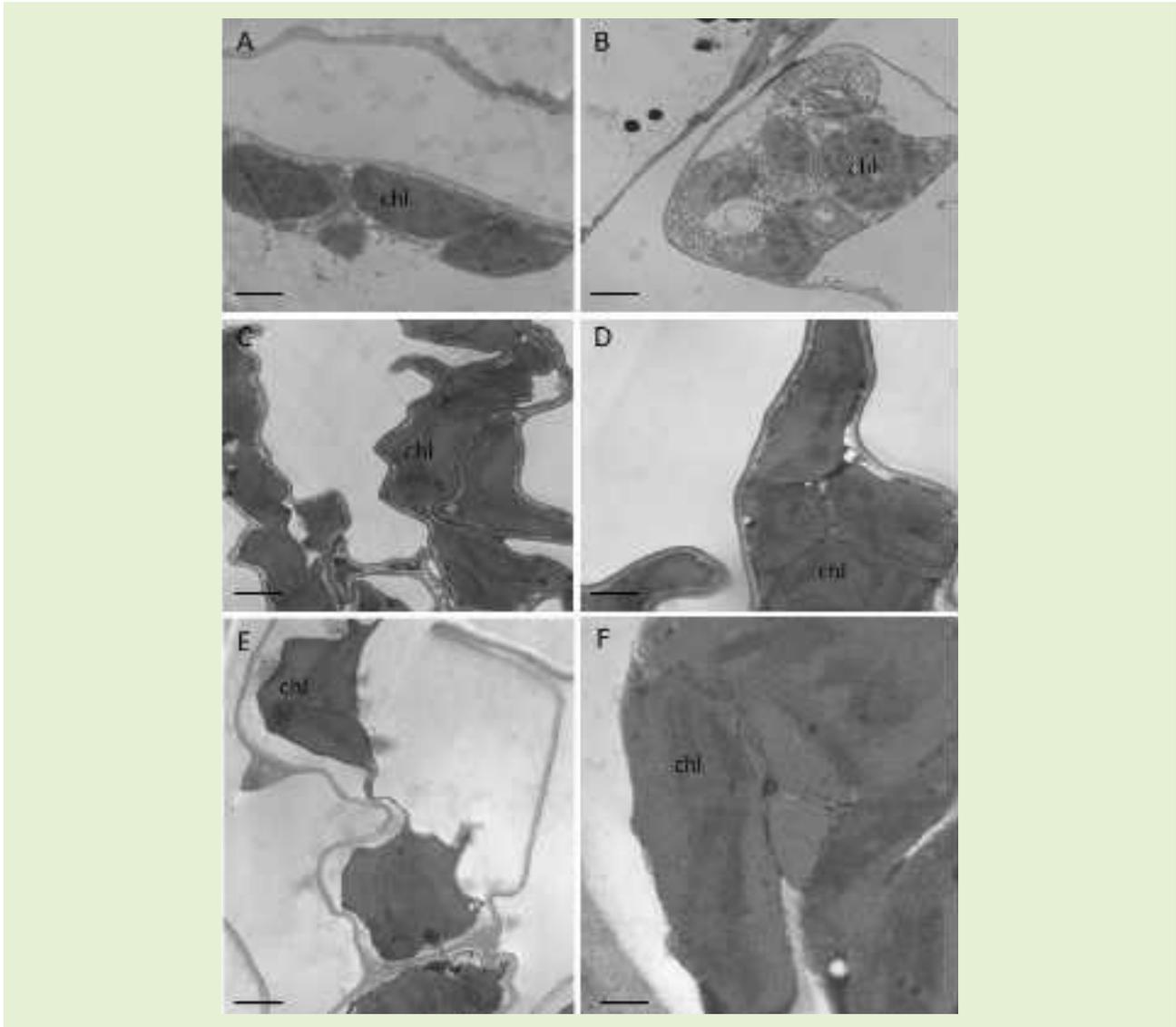
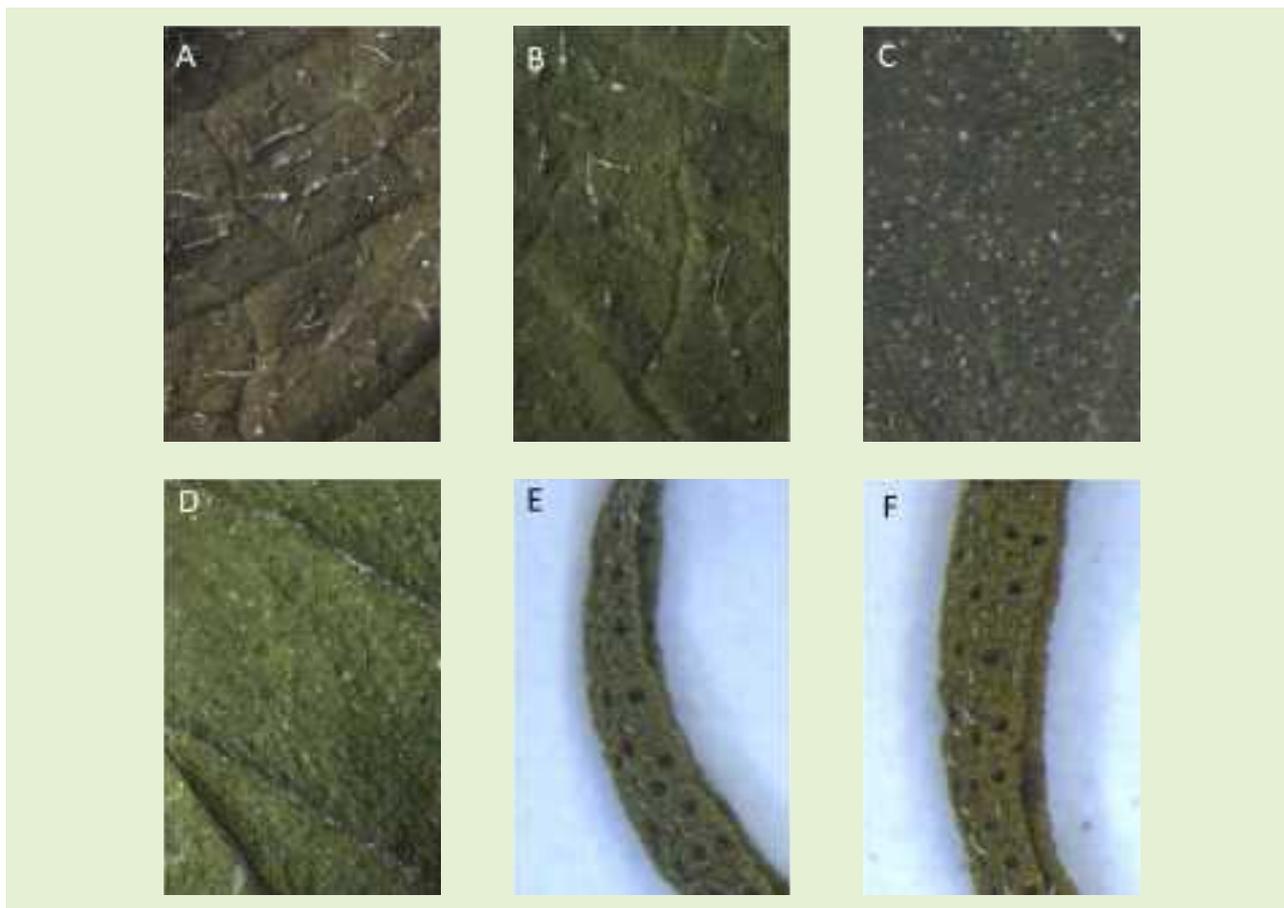


Figure 19 : Tranches fines de sarriette observées au microscope électronique.



PARTIE 2 : LE SÉCHAGE DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES

Au stéréomicroscope, les feuilles n'ont pas la même couleur selon la technique de séchage employée (Figure 20). Par exemple, les feuilles séchées à froid sont plus vertes que les feuilles séchées de manière traditionnelle.



(A : mélisse échantillon séchage traditionnel, B : mélisse échantillon séchage à froid, C : menthe échantillon séchage traditionnel, D : menthe échantillon séchage à froid, E : sarriette échantillon séchage traditionnel, F : sarriette échantillon séchage à froid).

Figure 20 : Observations au stéréomicroscope des différents échantillons par méthode de séchage.



PARTIE 2 : LE SÉCHAGE DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES

2.3.1.3 CONCLUSION

Pour conclure, les observations aux microscopes optique et électronique permettent de constater que les deux méthodes de séchage ont un impact sur les feuilles. L'impact est particulièrement notable au niveau des chloroplastes, quelle que soit la plante.

Bien que certaines différences aient été constatées en fonction des techniques de séchage, il est possible qu'elles soient liées aux plantes. Il est donc difficile, sur la base de ces observations, de déterminer quel procédé de séchage privilégier.

Les observations laissent supposer une meilleure conservation après séchage à froid, certaines des plantes étudiées ne montrant aucun signe de sénescence cellulaire (éclatement des chloroplastes, dispersion des plastoglobules).

Cependant, pour pouvoir conclure à une meilleure conservation des principes actifs (entre autres), il faudrait croiser ces résultats à d'autres analyses (biochimiques, par exemple).

2.3.2 IMPACT DES MODES DE SÉCHAGE SUR LA CHARGE ENTOMOLOGIQUE

Les plantes séchées à froid ont révélé un degré d'infestation plus élevé que les plantes séchées à chaud, et souvent proche du degré d'infestation des plantes fraîches.

L'analyse entomologique a permis d'identifier les hémiptères comme l'ordre le plus représenté parmi les échantillons étudiés.

Le [Tableau 8](#) liste les insectes identifiés suite à l'analyse des six espèces de plantes à l'état frais, séché à chaud et séché à froid.

	Échantillon frais	Séchage à chaud	Séchage à froid
<i>Malva sylvestris</i>	A Harmonia axyridis (Coleoptera: Coccinellidae)	A Harmonia axyridis (Hemiptera: Pentatomidae)	A Tortricidae (Lepidoptera)
<i>Melissa officinalis</i> francese		P Hymenoptera	A Empoasca spp. (Hemiptera: Cicadellidae)
		A Gastropoda	A Coccoidea (Hemiptera)
			A Braconidae (Hymenoptera)
<i>Melissa officinalis</i>	A Lygeidae (Hemiptera)	E Lygeidae (Hemiptera)	A Lygeidae (Hemiptera)
	E Hemiptera	A Coleoptera	E Hemiptera
			O Lepidoptera



	Échantillon frais	Séchage à chaud	Séchage à froid
<i>Mentha spicata</i>	A Typhlocybinae (Hemiptera)	N-E Psocoptera	P Syrphidae (Diptera)
	A Coccoidea (Hemiptera)		A Psocoptera
	A-L Syrphidae (Diptera)		
	O Lepidoptera		
<i>Origanum vulgare</i>	L Lepidoptera	L Braconidae (Hymenoptera)	O-E-N Pentatomidae (Hemiptera)
<i>Satureja hortensis</i>	A <i>Lygus</i> spp. (Hemiptera: Miridae)	O Hemiptera	A Pyrrhocoridae (Hemiptera)
	A Lygeidae (Hemiptera)	A Lygeidae (Hemiptera)	O Hemiptera
	<i>Helicoverpa armigera</i>		
	L (Lepidoptera: Noctuidae)		O-E Hemiptera
	A <i>Polistes</i> spp. (Hymenoptera: Vespidae)		L Lepidoptera
<i>Thymus vulgaris</i>	N Reduviidae (Hemiptera)	O-N Pyrrhocoridae (Hemiptera)	A Hemiptera
			A Coleoptera
			A Calcidoidea (Hymenoptera)

(A = adulte, E = exuvie, L = larve, N = néanide, O = ponte ; P = pupe).

Tableau 8 : Insectes identifiés suite à l'analyse des échantillons frais, séchés à chaud et séchés à froid des 6 espèces de plantes aromatiques.

2.3.3 IMPACT DES MODES DE SÉCHAGE SUR LA CHARGE MICROBIOLOGIQUE

Bien que le séchage ne soit pas une méthode de débactérisation, un suivi de la charge microbiologique a été réalisé

- en Italie sur la mélisse, la mauve, la sarriette (*Satureja hortensis* L.) et la menthe,
- en France sur le thym, l'origan, la sarriette (*Satureja montana* L.) et la mélisse.

Les valeurs sont exprimées en log UFC/gramme.

Un échantillon par essai a été analysé, ce qui correspond aux 2 colonnes par modalité de séchage dans les tableaux ci-dessous.

Les cases colorées en rouge correspondent aux valeurs qui sont supérieures à la valeur fixée par la réglementation européenne (colonne « référence »).

Pour l'ensemble des échantillons, une recherche de *Salmonella* spp. et de *Listeria monocytogenes* a également été entreprise, mais ces deux pathogènes étaient absents de tous les échantillons analysés.

Un premier constat, commun à toutes les plantes, est que les charges microbiennes des échantillons frais sont inférieures aux charges microbiennes des échantillons secs.



PARTIE 2 : LE SÉCHAGE DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES

Le séchage a donc un impact négatif car il favorise l'activité microbienne, et ce quelle que soit la modalité de séchage considérée. Par ailleurs, tous les échantillons testés, à l'exception des échantillons d'origan, sont jugés « non conformes » : les charges microbiennes relevées sont supérieures aux critères de référence fixés pour chaque souche microbienne par la réglementation européenne.

Les analyses réalisées en Italie présentent des résultats parfois divergents. Ainsi, sur les plantes séchées à froid, il a été constaté une réduction ponctuelle de l'ordre d'une ou deux unités logarithmiques de la charge microbienne par rapport à l'échantillon frais.

2.3.3.1 THYM

Pour le thym, les échantillons frais n'ont pas été analysés. Pour cette plante, une tendance liée à l'effet du type de séchage pourrait être remarquée. Il semblerait que les valeurs soient inférieures pour la modalité de séchage à froid, mais il est difficile de faire de telles hypothèses vu le nombre réduit d'échantillons testés (Tableau 9).

PARAMÈTRE ANALYTIQUE (LOG UFC/G)	RÉFÉRENCE	FRAIS	SÉCHAGE TRADITIONNEL		SÉCHAGE À FROID	
THYM						
Microrganismi 30°C	5,7	/	7,00	6,60	6,62	6,15
Entérobactéries	1	/	3,68	4,04	3,91	3,63
Bacillus cereus	3	/	3,00	2,70	2,78	2,78
Levures et moisissures	3	/	4,58	4,93	4,82	4,99
Escherichia coli	1	/	<1	<1	<1	<1
Clostridium perfringens	2,2	/	<1	1,6	<1	1,6

Tableau 9 : Résultats des analyses microbiologiques sur le thym (logUFC/g).



2.3.3.2 ORIGAN

Pour l'origan, contrairement aux autres plantes, la charge microbienne est inférieure car chaque échantillon s'est avéré conforme pour l'ensemble des paramètres analytiques testés, à l'exception d'un échantillon, à cause des levures et moisissures en excès (Tableau 10).

PARAMÈTRE ANALYTIQUE (LOG UFC/G)	RÉFÉRENCE	FRAIS	SÉCHAGE TRADITIONNEL	SÉCHAGE À FROID		
ORIGAN						
Micro-organismes 30°C	5,7	3,70	4,60	4,60	4,85	4,60
Entérobactéries	1	< 1	<1	<1	<1	<1
Bacillus cereus	3	2,60	2,70	2,60	2,60	2,60
Levures et moisissures	3	2,60	2,60	2,60	3,59	2,70
Escherichia coli	1	/	<1	<1	<1	<1
Clostridium perfringens	2,2	/	1,6	<1	<1	<1

Tableau 10 : Résultats des analyses microbiologiques sur l'origan (log UFC/g).

2.3.3.3 SARRIETTE

Pour la sarriette française (*Satureja montana* L.), on retrouve une forte contamination en entérobactéries, en levures et en moisissures dans tous les échantillons. Il n'est pas possible de mettre en avant un quelconque effet du séchage ou du type de séchage au regard de ces résultats (Tableau 11).

PARAMÈTRE ANALYTIQUE (LOG UFC/G)	RÉFÉRENCE	FRAIS	SÉCHAGE TRADITIONNEL	SÉCHAGE À FROID		
SARRIETTE						
Micro-organismes 30°C	5,7	6,18	7,01	6,89	6,71	6,62
Entérobactéries	1	4,28	4,15	4,14	4,00	4,03
Bacillus cereus	3	1,60	< 2	2,60	< 2	< 2
Levures et moisissures	3	4,73	5,15	5,04	5,15	5,06
Escherichia coli	1	/	<1	<1	<1	<1
Clostridium perfringens	2,2	/	<1	1,9	<1	1,7

Tableau 11 : Résultats des analyses microbiologiques sur la sarriette (log UFC/g).



PARTIE 2 : LE SÉCHAGE DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES

En Italie, les échantillons de sarriette séchés à chaud ont également révélé, pour les levures xérophiles, des augmentations d'une unité logarithmique par rapport aux échantillons frais.

L'échantillon de sarriette séché à froid a, quant à lui, révélé une charge microbienne inférieure de deux unités logarithmiques par rapport à l'échantillon frais et d'une unité logarithmique par rapport à la modalité séchage traditionnel.

2.3.3.4 MÉLISSE

Pour la France, on remarque une contamination par *Bacillus cereus* après le séchage, ce qui n'est pas observé sur les autres plantes étudiées (Tableau 12).

PARAMÈTRE ANALYTIQUE (LOG UFC/G)	RÉFÉRENCE	FRAIS	SÉCHAGE TRADITIONNEL	SÉCHAGE À FROID
MÉLISSE				
Microrganismi 30°C	5,7	6,54	6,86	6,70
Entérobactéries	1	3,48	4,11	4,15
<i>Bacillus cereus</i>	3	2,95	3,60	3,70
Levures et moisissures	3	3,26	4,81	4,85
<i>Escherichia coli</i>	1	/	<1	<1
<i>Clostridium perfringens</i>	2,2	/	2,1	<1

Tableau 12 : Résultats des analyses microbiologiques sur la mélisse (log UFC/g).

En Italie, les échantillons de mélisse séchés à chaud ont révélé, pour les levures xérophiles, des augmentations respectives de deux unités logarithmiques par rapport aux échantillons frais.

Concernant la modalité séchage à froid, il a été constaté une augmentation des Enterobacteriaceae d'une unité logarithmique par rapport à l'échantillon séché de manière traditionnelle ou par rapport à l'échantillon frais, tandis que les levures xérophiles ont augmenté de deux unités par rapport à l'échantillon frais.



2.3.3.5 MENTHE

Les résultats observés en Italie sont contradictoires.

On constate une diminution significative de la charge microbienne pour tous les groupes recherchés sur les échantillons de menthe séchée à 40°C par rapport aux échantillons frais.

En revanche, pour la modalité séchage à froid, on constate une augmentation significative de la charge microbienne en *B. cereus* et une diminution des Enterobacteriaceae et des levures xérophiles par rapport aux échantillons frais (Tableau 13).

PLANTE	PARAMÈTRE ANALYTIQUE	FRAIS	SÉCHAGE TRADITIONNEL	SÉCHAGE À FROID	SIGNIFICATIVITÉ
	Micro-organismes mésophiles aérobies	7,4 ^b ± 1,2	5,8 ^a ± 0,5	6,8 ^b ± 0,6	***
	Enterobacteriaceae	6,3 ^b ± 1,3	4,8 ^a ± 0,7	4,9 ^a ± 0,7	***
	Moisissures xérophiles	5,9 ^b ± 0,4	5,1 ^a ± 0,5	5,8 ^b ± 0,1	***
	Levures xérophiles	6,3 ^b ± 0,6	5,3 ^a ± 0,5	5,5 ^a ± 0,2	***
	<i>B. cereus</i>	1,8 ^a ± 0,9	1,7 ^a ± 0,6	2,4 ^b ± 0,2	*

Moyenne ± des écarts standards : données obtenues sur la base de 3 répliques et 2 techniques.
p < 0,001 * ; p < 0,01 ** ; p < 0,05 * ; p > 0,05 ns**

Tableau 13 : Résultats des analyses microbiologiques sur la menthe (log UFC/g).

2.3.4 IMPACT DES MODES DE SÉCHAGE SUR LA QUANTITÉ ET LA COMPOSITION EN HUILES ESSENTIELLES

Le test statistique de Kruskal Wallis a été utilisé pour déterminer s'il existait des différences statistiques de teneur et de composition en huile essentielle (HE), en fonction du facteur « modalité de séchage ». Les éventuelles différences ont été identifiées par un test de comparaisons multiples par paires de Dunn (les groupes statistiques homogènes sont signifiés par des lettres sur les graphiques).

2.3.4.1 THYM

La Figure 21 présente les teneurs moyennes en huile essentielle de thym obtenues en 2018 (essai final) et en 2019 (moyenne des 2 essais réalisés). Les valeurs sont exprimées en ml d'huile essentielle pour 100 g de matière sèche.

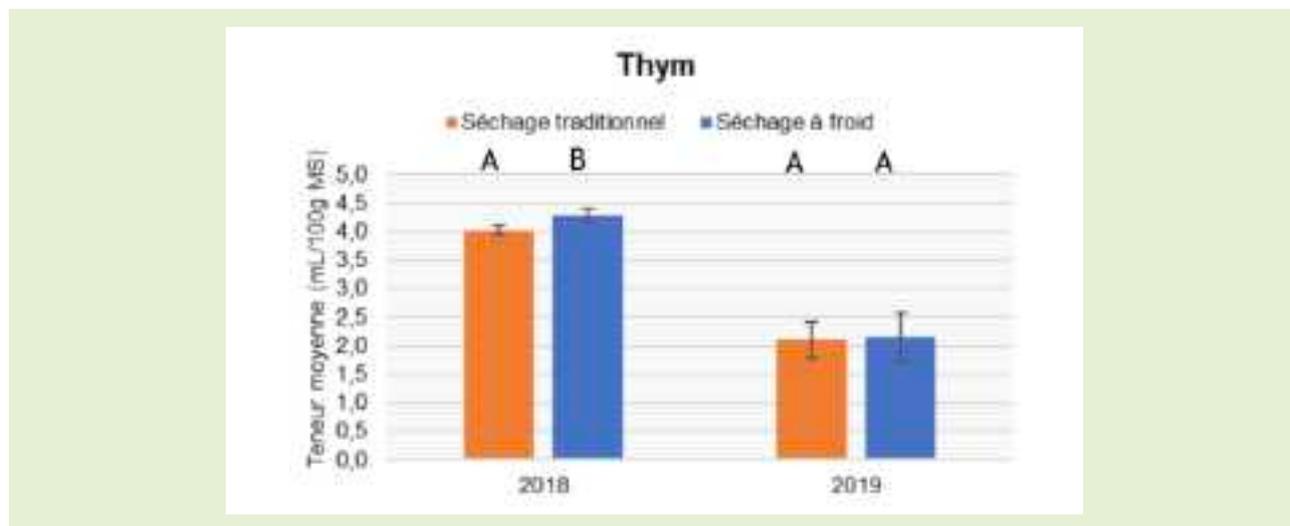


Figure 21: Teneur moyenne (ml/100 g MS) en huiles essentielles de thym en 2018 et 2019.

Les teneurs moyennes obtenues en 2018, supérieures à celles obtenues en 2019, sont significativement différentes ($\alpha=5\%$) entre les 2 modalités de séchage, contrairement à celles de 2019. Les histogrammes suivants (Figure 22) représentent la proportion des 5 principaux constituants des huiles essentielles de thym analysées, selon leur ordre d'apparition lors de l'analyse chromatographique, en fonction de la modalité de séchage de la plante.

Selon les échantillons analysés, l'huile essentielle de thym se compose de 106 à 144 constituants chimiques. Les analyses chromatographiques ont montré la présence de 5 constituants majoritaires, qui représentent, en moyenne des 3 modalités, 82,46 % de la composition de l'huile. Le test statistique s'est centré sur ces 5 constituants : on ne peut pas conclure avec un risque $\alpha=5\%$ qu'il existe une différence significative de proportion entre les 5 principaux composés de l'HE de thym en fonction du type de séchage.

Il serait donc possible d'admettre que le type de séchage n'influe pas significativement sur la composition de l'HE de thym, mais il est préférable de ne pas tirer de conclusion aussi radicale aux vues du nombre réduit d'échantillons testés.

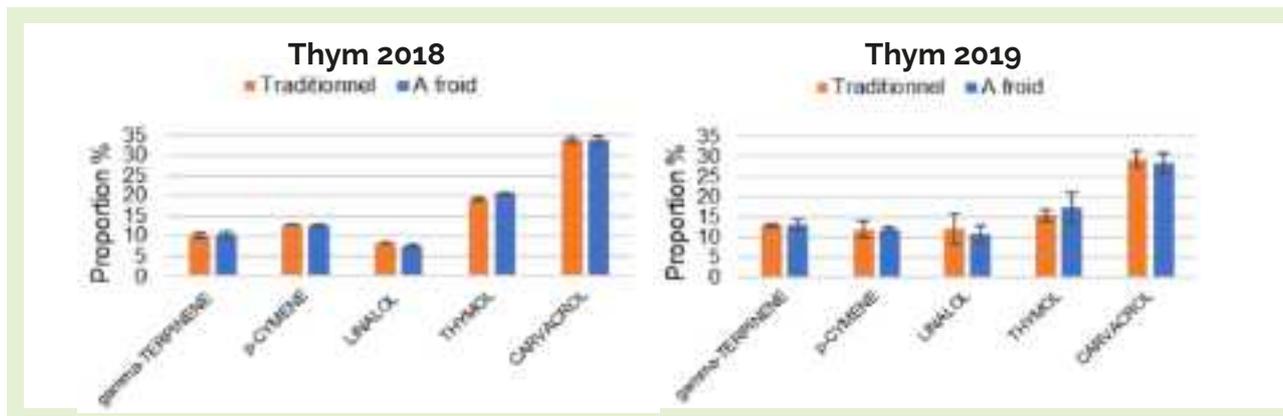


Figure 22 : Proportion (%) des 5 principaux constituants de l'huile essentielle de thym selon la modalité de l'échantillon, en 2018 (gauche) et 2019 (droite).

2.3.4.2 ORIGAN

La Figure 23 présente les teneurs moyennes en huile essentielle d'origan obtenues en 2018 (essai final) et en 2019 (moyenne des 2 essais réalisés). Les valeurs sont exprimées en ml d'huile essentielle pour 100 g de matière sèche.

La modalité de séchage n'impacte pas significativement la teneur moyenne en huile essentielle d'origan, en 2018 comme en 2019.



Figure 23 : Teneur moyenne (ml/100 g MS) en huiles essentielles d'origan en 2018 et 2019.

PARTIE 2 : LE SÉCHAGE DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES

Quant à leur composition, les huiles essentielles d'origan sont relativement stables : il n'est pas possible de conclure sur l'existence d'un quelconque effet du type de séchage sur la proportion des 5 constituants majoritaires des HE d'origan étudiées (Figure 24).

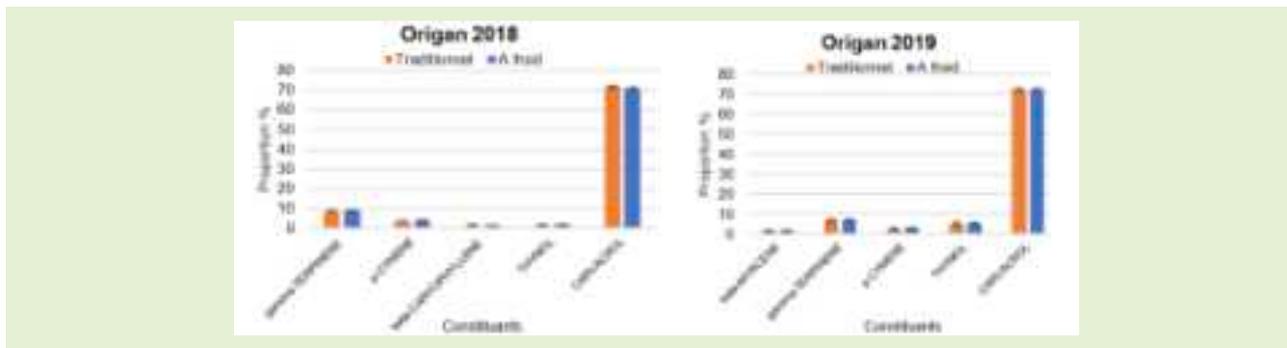


Figure 24 : Proportion (%) des 5 principaux constituants de l'huile essentielle d'origan selon la modalité de l'échantillon, en 2018 (gauche) et 2019 (droite).

2.3.4.3 SARRIETTE

La Figure 25 représente les teneurs moyennes en huile essentielle de sarriette obtenues en France en 2018 et 2019, et en Italie en 2019.

On remarque au premier abord que les teneurs moyennes des HE françaises, comprises entre 1,70 et 2,05 ml/100 g de matière sèche, sont nettement inférieures aux teneurs moyennes des échantillons italiens. Cette variabilité provient probablement des variétés de sarriette utilisées dans les deux zones. Quant à l'effet de la modalité de séchage, il n'est significatif pour aucun des échantillons analysés.



Figure 25 : Teneur moyenne (ml/100 g MS) en huiles essentielles de sarriette en 2018 et 2019, en France et en Italie.

PARTIE 2 : LE SÉCHAGE DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES

La Figure 26, composée de 4 histogrammes, présente la proportion des 5 principaux composants des huiles essentielles de sarriette analysées par chromatographie gazeuse, des échantillons français et italiens issus des essais de 2018 et 2019. Quelle que soit l'année ou la zone de provenance des échantillons, la composition des huiles essentielles de sarriette reste stable : la modalité de séchage, « traditionnel » ou « à froid », n'impacte pas significativement la proportion des 5 constituants majoritaires des HE.

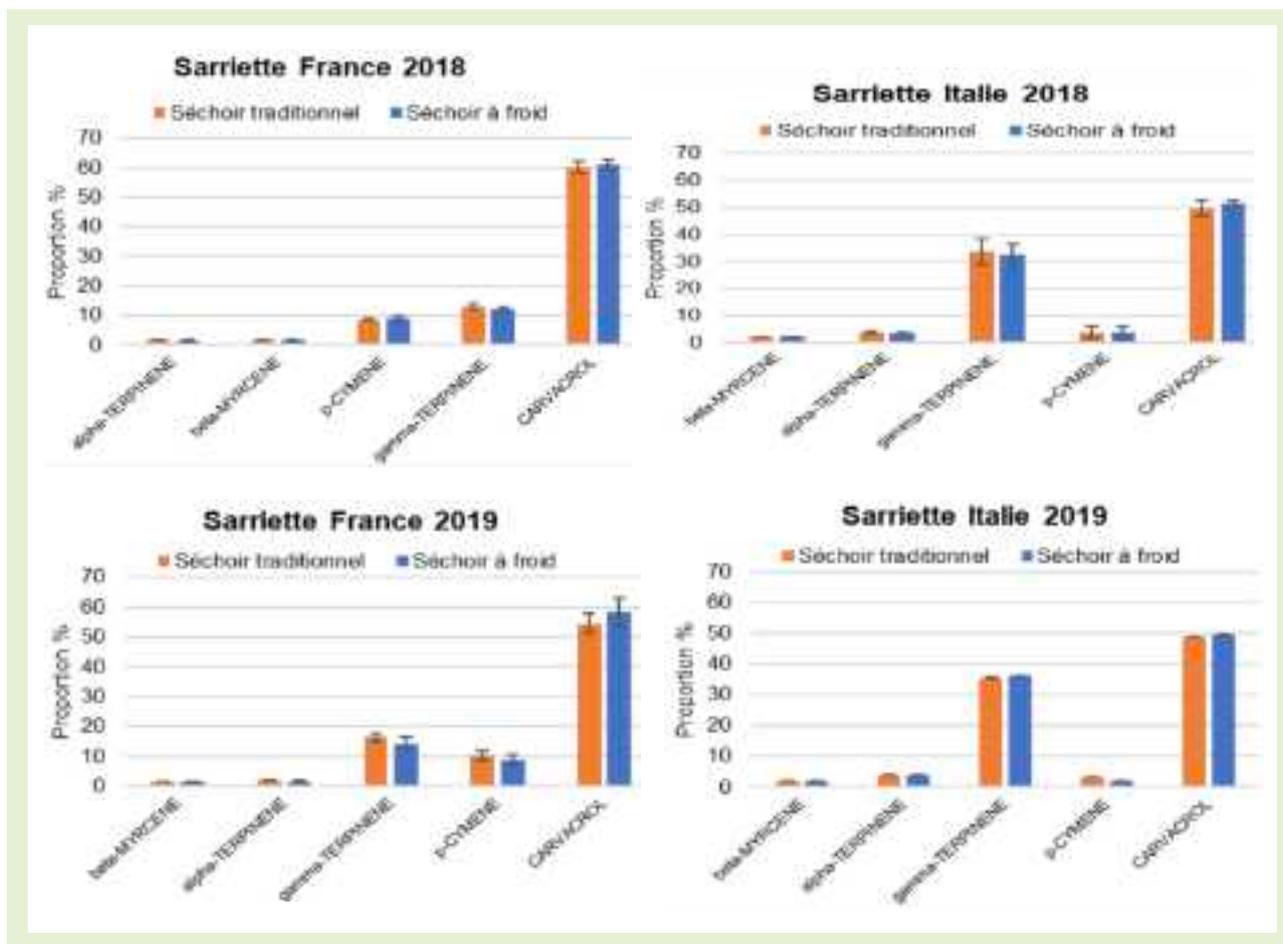


Figure 26 : Proportion (%) des 5 principaux constituants de l'huile essentielle de sarriette, des échantillons français et italiens distillés en 2018 et 2019.

2.3.4.4 MÉLISSE

La mélisse, seconde plante commune dans les 2 zones, présente des teneurs en huile essentielle plus faibles que les autres plantes étudiées : entre 0,14 et 0,81 ml/100 g de matière sèche (Figure 27).



Figure 27 : Teneur moyenne (ml/100 g MS) en huiles essentielles de mélisse, en 2018 et 2019, en France et en Italie.

En 2019, on constate des différences significatives de teneurs, liées à la modalité de séchage.

Or, les observations sont opposées selon la zone considérée : en France les pertes sont supérieures par la modalité de séchage « traditionnel », tandis qu'en Italie elles sont largement supérieures par la modalité de séchage à froid.

Concernant la composition des huiles essentielles, la Figure 28 suivante présente les proportions des 5 constituants majoritaires des huiles essentielles de mélisse analysées (absence de résultats en 2018). Des différences significatives liées à la modalité de séchage sont observées sur les échantillons. Les échantillons séchés par méthode traditionnelle contiennent plus de constituants néral et géraniol par rapport à la méthode de séchage à froid ; ce résultat est une tendance forte aussi bien sur les échantillons traités en Italie que les échantillons traités en France. Ces deux molécules sont responsables de la note citronnée / menthée caractéristique de la mélisse.



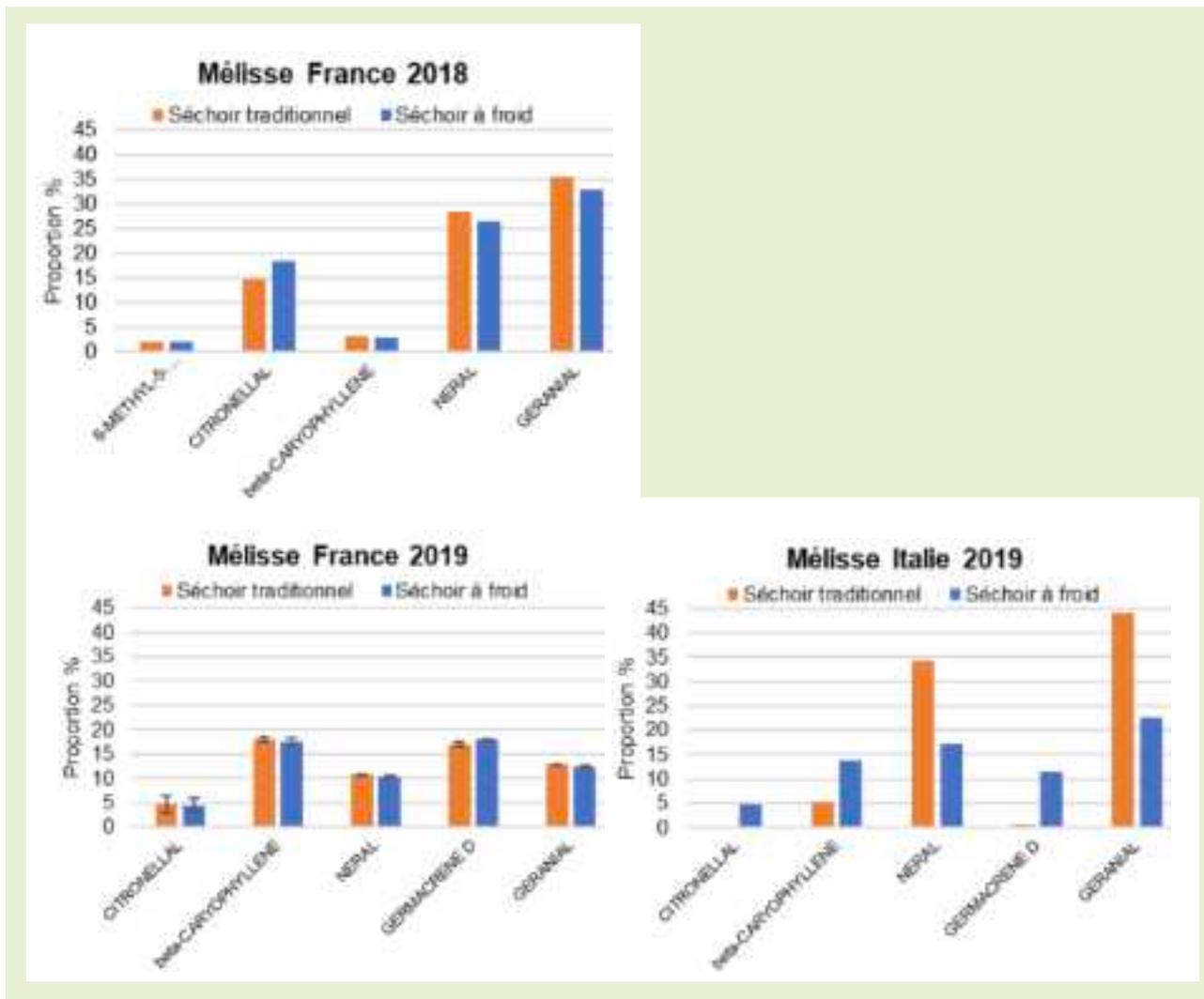


Figure 28 : Proportion (%) des 5 principaux constituants de l'huile essentielle de mélisse, des échantillons français et italiens distillés en 2018 et 2019.



PARTIE 2 : LE SÉCHAGE DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES

2.3.4.5 MENTHE

La Figure 29 représente les teneurs moyennes en huile essentielle de menthe. Comme l'indiquent les lettres sur le graphique, la modalité de séchage, traditionnel ou à froid, n'a pas impacté significativement les teneurs en huile essentielle de menthe.



Figure 29 : Teneur moyenne (ml/100 g MS) en huiles essentielles de menthe, en 2018 et 2019, en France et en Italie.

Concernant la composition des HE de menthe, on observe de légères variations dans les proportions selon la modalité de séchage considérée, mais ces variations ne sont pas significatives statistiquement (Figure 30).

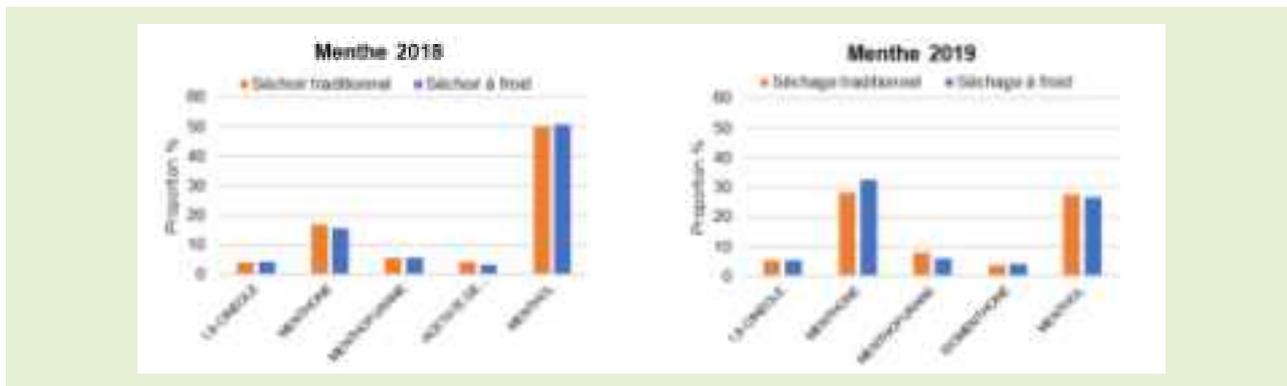


Figure 30 : Proportion (%) des 5 principaux constituants de l'huile essentielle de menthe selon la modalité de l'échantillon, en 2018 (gauche) et 2019 (droite).



2.3.5 IMPACT DES MODES DE SÉCHAGE SUR LES EAUX DE CONDENSATION

Les eaux de condensation issues des séchages par la modalité « à froid » ont été collectées et analysées par chromatographie gazeuse. Le [Tableau 14](#) suivant présente la concentration en huile essentielle dans 1 litre d'eau de condensation pour chaque plante étudiée (2018 et 2019), ainsi que la molécule dominante des huiles essentielles présentes dans les eaux de condensation.

	THYM	ORIGAN	MENTHE
Concentration en HE (mg/L)	12	75	2
Molécule dominante	Carvacrol (49%)	Carvacrol (76%)	Menthol (77%)

	MAUVE	SARRIETTE		MÉLISSE	
Concentration en HE (mg/L)	<1	Italie <2	France 8,5	Italie <1	France 1,25
Molécule dominante	Carvacrol (53%)	Carvacrol (77%)	Carvacrol (85%)	-	-

Tableau 14 : Résultats d'analyse de la composition des eaux de condensation.

Pour chacun des séchages de la modalité « à froid » pratiqués, de l'huile essentielle se retrouve dans les eaux de condensation, en faibles proportions (<1 à 75 mg/L). Ces teneurs sont largement en dessous des limites de solubilité de ces constituants atteintes dans les hydrolats issus de la distillation à la vapeur d'eau par exemple.

Les molécules dominantes sont, quant à elles, identiques à celles retrouvées dans les échantillons d'huiles essentielles analysés.

2.3.6 IMPACT DES MODES DE SÉCHAGE SUR LA COMPOSITION PHYSICO-CHIMIQUE ET L'ACTIVITÉ ANTIOXYDANTE

La *Tabella 15* mostra il contenuto totale di polifenoli (TPC) e l'attività antiossidante (RSA) delle piante italiane e francesi essiccate con i due metodi.

PAYS	PLANTE	SÉCHAGE	TPC	SIGN.	RSA	SIGN.
Italie	Menthe	traditionnel	10,57 ± 5,02	*	151,57 ± 43,18	*
		à froid	15,75 ± 1,79		222,08 ± 12,96	
	Mauve	traditionnel	8,13 ± 1,81	*	70,87 ± 22,11	ns
		à froid	11,20 ± 3,56		97,30 ± 18,96	
	Sarriette	traditionnel	21,36 ± 0,83	*	221,66 ± 11,97	**
		à froid	24,75 ± 1,93		270,55 ± 13,13	
Mélisse	traditionnel	39,48 ± 3,76	***	549,63 ± 35,44	ns	
	à froid	25,55 ± 1,50		597,94 ± 24,95		
France	Origan	traditionnel	23,22 ± 2,54	ns	197,75 ± 26,61	ns
		à froid	20,96 ± 2,66		158,02 ± 43,92	
	Thym	traditionnel	17,20 ± 0,27	ns	178,83 ± 9,29	ns
		à froid	16,79 ± 0,40		167,98 ± 28,56	
	Sarriette	traditionnel	27,96 ± 0,33	ns	276,84 ± 46,10	*
		à froid	32,73 ± 3,75		179,36 ± 26,29	
	Mélisse	traditionnel	19,64 ± 2,69	ns	248,62 ± 11,11	ns
		à froid	18,69 ± 2,32		228,98 ± 20,92	

(* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; ns : non significatif)

Tableau 15 : Teneur totale en polyphénols (TPC) et activité antiradicalaire (RSA) des huit plantes utilisées pour l'expérimentation. Les résultats rapportés pour chacune des plantes et chacun des paramètres correspondent à l'analyse des différences entre les deux techniques de séchage.



PARTIE 2 : LE SÉCHAGE DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES

La teneur en TPC de la sarriette et de la mélisse italiennes varie considérablement selon que les échantillons ont été séchés de manière traditionnelle ou à froid.

Des différences importantes de RSA sont également constatées pour la menthe et les sarriettes italienne et française.

Chaque fois que des différences statistiquement significatives ont été constatées, les valeurs les plus élevées concernent les échantillons séchés à froid.

Ces résultats indiquent donc que le séchage à froid permet de conserver une teneur plus élevée en polyphénols et donc une meilleure activité antioxydante.

Le **Tableau 16** présente la teneur en ochratoxine A et en métaux des plantes italiennes séchées à froid. Pour tous les échantillons, la teneur en ochratoxine est inférieure aux valeurs minimales de quantification de la méthode. La teneur en métaux lourds est constante d'une plante à l'autre et semble dépendre de l'origine géographique.

	MENTHE	MÉLISSE	SARRIETTE
Ochratoxine A	<0.2	<0.2	<0.2
Cadmium	0.019	0.007	0.023
Chrome	0.64	0.483	0.847
Fer	185.157	161.351	337.639
Mercure	0.008	0.015	0.01
Nickel	1.274	3.523	1.618
Plomb	0.142	0.157	0.212
Cuivre	19.52	12.38	10.412
Zinc	30.372	34.066	33.702

Tableau 16 : Teneur en ochratoxine A (microgrammes/kg) et en métaux lourds (mg/kg) des plantes italiennes séchées à froid.

PARTIE 2 : LE SÉCHAGE DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES

Le **Tableau 17** présente les macro-composants trouvés dans certaines plantes italiennes et françaises. La composition est similaire d'une plante à l'autre et semble dépendre de l'origine géographique et de l'espèce.

La teneur en cendres est d'environ 7 % avec 10 % d'humidité, sauf pour la sarriette française, dont le taux d'humidité est d'environ 7 %. La teneur en substances protéiques est très variable (entre 9 % et 19 %), de même que la teneur en glucides (entre 15 % et 40 %).

	MENTHE I	MÉLISSE I	SARRIETTE I	ORIGAN F
Cendres	9.44	8.94	7.17	8.65
Humidité	11.01	10.4	12.21	12.59
Fibres alimentaires	37.1	34.45	35.18	39.8
Fibres non solubles	29.22	24.52	28.2	30.21
Fibres solubles	7.88	9.93	6.98	9.59
Protéines	9.69	16.06	12.25	12.31
Teneur totale en substances azotées	1.55	2.57	1.96	1.97
Glucides	28.18	26.12	26.74	18.44
Lipides	4.58	4.03	6.45	8.21
Résidu sec	88.99	89.6	87.79	87.41

	THYM F	MÉLISSE F	SARRIETTE F	MAUVE I
Cendres	7.92	9.61	9.48	12.6
Humidité	11.22	11.24	7.77	15.48
Fibres alimentaires	22.13	35.9	36.47	31.8
Fibres non solubles	18.1	25.6	29.21	24.44
Fibres solubles	4.03	10.3	7.26	7.36
Protéines	11.19	16.06	13.25	19.94
Teneur totale en substances azotées	1.79	2.57	2.12	3.19
Glucides	40.27	22.8	26.7	15.1
Lipides	7.27	4.39	6.33	5.08
Résidu sec	88.78	88.74	92.23	84.52

Tableau 17 : Macro-composants présents dans les plantes italiennes et françaises (g/100 g ; I-Italie/F-France).



2.3.7 IMPACT DES MODES DE SÉCHAGE SUR LE PROFIL SENSORIEL

2.3.7.1 IMPACT SUR LES DIFFERENCES ET LES PREFERENCES

Le **Tableau 18** suivant présente, pour chaque plante, les résultats des tests duo-trio pour la comparaison entre les échantillons des 2 modalités de séchage.

L'échantillon témoin (défini comme étant l'échantillon de la modalité « séchage traditionnel ») est d'abord présenté. Puis 2 autres échantillons sont présentés : 1 échantillon identique au témoin et un échantillon distinct (« séchage à froid »). La réponse du dégustateur est exacte lorsqu'il identifie l'échantillon qui est identique au témoin.

	SANS RÉPONSE	RÉPONSES RETENUES	RÉPONSES EXACTES	SIGNIFICATIVITÉ (RISQUE)
Thym	0	33	18	0,364
Origan	0	33	19	0,243
Sarriette	0	33	21	0,081
Mélisse	0	33	19	0,243

Tableau 18 : Résultats des tests duo-trio sur l'effet du type de séchage.

Au vu des résultats du test duo-trio, le type de séchage utilisé ne modifie pas les caractéristiques organoleptiques du produit au point qu'elles soient significativement perceptibles par les dégustateurs ($p > 5\%$).

Cependant, pour la sarriette il est possible de remarquer une tendance à la significativité (probabilité inférieure à 10 %).

Malgré l'absence de significativité des résultats du test duo-trio, des tests de préférence ont été réalisés. D'après ces derniers, aucun des 20 consommateurs naïfs interrogés n'a indiqué de préférence pour l'une ou l'autre des modalités de séchage.

Les résultats en Italie sont sensiblement différents.

Les résultats du test duo-trio indiquent, qu'à l'exception de la menthe, les trois autres plantes testées étaient reconnaissables sur le plan sensoriel (**Tableau 19**).

PLANTES	DIFFÉRENCE	PRÉFÉRENCE
Mélisse	OUI	Séchage traditionnel
Menthe	NON	50%
Mauve	OUI	Séchage à froid
Sarriette	OUI	Séchage à froid

Tableau 19 : Résultats du test duo-trio réalisé pour comparer les plantes séchées de manière traditionnelle et les plantes séchées à froid.

PARTIE 2 : LE SÉCHAGE DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES

D'après leurs annotations, les dégustateurs ont surtout perçu une différence d'odeur : si les plantes séchées à froid ont conservé les mêmes caractéristiques olfactives que les plantes fraîches, les plantes séchées de manière traditionnelle à 40°C ont, quant à elles, perdu de leur qualité organoleptique.

De même, au niveau de la couleur, tous les échantillons de plantes séchées à froid avaient en général conservé leur brillance et leur couleur d'origine. Ces différences expliquent pourquoi la préférence a généralement été accordée au produit séché à froid.

2.3.7.2 IMPACT SUR LA COULEUR

Le **Tableau 20** présente les différentes valeurs de Delta E résultant de la comparaison, pour chaque plante, entre échantillons séchés de manière traditionnelle et échantillons séchés à froid.

ORIGINE	PLANTE	DELTA E
Italie	Mélicse	4.18
	Menthe	2.68
	Mauve	2.83
	Sarriette	3.98

ORIGINE	PLANTE	DELTA E
France	Thym	0.67
	Origan	0.95
	Mélicse	1.74
	Sarriette	1.87

Tableau 20 : Valeurs de Delta E calculées, pour chaque plante, entre produit séché à chaud et produit séché à froid.

Les analyses colorimétriques confirment les résultats de l'analyse sensorielle, dans la mesure où elles mettent en évidence, pour toutes les plantes italiennes, une différence de couleur importante entre les échantillons séchés à froid et ceux séchés de manière traditionnelle.

Les échantillons séchés à froid révèlent une tendance à des valeurs de luminosité plus élevées, une plus forte tendance au vert et une plus forte tendance au jaune.

Ces résultats sont cohérents avec d'autres essais conduits dans le cadre d'un partenariat entre les projets Alcotra Essica et Antea, et portant sur l'analyse de 8 fleurs comestibles (*Bellis perennis* L., *Centaurea cyanus* L., *Dianthus carthusianorum* L., *Lavandula angustifolia* Mill., *Primula vulgaris* Huds., *Rosa canina* L., *Rosa pendulina* L. et *Viola odorata* L.). Les analyses réalisées ont en effet mis en évidence que le séchage à froid permettait de mieux préserver les qualités esthétiques des fleurs avec des couleurs plus vives (cf. annexe 1 : Les fleurs comestibles séchées à basse température).

Dans le cas des plantes françaises, les valeurs de Delta E sont toujours inférieures à 2.5, c'est-à-dire qu'aucune différence chromatique entre les produits n'est perceptible à l'œil nu.



2.3.7.3 IMPACT SUR LES COMPOSES VOLATILS

Pour des questions d'espace, nous ne rapporterons ici que les résultats obtenus pour la mauve italienne.

Dans la Figure 31, un biplot illustre la distribution des échantillons de mauve et des capteurs du nez électronique pour chacune des deux premières composantes principales.

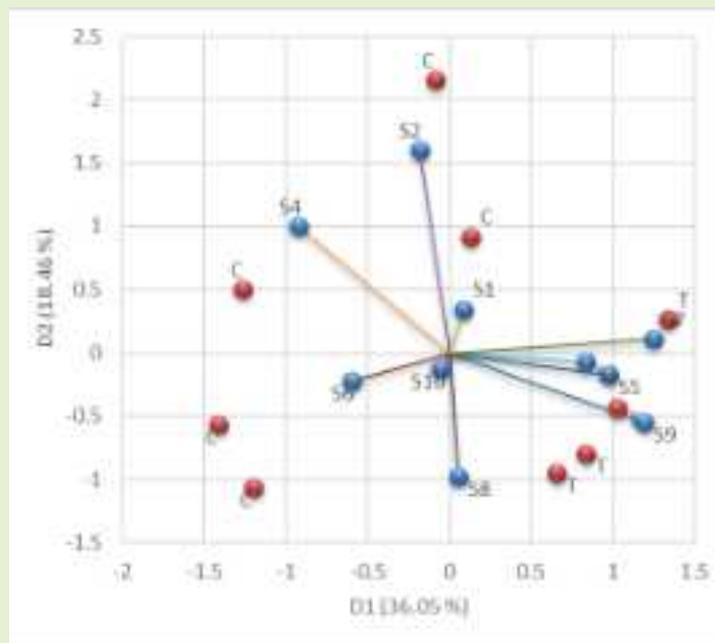


Figure 31: Biplot et distribution des échantillons de mauve séchée de manière traditionnelle (T) et à froid (C) et des capteurs du nez électronique.

On observe une distinction nette entre les échantillons en fonction de leur traitement (séchage traditionnel ou à froid).

Les échantillons séchés de manière traditionnelle entraînent des valeurs élevées au niveau des capteurs S3-S5-S7-S9, particulièrement sensibles aux hydrocarbures aromatiques et aux composés sulfurés, tandis que les échantillons séchés à froid stimulent plutôt les capteurs S2-S4-S6 à large spectre.

Ces résultats sont conformes aux différences perçues par le panel de dégustateurs, confirmant ainsi la différence entre séchage traditionnel et séchage à froid en termes de degré d'intensité des composés volatils dans les échantillons.

2.3.8 IMPACT DES MODES DE SÉCHAGE SUR LE BILAN ÉNERGÉTIQUE

Le [Tableau 21](#) suivant présente le bilan de la consommation électrique moyenne des essais de séchage (sur les 4 plantes étudiées par le CRIEPPAM), au terme des 2 années d'expérimentation. Les valeurs pour 2018 correspondent à la moyenne des 4 essais réalisés et pour 2019 à la moyenne des 2 essais réalisés.

	2018		2019	
	Séchage traditionnel	Séchage à froid	Séchage traditionnel	Séchage à froid
Thym	5,20	13,63	7,75	11,47
Origan	2,92	14,73	6,98	23,93
Sarriette	1,74	11,11	4,58	10,46
Mélisse	3,39	12,87	13,99	38,60

Tableau 21 : Consommation électrique moyenne (Kwh/kg de plante sèche) des essais de séchage pour chaque plante selon les 2 modalités de séchage testées.

La variabilité de la consommation énergétique du séchage est constatée entre les 2 modalités de séchage. Pour toutes les plantes, le séchage par la modalité « à froid » est le plus énergivore.

Ces écarts ont été chiffrés pour chaque plante, et figurent, en pourcentage, dans le [Tableau 22](#) ci-dessous.

ECART MOYEN	THYM	ORIGAN	SARRIETTE	MÉLISSE
2018	61,86%	80,16%	84,34%	73,65%
2019	32,45%	70,85%	56,21%	63,77%

Tableau 22 : Ecarts moyens (%) de consommation électrique entre les 2 modalités de séchage.

Les écarts de consommation électrique observés entre les deux modalités de séchage sont plus importants en 2018 qu'en 2019.

En revanche, pour les deux années et pour chacune des plantes étudiées, la modalité de séchage à froid se démarque largement, avec au minimum 32,45 % d'énergie supplémentaire consommée.

L'hypothèse selon laquelle le séchage à froid consomme moins d'énergie que le séchage traditionnel privilégiée n'est donc pas confirmée.



PARTE 3 : LA DÉBACTÉRIISATION DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES



3.1 ESSAIS DE DÉBACTÉRIISATION

3.1.1 PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES DE DÉBACTÉRIISATION UTILISÉES

Deux technologies de débactérisation ont été testées dans le cadre du projet :

- l'ozone (ozone gazeux et ozone dissout dans l'eau),
- l'eau électrolysée.

3.1.1.1 TRAITEMENT À L'OZONE

○ Traitement à l'ozone gazeux

Le montage pour les traitements de débactérisation à l'ozone comprend un « condenseur », qui concentre l'oxygène contenu dans l'air ambiant. L'O₂ condensé passe ensuite à travers l'ozoneur (générateur LM-5 de Biofresh www.bio-fresh.com), qui va produire l'ozone par une décharge corona. Puis l'O₃ est propulsé par un ventilateur au travers de la couche de végétal à traiter. Sa concentration est alors mesurée par un analyseur (sonde Ozone Analyzer uv-100), qui régule l'envoi d'ozone (Figures 32 et 33).

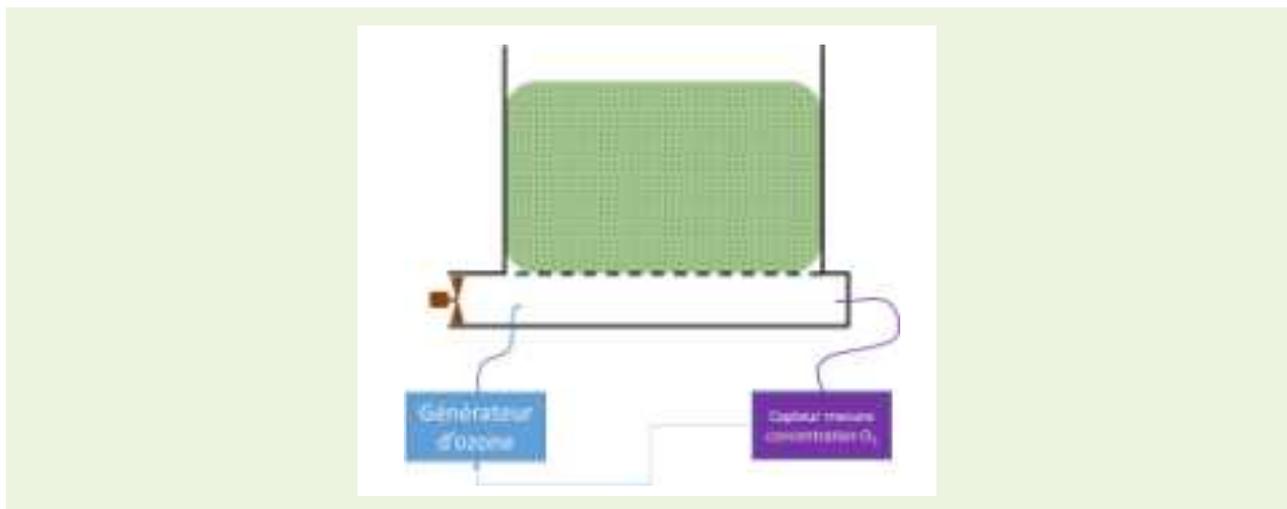


Figure 32 : Schéma de fonctionnement du traitement des plantes à l'ozone gazeux.





Figure 33 : Générateur d'ozono Biofresh LM-5 (sx) et sonde de mesure d'ozone Analyzer uv-100 (dx).

○ Traitement à l'ozone dissout dans l'eau

Pour l'eau ozonée, le tube du générateur est plongé dans l'eau et produit de l'ozone en permanence. Après un certain temps, la concentration d'ozone dans l'eau est mesurée (kit Hanna HI 38054), puis le végétal, contenu dans un filet à maille fine, est plongé dans l'eau. La production d'ozone est maintenue pendant ce trempage. Après la durée déterminée pour ce protocole, le végétal est égoutté (Figure 34).

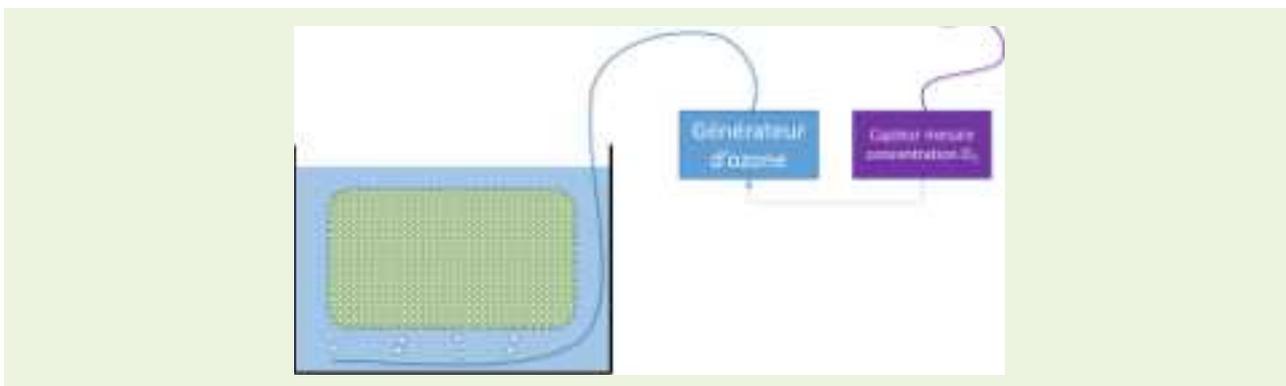


Figure 34 : Schéma de fonctionnement du traitement des plantes à l'eau ozonée.



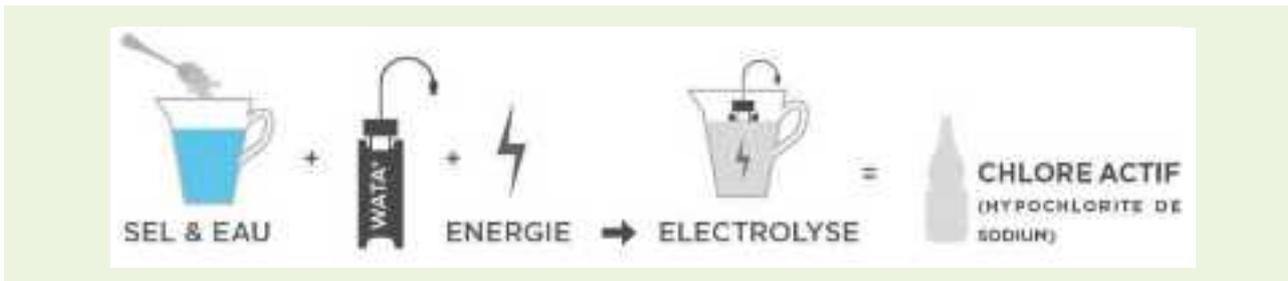
3.1.1.2 TRAITEMENT À L'EAU ÉLECTROLYSÉE

En Italie, l'eau électrolysée a été produite au sein du laboratoire DISAFA à l'aide d'un appareil Eva System 100 (De Nora, Milan) (Figure 35).



Figure 35 : Machine Eva System 100 pour la production d'eau électrolysée (www.poloagrifood.it/site/sanilab).

En France, l'eau électrolysée a été produite par le CRIEPPAM qui a eu la possibilité de tester la technologie WATATM de la société suisse Watalux. Cette technologie permet de produire une solution d'hypochlorite de sodium (6 g/litre de chlore actif) à partir d'une solution de chlorure de sodium (25 g/litre).



watatechnology.com/fr/



3.1.2 PLAN D'EXPÉRIENCE DES ESSAIS DE DÉBACTÉRIISATION

En 2018, des tests préliminaires ont été réalisés en France et en Italie sur l'ensemble des plantes étudiées afin d'arrêter les paramètres définitifs des essais de 2019.

Pour la France, les essais préliminaires ont été réalisés par le CRIEPPAM selon le plan d'expérience suivant (Tableau 23) :

OZONE GAZEUX (PRÉ ET POST-SÉCHAGE)		OZONE DISSOUT DANS L'EAU (PRÉ-SÉCHAGE)
30 minutes	60 minutes	40 minutes
100 ppm	50 ppm	2,20 ppm dans 100 Litres

Tableau 23 : Modalités de traitements de débactérisation pratiquées en 2018 en France.

Pour l'Italie, les essais préliminaires suivants ont été réalisés par le DISAFA selon le plan d'expérience ci-après (Tableau 24) :

OZONE GAZEUX (PENDANT SÉCHAGE ET POST-SÉCHAGE)	EAU ÉLECTROLYSÉE (PRÉ-SÉCHAGE)
4 heures à 72 heures	1-3-5-15 minutes, puis égouttage
20-50-100-200 ppm	10-50-100-200-400 ppm de chlore libre

Tableau 24 : Modalités de traitements de débactérisation pratiquées en 2018 en Italie.

Les paramètres d'expérience qui ont produit les meilleurs résultats en terme de réduction de la charge microbienne des plantes séchées ont été utilisés pour les tests finaux de débactérisation (Tableau 25), à savoir :

- pour les essais à l'ozone gazeux : immersion directe du produit dans des solutions de 50 et 100 ppm et des durées de 48 et 72 heures, après séchage traditionnel et séchage à froid,
- pour les essais à l'eau électrolysée : immersion pendant 1 minute dans des solutions à 100, 200 et 400 ppm puis séchage. L'efficacité du traitement a été évaluée par rapport à l'immersion dans de l'eau déionisée pendant 1 minute.



TRAITEMENTS À L'OZONE (POST-SÉCHAGE)		TRAITEMENTS À L'EAU ÉLECTROLYSÉE (PRÉ-SÉCHAGE)
48 heures	72 heures	1 minute
50 ppm 100 ppm	50 ppm 100 ppm	100, 200 400 ppm

Tableau 25 : Modalités de traitements de débactérisation pratiquées en 2019.

Ces tests ont été réalisés en 2019 sur une seule plante, la mélisse. C'est une plante particulièrement sensible à l'oxydation, et cette sensibilité devait permettre de maximiser les différences observées.



3.2 RÉSULTATS DES ESSAIS DE DÉBACTÉRIISATION

3.2.1 IMPACT DES MODES DE DÉBACTÉRIISATION SUR LA CHARGE ENTOMOLOGIQUE

3.2.1.1 IMPACT DU TRAITEMENT À L'OZONE

Expérience n°1. L'exposition pendant 30 minutes à différentes concentrations d'ozone n'a pas modifié de manière significative la mortalité chez les *T. castaneum* adultes pour aucune plante et aucune modalité de séchage (Tableau 26).

PLANTE	SÉCHAGE	PPM	0	5	10	100
Mauve	à froid traditionnel		0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
			0,0 ± 0,0	4,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	12,0 ± 0,1
Mélisse	à froid traditionnel		8,0 ± 0,1	4,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	4,0 ± 0,0
			4,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	8,0 ± 0,0
Menthe	à froid traditionnel		0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
			0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	4,0 ± 0,0
Origan	à froid traditionnel		0,0 ± 0,0	8,0 ± 0,0	4,0 ± 0,0	12,0 ± 0,0
			0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	4,0 ± 0,0
Sarriette	à froid traditionnel		0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	8,0 ± 0,0
			0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	12,0 ± 0,0
Thym	à froid traditionnel		0,0 ± 0,0	24,0 ± 0,1	40,0 ± 0,1	0,0 ± 0,0
			0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0

Tableau 26 : Taux (moyenne ± ES) de mortalité chez les *Tribolium castaneum* adultes exposés pendant 30 minutes à différentes concentrations (0, 5, 10, 100 ppm) pour les six espèces de plantes séchées à froid ou de manière traditionnelle. (ES : erreur statistique).

Expérience n°2. Le fait de combiner phase de séchage à froid et ozonisation (100 ppm) et de prolonger les durées d'exposition (48 h) a permis d'atteindre 100 % de mortalité sur la mauve, soit une différence importante par rapport à l'échantillon témoin. Le séchage à lui seul n'a pas permis d'obtenir un taux de mortalité significatif (valeurs inférieures à 10 %) (Figure 36).



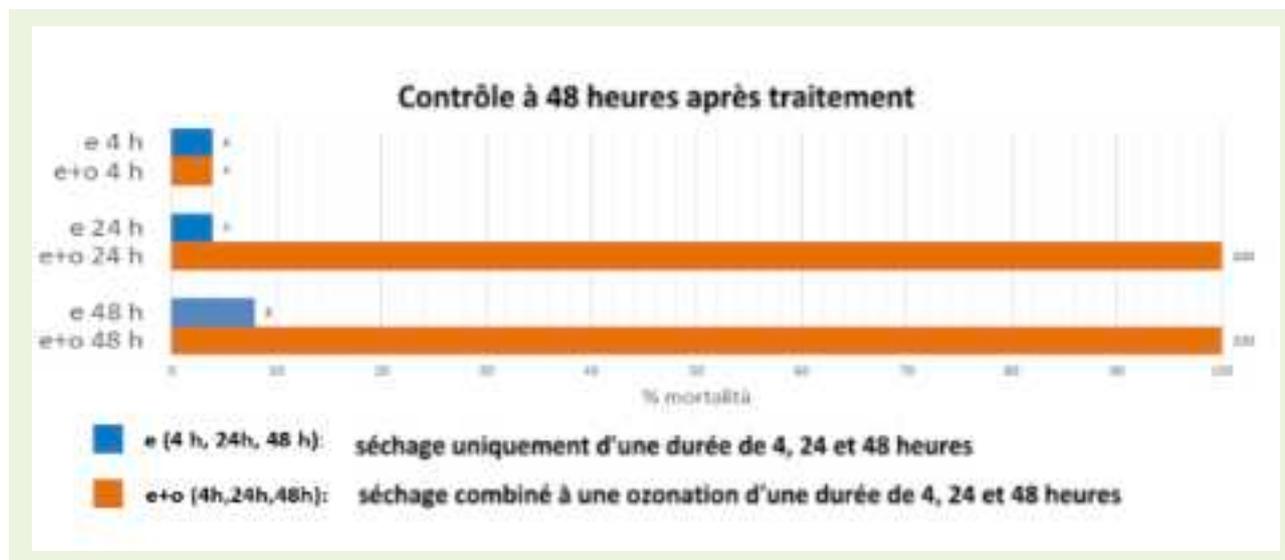


Figure 36 : Mortalité (%) chez les *Tribolium castaneum* adultes après séchage à froid (e) et après séchage à froid + ozonisation à 100 ppm (e+o) pendant 4, 24 ou 48 heures.

Expérience n°3. Les combinaisons de $C \times T \geq 144.000$ ppm x min (ex : 100 ppm x 24 heures) se sont révélées efficaces pour les trois espèces testées, avec une mortalité proche de 100 % chez les coléoptères adultes et parmi les œufs de lépidoptères, soit une différence importante par rapport au témoin non traité (Tableau 27).

C (PPM)	X	T (H)	C (PPM) X T (S)	PLODIA INTERPUNCTELLA	LASIODERMA SERRICORNE	TRIBOLIUM CASTANEUM
100	x	24	144000	97,0 ± 0,8	89,5 ± 0,8	96,5 ± 0,2
100	x	48	288000	100 ± 0,0	100 ± 0,0	100 ± 0,0
100	x	72	432000	100 ± 0,0	100 ± 0,0	100 ± 0,0

Tableau 27 : Taux (moyenne ± ES) de mortalité parmi les œufs de *Plodia interpunctella* et chez les *Lasioderma serricorne* et *Tribolium castaneum* adultes exposés à 100 ppm d'ozone pendant 24, 48 et 72 heures.



3.2.1.2 IMPACT DU TRAITEMENT À L'EAU ÉLECTROLYSÉE

Expérience n°4. Le taux de mortalité chez les *T. castaneum* et *L. serricornis* adultes exposés à des traitements à l'eau électrolysée sur la mélisse pour différentes concentrations n'a pas révélé de différence significative par rapport au témoin non traité, avec des valeurs proches de 0 %, même pour des concentrations de 2 000 ppm.

3.2.2 IMPACT DES MODES DE DÉBACTÉRIISATION SUR LA CHARGE MICROBIOLOGIQUE

Les échantillons traités à l'ozone et à l'eau électrolysée ont été analysés microbiologiquement pour évaluer l'efficacité des deux traitements sur la charge microbienne, comparativement aux échantillons frais et aux échantillons témoins non traités (issus du séchage traditionnel et à froid).

3.2.2.1 IMPACT DU TRAITEMENT À L'OZONE

Les résultats des analyses microbiologiques sur les échantillons de mélisse traités à l'ozone figurent dans le Tableau 28 suivant. Les données sont exprimées en log UFC/g. Pour chaque modalité de séchage, le traitement à l'ozone s'est composé de 2 modalités de durée (48 et 72 heures), afin d'étudier un éventuel effet de la durée sur l'efficacité du traitement à l'ozone.

PARAMÈTRE (LOG UFC/G)	RÉFÉRENCE	FRAIS	TÉMOIN	TRADITIONNEL 48H	A FROID 48H	TRADITIONNEL 72H	A FROID 72H
Micro-organismes 30°C	5,7	6,6	6,4	6,5	6,5	6,3	6,2
Entérobactéries	1	4,2	4,2	4,2	4,2	4,1	4,1
Bacillus cereus	3	3,7	3,6	3	3	3,6	3,6
Levures et moisissures	3	5,2	4,9	4,8	4,7	4,9	4,7
Escherichia coli	1	/	1	1,6	1	1	1
Clostridium perfringens	2,2	/	2,7	2,6	1,6	2,9	1,8
CONCLUSION		NON CONFORME	NON CONFORME	NON CONFORME	NON CONFORME	NON CONFORME	NON CONFORME

Tableau 28 : Résultats (logUFC/g) du traitement de la mélisse à l'ozone (48 et 72 heures de traitement) selon les différentes modalités de séchage.

PARTE 3 : LA DÉBACTÉRIISATION DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES

A dispetto del trattamento con ozono effettuato, nessuno dei campioni analizzati è risultato conforme ai requisiti normativi.

A seconda dei ceppi microbici, si registrano tendenze relative all'effetto della modalità di essiccazione e/o della durata del trattamento, ma queste osservazioni differiscono per ogni ceppo e a volte sono addirittura contraddittorie.

In ogni caso, l'efficacia dei trattamenti con l'ozono è ancora ridotta : la riduzione della contaminazione, se presente, è inferiore a 1 log.

Questi risultati sono vicini a quelli osservati in Italia dove, nella maggior parte dei casi, non è stata osservata alcuna diminuzione significativa della carica microbica.

Per entrambe le modalità di essiccazione, solo il trattamento mediante ozonizzazione a 100 ppm per 72 ore ha prodotto una significativa riduzione della carica microbica.

Nel caso di piante essiccate in modo tradizionale, il trattamento di ozonizzazione a 100 ppm si è rivelato più efficace del trattamento a 50 ppm, con riduzioni della carica microbica fino a 1,5 unità di log, soprattutto per i lieviti xerofili.

In termini di durata del trattamento, si è riscontrato che un'esposizione di 72 ore comporta una riduzione della carica di batteri aerobi mesofili pari a 2 unità logaritmiche e una riduzione delle muffe pari a 1 unità logaritmica.

Nel caso delle piante essiccate a freddo, il trattamento di ozonizzazione a 100 ppm per 48 o 72 ore si è rivelato uno dei più efficaci contro i lieviti xerofili, con una riduzione della carica di almeno 4 unità logaritmiche rispetto al campione di melissa di riferimento, sottoposto unicamente ad essiccazione a bassa temperatura.

3.2.2.2 IMPATTO DEL TRATTAMENTO CON ACQUA ELETTRORIZZATA

Come per il trattamento con ozono, si è riscontrato che la carica microbica dei campioni esaminati era superiore ai criteri normativi nonostante il trattamento di debatterizzazione utilizzato (Tabella 29).

PARAMETRO (LOG UFC/G)	RIFERIMENTO	PIANTA FRESCA	CAMPIONE DI RIFERIMENTO	ESSICCAZIONE TRADIZIONALE	ESSICCAZIONE A FREDDO
Microrganismi 30°C	5,7	7,6	6,5	6,2	5,5
Enterobatteriacee	1	>4,2	3,9	>4,2	>4,2
Bacillus cereus	3	<3,6	<3,6	2,6	<2
CONCLUSIONE		NON CONFORME	NON CONFORME	NON CONFORME	NON CONFORME



PARAMÈTRE (LOG UFC/G)	RÉFÉRENCE	FRAIS	TÉMOIN	SÉCHAGE TRADITIONNEL	SÉCHAGE À FROID
Lieviti e muffe	3	4,9	4,9	4,9	4,1
Escherichia coli	1	/	<1,6	1,8	<1
Clostridium perfringens	2,2	/	<1,6	2,1	1,7
CONCLUSION		NON CONFORME	NON CONFORME	NON CONFORME	NON CONFORME

Tableau 29: Résultats (log UFC/g de matière sèche) du traitement de la mélisse à l'eau électrolysée selon les différentes modalités de séchage.

Néanmoins, plusieurs observations peuvent être faites :

- un effet du séchage sur la réduction de l'activité microbienne, avec une charge microbienne du témoin inférieure à celle de l'échantillon frais, et ce pour les 4 paramètres analysés en frais. On observe, par exemple, une réduction de 2 log UFC/g des micro-organismes à 30°C dans l'échantillon témoin par rapport à l'échantillon frais. Cette observation est en contradiction avec les résultats obtenus pour ces 4 paramètres sur les essais de séchage de la mélisse et de traitement à l'ozone.
- un effet du traitement combiné à un effet de la modalité de séchage sur les micro-organismes à 30°C, Bacillus cereus, les levures et moisissures, et Escherichia coli. Ainsi, pour tous ces paramètres, on observe une charge microbienne inférieure sur les échantillons ayant été séchés par la modalité « à froid ».
- un effet du traitement opposé à l'effet recherché, sur la population d'entérobactéries. Les échantillons traités, quel que soit le type de séchage, présentent une contamination par entérobactéries supérieure au témoin non traité.

Ces observations montrent que le traitement à l'eau électrolysée présente une efficacité effective, mais celle-ci n'est pas suffisante au regard de la réglementation.

Plusieurs effets ont été observés, dont une relation avec la modalité de séchage utilisée après le traitement: le séchage à froid permettrait de « compléter » l'effet du traitement, en réduisant l'activité microbienne davantage que ne le fait le séchage traditionnel. Cette hypothèse est cependant contraire aux précédentes conclusions faites d'après les résultats de séchage de la mélisse : la contamination microbienne avait tendance à être supérieure sur les échantillons séchés à froid.



PARTE 3 : LA DÉBACTÉRIISATION DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES

En Italie, les résultats du traitement par immersion en eau électrolysée puis séchage des échantillons de mélisse ont été comparés aux résultats obtenus pour les plantes aromatiques uniquement traitées à l'eau déionisée.

Pour ce qui est du traitement à l'eau électrolysée, les meilleurs résultats ont été obtenus avec une concentration de 400 ppm de chlore (Figure 37). En effet, l'analyse des échantillons post immersion en eau électrolysée a révélé une diminution de la charge de l'ordre de 1 à 2 unités logarithmiques, qui s'est maintenue après séchage à froid mais qui a continué de diminuer après séchage traditionnel. Il a notamment été constaté, après séchage, une diminution de l'ordre de 4 unités logarithmiques des bactéries mésophiles, de 3 unités logarithmiques des Enterobacteriaceae, de 2 unités logarithmiques des moisissures et de 1 unité logarithmique des levures.

En ce qui concerne les traitements par eau électrolysée à 100 et 200 ppm de chlore, l'action débactérisante ne s'est produite qu'après séchage. Le traitement à 200 ppm s'est notamment avéré le plus efficace contre les *B. cereus*, avec une diminution de la charge de plus de 2 unités logarithmiques.

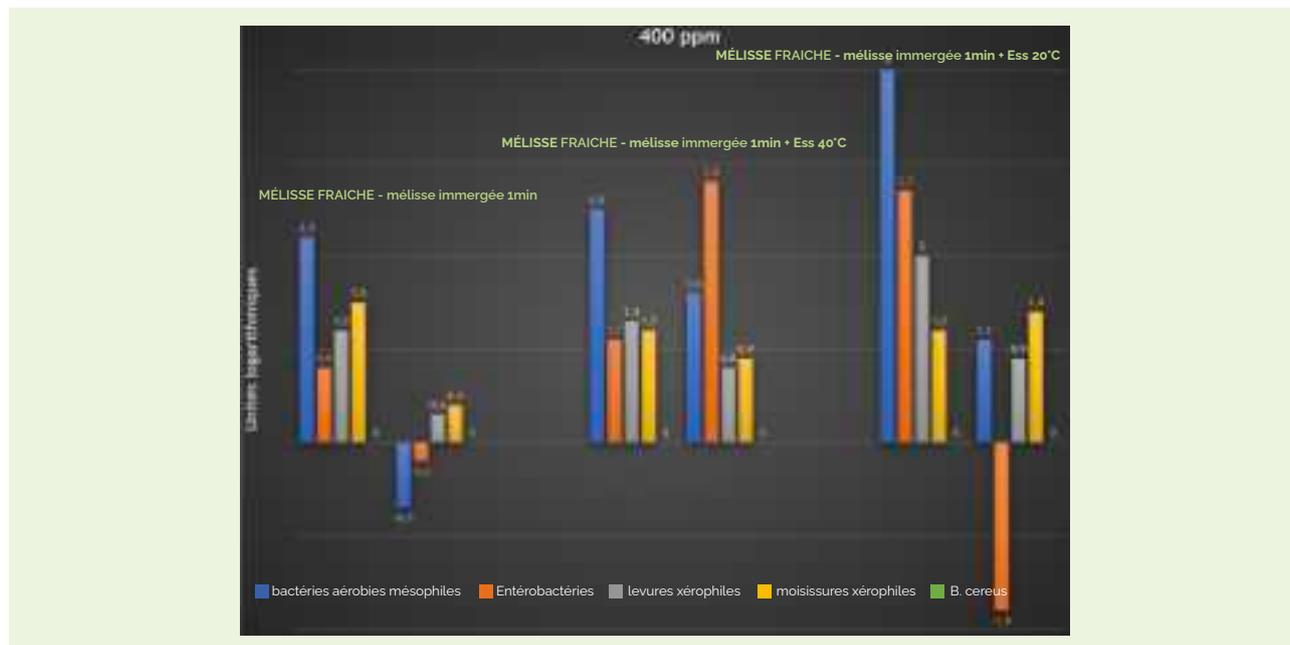


Figure 37 : Résultats du test de débactérisation de la mélisse avec eau électrolysée à 400 ppm de chlore. Les valeurs rapportées pour chacun des traitements correspondent à la différence par rapport à l'échantillon frais.



3.2.3 IMPACT DES MODES DE DÉBACTÉRIATION SUR LA QUANTITÉ ET LA COMPOSITION EN HUILES ESSENTIELLES

3.2.3.1 IMPACT DU TRAITEMENT À L'OZONE

Les résultats des essais de traitement à l'ozone sont disponibles pour la France uniquement.

La *Figure 38* suivante présente la teneur moyenne en huile essentielle des différentes modalités de mélisse débactérisée lors de l'essai 2018.

Les « doses » D1 et D2 font référence à la concentration en ozone et à la durée du traitement : 100 ppm – 30 minutes pour D1 et 50 ppm – 60 minutes pour D2. Les lettres visibles sur la figure représentent les groupes homogènes déterminés par le test de comparaison par paires de Dunn.

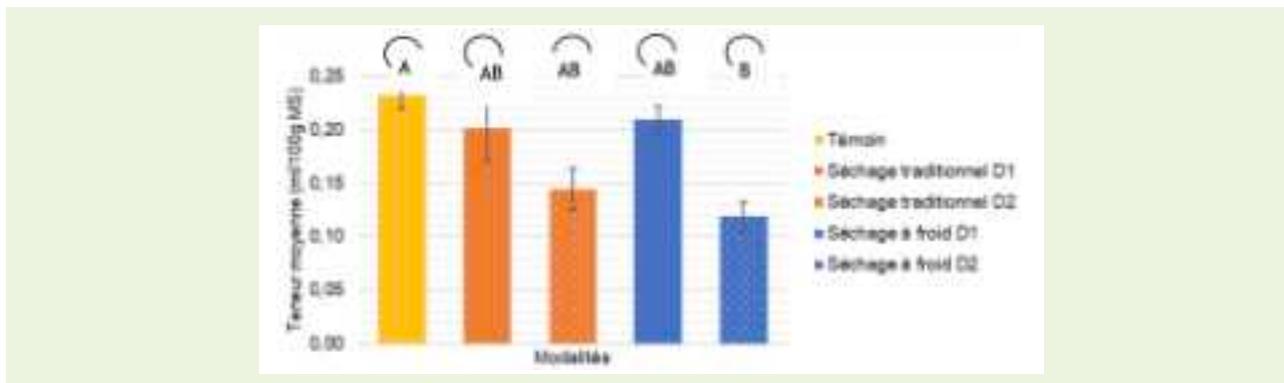


Figure 38 : Teneur moyenne (ml/100 g MS) en huile essentielle de mélisse selon les différentes modalités de séchage et les 2 « doses » de traitement à l'ozone appliquées (Essai 2018).

D'après les résultats des tests de Kruskal Wallis et de Dunn :

- il n'existe pas de différence significative entre la teneur moyenne du témoin et celles des deux échantillons traités par la dose D1, et ce pour les 2 modalités de séchage ;
- pour un traitement avec la même dose, il n'existe pas de différence significative de teneur en huile essentielle liée au type de séchage, traditionnel ou à froid ;
- pour chaque modalité de séchage, les différences de teneurs observées entre les 2 doses sont significatives ($p < 1\%$).



PARTE 3 : LA DÉBACTÉRIISATION DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES

Ces résultats mettent en avant l'existence probable d'un effet de la « dose » sur la teneur en huile essentielle après traitement à l'ozone. En effet, quel que soit le type de séchage, le traitement à l'ozone par la dose D2 a pour conséquence de diminuer significativement la teneur en huile essentielle. La dose D2 a pour caractéristiques d'avoir une concentration en ozone inférieure à la dose D1, et une durée de traitement supérieure : l'impact du traitement à l'ozone sur la teneur en HE serait donc lié davantage à la durée du traitement plutôt qu'à la concentration en ozone appliquée.

Comme l'efficacité de ces traitements n'a pas été effective (au regard de la conformité aux critères microbiologiques de référence fixés par la réglementation européenne), les protocoles ont été modifiés pour les essais de 2019. Le traitement à l'ozone s'est déroulé sur une période de 72 heures, avec une concentration en ozone moyenne de 100 ppm. Les résultats de l'essai apparaissent sur le graphique suivant (Figure 39).



Figure 39 : Teneur moyenne (ml/100 g MS) en huile essentielle de mélisse traitée à l'ozone, selon les 2 modalités de séchage (Essai 2019).

Les valeurs des teneurs moyennes s'échelonnent entre 0,13 et 0,19 ml/100 g de matière sèche.

Un effet du traitement à l'ozone sur la teneur en HE de la mélisse est mis en évidence : le test de comparaison indique la présence d'une différence significative entre les teneurs en HE du témoin et celles de la modalité de séchage traditionnel ($p < 1\%$), mais pas avec la modalité « à froid ». Cette conclusion semble discutable, le test statistique serait plus puissant si le nombre d'échantillons analysés était revu à la hausse.

Concernant la composition des huiles essentielles des échantillons traités à l'ozone, les HE restent stables dans leurs principaux constituants, le traitement à l'ozone n'a pas un impact déterminant (Figure 40). On constate néanmoins des différences dans la répartition des 5 constituants majoritaires des HE entre les 2 années d'étude, 2018 et 2019.



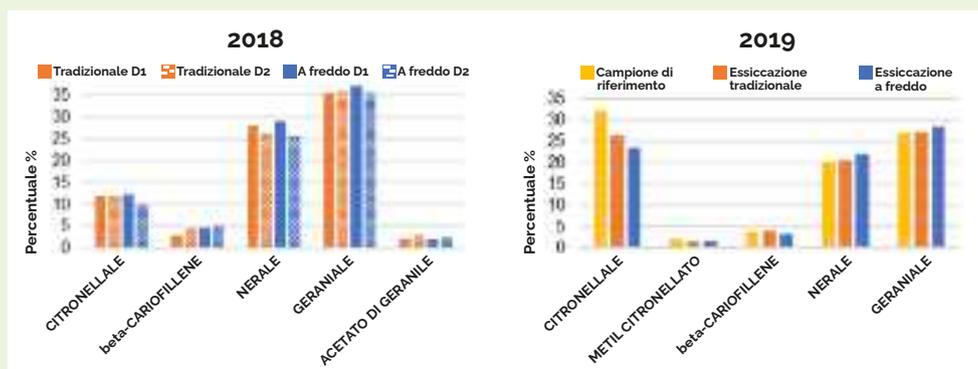


Figure 40 : Proportion (%) des 5 premiers constituants des huiles essentielles de mélisse traitée à l'ozone en 2018 (gauche) et 2019 (droite).

3.2.3.2 IMPACT DU TRAITEMENT À L'EAU ÉLECTROLYSÉE

Les traitements à l'eau électrolysée, pratiqués en 2019 uniquement, ont consisté en l'immersion des échantillons en pré-séchage, 1 minute dans une solution d'eau électrolysée à 400 ppm. Les résultats des teneurs moyennes en huile essentielle sont présentés par la Figure 41 ci-dessous.

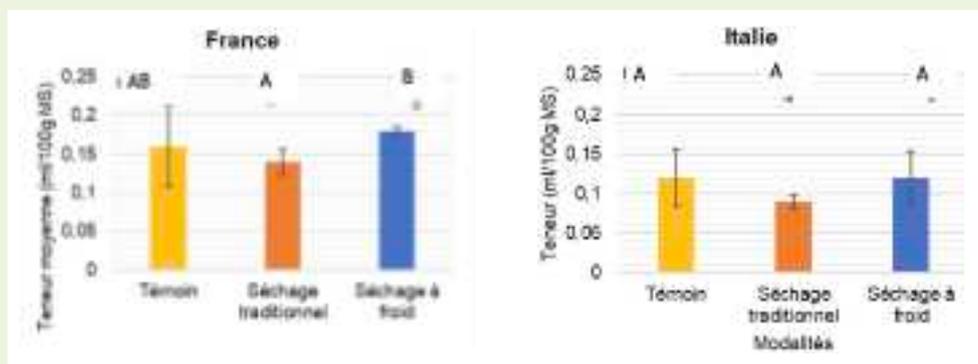


Figure 41 : Teneur moyenne (ml/100 g MS) en huile essentielle de mélisse traitée à l'eau électrolysée, en fonction des modalités de séchage (essais français et italiens).



PARTE 3 : LA DÉBACTÉRIISATION DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES

Les teneurs moyennes en huile essentielle observées se répartissent entre 0,1 et 0,22 mL/ 100 g de matière sèche.

Pour les échantillons français, on note que la teneur en huile essentielle moyenne de la modalité « séchage à froid » est supérieure à celle du témoin non traité. Cette valeur peut sembler incohérente, mais en réalité elle tient son explication du fait que le témoin est un échantillon issu de la modalité « séchage traditionnel ». Or, d'après les résultats des essais de séchage de la mélisse, la teneur moyenne des échantillons séchés « à chaud » est significativement inférieure à la teneur moyenne des échantillons séchés « à froid ».

NB : le séchoir à froid ne disposant que d'un seul compartiment de séchage, il a été malheureusement impossible de produire un témoin non traité.

D'après les tests statistiques, les échantillons des 2 modalités de séchage, traditionnel et à froid, sont significativement différents. La teneur en huile essentielle serait donc impactée davantage pas le type de séchage que par le traitement à l'eau électrolysée, ce qui est en accord avec les résultats des essais de séchage de la mélisse présentés précédemment.

Pour les échantillons italiens, les teneurs moyennes du témoin et de la modalité « à froid » sont égales, tandis que celle de la modalité « traditionnel » est inférieure, contrairement aux résultats français. Cet écart n'est cependant pas significatif au regard du test statistique de Kruskal Wallis.

Concernant la composition des huiles essentielles, la **Figure 42** ci-dessous présente les 5 constituants majoritaires des HE analysées. Des différences entre les échantillons sont visibles mais ne suivent pas une réelle tendance.

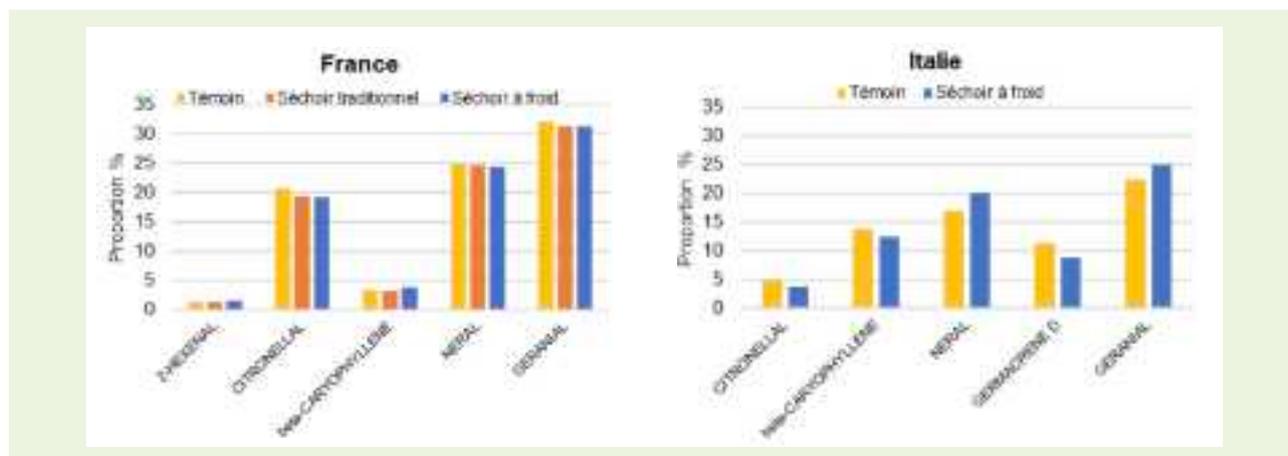


Figure 42 : Proportion (%) des 5 principaux constituants des huiles essentielles de mélisse traitée à l'eau électrolysée.



3.2.4 IMPACT DES MODES DE DÉBACTÉRISATION SUR LE PROFIL SENSORIEL

3.2.4.1 IMPACT SUR LES DIFFÉRENCES ET LES PRÉFÉRENCES

Comme pour les essais de séchage, les analyses sensorielles ont porté, en France, dans un premier temps sur un test duo-trio, pour déterminer l'impact du traitement de débactérisation et du type de séchage sur les caractéristiques organoleptiques du produit.

Pour mémoire, la réponse du dégustateur est exacte lorsqu'il identifie l'échantillon qui est identique au témoin (Tableau 30 et Figure 43).

TRAITEMENT	SÉCHAGE	SANS RÉPONSE	RÉPONSES RETENUES	RÉPONSES EXACTES	SIGNIFICATIVITÉ (RISQUE)
Ozone	Traditionnel	0	33	21	0,0814
	Froid	0	33	27	0,0002
Eau électrolysée	Traditionnel	0	33	18	0,3642
	Froid	0	33	14	0,8519

Tabella 30 : Risultati dei test duo-trio sull'effetto del trattamento e del tipo di essiccazione.



Figure 43 : Histogramme des résultats des tests duo-trio sur l'effet du traitement et du type de séchage.



PARTE 3 : LA DÉBACTÉRIISATION DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES

Les échantillons de mélisse non traitée ayant subi un séchage traditionnel et de mélisse traitée à l'ozone ayant subi un séchage à froid sont significativement différents à 0,1 %.

De même pour la mélisse traitée à l'ozone en séchage traditionnel, on observe une tendance à être différente du témoin à 10 %.

On peut donc conclure que le traitement à l'ozone peut modifier les qualités organoleptiques de la mélisse, notamment lors d'un séchage à froid.

Des tests de préférence ont été réalisés pour chaque plante afin de confirmer les résultats de ce premier test. De même que pour les essais de séchage, les panelistes interrogés n'ont pas signifié de préférence pour les échantillons selon leur modalité de traitement et/ou leur type de séchage.

La différence significative identifiée lors du test duo-trio pour l'échantillon séché à froid et traité à l'ozone ne s'est donc pas vérifiée lors du test de préférence.

En Italie, un test duo-trio a également été réalisé afin de comparer la mélisse traitée à l'eau électrolysée pour trois concentrations différentes (400, 200 et 100 ppm Cl₂) et la mélisse traitée à l'eau déionisée.

Contrairement aux résultats observés en France, les résultats obtenus (Tableau 31) ont mis en évidence, dans la plupart des cas, d'importantes différences entre les deux types de produits, même si le traitement à l'eau électrolysée ne semble pas avoir eu d'incidence sur le choix final.

CONCENTRATION	SÉCHAGE	DIFFÉRENCE
100 ppm	Traditionnel	Non
	À froid	Oui
200 ppm	Traditionnel	Oui
	À froid	Oui
400 ppm	Traditionnel	Non
	À froid	Oui

Tableau 31 : Résultats du test duo-trio effectué afin de comparer la mélisse traitée à l'eau électrolysée pour différentes concentrations et les plantes traitées à l'eau déionisée (échantillons témoins).



3.2.4.2 IMPACT SUR LA COULEUR

Les analyses colorimétriques réalisées sur la mélisse donnent des valeurs de Delta E en général supérieures à 2,5 entre les échantillons traités à l'eau électrolysée et les échantillons témoins (Tableau 32).

TRAD.	À FROID	TRAD.			À FROID			ΔE
		100	200	400	100	200	400	
X		X						2,83
X			X					4,03
X				X				1,50
	X				X			4,99
	X					X		6,90
	X						X	2,88
		X			X			1,90
			X			X		7,44
				X			X	4,85

Tableau 32 : Valeurs de Delta E calculées entre les échantillons de mélisse traitée à l'eau électrolysée et les échantillons témoins en fonction du type de traitement.

Cela signifie qu'une différence chromatique est perceptible à l'œil nu. Les échantillons traités à froid ont notamment révélé des valeurs de luminosité plus élevées ainsi qu'une plus forte tendance au vert et au jaune.

3.2.5 IMPACT DES MODES DE DÉBACTÉRIISATION SUR LA COMPOSITION PHYSICO-CHIMIQUE ET L'ACTIVITÉ ANTIOXYDANTE

3.2.5.1 IMPACT DU TRAITEMENT À L'OZONE

Le traitement à l'ozone n'a eu aucun impact sur la composition physico-chimique et sur l'activité antioxydante de la mélisse.

PARTE 3 : LA DÉBACTÉRIISATION DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES

3.2.5.2 IMPATTO DEL TRATTAMENTO CON ACQUA ELETTROLIZZATA

La **Tabella 33** riporta il contenuto totale di polifenoli e l'attività antiossidante della melissa trattata con acqua elettrolizzata a varie concentrazioni (100, 200 e 400 ppm Cl₂).

Il confronto tra campioni trattati con acqua elettrolizzata e campioni trattati con acqua deionizzata (campioni di riferimento) rivela, nella maggior parte dei casi, differenze statisticamente significative, con valori generalmente più elevati nel caso di campioni trattati con acqua elettrolizzata, sia nel contenuto di polifenoli che nell'attività antiossidante.

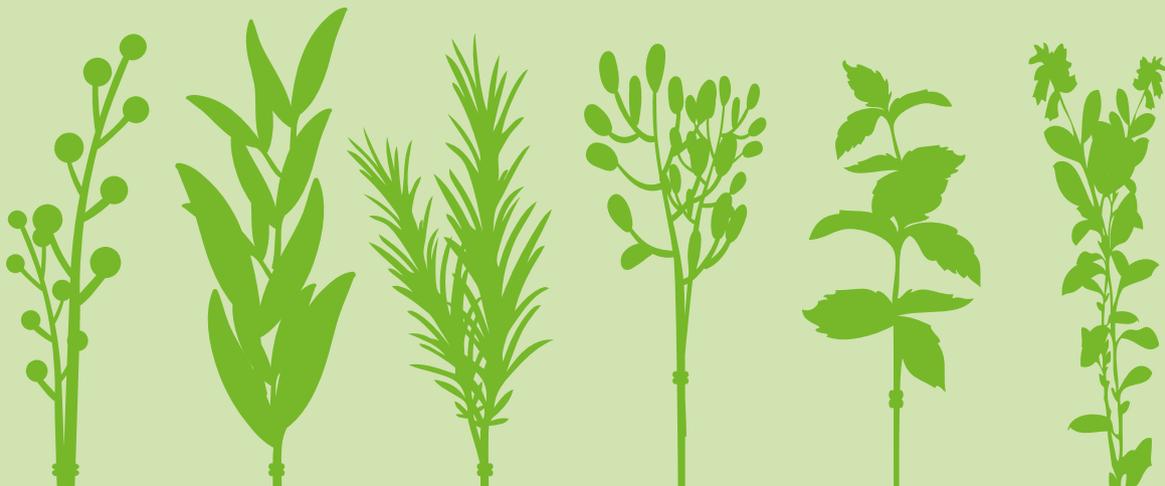
CONCENTRATION	SÉCHAGE	D'ÉCHANTILLON	TPC	SIGN.	RSA	SIGN.
100	Traditionnel	TÉMOIN	39,02 ± 6,39	ns	392,82 ± 52,66	ns
		TRATTATO	43,40 ± 6,93		250,86 ± 38,89	
	À froid	TRAITÉ	57,4 ± 5,99	*	444,83 ± 142,54	ns
		TRAITÉ	47,06 ± 1,78		548,91 ± 33,78	
200	Traditionnel	TÉMOIN	25,53 ± 6,07	*	250,86 ± 38,89	*
		TRAITÉ	43,40 ± 6,93		164,40 ± 33,59	
	À froid	TÉMOIN	47,06 ± 1,78	ns	548,91 ± 33,78	**
		TRAITÉ	68,36 ± 16,89		347,92 ± 76,04	
400	Traditionnel	TÉMOIN	13,61 ± 3,71	***	113,02 ± 3,66	***
		TRAITÉ	32,39 ± 3,55		505,11 ± 45,32	
	À froid	TÉMOIN	38,96 ± 1,86	*	629,33 ± 26,12	ns
		TRAITÉ	87,99 ± 24,63		718,35 ± 152,73	

(* p<0.05 ; ** p<0.01 ; *** p<0.001 ; ns : non significatif)

Tableau 33 : Teneur totale en polyphénols (TPC) et activité antiradicalaire (RSA) de la mélisse traitée à l'eau électrolysée pour différentes concentrations et séchée à froid ou de manière traditionnelle. Les résultats rapportés pour chacun des traitements et chacun des paramètres correspondent à l'analyse des différences entre les deux traitements.



PARTE 4 : CONDITIONNEMENT DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES



4.1. DESCRIPTION DES ESSAIS D'EMBALLAGE

4.1.1 PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES UTILISÉES

Le choix d'une technologie de conditionnement dépend d'une part, de l'investissement initial envisagé et, d'autre part, des performances attendues de l'emballage, du rendement voulu et des caractéristiques esthétiques souhaitées des emballages.

Sur la base de ces critères, deux technologies de conditionnement de plantes séchées ont été retenues et testées (Figures 44 et 45).

SYSTÈME DE CONDITIONNEMENT TESTÉ	CARACTÉRISTIQUES
Machine de conditionnement flow pack vertical	<ul style="list-style-type: none"> Rendement élevé (100 conditionnements/min) Fonctionnement automatique Flux de gaz continu et constant Quantité élevée d'oxygène résiduel Coût d'investissement élevé
Machine de conditionnement à cloche (sous vide compensé/atmosphère modifiée)	<ul style="list-style-type: none"> Rendement faible Fonctionnement manuel Barquettes ou sacs préformés Faible quantité d'oxygène résiduel Faible coût d'investissement



Figure 44 : Schéma de fonctionnement d'une machine de conditionnement flow pack verticale (« vertical form fill seal » - VFFS) et machine utilisée pour le conditionnement des herbes séchées.



Figure 45 : Fardeleuse manuelle à cloche sous vide compensé utilisée pour le conditionnement des plantes séchées.

Ces deux technologies produisent des sachets en film plastique souple, éventuellement à fond plat (« stand up pouch » de type doypack).

L'expérimentation a permis de comparer le conditionnement sous atmosphère modifiée composée à 100 % d'azote à usage alimentaire et le conditionnement sous atmosphère normale (air).

Deux types de film d'emballage adaptés aux technologies étudiées ont été retenus pour l'étude : un matériau de type conventionnel et un matériau innovant et écologique (biodégradable et compostable) ; et pour deux types de conditionnement flow pack et sous cloche.

Dans les deux cas, il s'agit de matériaux à forte barrière contre les gaz et la vapeur d'eau, donc adaptés au conditionnement sous atmosphère modifiée (MAP). Il s'agit de matériaux multicouches à base de polyester et de polyéthylène dans le cas du film conventionnel et à base de cellulose et d'acide polylactique (PLA) dans le cas du film compostable.

4.1.2 PLAN D'EXPÉRIENCE DES ESSAIS D'EMBALLAGE

PLAN D'EXPÉRIENCE	
4 plantes	<ul style="list-style-type: none"> ○ Menthe ○ Mauve ○ Mélisse ○ Sarriette
2 matériaux d'emballage (barrière élevée)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Conventionnel ○ Compostable
2 technologies de conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> ○ Flow pack ○ Fardeleuse à cloche
2 atmosphères	<ul style="list-style-type: none"> ○ Air ○ MAP (azote)
Conservation	<ul style="list-style-type: none"> ○ Température ambiante
Échantillonnage	<ul style="list-style-type: none"> ○ Instant zéro ○ À six mois ○ À douze mois
Analyse	<ul style="list-style-type: none"> ○ Durée de conservation (microbiologique et sensorielle) ○ Composante gazeuse



Exemple d'emballages obtenus à l'aide des deux systèmes de conditionnement (Figure 46).



Figure 46 : Plantes séchées conditionnées en sachets doypack compostables (à gauche) et conventionnels (à droite).

Exemples d'emballages obtenus à partir des deux matériaux testés (Figure 47).



Figure 47 : Plantes séchées conditionnées en emballages flow pack compostables (à gauche) et conventionnels (à droite).

4.2 RÉSULTATS DES ESSAIS D'EMBALLAGE

4.2.1 IMPACT DES MODES D'EMBALLAGE SUR LA CHARGE MICROBIOLOGIQUE

La qualité microbiologique des plantes a été évaluée 6 mois après conditionnement pour les différents types d'emballages, en comparant les résultats à ceux obtenus lors du conditionnement.

Dans l'ensemble, les analyses effectuées sur la mauve, la mélisse et la menthe ont révélé une réduction de la charge microbienne pouvant atteindre 2 unités logarithmiques en l'espace de 6 mois de conservation.

Les quatre groupes de micro-organismes analysés sont les aérobies mésophiles, les Enterobacteriaceae, les moisissures et les levures xérophiles. Il a été constaté une forte diminution des Enterobacteriaceae sur toutes les plantes étudiées, avec des réductions pouvant atteindre 3 unités logarithmiques. Dans l'ensemble, les moisissures xérophiles présentes sur la mélisse ont fortement diminué, de même que les levures xérophiles présentes sur la mauve et la menthe.

La qualité microbiologique a également été évaluée après 1 an. Il a alors été constaté, pour chacun des groupes microbiens examinés, une réduction de charge de l'ordre de 1 ou 2 unités logarithmiques par rapport aux analyses réalisées à 6 mois.

Bien que des différences statistiques aient été constatées, aucun des paramètres (méthode de conditionnement, type d'atmosphère, matériau d'emballage) n'a eu d'impact déterminant sur l'évolution de la charge, quelles que soient les plantes analysées.

4.2.2 IMPACT DES MODES D'EMBALLAGE SUR LE PROFIL SENSORIEL

L'impact des différents types de conditionnement sur le profil sensoriel des plantes séchées à froid a été étudié en analysant les composés volatils par HS-SPME/GC-MS.

Les plantes séchées et conditionnées ont été analysées après 6 mois et 12 mois de conservation à température ambiante, en comparant les matériaux d'emballage utilisés (conventionnels/compostables) et le type d'atmosphère utilisée (air/azote).

Dans le premier cas, les échantillons ont été extraits à l'aide d'un solvant adéquat puis analysés par chromatographie en phase gazeuse combinée à une spectrométrie de masse triple quadripôle.

Dans le deuxième cas, la composante gazeuse a été déterminée à l'aide d'une technique extractive de micro-extraction en phase solide (SPME), à base de fibre de silice fondue recouverte d'une petite quantité de phase stationnaire absorbante à laquelle a été exposé l'échantillon.

Dans les deux cas, l'analyse qualitative s'est appuyée sur les bases de données de spectres de référence (ex : NIST,



PARTE 4 : CONDITIONNEMENT DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES

Wiley, etc.). L'analyse quantitative s'est appuyée, le cas échéant, sur une norme interne et sur la normalisation à 100 de l'intensité des signaux obtenus pour les substances reconnues.

Les molécules identifiées étaient nombreuses, quelles que soient les plantes analysées. Les principales familles chimiques identifiées pour les plantes séchées sont les monoterpènes, les monoterpénoïdes et les sesquiterpènes, mais aussi les aldéhydes, les esters et les alcools, conformément à ce que de nombreuses études scientifiques ont démontré.

Dans l'ensemble, il est possible d'affirmer qu'à l'exception de certaines molécules, aucune différence notable n'est apparue entre les différents types de conditionnement.

En effet, les composés chimiques qui déterminent de manière prépondérante le profil aromatique des plantes, et dont la concentration est par conséquent plus élevée, sont les mêmes pour tous les échantillons, avec de légères différences de concentration selon le type de conditionnement.

Pour conclure, il ressort des résultats obtenus que les matériaux d'emballage compostables testés au cours de l'expérimentation ne modifient pas de manière significative le profil aromatique des plantes séchées pendant leur conservation et constituent par conséquent une alternative valable et innovante offrant des performances technologiques comparables à celles des matériaux utilisés actuellement pour le conditionnement des plantes séchées.



PARTE 5 : LE LABORATOIRE ESSICA



PARTE 5 : LE LABORATOIRE ESSICA

Le projet Essica a permis l'ouverture d'un nouvel espace de recherche et d'innovation dédié au développement des filières agroalimentaires.

Équipé de matériels de pointe pour la transformation des matières premières agricoles, le laboratoire Essica est au cœur d'un réseau d'entrepreneurs, chercheurs, producteurs et consommateurs.

Dédié à l'expérimentation de haut niveau pour les secteurs agroalimentaire et cosmétique, le laboratoire dispose des équipements suivants :

- un séchoir à froid d'une capacité de 100 kg (Figure 48) ;
- un extracteur assisté par micro-ondes doté des réacteurs d'une capacité de 5 l et de 12 l ;
- un broyeur à couteaux ou à marteaux de 2300 tours/min avec tamis de différentes tailles ;
- une machine de conditionnement à cloche avec fardeleuse de 40 cm et pompe à vide de 16m³/h.



Figure 48 : Déshumidificateur de marque Northwest Technologies, Le Terre dei Savoia.



Le laboratoire est en outre un lieu d'échange et de débat sur les questions telles que l'économie circulaire, le développement durable et l'innovation, et se met au service de tous les acteurs désireux de faire avancer la recherche et la production.

Le laboratoire ESSICA se trouve à Savigliano (CN), non loin du MÚSES, l'Académie européenne des essences.



ESSICA Lab

Auprès du Palais Taffini d'Acceglio
Entrée en Via Antica Contrada delle Beccherie
Savigliano 12038 (CN)
T: +39 0172 86472 | M: essicalab@leterredeisavoia.it
www.leterredeisavoia.it/fr/essica-laboratoire/

Associazione Le Terre dei Savoia

Auprès du Château de Racconigi
Piazza Carlo Alberto 6/A 12035 Racconigi (CN)
T: +39 0172 86472 | Courriel: info@leterredeisavoia.it
www.leterredeisavoia.it/fr/



CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES



Le projet de recherche Alcotra Essica a eu pour objectif d'accroître la compétitivité de la filière transalpine des plantes aromatiques et médicinales (producteurs et transformateurs) en aidant les professionnels du secteur à obtenir des produits de qualité, conformes aux exigences en matière de sécurité sanitaire des aliments.

Portant sur six plantes aromatiques et médicinales – thym, origan, sarriette, mauve, menthe et mélisse, le projet s'est concentré sur l'étude et l'évaluation de modes de séchage (à air chaud et à air froid), de débactérisation (traitements à l'ozone et à l'eau électrolysée) et d'emballages biodégradables.

Ces modes de transformation et de conditionnement ont été évalués au regard de plusieurs critères, tant sanitaires que qualitatifs tels que l'activité entomologique et microbiologique, la composition physico-chimique, la teneur et la composition en huile essentielle et le profil sensoriel des plantes.

Comme l'atteste ce rapport, le volume de travail et les essais réalisés ont été très importants et ont permis de dégager les enseignements suivants :

○ Concernant le séchage

Le procédé de séchage à froid a globalement eu moins d'impact sur la structure interne des plantes que le séchage traditionnel, notamment pour la mélisse, la menthe et la mauve qui n'ont présenté aucun signe de sénescence cellulaire. Ce procédé semble également avoir mieux préservé les propriétés antioxydantes des végétaux.

Autre avantage constaté, le séchage à froid n'a impacté ni la teneur en huile essentielle, ni la composition des huiles essentielles, ni la qualité organoleptique des plantes.

Ce procédé peut donc facilement se substituer au procédé de séchage traditionnel.

A noter toutefois, des réductions moindres du nombre d'insectes présents par ce procédé à froid par rapport au séchage à air chaud.

Synthèse des résultats du séchage à froid par rapport au séchage traditionnel (40°C).

IMPACTS	THYM	ORIGAN	SARRIETTE	MÉLISSE	MENTHE	MAUVE
Structure interne	Non analysé	Non analysé	=	+	+	+
Activité entomologique	-	-	-	-	-	-
Activité microbiologique	+	=	=	=	-	



IMPACTS	THYM	ORIGAN	SARRIETTE	MÉLISSE	MENTHE	MAUVE
Composition physico-chimique	-	-	+	-	+	+
Teneur en huile essentielle	=	=	=	+ (FR) - (IT)	=	
Composition en huile essentielle	=	=	=	= (FR) - (IT)	=	
Profil sensoriel	=	=	= (FR) + (IT)	= (FR) - (IT)	=	+

(-) résultats du séchage à froid inférieurs à ceux du séchage traditionnel à chaud.

(+) résultats du séchage à froid supérieurs à ceux du séchage traditionnel à chaud.

(=) résultats du séchage à froid équivalents à ceux du séchage traditionnel à chaud.

IT : Italie, FR : France

Pour ce qui est du séchage, les résultats obtenus ont parfois été différents entre les essais conduits en France et en Italie. C'est notamment le cas de la mélisse. On y voit clairement une dégradation de la teneur en huile essentielle et une modification majeure du profil aromatique dans les essais italiens. Ces différences sont difficiles à expliquer.

A l'inverse, lorsque des résultats plus marqués, et à l'avantage du séchage à froid, ont été relevés en Italie (pour la sarriette par exemple), on peut envisager une explication : le climat entre les deux régions est assez différent, généralement plus humide du côté italien. Pour cette raison, le séchage à l'air ambiant (ou légèrement réchauffé) donne des résultats médiocres, et donc la technique alternative du séchage à froid permet de palier à ce problème. Cet effet n'est pas ou peu observé du côté français car l'air y est plus sec naturellement, ce qui permet de mieux conserver la qualité de la plante lors du séchage. Ainsi les écarts sont beaucoup plus marqués lorsque le climat est plus humide. Il en ressort que le séchage à froid peut présenter un fort intérêt pour les producteurs en fonction de l'espèce végétale et des caractéristiques locales de l'air ambiant. Ainsi, pour des espèces plus difficiles à sécher (mauve, menthe, mélisse) et dans des conditions d'air ambiant plus humide, on pourra privilégier cette méthode qui permettra de mieux préserver les caractéristiques du produit.



○ Concernant la débactérisation

Les différents tests réalisés en matière de débactérisation à l'ozone et à l'eau électrolysée n'ont pas permis d'obtenir des échantillons conformes aux exigences réglementaires. Les essais préliminaires réalisés ont néanmoins montré que certaines plantes (thym, origan et sarriette) sont naturellement inhibitrices de *Listeria*.

Concernant le traitement à l'ozone, une réduction de certaines souches microbiennes a été observée notamment dans le cadre d'une exposition à 100 ppm x 72 h mais ces observations diffèrent pour chaque souche, et sont même parfois contradictoires. Dans tous les cas, l'efficacité des traitements à l'ozone reste limitée : la réduction de la contamination, si elle existe, est inférieure à 1 log.

Il en est de même pour le traitement à l'eau électrolysée. Le test à 400 ppm a notamment révélé une diminution directe et immédiate du nombre de micro-organismes sur l'échantillon frais de mélisse non encore séché mais en quantité insuffisante au regard des objectifs visés.

Les deux procédés de débactérisation testés n'ont pas montré d'impact significatif sur la teneur et la composition en huile essentielle ainsi que sur le profil sensoriel.

On note uniquement des valeurs en antioxydants supérieures avec un traitement à l'eau électrolysée comparativement à un traitement témoin à l'eau déionisée.

Ces essais permettent toutefois d'ouvrir des pistes intéressantes pour réduire la charge microbienne sur les plantes. En effet, les méthodes habituelles de débactérisation utilisant de la vapeur sont agressives pour les végétaux contenant des huiles essentielles, aussi bien pour leur teneur en HE que pour leur couleur.

Synthèse des résultats des essais de débactérisation à l'ozone et à l'eau électrolysée.

IMPACTS	OZONE	EAU ÉLECTROLYSÉE
Activité entomologique	=	=
Activité microbiologique	=	=
Composition physico-chimique	=	+
Teneur en huile essentielle	=	=
Composition en huile essentielle	=	=
Profil sensoriel	=	=

(=) risultati del trattamento equivalenti a quelli dei campioni di riferimento e dei campioni freschi.

(+) risultati del trattamento superiori a quelli dei campioni di riferimento e dei campioni freschi.



○ Concernant les emballages biodégradables

Il ressort des essais qui ont été réalisés dans le cadre du projet que les matériaux d'emballage compostables testés ne modifient pas de manière significative la charge microbiologique et le profil aromatique des plantes séchées pendant leur conservation.

Ces matériaux constituent par conséquent une alternative valable et innovante offrant des performances technologiques comparables à celles des matériaux utilisés actuellement pour le conditionnement des plantes séchées.

Pistes de réflexion pour l'avenir

La comparaison des résultats avec la littérature disponible sur le sujet a permis de corroborer certains résultats et d'en contredire d'autres, mais surtout de mettre en évidence certaines limites de l'expérimentation.

Des propositions ont été avancées afin de s'affranchir des limites identifiées.

D'un côté, il a été proposé de compléter la discussion par une comparaison « croisée » des résultats avec ceux de la première année du projet (2018) et ceux du partenaire technique italien, pour apporter de nouvelles perspectives ou confirmer les résultats obtenus.

D'un autre côté, la reconduite des expérimentations au cours d'une 3ème année d'étude a été suggérée. Cette dernière nécessiterait alors une revisite des protocoles de séchage et de débactérisation, notamment dans l'optique de se rapprocher davantage des conditions réelles de production de la filière des plantes aromatiques et médicinales, pour que les résultats puissent servir aux opérateurs de cette filière.

Au final, ces travaux ont permis de tester des méthodes innovantes de traitement des plantes permettant de mieux préserver leurs caractéristiques organoleptiques. Les résultats ne sont pas toujours tranchés de façon définitive et font ressortir des nuances selon les espèces végétales étudiées et selon les conditions dans lesquelles les plantes sont traitées. Ainsi, il ressort qu'il n'y a pas une règle unique qui s'applique, mais qu'il faut adapter les procédés aux espèces et aux conditions locales.

Cette étude a permis de mettre en évidence que le séchage à froid permettait des gains de qualité dans certains cas. Les producteurs auront un avantage à utiliser cette technologie lorsque leurs conditions climatiques locales seront mauvaises (problèmes d'humidité relative), tout en conservant, voire en améliorant, la qualité des produits.

Des tests préalables pourraient être envisagés à l'aide des équipements installés dans le cadre du programme, afin de pouvoir guider les producteurs avant qu'ils engagent des investissements.



FIGURES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES



FIGURES

Figure 1 : Zone ALCOTRA - territoires transfrontaliers éligibles, INTERREG-ALCOTRA, 2019.	15
Figure 2 : Montage d'hydrodistillation de type Clevenger, CRIEPPAM.	20
Figure 3 : Exemples de fiches utilisées pour le test duo-trio.	22
Figure 4 : Nez électronique PEN 3.	23
Figure 5 : Exemple de profil relevé à l'aide du nez électronique.	24
Figure 6 : Dispositif de séchage expérimental pour la modalité de séchage « traditionnel », CRIEPPAM.	28
Figure 7 : Séchoir à air forcé utilisé en Italie, DISAFA.	29
Figure 8 : Déshumidificateur de marque Northwest Technologies NWT35, CRIEPPAM.	30
Figure 9 : Déshumidificateur de marque Northwest Technologies NWT100, Le Terre dei Savoia.	30
Figure 10 : Batteuse stationnaire (PLOT 2375) utilisée, CRIEPPAM	30
Figure 11 : Tranches semi-fines de mauve observées au microscope optique (A : plante fraîche, B : plante séchée air chaud, C : plante séchée air froid).	33
Figure 12 : Tranches semi-fines de mélisse observées au microscope optique (A : plante fraîche, B : plante séchée air chaud, C : plante séchée air froid).	34
Figure 13 : Tranches semi-fines de menthe observées au microscope optique (A : plante fraîche, B : plante séchée air chaud, C : plante séchée air froid).	34
Figure 14 : Tranches semi-fines de sarriette observées au microscope optique (A : plante fraîche, B : plante séchée air chaud, C : plante séchée air froid).	35
Figure 15 : Tranches fines de mauve observées au microscope électronique.	36
Figure 16 : Tranches fines de mauve observées au microscope électronique et contamination fongique.	37
Figure 17 : Tranches fines de mélisse observées au microscope électronique.	38
Figure 18 : Tranches fines de menthe observées au microscope électronique.	39
Figure 19 : Tranches fines de sarriette observées au microscope électronique.	40
Figure 20 : Observations au stéréomicroscope des différents échantillons par méthode de séchage.	41
Figure 21 : Teneur moyenne (mL/100 g MS) en huiles essentielles de thym en 2018 et 2019.	48
Figure 22 : Proportion (%) des 5 principaux constituants de l'huile essentielle de thym selon la modalité de l'échantillon, en 2018 (gauche) et 2019 (droite).	49
Figure 23 : Teneur moyenne (mL/100 g MS) en huiles essentielles d'origan en 2018 et 2019.	49
Figure 24 : Proportion (%) des 5 principaux constituants de l'huile essentielle d'origan selon la modalité de l'échantillon, en 2018 (gauche) et 2019 (droite).	50
Figure 25 : Teneur moyenne (mL/100 g MS) en huiles essentielles de sarriette en 2018 et 2019, en France et en Italie.	50
Figure 26 : Proportion (%) des 5 principaux constituants de l'huile essentielle de sarriette, des échantillons français et italiens distillés en 2018 et 2019.	51
Figure 27 : Teneur moyenne (mL/100 g MS) en huiles essentielles de mélisse, en 2018 et 2019, en France et en Italie.	52



Figure 28 : Proportion (%) des 5 principaux constituants de l'huile essentielle de mélisse, des échantillons français et italiens distillés en 2018 et 2019.	53
Figure 29 : Teneur moyenne (ml/100 g MS) en huiles essentielles de menthe, en 2018 et 2019, en France et en Italie.	54
Figure 30 : Proportion (%) des 5 principaux constituants de l'huile essentielle de menthe selon la modalité de l'échantillon, en 2018 (gauche) et 2019 (droite).	54
Figure 31 : Biplot et distribution des échantillons de mauve séchée de manière traditionnelle (T) et à froid (C) et des capteurs du nez électronique.	61
Figure 32 : Schéma de fonctionnement du traitement des plantes à l'ozone gazeux.	64
Figure 33 : Générateur d'ozono Biofresh LM-5 (sx) et sonde de mesure d'ozone Analyzer uv-100 (dx).	65
Figure 34 : Schéma de fonctionnement du traitement des plantes à l'eau ozonée.	65
Figure 35 : Machine Eva System 100 pour la production d'eau électrolysée (www.poloagrifood.it/site/sanilab).	66
Figure 36 : Mortalité (%) chez les <i>Tribolium castaneum</i> adultes après séchage à froid (e) et après séchage à froid + ozonisation à 100 ppm (e+o) pendant 4, 24 ou 48 heures	70
Figure 37 : Résultats du test de débactérisation de la mélisse avec eau électrolysée à 400 ppm de chlore. Les valeurs rapportées pour chacun des traitements correspondent à la différence par rapport à l'échantillon frais.	74
Figure 38 : Teneur moyenne (ml/100 g MS) en huile essentielle de mélisse selon les différentes modalités de séchage et les 2 « doses » de traitement à l'ozone appliquées (Essai 2018).	75
Figure 39 : Teneur moyenne (ml/100 g MS) en huile essentielle de mélisse traitée à l'ozone, selon les 2 modalités de séchage (Essai 2019).	76
Figure 40 : Proportion (%) des 5 premiers constituants des huiles essentielles de mélisse traitée à l'ozone en 2018 (gauche) et 2019 (droite).	77
Figure 41 : Teneur moyenne (ml/100 g MS) en huile essentielle de mélisse traitée à l'eau électrolysée, en fonction des modalités de séchage (essais français et italiens).	77
Figure 42 : Proportion (%) des 5 principaux constituants des huiles essentielles de mélisse traitée à l'eau électrolysée.	78
Figure 43 : Histogramme des résultats des tests duo-trio sur l'effet du traitement et du type de séchage.	79
Figure 44 : Schéma de fonctionnement d'une machine de conditionnement flow pack verticale (« vertical form fill seal » – VFFS) et machine utilisée pour le conditionnement des herbes séchées.	84
Figure 45 : Fardeleuse manuelle à cloche sous vide compensé utilisée pour le conditionnement des plantes séchées.	85
Figure 46 : Plantes séchées conditionnées en sachets doypack compostables (à gauche) et conventionnels (à droite).	87
Figure 47 : Plantes séchées conditionnées en emballages flow pack compostables (à gauche) et conventionnels (à droite).	87
Figure 48 : Déshumidificateur de marque Northwest Technologies, Le Terre dei Savoia.	92



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abassi K., Bakhshi Khaniki G., Sefidkon F., 2006. Influence of drying and extraction methods on yield and chemical composition of the essential oil of *Satureja hortensis*. *Journal of Food Chemistry*. Vol. 99, Issue 1, pp 19-23.
- Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé, 2008. Recommandations relatives aux critères de qualité des huiles essentielles, contribution pour l'évaluation de la sécurité des produits cosmétiques contenant des huiles essentielles [en ligne] Disponible sur : <www.ansm.sante.fr/reco-criteres-qualite-huiles-essentielles.pdf> (consulté le 15/06/2019).
- Agromédia, 2015. HPP : l'agroalimentaire se met sous hautes pressions [en ligne] Disponible sur : <cutt.ly/neTOKJD> (consulté le 25/09/2019).
- Arabhosseini A., Padhye S., Van Beek T., Van Boxtel A., Huisman W., Posthumus M., Müller J., 2006. Loss of essential oil of tarragon (*Artemisia dracunculoides* L.) due to drying. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Vol. 86, Issue 15, pp 2543-2550.
- Argyropoulos D., Müller J., 2014. Changes of essential oil content and composition during convective drying of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Industrial Crops and products*. Vol. 52, pp 118-124.
- Atti-Santos A., Pansera M-R., Paroul N., Atti-Serafini L., Moyna P., 2011. Seasonal Variation of Essential Oil Yield and Composition of *Thymus vulgaris* L. (Lamiaceae) from South Brazil. *Journal of essential oil research*. Vol. 16, pp 294-295.
- Benabelkader T., 2012. Biodiversité, Bioactivité et Biosynthèse des composés terpéniques volatils des Lavandes Ailées *Lavandula stoechas* sensu lato, un complexe d'espèces méditerranéennes d'intérêt pharmacologique. Thèse en biologie et écophysiologie végétale sous la direction de A. Kameli et L. Legendre. Ecole Normale Supérieure de Kouba-Alger, 281 pages.
- Bio de Provence-Alpes-Côte d'Azur, 2016. De la production à la vente des plantes à parfum, aromatiques et médicinales (frais et sec). Collection « Mini-Guide Filière et Marchés PPAM bio », Edition 2016 [en ligne] Disponible sur : <cutt.ly/aeTOzXH> (consulté le 13/06/2019).
- Bio de Provence-Alpes-Côte d'Azur, 2018. Plantes aromatiques et médicinales cultivées et cueillette. Chiffres clés au 31/12/2017. Observatoire Régional de l'Agriculture Biologique – PACA, Edition 2018 [en ligne] Disponible sur : <urlz.fr/aYq5> (consulté le 13/06/2019).
- Bonduau S., Joliet T., 2013. Fiche technique - PPAM bio « procédés et techniques de séchage de PPAM bio à la ferme » [en ligne] Disponible sur : <urlz.fr/aYq8> (consulté le 10/07/2019).
- Bray, 2018. Les Français et l'alimentation : de nombreuses attentes à combler. Consommateurs, études de consommation, bio & responsable. Article LSA-conso [en ligne] Disponible sur : <cutt.ly/BeTOxBk> (consulté le 29/07/2019).
- Christieans S., 2015. Nouvelles technologies alternatives à la désinfection chimique ; Intérêts, limites, avenir. WorkShop EcoSec [en ligne] Disponible sur : <cutt.ly/LeTOMI4> (consulté le 09/07/2019).
- CPPARM, 2008. La journée annuelle technico-économique des plantes à parfum, aromatiques et médicinales bio, 9 octobre 2008 dans le Puy de Dôme [en ligne] Disponible sur : <www.cpparm.org/wp-content/uploads/Journee_2008_sechage.pdf> (consulté le 10/07/2019).
- CPPARM, 2018. Production française de PPAM Bio : Forces et besoins en région SUD. Speed Meeting CPPARM, 27 novembre 2018, Forcalquier [document interne].
- CPPARM, 2019a. "La filière française des PPAM", fiche plaquette CPPARM.
- CPPARM, 2019b. Innovations organisationnelles dans le processus de transformation des plantes aromatiques [document interne].
- CRIEPPAM, 2019. Nos activités [en ligne] Disponible sur : <www.criepam.fr/> (consulté le 22/04/2019).
- CTCPA, 2017. Technologie de décontamination : ozone gazeux [document interne].
- CTCPA, 2018. Technologies de séchage et de décontamination pour les plantes aromatiques et médicinales [document interne].



- CTCPA, 2019a. Technologies de séchage : Séchage à température ambiante sur claies [document interne].
- CTCPA, 2019b. Technologies de séchage : Séchage basse température – pompe à chaleur [document interne].
- Deans S.G., Svoboda K., Bartlett M., 1990. Effect of Microwave Oven and Warm-Air Drying on the Microflora and Volatile Oil Profile of Culinary Herbs. *Journal of Essential Oil Research*. Vol. 3, Issue 5, pp 341-347.
- Deschepper R., 2017. Variabilité de la composition des huiles essentielles et intérêt de la notion de chémotype en aromathérapie. Thèse de doctorat en pharmacie, Faculté de Pharmacie de Marseille, 172 pages.
- Determinazione della Direzione Sanità n°780, 2011. Linee guida per l'analisi del rischio nel campo della microbiologia degli alimenti [en ligne] Disponible sur : <www.ceirsa.org/docum/allegato_punto4.pdf> (consulté le 19/09/2019).
- Département de la Haute-Savoie, 2019. INTERREG ALCOTRA (France-Italie) [en ligne] Disponible sur : <www.hautesavoie.fr/interreg-alcotra-france-italie> (consulté le 22/04/2019).
- Dhulster P., Karoui R., 2015. Principes physiques du séchage / Le séchage par entraînement. Génie industriel alimentaire en ligne, Université de Lille - Sciences et Technologies [en ligne] Disponible sur : <tech-alim.univ-lille1.fr/sechage/co/Chapitre1_4.html> (consulté le 12/07/2019).
- Diaz-Maroto M.C., Pérez-Coello M.S, Sanchez-Palomo E., Gonzales-Vinas M.A., 2007. Impact of drying and storage time on sensory characteristics of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *Journal of Sensory Studies*. Vol. 22, Issue 1, pp 34-48.
- Diaz-Maroto M.C., Gonzalez-Vinas M.A., Cabezudo M.D., 2003. Evaluation of the effect of drying on aroma of parsley by free choice profiling. *European Food Research and Technology*. Vol. 216, Issue 3, pp 227-232.
- Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des fraudes, 2019. Réglementation relative aux auxiliaires technologiques [en ligne] Disponible sur : <cutt.ly/reTONAr> (consulté le 15/09/2019).
- Eau-pure-services.com, 2019. Principe d'électrolyse du système Converss [en ligne] Disponible sur : eau-pure-services.com/docs/electrolyse.pdf (consulté le 14/08/2019).
- Ebadi M., Azizi M., Sefidkon F., Ahmadi N., 2015. Influence of different drying methods on drying period, essential oil content and composition of *Lippia citriodora* Kunth. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*. Vol. 2, pp 182-187.
- Essica, 2016. Description technique détaillée [document interne].
- Essica, 2017a. WP3.1.1 Etude du marché des PPAM et identification des 4 plantes aromatiques les plus significatives pour chaque zone [document interne].
- Essica, 2017b. WP3.1.2 Rapport de l'enquête sur le séchage et la débactérisation pratiqués en France [document interne].
- Essica, 2017c. WP3.1 Microbiologie des herbes aromatiques [document interne].
- Essica, 2018a. WP3.1 Rapport de synthèse final – études et planification préliminaires [document interne].
- Essica, 2018b. WP3.1.4. Restituzione dello studio bibliografico sugli insetti di maggiore interesse per le specie aromatiche identificate [document interne].
- Essica, 2018c. Commerce extérieur France et Italie. Données Comtrade [document interne].
- Fathima A., Begum K., Rajalakshmi D., 2001. Microwave drying of selected greens and their sensory characteristics. *Plant Foods for Human Nutrition*. Vol. 56, Issue 4, pp 303-311.
- Feknous S., Saidi F., Mohamed Said R., 2014. Extraction, caractérisation et identification de quelques métabolites secondaires actifs de la mélisse (*Melissa officinalis* L.). *Revue « Nature & Technologie »*. A- Sciences fondamentales et Engineering, n° 11/Juin 2014, pp 07-13.
- Fogele B., Granta R., Valciņa O., Bērziņš A., 2018. Occurrence and diversity of *Bacillus cereus* and moulds in spices and herbs. *Food Control*. Vol. 83, pp. 69-74.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

FranceAgriMer, 2012. Etude sur l'analyse de chaînes de valeur dans les filières de plantes à parfum, aromatiques et médicinales. Rapport final [en ligne] Disponible sur : <cutt.ly/3eTOmTg> (consulté le 17/09/2019).

FranceAgriMer, 2016a. Filière Plantes à parfum, aromatiques et médicinales, Panorama 2015. Données et bilans [en ligne] Disponible sur : <cutt.ly/oeTOQRs> (consulté le 13/08/2019).

FranceAgriMer, 2016b. La place de la production bio en PPAM [en ligne] Disponible sur : <cutt.ly/eeTOWr2> (consulté le 13/06/2019).

FranceAgriMer, 2016c. Les plantes à parfum, aromatiques et médicinales en France [en ligne] Disponible sur : <www.ceddem.org/maj/upload/publications/fichier_47.pdf> (consulté le 02/10/2019).

FranceAgriMer, 2018. Filières plantes à parfum, aromatiques et médicinales ; Panorama 2016. Direction Marchés, études et prospective / Délégation nationale de FranceAgriMer Volx / édition 2018 [en ligne] Disponible sur : <cutt.ly/8eTOEqh> (consulté le 12/06/2019).

Garbowska M., Berthold-Pluta A., Stasiak-Rozanska L., 2015. Microbiological quality of selected spices and herbs including the presence of Cronobacter spp. Food Microbiology. Vol.49, pp 1-5.

Hoxha V., Ilbert H., Sahi L., 2016. Le marché des plantes aromatiques et médicinales : analyse des tendances du marché mondial et des stratégies économiques en Albanie et en Algérie. Etude du Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes - Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier (CIHEAM-IAMM), Rapport final, 222 p. [en ligne] Disponible sur : <cutt.ly/xeTOElm> (consulté le 25/04/2019).

Huang Y-R., Hung Y-C., Hsu S-Y., Huang Y-W., Hwang D-F., 2008. Application of electrolyzed water in the food industry [en ligne] Disponible sur : <cutt.ly/ReTORuW> (consulté le 14/08/2019).

Imelouane B., Amhamdi H., Whatelet JP., Ankit M., Khedid K., El Bachiri A., 2009. Chemical composition of the essential oil of thyme (*Thymus vulgaris*) from Eastern Morocco. International Journal of Agriculture and Biology. Vol.11, Issue 2, pp 205-208.

INTERREG – ALCOTRA, 2018. Programme de Coopération Territoriale Transfrontalière : Interreg V – A France-Italie Alcotra 2014-2020 (version 3, 110 pages) [en ligne] Disponible sur : <www.interreg-alcotra.eu/sites/default/files/pc_version_3_04-05-2018_fr.pdf> (consulté le 23/04/2019).

INTERREG – ALCOTRA, 2019. Présentation générale du programme [en ligne] Disponible sur : <cutt.ly/7eTOTth> (consulté le 22/04/2019).

ITEIPMAI, 1995. Le séchage, des principes à la définition de votre installation. Chemillé, 1995. 166 pages.

ITEIPMAI, 2013. Les huiles essentielles dans la protection des cultures : une voie en cours d'exploration. 8 pages [en ligne] Disponible sur : <cutt.ly/WeTOLQO> (consulté le 27/10/2019).

ITEIPMAI, 2019. La filière PPAM [en ligne] Disponible sur : <www.iteipmai.fr/qui-sommes-nous/la-filiere-ppam> (consulté le 22/04/2019).

Jerkovic I., Mastelic J., Milos M., 2001. The impact of both the season of collection and drying on the volatile constituents of *Origanum vulgare* L. ssp. *hirtum* grown wild in Croatia. International Journal of Food Science and Technology. Vol. 36, Issue 6, pp 649-654.

Kaloustian J., Chevalier J., Mikail C., Martino M., Abou L., Vergnes M., 2008. Étude de six huiles essentielles : composition chimique et activité antibactérienne. Phytothérapie. Vol.6, Issue 3, pp 160-164.

Kazi M., Parlapani F.F., Boziaris I.S., Vellios E.K., Lykas C., 2017. Effect of ozone on the microbiological status of five dried aromatic plants. Journal of the Science of Food and Agriculture. Vol.98, Issue 4, pp 1369-1373.

Kordali S., Cakir A., Ozer H., Cakmakci R., Kesdek M., Mete E., 2008. Antifungal, phytotoxic and insecticidal properties of essential oil isolated from Turkish *Origanum acutidens* and its three components, carvacrol, thymol and p-cymene. Bioresource Technology. Vol.99, Issue 18, pp 8788-8795.

Kustrac D., Kuftevec J., Blazevic N., Maffei M., 1995. Comparison of the Essential Oil Composition of Two Subspecies of *Satureja montana*. Journal of essential oil research. Vol. 8, Issue 1, pp 7-13.



- Labbé J., 2018. Les plantes médicinales et l'herboristerie : à la croisée de savoirs ancestraux et d'enjeux d'avenir. Rapport d'information n° 727 (2017-2018) [en ligne] Disponible sur : www.senat.fr/rap/r17-727/r17-7274.html (consulté le 10/06/2019).
- Larousse agricole, 2002. Plantes à parfum, plantes aromatiques, plantes médicinales. Définitions [en ligne] Disponible sur : www.larousse.fr/archives/agricole/page/431 (consulté le 10/09/2019).
- Le Men A., 2018. Comptes rendus de la mi développement de l'herboristerie. Table ronde autour de Mme Ida Bost, auteure d'une thèse sur l'histoire des herboristes en France, Pr Pierre Champy, professeur de pharmacognosie à l'université Paris-Sud, Mme Agnès Le Men, directrice du Conservatoire national des plantes à parfum, médicinales, aromatiques et industrielles (CNPMAI) [en ligne] Disponible sur : cutt.ly/UeTOYhk (consulté le 17/06/2019).
- Lenntech, 2019a. Génération de l'ozone [en ligne] Disponible sur : www.lenntech.fr/bibliotheque/ozone/generation/ozone/ozone-generation.htm (consulté le 09/06/2019).
- Lenntech, 2019b. Introduction à l'ozone [en ligne] Disponible sur : www.lenntech.fr/bibliotheque/ozone/ozone/ozone-introduction.htm (consulté le 09/06/2019).
- Lenntech, 2019c. Mécanisme de désinfection à l'ozone [en ligne] Disponible sur : cutt.ly/YeTOUua (consulté le 09/06/2019).
- Lenntech, 2019d. Propriétés et structures de l'ozone [en ligne] Disponible sur : www.lenntech.fr/bibliotheque/ozone/proprietes/ozone/ozone-proprietes.htm (consulté le 09/06/2019).
- Lenntech, 2019e. Désinfectants : acide péracétique [en ligne] Disponible sur : cutt.ly/geTOUPW (consulté le 19/09/2019).
- Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2019. Infographie - L'agriculture biologique en France [en ligne] Disponible sur : agriculture.gouv.fr/infographie-lagriculture-biologique-en-france (consulté le 17/06/2019).
- Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, 2013. Piano di settore della filiera delle piante officinali 2013-16 [en ligne] Disponible sur : cutt.ly/ieTOHbm (consulté le 08/08/2019).
- Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, 2014. Piano di settore della filiera delle piante officinali 2014-16 [en ligne] Disponible sur : cutt.ly/LeTOIRw (consulté le 08/08/2019).
- Muséum National d'Histoire Naturelle, 2019a. Thym commun [en ligne] Disponible sur : cutt.ly/oeTOObn (consulté le 22/04/2019).
- Muséum National d'Histoire Naturelle, 2019b. Origanum vulgare L. [en ligne] Disponible sur : inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/111289 (consulté le 22/04/2019).
- Omidbaigi R., Sefidkon F., Kazemi F., 2004. Influence of drying methods on the essential oil content and composition of Roman chamomile. *Flavour and fragrance journal*. Vol.19, Issue 3, pp 196-198.
- Ongeng D., Devlieghere F., Debevere J., Coosemans J., & Ryckeboer J., 2006. The efficacy of electrolyzed oxidizing water for inactivating spoilage microorganisms in process water and on minimally processed vegetables. *International Journal of Food Microbiology*. Vol.109, Issue 3, pp 187-197.
- Pérez A., Sanz C., Rios J., Olias R., Olias J., 1999. Effects of Ozone Treatment on Postharvest Strawberry Quality. *Journal of Agriculture and food Chemistry*. Vol. 47, pp 1652 -1656.
- Pirbalouti A., Hashemi M., Ghahfarohi F., 2013a. Essential oil and chemical compositions of wild and cultivated *Thymus daenensis* Celak and *Thymus vulgaris* L. *Industrial Crops and Products*. Vol.48, July 2013, pp 43-48.
- Pirbalouti A., Oraie M., Pouriamehr M., Badadi E., 2013b. Effects of drying methods on qualitative and quantitative of the essential oil of *Bakhtiari* savory (*Satureja bachtiarica* Bunge). *Industrial Crops and Products*. Vol.46, pp 324-327.
- Plan de la filière des Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales, 2017. Données issues de FranceAgriMer et des structures de la filière [en ligne] Disponible sur : cutt.ly/GeTOPbk (consulté le 17/06/2019).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

PPAM de France, 2019. CRIEPPAM [en ligne] Disponible sur : <www.ppamdefrance.com/crieppam> (consulté le 05/05/2019).

Produire Bio, 2016. La filière PPAM bio [en ligne] Disponible sur : <www.produire-bio.fr/filiere-ppam-bio> (consulté le 17/06/2019).

Rahman S.M.E, Khan I., Oh D.-H., 2016. Electrolyzed water as a novel sanitizer in the food industry : current trends and future perspectives [en ligne] Disponible sur : <cutt.ly/ieTOAms> (consulté le 17/08/2019).

Sénat, 2019. Les plantes médicinales et l'herboristerie : à la croisée de savoirs ancestraux et d'enjeux d'avenir ; III. Un environnement réglementaire complexe et contraint : des freins à lever. Rapport d'information [en ligne] Disponible sur : <www.senat.fr/rap/r17-727/r17-7276.html#toc162> (consulté le 12/08/2019).

Senatore F., 1996. Influence of Harvesting Time on Yield and Composition of the Essential Oil of a Thyme (*Thymus pulegioides* L.) Growing Wild in Campania (Southern Italy). *Journal of agricultural and food chemistry*. Vol. 44, Issue 5, pp 1327-1332.

Sermondadaz S., Chauveau L., 2017. Salon de l'agriculture : l'agriculture française en quelques chiffres [en ligne] Disponible sur : <cutt.ly/leTOSma> (consulté le 10/06/2019).

Terre dei Savoia, 2019. Essica – Innovation de procédés pour la filière des plantes aromatiques séchées [en ligne] Disponible sur : <www.visitterredeisavoia.it/it/progetti/essica> (consulté le 22/04/2019).

Torlak E., Sert D., Ulca P., 2013. Efficacy of gaseous ozone against Salmonella and microbial population on dried oregano. *International Journal of Food Microbiology*. Vol.165, Issue 3, pp 276-280.

Trotec GmbH, 2019. Les déshumidificateurs industriels à condensation de la série DH [en ligne] Disponible sur : <cutt.ly/3eTOD2j> (consulté le 16/06/2019).

Valtcho D., Zheljazkov, Astatkie T., Schlegel V., 2012. Distillation Time Changes Oregano Essential Oil Yields and Composition but Not the Antioxidant or Antimicrobial Activities. *American society for horticultural sciences*. Vol. 47, Issue 6, pp 777-784.

Venskutonis P.R., 1997. Effect of drying on the volatile constituents of thyme (*Thymus vulgaris* L.) and sage (*Salvia officinalis* L.). *Food Chemistry*. Vol. 59, Issue 2, pp 219-227.

Wang H., Feng H., Luo Y., 2004. Microbial reduction and storage quality of fresh-cut cilantro washed with acidic electrolyzed water and aqueous ozone. *Food Research International*. Vol. 37, Issue 10, pp 949-956.

Wani S., Maker J., Thompson J., Barnes J., Singleton I., 2015. Effect of Ozone Treatment on Inactivation of *Escherichia coli* and *Listeria sp.* on Spinach. *Journal of Agriculture*. Vol. 5, pp 155-169.

Wójcik-Stopczyńska B., Jakubowska B., Reichelt M., 2009. Microbiological contamination of dried culinary herbs. *Herba Polonica*. Vol. 55, Issue 3, pp 207-213.

Xu J., Ji B.-P., Pei R.-S., Xu N., 2008. The antibacterial mechanism of carvacrol and thymol against *Escherichia coli*. *Letters in applied microbiology*. Vol. 47, Issue 3, pp 174-179.

Zeng X., Tang W., Ye G., Ouyang T., Tian L., Ni Y., Li P., 2010. Studies on Disinfection Mechanism of Electrolyzed Oxidizing Water on *E. coli* and *Staphylococcus aureus*. *Journal of Food Science*. Vol. 75, Issue 5, pp 253-260.



ANNEXE



Annexe 1

ANTEA RENCONTRE L'ESSICA LES FLEURS COMESTIBLES SÉCHÉES À BASSE TEMPÉRATURE

AUTEURS : Sonia Demasi, Matteo Caser, Nicole Mélanie Falla, Elena Cerutti, Giuseppe Zeppa, Valentina Scariot

Depuis des siècles, les fleurs et les inflorescences comestibles sont un élément clé de la nutrition dans de nombreuses régions du monde, avec des documentations remontant aux Grecs et aux Romains de l'Antiquité, qui utilisaient les fleurs pour apporter des éléments sensoriels intéressants aux plats et pour donner du plaisir à l'œil (Fernandes et al., 2017 ; Pires et al., 2019 ; Takahashi et al., 2020). Le consommateur italien utilise et consomme traditionnellement différentes espèces de fleurs et d'inflorescences, telles que les fleurs de courge, les artichauts ou le safran ; aujourd'hui, l'intérêt pour ces produits ne fait que croître, grâce aussi à la créativité des chefs qui aiment étonner en utilisant des ingrédients d'apparence et de goût inhabituels (Teubner, 2001). Le marché des fleurs comestibles, bien qu'il reste un marché de niche, est en constante expansion dans le monde entier et les espèces les plus produites et commercialisées sont *Calendula officinalis* L., *Hibiscus rosa-sinensis* L., *Rosa* spp., *Tagetes* spp., *Tropaeolum majus* L. et *Viola* spp. (Fernandes et al., 2020). Cependant, les espèces de fleurs comestibles sont innombrables, aussi bien cultivées que sauvages, et font l'objet de nombreuses études scientifiques (Ceccanti et al., 2018). En effet, les fleurs comestibles possèdent de nombreuses propriétés bénéfiques, dues aux composés bioactifs qui les constituent. En plus d'avoir une forte teneur en eau et une faible teneur en graisse, les fleurs sont caractérisées par des vitamines, des polyphénols et des anthocyanes, à des concentrations variables selon les espèces et les conditions de culture et de transformation. Ces composés sont principalement responsables de l'activité antioxydante, qui aide à lutter contre le vieillissement cellulaire et les maladies connexes, telles que les états inflammatoires et les problèmes cardiovasculaires (Durazzo et al., 2019). L'industrie alimentaire évalue également le potentiel des extraits de fleurs en tant qu'additif naturel ou agent colorant.

Les fleurs comestibles sont très polyvalentes et peuvent être utilisées de diverses manières dans les préparations alimentaires : fraîches pour garnir les plats et les salades, rôties, étuvées, placées dans des glaçons pour préparer des cocktails et des boissons, cristallisées avec du sucre, conservées dans l'alcool ou traitées pour produire des tisanes et des sirops (Mlcek et Rop, 2011). Cependant, les fleurs comestibles se caractérisent par un niveau élevé d'humidité, de respiration et de transpiration, comme tous les produits d'origine végétale, et après 2 à 5 jours à compter de la récolte, elles commencent à se détériorer, ce qui entraîne leur fanaison, la perte de couleur et l'assombrissement des tissus (Fernandes et al., 2018). Le séchage est certainement une technologie efficace pour prolonger la durée de conservation de ces produits, qui peuvent ensuite être plus facilement commercialisés grâce à une meilleure stabilité. Toutefois, le séchage traditionnel (effectué entre 40°C et 70°C) peut entraîner des altérations de la composition et au niveau sensoriel des fleurs au cours du processus, ainsi qu'une réduction considérable de leur beauté. En effet, les températures élevées, combinées à de longs intervalles de traitement, peuvent avoir des effets négatifs sur le goût, la couleur et les caractéristiques nutritionnelles du produit fini, ainsi que modifier la consistance, ce qui peut dans certains cas le rendre

peu attrayant (Sharma et Prasad, 2003). Le séchage à basse température, largement utilisé dans le secteur alimentaire, pourrait au contraire permettre de préserver les caractéristiques sensorielles et physico-chimiques des matrices soumises au traitement.

Une synergie a donc été développée entre les projets Interreg Alcotra VA « Antea » (n. 1139 - <http://interregantea.eu/>), visant à étudier et à promouvoir des activités innovantes pour le développement de la filière transfrontalière des fleurs comestibles entre l'Italie et la France, et « Essica » (Fig. 1). L'expérimentation a porté sur l'évaluation du séchage à basse température sur des fleurs comestibles (Fig.2), dans les laboratoires du Département des sciences agricoles, forestières et alimentaires (DISAFA) de l'Université de Turin, sous la coordination de la Professeur Valentina Scariot. Huit espèces de fleurs comestibles ont été étudiées (Fig.3) : *Bellis perennis* L., *Centaurea cyanus* L., *Dianthus carthusianorum* L., *Lavandula angustifolia* Mill., *Primula vulgaris* Huds., *Rosa canina* L., *Rosa pendulina* L. et *Viola odorata* L. En particulier, le produit séché à basse température (Fig. 4) a été comparé à la fois à des fleurs fraîchement cueillies et à celles séchées de manière traditionnelle (dans une étuve à 50°C) (Fig. 5). Pour chaque espèce et type de produit, des extraits aqueux ont été préparés à l'aide de la technologie des ultrasons (Takahashi et al., 2020) et la teneur totale en polyphénols, la teneur totale en anthocyanines et l'activité antioxydante ont été évaluées sur ces extraits. Bien qu'en général on ne constate pas de différences significatives au niveau phytochimique entre les deux types de séchage, celui à basse température a mieux préservé les caractéristiques esthétiques, en maintenant des couleurs plus vives dans les fleurs (Fig. 6). Le séchage à basse température appliqué aux fleurs comestibles est donc une technologie adaptée à la mise en valeur de cette production émergente, qui mérite d'être étudiée et approfondie.



Figure 1 : Logos des projets Interreg-Alcotra Antea et Essica



Figure 2 : Intérieur du séchoir à basse température utilisé dans les projets Essica et Antea.



Figure 3 : Espèces à fleurs comestibles qui ont été séchées à basse température : *Bellis perennis* (1), *Centaurea cyanus* (2), *Dianthus carthusianorum* (3), *Lavandula angustifolia* (4), *Primula vulgaris* (5), *Rosa canina* (6), *Rosa pendulina* (7) et *Viola odorata* (8).



Figure 4 : Fleurs fraîches de *Primula vulgaris* disposées sur des plateaux de séchage.

Figure 5 : Fleurs de *Primula vulgaris* fraîches (à gauche) et séchées selon la méthode traditionnelle (à droite).



Figure 6 : Pétales de (a) Églantine et (b) Rosier des Alpes séchés selon la méthode traditionnelle (à gauche) et à basse température (à droite).

Bibliographie

- Ceccanti, C., Landi, M., Benvenuti, S., Pardossi, A., and Guidi, L. (2018). Mediterranean Wild Edible Plants : Weeds or "New Functional Crops"? *Molecules* 23, 2299. doi.org/10.3390/molecules23092299.
- Durazzo, A., Lucarini, M., Souto, E. B., Cicala, C., Caiazzo, E., Izzo, A. A., et al. (2019). Polyphenols : A concise overview on the chemistry, occurrence, and human health. *Phyther. Res.* 33, 2221–2243. doi.org/10.1002/ptr.6419.
- Fernandes, L., Casal, S., Pereira, J.A., Saraiva, J.A., Ramalhosa, E., 2017. Edible flowers : A review of the nutritional, antioxidant, antimicrobial properties and effects on human health. *J. Food Compos. Anal.* 60, 38–50. doi.org/10.1016/j.jfca.2017.03.017.
- Fernandes, L., Saraiva, J.A., Pereira, J.A., Casal, S., Ramalhosa, E., 2019. Post-harvest technologies applied to edible flowers : A review. *Food Rev. Int.* 35, 132–154. doi.org/10.1080/87559129.2018.1473422.
- Fernandes, L., Casal, S., Pereira, J.A., Saraiva, J.A., Ramalhosa, E., 2020. An overview on the market of edible flowers. *Food Rev. Int.* 36, 258–275. doi.org/10.1080/87559129.2019.1639727.
- Mlcek, J., Rop, O., 2011. Fresh edible flowers of ornamental plants - A new source of nutraceutical foods. *Trends Food Sci. Technol.* 22, 561–569. doi.org/10.1016/j.tifs.2011.04.006.
- Pires, T.C.S.P., Barros, L., Santos-Buelga, C., Ferreira, I.C.F.R., 2019. Edible flowers : Emerging components in the diet. *Trends Food Sci. Technol.* 93, 244–258. doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.020.
- Sharma G.P., Prasad S., 2003. Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave hot air combination. *Journal of Food Engineering* : 50 : 99-105.
- Takahashi, J.A., Rezende, F.A.G.G., Moura, M.A.F., Dominguete, L.C.B., Sande, D., 2020. Edible flowers : Bioactive profile and its potential to be used in food development. *Food Res. Int.* 129, 108868. doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108868.
- Teubner C., 2001. Erbe: l'arte di cucinare con i fiori. In "Food", Teubner Edition, 20-35 pp.



Projet de

Associazione Le Terre dei Savoia

ELENA CERUTTI
FRANCESCO COZZOLINO
LUCIA ZAQUINI

Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari – DISAFA Università di Torino

SELENA COSTARELLI
PAOLA DOLCI
BARBARA LETIZIA INGEGNO
ELENA MANZA
LUCIANA TAVELLA
GIUSEPPE ZEPPA

Centre Régionalisé Interprofessionnel d'Expérimentation en Plantes à Parfum Aromatiques et Médicinales – CRIEPPAM

BERT CANDAELE
JENNIFER COËT
LOAN JAUD
SYLVAIN PERROT
FATOU THIONE

FranceAgriMer

CLAUDE CHAILAN
ALIX COURIVAUD

Polo Agrifood

DARIO VALLAURI

Conception graphique

SERENA BOSCA

Traduction

EVA BRUNO





ESSICA Lab

Auprès du Palais Taffini d'Acceglio

Entrée en Via Antica Contrada delle Beccherie

Savigliano 12038 (CN)

Tel. 0172/86472 | Courriel: essicalab@leterredeisavoia.it

www.leterredeisavoia.it/fr/essica-laboratoire/

ISBN 9788899731601



9 788899 731601