

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



**INSTITUT DE LA NUTRITION, DE L'ALIMENTATION ET
DES TECHNOLOGIES AGRO-ALIMENTAIRES
I.N.A.T.A.A.**

N° d'ordre : 52/DS/2022

N° de série : 01/IN/2022

Thèse de doctorat en Science

Spécialité : Sciences Alimentaires

Présenté par

Asma SENOUSSI

**Etude du lien entre le terroir et les
caractéristiques du fromage traditionnel
Algérien *Bouhezza***

Soutenue le : **22/06/2022**

Jury composé de :

<u>Président du jury</u>	BOUGHELLOUT H. Professeur (I.N.A.T.A.A., U.C.1, Constantine)
<u>Directeur de thèse</u>	ZIDOUNE M.N. Professeur (I.N.A.T.A.A., U. C.1, Constantine)
<u>Co-encadrante</u> <i>(Italie)</i>	CARPINO S. Professeur (Department of central inspectorate for fraud repression and quality protection of the agri-food products and foodstuffs(ICQRF), Laboratory of Perugia, Perugia)
<u>Co-encadrante</u> <i>(Algérie)</i>	AISSAOUI ZITOUN O. (M.C.A - I.N.A.T.A.A., U.C.1, Constantine)
<u>Examinatrice</u>	MANSOUR M.L. (M.C.A- Département des sciences agronomiques, Université Ferhat Abbas Sétif 1)
<u>Invité d'honneur</u>	Représentant de l'association IMESSEND A d'Oum El Bouaghi

DEDICACE

A ma très chère Mère

Quoi que je fasse ou que je dise, je me saurai point te remercier comme il se doit, ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes cotés a toujours été source de force pour affronter les différents obstacles

A mon très cher père

Tu as toujours été à mes cotés pour me soutenir et m'encourager, que ce travail traduit ma gratitude et mon affection

A mon très cher fils

Tu as partagé avec moi cette aventure et tu continues à la vivre avec moi chaque instant. A toi mon cher je dédie ce modeste travail en implorant DIEU le tout puissant de te garder pour moi . Je t' aime mon enfant

A mes très chère sœurs, Sana et Rania et mes beaux frères Mehdi et Amine

Puisse dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite

A toutes les personnes qui me sont chères

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier **Allah**, Le Tout Puissant et Le Miséricordieux, de m'avoir donné la santé, la volonté, la force et la patience pour mener à terme ma thèse de Doctorat.

Pour sa confiance, ses conseils avisés et l'attention avec laquelle il a encadré et suivi l'évolution de ce travail, je tiens à remercier, Monsieur **Zidoune Mohammed Nasreddine**. Professeur à l'Université Frères Mentouri Constantine 1, et Chef de l'équipe Transformation et Elaboration des Produits Agro-alimentaires (T.E.P.A.), du Laboratoire de Recherche en Nutrition et Technologie Alimentaire (L.N.T.A.) et directeur de ma thèse, qui a toujours été là, pour répondre à mes questions, pour son esprit scientifique, sa patience, son soutien à l'accomplissement de mes travaux.

J'exprime mes vifs remerciements à Madame **Aissaoui Zitoun Ouarda**, Maître Conférences à l'I.N.A.T.A.A. et membre de l'équipe (T.E.P.A.) qui a apporté ses dévouements, ses disponibilités, ses orientations et ses riches contributions à mes travaux ainsi que sa compréhension et son efficacité.

Toute ma profonde gratitude s'adresse à Madame **Stefania Carpino** pour son accueil au sein des laboratoires du *CoRFiLaC*, pour son choix de mon sujet de thèse, sa codirection de ce travail, ses conseils, ses orientations, sa confiance et son implication personnelle dans cette recherche.

Mes remerciements vont ensuite aux personnels du *CoRFiLaC* pour sa grande contribution dans l'avancement de ce travail. Merci à **Teresa Rapisarda, Vitae Marino, Iris Shadt, Giovanni Marino, Gianni Belvedere, Stefania la terra, Mario Manenti, Margherita Caccamo et Maria ottaviano**

Un grand **MERCI** à Monsieur **Chenchouni Haroun**, Maître de conférences à l'université Abbès Laghrour-Khenchla, pour sa participation dans l'analyse statistiques des données, pour son investissement dans la correction du manuscrit et des articles.

Toute ma profonde reconnaissance s'adresse à madame **HOUN Soraya**, Maître assistant à l'Université Larbi Tebessi- Tebessa pour sa contribution dans l'identification des espèces de plantes

J'adresse de sincères remerciements aux membres de l'association **IMESSEENDA** du développement et de protection du fromage *Bouhezza* d'Oum El Bouaghi pour leurs implication dans notre projet de labellisation du fromage et, pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail.

J'exprime mes respectueux dévouements à Madame **Boughellout Halima** Professeur à l'I.N.A.T.A.A pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant de présider la commission d'examen de cette thèse.

Mes remerciements s'adressent à madame **Mansour Maya Lynda** Maitre de conférence au département des sciences agronomiques de l'université Ferhat Abbas Sétif 1 qui a accepté de se déplacer, de si loin, pour nous honorer à l'I.N.A.T.A.A et faire partie du jury d'évaluation de cette thèse .

Mes vifs remerciements vont à mes amis **Hayat Bourekoua, Saoudi Zineddine, Hocine Siar et Djeghim Fairouz** qui ont partagé avec moi mes soucis et mes joies, leur collaboration ou leur soutien moral ont contribué à la réalisation et à l'achèvement de ce travail. J'exprime également mes remerciements à l'ensemble des enseignants et le personnel de la bibliothèque de l'INATAA.

Sommaire

Liste des publications et communications

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction..... 01

Partie Bibliographique

1.Produits de terroir	04
1.1. Définition de terroir	04
1.2. Notion de terroir "fromage".....	05
2. Relation entre terroir et caractéristiques des fromages.....	08
2.1. Facteurs influençant les caractéristiques sensorielles et nutritionnelles des fromages.....	08
2.2. Alimentation de l'animal et caractères organoleptiques.....	09
2.3. Alimentation de l'animal et caractères nutritionnels	11
3. Eléments se rapportant au terroir du fromage <i>Bouhezza</i>	12
3.1. Données générales.....	12
3.2. Zone géographique délimitée	15
3.3. Savoir-faire traditionnel	17
3.3.1. Préparation du <i>Djeld</i> de <i>Bouhezza</i>	17
3.3.2. Caractéristiques du <i>Djeld</i> de <i>Bouhezza</i>	18
3.3.3. Mode d'obtention du <i>Bouhezza</i>	20
3.3.4. Mode habituel de consommation et de conservation.....	20
3.4. <i>Bouhezza</i> et apports nutritionnels.....	21
3.5. Caractères organoleptiques.....	22
3.5.1. Premières appréciations sensorielles	22
3.5.2. Composés aromatiques	23
3.6. Chèvre et environnement.....	24
3.6.1. Comportement alimentaire des chèvres.....	25
3.6.2. Facteurs influençant le comportement alimentaire des chèvres.....	27
3.6.2.1. Structure physique, race et stade physiologique de l'animal.....	27

3.6.2.2. Climat et Environnement.....	28
3.6.2.3. Pâturage.....	29
3.7. Labellisation du <i>Bouhezza</i>	30

Partie expérimentale

I. Matériel et Méthodes

1. Méthodologie du travail.....	31
2. Description de la station de l'étude de terroir.....	32
2.1. Présentation de la ferme.....	33
2.2. Détermination de la composition botanique des pâturages et prélèvement des plantes.....	35
2.3. Etude du profil aromatique des plantes.....	37
2.3.1. Mode de prélèvement et de sélection des plantes.....	37
2.3.2. Extraction des composés d'odeur active des plantes par distillation à la vapeur	38
2.3.3. Détermination des Composés d'odeur active par (CPG -Olfactométrie)....	39
2.3.4. Analyse statistique.....	40
2.4. Caractéristiques de l'animal.....	41
3. Fabrication de fromage <i>Bouhezza</i> de chèvre	42
3.1. Période de fabrication.....	42
3.2. Matières premières et matériel des fabrications.....	42
3.2.1. Préparation du <i>Djeld</i> de <i>Bouhezza</i>	42
3.2.2. Préparation du <i>Lben</i>	42
3.2.3. Conditions de fabrication de <i>Bouhezza</i>	42
4. Caractérisation du fromage <i>Bouhezza</i> en cours de fabrication.....	44
4.1. Echantillonnage et mode de prélèvement.....	44
4.2. Analyses physico-chimiques.....	44
4.2.1. Détermination de pH.....	44
4.2.2. Détermination de la matière sèche.....	45
4.2.3 Dosage de la matière grasse.....	45
4.2.4. Dosage de l'azote total.....	45
4.2.5. Evaluation de contenu en α -Tocophérol et en cholestérol.....	46
4.2.5.1. Extraction de l' α -Tocophérol et du cholestérol.....	47
4.2.5.2. Séparation par HPLC.....	47

4.2.5.3. Calcul du degré de protection antioxydant	48
4.2.6 Analyse statistique.....	48
4.3. Etude de profil aromatique	49
4.3.1. Mode de prélèvement des échantillons.....	49
4.3.2. Extraction des composés volatiles par Headspace (SPME).....	49
4.3.3. Extraction des composés volatiles par distillation à la vapeur.....	50
4.3.4. Analyse par CPG avec détection de masse sélective	50
4.3.5. Analyse par CPG couplée à l'olfactométrie.....	51
4.3.6. Analyse statistique.....	51
4.4. Analyse sensorielle du fromage <i>Bouhezza</i>	52
4.4.1. Détermination des familles ou descripteurs sensoriels.....	52
4.4.2. Evaluation sensorielles	52

II. Résultats et discussion

1. Composition botanique et distribution des plantes sur les pâturages de l'étude.....	54
1.1. Composition botanique des pâturages.....	54
1.2. Répartition des espèces de plantes sur les pâturages étudiés.....	56
2. Profil aromatique des plantes sélectionnées.....	58
2.1. Composés d'odeur active détectés dans chaque espèce de plante.....	58
2.2. Variation du nombre de COAs selon leurs classes chimiques	60
2.3. Variation du nombre de COAs selon leurs classes d'odeurs.....	61
2.4. Composés aromatiques détectés en fonction des classes chimiques.....	61
2.4.1. Classe des alcools.....	62
2.4.2. Classe des aldéhydes.....	62
2.4.3. Classe des esters.....	63
2.4.4. Classe des cétones.....	64
2.4.5. Classe des composés soufrés.....	65
2.4.6. Classe des terpènes.....	65
3. Caractéristiques du fromage <i>Bouhezza</i> en cours de fabrication.....	68
3.1. Effet de temps d'affinage du <i>Bouhezza</i>	69
3.1.1. Sur les caractères physicochimiques.....	69
3.1.2. Sur le contenu en α - tocophérol et en cholestérol.....	71
3.2. Profil aromatique en fonction du temps d'affinage.....	74
3.2.1. Profil aromatique résultant des deux techniques d'extraction.....	74

3.2.1.1. Composés odorants actifs extraits par SPME.....	74
3.2.1.2. Composés odorants actifs extraits par SD.....	78
3.2.1.3. Comparaison des profils aromatiques résultant des deux techniques d'extraction.....	81
3.2.2. Evolution des composés aromatiques détectés selon les classe chimiques..	83
3.2.2.1. Classe des terpènes	85
3.2.2.2. Classe des esters.....	86
3.2.2.3. Alcools et aldéhydes.....	87
3.2.2.4. Classe des cétones.....	87
3.2.3. Evolution des composés aromatiques détectés selon les classes d'odeurs....	88
3.2.4. Caractéristiques aromatiques du <i>Bouhezza</i> affiné.....	90
3.3. Profil sensoriel du <i>Bouhezza</i>	92
4. Lien entre pâturage et caractéristiques du <i>Bouhezza</i>	94
4.1. Estimation de la part de pâturage dans l'alimentaire des chèvres	94
4.2. Effet de pâturage sur le profil aromatique du fromage.....	95
Conclusion et perspectives.....	97
Références bibliographiques	100
Annexes	

LISTE DES PUBLICATIONS

ET

COMMUNICATIONS

Publications scientifiques

1. **Senoussi, A.**, Schadt, I., Hioun, S., Chenchouni, H., Saoudi, Z., Aissaoui Zitoun–Hamama, O., ... & Rapisarda, T. (2020). Botanical composition and aroma compounds of semi-arid pastures in Algeria. *Grass and Forage Science*, 76(2), 282-299.
2. **Senoussi, A.**, Schadt, I., Saoudi, Z., Hamama, O. A. Z., Zidoune, M. N., Carpino, S., & Marino, V. M. (2021). Effects of the number of days and the filling sequence of animal skin-bags used for the traditional production of Algerian *Bouhezza* raw goat cheese on physicochemical composition, α -tocopherol, cholesterol content and stability. *International Dairy Journal*, 119, 105067.
3. **Senoussi, A.**, Rapisarda, T., Schadt, I., Chenchouni, H., Saoudi, Z., Senoussi, S., ... & Carpino, S. (2022). Formation and dynamics of aroma compounds during manufacturing-ripening of *Bouhezza* goat cheese. *International Dairy Journal*, 129, 105349.

Communications scientifiques

1. **Senoussi, A.**, Rapisarda T., Saoudi, Z., Aissaoui Zitoun, O., Zidoune M. N., Belvedere, G., & CARPINO, S. (2018). Characterization of goat *Bouhezza* cheese aroma profil during ripening by SMart Nose and Gas Chromatography Olfactometry. *Cheese symposium. Renne- France 4-6 April*.
2. **Senoussi, A.** (2018). Caractéristiques du fromage *Bouhezza* et lien avec son terroir. Rencontre Nationale sur les produits du terroir, labellisation, certification et stratégies de Vulgarisation, Organisée à l'ITMAS de Guelma, le 18et 19 fevrier.

Liste des abréviations

AG	Acide gras
AGL	Acide gras libre
AGPI	Acides gras polyinsaturés
ALC	Acides linoléiques conjugués
AO	Appellation d'origine
CLA	Conjugated linoleic acid
Cm	Centimètre
COAs :	Composés Odorants Actifs
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
CPG-O	Chromatographie en phase gazeuse couplée à l'olfactométrie
DPA	Degré de protection antioxydant
g	gramme
GC/MS	Chromatographie en Phase Gazeuse couplée à la Spectrométrie de Masse
h	heure
ha	hectare
He	Hélium gaz vecteur
HPLC	High performance liquide chromatography
IG	Indication géographique
J	Jour
kcal	kilo calories
LRI	Index de Rétention Linéaires
m	mètre
MCBL	Microscopie Confocale à Balayage Laser
MEB	Microscope électronique à balayage
MG	Matière grasse
mg	milligramme
MS	Matière sèche
N	Normal
nm	Nanomètre
PUFA	Poly insaturated fatty acid
RI	Indice de rétention
rpm	tours par minute
RT	Temps de rétention
SD	Steam distillation
SPME	Solid -Phase MicroExtraction
SQO	Signes de qualité liée à l'origine
UE	Union européen
UV	Ultraviolet
v/v	volume / volume
µm	Micromètre

Liste des figures

Partie bibliographique

Figure 1	Inventaire des liens possibles entre terroir et typicité des fromages.	7
Figure 2	Zone géographique touchée par l'enquête de fabrication du fromage <i>Bouhezza</i> .	16
Figure 3	Diagramme traditionnel du traitement et de la préparation du <i>Djeld</i> de <i>Bouhezza</i> .	18
Figure 4	Profil sensoriel du fromage <i>Bouhezza</i> de vache épicé et non épicé.	23
Figure 5	Profil sensoriel du fromage <i>Bouhezza</i> de chèvre affiné à 50 et 72 jours d'affinage .	23

Matériel et méthodes

Figure 6	Méthodologie suivie pour l'étude du lien entre le fromage <i>Bouhezza</i> de chèvre et son terroir d'origine.	31
Figure 7	Carte climatique de la wilaya d' <i>Oum El Bouaghi</i> et situation de la station d'étude du terroir.	32
Figure 8	Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls de la station de l'étude au Nord East de la Wilaya d'Oum-El-Bouaghi en Algérie.	33
Figure 9	Cycle d'activité du troupeau durant la période de l'étude (de Avril à juillet ; Années : 2016-2017).	35
Figure 10	Chronologie d'étude du terroir du <i>Bouhezza</i> et prélèvement des espèces de plantes et de fromage.	36
Figure 11	Mode d'échantillonnage et de prélèvement des plantes appliquées sur les trois parcelles de pâturage de la ferme d'étude.	36
Figure 12	Schéma représentatif des différentes étapes effectuée lors du Chromatographie en Phase Gazeuse couplée à l'Olfactométrie.	40
Figure 13	Etapes de fabrication et d'affinage du fromage <i>Bouhezza</i> de ferme.	

Résultats et discussion

Figure 14	Diagramme de Venn à trois ensembles montrant la répartition des espèces végétales poussant dans les trois types de pâturages étudiés.	57
Figure 15	Graphique ballon affichant la répartition de nombre de composés odorants actifs (COAs) détectés dans <i>Bouhezza</i> en fonction de leurs classes chimiques en utilisant la micro extraction en phase solide (graphique du haut) et la distillation à la vapeur (graphique du bas) durant	83

l'affinage.

- Figure 16** Diagrammes de Venn en six et cinq ensembles affichant la variation du nombre de composés odorants actifs détectés dans *Bouhezza* en fonction du temps d'affinage en utilisant la distillation à la vapeur (tracés de gauche) et la Micro extraction en phase solide (tracés de droite). Les chiffres représentent le nombre total. 84
- Figure 17** Graphique ballon affichant la répartition de nombre de composés odorants actifs (COAs) détectés dans *Bouhezza* selon leurs classes d'odeurs en utilisant la microextraction en phase solide (graphique du haut) et la distillation à la vapeur (graphique du bas) au cours de différentes périodes d'affinage du fromage 89
- Figure 18** Diagrammes de Venn en six et cinq ensembles affichant la répartition des classes d'odeur en fonction du temps d'affinage du *Bouhezza* en utilisant la distillation à la vapeur (tracés de gauche) et la Micro extraction en phase solide (tracés de droite). 90
- Figure 19** Profil sensoriel du fromage *Bouhezza* de chèvre à 60jours d'affinage 92

Liste des tableaux

Partie Bibliographique

Tableau 1	Composition physicochimique du fromage <i>Bouhezza</i> affiné	21
------------------	---	----

Matériel et méthodes

Tableau 2	Parcelles de la ferme d'étude servant de pâturages	34
------------------	--	----

Tableau 2	Espèces de plantes sélectionnées dans le terroir de l'étude	38
------------------	---	----

Résultats et discussion

Tableau 4	Nombre total d'espèces (S) et biomasse des familles de plantes (B) réparties dans les trois types de pâturage.	54
------------------	--	----

Tableau 5	Nombre de composés d'odeurs-actives (COAs) détectés dans chaque espèce de plante dans les pâturages étudiés.	58
------------------	--	----

Tableau 6	Nombre des composés terpéniques détectés dans chaque espèce de plantes sélectionnées.	59
------------------	---	----

Tableau 7	Nombre total de composés odorants actifs (COAs) selon leurs classes chimiques détectés dans les espèces végétales sélectionnées des trois pâturages.	60
------------------	--	----

Tableau 8	Nombre total de composés odorants actifs (COAs) selon leurs classes d'odeurs détectés dans les dix espèces de plantes sélectionnées des trois pâturages.	61
------------------	--	----

Tableau 9	Variation de la composition physicochimique de fromage <i>Bouhezza</i> de chèvre durant l'affinage	69
------------------	--	----

Tableau 10	Effet du temps d'affinage du <i>Bouhezza</i> (Jours) sur la teneur en α -tocophérol et en cholestérol dans <i>Bouhezza</i> de chèvre	71
-------------------	---	----

Tableau 11	Variations des Composés d'odeur actifs identifiés dans le fromage <i>Bouhezza</i> en fonction de l'âge du fromage en utilisant la technique SPME couplée à la CPG / MS / Olfactométrie	77
-------------------	--	----

Tableau 12	Variations des composés d'odeur active dans le fromage <i>Bouhezza</i> en utilisant la distillation à la vapeur couplée avec CPG/MS/O en fonction l'âge du fromage.	79
-------------------	---	----

Tableau 13	Variation du nombre global de composés odorants actifs (COAs) des fromages <i>Bouhezza</i> en fonction du temps d'affinage et de la méthode d'extraction	81
-------------------	--	----

Tableau 14	Variation du nombre globale de composés odorants actifs (COAs)	91
-------------------	--	----

déecté dans *Bouhezza* prélevé à 30, 45 et 60jours selon leurs classes chimiques

Tableau 15 Variation du nombre global de composés odorants actifs (COAs) des fromages *Bouhezza* produits à 30, 45 et 60j selon leurs classes d'odeurs 91

INTRODUCTION

Introduction

Les fromages traditionnels représentent un héritage résultant des savoirs empiriques accumulés et transmis de génération en génération. Il existe de très nombreuses sortes de fromages et une grande partie d'entre eux sont "protégés" par une "Appellation d'Origine Protégée" (AOP), qui garantit à la fois une zone géographique bien limitée, un savoir-faire ancestral et une technique de fabrication particulière. Dans certains cas, l'AOP ne concerne pas seulement le fromage traditionnel en lui-même, mais elle s'étale aussi à l'alimentation des animaux laitiers de la ferme.

L'alimentation à base d'herbe constitue l'une des bases de liaison des produits à leur terroir d'origine; notamment, la composition botanique de la végétation exploitée, qui dépend à la fois du milieu naturel et des pratiques fourragères. Elle pourrait moduler dans un sens bénéfique à la fois les qualités organoleptiques et nutritionnelles des produits laitiers. Ces caractéristiques sont censées avoir une valeur ajoutée pour les consommateurs et assurer la garantie de l'authenticité et de la lisibilité de l'origine auprès de ces derniers; elles peuvent constituer une exigence économique et politique globale.

La diversité des fromages est très liée à la diversité des terroirs : surfaces fourragères (composition des prairies, mode de conduite, altitude et localisation), races animales utilisées, climats et autres. L'environnement de la ferme contribue à la microflore native du lait qui affecte finalement la qualité du fromage.

Pour la diversité des fromages due à la race animale, par exemple la littérature rapporte que la matière grasse du lait des petits ruminants (chèvres et brebis) contient une quantité plus importante en acides gras à chaîne moyenne que celle de lait de vache. De plus, d'autres chercheurs ont trouvé que le lait de chèvre a une concentration plus élevée en acide gras caproïque (C6 :0) ; caprylique (C8 :0) ; et caprique (C10 :0) en comparaison avec le lait de vache (VIEITEZ *et al.*, 2016 ; PARK, 2017 ; BERNARD *et al.*, 2018).

Ces différences dans la composition de la matière grasse du lait peut souvent conduire à des caractéristiques sensorielles typiques pour chaque fromage.

Par ailleurs, il a été mis en évidence l'influence de la nature du contenant du lait (peaux animales et autres) sur la biodiversité microbienne du lait qui contribue à la génération des composés d'arômes du fromage.

Concernant le patrimoine laitier algérien et précisément celui des dérivés traditionnels, de premiers travaux ont signalé l'existence de plus d'une dizaine de fromages (frais, séchés ou affinés). L'activité fromagère est souvent limitée à la sphère domestique mais la connaissance

des ressources territoriales laitières dans le milieu rural et tout ce qui définit notre patrimoine laitier doit servir de support pour tout développement local.

Des travaux de recherche scientifique ont été initiés pour le recensement, l'identification et la caractérisation de produits laitiers et fromages à travers le territoire de notre pays. L'équipe de recherche TEPA (Transformation et Elaboration de Produits Alimentaires) du Laboratoire de recherche en Nutrition et Technologie Alimentaire (LNTA) qui a travaillé sur différents types de fromages a donné la première fiche technique du fromage traditionnel affiné *Bouhezza* (ZAIDI *et al.*, 2000; AISSAOUI ZITOUN, 2014; MEDJOU DJ, 2018)

Ce fromage *Bouhezza* spécifique par son mode de fabrication et son affinage mérite une attention particulière. Les premiers résultats montrent la spécificité de la fabrication et les caractéristiques de l'affinage du fromage à savoir le profil de la protéolyse et de la lipolyse. Les caractéristiques aromatiques et sensorielles du fromage sont principalement marquées par la présence des composés terpéniques qui ont des propriétés odorantes (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2016; MEDJOU DJ *et al.*, 2016 et 2017). En réalité, l'axe de recherche portant sur la connaissance du lien entre le terroir du fromage *Bouhezza* et ses caractéristiques démarre au niveau de notre équipe (TEPA) par la présente étude. Les composés spécifiques cités précédemment et exprimés par les profils terpéniques pourraient être d'excellents "Traceurs botaniques" exprimant le lien du fromage avec son terroir. Ils seraient ainsi des indicateurs fiables pour authentifier l'origine d'un produit selon la nature des aliments consommés par les animaux.

Dans ce contexte, notre présente étude constitue une première contribution approchant le lien fromage- terroir de notre produit traditionnel affiné: *Bouhezza*. Elle aspire à réaliser les points suivants:

1. Décrire et identifier le terroir par:

- le recensement et l'identification des espèces de plantes présentes dans les pâturages des chèvres de la zone d'étude choisie dans l'aire géographique de production du fromage *Bouhezza*;
- l'étude de la distribution des espèces de plantes dans les pâturages des chèvres;
- la détermination des plantes les plus consommées par les chèvres ainsi que leur profil aromatique.

2. Caractériser le fromage *Bouhezza* du terroir d'étude en se focalisant sur l'étude de l'évolution des composés physico chimiques et aromatiques dans *Bouhezza* durant la fabrication-affinage du fromage afin de pouvoir ressortir des indicateurs de lien avec son terroir et sa zone géographique de fabrication.

Le présent manuscrit est structuré en trois parties. La première, consacrée à des données bibliographiques, est articulée autour des notions de terroir en décrivant les différents facteurs dont dépend la typicité des fromages. Dans la seconde partie du manuscrit, nous exposons le matériel et les méthodes mis en œuvre dans le cadre de la caractérisation du pâturage et du fromage . La dernière partie du manuscrit traite les résultats décrivant le terroir et le fromage avec analyse et discussion visant à faire ressortir les possibles liens entre les principaux composants du terroir de l'étude et les caractéristiques finales retrouvées au niveau du *Bouhezza*.

PARTIE

BIBLIOGRAPHIQUE

1. Produits de terroir

1.1. Définition de terroir

Le terroir est défini, à son origine historique, comme un terrain ayant des conditions physiques particulières telles les conditions pédoclimatiques (sol, climat) où les produits alimentaires sont originaux et ils ne sont pas reproductibles ailleurs. Pour d'autres, le terroir peut désigner la campagne au sens large, et les conditions naturelles de la région géographique concernée par un « terroir » semblent avoir une importance majeure dans la détermination des qualités particulières des produits de terroir (LETABLIER et NICOLAS, 1994). Selon BARHAM (2003), le concept de terroir a une référence forte à la dimension géographique, il est historiquement référencé à une région, à un terrain normalement limité et il a des conditions de sol, de climat permettant de donner des produits alimentaires de qualité distinctive.

Un terroir est un espace géographique délimité défini à partir d'une communauté humaine qui construit au cours de son histoire un ensemble de traits culturels distinctifs, de savoirs et de pratiques, fondés sur un système d'interactions entre le milieu naturel et les facteurs humains. Les savoir-faire mis en jeu révèlent une originalité, confèrent une typicité et permettent une reconnaissance pour les produits ou services originaires de cet espace et donc pour les hommes qui y vivent. Les terroirs sont des espaces vivants et innovants qui ne peuvent être assimilés à la seule tradition (PREVOST *et al.*, 2014). Le concept de terroir a servi de base aux indications géographiques de l'Union européenne, appelées appellation d'origine protégée (AOP), qui promeuvent et protègent les dénominations des produits agricoles (ex : Champagne, Camembert). Le terme terroir a également une dimension culturelle qui lie un produit à la communauté et au mode de vie local à travers la production traditionnelle et le savoir-faire local (TURBES *et al.*, 2016).

Le terroir devient aussi compris comme l'expression d'une société humaine et de son organisation sociale, de ses pratiques, de ses activités et de son histoire. Les terroirs sont alors appréhendés comme des espaces particuliers, au sein desquels certaines productions et activités se développent et s'inscrivent dans des cultures locales : le terroir devient un concept qui tisse des liens entre culture et nature (AIT KADI et BUILHET, 2010).

D'après LEGRAND *et al.* (2010), les terroirs résultent de l'exploitation par une société humaine des potentialités d'un espace physique. Leur définition dépend étroitement des caractères de la civilisation qui occupe les terres. Ainsi, dans un même espace, avec des potentialités et des contraintes physiques identiques, des sociétés humaines différentes sont

susceptibles de développer des terroirs distincts. Le terroir est donc un espace concret, tangible et cartographiable à travers de multiples facteurs géographiques. Il possède également une dimension culturelle qui reflète directement la société humaine qui l'exploite.

Donc plusieurs définitions ont été avancées par les chercheurs de ce domaine, il en résulte cette définition globale : « *Un terroir est un espace géographique délimité où une communauté humaine a construit au cours de l'histoire un savoir intellectuel collectif de production fondé sur un système d'interactions entre un milieu physique et biologique; et un ensemble de facteurs humains dans lequel les itinéraires sociotechniques mis en jeu révèlent une originalité, confèrent une typicité et engendrent une réputation pour un produit originaire de ce terroir* » (INRA, INAO, UNESCO, 2005).

1.2. Notion de terroir "Fromage"

La notion de terroir s'exprime par des liens identitaires unissant un produit, une société et un territoire" (BERARD et MARCHENAY, 2007). Autrement dit c'est une notion qui englobe toutes les spécificités d'un territoire donné : topographiques, climatiques, végétales et animales, spécificités qui confèrent aux produits de l'artisanat local une identité exceptionnelle et une saveur inimitable. Le lien au terroir est un élément déterminant pour le droit à la protection des Appellations d'origine. L'appellation d'origine (AO) fait appel aux caractéristiques naturelles de la région du produit, comme le sol, le climat, la flore et le savoir-faire humain (RICARD, 1999), « L'appellation d'origine, qui implique un lien très fort entre les caractéristiques du produit et son milieu géographique, rend le produit unique, non reproductible ailleurs » (RICARD, 1999). C'est une garantie d'origine et de typicité. C'est l'assurance qu'un produit a été fabriqué selon un savoir-faire transmis de génération en génération et transcrit dans un cahier des charges précis.

Dans le cas du fromage, l'expression du terroir est encore un peu plus complexe : "une aire géographique caractérisée par des conditions de milieu et des types d'animaux qui, exploités par l'homme, conduisent à des produits spécifiques" (GRAPPIN et COULON, 1996). Le terroir se définit donc comme la résultante d'un certain nombre de facteurs naturels et humains et dans la fabrication, la transformation et l'élaboration qui ont lieu dans une aire géographique délimitée (SALETTE *et al.*, 1995). La fabrication fait intervenir un maillon supplémentaire : l'animal. La qualité et les caractères du fromage sont dus essentiellement et exclusivement à la variabilité des végétations, choix des animaux et de leur mode de conduite laitière qui sont respectivement sous l'influence des pratiques phytotechniques et zootechniques de l'éleveur (GRAPPIN *et* COULON, 1996). **Les différents facteurs qui**

entrent dans la typicité de chaque fromage sont combinés pour générer l'effet de lieu de production sur ses caractéristiques :

1. Le **milieu physique** est caractérisé par des critères géologiques, géographiques, et également pédoclimatiques (Altitude, sol, climat, type de fourrage)
2. **L'animal** est défini par sa race, ses caractéristiques génétiques, son stade physiologique et son état sanitaire
3. **L'homme** qui peut intervenir sur les deux premiers éléments par les pratiques culturelles, les conditions d'élevage et son organisation sociale mais qui joue un rôle surtout un rôle essentiel sur la transformation fromagère

Ces trois éléments du terroir (milieu physique, animal, homme) qui définissent les conditions de production du lait et donc ses caractéristiques physico chimiques et microbiologiques, ainsi que les pratiques technologiques appliquées à cette matière première, vont conduire à un fromage qui sera défini par ses caractéristiques précises d'aspect (forme et taille), de texture et de flaveur (arome et saveur). La combinaison des différents facteurs qui entrent dans la typicité de chaque fromage peut être illustrée dans le schéma donné en figure 1 par GRAPPIN *et* COULON (1996).

L'étude des relations entre terroir et fromage implique une définition de la notion de typicité (LINDEN *et* CHAMBA, 1994 ; BARJOLLE *et al.*, 1998) qui est dépendante de plusieurs divers facteurs tributaires d'une zone géographique (Climat, sol, fourrage), des conditions de production localisée, d'un savoir-faire unique appliqué à une matière première et enfin des conditions naturelles d'affinage (LICITRA *et al.*, 2000).

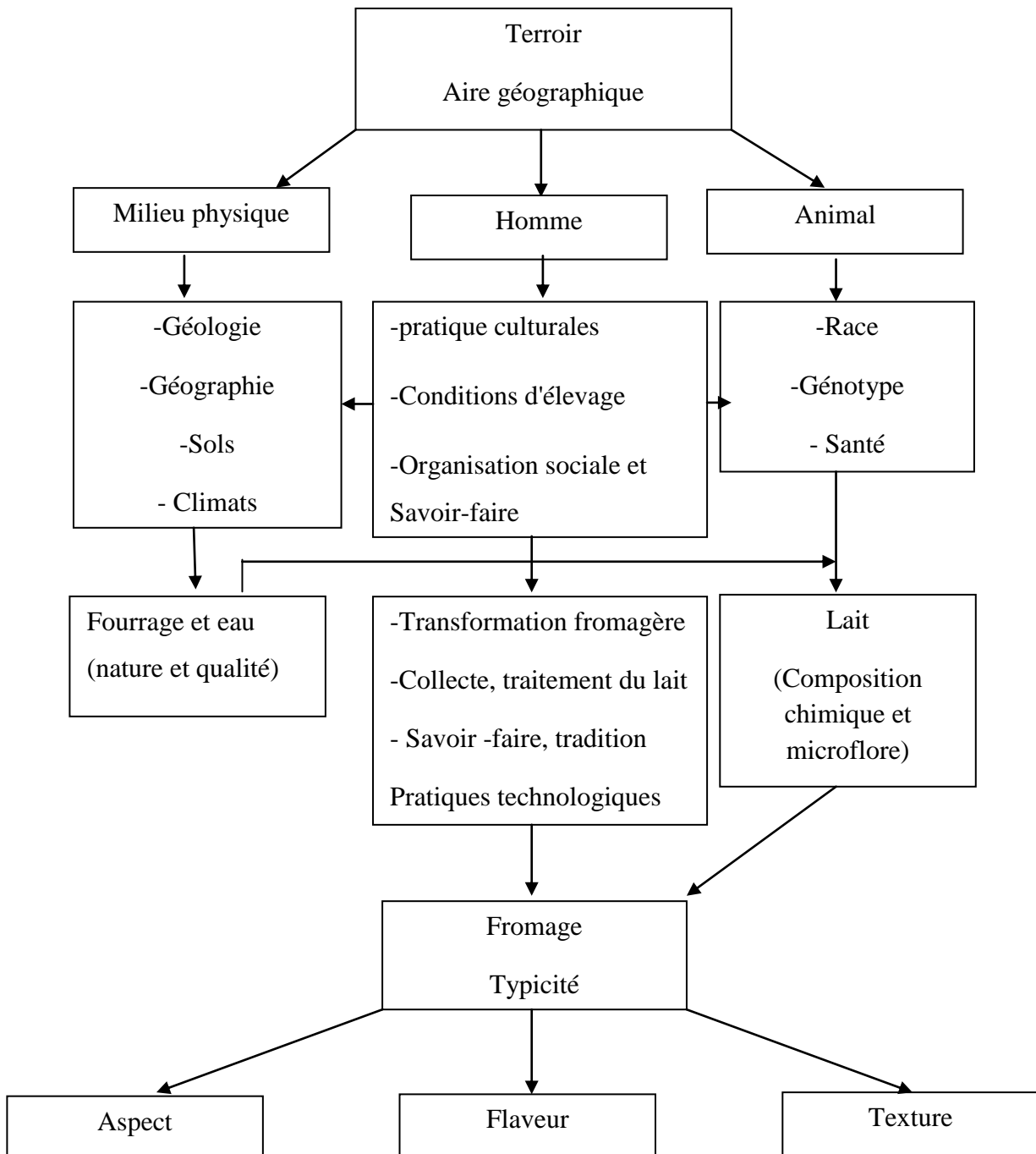


Figure 1. Inventaire des liens possibles entre terroir et typicité des fromages (GRAPPIN *et* COULON, 1996)

2. Relation entre terroir et caractéristiques des fromages

2.1. Facteurs influençant les caractéristiques sensorielles et nutritionnelles des fromages

Les caractéristiques des fromages affinés dépendent majoritairement de facteurs, liés à la fois à la technologie de fabrication et aux caractéristiques chimiques et microbiologiques de la matière première mise en œuvre. Ces dernières dépendent elles-mêmes de nombreux des caractéristiques des animaux (d'origine génétique, facteurs physiologiques, état sanitaire...) et de leur mode de conduite (alimentation, hygiène, traite...). Ces facteurs d'amont sont de plus en plus au centre des préoccupations des consommateurs qui s'interrogent en particulier sur l'alimentation offerte aux animaux (DELGADO *et al.*, 2013 ; FOX *et al.*, 2017b ; TUDOR KALIT *et al.*, 2020). Ils revêtent une importance toute particulière dans le cas des produits marqués (Appellation d'Origine Contrôlée, Indication Géographique Protégée, labels...) pour lesquels les modifications de la matière première au moment de la transformation sont limitées voire interdites et qui revendiquent un lien fort avec les conditions de production du lait, dont certaines sont à la base de la notion de terroir. La mise en évidence de l'effet des facteurs d'amont sur les qualités finales du produit est particulièrement importante et constitue une des bases de leur relation avec le terroir. Celui-ci peut être considéré comme un ensemble indissociable faisant intervenir le milieu physique (qui va jouer, entre autres, sur la végétation), l'animal et l'homme (GRAPPIN *et* COULON, 1996).

De nombreux travaux ont mis en évidence les relations existantes entre la composition floristique des prairies et la typicité des produits laitiers dérivés comme les fromages (COULON *et al.*, 2005 ; MARTIN *et al.*, 2005 ; LOURENÇO *et al.*, 2009 ; COPPA *et al.*, 2011a ; MOLONEY *et al.*, 2014 ; APREA *et al.*, 2016). Ces études montrent que l'alimentation des animaux est susceptible de modifier les caractéristiques sensorielles des laits (LARSEN *et al.*, 2013 ; VALDIVIELSO *et al.*, 2016), leur composition en acides gras en augmentant le taux d'acide gras polyinsaturés bénéfiques pour la santé (KELLY *et al.*, 1998 ; COLLOMB *et al.*, 2002 ; COPPA *et al.*, 2015 ; MITANI *et al.*, 2016 ; O'CALLAGHAN *et al.*, 2017 ; ALOTHMAN *et al.*, 2019) ainsi qu'en terpènes (BUGAUD *et al.*, 2002 ; FAULKNER *et al.*, 2018) et par conséquent, il est bien établi que **l'alimentation des animaux influence la qualité organoleptique et nutritionnelle des produits laitiers** (COULON *et al.*, 2004 ; MARTIN *et al.*, 2005 ; DEWHURST *et al.*, 2006 ; NOZIERE *et al.*, 2006 a ; CHILLIARD *et al.*, 2007 ; FARRUGGIA *et al.*, 2008 ; COPPA *et al.*, 2012 ; MITANI *et al.*, 2016). En particulier l'alimentation à base d'herbe tient une place

particulière, d'une part parce qu'elle constitue l'une des bases de liaison des produits à leur terroir d'origine.

2.2. Alimentation de l'animal et caractères organoleptiques

Parmi les éléments du terroir qui vont pouvoir jouer un rôle sur les caractéristiques des fromages, les fourrages consommés par les animaux, et dont la nature dépend du milieu physique (sol, climat) et des pratiques agricoles (fauche, fertilisation, chargement...). En effet, des différences dans les caractéristiques sensorielles des fromages ont été souvent signalées selon la nature des fourrages donnés aux animaux (mode de conservation, qualité de conservation, diversité floristique). La plupart des crucifères, quand elles sont ingérées en grandes quantités, conduisent à des défauts de flaveur dans les produits laitiers dus à des composés volatiles (allyl isothiocyanate en particulier) libérées pendant la digestion dans le rumen (URBACH, 1990). La couleur des fromages peut être due à certains constituants du lait, directement issus de l'alimentation, et des fourrages en particulier (NOZIERE *et al.*, 2006b ; O'CALLAGHAN *et al.*, 2017). Le lait contient des quantités plus ou moins importantes de pigments. Le plus connu des pigments est le carotène, présent en grandes quantités dans les fourrages verts et qui contribue à la coloration jaune des produits laitiers. Très sensible aux ultra-violets, le carotène est détruit lors du séchage et de la conservation des fourrages de manière d'autant plus forte que l'exposition à la lumière est importante (PARK, 1987). La nature de l'alimentation a donc un effet marqué sur sa teneur dans le lait et donc sur la couleur des fromages (WAGHORN et KNIGHT, 1992 ; COULON et PRIOLO, 2002 ; CARPINO *et al.*, 2004b ; COPANI *et al.*, 2015 ; KILCAWLEY *et al.*, 2018 ; ALOTHMAN *et al.*, 2019)

Une autre origine directe de l'effet de la composition botanique des fourrages sur les caractéristiques organoleptiques des fromages, concerne l'effet des terpènes. Ces molécules, spécifiques du monde végétal, ont des propriétés odorantes reconnues à l'état concentré (TORNAMBE *et al.*, 2007). Elles sont beaucoup plus abondantes dans certaines espèces fourragères, et en particulier les dicotylédones (MARIACA *et al.*, 1997 ; CORNU *et al.*, 2001). Ces molécules passent très rapidement dans le lait (VIALON *et al.*, 2000) et se retrouvent dans le fromage (OSORIO *et al.*, 2015), en quantité beaucoup plus importante lorsque les animaux consomment, en vert ou sous forme conservée, des fourrages de prairie naturelle riches en dicotylédones, généralement caractéristiques des zones de montagne, comparativement à des alimentations à base d'aliment concentré (MOIO *et al.*, 1996) de fourrages monospécifiques (BOSSET *et al.*, 1994 ; BUCHIN *et al.*, 1999 ; VIALON *et*

al.,1999; BUGAUD *et al.*, 2002; CARPINO *et al.*, 2004c). Donc la présence de ces molécules dans le lait et le fromage dépend de plusieurs facteurs : Diversité des plantes de pâturage, altitude, zone géographique, variation de l'alimentation saisonnière liées au stade de lactation et à la disponibilité de pâturage ainsi que le système de gestion des prairies (CORNU *et al.*, 2001 ;TORNAMBE *et al.*, 2006; AGABRIEL *et al.*, 2007; DE NONI et BATELLI, 2008; CHION *et al.*, 2010; ABILLEIRA *et al.*, 2011 ; VALDIVIELSO *et al.*, 2017 ; MORAN *et al.*, 2019 ; SANT'ANA *et al.*, 2019). Cependant, ces molécules peuvent constituer des outils efficaces de marquage de l'origine des fromages (BOSSET *et al.*, 1999, CORNU *et al.*, 2001 ; PRACHE *et al.*, 2005 ; BARRON *et al.*, 2018 ; MORAN *et al.*, 2019). Certains travaux ont montré que les terpènes peuvent être dégradés d'une part par la flore microbienne de *Rumen* et d'autre part par les bactérie lactiques utilisées durant la fabrication du fromage (VIALLO *et al.*, 2000; BOUVIER *et al.*, 2005 ; BROUDISCOU *et al.*, 2007). De plus, d'autre travaux ont montré la capacité de biosynthèse des terpènes par certaines bactéries lactiques (BELVISO *et al.*, 2011). D'autre part , CARPINO *et al.*, (2004c) ont trouvé un niveau élevé de composés terpéniques dans le fromage *Ragusano* provenant du lait de vache issu de pâturage naturel que celui issu de l'alimentation à base de concentré

Les travaux de BUGAUD *et al.* (2001b) ont montré que les fromages de montagne provenant de laits issus du pâturage de prairies plus diversifiées, sont moins élastiques, déformables et cohésifs que les fromages de vallée. Ces différences sont attribuées à l'activité deux fois plus élevée de la plasmine (protéase endogène provenant du sang) impliquée dans le processus d'affinage des fromages à pâte pressée cuite. L'augmentation de la concentration en plasmine observée avec certains régimes alimentaires pourrait être due à l'ingestion de certaines espèces végétales telles que les renoncules (BUCHIN *et al.*, 1999 ; BUGAUD *et al.*, 2001a). La proportion plus élevée des AGI à longue chaîne dans les laits de montagne pourraient induire des différences de fluidité de la matière grasse et donc de cohésion de la pâte (FRETIN *et al.*, 2019). Dans ce cas, ce n'est donc pas la diversité floristique qui interviendrait sur cette composante sensorielle, mais la présence d'une espèce ou d'une famille d'espèces- clé faisant à nouveau référence au concept d'identité spécifique. Les acides gras du lait sont aussi considérés comme marqueurs pour l'authentification des fromages (BARRON *et al.*, 2018) et sont vraisemblablement impliqués dans l'effet de la composition botanique des prairies sur la texture des fromages, dans la mesure où les proportions d'acides gras longs et polyinsaturés qui ont un point de fusion plus bas, sont plus élevées dans les

fromages de montagne que de plaine (BUGAUD *et al.*, 2001b ; COLLOMB *et al.*, 2002 ; ZEPPA *et al.* 2003 ; FRETIN *et al.*, 2019).

LERCH *et al.* (2015) ont observé que des fromages de type Saint-Nectaire issus des régimes enrichis en graines de lin extrudées étaient plus fondants que les fromages témoins en raison de leur teneur élevée en AGI. LOGAN *et al.* (2017) ont montré que la taille des globules gras a aussi un effet sur la texture, le rendement, la composition, la protéolyse et la lipolyse des fromages. Les Camembert à petits globules gras sont moins fermes, plus coulants et plus élastiques que ceux à gros globules gras (MICHALSKI *et al.*, 2003). L'alimentation des vaches contribue à modifier la taille des globules gras (COUVREUR et HURTAUD., 2007). Ceux-ci sont plus petits dans le lait de vaches avec une alimentation à base d'herbe en comparaison à une alimentation à base d'ensilage de maïs.

2.3. Alimentation de l'animal et caractères nutritionnels

Il est désormais connu par les consommateurs que l'alimentation joue un rôle essentiel pour la santé humaine et notamment dans le développement de maladies chroniques (GALBETE *et al.*, 2018). La qualité nutritionnelle des produits laitiers dépend à la fois de leur caractéristiques biochimiques (teneurs en macro- et micronutriments, voire en divers contaminants) et microbiologiques (présence éventuelle de micro-organismes probiotiques ou pathogènes). Plusieurs travaux ont étudié les relations entre la nature de l'alimentation offerte et la teneur en micronutriment d'intérêt pour la santé humaine.

Plusieurs travaux ont porté sur certains acides gras, qui ont potentiellement des effets positifs sur la santé humaine (prévention de certains cancers, de l'athérosclérose, de l'obésité), qui sont spécifiques apportés par la consommation des produits laitiers (acide linoléique conjugué CLA) et qui peuvent varier fortement sous l'effet de l'alimentation offerte aux animaux. L'alimentation des animaux détermine l'essentiel des variations du profil des AG du lait sur le terrain (LUCAS *et al.*, 2006 ; CHILLIARD *et al.*, 2008 ; FERLAY *et al.*, 2011 ; COPPA *et al.*, 2015 ; O'CALLAGHAN *et al.*, 2017). Les variations liées à la race de l'animal (FERLAY *et al.*, 2006 ; LUCAS *et al.*, 2008 ; FERLAY *et al.*, 2011 ; GOTTARDO *et al.*, 2017 ; MANUAELIAN *et al.*, 2019) ; stade de lactation, en liaison avec le bilan énergétique négatif après vêlage (CHILLIARD *et al.*, 1991 ; STOOP *et al.*, 2009 ; SAMKOVA *et al.*, 2018 ; BOUTERFA *et al.*, 2019) sont de moindre importance. Les effets de la technologie laitière sur la composition en AG des produits sont minimes par rapport à ceux de l'alimentation des animaux (CHILLIARD *et al.*, 2006 ; LUCAS *et al.*, 2006).

Dans les régions de montagne, où les vaches pâturent des prairies à diversité floristique élevée (COLLOMB *et al.*, 2002 ; FERLAY *et al.*, 2008), une plus faible

biohydrogénation ruminale des AGPI est probable et serait liée à des teneurs importantes en métabolites secondaires des plantes, en particulier des dicotylédones qui inhiberaient partiellement la biohydrogénation ruminale des AGPI alimentaires (LEIBER *et al.*, 2005 ; COPPA *et al.*, 2012)

Plusieurs travaux ont montré que les régimes riches en herbe verte conduisent à une forte diminution dans le lait des acides gras saturés au profit des acides gras polyinsaturés incluant en particulier les (C18 :3n-3 : Acide α -linoléique) et les CLA (CHILLIARD *et al.*, 2007 ; SAMPELAYO *et al.*, 2007 ; CHILLIARD *et al.*, 2014 ; LIU *et al.*, 2016). L'herbe augmente également les autres acides gras trans, notamment l'acide vaccénique, précurseur du CLA, dont l'effet sur la santé humaine demeure controversé (MITANI *et al.*, 2016). Pour les régimes intermédiaires qui ne sont pas uniquement à base de pâturage, l'augmentation de la proportion d'herbe dans la ration permet généralement une augmentation linéaire des acides gras insaturés, du C18 :3n-3 et du CLA (COUVREUR *et al.*, 2006 ; FERLAY *et al.*, 2008). L'effet de l'herbe verte est d'autant plus important qu'elle est exploitée à un stade jeune et feuillu ; En pratique, des profils en acides gras des laits proches de ceux obtenus avec des rations à base de fourrages conservés sont quelque fois observés dans des laits provenant du pâturage, lorsque l'herbe est exploitée à un stade tardif (épiaison) (FERLAY *et al.*, 2006 ; TORNAMBE *et al.*, 2007).

Un régime alimentaire très riche en herbe améliore l'activité de l'enzyme $\Delta 9$ désaturase responsable de la synthèse endogène des CLA d'une part et d'autre part augmente la proportion des AGPI n-3 à longue chaîne tel que l'acide decosahénoïque avec une diminution du rapport n-6 / n-3 des PUFA dans le lait. Le rapport entre les AGPI n-3 et n-6 qui est un indice couramment utilisé pour évaluer la valeur nutritionnelle des graisses (SIMOPOULOS, 2008)

3. Eléments se rapportant au terroir du fromage *Bouhezza*

3.1. Données générales

De manière générale, les produits de terroir sont caractérisés par trois attributs-ressources : tangibles (spécifications techniques, agro climatiques, géographiques, cahier des charges), intangibles (savoir-faire, valeur, symbole, idées véhiculées) et historiques (accumulation de l'expérience, transmission générationnelle) (FORT et RASTOIN, 2009 ; ALLAIRE, 2013)

Les produits de terroir peuvent être différenciés et identifiés par des signes de qualité liée à l'origine (SQO) telles que les Appellations d'Origine (AO) ou les Indications

Géographiques (IG). Leurs attributs spécifiques sont définis dans un cahier de charge ou norme. Le respect de la norme doit être garanti grâce à un système de vérification ou de certification. Par ailleurs, la différenciation des produits de terroir par les SQO permet une meilleure valorisation économique grâce à un prix de vente plus élevé ou à un accès aux marchés de niche (VALCESCHINI et MAZE, 2000).

Certains labels sont un véritable outil de protection de la propriété intellectuelle, permettant d'assurer la transmission et la protection des savoirs et de pratiques tacites ou de techniques explicites. De même, la valorisation répond à des attentes sociétales fortes des consommateurs qui font des associations entre produits de terroir d'une part et qualité, proximité, artisanat, tradition et confiance d'autre part (ALLAIRE, 2013).

En Algérie comme ailleurs, la promotion des produits de terroir peut être à la base d'un processus de développement rural durable. La valorisation de leur qualité liée à l'origine peut générer des effets positifs en termes économiques, sociaux et environnementaux. En outre, ces effets peuvent être renforcés au fil du temps par la préservation même des ressources locales utilisées. La reconnaissance de la qualité des produits agricoles par les signes distinctifs liés à l'origine, permettra de "garantir un revenu équitable aux agriculteurs concernés, de protéger les dénominations contre toute forme de contrefaçon ou d'usurpation et de fournir des informations précises sur les produits ayant des caractéristiques liées à l'origine géographique, et ce, au profit des consommateurs qui prendront leur décision en toute connaissance de cause".

Le renforcement du dispositif de reconnaissance de la qualité des produits agricoles par les IG/AO est devenue un véritable outil à l'origine d'un nouveau modèle de développement répondant aux exigences de qualité, de traçabilité, de sûreté alimentaire, de durabilité sociale et environnementale, de rentabilité économique et d'efficacité des politiques publiques de développement agricole et rural (ALLAIRE, 2009).

Avec une grande diversité agricole et une histoire séculaire, l'Algérie dispose de produits du terroir d'une excellente qualité tels que l'olive de table de Sig (Mascara), le figuier sec de *Béni Maouche* (Bejaia) et la *Deglet Nour* de Tolga (Biskra) qui ont été choisis pour être le support d'une demande de reconnaissance en « Indication géographique ou Appellation d'origine » dans le cadre d'un accord de jumelage Algéro-Européen signé en mois de septembre 2014, selon le décret de 13 Juillet 2013 portant l'organisation de schémas de qualité pour les produits agricoles et alimentaires. Ces labellisations sont destinées tant au marché national qu'au marché international. A ce titre, elles seront compatibles avec les

signes de l'UE, régis par les règlements de 2012. En 2015, ces produits enregistrent un stade avancé dans la procédure de reconnaissance (CHERIET, 2017).

D'autres produits sont identifiés comme présentant un fort potentiel : raisin de table (Ahmar Bou Amar, Mokrani ...etc), Abricot (Messad/Aures), Peches (Bouhlou, Hauts plateaux, steppes), Cerise (Miliana, Dahra), Pomme (Tlemcen) pour les produits d'Origine végétale. Concernant les produits transformés d'origine animale, il existe seulement le fromage traditionnel *Bouhezza* qui a été labélisé et homologué par l'Arrêté du 11 Moharram 1442 correspondant au 30 août 2020 portant attribution du signe distinctif « Indication Géographique » pour la reconnaissance de la qualité du produit d'origine agricole après une vingtaine d'année d'études et de collecte de données réalisés par l'équipe de recherche : Transformation et Elaboration des Produits Alimentaire (TEPA) de l'Université de Constantine sur ce fromage de terroir .

Le ministère considère également la labellisation comme meilleur (si non unique) outil de valorisation : « le meilleur moyen de valorisation des produits de terroir est la labellisation par des signes officiels de qualité et d'origine, qui nécessite la participation et la mobilisation de tous les acteurs, notamment les pouvoirs publics, qui jouent un rôle important dans la démarche de valorisation, soit au niveau national ou local. » (REDJEM-KHODJA, 2015)

Les travaux d'enquêtes réalisés par l'équipe TEPA ont permis aussi de recenser une dizaine de fromages traditionnels dans différentes régions du pays. Parmi les moins connus, nous avons la *Mechouna* et la *Madeghissa* à l'Est de l'Algérie (Région des *Chaouies*), la *Takammèrite* (Ghardaïa) et *l'Aoules* au sud et *l'Igounanes* au nord centre (Région de la *Kabily*) (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2011). Ces fromages représentent un bien culturel avant d'être une source économique qui doit être protégée.

Plusieurs d'entre ces fromages sont en voie de disparition, pour plusieurs raisons dont l'indisponibilité fourragère, l'exode rurale, non transmission du savoir- faire, la dévalorisation des traditions, le changement des habitudes alimentaires pour ces raisons. Il est indispensable d'établir le lien entre les caractéristiques de ces fromages et leur territoire d'origine pour renforcer leur préservation et leur protection.

Les travaux de recherche sur le fromage *Bouhezza* initiés au sein de laboratoire (LNTA équipe TEPA) ont été concentré sur la collecte des informations sur les pratiques traditionnelles appliqués sur la matière première pour accélérer la compréhension des phénomènes impliqués dans l'élaboration des caractéristiques sensorielles et aromatiques typiques acquis durant l'affinage du fromage. Ce qui nécessite d'approcher les populations

concernées, les délimiter géographiquement et collecter le maximum d'éléments d'informations sur ce savoir-faire depuis la matière première, les procédés de préparation utilisés jusqu'au produit fini, son emploi et son mode de conservation, sans rien négliger des habitudes alimentaires selon chaque localité. Cela est approché par le biais des enquêtes sur terrain auprès des familles qui fabriquent et/ou consomment le fromage *Bouhezza*.

La stratégie adoptée par notre équipe de recherche pour caractériser le fromage *Bouhezza* comprend deux volets : enquêtes sur terrain et la caractérisation expérimentale des échantillons de fromage de fermes et de fabrication contrôlées. Chaque volet donne sa part de la caractérisation et le regroupement des informations par ces deux volets permettent :

- *La confirmation des données de l'enquête et l'établissement de Diagramme de fabrication de Bouhezza ;*
- *L'identification des caractéristiques du Bouhezza et la formulation d'une fiche technique du fromage.*

Cependant, la question de terroir n'a pas été abordé jusqu'à maintenant mais les travaux déjà réalisés par l'équipe TEPA ont pu rassembler des éléments d'information utiles pour commencer la description du terroir du fromage: Zone géographique, méthode spécifique de fabrication et caractéristiques du fromage.

3.2. Zone géographique délimitée

Le fromage *Bouhezza* est connu depuis longtemps dans la région des "*Chaouia*" à l'est Algérien. Une enquête sur terrain réalisée par des membres de l'équipe TEPA a pu toucher les wilayas suivantes : *Oum El Bouaghi, Batna, Khenchla, Tebessa, Souk Ahras*. Les premiers résultats d'enquêtes semblent montrer que la fabrication du fromage est absente dans les wilaya limitrophes (ZAIDI *et al.*, 2000 ; AISSAOUI ZITOUN, 2014 ; MEDJOU DJ, 2018).

Le tracé de la zone géographique de la fabrication de *Bouhezza* s'étend principalement du côté de *Tébessa* et de *Khenchela* et continu jusqu'aux limites des frontières tunisiennes (AISSAOUI ZITOUN, 2014 ; MEDJOU DJ, 2018)

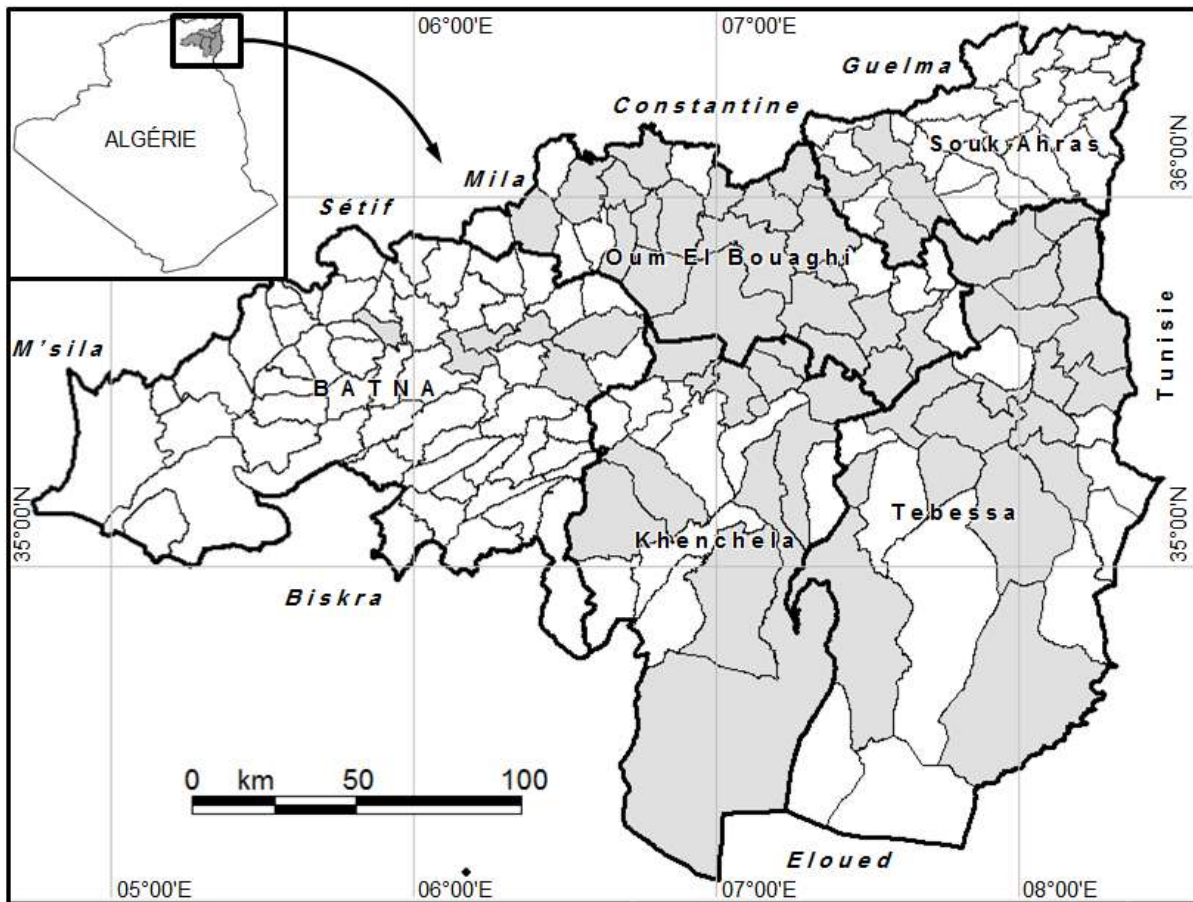


Figure 2. Zone géographique touchée par l'enquête de fabrication du fromage *Bouhezza* (AISSAOUI ZITOUN, 2014 ; MEDJOU DJ, 2018).

- Chef-lieu de communes touchées par l'enquête.
- Chef- lieu de communes n'ont pas été touchés par l'enquête.

La figure 2 regroupe l'ensemble des résultats d'enquêtes réalisées par l'équipe TEPA et qui a pour objectifs la délimitation géographique de la zone de fabrication du fromage et la collecte d'un maximum d'informations sur cette pratique traditionnelle.

L'enquête a pu toucher les communes de la zone colorée en gris (Fig. 2). La wilaya d'Oum El Bouaghi en comparaison aux autres wilayas présente le nombre le plus élevé de communes touchées par l'enquête (20/29) avec le nombre le plus élevé de familles qui fabriquent et consomment le fromage de *Bouhezza*, suivie par *Tebessa* avec (18/28 communes), *Khenchela* avec (12/21communes), Batna avec (6/61 communes) et seulement (4/26 communes) de la wilaya de *Souk Ahras*

D'après les résultats d'enquête réalisée, c'est dans la wilaya d'Oum El Bouaghi où la pratique de *Bouhezza* semble être la plus répandue avec confirmation de l'existence de la pratique traditionnelle de *Bouhezza* chez 115 familles (AISSAOUI ZITOUN, 2014). D'autre

part une bonne répartition de la pratique a été noté dans les communes des wilayas de *Khenchela*, *Tebessa* et *Batna* avec une quasi-totalité des familles d'origine *Chaoui*.

Il est bien connu que le découpage administratif ne prend pas en considération le mouvement des populations et par conséquent leurs habitudes alimentaires. L'enquête reste incomplète et mérite d'être poursuivie pour mieux couvrir le territoire des différentes wilayas et délimiter la zone géographique de fabrication du *Bouhezza*.

3.3. Savoir-faire traditionnel

La fabrication du fromage traditionnel passe d'abord par la préparation et la confection d'un contenant de la pâte fromagère « *Djeld* » ensuite par la production proprement dite du fromage (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2011 ; MEDJOUDJ *et al.*, 2016).

3.3.1. Préparation du "Djeld" de Bouhezza

Nos ancêtres ont utilisé les peaux d'animaux confectionnés pour la conservation d'eau et d'aliments sous différentes formes d'outre : La *Guerba* qui est une peau de chèvre garnie de ces poils, goudronnée intérieurement sert à conserver et à transporter l'eau. Le *Mezouad*, peau de chèvre ou de mouton tannée, imperméable, généralement colorée en rouge et sert à transporter la farine. La *Chekoua*, ou baratte, peau de chèvre ou de mouton tannée, imperméable, est utilisé pour le barattage du lait fermenté « *Rayeb* » pour l'obtention du *Lben* et la séparation du beurre.

La fabrication du fromage nécessite la confection de la peau de chèvre sous forme d'un sac souple, humide et perméable « *Djeld de Bouhezza* », ayant la couleur naturelle de la peau de l'animale. En effet, il joue à la fois le rôle d'un séparateur de phase, c'est à travers les perforations naturelles de la peau que le lactosérum est exsudé et la masse fromagère à l'intérieur du *Djeld* s'accumule au cours du temps (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2011).

Pour son utilisation dans la fabrication du fromage, la peau de l'animal récupérée juste après l'abattage doit être préparée et confectionnée en un sac suivant le diagramme déterminé par AISSAOUI ZITOUNE *et al.* (2011). Elle est laissée se putréfier à température ambiante, environ 2 à 7j pour faciliter l'arrachage des poils ou de la laine. Après lavage avec l'eau, la peau est traitée principalement avec le sel et le genièvre avec possibilité d'incorporer d'autres produits (tanins, semoule, romarins, semoule, orge...etc) mais en faible quantité.

Après la confection, le *Djeld* doit être mis en contact avec *Lben* pendant quelques heures à une nuit pour permettre l'élimination du reste de genièvre et des odeurs putrides (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2011 ; MEDJOUDJ *et al.*, 2016).

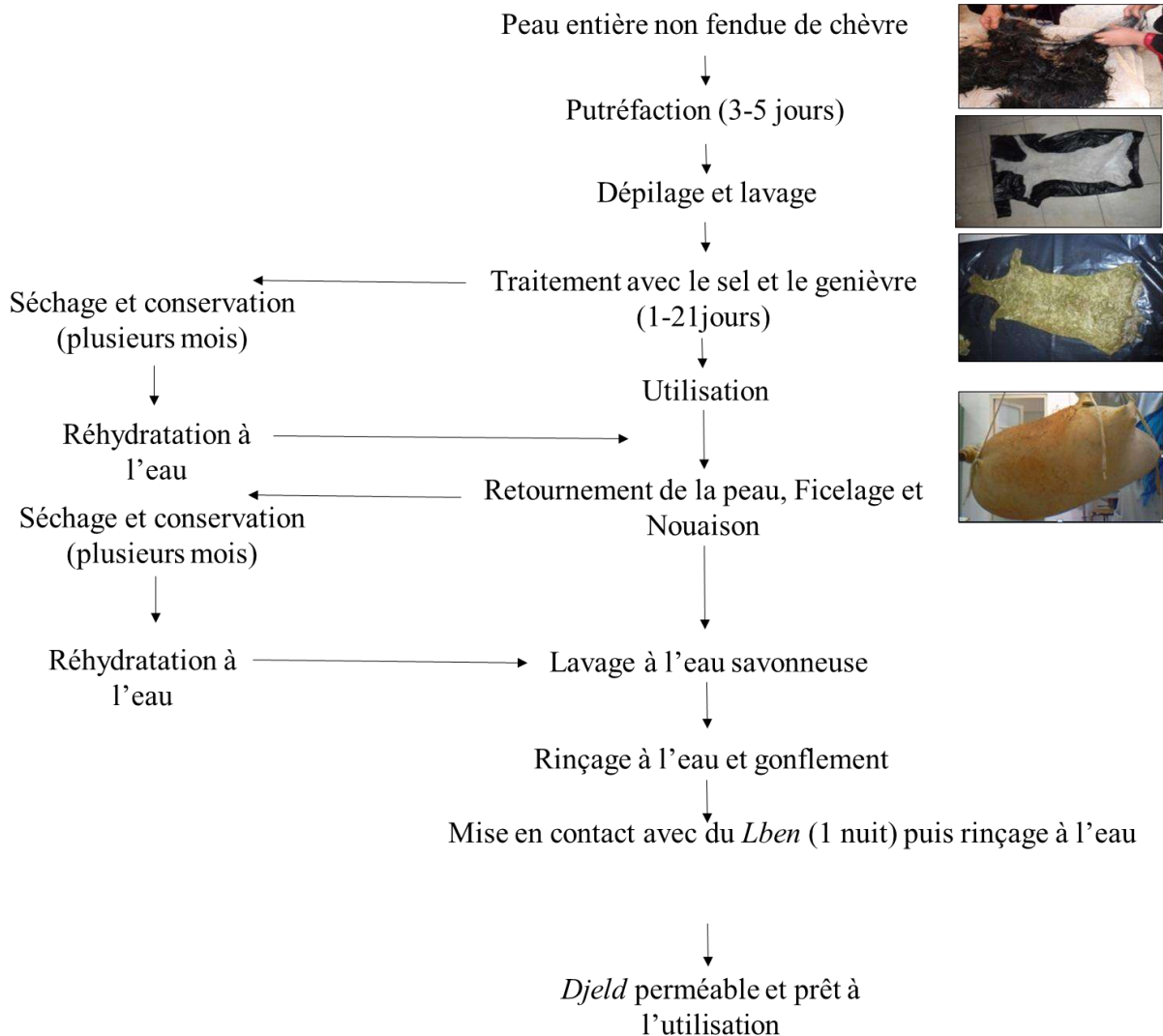


Figure 3. Diagramme traditionnel du traitement et de la préparation du *Djeld* de *Bouhezza*

(SENOUSSI, 2013; AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2011 ; MEDJOU DJ *et al.*, 2016)

3.3.2. Caractéristiques du *Djeld* de *Bouhezza*

La peau des animaux (*Djeld*) utilisée dans la fabrication du fromage *Bouhezza*, est assez importante et spécifique. La peau joue à la fois le rôle de séparateur de phase (caillé-lactosérum) et de contenant de la masse fromagère. Elle peut être confectionnée à partir de peau de chèvre, brebis, agneau, chevreau, entière non fendue. Selon les résultats d'enquêtes, la peau de chèvre est plus solide et donc plus facile à l'utilisation. La peau de brebis est plus fine avec une couleur plus claire (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2011 ; MEDJOU DJ *et al.*, 2016).

Selon les familles enquêtées, l'utilisation des deux types de peaux, de chèvre ou de brebis, est possible et elle dépend de la constitution du cheptel de la famille (AISSAOUI

ZITOUN, 2014). La majorité des familles enquêtées préfèrent l'utilisation de la peau de chèvre parce qu'elle permet un égouttage rapide et résistante aux chocs (MEDJOU DJ *et al.*, 2016). La peau d'animal est constituée de protéines fibreuses : collagène, élastine, réticuline et kératine, donc les propriétés de la peau sont différentes selon les parties du corps, l'espèce et l'âge de l'animal qui affectent l'air et la perméabilité du sac en peau d'animal, et par conséquent contribuent aux propriétés chimiques et biochimiques ainsi que la génération des composés aromatiques du fromage pendant l'affinage (TUDOR KALIT *et al.*, 2020). Ces derniers ont rapporté qu'un fromage *Tulum* de bonne qualité est produit en utilisant la peau de chèvre âgé de 6 mois ou d'un an. L'observation microscopique (MEB) semble révéler que la surface de *Djeld* de chèvre est ridée caractérisée par des plis cutanés. Les fibres sont assez épaisses et bien distinctes dans la peau fraîchement préparée contrairement à la peau sèche qui a montré des fibres presque fusionnées et une porosité élevée (SENOUSSI, 2013).

Les travaux réalisés par SENOUSSI (2013) et AISSAOUI ZITOUN (2014) ont révélé que la microflore de *Djeld* avant l'ajout du *Lben* est caractérisée par une faible charge en bactéries mésophiles, absence de levures, moisissures et de la flore pathogène. *Lben* utilisé durant la dernière étape de préparation induit une élévation de la charge microbienne globale du *Djeld* et l'apparition des levures. L'écosystème bactérien du *Djeld* montre une bonne diversification avec prédominance de bactéries lactiques. Un échange de microorganismes a été noté entre *Djeld* et *Lben*.

D'autre part, les observations microscopiques comparées du MEB et du MCBL ont montré l'enrichissement microbien du biofilm de *Djeld* après contact avec *Lben*. Les microorganismes sont visualisés sous forme de diplocoques, de bacilles et de levures.

La Microscopie Confocal à Balayage Laser (MCBL) semble révéler la présence de bactéries vivantes et mortes ; Les bactéries ont été apparues principalement organisées en chaînes, en diplocoques et aussi quelques levures isolées (SENOUSSI, 2013). Les microorganismes naturellement présents dans la peau de chèvre (Bactéries lactique), ainsi que la microflore secondaire (levures et moisissures) sont responsables des propriétés spécifiques des fromages affinés à l'intérieur de la peau (HAYALOGLU *et al.*, 2007 ; TUDOR KALIT *et al.*, 2010 ; MEDJOU DJ *et al.*, 2016). HAYALOGLU *et al.* (2007) ont montré que l'utilisation de *Tulum*s (sac en peau de chèvre) ou de sac artificiel en polyéthylène pendant l'affinage du fromage, influence considérablement les caractéristiques microbiologiques du *Tulum*, fromage traditionnel turc de chèvre. Selon les consommateurs, le fromage de *Tulum* affiné dans un sac en peau naturelle a une qualité supérieure, ainsi qu'une composition volatile

similaire, par rapport au fromage affiné dans des fûts en plastique, mais les concentrations de certains composants sont différentes.

La taille des perforations de *Djeld* variant entre 41 et 140 µm dans la peau fraîche et entre 34 et 121 µm dans la peau fraîche. Sachant que la taille des micelles de caséines est entre 50–250 nm et celle des globules gras est de 0,1- 10 nm (AUTY, 2011) ; et que le lactosérum égoutté à travers les perforations de la peau est exempté de matière grasse, et d'autre part selon l'aspect des perforations, les pores de *Djeld* sont sous forme conique qui se rétrécissent tout au long de l'épaisseur de la peau, permettant ainsi une ultrafiltration au cours de l'égouttage (SENOUSSI, 2013).

Par conséquent, la microstructure et la microflore de la peau de chèvre « *Djeld* de *Bouhezza* » pouvant contribuer aux caractéristiques typiques du *Bouhezza*. TUDOR KALIT *et al.* (2014) ont démontré que les fromages affinés dans un sac en peau d'animal ont un caractère aromatique prononcé provenant d'un processus biochimique intense de lipolyse et de protéolyse qui se produit durant la maturation dans des conditions d'anaérobiose spécifiques à l'intérieur du sac de peau caractérisé par une perméabilité à l'air et à la vapeur d'eau, mais aussi une microflore unique de la peau.

3.3.3. Mode d'obtention du *Bouhezza*

La fabrication traditionnelle du fromage *Bouhezza* n'obéit pas aux règles générales de la fromagerie où les étapes de coagulation, salage, égouttage et affinage sont des étapes successives. Le procès de *Bouhezza* assure la réalisation de ces différentes étapes simultanément et continuellement sur plusieurs semaines voire des mois. Il débute habituellement en mars/avril, partant d'une quantité initiale de *Lben*, compléter durant toute la période de fabrication par des ajouts successifs du *Lben* et à la fin de lait cru, à condition que *Lben* utilisée soit peu gras et peu acide. L'ajustement des différents ajouts dépend de la disponibilité de la matière première, de la taille de *Djeld*, et de la vitesse de l'égouttage (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2011 ; MEDJOUND *et al.*, 2016). *Djeld* est suspendue dans un endroit aéré, et à l'ombre et bien entretenue au cours de la fabrication par des lavages réguliers après chaque ajout de matière première à l'aide de l'eau avec raclage de sa surface externe (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2012 ; MEDJOUNDJ *et al.*, 2016 ; 2017).

3.3.4. Mode habituel de consommation et de conservation

Bouhezza est consommé directement tel qu'il est chez la majorité des familles sous forme de pâte tartinable sur pain ou galette, de poudre déshydratée, additionnés aux plats

traditionnels tels que couscous, *aïche*, *m'kartfa* et *mahjouba*. L'exception de certaines familles qui déclarent l'utilisation du fromage avec les salades, d'autres familles ont déclaré la consommation de ce dernier avec le miel ou la datte (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2011).

Sa conservation dure 5 à 12 semaines dans *Djeld* ou dans des jarres en poterie durant 06 mois après la fabrication.

3.4. *Bouhezza* et apports nutritionnels

Le fromage *Bouhezza* est prêt à être consommé à partir d'un mois d'affinage. La composition biochimique du fromage *Bouhezza* produit à partir de lait cru de chèvre et de vache est illustrée dans le tableau 1

Tableau 1. Composition physicochimique du fromage *Bouhezza* affiné (AISSAOUI ZITOUN , 2014; MEDJOU DJ, 2018).

	<i>Bouhezza</i> de vache		<i>Bouhezza</i> de chèvre	
	-Temps d'affinage			
	30j	60j	30j	60j
MS (g/100g)	23,38 ± 2,12	29,18 ± 8,32	28,82±2,37	42,63±4,34
MG/MS (%)	31,34 ± 6,34	30,86 ± 5,50	27,24±14,35	38,30±12,29
Prot/MS (%)	53,02 ± 9,89	54,45 ± 6,98	16,30±2,02	28,04±9,36
pH	3.92 ±0,12	4,02±0,15	4,05±0,23	3,88±0,10

De 30 à 60j d'affinage, la MS de *Bouhezza* de vache évolue de 23,38 à 29,18(g/100g) . Ce pendant dans *Bouhezza* de chèvre, la teneur en matière sèche est plus importante et passe de 28,82 à 42, 63(g /100g) . A 60j d'affinage, Le taux de matière grasse dans la matière sèche dans *Bouhezza* de chèvre a été faible en comparaison avec celui de *Bouhezza* de vache . Les résultats obtenus par AISSAOUI ZITOUN *et al.* (2012) ; MEDJOU DJ *et al.* (2016) ont permis de dégager que la matière sèche (MS en g /100 g de fromage) et la matière grasse exprimé en Gras /Sec dépendaient de l'âge du fromage. De plus, les résultats montrent un fromage à caractère acide avec un pH allant de 3 à 4.

Concernant la fraction des AGL du fromage *Bouhezza* , le travail préliminaire réalisé par AISSAOUI ZITOUN (2014) a montré la présence de plusieurs acides gras libre (AGL) dans le fromage *Bouhezza* de vache qui peuvent faire partie de sa fraction aromatique. Parmi les acides gras saturés, l'acide palmitique et l'acide stéarique sont les plus importants, d'autre part les acides gras mono-insaturés sont présentés par l'acide 13-Octadecenoïque poursuivi par les acides poly-insaturés l'acide linoléique et son acide gras isomère l'acide linoélaïdique.

Ce fromage est caractérisé par la présence d'acides gras à nombre impaire d'atomes de carbone, l'acide pentadecanoïque (C15 :0) et l'acide oméga -pentadecanolide (C15 :0) et l'acide margarique (C17 :0).

Selon MEDJOU DJ (2018), 22 acide gras libre ont été identifiés dans l'ensemble des échantillons de *Bouhezza* de chèvre analysés avec 15 acide gras saturés (10 à nombre pair de carbone et 5 à nombre impair). En effet , *Bouhezza* a été caractérisé par la présence de 4 AGL à courte chaine ; C4, C6, C8 et C10 qui sont respectivement les acides butyrique, caproïque, caprylique et caprique, sept AGL à chaine moyenne de carbone: l'acide undecyclique (C11), laurique (C12), tridecyclique (C13), myristique (C14) et myristénique (ou myristoléique) (C14)', pentadecyclique (C15) et (C15)' et enfin 11 AGL à longue chaine de carbone qui sont l'acide palmitique (C16), palmitoléique (C16)', margarique (C17), stéarique (C18 :0), oléique (C18 :1), linoléique (C18 :2), linoléique (C18), arachidonique (C20), hénécossanoïque (C21) et béhénique (C22).

De point de vue nutritionnel, *Bouhezza* produit à partir du lait de vache peut apporter une portion d'acides gras de bonne qualité, car il renferme une quantité non négligeable en acides linoléiques conjugués. En plus, les échantillons de *Bouhezza* épicé par la poudre du piment rouge ont révélé un contenu en β -carotène plus élevé par rapport aux autres. Le piment rouge augmente la concentration de ce pigment possédant des propriétés antioxydantes intéressantes. En moyenne, 100 g du *Bouhezza* dans un régime contribue dans les apports diététiques recommandés par 1.46% à 12% en acide linoléique, par 3% en acide linoléique et par 0.8- 1% en acides linoléiques conjugués (ALC), par 0.5% à 3.3% en β -carotène et par 1.5% à 5% en vitamine E (MARINO *et al.*, 2012 ; BELBELDI, 2013). Cet aspect n'a pas été abordé dans *Bouhezza* de chèvre d'où apparait l'intérêt de notre étude. En vue de compléter la caractérisation du fromage *Bouhezza*, d'autres investigations sont nécessaires pour mieux décrire le contenu lipidique et pouvoir évaluer et comparer les caractéristiques de *Bouhezza* dérivé de lait de vache et de chèvre.

3.5. Caractères organoleptiques

3.5.1. Premières appréciations sensorielles

Le profil sensoriel de *Bouhezza* de vache affiné à 70 jours (épicé et non épicé) est assez riche par rapport à son goût et ses odeurs. De point de vue consistance, la pâte du *Bouhezza* est peu molle et caractérisée par un goût salé, peu piquant de piment rouge et une acidité assez prononcée. *Bouhezza* a une tartinabilité importante ; c'est une pâte crémeuse,

soluble dans la bouche. Concernant les odeurs, l'odeur lactique est assez prononcée et celle de rance est plus importante dans le *Bouhezza* épicé (fig.4).

Le profil sensoriel du *Bouhezza* de chèvre épicé affiné à 50 et 72 jours est illustré sur la figure 5. *Bouhezza* de chèvre est un fromage à pâte molle, tartinable et onctueux, riche en odeurs et en arômes, caractérisé par une odeur lactique et animale, une acidité assez intense et un goût moyennement salé et légèrement épicé du à l'addition du piment rouge. Son goût assez intense persiste dans la bouche pendant plus de 30 secondes. Du point de vue organoleptique, on pourra distinguer *Bouhezza* de chèvre de celui de vache par la perception d'odeur animale.

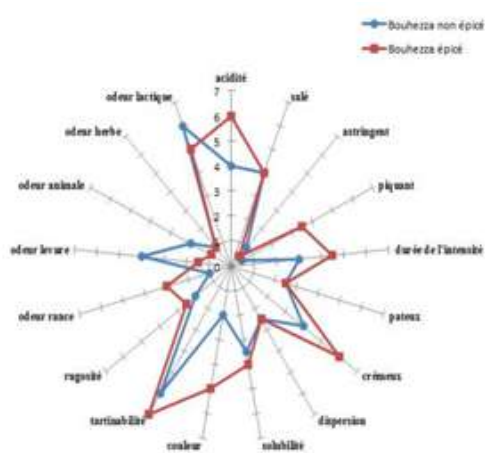


Figure 4. profil sensoriel du fromage *Bouhezza* de vache épicé et non épicé (AISSAOUI ZITOUN, 2014)

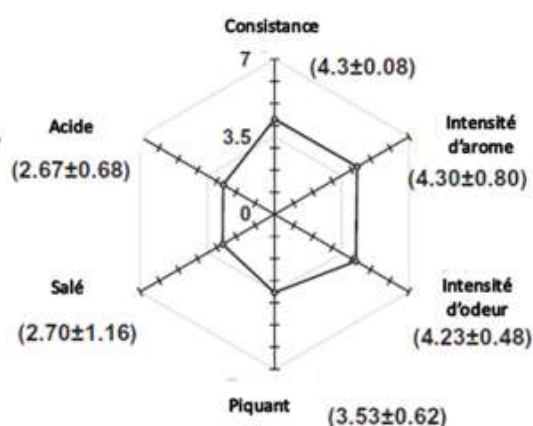


Figure 5. profil sensoriel du fromage *Bouhezza* de chèvre épicé à 50 et à 72 jours d'affinage (MEDJOU DJ *et al.*, 2017)

3.5.2. Composés aromatiques

Le profil aromatique du *Bouhezza* a été approché par différentes techniques dont SPME-GC-MS et Olfactométrie. Selon AISSAOUI ZITOUN *et al.*(2016), huit classes chimiques ont été identifiées comme fraction aromatique du fromage. Il semble que c'est les esters et les aldéhydes qui caractérisent son profil avec présence moindre des acides, des alcools et des terpènes. Les esters donnent au fromage une note fruitée, de bière et de friture ; les acides une note de rance ; les alcools une note de pommes et les acétones une note lactique. L'ensemble de ces composés fait partie intégrante de l'arôme de *Bouhezza* qui évolue du *Lben*, matière première, au fromage affiné. La fraction aromatique du fromage *Bouhezza* issu de lait de vache dépend à la fois de la durée d'affinage et du savoir-faire des familles, principalement le type de piment ajouté lors de la consommation (piment rouge piquant ou *Hrissa* épicé) (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2016). Le nombre total des COAs

détectés dans le fromage *Bouhezza* de fabrication contrôlée évolue entre 26 et 18 COAs à 7 jusqu'à 70 jours respectivement de fabrication et d'affinage. Ceci rejoint les résultats sur les fromages de ferme où le nombre de COAs varie entre 18 et 19 (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2016).

Selon AISSAOUI ZITOUN *et al.* (2016), dix COAs ont été communs entre les échantillons du *Bouhezza* quelle que soit l'origine ou l'âge. Ces composés peuvent être considéré comme marqueurs de profil aromatique de fromage *Bouhezza* de vache qui n'est pas encore établie. Ces composés d'empreinte volatiles sont sept esters (butanoate d'éthyle, butanoate de propyle, éthyle hexanoate, heptanoate d'éthyle, octanoate d'éthyle, 2-phényléthyle acétate, nonanoate d'éthyle), un acide (acide octanoïque), un alcool (3-méthyl, 1-butanol) et une cétone (2-nonanone). Ces composés sont liés aux différentes odeurs (d'ail, de pomme, butyrique, d'orange / citron, de lait, ...).

D'autre part MEDJOU DJ *et al.* (2016 ; 2017) ont noté la présence de 100 à 109 composés aromatiques dans le fromage *Bouhezza* issu de lait de chèvre. Les acides carboxyliques (libérés par lipolyse), les esters et les alcools constituent les principales classes de la fraction aromatique du fromage. *Bouhezza* de chèvre présente un profil aromatique riche en composés volatiles en comparaison avec celui de *Bouhezza* de vache avec détection de 24 composés aromatique communs comprenant 14 esters, 4 alcools, 2 acides, 2 terpènes, 1 aldéhyde et 1 cétone (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2016 ; MEDJOU DJ *et al.*, 2017). Cette variation dans la composition aromatique peut être expliquer par la différence de composition physicochimique du lait et surtout sa teneur en matière grasse, des techniques d'extraction, des conditions de fabrication et d'analyse.

3.6. Chèvre et environnement

L'interaction de l'animal avec son environnement présente une étape intermédiaire supplémentaire entre la matière première et le produit final. La race de l'animal est un aspect important du sensoriel final caractéristique du fromage. Différentes races d'animaux laitiers peuvent produire différents niveaux de protéines et de matières grasses, qui influencent les caractéristiques finales du fromage. De plus, une variation génétique au sein d'une même race peut entraîner des différences de protéines spécifiques du lait dans les modifications des caractéristiques du fromage (COULON *et al.*, 2004 ; TURBES *et al.*, 2016)

Le manque d'informations sur les races de chèvre exploitées dans la fabrication du fromage *Bouhezza* a jugé nécessaire d'étudier les spécificités des chèvres autochtones

pour pouvoir établir la notion du lien au terroir et cela à travers : une caractérisation de comportement alimentaire, l'évaluation de la production laitière, l'étude de l'effet de complémentation en aliments concentré sur les performances de ces chèvres, l'étude de stade physiologique et de la fréquence de traite sur les constituants du lait ainsi que l'étude des facteurs environnementaux qui influencent le comportement alimentaire des chèvres.

3.6.1. Comportement alimentaire des chèvres

Il est bien établi que les animaux au pâturage sélectionnent une variété d'espèces de plantes afin de couvrir leurs besoins nutritionnels (BAUMONT *et al.*, 2006 ; SANON *et al.*, 2007). Leur comportement sélectif est un peu complexe et incompréhensible (PROVENZA, 1995 ; MORAND-FEHR, 2003). Il existe de nombreuses informations dans la littérature sur leur comportement au pâturage (BAUMONT *et al.*, 2000; GOETSCH *et al.*, 2010; LEBOPA *et al.*, 2011) indiquant que le comportement sélectif des chèvres est influencé par de nombreux facteurs associés à l'animal (race, état physiologique et sanitaire, la taille de troupeau) et aux caractéristiques environnementales de la zone de pâturage (saison, type de végétation, pratiques agricoles...etc) (BARTOLOME *et al.*, 1998 ; GOETSCH *et al.*, 2010; MANOUSIDIS *et al.*, 2018). Sur pâturage intensif, il a été noté que le comportement de tri de la chèvre est encore plus accentué au pâturage qu'à l'auge. Elle passe beaucoup de temps à choisir les parties des végétaux qu'elle ingère et fait des refus importants. La quantité de matières sèches ingérée est très variable selon le mode d'exploitation de la pâture et la conduite des animaux (BLANC *et al.*, 2010).

Les chèvres se différencient des autres herbivores à plusieurs niveaux. Du point de vue morphologique, les chèvres, dont la forme générale est plus anguleuse, portent un pelage constitué de poils et non de laine comme chez les ovins. De plus, leur comportement sélectif ainsi que leur préférence alimentaire ont des conséquences directes sur les processus d'ingestion et de digestion (NGWA *et al.*, 200 ; KELI *et al.*, 2017). Sur parcours, les chèvres consomment en majorité des plantes ligneuses grâce à leur capacité à se tenir debout sur leur patte arrière et à grimper (NARJISSE, 1991). Au contraire, les ovins préfèrent ingérer des plantes de la strate herbacée. De plus, les chèvres sont des espèces très mobiles et peuvent parcourir de longues distances pour paître (LU, 1988; ANIMUT *et al.*, 2005).

Ce trait a été confirmé par une étude réalisée au Maroc par CHEBLI *et al.* (2016) et qui a porté sur la caractérisation du mouvement des chèvres dans un pâturage sylvo- pastoral à l'aide des colliers GPS et de l'IceTag. Ce travail a permis d'une part d'estimer la distance

parcourue par les chèvres durant 10 heures par jour (8km) et d'autre part le nombre de pas et le temps passé debout et actif par les chèvres.

Par ailleurs, les chèvres présentent un large spectre alimentaire c'est-à-dire qu'elles consomment aussi bien des ligneux que des herbacées (DUMONT *et al.*, 1995 ; AHARON *et al.*, 2007 ; EL AICH *et al.*, 2007 ; GOETSCH *et al.*, 2010 ; MANOUSIDIS *et al.*, 2016). Cette caractéristique alimentaire leur confère la capacité d'exploiter les ressources végétales disponibles tout au long de l'année. Elles sont même capables de consommer des espèces végétales avec des épines (DECANDIA *et al.*, 2008). Bien que ces caractéristiques des plantes puissent affecter négativement leurs préférences (BELOVSKY *et al.*, 1991 ; DZIBA *et al.*, 2003) et réduire leur consommation (BASHA *et al.*, 2012). MANOUSIDIS *et al.* (2016) ont constaté que *Quercus frainetto* constituait la partie la plus importante du régime alimentaire des chèvres malgré le fait qu'elles étaient en mesure d'utiliser diverses ressources nutritives telles que les espèces herbacées.

ALLEGRETTI *et al.* (2012) ont constaté que la disponibilité du fourrage a été le facteur le plus important de sélection de l'alimentation chez les chèvres gestantes et allaitantes dans un environnement aride. Lorsque la disponibilité de la nourriture n'a pas été un facteur limitant, les chèvres peuvent consommer une alimentation variée composée d'espèces qui diffèrent dans les concentrations de nutriments et de toxines et peuvent choisir un régime qui correspond étroitement à leurs exigences. L'état physiologique affecte la sélection du régime des chèvres en augmentant les besoins en nutriments, et les chèvres gestantes et allaitantes préfèrent les espèces fourragères avec teneur élevée en protéines.

Les chèvres manifestent un comportement alimentaire très flexible. En réalité, ces animaux ne sont pas considérés comme des navigateurs exclusifs, mais principalement comme des « nourrisseurs opportunistes » qui ont un comportement de recherche de nourriture sélective affectée par les interactions entre les caractéristiques animales, environnementales et végétales (ROGOSIC *et al.*, 2006 ; DECANDIA *et al.*, 2008)

En outre, en raison de la microflore spéciale du rumen (ALCAIDE *et al.*, 1997 ; ALCAIDE *et al.*, 2000), de son efficacité digestive élevée et de sa capacité à utiliser des fourrages riches en fibres, les chèvres sont en mesure de consommer des sources de broutage lignifiées et riches en tanins (SILANIKOVE, 2000). Les chèvres ont des besoins métaboliques plus bas que les bovins et les ovins (LU, 1988) et ont la capacité de convertir la végétation de mauvaise qualité en produits de haute qualité (LANDAU *et al.*, 2000).

La chèvre a des habitudes alimentaires assez particulières. Elle s'adapte aux conditions extrêmement difficiles grâce à son comportement sélectif qui lui permet de valoriser les faibles ressources disponibles. Les chèvres ont la capacité d'adapter leurs préférences aux communautés de plantes disponible sur le pâturage. IUSSIG *et al.* (2015) ont constaté que les chèvres ont été moins sélectives au sein d'une population homogènes d'herbacées parce qu'elles ont tendance à choisir des espèces de plantes proportionnellement à leur abondance. Contrairement dans une forêt hétérogène et stratifiée, les chèvres ont montré une préférence plus marquée pour la plupart des espèces brouteuses, quelques soit leur abondance

3.6.2. Facteurs influençant le comportement alimentaire des chèvres

3.6.2.1. Structure physique, race et stade physiologique de l'animal

Les chèvres sont bien connues pour utiliser une vaste gamme de types de végétation, notamment des arbustes, des arbres et des espèces herbacées. Elles sont également capables de brouter des herbes très courtes, comme le font les moutons (NARJISSE, 1991) ; de se nourrir d'espèces végétales avec des épines (DECANDIA *et al.*, 2008) bien que ces caractéristiques végétales puissent affecter négativement leurs préférences (BELOVSKY *et al.*, 1991) et réduire leur taux d'absorption (BASHA *et al.*, 2012) ; et de s'étirer vers le haut sur leurs pattes postérieures (position bipède) en sélectionnant le feuillage de la couche végétale supérieure.

Ce comportement alimentaire unique est principalement dû d'une part à la structure physique de leur corps (faible masse corporelle, bouche petite et tranchante, lèvre supérieure mobile et langue préhensile), et d'autre part à la capacité digestive élevée (HADJIPANAYIOTOU et ANTONIOU, 1983 ; HOWE *et al.*, 1988) et à la microflore du rumen (ALCAIDE *et al.*, 1997 ; CANTALAPIEDRA-HIJAR *et al.*, 2009). Les chèvres ont des besoins métaboliques inférieurs à ceux des bovins et des moutons (LU, 1988). En raison de leur particularité physiologique, les chèvres sont également aptes à digérer des plantes riches en cellulose, lignine et tanin. Grâce à l'ensemble de ces caractéristiques, les chèvres sont mieux adaptées à exploiter les fourrages pauvres des milieux difficiles (DOMINGUE *et al.*, 1991 ; NARJISSE, 1991, 2000 ; MANOUSIDIS *et al.*, 2016). Ceci est lié à leur plus grande capacité à neutraliser les effets négatifs des tanins sur l'appétence et la digestibilité (SILANIKOVE *et al.*, 1996). Il semble que les deux salivaires (c'est-à-dire la haute sécrétion de protéines riches en proline) et surtout, les mécanismes ruminiaux sont impliqués dans la neutralisation des effets antinutritionnels des tanins chez la chèvre. De même, la fermentation dans le rumen et l'adaptation des microbes du rumen aux terpènes peuvent également

permettre aux chèvres d'utiliser plus efficacement des aliments riches en terpènes (LANDAU *et al.*, 2000).

La race et le stade physiologique des chèvres influencent également leur comportement de recherche de nourriture. Par exemple, les races « rustiques » (chèvres sauvages, chèvres bédouines du désert) utilisent mieux les pâturages durs que les chèvres Saanen (SILANIKOVE *et al.*, 1993). De plus, les chèvres en lactation passent plus de temps à pâturer que les chèvres gestantes, en raison de leurs besoins plus élevés (DECANDIA *et al.*, 2008). Elles choisissent des plantes de pâturage ou des parties de plantes dont la valeur nutritive est supérieure à la moyenne en évitant la consommation de nuisibles, les chèvres expriment un certain degré de sagesse nutritionnelle (PROVENZA et BALPH, 1990 ; PROVENZA, 1995). Les herbivores élevés dans des environnements différents expriment des préférences alimentaires différentes. En fait, MEURET *et al.* (1985) ont constaté que les choix alimentaires des chèvres précédemment adaptées à la recherche du chêne étaient différents de ceux qui n'avaient jamais utilisé cette espèce auparavant. Cela indique que la sélection alimentaire est influencée non seulement par la génétique, mais aussi par le processus d'apprentissage et par l'expérience. En outre, les chèvres présentent des préférences différentes si elles sont exposées à des fourrages riches en composés aromatiques, tels que les phénols et les terpènes. Les chèvres distinguent moins les plantes avec différents niveaux de monoterpénoïdes que les ovins (NARJISSE, 1991).

3.6.2.2. Climat et Environnement

Les facteurs environnementaux affectent fortement le comportement alimentaire des chèvres. Bien que les chèvres s'adaptent mieux aux environnements arides que les autres ruminants (SHKOLNIK *et al.*, 1980 ; SILANIKOVE, 2000), elles sont sensibles aux basses températures (NARJISSE, 1991), aux fortes précipitations (DECANDIA *et al.*, 2008) et aux grands vents, qui réduisent leurs activités de pâturage. En fait, les conditions climatiques de chaque saison influent sur leur choix alimentaire. Par exemple, les chèvres consomment plus d'espèces herbacées les jours froids, alors qu'elles broutent davantage les jours chauds ou pluvieux sous l'abri des arbres (LANDAU *et al.*, 2000). La chèvre est un herbivore particulièrement polyvalent, bien adapté au caractère saisonnier des cultures complexes et à la végétation méditerranéenne (MANOUSIDIS *et al.*, 2016).

3.6.2.3. Pâturage

Les variations de la disponibilité en fourrage tout au long de l'année influencent la sélection alimentaire des chèvres au pâturage (PROVENZA et MALECHEK, 1986 ; MASSON *et al.*, 1991 ; FEDELE *et al.*, 1993 ; KABABYA *et al.*, 1998 ; MANOUSIDIS *et al.*, 2016), car elles adaptent leur choix en fonction de la végétation disponible. Lorsque la disponibilité de fourrage diminue considérablement (OSORO *et al.*, 2013), les chèvres changent leur comportement alimentaire et peuvent même consommer l'écorce des pins (*Pinus brutia Ten.*), Qui a une très faible valeur nutritive. En revanche, la grande diversité biologique au sein de la végétation du maquis méditerranéen augmente la consommation d'arbustes par les chèvres (ROGOSIC *et al.*, 2006). Il est généralement admis que les chèvres préfèrent les espèces ligneuses plus que les herbacées (MANOUSIDIS *et al.*, 2016). GLASSER *et al.* (2012) ont rapporté que les chèvres sélectionnent des quantités de végétation ligneuse plus élevées que les herbacées pendant les saisons sèches, car le niveau d'énergie et de protéines que les chèvres peuvent tirer des espèces herbacées est trop faible lorsqu'elles sont séchées. En effet, les résultats de cette étude indiquent que les espèces ligneuses ont dominé dans la sélection fourragère des chèvres pendant toutes les saisons de l'expérience à l'exception du printemps et de l'automne 2010. Particulièrement, le pourcentage de morsures totales d'espèces ligneuses a atteint presque 99% des préférences totales au cours de l'été 2011. Le taux de sélection de fourrage dans la végétation ligneuse était généralement faible au printemps 2010 et 2011 et à l'automne 2010. Cela était attendu, en particulier au printemps, en raison de l'abondance des espèces herbacées à cette période et à l'automne 2010 en raison de niveaux exceptionnellement élevés de précipitations et de températures qui ont provoqué la repousse des espèces herbacées. Les chèvres ont la capacité d'adapter leurs préférences à la disponibilité du fourrage (OSORO *et al.*, 2013), elles préfèrent donc la végétation herbacée lorsqu'elle est abondante. Il existe de nombreuses études (par exemple DZIBA *et al.*, 2003 ; BASHA *et al.*, 2012 ; GLASSER *et al.*, 2012 ; OSORO *et al.*, 2013) qui étudient la variation saisonnière des préférences alimentaires des chèvres et mettent en évidence la saison comme un facteur important car elle influence la disponibilité et la qualité du fourrage. De plus, les chèvres ont la capacité d'adapter leur alimentation en fonction de la disponibilité du fourrage (NGWA *et al.*, 2000 ; OSORO *et al.*, 2013), alors qu'une grande diversité de la composition botanique de leur alimentation a été rapportée par DECANDIA *et al.* (2008).

3.7. Labellisation du *Bouhezza*

Le fromage *Bouhezza* a été enregistré avant fin 2019 à l'Institut National Algérien de Propriété Intellectuelle (INAPI) dans le cadre du processus de labellisation de ce produit.

Le dossier de labellisation de fromage a été déposé auprès de la commission permanente de labellisation des produits agricoles au ministère de l'Agriculture. Un cahier de charge a été élaboré avant l'inscription à l'INAPI et la publication de l'arrêté de labellisation dans le journal officiel a été effectuée le 11 Moharram 1442 correspondant au 30 août 2020 portant attribution du signe distinctif « Indication Géographique » pour la reconnaissance de la qualité du produit d'origine agricole « Fromage *Bouhezza* ». Pour être certifié, le produit doit avoir une recette de préparation authentique prouvée, jouir d'une réputation et d'une histoire et ces conditions sont toutes remplies par le fromage *Bouhezza*. Une convention a été signée à l'occasion en l'association *Imssenda* et l'institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires (INATAA) de l'université Frères Mentouri de Constantine pour le développement de ce fromage. Son objectif est d'accompagner et contribuer au développement de ce fromage traditionnel qui est le seul fromage affiné du pays par l'étude de sa composition, sa préparation et ses bienfaits. Le fromage *Bouhezza* est le seul produit d'origine animal qui a été labellisé jusqu'aujourd'hui.

PARTIE

EXPÉRIMENTALE

I- MATÉRIEL

ET

MÉTHODES

1. Méthodologie de travail

La démarche suivie dans notre étude commence par la description des éléments composant la station d'étude en déterminant la composition botanique et la répartition des espèces de plantes dans les pâturages de chèvres impliquées dans la fabrication du fromage *Bouhezza*.

Par ailleurs, la détermination du profil aromatique des plantes sélectionnées et le suivi de l'évolution des caractéristiques aromatiques du fromage au cours de l'affinage font l'objet de notre étude afin de situer l'incidence du pâturage sur les propriétés finales du *Bouhezza* (fig.6).

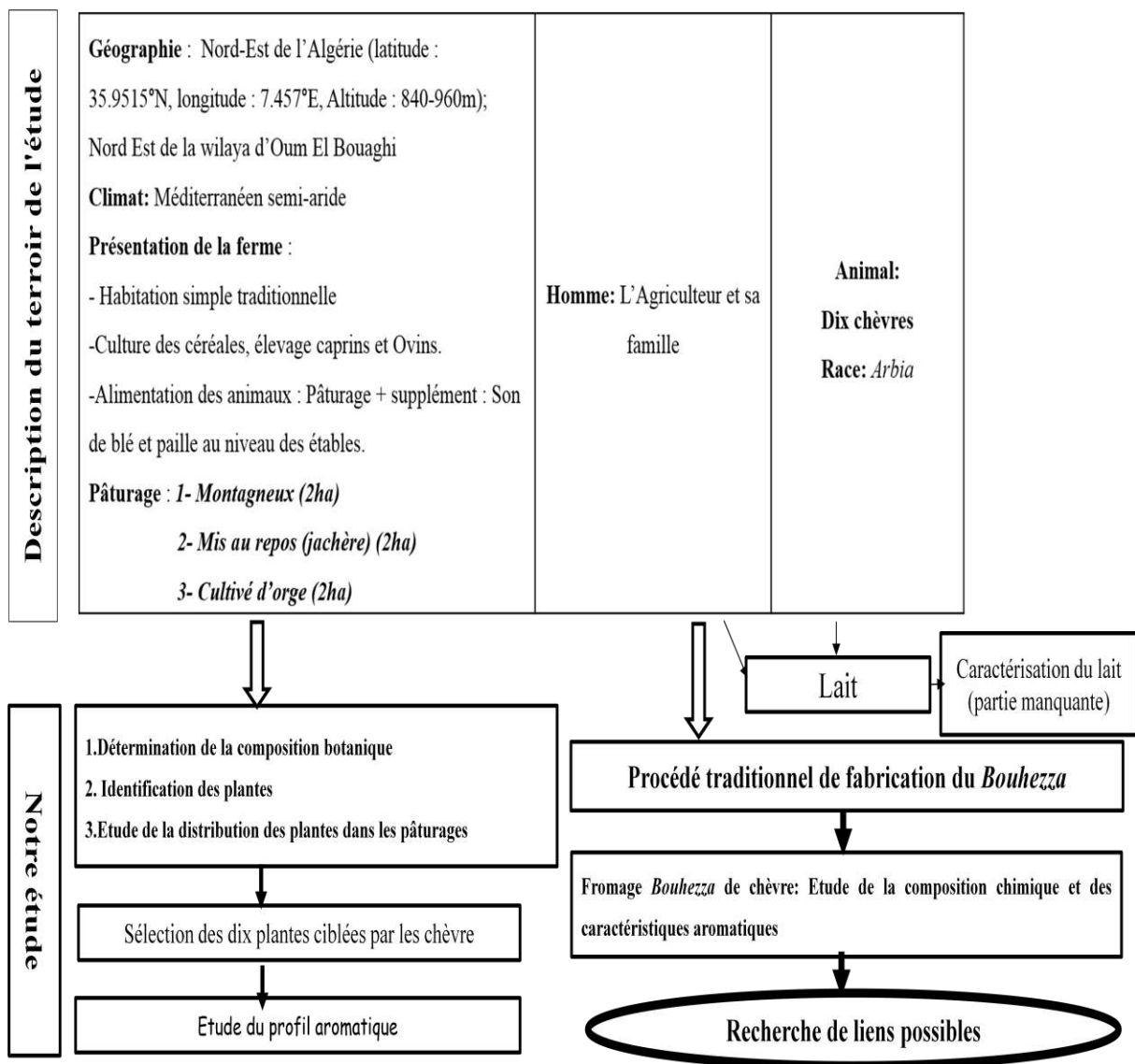


Figure 6 . Méthodologie suivie pour l'étude du lien entre le fromage *Bouhezza* de chèvre et son terroir d'origine

2. Description de la station de l'étude de terroir

La station d'étude est située dans le nord-est de l'Algérie qui se caractérise par les coordonnées géographiques suivantes (latitude : 35.9515°N, longitude : 7.457°E). Elle se localise dans la commune de *Berriche*, à la partie Nord-Est de la wilaya d'*Oum El Bouaghi* et est limitrophe avec la wilaya de *Souk Ahras* avec une altitude moyenne comprise entre 840 et 960m au-dessus du niveau de la mer (fig.7).

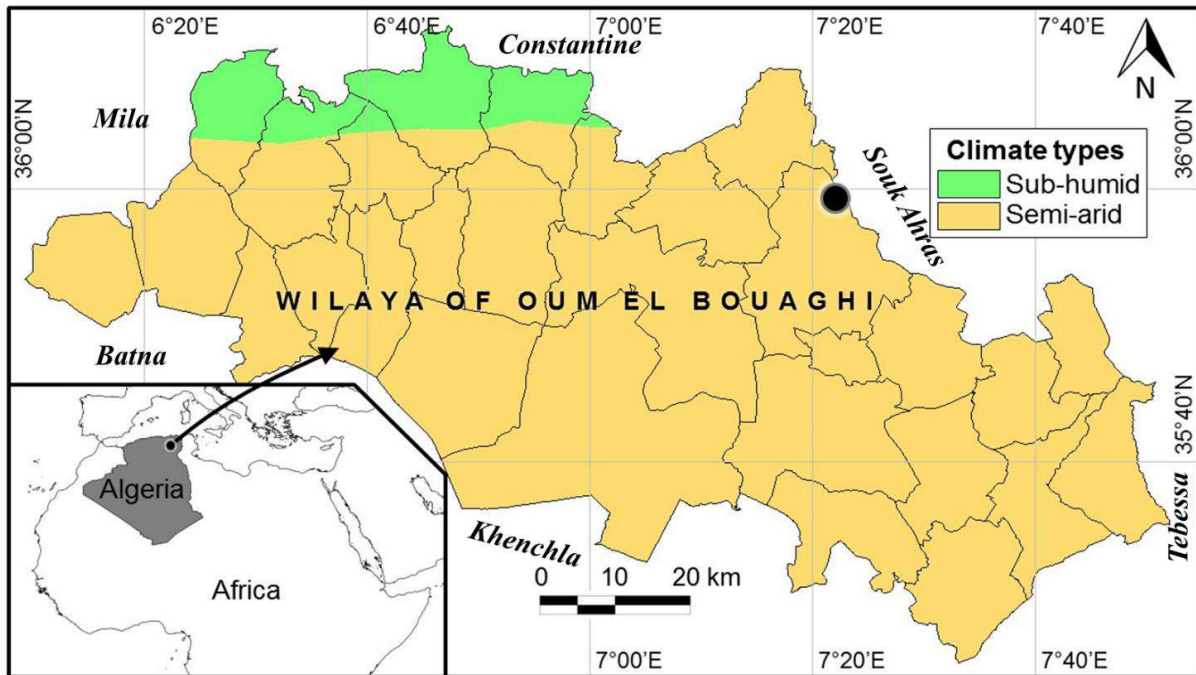


Figure 7. Carte climatique de la wilaya d'Oum El Bouaghi (KABBOUT *et al.*, 2016) et situation de la station d'étude du terroir

● Site de la station d'étude (GPS)

Le climat de la station est classé, méditerranéen semi-aride avec une période sèche de 4 à 5 mois (Juin-octobre) (fig.7). Les températures moyennes, les précipitations et le potentielle d'évapotranspiration (PET) sont des moyennes des données climatiques mensuelles à long terme indiquées par le diagramme donné en (fig.8). Il est distingué dite période sèche de quatre à cinq mois par an. Janvier est le mois le plus froid et juillet est le mois le plus chaud avec des températures moyennes de $5.3 \pm 2.1^{\circ}\text{C}$ et de $35 \pm 4,0^{\circ}\text{C}$ respectives (MEHALAINE et CHENCHOUNI, 2019). Le climat est généralement chaud en été et froid en hivers. Les précipitations sont faibles et irrégulières avec des variations prononcées au cours de l'année, les vents sont généralement faibles. Notre étude a été réalisée entre les mois d'Avril et de Juillet, les températures moyennes étaient comprises entre

25±3,4°C et 35±4,0°C. Durant cette période, les précipitations ont varié entre 8 et 44mm (fig.8).

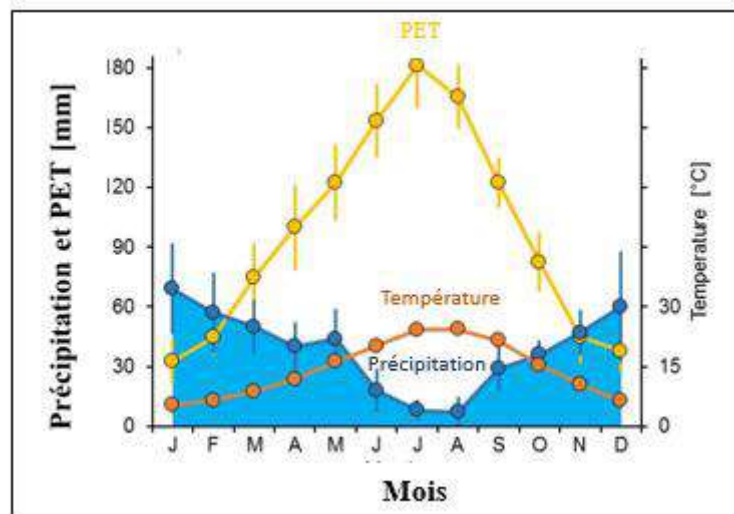


Figure 8. Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls de la station de l'étude au Nord East de la Wilaya d'Oum-El-Bouaghi en Algérie (Données climatiques d'Oum El Bouaghi) ONM (2020)

La station choisie dans cette étude se compose d'une ferme traditionnelle et de terres cultivées et non cultivées. La station est particulièrement réputée par ses activités agricoles consacrées principalement à la culture de céréales et l'élevage. Elle n'est pas couverte de forêts et est caractérisée par des pâturages herbacés cultivés et spontanés. Elle est soumise au pâturage pour des ovins et des caprins avec une durée près de 8 heures par jour. L'alimentation des animaux est complétée par du son de blé et de la paille au niveau de l'étable.

2.1. Présentation de la ferme

La ferme de notre étude se compose d'une habitation simple traditionnelle abritant l'agriculteur et sa famille et de quelques bâtiments réservés à l'élevage ovin et caprin. Ces bâtiments sont de type traditionnel avec deux bergeries non équipées sous forme d'espace intégré dans l'habitation de l'éleveur avec absence d'écurie.

L'habitation abrite une famille de dix membres dont 8 adultes et 2 enfants. L'agriculteur est aidé par ses fils et par sa femme pour certaines transformations de produits de base comme les produits laitiers (*Lben*, beurre et fromages).

Durant l'année d'étude 2016-2017, l'élevage se composait de près de 70 têtes d'ovins et 17 têtes de caprins. La mise bas des chèvres avait lieu deux fois par an, au début du printemps et en automne. Les jeunes mâles âgés de 6 à 12 mois sont orientés vers la production de viande pour subvenir aux besoins quotidiens de la famille. Le mode de reproduction est la monté libre ; les boucs sont en permanence avec les chèvres. La monté contrôlée n'est pas pratiquée par l'éleveur et l'insémination artificielle est inexistante.

L'exploitation agricole dispose pour le pâturage de son cheptel de trois parcelles de près de deux hectares chacune se distinguant comme décrit dans le tableau suivant (tableau 2).

Tableau 2. Parcelles de la ferme d'étude servant de pâturages

	Parcelle montagneuse	Parcelle Jachère	Parcelle Cultivée en orge
Superficie (hectares)	2	2	2
Coordonnées géographiques	35°57'10.1"N, 07°27'17.2"E	35°57'00.3"N, 07°27'34.2"E	35°57'02.2"N, 07°27'37.5"E
Altitude (m)	940	860	860
Culture	Jamais cultivé	Mise au repos pendant 3 ans consécutifs précédents la réalisation de l'étude	Cultivé d'orge
Irrigation artificielle	Absence	Absence	Absence
Traitement phytosanitaire	Aucun	Aucun	Aucun
Apport d'engrais	Aucun	Aucun	Aucun

Le cycle d'activité du troupeau ovin et caprin (fig.9) aux pâturages durant notre étude se divise en cinq : une période de repos nocturne, deux séquences d'activité diurne chacune d'une durée de 4 heures s'effectuent la matinée en montagne et l'après-midi partagée entre un pâturage cultivé d'orge et l'autre non cultivé séparées par une période de repos (3h).

Le troupeau se dégourdit les pattes et se met en appétit en se réchauffant aux premiers rayons du soleil et la période principale de prise alimentaire (4h) s'effectue la matinée dans la parcelle montagneuse. L'après-midi, après un repos de près de 3h, se poursuit le déplacement du troupeau vers la parcelle cultivée et non cultivée de pâturage.

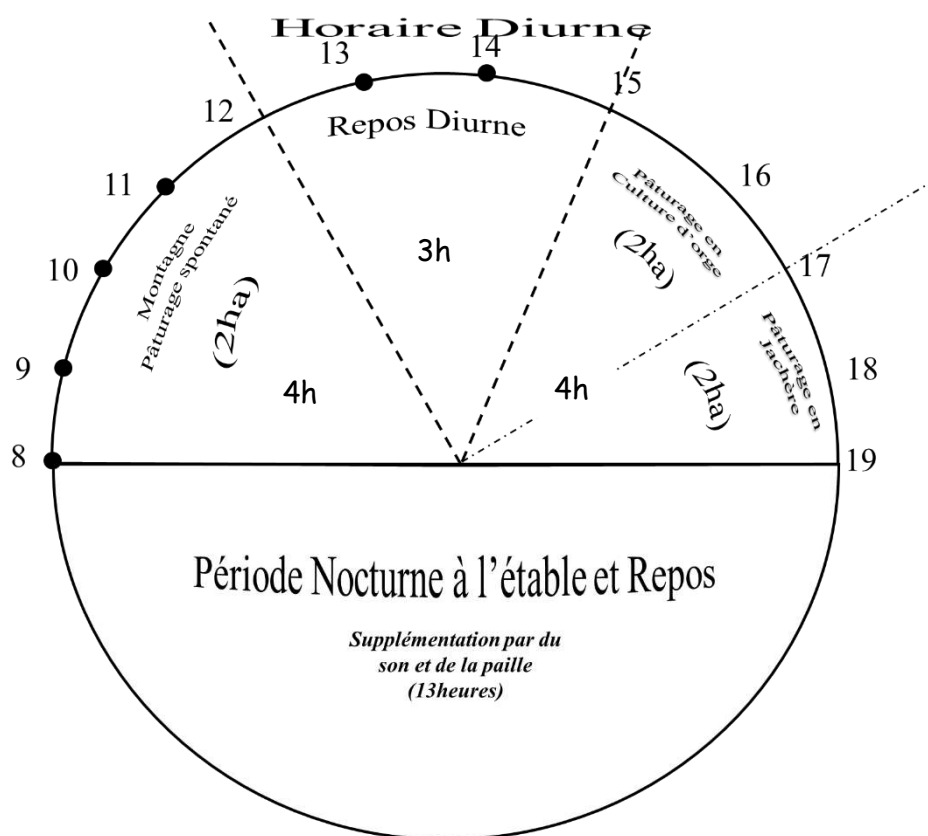


Figure 9. Cycle d'activité du troupeau durant la période de l'étude (de Avril à juillet ; Années : 2016-2017)

2.2. Détermination de la composition botanique des pâturages et prélèvement des plantes

La détermination de la composition botanique a été réalisée lors de l'année 2017. Les échantillons de pâturage ont été collectés deux fois durant la fabrication du fromage *Bouhezza* en 2017 (fig.10), de la mi- avril et à la mi- mai à un intervalle de temps d'un mois. Avril a été choisi comme une période de référence car c'est généralement le période où la majorité des espèces de plantes sont abondantes et au stade de floraison. La composition botanique des trois types de pâturage a été précisée en délimitant des espaces à l'aide de cadres carrés en bois de 1,5m de côté.

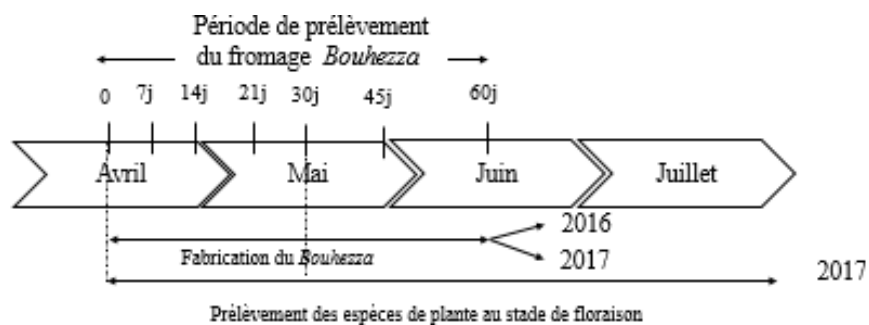


Figure 10. Chronologie d'étude du terroir du *Bouhezza* et prélèvement des espèces de plantes et de fromage.

Pour la première période d'échantillonnage en mi- Avril, les cadres carrés en bois ont été placés aux quatre coins d'un rectangle imaginaire avec une surface d'environ 100m×50m placés au centre de chaque parcelle de pâturages représentée par le rectangle (200m×100m). Pour la deuxième période d'échantillonnage en mi-Mai, les quatre cadres carrés ont été placés entre les emplacements des échantillons précédents (fig.11). Les plantes à l'intérieur du cadre en bois ont été coupées à l'aide de cisaille à 3-5cm du sol et toute la partie aérienne (Tiges, branches, feuilles, fleurs) a été collectée dans des sacs en papiers et envoyée pour identification au laboratoire. Les espèces de plantes sont triées, divisées et pesées pour calculer la biomasse fraîche individuelle (poids des plantes de même espèce / poids total de l'ensemble des plantes prélevées de chaque parcelle) et connaître le nombre de chacune d'elles.

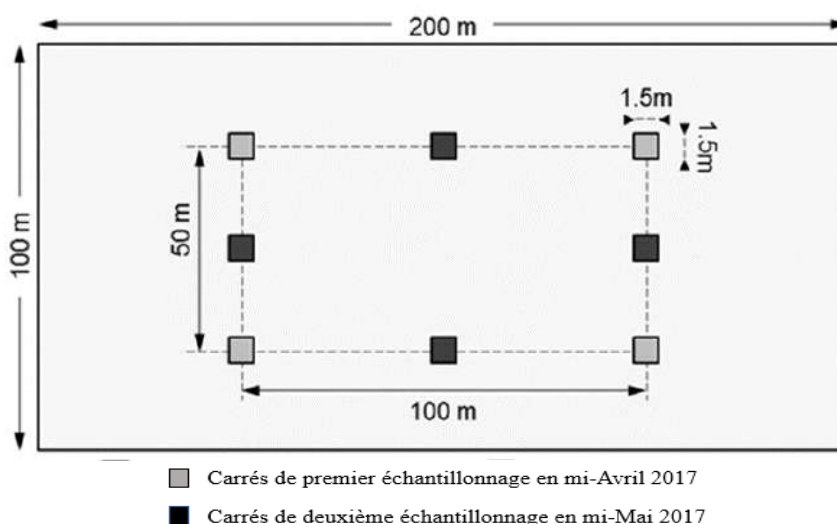


Figure 11. Mode d'échantillonnage et de prélèvement des plantes appliquées sur les trois parcelles de pâturage de la ferme d'étude.

L'identification des plantes a été réalisée au laboratoire à l'aide de la nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales de QUEZEL et SANTA (1963) présentant la clé d'identification des plantes, Toutes les fleurs de Méditerranée de BLAMEY et GRAY-WILSON (2009), et de la base de données de Tela Botanica pour la flore Nord-Africaine (www.tela-botanica.org)

2.3. Etude du profil aromatique des plantes

Notre objectif a été de d'approcher la relation entre la diversité en composés volatils de végétations des trois types de pâturages appartenant à la zone de production du fromage et la diversité aromatique de fromage *Bouhezza*. Notre étude a été conduite pour une fabrication de fromage *Bouhezza* de chèvre en sélectionnant dix espèces de plantes à partir des trois pâturages qui représentent la proportion massique la plus élevée dans chacune des parcelles.

Plus de 70 espèces de plantes ont été identifiées dans le pâturage de la ferme, mais ne sont pas toutes importantes pour la qualité du fromage. Par exemple, *Thymus Algeriensis*, de la famille des lamiacées, est généralement l'espèce la plus abondante, est consommée abondamment pour constituer un choix évident pour l'inclusion dans l'étude. Par contre, *Calendula arvensis* n'est pas abondante dans le pâturage. Nous ne voulions pas exclure la possibilité que des espèces mineures puissent contribuer à l'arôme de fromage et pour cette raison nous avons inclus dans l'étude cette espèce, ce n'est qu'un exemple et il y'en a beaucoup d'autres.

2.3.1. Mode de prélèvement et de sélection des plantes

Dix espèces de plantes ont été choisies en se basant sur leurs niveaux élevés de biomasse aérienne fraîche mesurés sur place à l'aide d'une balance ordinaire pendant la période d'échantillonnage dans les trois pâturages. Ce choix a été également soutenu par des considérations pratiques des bergers locaux qui ont attesté de la forte consommation de ces espèces par les animaux pendant le pâturage. Le choix d'utiliser de la matière fraîche est pris en compte dans cette étude car les brouteurs ingèrent des parties aériennes fraîches de ces plantes, donc cette approche peut mieux refléter la quantité de fourrage ingéré. De plus, des études récentes ont révélé que l'usage d'échantillons de plantes fraîches peut élucider un profil aromatique plus riche que l'utilisation de plantes séchées (SELLAMI *et al.*, 2011 ; ZOUAOUI *et al.*, 2020). De nombreuses études ont démontré l'importance de la consommation des pâturages frais dans le développement d'une grande quantité de composés volatils dans le lait

et le fromage et améliorant ainsi la traçabilité des produits laitiers (VIALON *et al.*, 1999 ; CORNU *et al.*, 2001).

Les dix espèces végétales ont été échantillonnées au stade de floraison (Tab.3) qui coïncide avec la période de production de fromage *Bouhezza* à base de lait de chèvre cru puis ils ont été conservés par congélation à 40°C

Tableau 3. Espèces de plantes sélectionnées dans le terroir d'étude

Famille	Espèces	Parcelle	Cycle de vie	Nom commun	Date de collecte	Codes
	<i>Sonchus asper</i>	Mise au repos et cultivé d'orge	Annuelle	Laiteron rude.	06/06/2017	So As
	<i>Atractylis humilis</i>	Montagne	Vivace	<i>Atractyle humble</i>	10/07/2017	At hu
Asteraceae	<i>Filago pygmaea</i>	Mise au repos	Annuelle	<i>Evax nain</i>	05/05/2017	Ev py
	<i>Calendula arvensis</i>	Mise au repos	Annuelle	<i>Souci des champs</i>	05/05/2017	Ca ar
	<i>Scolymus hispanicus</i>	Mise au repos	Bisannuelle	<i>Chardon d'Espagne</i>	10/07/2017	Sc hi
	<i>Plantago sp</i>	Mise au repos	Annuelle	<i>Plantain</i>	05/05/2017	Pl sp
Plantaginaceae	<i>Globularia Alypum</i>	Montagne	Vivace	<i>Globularia Turbith</i>	05/05/2017	Gl Al
Lamiaceae	<i>Thymus algeriensis</i>	Montagne	Vivace	<i>Thymus algeriensis</i>	05/05/2017	Th al
Malvaceae	<i>Malva sylvestris</i>	Mise au repos	Bisannuelle	<i>Mauve Sylvestre</i>	06/06/2017	Ma Sy
Poaceae	<i>Hordium vulgare</i>	Cultivé d'orge	Annuelle	<i>Orge</i>	05/05/2017	Ho Vu

2.3.2. Extraction des composés d'odeurs actifs des plantes par distillation à la vapeur

Les dix espèces de plantes prélevées ont été analysées afin d'étudier leurs profils aromatiques. Chaque espèce de plante a subi l'extraction par distillation à la vapeur puis l'analyse est effectuée par une technique de détection qualitative utilisant la chromatographie en phase gazeuse couplée à l'olfactométrie (CPG-O) suivant le protocole décrit par RAPISARDA *et al.* (2013, 2014). Cette technique a été déjà employée pour la détermination du profil aromatique des pâturages siciliens tels que rapporté par CARPINO *et al.* (2004a) et RAPISARDA *et al.* (2013). En effet, cette méthode a été utilisée dans le cas de mélanges constitués de composés caractérisés par de fortes odeurs et de faibles seuils d'odeur, et a permis de détecter une vaste gamme de composés d'odeurs actifs appartenant à toutes sortes de classes chimiques. Elle semble donc être appropriée pour fournir un premier criblage qualitatif général des plantes de la présente étude.

Pour l'extraction par distillation à la vapeur d'eau, 100 g de chaque échantillon composé de plante unique et contenant toutes les parties morphologiques aériennes qui ont été découpées en petits morceaux puis placés dans le ballon de l'appareil de distillation à la vapeur pendant 1 heure. Chaque extrait a été ensuite concentré sous un flux d'azote pour éliminer 2/3 du solvant organique. Les composés d'odeurs actifs ont été ensuite détectés et identifiés.

2.3.3. Détermination des COAs par CPG -Olfactométrie

L'analyse des composés odorants actifs (COAs) des plantes a été effectuée à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse (fig.12) (CPG-O) (Agilent Technology 6890N, Palo Alto, CA, USA) où, à travers le port de reniflement (DATU Technology Transfer, Genève, NY, USA), le dernier détecteur est représenté par un nez humain entraîné (ACREE *et al.*, 1976). L'extrait de composés volatils de plantes (1µl) a été injecté en double exemplaire et en mode sans division. Le fractionnement des composants volatiles a été fait dans une colonne capillaire en silice fondue (HP-5 : 12 m × 0,32 µm diamètre intérieur, épaisseur du film 0,25 µm Hewlett Packard, Palo Alto, CA, USA). Les conditions chromatographiques étaient les suivantes : injecteur split/splitless, la première température : 35°C (maintenue pendant 3 min) ; taux d'élévation de la température, 6°C / min ; la deuxième température : 190 ° C (maintenue 3 min) ; le second taux d'élévation de la température, 30 ° C /min ; température finale, 225 ° C (maintenue pendant 3 min). Température du détecteur, 250 ° C. L'Hélium, gaz vecteur, est passé avec un débit de 1,9 ml min⁻¹(RAPISARDA *et al.*, 2013). Lors de l'analyse olfactométrique, les composés élués ont été mélangés avec de l'air humidifié pour éviter le dessèchement des muqueuses nasales des évaluateurs susceptible de les gêner (ACREE et BARNARD, 1994).

La reconnaissance de l'odeur des composés odorants actifs (COAs) a été réalisée en utilisant la seule méthode de reniflement décrite par MARIN *et al.* (1988) où le renifleur a été entraîné avec un groupe de composés standard conçus pour la sélection de sujet qui réalise l'analyse olfactométrique.

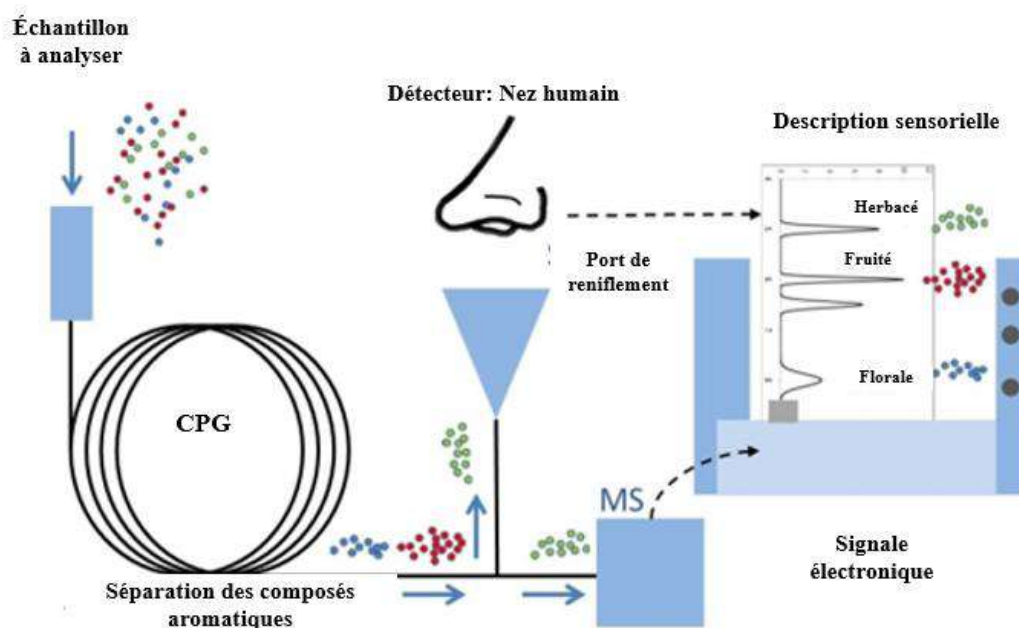


Figure 12. Schéma représentatif des différentes étapes effectuées lors de la Chromatographie en Phase Gazeuse couplée à l'Olfactométrie.

Les standards ont été constitués par un groupe de huit composés pour évaluer l'acuité olfactive et pour déterminer si le renifleur présente une anosmie spécifique pour certaines odeurs. Le renifleur n'avait aucune anosmie spécifique pour ces standards. Les composés élués ont été mélangés avec un flux d'air humidifié selon la méthode décrite par ACREE et BARNARD (1994) et le renifleur a été continuellement exposé à ce flux pendant 30 min, le débit d'air a été de 4L/min au port de reniflement. Le nez humain est nécessaire pour décrire l'odeur perçue et son intensité (ACREE *et al.*, 1976). Le temps de réponse aux odeurs individuelles perçues par le renifleur a été enregistré par le logiciel Charmware (v.1.12, Datu, Inc. Genève NEW YORK). Chaque temps de rétention d'odeur (RT) a été enregistré par le logiciel CharmWare (Datu Inc., Genève, NY) et converti en indice de rétention (RI) comme décrit par (KOVATS, 1958). L'identification de chaque odeur active (COAs) a été effectuée par chromatographie en phase gazeuse [Agilent 7890N/ détecteur de masse sélective 5975C (avec détecteur à trois axes)] utilisant les mêmes conditions de CPG-Olfactométrie rapportées par RAPISARDA *et al.* (2013). Ainsi que, par le « Flavornet » base de données Internet ([http : //www.flavornet.org](http://www.flavornet.org)) (ARN et ACREE, 1997).

2.3.4. Analyse statistique

L'ensemble de données a été traité à l'aide du logiciel statistique JMP (version 12.0.1, SAS Institute Inc., Cary, NC). Pour déterminer les différences en composés aromatiques entre

les 10 espèces végétales sélectionnées et pour identifier leurs profils aromatiques, des modèles de régression logistique à variables nominales et ordinales ont été développés et des tests de chi carré ont été appliqués sur les COAs détectés.

En particulier, les analyses statistiques ont examiné les différences entre les espèces sélectionnées dans leur nombre total de COAs, dans leurs nombre de composés appartenant à des classes chimiques spécifiques (acides, alcools, aldéhydes, alcanes, hydrocarbures aromatiques, esters, cétones, pyrazines, pyrroles, composés soufrés , terpènes, thiazoles) ainsi qu'en nombre de composés appartenant à des classes d'odeurs spécifiques (herbacées, sucrées épicées, florales, frites, sulfureuses, cuites, mentholées, fruitées, sucrées et désagréables). En outre, les variations dans le nombre globale des COAs selon leurs classes chimiques et leurs classes d'odeurs ont été mentionnées et déterminées en considérant tout l'ensemble des plantes sélectionnées pour obtenir une image générale du profil aromatique des pâturages étudiés. Le niveau de signification a été fixé à $\alpha = 0,05$.

2.4. Caractéristiques de l'animal

Un groupe de dix chèvres de la race *Arbia* en lactation a été impliqué dans la fabrication du fromage *Bouhezza*. Cette race, répandue en zone steppique ou semi steppique et caractérisée par la spécificité de rusticité, est parfaitement adaptée aux contraintes des parcours et semble posséder de bonnes aptitudes de reproduction OUCHENE-KHELIFI *et al.* (2018).

Les chèvres autochtones de la race *arbia* ont été élevées dans des systèmes de pâturage traditionnels basés d'une part sur l'offre gratuite de fourrage spontané ou cultivé pendant une durée de près de huit heures par jour, plus une supplémentation en son de blé et en paille à l'étable durant la période nocturne. L'animal représente une étape intermédiaire entre la matière première et le produit final. La race de l'animal est un aspect important du sensoriel final caractéristique du fromage (COULON *et al.*, 2004 ; TURBES *et al.*, 2016). Le lait de chèvre est collecté une fois par jour à raison d'une production faible estimée de près de 1,5 litre par jour et par chèvre. La transformation locale du lait est une tache réservée exclusivement à la femme et les quantités traitées dépendent de la disponibilité en lait et en fourrage.

3. Fabrication du fromage *Bouhezza* de chèvre

3.1. Période de fabrication

L'étude expérimentale a été menée durant la saison de printemps à partir de la deuxième semaine du mois d'avril jusqu'à la deuxième semaine du mois juin pour deux années successives soit en 2016 avec deux fabrications BF1 et BF2 et en 2017 avec les fabrications BF3 et BF4 suivant le même diagramme traditionnel décrit par AISSAOUI ZITOUN *et al.* (2011) et dans les mêmes conditions expérimentales.

3.2. Matières premières et matériel des fabrications

3.2.1. Préparation du *Djeld* de *Bouhezza*

Au niveau de la ferme rurale, les outres (*Djeld*) issues de peaux de chevreaux de même âge de 10 mois ont été confectionnées pour la fabrication du fromage *Bouhezza* et préparées suivant le diagramme traditionnel de préparation de *Djeld* rapporté par AISSAOUI ZITOUN *et al.* (2011).

Les outres ont été traitées avec le sel et le genièvre puis lavées avec de l'eau ensuite mise en contact avec du *Lben* à raison de 2 litres environ par outre pendant 24 heures puis vidées pour servir à la fabrication de fromage. Deux sacs ont été préparés et utilisés dans la fabrication du *Bouhezza* dans l'année 2016 (BF1-BF2) et deux autres ont servis aux fabrications réalisées dans l'année 2017 (BF3-BF4).

3.2.2. Préparation du *Lben*

Lben, matière première, utilisé pour la fabrication de *Bouhezza* a été fabriqué à partir de lait cru entier provenant des dix chèvres élevées dans la ferme ayant subi une fermentation spontanée de 24 à 36 h à température ambiante ($21,9 \pm 0,57$ °c) jusqu'à coagulation. Le caillé obtenu est appelé « *Rayeb* », ce lait est baratté vigoureusement dans un bidon en plastique pendant 30 à 45 minutes en vue d'un écrémage partiel. De l'eau tiède (0,25 L / litre du mélange) est ajoutée pour favoriser la séparation du beurre et faciliter l'écémage. Après un écémage partiel, *Lben* récupéré est employé dans la fabrication de *Bouhezza*.

3.2.3. Conditions de fabrication du *Bouhezza* de chèvre

Bouhezza est préparé à partir du *Lben* de chèvre suivant le diagramme traditionnel de fabrication (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2011) (fig. 13).

La fabrication du fromage *Bouhezza* débute par l'introduction du *Lben* salé dans le *Djeld* (25 g L^{-1}). Tout au long de la période de fabrication, *Djeld*, est suspendu dans un

endroit aéré et à l'ombre, des ajouts successifs du *Lben* salé dans les outres ont été réalisés durant sept semaines. La fréquence de ces ajouts étant comme suit : au début, 5 litres ont été introduits dans chacune des deux outres, ensuite des quantités de 2 litres tous les trois jours ont été ajoutées durant sept semaines. A la huitième semaine qui représente la dernière semaine de fabrication, 1,5 litre de lait cru de chèvre ont été ajoutés deux fois à intervalles de 3 jours. Ces derniers ajouts correspondent à l'étape de finition (qui dépend des habitudes du fabricant et du consommateur) et visent des corrections de l'acidité finale et du goût salé du fromage. *Djeld* est nettoyé tous les jours et après chaque ajout de matière avec raclage de la surface extérieure et rinçage à l'eau pour éviter toute accumulation de lactosérum et/ou de phase soluble ou autre dépôt.

Habituellement selon le goût et le comportement des consommateurs, le fromage *Bouhezza* peut être pimenté, ou non, avec le piment rouge plus ou moins fort. Dans notre étude *Bouhezza* n'a pas été pimenté

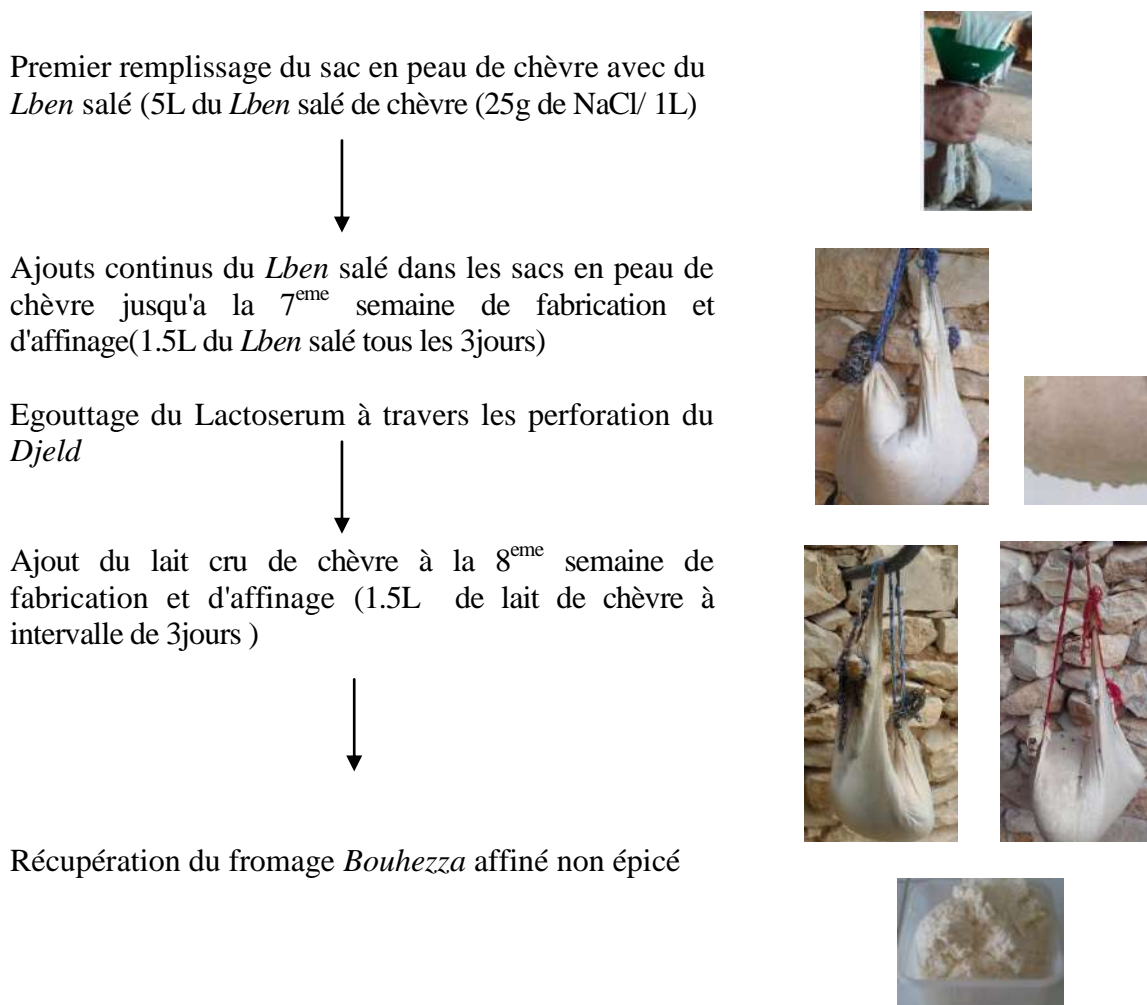


Figure 13. Etapes de fabrication et d'affinage du fromage *Bouhezza* de ferme

4. Caractérisation du fromage *Bouhezza* en cours de fabrication

4.1. Echantillonnage et préparation des échantillons

Deux fabrications en parallèle ont été réalisées pour chaque année d'expérimentation (BF1, BF2 en 2016) et (BF3, BF4 en 2017) en utilisant le même procédé traditionnel et deux peaux de chèvre distinctes confectionnées sous forme d'outres pour chaque année. Douze échantillons de fromage de chèvre ont été collectés à partir de chaque expérience. Les échantillons de fromages ont été prélevés après 7, 14, 21, 30, 45 et 60 jours d'affinage et conservé à -20°C jusqu'à l'analyse. Le choix des prélèvements permet de couvrir les trois principales tranches d'âge de fabrication. La première concerne l'élaboration du fromage durant le premier mois (de 0 à 30 jours), la deuxième tranche (de 30 à 53 jours) et la troisième correspond à la finition durant la dernière semaine de fabrication et d'affinage (de 53 à 60 jours). Le fromage est prêt à être consommé après les quatre semaines d'affinage suivi de la tranche de finition.

4.2. Analyses physico-chimiques

Les différents paramètres physicochimiques décrits ci-dessous ont été étudiés pour les douze échantillons de fromage récupérés après chaque expérimentation (2016 et 2017). Toutes les analyses ont été effectuées en même temps au centre de recherche de la Filière Laitière et Fromagère *CoRFiLaC* (Consorzio per la Ricerca sulla Filiera Lattiero Casearia) situé à *Ragusa*, région de Sicile, Italie et ont suivi des protocoles de qualité accrédités avec une précision inférieure à 1%.

4.2.1. Détermination du pH

Le pH a été déterminé par la méthode potentiométrique avec pH-mètre MP230 (Mettler Toledo, Viroflay, France) équipé d'un Inlab 413 (Mettler Toledo) avec un capteur de température intégré. Tampons DuraCal de calibration de pH-mètre certifiés (pH 4,01 et 7,00 de Hamilton- Bonaduz, Suisse) ont été utilisés

Après décongélation, les échantillons sont laissés à température ambiante comprise entre 17 et 25°C. Lorsque leur température devient environ +20°C, la couche supérieure (0.5 cm) est enlevée et jetée, puis ils sont homogénéisés à l'aide d'une spatule métallique. Après l'étalonnage du pH-mètre, l'électrode est placée directement dans la masse de fromage.

La mesure est répétée trois fois pour chaque échantillon. Le pH est mesuré à 0,01 unités de précision

4.2.2. Détermination de la matière sèche

La matière sèche des échantillons est l'un des paramètres les plus importants pour la caractérisation et la classification des fromages. Elle correspond au résidu sec obtenu après dessiccation dans l'étuve, à température égale à $100 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 24 heures (APHA,2004).

Deux grammes de fromage sont pesés dans une coupelle en aluminium avec fond plat 5.7 cm de diamètre (VWR Aluminium Dish W/Tab 57 MM). La dessiccation a été réalisée dans une étuve à circulation d'air forcée (Memmert, ULM 400, Germany) réglée à $100 \pm 2^\circ\text{C}$.

4.2.3. Dosage de la matière grasse

Le dosage de la matière grasse a été réalisé selon la méthode de Van Gulick conformément à la norme ISO 3433 : IDF 2008. Cette méthode est basée sur la digestion des constituants de fromage et principalement les protéines par de l'acide sulfurique (H_2SO_4), à l'exception la matière grasse, puis la séparation de cette dernière par centrifugation.

Trois grammes de fromage plus ou moins 0.1 mg sont pesés dans un godet adapté au butyromètre. Le godet est placé dans le butyromètre puis recouvert avec de l'acide sulfurique (densité 1.522 g/ml) jusqu'à l'immersion totale du godet et son contenu. Les butyromètres sont placés dans un bain marie à $65 \pm 2^\circ\text{C}$ sous agitation pendant 3 heures pour favoriser la dissolution totale de fromage. 1 ml d'alcool amylique (3-méthyle, 1-butanol) densité 0.818 g/ml est ajouté, puis les butyromètres sont remplis jusqu'à la graduation 25 ml avec de l'acide sulfurique (densité 1.522 g/ml). Après une agitation modérée, les butyromètres sont centrifugés à 1350 rpm pendant 10 minutes. Après la centrifugation, la lecture est effectuée immédiatement, La teneur en matière grasse, est exprimée en gramme par cent grammes de fromage brut. La mesure est répétée deux fois et le résultat est la moyenne des deux répétitions.

4.2.4. Dosage de l'azote total

Le dosage de l'azote total est effectué par la méthode *Kjeldahl* (IDF, 2014 ; ISO 8968-1). Cette méthode est basée sur la transformation de l'azote organique en azote minéral sous forme ammoniacale (NH_4) SO_4 par action oxydative de l'acide sulfurique bouillant sur la matière organique et en présence d'un catalyseur de minéralisation. Le catalyseur utilisé est un comprimé de sélénium(5g/comprimé) pour augmenter le point d'ébullition. L'ammoniac est distillé puis fixé dans une solution d'acide standard (60ml d'acide borique à 1%) après alcalisation du minéralisât à l'aide d'une base forte (NaOH, 32%). Le titrage a été réalisé par l'acide sulfurique (0,1 N) en présence d'indicateur coloré.

Un gramme de *Bouhezza* a été pesée et introduit dans un matras de minéralisation. Un comprimé de catalyseur et 16 ml d'acide sulfurique à 95 p/p sont ajoutés. Une minéralisation est ensuite réalisée dans un bloc minéralisation par l'augmentation graduelle de la température jusqu'à 420°C et pendant environ 3 heures.

Pour l'estimation des matières azotées totales, la teneur en azote estimée par digestion de l'ensemble de l'échantillon est multipliée par le coefficient **6,38** approprié au lait et produits laitiers (AUDIGIE *et al.*, 1984).

4.2.5. Evaluation du contenu en α tocophérol et en cholestérol

Par manque d'information sur les caractéristiques nutritionnelle du fromage *Bouhezza*. Il n'y a aucun rapport sur sa teneur en cholestérol ou en antioxydant lipophile.

Dans une alimentation saine le cholestérol est restreint. Surtout dans les régimes pauvres en cholestérol, la composition de chaque ingrédient doit être prise en compte. Par ailleurs, la quantité d'antioxydants lipophiles doit être suffisante pour protéger le cholestérol contre l'oxydation (VICENTE *et al.*, 2012).

Cette partie projette la lumière d'une part sur la séparation des vitamines liposolubles qui présentent un caractère antioxydant, il s'agit de l' α tocophérol et d'autre part la séparation du cholestérol qui représente le marqueur d'oxydation. Ces deux molécules pourront nous renseigner d'une part sur la stabilité oxydative du fromage durant la fabrication et la conservation et d'autre part sur l'existence d'une incidence de pâturage sur les caractéristiques du fromage par estimation de sa part dans l'alimentation des chèvres en mesurant le degré de protection antioxydante.

La combinaison de ces deux éléments permet de calculer le degré de protection antioxydant "DPA". Ce paramètre traceur a été calculé en tant que rapport molaire entre les composés antioxydants (α -tocophérol) et la cible d'oxydation sélectionnée (cholestérol). Dans les produits laitiers de chèvre, seul l'alpha-tocophérol a été choisi comme antioxydant, car le bêta-carotène est absent dans ces derniers.

L'extraction de l' α -tocophérol et du cholestérol a été effectuée sur les échantillons du *Bouhezza* prélevés des deux sacs à 7, 30 et 60 jours pour obtenir six échantillons par an et un total de 12 échantillons sur deux années. Ces échantillons ont été prélevés avant l'ajout du *Lben* ou du lait suivant IDF (2008). Lors des jours de collecte, les fromages ont été échantillonnés avec un échantillonneur à perceuse manuelle stérilisé à la flamme qui a été insérée aussi profondément que possible dans le sac en veillant à ce que la perceuse ne touche

pas le fond. La procédure a été répétée plusieurs fois pour obtenir un échantillon total minimum de 150g.

Les échantillons ont été immédiatement réfrigérés à 4 °C. Au laboratoire, chaque échantillon a été rigoureusement homogénéisé puis conservé à -80 ° C jusqu'à analyse.

4.2.5.1. Extraction de l' α -tocophérol et du cholestérol

L'extraction de l' α -tocophérol et du cholestérol a été réalisée sur les échantillons de *Bouhezza* après décongélation. Chaque étape de l'analyse a été effectuée dans l'obscurité pour éviter des réactions d'oxydation. L'extraction de l' α -tocophérol et du cholestérol a été réalisée conformément aux protocoles de PALOZZA et KRINSKY (1992) et de OH *et al.* (2001), respectivement, et modifié par MARINO *et al.* (2010).

L'extraction de l' α -tocophérol et du cholestérol ont été réalisées sur 1 g de fromage pesé à l'aide d'une balance de précision (SARTORIUS Mc 210S, 10^{-6} de précision). Le matériel utilisé est une chromatographie HPLC-grade.

D'abord une prise d'essai de 1 g de fromage est pesé, ensuite solubilisée dans 2 ml d'éthanol (99.5% v/v) contenant (0,5% p/v) de Butyrate hydroxytoluène (BHT) antioxydant pour stabiliser l'échantillon vis-à-vis l'oxydation. Après une agitation de 60 secondes (vortex), 1 ml de KOH (10% p/v) est ajouté à l'échantillon destiné à l'extraction de l' α -tocophérol et du cholestérol. Les tubes contenant les échantillons sont agités délicatement, puis incubés dans l'obscurité dans un bain marie avec agitation (Grant OLS 200) pendant 30 min à 70°C. Durant l'incubation, les tubes sont agités 60 secondes chaque 10 minutes (vortex). Ensuite deux extractions successives par 5 ml d'hexane ont été réalisées, et le mélange est centrifugé à 1500 rpm pendant 10 minutes à 10°C, et la phase hexanique (supérieure) est transférée doucement dans un nouveau tube de Pyrex propre. La phase résiduelle est mélangée avec 5 ml d'hexane puis centrifugée à nouveau dans les mêmes conditions, et la phase hexanique résultante est récupérée et additionnée à la précédente. Enfin, l'hexane est évaporé sous-vide à 40°C au rotavapor (BUCHI R-3000). Le résidu obtenu est remis en solution dans 500 μ l du méthanol absolu (100% v/v) pour la séparation par HPLC.

4.2.5.2. Séparation par HPLC

Les concentrations de l' α -tocophérol et de cholestérol ont été déterminées en utilisant un système HPLC (Waters 2695 ; Waters, Milford, MA) équipé d'une colonne SB-C18 (granulométrie 5 μ m, 4,6 mm id \times 250 mm, Agilent Zorbax, Agilent Technologies, Santa

Clara, CA) et un détecteur de fluorescence multi-longueurs d'onde (λ) (Waters 2475) pour la détection de l' α -tocophérol et un double détecteur d'absorbance λ (Waters 2487) pour la détection du cholestérol. Pour la détermination de l' α -Tocophérol, un détecteur de fluorescence multi λ (Waters 2475) a été utilisé à une longueur d'onde d'excitation de 297nm et une longueur d'onde d'émission de 340nm.

La teneur en cholestérol a été mesurée avec un détecteur d'absorbance UV (Waters 2487) à une longueur d'onde de 203nm. Les phases mobiles étaient méthanol 100% (v/v) et l'acétonitrile/méthanol/2-propanol (7 :3 :1, v/v/v) pour l' α -Tocophérol et le cholestérol respectivement. L' α -Tocophérol et le cholestérol SIGMA ont été utilisés comme étalons.

L'extraction et l'analyse de l' α -tocophérol et du cholestérol ont été effectuées dans des conditions de faible luminosité pour éviter les réactions d'oxydation. Toutes les analyses ont été effectuées en double.

4.2.5.3. Calcul du degré antioxydant de protection

Le Degré de Protection Antioxydant (DPA) est proposé comme un paramètre de traçabilité. Il est utilisé pour évaluer la protection antioxydante des aliments (PIZZOFERRATO *et al*, 2007). Il a été calculé comme le rapport molaire entre les composés antioxydants (α -Tocophérol) et la cible d'oxydation sélectionnée (Cholestérol). Il permet de distinguer le lait et le fromage issus d'animaux qui pâturent ou non (PIZZOFERRATO *et al.*, 2007).

$$DPA = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Composé Antioxydant (n° moles)}}{\text{la cible d'oxydation (n° moles)}}$$

Dans les produits laitiers de chèvre, seul l' α -Tocophérol est choisis comme la substance antioxydante qui inhibe la peroxydation lipidique, en raison de l'absence de β -Carotène dans le lait de chèvre. Le cholestérol est la cible d'oxydation en raison de la faible concentration en acides gras polyinsaturés dans la matière grasse du lait.

4.2.6. Analyse statistique

L'effet du stade d'affinage du fromage (J) (7, 14, 21, 30, 60 jours) sur les variables testées ont été déterminés par ANOVA unidirectionnelle avec une réplication de deux ans. Les analyses ont été effectuées à un niveau de signification de 0,05. Les données ont été traitées à l'aide du logiciel statistique JMP (version 12.0.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Les données de tous les échantillons ont été utilisées pour l'analyse.

4.3. Etude de profil aromatique

Des études approfondies sont nécessaires pour compléter la caractérisation du profil volatil du fromage *Bouhezza* de chèvre en suivant les changements et le développement des arômes à toutes les étapes de la fabrication et de l'affinage du fromage. En comparaison avec l'alimentation des chèvres, les changements des composés volatils au cours de la fabrication et l'affinage pourraient être un outil supplémentaire pour le contrôle de la qualité du fromage *Bouhezza*. Cette étude vise à fournir un profil aromatique complet du fromage *Bouhezza* de chèvre et à approfondir nos connaissances avec des informations originales sur les changements temporels des composés aromatiques au cours de la fabrication du fromage. Cet essai représente une contribution à donner au fromage *Bouhezza* son empreinte aromatique particulière de référence qui le distingue des autres fromages traditionnels.

4.3.1. Mode de prélèvement des échantillons

L'étude de profil aromatique des échantillons de fromage issus des deux fabrications (BF3 et BF4) réalisées durant l'année 2017 a été envisagée dans l'objectif de ressortir l'influence de pâturage consommé par les chèvres sur le caractère aromatique du fromage dérivé de leurs laits (profil aromatique de pâturage a été étudié en 2017). Les différents échantillons du fromage *Bouhezza* prélevés après 7, 14, 21, 30, 45 et 60 jours de fabrication-affinage à partir des deux outres (BF3-BF4) durant l'expérimentation réalisées en 2017 ont été décongelés pendant une nuit au réfrigérateur puis maintenus au moins une heure à température ambiante en vue de leur analyse en utilisant deux techniques d'extractions (Micro Extraction en Phase Solide par headspace (SPME) et la distillation à la vapeur (SD) couplées chacune à la chromatographie en phase gazeuse et l'olfactométrie avec la détection de masse sélective pour identifier les composés odorants actifs (COAs).

4.3.2. Extraction des composés volatils par Headspace (SPME)

Les composés odorants actifs (COAs) de fromage ont été extraits en utilisant une technique de micro-extraction statique en phase solide (SPME). Un total de 12 échantillons de fromage prélevés à partir des deux outres (BF3, BF4).

Le principe de cette technique repose sur le piégeage des Composés d'Odeurs Actives (COAs) de l'espace de tête de l'échantillon sur l'adsorbant solide de la seringue de la Micro Extraction en Phase Solide (SPME) du système statique de headspace. Ensuite, les COAs seront extraits thermiquement.

Six grammes du fromage ont été placés dans un flacon de 22 ml puis scellés et placés dans un bain Marie à 55°C pendant 40min afin d'établir un équilibre volatil entre l'échantillon de fromage et l'espace de tête. Ensuite, la seringue de la SPME a été installée dans le flacon. L'extraction statique en HS-SPME nécessite une exposition de la fibre de la seringue de SPME durant 40 min à 55°C.

La fibre de la seringue de SPME est garnie avec une couche de Divinylbenzen/ Carboxen/ polydimethylsiloxane (DVB/CAR/PDMS) de 50/30 mm d'épaisseur (Supelco, Bellefonte, PA, Etats-Unis). Avant utilisation, la fibre a été initialement préconditionnée en l'insérant dans le port d'injection de la chromatographie en phase gazeuse (GC/MS) pendant 1 h à 225 °C et a été reconditionnée à nouveau après chaque extraction pendant 5 min à la même température suivie par un refroidissement à température ambiante durant 10 min. La désorption des composés odorants concentrés est réalisée thermiquement en insérant l'aiguille le plus profondément possible dans l'injecteur chaud du chromatographe.

La méthode de SPME a été utilisée pour définir et suivre l'évolution du profil aromatique des fromages *Bouhezza* (12 échantillons) de chèvre qui ont été collectés aux temps 7, 14, 21, 30, 45 et 60 jours de fabrication et d'affinage. Les composés odorants actifs COAs extraient par SPME ont été séparés et identifiés par chromatographie en phase gazeuse couplée avec détection de masse sélective (MS) et/ou olfactométrie.

4.3.3. Extraction des composés volatiles par distillation à la vapeur « SD »

Cent grammes d'échantillon de fromage ont été transférés dans l'appareil de distillation à la vapeur pendant 1 h. L'extrait a été recueilli dans 20 ml de solvant éther diéthylique. L'extrait de chaque échantillon a été ensuite concentré sous un courant d'azote pour réduire l'effet de dilution du solvant. La détection et l'identification des COAs dans l'éther diéthylique ont été effectuées en appliquant la technique CPG / Spectrométrie de Masse / Olfactométrie.

4.3.4. Analyse par CPG avec détection de masse sélective

Pour l'analyse et l'identification des composés volatils, extraits par SPME et SD, nous avons utilisé un appareil de chromatographie gazeuse- Agilent 7890A Series GC system (NY, USA) couplé avec Détecteur Sélectif de Masse (NY, USA) (triple axe). Le fractionnement des composants volatiles a été fait dans une colonne capillaire HP-5 (30 m × 0.25 mm ID × 0.25 µm de l'épaisseur de film, Agilent des Technologies, des Etats-Unis). Les conditions de la chromatographie étaient comme suit : injecteur split/splitless à 220°C ; conditions de programme du four : 35°C pendant 3 min, 6°C/min jusqu'à 200°C, 30°C/min jusqu'à 240°C

pendant 3 min. La pression du gaz vecteur (He) a été fixée à 13,6 psi et le débit du gaz était de 1,0 mL/min. Le détecteur sélectif de masse fonctionne en mode de balayage, 5,15 scan/s, avec 70 eV. L'identification des pics a été effectuée en comparaison des spectres massifs avec les données bibliographiques de la base de données Wiley 175 (Wiley and Sons, Inc., Allemagne) et avec les index de rétention linéaires (LRI) de standards authentiques (Sigma-Aldrich) calculé après écoulement d'une série de paraffine (de C5 à C20) sous les mêmes conditions de travail.

4.3.5. Analyse par CPG couplée à l'olfactométrie

Une chromatographie en phase gazeuse du système (GC HP Série 6890) couplée à un olfactomètre a été utilisée pour l'analyse et l'identification des composés volatils. Le fractionnement des composés aromatiques s'effectue dans une colonne capillaire HP-5 (30 mx 0,25 mm DI x 0,25 µm d'épaisseur de film : Agilent Technologies, USA). Une injection SPME sans division a été réalisée à 220 °C. Le programme de température du four et l'étalonnage du détecteur du spectromètre ont été réglés dans les mêmes conditions que celles indiquées dans l'analyse GC / MS.

Pour l'analyse GC/O, le nez humain entraîné (renifleur) a été utilisé comme détecteur final simultanément avec le détecteur de masse. Les composés élués ont été mélangés à l'air humidifié (FLORES et CORRAL, 2017) et le renifleur a été exposé en continu à cette source pendant 30 min (DELAHUNTY *et al.*, 2006 ; RAPISARDA *et al.*, 2013). Au cours de l'analyse olfactométrique, le renifleur décrit les perceptions et la durée des odeurs (FRIEDRICH et ACREE, 1998 ; CHIN *et al.*, 2017). La reconnaissance des composés d'odeur actives a été réalisée en utilisant la méthode de reniflement (MARIN *et al.*, 1988). Le renifleur est formé avec des produits chimiques de référence ce qui permet ainsi d'avoir des résultats reproductibles, à condition d'éviter les conditions psychophysiques qui influencent l'opérateur (MALLIA *et al.*, 2008). Les produits chimiques de référence consistaient en un groupe de huit composés utilisés pour évaluer l'acuité olfactive et pour déterminer si un « renifleur » avait une anosmie spécifique pour certaines odeurs.

4.3.6. Analyse statistique

L'ensemble de données a été traité à l'aide du logiciel statistique JMP (version 12.0.1, SAS Institute Inc., Cary, NC). Évaluer les effets du stade d'affinage de *Bouhezza* (7, 14, 21, 30, 45 et 60 jours) et la méthode d'extraction de (SD et SPME) sur la présence/absence de COAs, des tests de chi carré nominal ont été appliqués.

Les COAs détectés ont été ensuite réparties selon des classes chimiques (alcools, aldéhydes, esters, composés hétérocycliques, cétones, alcane, thiazole, composés soufrés et terpènes) et des classes d'odeurs (fromage, cuite, florale, frite, fruité, herbacé, épicé, soufré et notes désagréables). *Bouhezza* est prêt à la consommation à partir d'un mois d'affinage (30 jours). Afin de caractériser le profil aromatique du *Bouhezza* à 30, 45 et 60 jours d'affinage, des tests de chi carré ordinal ont été appliqués sur les COAs détectés appartenant aux classes chimiques et aux classes d'odeur. Le niveau de signification a été fixé à $\alpha = 0,05$.

De plus, pour chaque méthode d'extraction (SPME et SD), les COAs et leurs odeurs partagées entre les différents temps d'affinage (7,14,21,30,45 et 60 jours) et spécifiques à chaque période ont été illustrées à l'aide de diagrammes de Venn à cinq et six ensembles. Les tracés ont été mappés à l'aide des packages {venn} et {pplot2} de R (R Core Team, 2020).

4.4. Analyse sensorielle du fromage *Bouhezza*

L'objectif de cette analyse consiste à définir le profil sensoriel du fromage traditionnel *Bouhezza* au lait de chèvre après finition à 60 jours d'âge (*Bouhezza* prêt à être consommé) récupéré à partir des fabrications (BF1, BF2, BF3 et BF4) avec un jury d'experts de dégustation. Cette analyse décrit les caractéristiques sensorielles du fromage soit l'aspect et la texture, l'odeur, l'arôme, les sensations trigéminales, l'arrière-goût et la persistance du goût du fromage. En premier lieu une détermination des familles ou descripteurs sensoriels du fromage *Bouhezza* a été établie avec un jury d'experts ainsi qu'un questionnaire type. Ensuite, des analyses sensorielles proprement dites ont été réalisées avec ce jury.

4.4.1. Détermination des familles ou descripteurs sensoriels du *Bouhezza*

L'ensemble des familles d'odeurs et d'arômes ainsi que les saveurs ont été établies dans un atelier de discussion avec un jury de spécialiste dans l'analyse des fromages au niveau du laboratoire d'analyse sensorielle du CoRFiLaC. Le principe consiste à présenter à l'expert un échantillon de *Bouhezza* affiné qu'il va renifler plusieurs fois pour détecter les odeurs reconnus puis discussion. Ensuite, l'expert déguste l'échantillon du fromage et note progressivement les familles ou les descripteurs d'arômes détectés. Les descripteurs donnés par l'ensemble des membres du jury sont retenus pour l'analyse sensorielle

4.4.2. Evaluation sensorielle du fromage *Bouhezza*

Le groupe d'examineur est constitué d'un jury entraîné à l'analyse (8 sujets) des fromages. La première étape consistée à une description des principales caractéristiques

sensorielles du fromage puis à leur donnée une note (une échelle constituée de 15 notes). Les tests sont menés selon les directives de la norme V09-001(AFNOR, 1995).

L'analyse consiste à présenter à un dégustateur un échantillon du fromage *Bouhezza* affiné (à 60j (non épicé). Les caractéristiques sensorielles du *Bouhezza* sont évaluées par des observations visuelles et des dégustations. L'analyse sensorielle a concerné les quatre échantillons de fromage à 60 jours d'affinage des deux expérimentations réalisées durant l'année 2016 et 2017. Le bulletin de réponse de cette épreuve est présenté en annexe I.

II- RÉSULTATS

ET

DISCUSSION

1. Composition botanique et distribution des plantes sur les pâturages de l'étude**1.1. Composition botaniques des pâturages étudiés**

Un ensemble de 70 espèces végétales différentes ont été identifiées sur les trois zones de pâturage. Ces espèces appartiennent à 62 genres et 22 familles différentes (Annexe 2).

La famille des Astéracées est la plus dominante avec 16 espèces, suivie par celle des Brassicacées avec 8 espèces, les Fabacées avec 7 espèces, les Lamiacées et les Poacées avec 6 espèces chacune. Les Apiacées et les Plantaginacées sont représentées avec 4 espèces, et d'autres familles mais moins représentées avec une ou deux espèces (Tableau 4 et Annexe 2).

Tableau 4. Nombre total d'espèces (S) et biomasse des familles de plantes (B) réparties dans les trois types de pâturage.

Famille de plante	N° de Genre	N° des Espèces (S)	Montagne		Non cultivé		Cultivé	
			S	B%	S	B%	S	B%
Apiaceae	4	4	1	1.7	2	2.5	2	14.8
Asparagaceae	2	2	–	–	1	0.4	1	2.4
Asteraceae	15	16	5	29.3	12	57.5	2	29
Boraginaceae	2	2	1	0.6	1	0.7	–	–
Brassicaceae	6	8	4	2	6	5.8	–	–
Caryophyllaceae	1	1	1	0.3	–	–	–	–
Cistaceae	1	1	1	1	–	–	–	–
Euphobiaceae	1	1	–	–	1	1.7	1	0.1
Fabaceae	6	7	5	2.1	2	1.3	–	–
Geraniaceae	1	1	–	–	1	0.7	–	–
Iridaceae	1	1	–	–	–	–	–	–
Lamiaceae	4	6	4	27.8	2	2.7	–	–
Malvaceae	2	2	–	–	2	8.9	–	–
Orchidaceae	1	1	–	–	–	–	–	–
Papaveraceae	1	1	–	–	1	0.3	1	0.7
Plantaginaceae	3	4	1	33.1	3	8	–	–
Poaceae	5	6	2	2	3	7.5	2	48.7
Primulaceae	1	1	1	0.2	1	0.5	–	–
Ranunculaceae	2	2	–	–	1	0.4	2	4.4
Resedaceae	1	1	1	0.2	1	0.8	–	–
Rosaceae	1	1	1	0.2	–	–	–	–
Rutaceae	1	1	1	0.2	–	–	–	–
Total	62	70	29	100	40	100	11	100

Dans le pâturage montagnoux, plus de 90% de la biomasse végétale fraîche a été observée chez les espèces Plantaginacées (33,1%), Astéracées (29,3%) et Lamiacées (27,8%) (tab.4). Les espèces de la famille des Fabacées, Brassicacées, Poacées et Apiacées ont représentées environ 8% de la biomasse totale dans cette zone de pâturage.

Le pâturage mis au repos (terre jachère) a été dominé par les espèces de plante appartenant à la famille des Astéracées (biomasse = 57,5%), suivie par les Malvacées (biomasse = 8,9%), les Plantaginacées (biomasse = 8%), les Poacées (biomasse = 7,5%) et les Brassicacées (biomasse = 5,8%). Les espèces de plantes appartenant à la famille des Lamiacées, Fabacées, Apiacées et Euphorbiacées ont constituées une biomasse mineure d'environ 10%, tandis que le reste des familles a été très rare.

Le pâturage cultivé a été principalement caractérisé par des plantes appartenant à la famille de Poacées (biomasse = 48,7%). Cependant, cette zone contient également de nombreuses autres plantes appartenant aux familles des astéracées (biomasse = 29%), des apiacées (biomasse = 14,8%) et des renonculacées (biomasse = 6,8%) (Tableau 4).

Parmi les 70 espèces de plante recensées sur les trois types de pâturage, dix espèces ont été sélectionnées (plante avec des scores élevés d'occurrence et présentant un taux élevé de biomasse fraîche et pâturée par le troupeaux ovin et caprin), cinq appartenaient aux Astéracées (*A. humilis*, *C. arvensis*, *F. pygmaea*, *S. hispanicus* et *S. asper*), deux aux Plantaginacées (*G. alypum* et *Plantago* sp.). Une aux Lamiacées (*T. algeriensis*), Malvacées (*M. sylvestris*) et Poacées (*H. vulgare*) (Voir Annexe II). *G. alypum* (33%), *A. humilis* (27%) et *T. algeriensis* (20%) ont représenté les espèces les plus riches en biomasse dans le pâturage de montagne (Annexe II). *H. vulgare* représente l'espèce dominante dans le pâturage cultivé avec une biomasse de (45%), suivie par *S. asper* (29%). Les espèces ayant la biomasse la plus élevée dans le pâturage non cultivé sont *S. asper* (25%), *M. sylvestris* (9%), *F. pygmaea* (8%), *S. hispanicus* (7%) et *Plantago* sp. (7%). Malgré *C. arvensis* présente une biomasse faible (2%) dans le pâturage mis au repos, elle a été principalement sélectionnée pour la détermination des COAs, car même certaines espèces mineures pourraient contribuer à l'arôme du fromage et /ou la qualité d'autres produits laitiers.

En comparaison avec les données de YAHY *et al.* (2012), le nombre total d'espèces végétales répertoriées sur les trois zones de pâturage a représenté environ 1,8% du nombre total d'espèces végétales identifiées dans le nord-est de l'Algérie. La plupart des espèces végétales recensées dans cette étude ont été des plantes annuelles thérophytes, qui dépendent

des précipitations (BRADAI *et al.*, 2015), aussi la composition botanique des pâturages exploités dépend à la fois du milieu naturel et des pratiques agricole (BUCHIN *et al.*, 1999)

Compte tenu à la fois de la zone de montagne et de celle qui a été mise au repos pendant trois années consécutives, les espèces végétales de la famille des astéracées ont été les plus représentées en termes de richesse en espèces et en biomasse végétale fraîche. La famille des Astéracées semble également être la plus abondante sur les pâturages spontanés siciliens (CARPINO *et al.*, 2003). Généralement, cette famille de plantes est bien représentée à la fois dans les régions continentales et insulaires d'Algérie (BENHAMICHE-HANIFI et MOULAI, 2012) ainsi que dans toute la région méditerranéenne (JEANMONOD *et al.*, 2011 ; NEFFAR *et al.*, 2018).

Il existe peu d'études concernant la description botanique des zones arides et semi-arides en Afrique du Nord (BOUALLALA *et al.*, 2020 et 2021 ; KOUBA *et al.*, 2020).

Selon FALAKI *et al.* (2014), lorsque le niveau de dégradation de la végétation est élevé, le nombre d'espèces végétales de certaines familles telles que les Astéracées peut devenir plus abondant. MERDAS *et al.* (2017) ont identifié 101 espèces végétales différentes dans les prairies steppiques centrales de l'Algérie. La plupart appartenaient à la famille des astéracées (26 espèces) suivie de familles des poacées (18 espèces) et de fabacées (8 espèces). Neuf de ces espèces végétales (*Atractylis cancellata*, *Deverra scoparia*, *Eruca vesicaria*, *Filago pygmaea*, *Macrochloa tenacissima*, *Moraea sisyrinchium*, *Nonea micrantha*, *Reseda alba*) ont été également détectées dans la présente étude. Des résultats similaires ont été rapportées dans les pâturages halophytes semi-arides, où les astéracées, les poacées, les fabacées, les espèces de Chenopodiacees et Brassicacees dominant (NEFFAR *et al.*, 2016).

BOUTAOUNI *et al.* (2018) ont identifié *Thymus algeriensis* parmi les espèces les plus répandues en Afrique du Nord. Elle est reconnue comme plante indigène en Algérie, Libye, Tunisie, et Maroc, où elle est bien adaptée aux conditions pédoclimatiques locales (MEHALAINE et CHENCHOUNI, 2020).

1.2. Répartition des espèces de plantes sur les pâturages étudiés

La répartition des espèces végétales spontanées poussant dans les trois pâturages est représentée sur la figure 14. Au total, 23 espèces ont été répertoriées exclusivement dans le pâturage de montagne, 27 espèces exclusivement ont été enregistrées dans le pâturage mis au repos et 4 espèces ont été exclusivement trouvées dans le pâturage cultivé, avec absence

d'espèces communes entre les trois pâturages et exclusivement entre le pâturage montagnard et cultivé. Le pâturage de montagne et celui mis au repos ont abrité exclusivement 6 espèces communes. Alors que 7 espèces communes ont été exclusivement partagées entre le pâturage mis au repos et le pâturage cultivé d'orge.

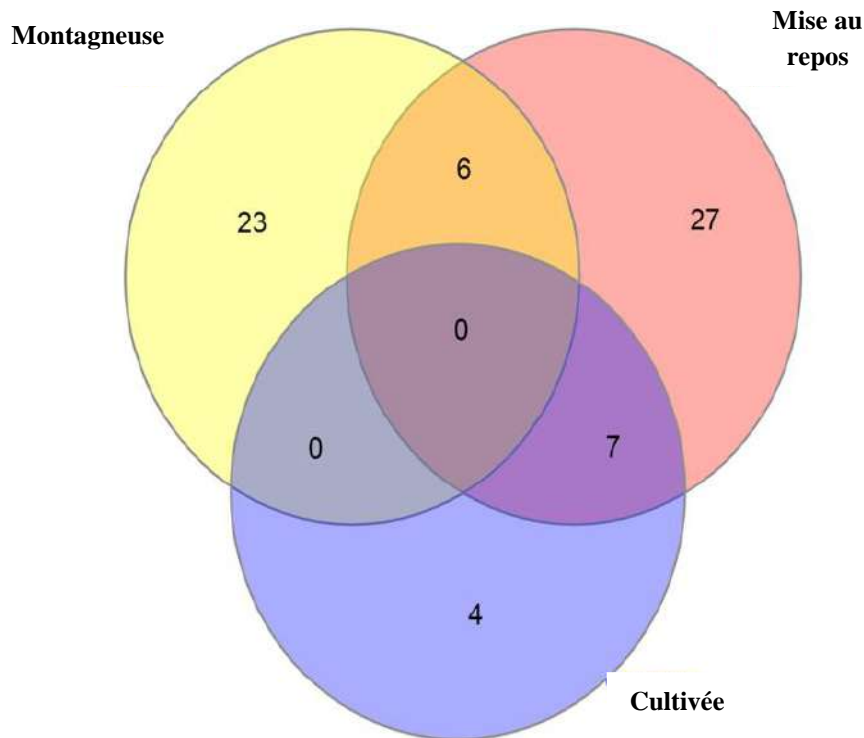


Figure 14. Diagramme de Venn à trois ensembles montrant la répartition des espèces végétales poussant dans les trois types de pâturages étudiés.

Les différences observées dans la répartition et la composition des plantes entre les trois pâturages (voir Annexe 2) peuvent être liées à plusieurs facteurs environnementaux tels que les conditions climatiques qui varient en fonction de l'altitude (PEIRETTI *et al.*, 2017), les caractéristiques du sol (CHENCHOUNI, 2017) et les pratiques de gestion (BOOB *et al.*, 2019 ; KOUBA *et al.*, 2021). Selon GAUJOUR *et al.* (2012), les facteurs édaphiques et topographiques jouent un rôle essentiel dans la formation de communautés végétales qui aboutissent à terme à des régions phytogéographiques spécifiques. PFEIFFER *et al.* (2019) ont rapporté que le pâturage favorise : (a) les espèces annuelles, (b) la croissance des espèces sous diverses formes. De plus, le métabolisme secondaire des plantes est étroitement lié aux variables abiotiques de l'habitat, les caractéristiques du climat et du sol sont considérées les principaux moteurs des changements observés dans la composition et les rendements des métabolites secondaires des plantes (MEHALAINE et CHENCHOUNI, 2019 ; 2020).

2. Profil aromatique des espèces de plante sélectionnées

Quatre vingt six composés d'odeur actives différents ont été identifiés pour les dix des espèces de plantes analysées, avec 21 terpènes, 18 aldéhydes, 10 alcools, 7 esters, 5 composés sulfuriques, 5 cétones, 3 pyrazines, 3 hydrocarbures aromatiques, 2 thiazoles, 2 pyrroles, 1 acide et 1 alcane. Parmi les 86 COAs, huit n'ont pas été identifiés (Annexe 3). De plus, ces 86 COAs identifiés comprennent 19 composés différents avec des odeurs herbacées, 13 avec des odeurs florales, 10 avec des odeurs épicées sucrées, 10 avec des odeurs de frites, 9 avec des odeurs de plats cuits, 6 avec des notes de fruits, 6 avec des odeurs sulfuriques, 3 avec des odeurs sucrées et 3 avec des odeurs désagréables (Annexe 3).

2.1. Composés d'odeur active détectés dans chaque espèce de plante

Le nombre de COAs identifiés par espèce varie de 20 à 42 et diffère significativement entre les plantes ($P = 0,0025$, tableau 5), *Atractylis humilis* est l'espèce de plante le plus riche en composés aromatiques avec 42 COAs, *S. hispanicus* et *Plantago sp* se caractérisent par la présence de faible nombre de composés aromatiques avec respectivement 22 et 20 COAs (Tableau 5).

Tableau 5 . Nombre de composés d'odeurs-actives (COAs) détectés dans chaque espèce de plante dans les pâturages étudiés.

Espèces de plante	Nombre de COAs	IC ^a -	IC+	Chi-Carré	Valeur -P ^b
<i>Atractylis humilis</i>	42	0,105	0,915	6,15	*
<i>Hordeum vulgare</i>	39	-0,038	0,775	3,22	0,07
<i>Filago pygmaea</i>	37	-0,135	0,682	1,77	NS
<i>Malva sylvestris</i>	36	-0,185	0,635	1,21	NS
<i>Thymus algeriensis</i>	33	-0,337	0,493	0,16	NS
<i>Calendula arvensis</i>	32	-0,390	0,445	0,03	NS
<i>Globularia alypum</i>	32	-0,390	0,445	0,03	NS
<i>Sonchus asper</i>	24	-0,852	0,041	2,98	0,08
<i>Scolymus hispanicus</i>	22	-0,984	-0,068	4,82	*
<i>Plantago sp,</i>	20	-1,127	-0,183	7,07	**

^a Intervalle de confiance à $1-\alpha=0,95$

^b Différence significative par rapport aux nombre de COAs d'autres espèces (au moins une) : * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; NS: valeur non significative ($P > 0,10$).

La différence du nombre de COAs détectés dans les espèces végétales sélectionnées a été principalement attribuée au nombre de composés terpéniques odorants allant de 2 à 14 composés différents par espèce végétale ($P = 0,0136$, tableau 6). Le tableau 6 représente le nombre de composés terpéniques détectés dans chaque espèce de plante sélectionnées à partir des trois pâturages.

Tableau 6. Nombre du composés terpéniques détectés dans chaque espèce de plantes sélectionnées

Espèces de plante	Nombre de COAs	IC ^a -	IC+	Chi-square	Valeur- P^b
<i>Globularia alypum</i>	14	0,307	2,065	6,74	**
<i>Thymus algeriensis</i>	11	-0,278	1,389	1,71	NS
<i>Malva sylvestris</i>	10	-0,478	1,189	0,73	NS
<i>Sonchus asper</i>	10	-0,478	1,189	0,73	NS
<i>Atractylis humilis</i>	9	-0,687	0,994	0,16	NS
<i>Hordeum vulgare</i>	9	-0,687	0,994	0,16	NS
<i>Filago pygmaea</i>	8	-0,910	0,801	0,01	NS
<i>Calendula arvensis</i>	6	-1,429	0,401	1,01	NS
<i>Scolymus hispanicus</i>	6	-1,429	0,401	1,01	NS
<i>Plantago sp.</i>	2	-3,466	-0,648	6,93	**

^a Intervalle de confiance à $1-\alpha=0,95$

^b Différence significative par rapport aux nombre de COAs d'autre espèces (au moins une) :

** $P<0,01$; NS: valeur non significative ($P>0,05$).

Globularia alypum est l'espèce de plante la plus riche en terpènes (avec 14 composés terpéniques) alors que *Plantago sp* est l'espèce de plante la plus pauvre (avec 2 composés terpéniques) (tab.6). Il y avait également une différence marginale ($P = 0,0607$) dans le nombre de composés alcooliques entre les plantes sélectionnées, avec *Atractylis humilis* qui est l'espèce de plante la plus riche en COAs appartenant à la classe d'alcool . La variabilité qualitative et quantitative des composés aromatiques dans différentes espèces de plantes peuvent être liée à plusieurs facteurs : stade de croissance de la plante (SAJED *et al.*, 2013), l'état du matériel végétal (frais ou sec) (BELHATTAB *et al.*, 2014), l'environnement et les conditions géographiques y compris la composition du sol (TEIXEIRA *et al.*, 2012), le climat (REBEY *et al.*, 2012; MEHALAINE *et* CHENCHOUNI, 2018), sans omettre le facteur du stress environnemental telles que la sécheresse des zones arides et semi-arides (RIAHI *et al.*, 2015).

La différence des composés odorants entre les plantes sélectionnées n'a été que marginale ($P = 0,0823$. Information non rapportée dans les tableaux) et elle a été limitée aux odeurs de frites avec *M. sylvestris* et *H. vulgare* contenant le plus grand nombre de composés odorants générant des odeurs de frites (7COAs) (Annexe 3). Le contenu en COAs des plantes dépend de divers facteurs tels que les espèces, la morphologie, le stade phénologique, les conditions environnementales et les pratiques de gestion (MARIACA *et al.*, 1997 ; LLUSIA *et al.*, 2006 ; AIT SAID *et al.*, 2011).

2.2. Variations du nombre de COAs selon leurs classes chimiques

Le profile aromatique des échantillons de pâturage a été principalement caractérisé par la dominance des composés terpéniques et des aldéhydes (tableau 7). En moyenne 9 terpènes et 8 aldéhydes par plante, suivis de 4 alcools, 3 composés soufrés et 2 cétones. Il y avait également en moyenne 1 ester odorant, 1 pyrazine et 1 thiazole, la moitié des échantillons contenait 1 acide, 1 hydrocarbure aromatique et 1 pyrrole, alors que seulement 10% des échantillons avaient 1 alcane odorant.

Tableau 7. Nombre total de composés odorants actifs (COAs) selon leurs classes chimiques détectés dans les espèces végétales sélectionnées des trois pâturages.

Classes chimiques	Nombre de COAs		IC ^a -	IC+	Chi-Carré	Valeur- <i>P</i> ^b
	Total dans 10 espèces de plante	Moyenne par échantillon de plante				
Terpènes	85	8,5	5,326	9,363	55,42	****
Aldéhydes	81	8,1	4,908	8,648	50,83	****
Alcools	43	4,3	1,808	4,561	21,69	****
Composés soufrés	26	2,6	0,307	2,691	5,45	*
Cétones	24	2,4	0,076	2,541	4,23	*
Esters	11	1,1	-2,731	-0,321	6,29	*
Pyrazines	10	1	-3,027	-0,533	8,38	**
Thiazoles	9	0,9	-3,098	-0,658	9,21	**
Acides	6	0,6	-3,570	-1,227	14,06	***
Hydrocarbures						
Aromatiques	5	0,5	-4,173	-1,558	17,92	****
Pyrroles	5	0,5	-4,173	-1,558	17,92	****
Alcanes	1	0,1	-7,313	-2,895	19,58	****

^a intervalle de confiance à $1-\alpha=0,95$

^b Différence significative par rapport au nombre de COAs d'autres classes chimiques (Au moins une)

* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$, **** $P < 0,0001$,

2.3. Variation du nombre de COAs selon leurs classes d'odeurs

Les odeurs herbacées, sucrées épicées et florales ont été prédominantes avec respectivement une moyenne de 7 ; 5 et 5 COAs par échantillon de plante (tab. 8). Les échantillons de pâturage contenaient également en moyenne 4 composés odorants avec des notes de frites, 3 avec des notes soufrées, 3 avec des notes cuites, 2 de menthe, 2 fruités, 1 sucrée et 1 note désagréable.

Tableau 8. Nombre total de composés odorants actif (COAs) selon leurs classes d'odeurs détectés dans les dix espèces de plantes sélectionnées des trois pâturages.

Odeur	Nombre de COAs		IC ^a -	IC+	Chi-square	Valeur-P ^b
	Total dans 10	Moyenne par				
	Espèces de plante	Échantillon de plante				
Herbacée	66	6,6	3,125	6,147	41,16	****
Sucré épicé	49	4,9	1,438	3,665	18,08	****
Florale	47	4,7	1,179	3,375	14,84	***
Frite	40	4	-0,075	2,338	3,87	*
Soufrée	28	2,8	-1,153	0,929	0,04	NS
Cuite	28	2,8	-1,235	0,986	0,04	NS
Menthe	24	2,4	-2,415	0,110	4,02	*
Fruitée	15	1,5	-3,579	-1,148	14,75	***
Sucrée	13	1,3	-3,796	-1,435	17,43	****
Désagréable	7	0,7	-5,671	-2,824	33,07	****

^a Intervalle de confiance à 1- α =0,95,

^b Différence significative par rapport au nombre de COAs pour chaque catégorie d'odeur active

* $P \leq 0,05$, *** $P < 0,001$, **** $P < 0,0001$, NS : non significatif ($P > 0,05$).

2.4. Composés aromatiques détectés en fonction des classes chimiques

Les échantillons de pâturages algériens avaient un nombre similaire de COAs en comparaison avec les échantillons de pâturages siciliens (RAPISARDA *et al.*, 2014). Trente composés chimiques détectés représentent plus de 30% du total des composés identifiés, ont été identiques aux composés perçus par RAPISARDA *et al.* (2014) dans des échantillons de pâturages siciliens spontanés, dont 6 alcools, 6 aldéhydes, 5 terpènes, 3 esters, 3 composés sulfuriques et 1 hydrocarbure aromatique, 1cétone, 1pyrazine et 1 pyrrole.

Quelques études ont essayé de vérifier le lien entre la composition aromatique du pâturage des animaux laitiers et la composition aromatique du fromage affiné fabriqué avec

du lait issu de ces animaux. CARPINO *et al.* (2004b) ont mené une étude contrôlée pour déterminer la relation entre les COAs présents dans les plantes de pâturage frais et leur présence dans le fromage *Ragusano*. Ils ont constaté que les fromages *Ragusano* dérivés des pâturages ont été beaucoup plus riches en aldéhydes, esters et composés terpéniques actifs contrairement aux composés aromatiques identifiés dans les fromages fabriqués à partir de lait de vaches nourries uniquement avec une ration totale mélangée. Selon O'CALLAGHAN *et al.* (2017), le système d'alimentation a affecté de manière significative le profile volatile des fromages Cheddar. MORDENTI *et al.* (2017) ont démontré que la qualité du fromage d'Appellation d'Origine Protégé (AOP) *Parmigiano-Reggiano* est le résultat de liens étroits entre le terroir de production, l'alimentation de la vache laitière et les connaissances humaines. D'autres recherches scientifiques ont signalé que l'alimentation à l'herbe peut également être responsable de transfert direct de certaines molécules des plantes vers le lait et le fromage, telles que les caroténoïdes, les terpènes, les aldéhydes, cétones et alcools et, éventuellement, phénols (ADDIS *et al.*, 2006; KILCAWLEY *et al.*, 2018). GRAPPIN et COULON (1996) ont rapporté que l'alimentation des animaux est considérée comme élément important du lien entre le terroir et la typicité des fromages. Ces composés peuvent être considérés comme des traceurs botanique dans les produits laitiers.

2.4.1. Classe des Alcools

Les alcools ont été détectés dans les plantes sélectionnées avec un total de 10 composés différents (Annexe 3) : le 1-hexanol a été principalement détecté dans la plupart des échantillons, tandis que 1-octène-3-ol a été également détecté comme composé commun dans les pâturages cultivés et spontanés (RAPISARDA *et al.*, 2014). Le Guaiacol avec une note cuite a été détecté dans *Atractylis humilis* et *Filago pygmaea*. Ce composé a été signalé dans le *Bouhezza* d'expérimentation fabriqué au lait de vache (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2016).

2.4.2. Classe des Aldehydes

Dix huit aldéhydes ont été répertoriés pour l'ensemble de végétation analysée (Annexe 3), dont deux (4-hepténal et 2,4-nonadienal) ont été reconnus comme composé commun dans tous les échantillons. Le décadienal, le (E) -2-nonénal, le (Z) -2-nonénal et le phényléthanal ont été principalement détectés dans la plupart des échantillons. RAPISARDA *et al.* (2014) ont signalé la présence de (E) -2-nonénal, (Z) -2-nonénal, 2,4-nonadienal et 2,6 nonadienal comme composés communs dans les pâturages siciliens spontanés et cultivés qui contribuent principalement aux notes du foin vert, frites et concombre. AISSAOUI ZITOUN *et al.* (2016)

ont noté la présence de (E) -2-nonenal, (Z) -2-nonenal et 2,6 nonadienal dans le *Bouhezza* de vache d'expérimentation. Le furfural avec une note épice sucré détecté seulement dans *Plantago* sp a été identifié dans le *Bouhezza* de chèvre à 50 et à 72 jours d'affinage (MEDJOU DJ *et al.*, 2017). Le (Z) -2-nonénal avec une note de foin a été identifié comme composé commun dans quinze différents types d'aliments destinés à la nourriture des ruminants. Ces derniers ont été testés par RAPISARDA *et al.* (2012) afin de déterminer leur palatabilité. Le (E) -2-nonenal et le 2,4-nonadienal (avec respectivement des notes vertes et noisettes) ont été principalement détectés dans la plupart des aliments utilisés pour la nourriture des ruminants analysés par RAPISARDA *et al.* (2012).

Décadienal, (E) -2-nonénal, (Z) -2-nonenal ont été trouvés dans le fromage *Ragusano* dérivé des pâturages (CARPINO *et al.*, 2004b) et dans le lait provenant de la zone de production de fromage d'Appellation d'Origine Protégé (AOP) du *Ragusano* (RAPISARDA *et al.*, 2013). Ces aldéhydes également détectés dans la présente étude sont originaires du processus d'oxydation des acides gras insaturés présents dans les plantes (HO et CHEN, 1994 ; HSIEH, 1994) soulignant que la nourriture des animaux au pâturage favorise le transfert de ces composés directement du pâturage au produit laitiers.

Selon CARPINO *et al.* (2004a), (E) -2-nonénal et (Z) -2-nonénal ont générées respectivement des notes vertes et de foin. Ces deux aldéhydes ont été principalement détectés dans la plupart des espèces végétales individuelles connues pour être consommées par les bovins dans les pâturages siciliens. MARTIN *et al.* (2005) ont montré que la diversité botanique pouvait être associée à la richesse et la variabilité des arômes de fromage. Les aldéhydes sont connus pour exercer un pouvoir attractif sur les herbivores rendant ainsi la plante appétente ou non (CHMELOVA, 2010).

2.4.3. Classe des Esters

Un total de 7 esters a été identifié dans les plantes (Annexe 3). L'éthyl octanoate, l'éthyl méthylbutyrate et l'acétate d'isobutyle ont été les plus détectés que les autres esters. RAPISARDA *et al.* (2012) ont noté la présence de ces éthylesters respectivement dans trois différents types d'aliments destinés à la nourriture des ruminants : les grains d'avoine, la farine de tournesol et la luzerne déshydratée en donnant une note fruitée. RAPISARDA *et al.* (2014) ont mentionné la présence de ces éthylesters dans les pâturages siciliens spontanés et cultivés. L'éthyl octanoate a été identifié dans le lait de vache issu de pâturage (RAPISARDA *et al.*, 2013). Cet ester a été détecté comme composé commun dans tous les fromages *Feta*

provenant des deux régions montagneuses du Grèce et pourrait être considéré comme un composé caractéristique clé du fromage *feta* traditionnel (BOZOU DI *et al.*, 2018). BOLTAR *et al.* (2015) ont mis en évidence un transfert direct d'éthyl octanoate à partir du fourrage vers le lait.

Selon CURIONI et BOSSET (2000), plusieurs types d'esters éthyliques détectés dans le fromage issu de pâturage sont connus pour leur rôle important dans la formation d'un caractère fruité dans le fromage. Des études antérieures ont démontré la richesse en esters du fromage *feta* traditionnel fabriqué à partir de lait de brebis qui se nourrissent uniquement avec du fourrage par rapport au *feta* commercial (KONDYLI *et al.*, 2012). Sur toute la période d'analyse, les composés esters détectés dans le fromage *Bouhezza* ont montré des notes agréables : florale, fruitée, herbacée, sucrée et épicée. RAPISARDA *et al.* (2014) ont rapporté que les notes fruitées, vertes, bouillon et florales identifiées et senties principalement dans les pâturages spontanés sont liées à la présence d'esters. ABILLEIRA *et al.* (2010) ont trouvé une quantité importante d'esters et d'alcools dans les fromages Idiazabal (AOP) fabriqués durant la saison du printemps qui coïncident avec la disponibilité des pâturages frais, indiquant que les fromages de printemps pourraient avoir des notes fruitées et sucrées plus intenses que les fromages d'hiver. En comparaison avec d'autres travaux sur le fromage *Bouhezza*, l'éthyl octanoate et le propyl hexanoate identifiés dans les plantes sélectionnés par nos chèvres dans la zone de production du fromage *Bouhezza* ont été détectés dans *Bouhezza* de ferme au lait de chèvre affiné de 30 et 72j (MEDJOU DJ *et al.*, 2016) et aussi dans *Bouhezza* au lait de vache (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2016).

2.4.4. Classe des cétones

Cinq composés cétoniques ont été détectés dans les plantes (5COAs) (Annexe 3) : l'octadiénone et le 2-nonanone, détectés principalement dans la plupart des plantes, ont apporté respectivement des notes florales et cuites, 2-nonanone a été détecté dans 6 plantes sur 10. Le 2-nonanone a été détecté dans les fromages *Feta* traditionnels fabriqués à partir de lait de brebis issu uniquement du fourrage poussant dans les régions montagneuses du Grèce (BOZOU DI *et al.*, 2018). Le 2-nonanone a été également signalé comme le méthylcétone prédominant dans les fromages naturels de gorgonzola et dans *Ragusano* affiné (CURIONI et BOSSET, 2002). Ce composé est typiquement un produit d'oxydation d'acide gras insaturé dans les plantes (HO et CHEN, 1994). Il a été identifié dans *Lben*, *Bouhezza* de chèvre à 30 et

72 jours d'affinage (MEDJOUJ et al., 2016) et aussi dans le *Bouhezza* de vache fabriqué au niveau de la ferme (AISSAOUI ZITOUN et al., 2016).

2.4.5. Classes des composés soufrés

Dans les échantillons de plantes, six composés soufrés ont été identifiés (Annexe 3). Ces composés résultent principalement de la catalyse des acides aminés (DERBALI et al., 1998). Le méthional a été le composé soufré majoritairement aperçu dans tous les échantillons de plante avec une note soufrée. Ce composé soufré dérivé de la méthionine a été également détecté dans le fromage *Ragusano* fabriqué à partir du lait de vaches broutant divers pâturages naturels (CARPINO et al., 2004b). Le méthional avec une note de pomme de terre cuite a été identifié dans sept types d'aliments des ruminants : (luzerne déshydratée, semoules de maïs, farine de gluten de maïs, tourteau de soja, farine de tournesol et son de blé) étudiés par RAPISARDA et al. (2012).

RAPISARDA et al. (2014) ont démontré que les composés soufrés détectés dans les pâturages siciliens spontanés et cultivés proviennent principalement des espèces de plante appartenant à la famille des Brassicacées.

2.4.6. Classe des terpènes

Parmi les classes chimiques des COAs, les terpènes ont présenté le plus grand nombre d'COAs. Un total de 21 terpènes a été noté en utilisant CPG/O et CPG / MS (Annexe 3). Les composés terpéniques donnent des notes agréables au profil aromatique de la plante (florale, fruitée, herbacée, mentholée, sucrée et épicée). Six terpènes (β -Carène, p-2-Menthen-1-ol, Dihydrocarveol, (+) - Carvone, Eugenol, α -Copaène) ont été principalement détectés dans la plupart des échantillons de plantes. Le Linalool a été identifié dans 4 plantes sur 10, ce composé a été détecté dans *Lben* et dans *Bouhezza* de chèvre analysé à 30 jours d'affinage par MEDJOUJ et al. (2016). De plus, Citronellol a été noté seulement dans *Globularia alypum*. L' α -copaène a été le sesquiterpène le plus abondant dans les échantillons de lait de vaches nourries au pâturage (TORNAMBE et al., 2006). Un niveau élevé de carvone et de citronellol a été trouvé dans le fromage *Ragusano* produit à partir du lait de vaches nourries au pâturage contrairement à celui produit à base du lait de vaches nourries d'aliments concentrés (à base de maïs et de seigle) (CARPINO et al., 2004b). RAPISARDA et al. (2012) ont trouvé de l'eugénol (avec une note épicée) uniquement dans les grains d'avoine et de l' α -copaène comme

un composé terpénique commun (avec une note d'épice) dans les trois types d'aliments de ruminants testés : (luzerne déshydratée, pulpes de betterave et grains d'avoine).

Plusieurs études (MARIACA *et al.*, 1997 ; COPPA *et al.*, 2019) ont indiqué que les terpènes sont généralement dérivés de métabolites secondaires synthétisés par les plantes et non par les animaux. Ces produits naturels sont considérés comme un indicateur important (traceur) pour déterminer l'origine géographique de type de fromage, ainsi que l'historique de l'alimentation des animaux en contribuant au statut AOP du fromage (MARTIN *et al.*, 2005). Néanmoins, leur importance dans la formation de l'arôme du fromage reste controversée (CURIONI et BOSSET, 2002).

BOVOLENTA *et al.*, (2014) ont révélé que les terpènes et les cétones ont présenté les niveaux les plus élevés dans le fromage fabriqué à partir de lait issu de pâturages pauvres en nutriments caractérisés par la dominance de familles des astéracées, des lamiacées et des apiacées, qui sont les familles de plantes les plus riches en terpènes (MARIACA *et al.*, 1997 ; CORNU *et al.*, 2001).

Les composés aromatiques des plantes affectent l'appétence, le pouvoir sélectif et le niveau de consommation des animaux au pâturage (VILLALBA et PROVENZA., 1997 ; ARSENOS *et al.*, 2000 a et b ; VILLALBA *et al.*, 2006). Même si certains composés peuvent être perçus en générant des notes agréables pour les humains, comme les terpènes, ce n'est pas nécessairement vrai pour les animaux au pâturage. ESTELL *et al.* (1996), VILLALBA *et al.* (2006) et DZIBA et PROVENZA (2008) ont signalé une influence négative de certains composés terpéniques sur la palatabilité et la consommation d'aliments par les petits ruminants. En particulier, l' α -pinène, le camphène, le camphre, le 1,8-cinéole semblent être répulsifs pour ces animaux (NARJISSE *et al.*, 1997 ; ESTELL *et al.*, 2005).

ELLIS *et al.* (2005) ont également démontré que les chèvres évitent les plantes riches en terpènes qui réduisent l'appétence lorsque d'autres espèces au goût agréable étaient disponibles, malgré le fait qu'elles avaient tendance à augmenter sa consommation lorsqu'elles étaient exposées à cette espèce végétale pendant une longue période. Les espèces végétales pauvres en terpènes sont les plus consommées. Compte tenu de ce concept, *Plantago* sp., *S. hispanicus* et *C. arvensis* peuvent représenter les espèces végétales spontanées les plus appétentes dans la présente étude, mais, au contraire, *G. alypum*, *T. algeriensis*, *M. sylvestris* et *S. asper* peuvent représenter les espèces les moins agréables. *G. alypum* avait un nombre

élevé de terpènes. De plus, les chèvres ont la capacité de convertir la végétation de mauvaise qualité en produits de haute qualité (LANDAU *et al.*, 2000).

Selon ALLEGRETTI *et al.* (2012), la disponibilité du fourrage était le principal facteur influençant le choix du régime alimentaire dans les environnements arides. Quand la disponibilité de nourriture n'était pas un facteur limitant, les chèvres ont choisi un régime qui correspondaient étroitement à leurs besoins nutritionnels.

RAPISARDA *et al.* (2012) ont étudié la consommation volontaire de différents concentrés par les brebis et les agneaux. Les auteurs ont rapporté cinq aliments désagréables et trois aliments agréables. Les aliments les plus consommés avaient le plus faible nombre total de COAs et également le plus faible nombre de composés sulfuriques à odeur active. Compte tenu de ces deux concepts, *Plantago sp*, *Scolymus hispanicus* et *Sonchus asper* peuvent représenter les espèces végétales spontanées les plus palatable dans la présente étude en prenant en considération le nombre de composés odorants actifs (COAs) faible qui ont été détectés dans les espèces de plante cités précédemment (Tableau 5) et au contraire, *Hordeum vulgare*, *Filago pygmaea*, *Malva sylvestris* et *Globularia alypum* peuvent représenter des espèces les moins palatables, *Hordeum vulgare*, *Filago pygmaea* et *Malva sylvestris* ont été caractérisées par un nombre élevé de COAs et également 3 à 4 composés sulfuriques.

Globularia alypum ne présente qu'un nombre total intermédiaire de COAs mais contenait de l' α -pinène en plus de 3 composés sulfuriques. *Atractylis humilis* a été caractérisé par le plus grand nombre de COAs, avec détection de deux composés sulfuriques seulement. De plus, le 2-undécénal et le diéthylméthylpyrazine ont été identifié dans *Atractylis humilis*. Ces deux composés ont été identifiés parmi les COAs caractéristiques de la pulpe de betterave et de la farine de soja, qui ont été respectivement les aliments les plus acceptés par les brebis et les agneaux (RAPISARDA *et al.*, 2012). Ces hypothèses doivent être testées dans d'autres études.

Conclusion partielle

L'alimentation des animaux au pâturage joue un rôle central en raison de son effet sur les propriétés nutritionnelles et sensorielles du fromage et de l'image positive de l'herbe perçue par les consommateurs. Cette partie d'étude commence par la détermination de la composition botanique et la répartition des plantes sur trois types de pâturage des chèvres (montagne, mise au repos et cultivé d'orge) fournisseurs du lait utilisé dans la fabrication du

fromage *Bouhezza* et l'identification des caractéristiques aromatiques des dix plantes sélectionnées sur ces trois pâturages.

En outre, le profil aromatique de chaque espèce de plante a été défini. La variation des composés aromatiques entre les espèces de plantes sélectionnées a été étudiée en termes de (i) nombre total de COAs, (ii) nombre de COAs appartenant à des classes chimiques spécifiques (acides, alcools, aldéhydes, alcanes, hydrocarbures aromatiques, esters, cétones, pyrazines, pyrroles, composés soufrés, terpènes, thiazoles), et (iii) nombre de COAs appartenant à des classes d'odeurs spécifiques (herbacées, sucrées épicées, florales, frites, soufrées, cuites, menthe, fruitées, sucrées et désagréables).

Le pâturage des parcelles montagneuse et mise au repos ont été caractérisés par une grande diversité végétale. La majorité des espèces de plante répertoriées sur les trois types de pâturage font partie de la famille des astéracées. Le profil aromatique des dix espèces de plante a été principalement caractérisé par la dominance des composés terpéniques et des aldéhydes et avec des odeurs herbacées, sucrées épicées et florales. La différence du nombre de COAs détectés dans les espèces végétales sélectionnées a été principalement attribuée au nombre de composés terpéniques. La détermination du comportement alimentaire des chèvres et la composition de leur ration alimentaire sur les pâturages est recommandée dans le but de mettre en évidence la relation entre pâturage et caractéristiques spécifiques du fromage *Bouhezza*.

3. Caractéristiques du fromage *Bouhezza* au cours de la fabrication-affinage

La caractérisation physicochimique et microbiologique du lait cru de chèvre et du *Lben* issu de ce dernier et utilisés comme matière première dans la fabrication du fromage *Bouhezza* constitue aussi l'une des clés pour permettre l'établissement du lien entre le terroir et les caractéristiques du fromage. Le rôle du lait est important : il est à la fois un indicateur de l'influence du pâturage sur l'animal et le précurseur des caractéristiques des fromages (BUGAUD *et al.*, 2002). Toutes les flores du lait et du *Lben* sont donc conservées et peuvent contribuer à la richesse et la diversité des profils aromatiques de fromage. Les caractéristiques de fromage *Bouhezza* peuvent être dues au passage sans modification dans le lait et/ou *Lben* et le fromage de molécules présentes dans les aliments (fourrage) ; ainsi que le transfert d'enzyme endogènes modifiant la lipolyse et la protéolyse durant l'affinage (BUCHIN et BEUVIER, 2000). Par conséquent, cette étape intermédiaire a été jugée nécessaire dans notre travail mais malheureusement par manque de respect de conditions de conservation de la

matière première à plusieurs reprise et vue la température élevée durant la période de prélèvement du lait et du *Lben*. La matière première a été altérée.

3.1. Effet du temps d'affinage du fromage *Bouhezza*

3.1.1. Sur les caractères physicochimiques du *Bouhezza*

La composition chimique des échantillons de fromage collectés après 7, 14, 21, 30, 45 et 60 jours de production et d'affinage est représentée dans le tableau 9. Les teneurs en matière sèche et matière grasse sont les principaux paramètres utilisés dans la classification des fromages.

Tableau 9. Variation de la composition physicochimique de fromage *Bouhezza* de chèvre durant l'affinage.

Paramètres physicochimiques								
Variable	MS (%)	Humidité (%)	MG (%)	MG/MS (%)	Protéines (%)	Protéines/MS (%)	pH	
Temps de fabrication-affinage de fromage(J)								
7	14,25±2,76 ^d	85,78±2,74 ^a	3,55±1,73 ^c	24,1±7,6 ^b	6,9±3,75 ^c	47,2±19,72 ^a	4,38±0,05 ^a	
14	19±2,56 ^{cd}	81,01±2,56 ^{ab}	5,75±2,4 ^{bc}	29,51±8,47 ^{ab}	7,88±0,83 ^c	41,72±4,1 ^a	4,24±0,06 ^{ab}	
21	23,82±2,03 ^{bc}	76,18±2,03 ^{bc}	8,75±2,06 ^{ab}	36,54±6,8 ^{ab}	10,89±0,9 ^{bc}	45,99±5,63 ^a	4,14±0,14 ^{bc}	
30	25,03±3,07 ^b	74,98±3,07 ^c	9,75±1,66 ^{ab}	39,05±5,09 ^{ab}	11,93±1,74 ^b	47,65±3,02 ^a	3,95±0,06 ^{cd}	
45	29,01±2,43 ^{ab}	70,99±2,43 ^{cd}	11,63±2,69 ^a	39,71±5,96 ^{ab}	14,26±1,17 ^{ab}	49,19±0,89 ^a	3,83±0,04 ^d	
60	31,55±2,36 ^a	68,45±2,36 ^d	13,63±1,11 ^a	43,28±3,35 ^a	16,08±0,97 ^a	50,93±1,59 ^a	3,85±0,13 ^d	
ANOVA (valeur de P)								
J	P	***	***	***	*	***	NS	***

^a Les valeurs sont des moyennes ± Ecart type (J: n = 4), Les moyennes dans la même colonne pour les fromages pour les fromages prélevés à 7, 30 ou 60 jours d'affinage, qui ne partagent pas le même indice.

Différence significative : (P < 0,05),

Importance de l'effet significatif indiqué par : *, P < 0,05 ; **, P < 0,01 ; ***, P < 0,001; NS, non significatif (P > 0,05).

Le temps d'affinage du fromage a un effet significatif (P < 0,05) sur tous les paramètres physicochimiques à l'exception la teneur des protéines/ matière sèche (%) (Tab.9). La fabrication et l'affinage du fromage s'effectuent dans un sac de peau de chèvre qui joue le rôle d'un ultrafiltre permettant le drainage de la phase aqueuse « *Lactosérum* » à travers les perforations du sac (*Djeld*). Par conséquent, les taux d'humidité durant l'affinage du fromage ont diminué (P < 0,0001) tandis que, les teneurs en matière sèche (P < 0,0001), en matière grasse (P < 0,0001) et en protéines (P < 0,0001) ont augmenté. La teneur en matière grasse dans la MS (P < 0,001) a également augmenté, ce qui suggère des pertes de composés autres que l'eau pendant le drainage. Les sacs de peau de chèvre sont complètement imperméable aux composés lipophiles et perméable aux composés hydrophiles dont les

minéraux pourraient faire partie (GONZALEZ-MARTIN *et al.*, 2011). Les valeurs d'humidité des fromages *Bouhezza* sont similaires à celles du fromage Xinotyri au lait de chèvre à pâte molle placé dans des sacs en peau (PAPPA *et al.*, 2017). Les valeurs de pH du fromage *Bouhezza* ont chuté du 7^{ème} au 30^{ème} jours ($P < 0,05$), suggérant une fermentation du lactose et sont restées stables jusqu'au 60^{-ème} jour (tab. 9). Le pH du *Bouhezza* au 7^{-ème} jour est similaire à celui de *Bouhezza* âgé de 8 jours rapporté par MEDJOUJ *et al.* (2017)

Il ressort du tableau 9 que la teneur en matière sèche (MS) varie en fonction de la durée de fabrication-affinage du *Bouhezza* passant de 14,25% (7j) à 31,55% (60j). L'augmentation progressive de la teneur en matière sèche avec l'âge d'affinage a été notée dans les échantillons de *Bouhezza* cela est expliqué par l'égouttage continu du lactosérum qui entraîne avec lui une partie des constituants solubles (sel, acide lactique et autres) à travers les perforation du *Djeld*. La même évolution a été constaté par AISSAOUIZITOUN *et al.* (2011) et MEDJOUJ *et al.* (2016). AISSAOUI ZITOUN *et al.* (2012) ont rapporté que la teneur maximale en matière sèche dans *Bouhezza* de vache a été atteinte à 70jours d'affinage, elle est de l'ordre de 36%. D'autre part, la teneur en matière sèche dans *Bouhezza* de chèvre a été passée de 23,07% à 8jours à 51,95% à 72jours (MEDJOUJ *et al.*, 2016). En comparaison avec d'autres fromages de chèvre affinés dans les sacs en peaux de chèvre, *Tulum* et *Darfiyeh* ont montré une teneur en matière sèche élevée comprise respectivement entre 55-60 % et 45-50 % (HAYALOGLU *et al.*, 2007 ; SERHAN *et al.*, 2010). Dans ces fromages les peaux sont utilisées pour l'affinage du caillé qui a déjà subi un égouttage. *Bouhezza* de chèvre âgé de 60 jours contenait en moyenne $43,3 \pm 2,2\%$ de matière grasse sur base sèche MG/MS (p/p) (tab. 9) et $79,2 \pm 2,4\%$ (p/p) d'humidité sur une base sans matière grasse.

Selon la directive de la norme générale de classification des fromages du *Codex Alimentarius* (2006), le fromage *Bouhezza* de chèvre affiné à 60j se situe selon :

- sa teneur en TEFD dans la classe des fromages à pâte molle (TEFD>67, TEFD de *Bouhezza* varie de 79% à 83%)

- sa teneur en MG/MS dans la classe des fromages moyennement gras (MG/MS est compris entre 25 et 45%).

Il y avait une forte variation des valeurs pour déterminer la composition chimique du fromage à l'exception des valeurs d'humidité et de pH. Plusieurs des écarts types ont été supérieurs à 20% des moyennes (tableaux 9 et 10). Cette forte variabilité des données peut s'expliquer en partie par le fait que peu d'échantillons ont été analysés et que *Bouhezza* est un

fromage au lait cru qui a été produit sur deux années différentes avec des conditions animales différentes, y compris la gestion de la ferme, l'alimentation ainsi que les différences de températures ambiantes. Il pourrait aussi y avoir des différences dans la composition de *Lben* et les propriétés physiques des sacs d'animaux utilisés.

3.1.2. Sur le contenu en α -Tocophérol et en cholestérol

Cent grammes de fromage *Bouhezza* prêt à être consommé récupérés à 60 jours contiennent 39 mg de cholestérol (tableau 10). Des valeurs similaires ont été rapportées pour plusieurs variétés de fromages à pâte molle et à pâte molle moyennement grasse (KARAGÖZLÜ *et al.*, 2016 ; MANUELIAN *et al.*, 2017).

Compte tenu du fait que *Bouhezza* est un produit laitier partiellement écrémé, la teneur en cholestérol rapportée à 100g de matière grasse dans *Bouhezza* a été étonnement élevée. Plusieurs auteurs (ANDRIKOPOULOS *et al.*, 2003 ; JAOUDE *et al.*, 2010 ; KOVACS *et al.*, 2004) ont constaté que les produits laitiers pauvres en matière grasse présentent une teneur élevée en cholestérol en comparaison avec les produits laitiers riches en matière grasse.

Lors de la préparation du *Lben*, ce sont plutôt les gros globules gras qui s'agrègent en beurre et seront éliminés. La matière grasse résiduelle du *Lben* peut être constituée de globules gras de petite taille. Les molécules de cholestérol sont distribuées sur la membrane lipidique de ces globules gras. Par conséquent, les globules gras de petite taille ont des concentrations en cholestérol plus élevées que les gros globules gras car le rapport surface /volume est plus élevé dans les globules gras de petite taille (MA et BARBANO, 2000 ; MARTINI *et al.*, 2017). Dans ce contexte, le fait que le fromage *Bouhezza* est produit avec « *Lben* » qui est un produit laitier partiellement écrémé. Le taux de cholestérol du *Bouhezza* doit être toujours pris en compte lors de la formulation d'un régime équilibré, en particulier une attention particulière doit être portée au niveau de cholestérol alimentaire très faible.

Tableau 10. Effet du temps d'affinage du *Bouhezza* (Jours) sur la teneur en α -tocophérol et en cholestérol dans *Bouhezza* de chèvre

Paramètres	α -Tocophérol ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$)	α -Tocophérol ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ MG)	Cholestérol ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$)	Cholestérol ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ MG)	DPA (10^{-3})
Temps de fabrication- affinage (J)					
7	94,5 \pm 29,1 ^b	2,83 \pm 0,58 ^a	15,6 \pm 2,99 ^b	488.4 ^a	5.4
30	209 \pm 35,3 ^a	2,15 \pm 0,10 ^b	30,6 \pm 6,84 ^a	313.1 ^b	6.0
60	258 \pm 30,8 ^a	1,88 \pm 0,10 ^b	39,2 \pm 7,04 ^a	286.0 ^b	6.2
Significance (P-value)					
J	**	**	**	**	-

^aLes valeurs sont des moyennes \pm Ecart type (J: n = 4). Les moyennes dans la même colonne pour les fromages prélevés des sacs à 7, 30 ou 60 jours d'affinage, qui ne partagent pas le même indice.

Différence significative à P < 0,05.

Importance de l'effet significatif indiqué par : *, P < 0,05 ; **, P < 0,01 ; ***, P < 0,001; NS : non significatif (P > 0,05).

Les taux de α -tocophérol et de cholestérol rapportés à 100 g de fromage ont doublé durant le temps d'affinage du *Bouhezza* (tab. 10). Les concentrations en alpha-tocophérol et en cholestérol ont augmenté du 7^{ème} au 60ème jour de 94,5 à 258,05 μg et de 15,58 à 39,2 mg pour 100 g de fromage respectivement. Le drainage du lactosérum et l'accroissement en matière sèche au cours de l'affinage explique également les teneurs croissantes en cholestérol et en α -tocophérol (P < 0,01). En générale, les taux de cholestérol dans les produits laitiers et dans *Bouhezza* en particulier, sont faibles par rapport aux autres aliments d'origine animale (HUR *et al.*, 2007). Les valeurs de α -tocophérol rapportées à 100g de *Bouhezza* de chèvre à 30jours d'affinage (tab. 10) ont été similaires à celles trouvées dans *Bouhezza* de vache analysé par MARINO *et al.* (2012).

Le tableau 10 représente l'effet du temps d'affinage (J) sur les teneurs en cholestérol, en α -tocophérol et sur le degré de protection antioxydant (DPA) du *Bouhezza*. Pour évaluer les effets du temps d'affinage sur les teneurs en α -tocophérol et en cholestérol, les valeurs doivent se référer à la teneur en matière grasse du fromage.

En se référant à la teneur en matière grasse, les taux d' α -tocophérol et de cholestérol ont été affecté par le temps d'affinage (P < 0,01). en effet, les taux d' α -tocophérol et de cholestérol ont diminué, en particulier au cours des 30 premiers jours (tableau 10). Pendant toute la durée de production, les concentrations d' α -tocophérol et de cholestérol dans 100g de matière grasse ont diminué respectivement de 34 %, passant de 2,8 à 1,9 (α -Tocophérol) et de

41 %, passant de 488,4 à 286 mg (Cholestérol). Nous rappellerons que durant la fabrication-affinage du *Bouhezza* (Tab. 9), nous remarquons l'accroissement de la teneur en matière grasse qui est due aux ajouts successifs du *Lben* tout au long de la fabrication et du lait durant la période de finition ce qui induit consécutivement la diminution de la concentration d' α -tocophérol et du cholestérol.

Il n'y avait pas de variation significative des valeurs de DPA associées au jours d'affinage. Cependant, le processus d'oxydation ne peut être exclu. Les niveaux globaux de DPA évalués à 6×10^{-3} sont similaires aux valeurs du fromage de chèvre dérivé du lait de chèvres nourries avec des fourrages vert intégré à des aliments supplémentaires cité par PIZZOFERRATO *et al.* (2007). Les valeurs de DPA dans tous les échantillons du *Bouhezza* ont été toujours inférieures au seuil minimum de stabilité oxydative du cholestérol de 7×10^{-3} suggéré par MANZI et PIZZOFERRATO (2010). Plus la valeur du DPA est élevée, plus la protection du cholestérol contre l'oxydation dans le fromage est élevée. Les taux décroissants du cholestérol et d' α -tocophérol par rapport à la teneur en matières grasses (Tableau 10) est un indicateur clair de l'oxydation. Pourtant le mode de fabrication particulier du *Bouhezza* assure une obscurité presque totale de la pâte fromagère à l'intérieur de la peau de chèvre, ce qui permet, en partie à la protection des composés nutritionnels sensibles comme l' α -tocophérol et le cholestérol contre l'effet de la lumière et donc de l'oxydation.

CAIS-SOKOLINSKA et RUDZINSKA (2018) ont signalé la formation de produits d'oxydation du cholestérol dans le babeurre traditionnel, favorisée par la teneur élevée en eau et les faibles valeurs de pH. AJMAL *et al.* (2018) ont rapporté que le stockage du lait à température ambiante pendant 30 jours et plus, peut favoriser l'oxydation des lipides. MANZI et PIZZOFERRATO (2010) suggèrent un risque d'oxydation du cholestérol plus élevé dans les produits écrémés que dans les produits gras en raison de leurs richesses en globules gras de petite taille avec une grande surface globale.

Afin d'améliorer la stabilité oxydative du *Bouhezza*, une attention particulière peut être apportée à la nutrition animale. Le fourrage frais dans l'alimentation des ruminants influence positivement le taux d' α -tocophérol et par conséquent protège les produits laitiers contre l'oxydation (MARINO *et al.*, 2012, 2014 ; MILEWSKI *et al.*, 2018). Dans la présente étude, la part du fourrage frais dans l'alimentation des chèvres n'a pas été suffisante pour stabiliser le fromage.

3.2. Profil aromatique en fonction du temps d'affinage

Plusieurs études scientifiques ont été réalisées par l'équipe TEPA au sein du Laboratoire Nutrition et Technologie Alimentaire (LNTA-INATAA) en vue de la caractérisation du *Bouhezza*. Depuis une vingtaine d'années, des enquêtes réalisées sur terrain ont permis de décrire le digramme traditionnel de fabrication du *Bouhezza* (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2011 ; MEDJOUDJ *et al.*, 2016). De plus, les caractéristiques physicochimiques et microbiologiques, sensorielles et rhéologiques ont été réalisées. Concernant la détermination du profil aromatique du fromage, AISSAOUI ZITOUN *et al.* (2016) ont défini les caractéristiques aromatiques du *Bouhezza* fabriqué à partir du lait de vache. Le profil aromatique du *Bouhezza* de chèvre a été investigué à 30 et 72 jours d'affinage par (MEDJOUDJ *et al.* (2016). Des études approfondies sont nécessaires pour compléter la caractérisation du profil aromatique du *Bouhezza* de chèvre en suivant le changement et le développement des composés aromatiques durant l'affinage.

Dans ce contexte, notre étude a pour objectif de caractériser la fraction aromatique du *Bouhezza* du chèvre d'une part en suivant l'évolution des composés d'odeur active durant l'affinage et d'autre part en comparant ces derniers avec les COAs extraits de plantes pour établir de possibles liens avec le pâturage. Cette caractérisation s'effectue en utilisant deux techniques d'extraction différentes (Micro- Extraction en Phase Solide et Distillation à la vapeur) couplées chacune à la chromatographie en phase gazeuse et l'olfactométrie avec la détection de masse sélective pour identifier les composés odorants actifs (COAs).

3.2.1. Profils aromatiques résultant des deux techniques d'extraction

3.2.1.1. Composés odorants actifs extraits par SPME

En utilisant la technique SPME couplé à CPG et l'olfactométrie avec la détection de masse sélective, un total de 23 COAs ont été identifiés dans 12 échantillons du fromage *Bouhezza* à différents âge d'affinage : 1 acide, 3 alcools, 3 aldéhydes, 6 esters, 1 cétone, 3 soufres, 5 terpènes et 1 thiazole (tableau 11). Ces COAs comprennent 4 composés avec odeur florale, 4 avec odeur fruitée, 4 avec odeur soufrée, 2 avec odeur de fromage, 2 avec odeur herbacée, 2 avec odeur cuite, 2 avec odeur fraîche, 1 avec odeur épicée et 2 avec odeur désagréable.

Le nombre de COAs retrouvés dans les échantillons du *Bouhezza* à différents temps d'affinage évolue de 0 à 18COAs(tableau 11). L'accroissement du nombre de COAs au cours

de l'affinage du *Bouhezza* est probablement due à l'apport de matière grasse contenue dans *Lben* ajouté successivement durant l'élaboration du fromage et dans le lait cru entier ajouté au stade final de la fabrication (phase de finition) exactement entre le 53-ème et le 60-ème jour d'affinage, afin de corriger l'acidité et la salinité de fromage (MEDJOUJ *et al.*, 2016). Des résultats similaires ont été rapportés par DELGRADO *et al.* (2011) et BONTINIS *et al.* (2012) dans le fromage espagnol *Queso Ibores* et dans le fromage grec *Xintory* respectivement.

TUDOR KALIT *et al.* (2020) ont rapporté que les fromages affinés dans des sacs en peau d'animal appartiennent au groupe des fromages traditionnels caractérisés par un lien étroit avec la culture et l'histoire du pays d'origine. D'autre part, VRDOLJAK *et al.* (2018) ont montré que le profil aromatique est spécifique pour chaque fromage, ce dernier est la résultante de la combinaison de plusieurs facteurs : la technologie de fabrication, le type de lait utilisé ainsi que les conditions et la durée du processus d'affinage. La saveur et l'arôme du fromage sont également influencés par les changements de la teneur en eau et du pH du fromage, de la teneur en sel et de la méthode de salage, de la température d'affinage et de l'activité de la microflore primaire et secondaire (FOX *et al.*, 2017b ; MCSWEENEY *et SOUSA*, 2000).

Les esters et les terpènes ont été majoritairement détectés dans chaque échantillon du *Bouhezza*. Les alcools, les aldéhydes et les composés soufrés ont été également fréquents dans les échantillons de *Bouhezza*. Les esters les plus abondants sont les esters éthyliques.

A 7 jours d'affinage, aucune odeur n'a été identifiée. Ce résultat est probablement dû au profil aromatique peu prononcé au début de la fabrication. En fait, le développement des composés volatils de *Bouhezza* a été plus prononcé à partir de 45 jours. Le plus grand nombre de COAs a été noté à 60 jours de production.

Nous avons constaté qu'à 30 jours d'affinage, les échantillons BF3 et BF4 ont montré de manière inattendue le même profil aromatique. Par conséquent, il convient de mentionner ici qu'une analyse quantitative des COAs doit être effectuée afin de vérifier s'il existe des différences dans la quantité de chaque composé aromatique. Par contre à 45 jours de maturation, aucun terpène n'a été détecté, la fraction aromatique a été principalement caractérisée par des esters et des composés sulfuriques. A la fin d'affinage, soit à 60 jours de maturation du *Bouhezza*, l' α -pinène (perception du pin), γ -terpinène et δ -carvone (perception

RÉSULTATS ET DISCUSSION

du carvi) ont été identifiés exclusivement dans BF2. Le D-limonène a été détecté comme composé commun entre BF3 et BF4 à 60 jours.

Tableau 11. Variations des Composés d'odeur active identifiés dans le fromage *Bouhezza* en fonction de l'âge de fromage en utilisant la technique SPME couplée à la CPG / MS / Olfactométrie

Composés	Classe	Odeur	LRI _a	Ident _b	7 Jour		14 Jour		21 Jour		30 Jour		45 Jour		60 Jour		
					BF3 _c	BF4	BF3	BF4	BF3	BF4	BF3	BF4	BF3	BF4	BF3	BF4	
acide Butyric	Acide	Fromage	910	PI												•	•
Pentenol	Alcool	Fromage	643	PI			•		•	•	•	•		•	•	•	•
Methionol	Alcool	Soufrée	940	PI									•				
2-Octanol	Alcool	Florale	1000	PI			•		•	•	•	•	•	•	•	•	•
Methyl-2-butenal	Aldéhyde	Fruité	747	PI									•			•	•
2,6-Nonadienal	Aldéhyde	Herbacée	1157	PI				•									
(E)-2-Nonenal	Aldéhyde	Herbacée	1162	PI				•		•							
Ethyl butyrate	Ester	Fruitée	796	PI			•						•	•	•	•	•
2-Methylbutylacetate	Ester	Fruitée	868	PI					•		•	•				•	
Ethyl hexanoate	Ester	Fruitée	1016	PI,MS			•			•	•	•		•	•	•	•
Ethyl octanoate	Ester	Florale	1194	PI,MS			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Ethylphenylacetate	Ester	Florale	1254	PI,MS												•	•
Ethyldecanoate	Ester	Florale	1398	MS												•	•
Nonanone	Cétone	Cuite	1099	PI,MS			•		•	•	•	•	•	•	•	•	•
Methylethylsulfide	Sulfur	Soufrée	618	PI									•	•	•	•	•
Thiophene	Sulfur	Soufrée	665	PI										•	•	•	•
Methyldihydrothiophenone	Sulfur	Soufrée	988	PI						•			•	•	•	•	•
α-Pinene	Terpène	Fraiche	939	MS													•
p-Cymene	Terpène	Désagréable	1027	MS												•	
d-Limonene	Terpène	Fraiche	1030	MS												•	•
γ-Terpinene	Terpène	Désagréable	1074	MS													•
d-Carvone	Terpène	Epicée	1255	MS													•
Acetylthiazoline	Thiazole	Cuite	1113	PI				•					•	•	•	•	•
Total					0	0	6	4	5	7	6	6	9	10	17	18	

Les COAs trouvés dans le pâturage des chèvres et les fromages *Bouhezza* dérivés de leurs laits sont mis en évidence en caractères gras

3.2.1.2. Composés odorants actifs extraits par distillation à la vapeur

Les mêmes échantillons du *Bouhezza* ont été analysés par distillation à la vapeur couplées à la chromatographie en phase gazeuse et l'olfactométrie avec la détection de masse sélective afin d'avoir une caractérisation aromatique qualitative plus détaillée. Un total de 40 COAs a été détecté comprenant 2 acides, 5 alcools, 3 aldéhydes, 1 alcane, 7 esters, 6 composés hétérocycliques, 4 cétones, 1 soufre, 10 terpènes et un COA non identifié (tableau 12).

En général, tous les échantillons de fromage ont été caractérisés principalement par des esters et des terpènes, ce qui confirme le résultat obtenu par SPME.

Les 40 COAs identifiés génèrent neuf odeurs, 8 composés avec odeur florale, 8 avec odeur fruitée, 5 avec odeur herbacée, 5 avec odeur épicée, 4 avec odeur cuite, 3 avec odeur de fromage, 2 avec odeur soufrée, 2 avec odeur de frite et 3 avec odeur désagréable.

Parmi les échantillons analysés, le plus grand nombre de COAs (28) a été observé dans BF1 à 45 jours d'affinage. Les composés esters identifiés dans la plupart des échantillons sont : l'ethyloctanoate (odeur florale) et le méthylméthylbutyrate (odeur fruitée). Le méthylbenzoate (note fruitée) a été détecté exclusivement dans BF3 à 45 jours.

Parmi les composés terpéniques, le β -carène (odeur fruité), l'isogéranol (odeur florale), l'oxyde de limonène (odeur fruitée), le p-2-menthen-1-ol (odeur herbacée) et le citronellylacétate (odeur épicée) ont été identifiés dans tous les échantillons. L' α -copaène (odeur épicée) a été détecté dans la plupart des échantillons du fromage. L'ocimène (odeurs herbacées) a été identifié exclusivement dans les deux échantillons du *Bouhezza* à 60 jours d'affinage. Tandis que le méthylgéraniol (odeur florale), l'isocaryophyllène (odeur épicée) et la β damascénone (odeur fruitée) ont été révélés respectivement comme composés uniques dans BF3_45jours, BF4_30 jours et BF3_14 jours.

Tableau 12. Variations des composés d'odeur active dans le fromage *Bouhezza* en utilisant la distillation à la vapeur couplée avec CPG/MS/O en fonction l'âge du fromage. Les COAs trouvés dans le pâturage des chèvres et les fromages *Bouhezza* dérivés de leurs laits sont mis en évidence en caractères gras.

Composés	Classe	Odeur	LRI ^a	Ident ^b	7 jours		14 jours		21 jours		30 jours		45 jours		60 jours	
					BF3 ^c	BF4	BF3	BF4	BF3	BF4	BF3	BF4	BF3	BF4	BF3	BF4
acide Octanoïc	Acide	Fromage	1241	PI,MS							•		•		•	
acide Phenylacetic	Acide	Florale	1264	PI,MS				•	•		•					
2-Hexenol	Alcool	Fruitée	870	PI,MS									•↑ ^d			
2-Methyl-1-butanol	Alcool	Sulfur	733	PI,MS									•↑	•	•	•↑
Decanol	Alcool	Désagréable	1268	PI,MS	•		•	•					•↑	•	•	•↑
Guaiacol	Alcool	Désagréable	1090	PI,MS									•	•		
Hydrocinnamic alcohol	Alcool	Epicée	1252	PI,MS				•					•↑			
(E)-2-Nonenal	Aldéhyde	Herbacée	1146	PI	•		•	•	•	•	•		•↑	•	•	•↑
(Z)-2-Nonenal	Aldéhyde	Herbacée	1152	PI	•		•	•	•	•	•		•↑	•	•	•↑
Decadienal	Aldéhyde	Frite	1308	PI,MS	•	•	•	•	•	•	•	•	•↑	•	•	•↑
Tridecane	Alcane	Désagréable	1300	PI,MS							•		•↑			
Ethylidihydrocinnamate	Ester	Florale	1343	PI				•				•				
Ethyl octanoate	Ester	Florale	1193	PI,MS	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•↑
Ethylphenylacetate	Ester	Fruitée	1254	PI,MS		•								•		
Isobornylformate	Ester	Herbacée	1239	PI,MS			•	•								
Methylbenzoate	Ester	Fruitée	1102	PI,MS									•			
Methyl methylbutyrate	Ester	Fruitée	789	PI,MS					•	•	•	•	•↑	•	•	•↑
Methyl-2-(methylthio)acetate	Ester	Sulfur	902	PI,MS									•	•	•	
Phenylcyanide	Heterocyclic	Fromage	1232	PI			•									•↑
Skatole	Heterocyclic	Fromage	1420	PI	•			•	•		•		•		•	•↑
2-Acetylpyrrole	Heterocyclic	Cuite	1046	PI,MS									•			
Acetyloxy-dimethylfuranone	Heterocyclic	Fruitée	1339	PI	•		•		•	•	•	•	•	•	•	•↑
Diethylmethylpyrazine	Heterocyclic	Cuite	1164	PI,MS							•		•			•↑
Ethylfuranone	Heterocyclic	Epicée	1338	PI												•↑
1-Nonen-3-one	Cétone	Florale	1070	PI,MS				•					•↑	•	•	•↑
1-Octen-3-one	Cétone	Florale	970	PI,MS	•	•	•	•	•	•	•		•↑	•	•	•↑
2-Nonanone	Cétone	Cuite	1093	PI,MS	•	•	•	•	•	•	•	•	•↑	•	•	•↑
α-Ionone	Cétone	Florale	1422	PI	•		•		•	•	•			•		
Acetylthiazoline	Sulfur	Cooked	1105	PI,MS												•
β-Carene	Terpène	Fruitée	996	PI,MS	•		•		•	•	•	•	•↑	•	•	•↑
Isocaryophyllene	Terpène	Epicée	1434	PI									•			
Isogeraniol	Terpène	Florale	1248	PI			•		•	•	•	•	•↑	•	•	•↑
Limonene oxide	Terpène	Fruitée	1123	PI,MS			•				•		•↑	•	•	•↑
p-2-Menthen-1-ol	Terpène	Herbacée	1140	PI,MS	•		•	•	•	•	•	•	•↑	•	•	•↑
Ocimene	Terpène	Herbacée	1051	PI,MS											•	•↑

3.2.1.3. Comparaison des profils aromatiques résultant des deux techniques d'extraction

Les deux techniques d'extraction utilisées pour décrire le profil aromatique du fromage *Bouhezza* ont permis d'obtenir deux fractions aromatiques différentes (tableau 11 et 12) avec peu de composés communs, le nombre de COAs détectés en utilisant la technique d'extraction SD a été plus élevé en comparaison avec celui obtenu par la technique SPME (tab. 13). Les deux techniques d'extraction contribuent à apporter une partie de la caractérisation globale des composés aromatiques du fromage.

La méthode SD semble être plus efficace pour déterminer la fraction aromatique du fromage et des plantes. Les deux méthodes d'extraction doivent être considérées comme importantes et complémentaires pour définir le profil aromatique complet du fromage. Par conséquent, nous avons calculer la moyenne des résultats obtenus en utilisant les deux techniques en considérant tout l'ensemble des échantillons du *Bouhezza* pour permettre de donner l'image globale du profil aromatique du *Bouhezza* (Tableau 13). En général, plusieurs méthodes d'extraction doivent être appliquées pour obtenir une description complète du profil aromatique du fromage.

Tableau 13. Variation du nombre global de composés odorants actifs (COAs) des fromages *Bouhezza* en fonction du temps d'affinage et de la méthode d'extraction.

Variables	Catégori e	Nombre de COAs ^a	LI IC ^b	LS IC	Chi- Carré	Valeur de P ^c
Jours de production	7	5	0,733	1,571	28,39	****
	14	12	-0,211	0,474	0,53	NS
	21	11	-0,141	0,550	1,29	NS
	30	11	-0,176	0,512	0,87	NS
	45	17	-0,909	-0,248	11,77	***
	60	20	-1,390	-0,711	36,60	****
Méthodes d'Extraction ^d	SPME	7	0,146	0,472	13,65	***
	SD	18	-0,472	-0,146	13,65	***
	BF3	14	-0,319	-0,008	4,20	*
	BF4	11	0,008	0,319	4,20	*

^a Moyenne des deux extractions et deux fromages dans l'année pour les fromages prélevés à 7,14, 21,30, 45 et 60 jours de production et d'affinage.

^b Limite inférieure (LI) et limite supérieure (LS) de l'intervalle de confiance de 95% (IC),

^c Différence significative du nombre de COAs entre les échantillons de fromage : * : P<0,05, *** : P<0,001, **** : P<0,0001, NS : non significatif (P>0,05)

^d SPME = Solid phase micro extraction, SD = Steam distillation ou distillation à la vapeur.

^e BF3:première fabrication , BF4 : deuxième fabrication

La différence de composés aromatiques détectés en utilisant les deux techniques d'extraction peut être attribuée à la nature chimique du composé volatil et en particulier à sa polarité et sa volatilité qui déterminent sa sensibilité à l'extraction (MALLIA *et al.*, 2005). SPME a été utilisé pour extraire les composés soufrés afin de développer une méthodologie pour l'analyse de ces composés dans le fromage Cheddar (BURBANK et QIAN, 2005).

La figure 15 montre la dynamique et la distribution du nombre de (COAs) selon les classes chimiques et les classes d'odeur extraits du *Bouhezza* durant l'affinage en utilisant deux méthodes d'extraction (SPME et SD). La technique SPME a permis de déterminer des COAs répartis en huit classes chimiques, tandis que la technique SD a révélé des COAs qui ont été classés en neuf classes chimiques. En comparaison avec la méthode SPME, la SD a montré une efficacité d'extraction élevée pour les terpènes, les aldéhydes et les composés hétérocycliques. Ces derniers ont été totalement absents lors de l'utilisation de la technique SPME. Au cours des différentes étapes de l'affinage du *Bouhezza*, les deux techniques ont montré l'augmentation progressive du nombre d'alcools, d'esters, de composés hétérocycliques, de cétones, de soufres, de terpènes et de thiazoles au fur et à mesure de l'affinage du *Bouhezza*. La figure 15 a également souligné que les thiazoles et les composés soufrés ont été mieux extraits par la technique SPME.

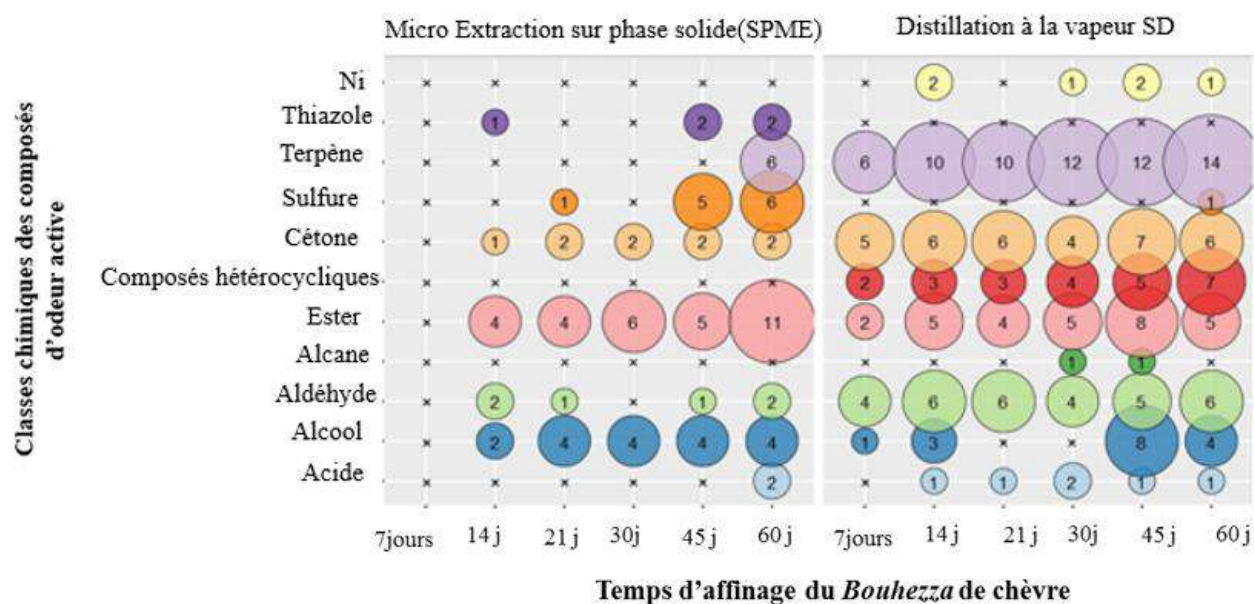


Figure 15. Graphique ballon affichant la répartition de nombre de composés odorants actifs (COAs) détectés dans *Bouhezza* en fonction de leurs classes chimiques en utilisant la micro extraction en phase solide et la distillation à la vapeur durant l'affinage.

3.2.2. Evolution des composés aromatiques détectés en fonction des classes chimiques

Un total de 60 COAs différents ont été identifiés dans le fromage *Bouhezza* de chèvre à différents âges d'affinage en utilisant les deux méthodes d'extraction citées précédemment , avec 15 terpènes, 11 esters, 8 alcools, 5 aldéhydes, 5 cétones, 6 hydrocarbures aromatiques, 4 composés sulfuriques, 3 acides, 1 thiazole et 1 alcane (tableaux 11 et 12). Le nombre de COAs par échantillon de fromage varie de 5 à 20 et les différences des deux profils aromatiques obtenus en utilisant les deux techniques d'extractions ont été principalement attribuées au temps d'affinage (tableau 13, $P < 0,001$). Sept sur 60COAs (**2 terpène: α -pinène et d-limonène, 3 esters: Ethyloctanoate, Ethylhexanoate et Ethyldecanoate, 1acide: Acide octanoic et 1 cétone: 2- nonanone**) ont été identifiés dans le profil aromatique du *Bouhezza* de vache (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2016) et dans celui du *Bouhezza* de chèvre (MEDJOU DJ *et al.*, 2016)

En comparant les résultats CPG/Spectrométrie de masse /Olfactométrie d'échantillons de fromage provenant de deux autres en utilisant les deux méthodes d'extraction, tous les échantillons de fromage de BF3 sont riches en COAs en comparaison avec ceux de BF4 (tableau 13).

La figure 16 illustre la variation du nombre de composés d'odeur active détectés dans *Bouhezza* à différents temps d'affinage. La méthode SPME a permis de détecter cinq COAs communs entre tous les fromages analysés à différents temps d'affinage. Huit COAs ont été apparus exclusivement en fin de production (60 jours), et quatre (COAs) à 45 jours, dont trois ont été partagés exclusivement entre les périodes 45 et 60 jours. Ce résultat peut être attribué à l'ajout du lait entier pour réguler l'acidité et la salinité du fromage. Par ailleurs, en utilisant les deux techniques d'extraction, plus le fromage est mûré, plus les COAs ont été uniques et caractéristiques.

En utilisant la technique SD, douze COAs obtenus ont été partagés entre tous les échantillons de fromage. Parmi ces derniers, quatre ont été détectés dans *Bouhezza* de vache et dans *Bouhezza* de chèvre analysés respectivement par AISSAOUI ZITOUN *et al.*(2016) et MEDJOUJ *et al.*(2016).

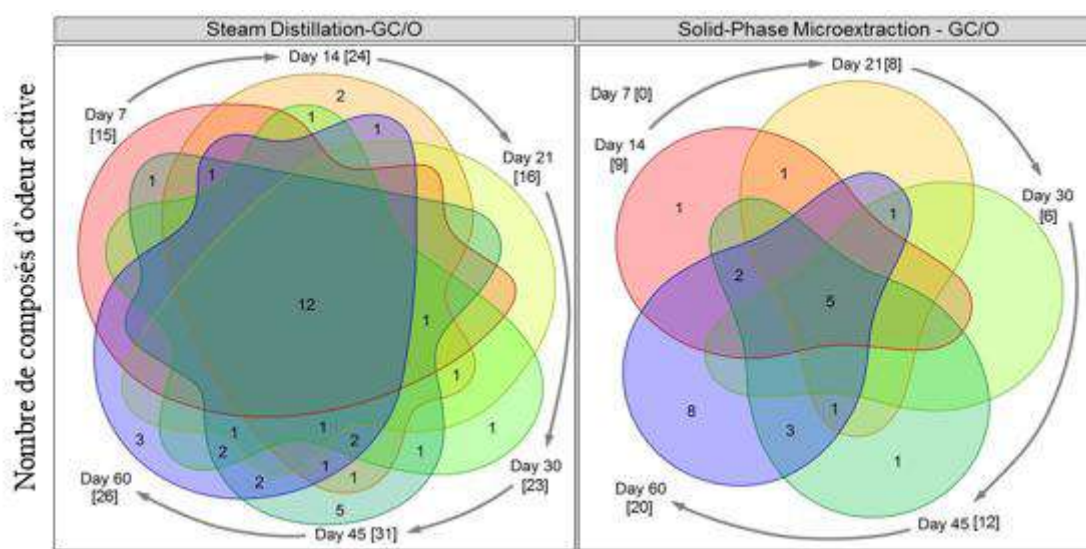


Figure 16. Diagrammes de Venn en six et cinq ensembles affichant la variation du nombre de composés odorants actifs détectés dans *Bouhezza* en fonction du temps d'affinage en utilisant la distillation à la vapeur (tracés de gauche) et la Micro extraction en phase solide (tracés de droite). Les chiffres représentent le nombre total.

3.2.2.1. Classe des terpènes

Parmi les classes chimiques de COAs identifiées dans *Bouhezza*, les terpènes présentent, comme prévu, le plus grand nombre de COAs, En effet, un total de 15 terpènes a été déterminé en utilisant les méthodes d'extraction SPME et SD couplées à la GC/MS/O.

Selon HAYALOGLU *et al.* (2007), le matériau utilisé pour l'affinage des fromages (peau ou plastique) n'a aucun effet sur la formation de terpènes dans les fromages, tant que le lait utilisé dans la fabrication fromagère provient de la même zone de production. Le processus d'affinage n'a pas influencé la teneur en terpènes des fromages (OZTURKOGLU-BUDAK *et al.*, 2016).

Trois terpènes (β -Carène, p-2-Menthen-1-ol, α -Copaène) ont été principalement détectés dans la plupart des échantillons du *Bouhezza*. L'acétate de citronellyl a été détecté comme composé commun dans tous les échantillons (tableau 12), α -pinène γ -terpinène et d-limonène ont été notés dans *Bouhezza* à la fin de production (Tableau 12). Ces composés ont été également identifiés dans *Bouhezza* à un stade d'affinage tardif à 50 et 72 jours par MEDJOU DJ *et al.* (2017). La présence des terpènes dans le *Bouhezza* peut être liée à l'alimentation de bétail. Une autre source des terpènes est le genièvre utilisé dans la préparation de *Djeld* ou même saupoudré à sa surface durant la fabrication de *Bouhezza*. Selon MAZARI *et al.* (2010), les huiles essentielles du genièvre sont caractérisées par l' α -terpène et le limonène.

AISSAOUI ZITOUN *et al.* (2016) ont signalé la présence de d-limonène et de α -pinène dans *Bouhezza* au lait de vache à 75 jours d'affinage . Plusieurs études ont confirmé que la nature et la quantité des constituants volatils notamment les terpènes présents dans les produits laitiers sont fortement influencés par la part de pâturage frais dans la ration alimentaire des animaux.

Des comparaisons des fractions terpéniques de différents fourrages et des fromages correspondants ont montré que les terpènes des fourrages ont été transférés sans aucune modification dans le fromage (VIALLO N *et al.*, 1999, BUGAUD *et al.*, 2001b). Ces composés servent de marqueurs intéressants de traçabilité des produits laitiers.

Les terpènes possédant une propriété chimique importante représentée par la chiralité et donc différents énantiomères de la même molécule peuvent différer en goût, arôme ou bioactivité (VIALLO N *et al.*, 1999 ; CORNU *et al.*, 2001 ; PRACHE *et al.*, 2005 ;

BONTINIS *et al.*, 2012 ; APREA *et al.*, 2016 ; VALDIVIELSO *et al.*, 2017). **Dix terpènes sur 15 ont été révélés dans dix espèces de plantes connues pour être consommées par les chèvres dans la zone de production de *Bouhezza* (Voir annexe 3 et tableau 11 et 12), ce résultat peut expliquer le transfert des terpènes de l'alimentation animale vers le lait et ensuite dans le fromage** (KILCAWLEY *et al.*, 2018). CARPINO *et al.* (2004c) ont constaté l'absence des terpènes dans le fourrage consommé par l'élevage laitiers, mais ces composés ont été identifiés dans leurs produits, cela peut être expliquer par la présence de ceux-ci dans d'autres plantes qui n'ont pas été analysées, ou bien générés dans le rumen après consommation du matériel végétal des pâturages. L'absence de ces composés peut être aussi expliquer par leurs pertes durant l'analyse de plantes en utilisant la méthode d'extraction

3.2.2.2. Classe des esters

Les esters marquants des odeurs aromatiques florales et fruitées, ont été les composés les plus abondants qui ont été identifiés dans *Bouhezza*. Ces COAs peuvent réduire l'âcreté (acidité désagréable) associée à une lipolyse excessive dans le fromage (GALLOIS et LANGLOIS, 1990). Cette classe chimique provient de réactions chimiques entre les acides gras libres et les alcools, induisant un impact important sur les caractéristiques gustatives des fromages. Les esters éthyliques ont été principalement détectés dans les échantillons de fromage analysés. MEDJOU DJ *et al.* (2016) ont obtenu le même résultat et ont démontré que l'acétate d'éthyle, le butanoate, l'hexanoate, l'octanoate et le décanoate d'éthyle et le 2-phényl acétate ont été les principaux esters trouvés dans le fromage *Bouhezza* fabriqué au lait de chèvre cru.

L'octanoate d'éthyle, l'hexanoate d'éthyle et le méthylbutyrate de méthyle ont été détectés principalement dans les échantillons de *Bouhezza* (tableau 11 et 12). Les trois esters (octanoate d'éthyle, hexanoate d'éthyl et décanoate d'éthyle) ont été déterminés avec des teneurs appréciable dans *Lben* et *Bouhezza* à 30 et 72 jours d'affinage (MEDJOU DJ *et al.*, 2016). Ces composés ont été signalés aussi dans *Bouhezza* au lait de vache de ferme et d'expérimentation (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2016). Les esters éthyliques ont été les principaux esters trouvés dans les fromages de chèvre turcs fabriqués à partir du lait des races Gokceada et Saanen (HAYALOGLU *et al.*, 2013)

BOLTAR *et al.* (2015) ont mis en évidence le transfert direct d'hexanoate d'éthyle, d'octanoate et de décanoate d'éthyle du fourrage au lait. Le décanoate d'éthyle a généré une odeur florale qui apparaît à 60 jours (tableau 11). Ceci est probablement attribué à l'ajout de

lait à la fin de la production de *Bouhezza*, l'octanoate d'éthyle a été principalement détecté dans *Filago pygmaea* et *Scolymus hispanicus* deux espèces de plante connues pour être consommées par les chèvres dans la zone de production du fromage de *Bouhezza*.

3.2.2.3. Alcools et aldéhydes

Huit alcools ont été identifiés dans le fromage *Bouhezza* (tableaux 11 et 12), le Pentanol et le 2-octanol qui étaient détectés dans tous les échantillons de *Bouhezza* (tableau 11).

Les aldéhydes présentent une mineure partie dans la fraction aromatique des échantillons de fromage *Bouhezza* analysés car ces composés représentent une forme transitoire en raison de leur conversion rapide en alcools et/ou après oxydation en leurs acides correspondants. Les composants (E)-2-Nonenal et (Z)-2-Nonenal avec odeur herbacée ont été principalement détectés dans la plupart des échantillons de fromage analysés par SD combiné à CPG-SM et CPG-O (tableau 12). Ces composés ont été identifiés également dans les espèces végétales pâturées par les animaux laitiers dans la zone de production de *Bouhezza* (Annexe 3). (E)-2-Nonenal et (Z)-2-Nonenal et 2,6-Nonadienal ont été détecté dans *Bouhezza* au lait de vache provenant de fabrication contrôlée (AISSAOUI ZITOUN et al., 2016).

Selon CARPINO *et al.* (2004 c), les aldéhydes sont potentiellement issus de l'oxydation des lipides dans les plantes ou de matière grasse du lait.

Au total, quatre composés soufrés ont été trouvés dans les fromages *Bouhezza* (Tableau 11 et 12). Les aldéhydes et les composés soufrés proviennent du catabolisme des acides aminés, qui réduit finalement les aldéhydes en alcools (MCSWEENEY et SOUSA, 2000).

3.2.2.4. Classe des cétones

Un total de 5 composé cétoniques différents a été identifié dans les échantillons de fromages (tableaux 11 et 12), le 1-Octen-3-one avec une odeur florale est détecté dans *Bouhezza* à différent temps d'affinage (tableau 12). ce composé cétonique a été noté dans le *Bouhezza* au lait de vache provenant de fabrication contrôlée (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2016). Le 2-nonanone a été détecté comme composé commun dans tous les échantillons analysés (tableau 12). Il a été également déterminé dans 60% des plantes de pâturage de la

même zone de production de *Bouhezza* (Annexe 3). 2-nonanone est spécifiquement produit à partir de l'oxydation d'acides gras insaturés (HO et CHEN, 1994).

Le 2-nonanone a été également détecté comme composé commun dans *Bouhezza* au lait de vache de ferme et d'expérimentation (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2016). Les cétones contribuent de manière significative aux caractéristiques aromatiques des fromages de chèvre (POVEDA *et al.*, 2008). MCSWEENY et SOUSA (2000) ont rapporté que les cétones sont formées par oxydation enzymatique d'acides gras libres en β -cétoacides et leur décarboxylation en méthyl cétones.

HAYALOGLU *et al.* (2007) ont indiqué que le matériel utilisé pour la maturation du fromage (peau ou plastique) a un effet significatif sur l'abondance des méthyl cétones. La microstructure et l'écosystème microbien du sac de peau d'animaux utilisé pour l'affinage des fromages pourraient influencer la composition de leurs fraction aromatique. La fraction volatile de ces fromages affinés a été clairement différente de celle des fromages affinés dans des sacs en plastique en raison de changement de leurs teneurs en eau déterminés par la perméabilité du sac. TUDOR *et al.*, (2020) ont rapporté que les caractéristiques de peau d'animaux affectent la perméabilité à l'air et à la vapeur d'eau, ce qui influence considérablement les propriétés chimiques et biochimiques ainsi que les composés aromatiques des fromages durant l'affinage.

Selon AISSAOUI ZITOUN *et al.* (2016), dix COAs communs entre les fromages dérivés du lait cru de vache ont été détectés, sans prendre en considération la méthode d'extraction ou le temps d'affinage du fromage. Les composés communs peuvent être considérés comme des marqueurs du profil aromatique du *Bouhezza* de vache, qui n'a pas été encore établi. Ces COAs communs sont Sept esters contribuant à la note fruitée, vineuse, frite, acide, rance, alcoolique, pomme cétone et à la note lactée au *Bouhezza* (AISSAOUI ZITOUN *et al.*, 2016). Une note désagréable a été détectée dans tous les échantillons sauf *Bouhezza* à 21 et 30 jours.

3.2.3. Evolution des composés aromatiques détectés selon les classes d'odeurs

La figure 17 montre la répartition de nombre de COAs selon leurs classes d'odeurs durant le temps d'affinage du *Bouhezza* en utilisant deux méthodes d'extraction. Le nombre de COAs a augmenté dans presque toutes les classes d'odeur durant l'affinage du fromage, avec

une augmentation particulière des COAs ayant des odeurs fruitées, florales, cuites et fromage en utilisant les deux techniques (figure 17).

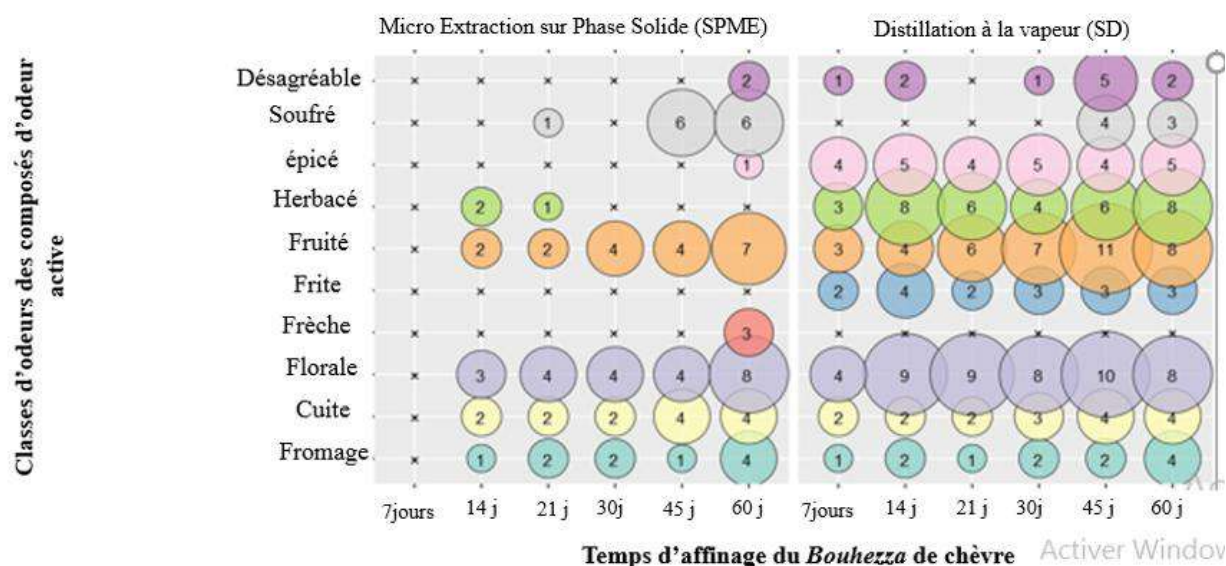


Figure 17. Graphique ballon affichant la répartition de nombre de composés odorants actifs (COAs) détectés dans *Bouhezza* selon leurs classes d'odeurs en utilisant la microextraction en phase solide et la distillation à la vapeur au cours de différentes périodes d'affinage du fromage

La figure 18 montre la répartition des différentes classes d'odeurs définies dans *Bouhezza* en fonction du temps d'affinage. Quatre classes d'odeur : fromagère, florale, fruitée et cuite, ont été partagées entre toutes les périodes d'affinage (Figure 18). La classe d'odeur fraîche, épicée et désagréables ont été détectées exclusivement dans *Bouhezza* en fin d'affinage (60 jours). La classe d'odeur herbacée a été exclusivement perçue dans *Bouhezza* aux premiers stades de la production fromagère avant maturation complète (de 14 à 21 jours), puis elle a été disparue au fur et à mesure de l'affinage. La classe d'odeur soufrée a été exclusivement sentie en utilisant les deux techniques d'extraction dans les fromages à 45 et 60 jours d'affinage et en plus à 21 jours par utilisation de SPME.

En utilisant la distillation à la vapeur, sept classes d'odeurs : fromage, cuite, florale, frite, fruitée, herbacée et épicée) ont été communément perçues dans tous les échantillons du fromage, quelque soit leur âge. Cependant la classe d'odeur soufrée a été la classe caractéristique des fromages affinés. La classe d'odeur frite a été détectée exclusivement à l'aide de SD, et la classe d'odeur fraîche a été détectée uniquement à l'aide de SPME.

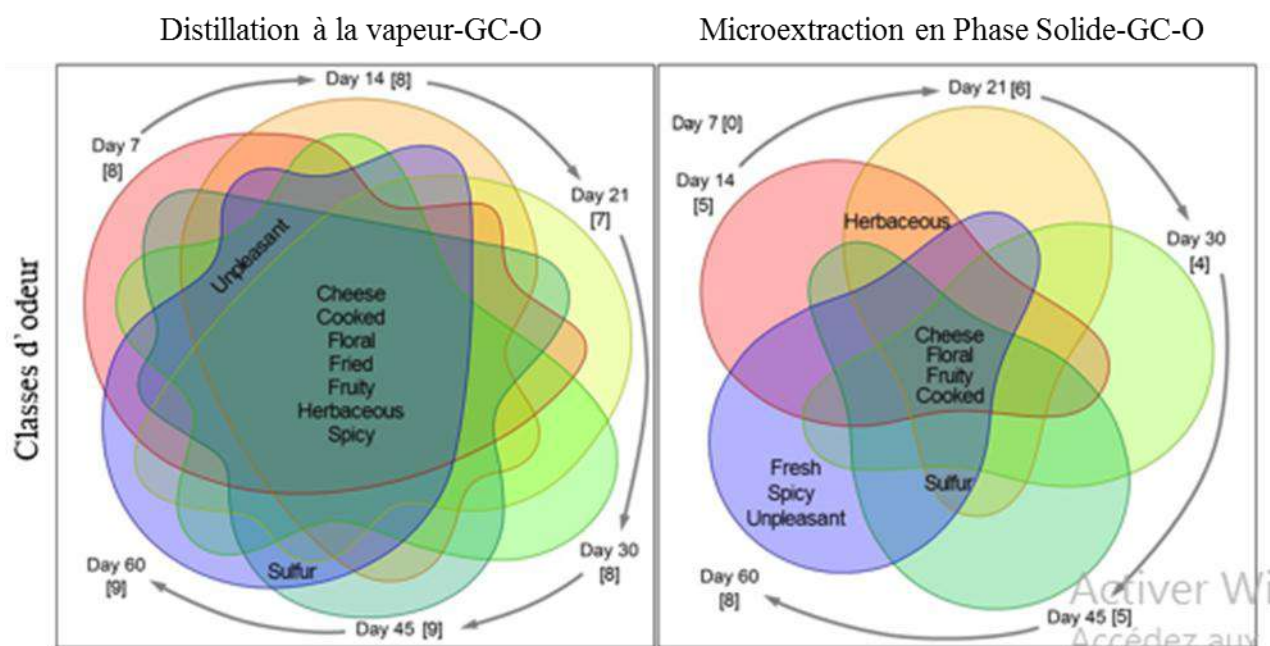


Figure 18. Diagrammes de Venn en six et cinq ensembles affichant la répartition des classes d'odeur en fonction du temps d'affinage du *Bouhezza* en utilisant la distillation à la vapeur (tracés de gauche) et la Micro extraction en phase solide (tracés de droite).

3.2.4. Caractéristiques aromatiques du *Bouhezza* affiné

Selon les habitudes des consommateurs, *Bouhezza* est prêt à être consommé à partir d'un mois d'affinage. Les COAs des échantillons de *Bouhezza* récupérés à 30, 45, 60 jours, ont été caractérisé principalement par la dominance d'esters, d'alcools et de terpènes contenant en moyenne 4 ; 3 et 3 composants respectivement. Ceux-ci ont été suivis de 2 cétones, 2 aldéhydes, 1 composé hétérocyclique et 1 composé soufré (tableau 14).

Tableau 14. Variation du nombre globale de composés odorants actifs (COAs) détecté dans *Bouhezza* prélevé à 30, 45 et 60jours selon leurs classes chimiques.

Classes chimiques	Nombre de COAs ^a	LI IC ^b	LS IC	Chi-Carré	Valeur de P ^c
Esters	4	-3,413	-1,345	19,2	****
Terpènes	3	-2,250	0,025	5,16	*
Alcools	3	-1,576	0,224	1,87	NS
Cétones	2	-1,102	0,698	0,17	NS
Aldéhydes	2	-0,613	1,269	0,43	NS
Composés hétérocycliques	1	-0,111	2,047	3,54	NS
Composés sulfurés	1	0,247	2,444	6,26	*

^a Moyenne des deux techniques d'extractions et deux fabrications dans l'année, pour les échantillons produits à 30, 45 et 60jours,

^b Limite inférieure (LI) et limite supérieure (LS) de l'intervalle de confiance de 95% (IC),

^c Différence significative du nombre de COAs entre les échantillons de fromage: *: $P < 0,05$, ****: $P < 0,0001$; NS : non significatif ($P > 0,05$)

Pendant la période allant de 30 à 60 jours d'affinage, les classe d'odeur florales et fruitées ont été prédominantes avec une moyenne de 4 et 3 COAs par échantillon respectivement (tableau 15). Les échantillons de fromage contenaient également 2 odeurs cuites, 2 souffrées, 2 herbacées, 1 du fromage, 1 épicée, 1 frite et 1 odeur désagréable (tableau 15). Six composés appartenant à trois classes chimiques ont généré une note désagréable à différents stades d'affinage.

Tableau 15. Variation du nombre global de composés odorants actifs (COAs) des fromages *Bouhezza* produits à 30, 45 et 60j selon leurs classes d'odeurs

Classes d'odeurs	Nombre de COAs ^a	LI IC ^b	LS IC	Chi-Carré	Valeur de P ^c
Florale	4	-3,821	-1,569	22,52	****
Fruité	3	-3,517	-1,362	19,35	****
Cuite	2	-0,850	0,934	0,01	NS
Herbacée	2	-0,634	1,801	1,36	NS
Souffrée	2	-0,988	1,124	0,01	NS
Fromage	1	-0,302	1,589	1,62	NS
Frite	1	0,546	2,598	8,47	**
Épicée	1	-0,183	1,872	2,71	NS
Désagréable	1	0,404	2,395	7,04	**

^a Moyenne de deux ans et deux fromages dans l'année, pour les échantillons produits à 30, 45 et 60jours,

^b Limite inférieure (LI) et limite supérieure (LS) de l'intervalle de confiance de 95% (IC),

° Différence significative du nombre de COAs entre les échantillons de fromage: **: $P < 0,01$, ****: $P < 0,0001$, NS : non significatif ($P > 0,05$)

3.3. Profil sensoriel du *Bouhezza*

La détermination du profil sensoriel du fromage *Bouhezza* a été déterminé après affinage soit à 60 jours. Les notes données pour l'ensemble de caractéristiques sensorielles détectées (texture-aspect, goût et odeurs) sont illustrées dans la figure suivante (fig.19)

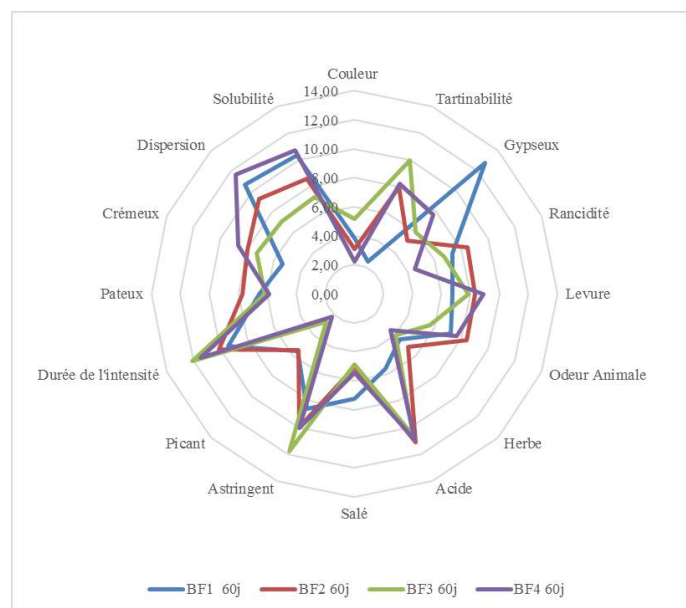


Figure 19. Profil sensoriel du fromage Bouhezza de chèvre à 60 jours d'affinage

Une saveur moyennement salée et légèrement piquante et un astringent prononcé (note de 10,04/15). Du point de vue de sa consistance, *Bouhezza* présente une solubilité et une dispersion importante dans la bouche. Concernant les odeurs, les odeurs de levure et de rance ont été moyennement détectées dans tous les échantillons de fromage. La présence d'odeur animale, typique du fromage de chèvre, a été retrouvée dans tous les échantillons de fromage et avec une intensité similaire. MARTIN *et al*, (2005) ont rapporté que le type de pâturage donné aux chèvres en lactation induit une modification de la composition en acides gras du lait, ce qui affecte la texture du fromage, Une part importante de pâturage dans la ration alimentaire des animaux laitiers conduit à des odeurs plus « animales » et moins « amères » et moins « aigres ». Les fromages (BF2 et BF4 60 jours) sont plus tartinables, crémeux et acides que BF1 et BF3 à 60 jours. L'évaluation sensorielle a montré que certaines différences entre les fromages de chaque essai expérimental proviennent probablement du type de sacs en peau de chèvre utilisés durant la fabrication du fromage

Conclusion partielle

Le suivi de l'évolution des paramètres physicochimiques du *Bouhezza* durant l'affinage a permis de dégager les conclusions suivantes :

Le temps de fabrication-affinage a un effet significatif ($P > 0,05$) sur tous les paramètres physicochimiques à l'exception la teneur en protéines sur MS.

Par rapport à la qualité nutritionnelle, *Bouhezza* de chèvre récupéré à 60 jours d'affinage a été caractérisé par une teneur en cholestérol de 39mg par 100g du fromage.

Pour évaluer les effets du temps d'affinage sur les teneurs en α -tocophérol et en cholestérol, les valeurs doivent se référer à la teneur en matière grasse du fromage. Les taux d' α -tocophérol et de cholestérol ont été affecté aussi par le temps d'affinage et la succession d'ajout du *Lben* et du lait cru . Le contenu en α - tocophérol a été réduit de 34 % sur toute la période de fabrication et d'affinage ($P < 0,01$) et le taux de réduction le plus élevé a été noté au cours des 30 premiers jours.

Il n'y avait pas de variation significative des valeurs de DPA associées au jours d'affinage. Les échantillons *Bouhezza* au lait de chèvre ont été caractérisés par des valeurs de DPA de l'ordre de 6×10^{-3} qui sont similaires à ceux du fromage de chèvre dérivé du lait de chèvre nourries dans des fourrage vert intégré à des aliments supplémentaires cité par PIZZAFERRATO *et al.*(2007) .Les valeurs de DPA dans tous les échantillons de fromage ont été toujours inférieures au seuil minimum de stabilité oxydative du cholestérol de 7×10^{-3} suggéré par MANZI *et PIZZOFERRATO* (2010). Par conséquent, le processus d'oxydation ne peut être exclu.

D'autre part, la caractérisation du profil aromatique du *Bouhezza* de chèvre durant l'affinage en utilisant deux techniques d'extraction (SPME et SD) combinées à la CPG-Olfactométrie a démontré une différence entre les deux profils aromatiques caractérisant le fromage *Bouhezza* avec un nombre bas de composés communs. Le nombre de COAs détectés en utilisant la technique d'extraction SD a été plus élevé en comparaison avec celui obtenu par la technique SPME. Les deux méthodes d'extraction sont jugées importantes et complémentaires pour définir le profil aromatique complet. Le fromage *Bouhezza* a été caractérisé par la dominance des esters et des terpènes. Les résultats obtenus ont décrit l'évolution des composés aromatiques en fonction du temps d'affinage selon leurs classes chimiques et leurs classes d'odeurs.

Une analyse quantitative plus poussée avec détermination du profil d'acides gras qui contribue à la forte saveur typique des fromages de chèvre est nécessaire pour mieux expliquer les changements de profil aromatique du *Bouhezza*.

De point de vue caractère sensoriel, *Bouhezza* de chèvre à pâte molle tartinable et soluble dans la bouche présente une saveur moyennement salé et légèrement piquante et un astringent prononcé. l'odeur de l'animal a été révélée dans tous les échantillons de *Bouhezza*.

4. Lien entre pâturage et caractéristiques du fromage *Bouhezza*

Notre étude a pour objectif de chercher des marqueurs permettant de relier les caractéristiques du fromage *Bouhezza* qui le distingue des autres fromages par son terroir de production. L'analyse de la fraction aromatique des espèces de plantes présentes dans le pâturage et celle du fromage *Bouhezza* a été envisagée dans le but d'établir l'existence d'un lien entre les pâturages consommés par les chèvres et le fromage *Bouhezza* dérivé de leurs laits.

4.1. Estimation de la part de pâturage dans l'alimentation des chèvres

Le calcul de Degré de Protection Antioxydant est considéré comme marqueur pour distinguer les produits laitiers dérivés du lait provenant d'animaux qui se nourrissent aux pâturages de ceux qui reçoivent leurs alimentations exempte de pâturages dans les étables.

Les travaux de PIZZOFERRATO *et al.* (2007) ont montré la fiabilité de la mesure de degré de protection antioxydant DPA qui est un paramètre traceur capable de distinguer les produits laitiers lorsque l'herbage pâturé par les chèvres a dépassé 15% . Cette dernière peut être considérée comme la limite de détection de DPA. Les valeurs DPA supérieur à 7×10^{-3} ont été trouvés dans les échantillons de fromage dérivés de lait issu de chèvre nourries sur pâturage. Les valeurs DPA inférieur à 7×10^{-3} ont été obtenues dans les échantillons de fromage dérivés de lait issu de chèvres recevant une alimentation exempte de pâturage (PIZZOFERRATO *et al.*, (2007).

En plus de la proportion de fourrage frais donné aux animaux, le type de fourrage et le stade de croissance sont également des facteurs importants affectant les teneurs en α -tocophérol dans le lait et les produits laitiers (MARTIN *et al.*, 2004). Le lait et les produits laitiers provenant d'animaux nourris dans des pâturages riches en espèces appartenant à la famille des Poacées contiennent des niveaux inférieurs d' α -tocophérol par rapport au lait et

aux produits laitiers provenant d'animaux nourris avec des espèces de Fabacées, ce qui correspond aux caractéristiques des trois pâturages d'étude.

Les échantillons de *Bouhezza* caractérisés par un niveau de DPA d'environ 6×10^{-3} (tab.10). En effet, le terroir d'étude se situe dans une zone semi-aride caractérisée avec une faible couverture végétale de ce fait les chèvres ont reçu une alimentation combinée entre pâturage et son de blé et paille au niveau d'étable. Ce résultat se concorde avec ceux de PIZZOFERRATO *et al.* (2007) qui ont trouvé des valeurs similaires dans les fromages de chèvre dérivés du lait issu de chèvres nourries au pâturage intégré à des aliments supplémentaires. MANZI *et* PIZZOFERRATO. (2010) ont déterminé une valeur de DPA supérieur à 7×10^{-3} trouvés dans le fromage dérivé du lait de chèvres nourries aux pâturages. Plus les valeurs de DPA sont élevées. Plus la part de pâturage dans la ration alimentaire des animaux est élevée. Plus la protection contre l'oxydation du cholestérol dans le fromage est élevée.

4.2. Effet du pâturage sur les caractéristiques aromatiques du fromage

Un total de 60 COAs différents ont été détectés dans la fraction aromatique des échantillons de fromages *Bouhezza* de chèvre et qui ont été répartis selon leurs classes chimiques en 15 terpènes, 11 esters, 8 alcools, 5 aldéhydes, 5 cétones, 6 hydrocarbures aromatiques, 4 composés sulfuriques, 3 acides, 1 thiazole et 1 alcane. Vingt-six sur 60 COAs (10 terpènes, 4 aldéhydes, 3 esters, 2 alcools, 2 cétones, 1 hydrocarbure aromatique, 1 acide, 1 pyrazine, 1 thiazole et 1 composé sulfurique) ont été identifiés dans les plantes sélectionnées dans le pâturage des chèvres (tableau 16). Environ un tiers du total des composés aromatiques déterminés dans les plantes ont été également identifiés dans les échantillons du *Bouhezza* fabriqué à partir du lait de chèvres paissant au pâturage au cours de la période de production du *Bouhezza*. **Quatre composés (E-2-Nonenal, Z-2-Nonenal, Ethyloctanoate et 2-Nonanone) sur 26 COAs ont été détectés dans *Bouhezza* de vache et dans *Bouhezza* de chèvre analysés respectivement par AISSAOUI ZITOUN *et al.* (2016) et par MEDJOU DJ *et al.* (2016)**

Les COAs trouvés dans les pâturages des chèvres et dans les fromages *Bouhezza* dérivés de leurs laits sont surlignés en gras dans (tableau 11 et 12). Le transfert de COAs de l'alimentation de l'animal vers le lait et/ou les produits laitiers n'est pas obligatoirement conditionné par la consommation de l'aliment parce que les COAs peuvent être directement transférés dans le corps animal par inhalation et peuvent ensuite être libérés dans le lait par la glande mammaire (DOUGHERTY *et al.*, 1962).

LEJONKLEV *et al.* (2013) ont constaté que les terpènes volatils des huiles essentielles de graines de carvi et d'origan ont été transférés dans le lait de vache via une exposition gastro-intestinale et respiratoire.

Les composés aromatiques identifiés dans le fromage *Bouhezza* de chèvre durant l'affinage et qui n'ont pas été déterminés dans les échantillons de pâturage peuvent dériver des espèces de plantes présentes dans le pâturage et n'ont pas été analysées. De plus, un grand nombre de COAs présent dans l'alimentation des animaux laitiers peuvent être métabolisés lors de l'ingestion et peuvent également être transformés via des réactions biochimiques durant le processus de production et d'affinage de fromage *Bouhezza* (POULOPOULOU *et al.*, 2012).

Tableau 16. Composés communs entre les dix plantes sélectionnés par les chèvres et *Bouhezza* dérivé de leur lait

Classe chimique	Composés	Odeur
Acide	Acide phenylacetic	Florale
Alcool	2-Methyl-1-butanol	Sulfur
	Guaiacol	Désagréable
Aldéhyde	(E)-2-Nonenal	Herbacée
	(Z)-2-Nonenal	Herbacée
	2,6-Nonadienal	Herbacée
	Decadienal	Frite
Ester	Ethyl octanoate	Florale
	Ethylphenylacetate	Fruitée
	Isobornylformate	Herbacée
Cétone	1-Nonen-3-one	Florale
	2-Nonanone	Cuite
Terpène	β -Carene	Fruitée
	Isocaryophyllene	Epicée
	Isogeraniol	Florale
	p-2-Menthen-1-ol	Herbacée
	Ocimene	Herbacée
	Methylgeranate	Florale
	α -Copaene	Epicée
	α -Pinene	Fraiche
	d-Limonene	Fraiche
	d-Carvone	Epicée
Sulfur	Thiophene	Soufrée
Thiazole	Acetylthiazoline	Cuite
Pyrazine	Diethylmethylpyrazine	Cuite
Hydrocarbure aromatique	Ethyl dihydrocinnamate	Florale

CONCLUSION

ET

PERSPECTIVES

Conclusion et perspectives

Dans le contexte actuel des produits « traditionnels » qui s'appuient sur la notion de terroir pour affirmer leur typicité et dans l'optique de contribuer à rapprocher le lien entre le fromage *Bouhezza* de chèvre et son terroir d'origine, cette étude se focalise sur la description et l'identification du terroir du *Bouhezza*. L'approche méthodologique se base sur le recensement et l'identification des espèces de plantes présentes dans les pâturages de chèvres fournisseurs de lait utilisé dans la fabrication du *Bouhezza* et sur la détermination du profil aromatique de quelques plantes sélectionnées sur ces pâturages. Aussi, par le suivi de l'évolution des composés physico-chimiques et aromatiques du fromage durant l'affinage afin d'établir de possible liens entre le pâturage (éléments du terroir le plus représentatif) consommé par les chèvres et les caractéristiques aromatiques du fromage *Bouhezza* fabriqué avec leurs laits.

A l'issue de cette étude, nous apportons notre contribution à la description de trois types de pâturage des chèvres (montagne, mis au repos et cultivé d'orge) choisis dans l'aire de production du fromage *Bouhezza*. Un ensemble de 70 espèces végétales différentes ont été identifiées sur ces trois zones de pâturage : 29 espèces ont été répertoriées en zone montagnaise, 40 en zone mise au repos et 11 en pâturage cultivé d'orge. Ces espèces appartiennent à 62 genres et 22 familles différentes. La famille des astéracées est la plus dominante.

Au total, 23 espèces ont été répertoriées exclusivement dans le pâturage de montagne, 27 espèces exclusivement ont été enregistrées dans le pâturage mis au repos et 4 espèces ont été exclusivement trouvées dans le pâturage cultivé, avec absence d'espèces communes entre les trois pâturages et exclusivement entre le pâturage montagnard et cultivé. Le pâturage de montagne et celui mis au repos ont abrité exclusivement 6 espèces communes. Alors que 7 espèces communes ont été partagées entre le pâturage mis au repos et le pâturage cultivé d'orge.

Un total de 86 composés d'odeur actives (COAs) différents a été identifié dans les dix espèces de plantes analysées provenant des trois pâturages étudiés, avec 21 terpènes, 18 aldéhydes, 10 alcools, 7 esters, 5 composés sulfuriques, 5 cétones, 3 pyrazines, 3 hydrocarbures aromatiques, 2 thiazoles, 2 pyrroles, 1 acide et 1 alcane. Parmi les 86 COAs, huit n'ont pas été identifiés. Dix-neuf composés différents ont généré diverses odeurs : herbacée, florale, sucrée épicée, frite, menthe, cuite, fruitée, soufrée, sucrée et désagréables.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le nombre de COAs identifiés par espèce varie de 20 à 42 composés et diffère significativement entre les plantes ($P = 0,0025$). *Atractylis humilis* est l'espèce la plus riche en composés aromatiques avec 42 COAs, *Scolymus hispanicus* et *Plantago* sp se caractérisent par la présence de faible nombre de composés aromatiques avec respectivement 22 et 20 COAs. La différence du nombre de COAs détectés dans les espèces végétales sélectionnées a été principalement attribuée au nombre de composés terpéniques. Le profil aromatique des espèces de plantes a été principalement caractérisé par la dominance des composés terpéniques et des aldéhydes.

A travers les résultats obtenus par la mesure des différents paramètres physicochimiques, le temps d'affinage du fromage *Bouhezza* a un effet significatif ($P > 0,05$) sur tous les paramètres physicochimiques à l'exception de proportion de la teneur en protéines par rapport à la matière sèche. En se référant à la teneur en matière grasse du fromage, les taux d'alpha-tocophérol et de cholestérol ont été affectés par le temps d'affinage et les ajouts successifs du *Lben* durant la fabrication et aussi du lait à la fin d'affinage. Le contenu en α -tocophérol a été réduit de 34% sur toute la durée de fabrication et d'affinage ($P < 0,01$) et le taux de réduction le plus élevé a été noté au cours des 30 premiers jours.

Du point de vue nutritionnel, *Bouhezza* de chèvre affiné pendant 60j et prêt à la consommation a été caractérisé par une teneur en cholestérol de 39mg par 100g du fromage frais. Le taux de cholestérol du *Bouhezza* doit toujours être pris en compte lors de la formulation d'un régime équilibré, en particulier lorsqu'une attention particulière doit être portée au cholestérol alimentaire très faible.

Le degré de protection antioxydant (DPA) n'a pas été influencé par le temps d'affinage. Les valeurs de DPA dans tous les échantillons du fromage ont été toujours inférieures au seuil minimum de stabilité oxydative du cholestérol de 7×10^{-3} suggéré par MANZI et PIZZOFERRATO. (2010).

La comparaison des deux profils aromatiques du fromage *Bouhezza* résultant des deux techniques d'extraction (SPME-Distillation) combinés à la CPG- Olfactométrie a permis de conclure que les deux techniques d'extraction sont complémentaires pour définir le profil aromatique complet du *Bouhezza*. Au cours de l'affinage du *Bouhezza*, les deux techniques ont montré l'augmentation progressive du nombre de composés aromatiques. Le profil aromatique du fromage a été caractérisé par la détection de 60 COAs avec dominance des

esters et des terpènes. nous avons remarqué que le profil aromatique du fromage a été influencé par le temps d'affinage et la technique d'extraction.

Les résultats des deux techniques ont montré l'augmentation progressive du nombre d'alcools, d'esters, de composés hétérocycliques, de cétones, de soufres, de terpènes et de thiazoles durant l'affinage du fromage. Les thiazoles et les composés soufrés ont été mieux révélés par la technique SPME. Cependant, les composés hétérocycliques ont été exclusivement révélés à l'aide de la distillation à la vapeur

L'analyse sensorielle décrit le *Bouhezza* de chèvre comme fromage à pâte molle tartenable et soluble dans la bouche avec un goût légèrement piquant, moyennement salé et un astringent prononcé.

En prenant en considération tous les résultats de ce travail de recherche, nous concluons qu'il existe un lien entre le pâturage qui est l'élément représentatif du terroir et les caractéristiques aromatiques du *Bouhezza* de chèvre. Environ un tiers du total des composés aromatiques déterminés dans les plantes ont été également identifiés dans le *Bouhezza* au lait de chèvres paissant sur le même pâturage au cours de la période de production du fromage donc l'hypothèse avancée sur le transfert possible de composés de l'herbe vers le fromage contribuant à l'arôme du fromage se vérifie. De plus, la part de pâturage dans l'alimentation des chèvres a été estimée en mesurant le Degré de Protection Antioxydant (DPA). Les valeurs de DPA (environ de 6×10^{-3}) indiquent que les fromages *Bouhezza* proviennent de lait de chèvre nourries au pâturage intégré à des aliments supplémentaires.

Notre travail a pu apporter une partie de la réponse avancée en introduction. D'autres études complémentaires sont nécessaires pour plus de lien entre le fromage et le terroir dont il est issu. Il reste cependant à confirmer certains résultats par analyse quantitatives et aussi à valider les hypothèses sur l'influence du pâturage sur les caractéristiques aromatiques du fromage. Aussi, l'origine et l'influence des terpènes ou d'autres facteurs chimiques ou microbiologiques présents dans les fromages sur l'activité microbienne méritent des investigations approfondies. En dernier, une étude complémentaire sur le comportement alimentaire des chèvres aux pâturages ainsi que la caractérisation du profil d'acide gras durant l'affinage est importante pour mieux cerner l'origine de certains composés d'arômes du *Bouhezza*.

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

A

A.F.N.O.R., 1995 Contrôle de la qualité des produits alimentaires. Analyse sensorielle. Recueil de normes françaises, 5ème édition, Paris : La Défense, 400 p.

ABILLEIRA, E., SCHLICHOTHERLE-CERNY, H., VIRTO, M., DE RENOBALLES, M., & BARRON, L. J. R. (2010). Volatile composition and aroma-active compounds of farmhouse Idiazabal cheese made in winter and spring. *International dairy journal*, 20(8), 537-544.

ABILLEIRA, E., VIRTO, M., NÁJERA, A. I., ALBISU, M., PÉREZ-ELORTONDO, F. J., DE GORDOA, J. C. R., ... & BARRON, L. J. R. (2011). Effects of seasonal changes in feeding management under part-time grazing on terpene concentrations of ewes' milk. *The Journal of dairy research*, 78(2), 129.

ACREE, T. E., & BARNARD, J. (1994). Gas chromatography-olfactometry using charm analysis. In Maarse, H. (Ed.), Trends in flavor Research. *Proceedings of 7th Weurman Flavour Research Symposium* (pp. 211–220): Elsevier.

ACREE, T. E., BUTTS, R. M., NELSON, R. R., AND LEE, C. Y. (1976). Sniffer to determine the odor of gas chromatographic effluents. *Analytical Chemistry*, 48(12), 1821–1822.

ADDIS, M., PINNA, G., MOLLE, G., FIORI, M., SPADA, S., DECANDIA, M., ... & PIRISI, A. (2006). The inclusion of a daisy plant (*Chrysanthemum coronarium*) in dairy sheep diet: 2. Effect on the volatile fraction of milk and cheese. *Livestock Science*, 101(1-3), 68-80.

AGABRIEL, J., POMIÈS, D., NOZIÈRES, M. O., & FAVERDIN, P. (2007). Alimentation des bovins, ovins et caprins : Besoins des animaux–Valeurs des aliments. *Tables Inra*.

AHARON, H., HENKIN, Z., UNGAR, E. D., KABABYA, D., BARAM, H., & PEREVOLOTSKY, A. (2007). Foraging behaviour of the newly introduced Boer goat breed in a Mediterranean woodland: A research observation. *Small Ruminant Research*, 69(1-3), 144-153.

AISSAOUI ZITOUN, O., BENATALLAH, L., GHENNAM, E., ZIDOUNE, M.N. (2011). Manufacture and characteristics of the traditional Algerian ripened *Bouhezza* cheese. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 9, 96-100.

AISSAOUI ZITOUN, O., CARPINO, S., RAPISARDA, T., BELVEDERE, G., LICITRA, G., ZIDOUNE, M.N.E. (2016). Use of smart nose and GC/MS/O analysis to define volatile fingerprint of a goatskin bag cheese “*Bouhezza*”. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(11), 746-754.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AISSAOUI ZITOUN, O., PEDILIGGIERI, C., BENATALLAH, L., LORTAL, S., LICITRA, G., ZIDOUNE, M.N., CARPINO, S. (2012). *Bouhezza*, a traditional Algerian raw milk cheese, made and ripened in goatskin bags. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 10(2), 289-295.
- AISSAOUI-ZITOUN, O. (2014). Fabrication et caractérisation d'un fromage traditionnel Algérien Bouhezza. *Thèse de doctorat*, (INATAA) Université des Frères Mentouri-Constantine. 159pages.
- AIT KADIE M., & BRULHET J., (2010). Terroir et origine, leçons d'une lecture croisée des expériences, du Maroc et de la France pour une méditerranée durable.
- AIT SAID, S., FERNANDEZ, C., GREFF, S., DERRIDJ, A., GAUQUELIN, T., & MEVY, J. P. (2011). Inter-population variability of leaf morpho-anatomical and terpenoid patterns of *Pistacia atlantica* Desf. ssp. *atlantica* growing along an aridity gradient in Algeria. *Flora*, 206(4), 397–405.
- AJMAL, M., NADEEM, M., IMRAN, M., & JUNAID, M. (2018). Lipid compositional changes and oxidation status of ultra-high temperature treated Milk. *Lipids in health and disease*, 17(1), 1-11.
- ALCAIDE, E. M., GARCÍA, A. M., & AGUILERA, J. F. (2000). A comparative study of nutrient digestibility, kinetics of degradation and passage and rumen fermentation pattern in goats and sheep offered good quality diets. *Livestock Production Science*, 64(2-3), 215-223.
- ALCAIDE, E. M., GARCÍA, M. A., & AGUILERA, J. F. (1997). The voluntary intake and rumen digestion by grazing goats and sheep of a low-quality pasture from a semi-arid land. *Livestock Production Science*, 52(1), 39-47.
- ALLAIRE G. (2009). « Diversité des Indications Géographiques et positionnement dans le nouveau régime de commerce international », *Options Méditerranéennes*, N. 89. pp. 53-65
- ALLAIRE, G. (2013). Les communs comme infrastructure institutionnelle de l'économie marchande. *Revue de la régulation. Capitalisme, institutions, pouvoirs*, (14).
- ALLEGRETTI, L., SARTOR, C., LAMA, S. P., EGEEA, V., FUCILI, M., & PASSERA, C. (2012). Effect of the physiological state of Criollo goats on the botanical composition of their diet in NE Mendoza, Argentina. *Small Ruminant Research*, 103(2-3), 152-157.
- ALOTHMAN, M., HOGAN, S. A., HENNESSY, D., DILLON, P., KILCAWLEY, K. N., O'DONOVAN, M., ... & O'CALLAGHAN, T. F. (2019). The “Grass-Fed” Milk Story:

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Understanding the Impact of Pasture Feeding on the Composition and Quality of Bovine Milk. *Foods*, 8(8), 350.

ANDRIKOPOULOS, N.K., KALOGEROPOULOS, N., ZERVA, A., ZERVA, U., HASSAPIDOU, M., & KAPOULAS V.M. (2003). Evaluation of cholesterol and other nutrient parameters of Greek cheese varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 16, 155–167.

ANIMUT, G., GOETSCH, A. L., AIKEN, G. E., PUCHALA, R., DETWEILER, G., KREHBIEL, C. R., ... & GIPSON, T. A. (2005). Performance and forage selectivity of sheep and goats co-grazing grass/forb pastures at three stocking rates. *Small Ruminant Research*, 59(2-3), 203-215.

APHA. (2004). Newly revised manual updates methods to test and detect safety hazards in milk products. In H. M. Wehr, & J. H. Frank (Eds.), *Standard methods for the examination of dairy products* (17th ed., pp. 452e453). Washington, DC, USA: American Public Health Association.

APREA, E., ROMANZIN, A., CORAZZIN, M., FAVOTTO, S., BETTA, E., GASPERI, F., & BOVOLENTA, S. (2016). Effects of grazing cow diet on volatile compounds as well as physicochemical and sensory characteristics of 12-month-ripened Montasio cheese. *Journal of dairy science*, 99(8), 6180-6190.

ARN, H., & ACREE, T. E. (1997). Flavornet. <http://acree.foodscience.cornell.edu/flavornet.html>. Accessed on June 4th, 2020.

ARSENOS, G., HILLS, J., & KYRIAZAKIS, I. (2000a). Conditioned feeding responses of sheep towards flavored foods associated with casein administration: The role of long delay learning. *Animal Science*, 70(1),157–169.

ARSENOS, G., KYRIAZAKIS, I., & TOLKAMP, B. J. (2000b). Conditioned feeding responses of sheeptowards flavored foods associated with the administration of ruminally degradable and/or undegradable protein sources. *Animal Science*, 71(3), 597–606.

AUDIGIE, C. L., FIGARELLA, J., & ZONSHAIN, F. (1986). *Manipulations d'analyse biochimique* (No. 574.192 AUDm). Paris: Doin, 274 p

AUTY, M. (2011). Microscopy (Microstructure of Milk Constituents and Products) *Analytical Methods*, 226-234.

B

- BARHAM, E. (2003). Translating terroir: the global challenge of French AOC labeling. *Journal of rural studies*, 19(1), 127-138.
- BARJOLLE, D., BOISSEAUX, S., & DUFOUR, M. (1998). Le lien au terroir. Bilan des travaux de recherche. *Ecole polytechnique fédérale de Zurich, Institut d'économie rurale, Suisse* (www.originfood.org/pdf/wp1/wp1-ch.pdf).
- BARRON, L. J. R., ALDAI, N., VIRTO, M., and DE RENOBABLES, M. (2018). Cheeses with Protected Land-and Tradition-Related Labels: Traceability and Authentication. *Global Cheesemaking Technology*, 100.
- BARTOLOMÉ, J., FRANCH, J., PLAIXATS, J., & SELIGMAN, N. G. (1998). Diet selection by sheep and goats on Mediterranean heath-woodland range. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 51(4), 383-391.
- BASHA, N. A. D., SCOGINGS, P. F., DZIBA, L. E., & NSAHLAI, I. V. (2012). Diet selection of Nguni goats in relation to season, chemistry and physical properties of browse in sub-humid subtropical savanna. *Small Ruminant Research*, 102(2-3), 163-171.
- BAUMONT, R., DOREAU, M., INGRAND, S., VEISSIER, I., & BELS, V. (2006). Feeding and mastication behavior in ruminants. *Feeding in domestic vertebrates: from structure to behavior*, 241-262.
- BAUMONT, R., PRACHE, S., MEURET, M., & MORAND-FEHR, P. (2000). How forage characteristics influence behavior and intake in small ruminants: a review. *Livestock Production Science*, 64(1), 15-28.
- BELBELDI, A. (2013). Contribution à la caractérisation du fromage *Bouhezza* : Contenu lipidique et vitamines. *Memoire de Diplôme en Sciences Alimentaires*, Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires (INATAA), Constantine.
- BELHATTAB, R., AMOR, L., BARROSO, J. G., PEDRO, L. G., & FIGUEIREDO, A. C. (2014). Essential oil from *Artemisia herba-alba* Asso grown wild in Algeria: Variability assessment and comparison with an updated literature survey. *Arabian Journal of Chemistry*, 7(2), 243-251.
- BELOVSKY, G. E., SCHMITZ, O. J., SLADE, J. B., & DAWSON, T. J. (1991). Effects of spines and thorns on Australian arid zone herbivores of different body masses. *Oecologia*, 88(4), 521-528.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BELVISO, S., GIORDANO, M., DOLCI, P., & ZEPPA, G. (2011). Degradation and biosynthesis of terpenoids by lactic bacteria isolated from cheese: first evidence. *Dairy Science & Technology*, 91, 227-236.
- BENHAMICHE-HANIFI, S., & MOULAÏ, R. (2012). Analyse des phytocénoses des systèmes insulaires des régions de Béjaia et de Jijel (Algérie) en présence du Goéland leucopnée (*Larus michahellis*). *Revue Ecologie (Terre & Vie)*, 67, 375–397.
- BERARD, L., & MARCHENAY, P. (2007). *Produits de terroir-Comprendre et agir* (p. 64). CNRS–Ressources des terroirs-Cultures, usages, sociétés.
- BERNARD, L., BONNET, M., DELAVAUD, C., DELOSIERE, M., FERLAY, A., FOUGERE, H., GRAULET, B. (2018). Milk fat globule in ruminant: Major and minor compounds, nutritional regulation and differences among species. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 120(5), 1700039.
- BLAMEY, M., & GREY-WILSON, C. (2009). *Toutes les fleurs de Méditerranée: Les fleurs, les graminées, les arbres et arbustes*, 3rd ed. Delachaux et Niestlé.
- BLANC, F., DUMONT, B., BRUNSCHWIG, G., BOCQUIER, F., & AGABRIEL, J. (2010). Robustesse, flexibilité, plasticité : des processus adaptatifs révélés dans les systèmes d'élevage extensifs de ruminants. *INRAE Productions Animales*, 23(1).65-80
- BOLTAR, I., MAJHENIČ, A. Č., JARNI, K., JUG, T., & KRALJ, M. B. (2015). Volatile compounds in Nano's cheese: Their formation during ripening and seasonal variation. *Journal of Food Science and Technology*, 52(1), 608– 623.
- BONTINIS, T. G., MALLATOU, H., PAPPAS, E. C., MASSOURAS, T., ALICHANIDIS, E. (2012). Study of proteolysis, lipolysis and volatile profile of a traditional Greek goat cheese (Xinotyri) during ripening. *Small Ruminant Research*, 105(1-3), 193-201.
- BOOB, M., TRUCKSES, B., SEITHER, M., ELSÄBER, M., THUMM, U., & LEWANDOWSKI, I. (2019). Management effects on botanical composition of species-rich meadows within the Natura 2000 network. *Biodiversity and Conservation*, 28(3), 729–750.
- BOSSET, J. O., BÜTIKOFER, U., GAUCH, R., & SIEBER, R. (1994). Caractérisation de fromages d'alpages subalpins suisses : mise en évidence par GC-MS de terpènes et d'hydrocarbures aliphatiques lors de l'analyse par "Purge and Trap" des arômes volatils de ces fromages. *Forschung*, 23, 37-41.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOUALLALA, M., BRADAI, L., & CHENCHOUNI, H. (2021). Effects of sand encroachment on vegetation diversity in the Sahara Desert. In H. Chenchouni, H. I. Chaminé, M. F. Khan, B. J. Merkel, Z. Zhang, P. Li, A. Kallel, & N. Khélifi (Eds.), *New Prospects in environmental geosciences and hydrogeosciences*. Cham, Switzerland: Springer.
- BOUALLALA, M., NEFFAR, S., & CHENCHOUNI, H. (2020). Vegetation traits are accurate indicators of how do plants beat the heat in drylands: Diversity and functional traits of vegetation associated with water towers in the Sahara Desert. *Ecological Indicators*, *114*, 106364.
- BOUTAOUI, N., ZAITER, L., BENAYACHE, F., BENAYACHE, S., CARRADORI, S., CESA, S., ... LOCATELLI, M. (2018). Qualitative and quantitative phytochemical analysis of different extracts from *Thymus algeriensis* aerial parts. *Molecules*, *23*(2), 463.
- BOUTERFA, A., BEKADA, A., HOMRANI, A., BENGUENDOZ, A., HOMRANI, A., AMRANE, A., ... & BENABDELMOUMENE, D. (2019). Influence of lactation stage on lipids and fatty acids profile of artisanal Algerian Camembert-type cheese manufactured with cow's milk. *South Asian J. Exp. Biol*, *9* (1), 17-22.
- BOUVIER, F., RAHIER, A., and CAMARA, B. (2005). Biogenesis, molecular regulation and function of plant isoprenoids. *Progress in lipid research*, *44*(6), 357-429.
- BOVOLENTA, S., ROMANZIN, A., CORAZZIN, M., SPANGHERO, M., APREA, E., GASPERI, F., & PIASENTIER, E. (2014). Volatile compounds and sensory properties of Montasio cheese made from the milk of Simmental cows grazing on alpine pastures. *Journal of Dairy Science*, *97*(12), 7373–7385.
- BOZOUDI, D., KONDYLI, E., CLAPS, S., HATZIKAMARI, M., MICHAELIDOU, A., BILIADERIS, C.G., & LITOPOULOU-TZANETAKI, E. (2018). Compositional characteristics and volatile organic compounds of traditional PDO Feta cheese made in two different mountainous areas of Greece. *International Journal of Dairy Technology*, *71*(3), 673–682.
- BRADAI, L., BOUALLALA, M., BOUZIANE, N. F., ZAOU, S., NEFFAR, S., & CHENCHOUNI, H. (2015). An appraisal of eremophyte diversity and plant traits in a rocky desert of the Sahara. *Folia Geobotanica*, *50*(3), 239–252.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BROUDISCOU, L. P., CORNU, A., & ROUZEAU, A. (2007). In vitro degradation of 10 mono-and sesquiterpenes of plant origin by caprine rumen micro-organisms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(9), 1653-1658.

BUCHIN, S., & BEUVIER, E. (2000). La spécificité des fromages au lait cru : le rôle de la microflore naturelle du lait. *Renc. Rech. Ruminants*, 7, 361-363.

BUCHIN, S., MARTIN, B., DUPONT, D., BORNARD, A., & ACHILLEOS, C. (1999). Influence of the composition of Alpine highland pasture on the chemical, rheological and sensory properties of cheese. *Journal of Dairy Research*, 66(4), 579-588.

BUGAUD, C., BUCHIN, S., COULON, J. B., HAUWUY, A., & DUPONT, D. (2001a). Influence of the nature of alpine pastures on plasmin activity, fatty acid and volatile compound composition of milk. *Le Lait*, 81(3), 401-414.

BUGAUD, C., BUCHIN, S., HAUWUY, A., & COULON, J. B. (2001b). Relationships between flavor and chemical composition of Abondance cheese derived from different types of pastures. *Le Lait*, 81(6), 757-773.

BUGAUD, C., BUCHIN, S., HAUWUY, A., & COULON, J. B. (2002). Texture et flaveur du fromage selon la nature du pâturage : cas du fromage d'Abondance. *Productions Animales*, 1 (15), 31-36.

BURBANK, H.M., QIAN, M. C. (2005). Volatile sulfur compounds in Cheddar cheese determined by headspace solid-phase microextraction and gas chromatograph-pulsed flame photometric detection. *Journal of Chromatography A*, 1066(1-2), 149-157.

C

CAIS-SOKOLINSKA, D., & RUDZINSKA M. (2018). Short communication: Cholesterol oxidation products in traditional buttermilk. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3829–3834.

CANTALAPIEDRA-HIJAR, G., YAÑEZ-RUIZ, D. R., MARTIN-GARCIA, A. I., & MOLINA-ALCAIDE, E. (2009). Effects of forage: concentrate ratio and forage type on apparent digestibility, ruminal fermentation, and microbial growth in goats. *Journal of Animal Science*, 87(2), 622-631.

CARPINO, S., HORNE, J., MELILLI, C., LICITRA, G., BARBANO, D. M., & VAN SOEST, P. J. (2004b). Contribution of native pasture to the sensory properties of Ragusano cheese. *Journal of Dairy Science*, 87(2), 308-315.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CARPINO, S., LICITRA, G., & VAN SOEST, P. J. (2003). Selection of forage species by dairy cattle on complex Sicilian pasture. *Animal Feed Science and Technology*, 105(1–4), 205–214.
- CARPINO, S., MALLIA, S., LA TERRA, S., MELILLI, C., LICITRA, G., ACREE, T. E., ... & VAN SOEST, P. J. (2004c). Composition and aroma compounds of Ragusano cheese: native pasture and total mixed rations. *Journal of Dairy Science*, 87(4), 816-830.
- CARPINO, S., MALLIA, S., LICITRA, G., VAN SOEST, P. J., & ACREE, T. E. (2004a). Aroma compounds of some Hyblean pasture species. *Flavour and fragrance journal*, 19(4), 293-297.
- CHEBLI, Y., CHENTOUF, M., CABARAUX, J. F., & HORNICK, J. L. (2016). Use of new technology to estimate the grazing behavior of goats in northern morocco. *Proceedings of the 3rd FARAH Day, Faculty of Veterinary Medicine*, 61.
- CHENCHOUNI, H. (2017). Edaphic factors controlling the distribution of inland halophytes in an ephemeral Salt Lake “Sabkha ecosystem” at North African semi-arid lands. *Science of the Total Environment*, 575, 660–671.
- CHERIET, F. (2017). La valorisation des produits de terroir en Algérie : démarches en cours, contraintes institutionnelles et perspectives. *WORKING PAPER MOISA. UMR MOISA : Marchés, Organisations, Institutions et Stratégies d'Acteurs : CIHEAM-IAMM, CIRAD, INRA, Montpellier SupAgro - Montpellier, France. (No. 914-2016-72310)*
- CHILLIARD, Y., BAUCHART, D., LESSIRE, M., SCHMIDELY, P., & MOUROT, J. (2008). Qualité des produits : modulation par l'alimentation des animaux de la composition en acides gras du lait et de la viande. *INRA Prod Anim*, 21, 95-106.
- CHILLIARD, Y., GAGLIOSTRO, G., FLECHET, J., LEFAIVRE, J., & SEBASTIAN, I. (1991). Duodenal rapeseed oil infusion in early and mi lactation cows. 5. Milk fatty acids and adipose tissue lipogenic activities. *Journal of Dairy Science*, 74(6), 1844-1854.
- CHILLIARD, Y., GLASSER, F., FERLAY, A., BERNARD, L., ROUEL, J., & DOREAU, M. (2007). Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109(8), 828-855.
- CHILLIARD, Y., ROUEL, J., FERLAY, A., BERNARD, L., GABORIT, P., RAYNAL-LJUTOVAC, K., ... & LEROUX, C. (2006). Optimizing goat's milk and cheese fatty acid composition. In *Improving the fat content of foods* (pp. 281-312). Woodhead Publishing.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CHILLIARD, Y., TORAL, P. G., SHINGFIELD, K. J., ROUEL, J., LEROUX, C., & BERNARD, L. (2014). Effects of diet and physiological factors on milk fat synthesis, milk fat composition and lipolysis in the goat: A short review. *Small Ruminant Research*, 122(1-3), 31-37.
- CHION, A. R., TABACCO, E., GIACCONE, D., PEIRETTI, P. G., BATTELLI, G., & BORREANI, G. (2010). Variation of fatty acid and terpene profiles in mountain milk and “Toma piemontese” cheese as affected by diet composition in different seasons. *Food Chemistry*, 121(2), 393-399.
- CHMELOVÁ, Š. (2010). Aldehydes in maize and grass silages. 14th Int. Symp. Forage Conservation Brno, Czech Rep., March 17–19.
- COLLOMB, M., BÜTIKOFER, U., SIEBER, R., JEANGROS, B., & BOSSET, J. O. (2002). Correlation between fatty acids in cows' milk fat produced in the Lowlands, Mountains and Highlands of Switzerland and botanical composition of the fodder. *International Dairy Journal*, 12(8), 661-666.
- COPANI, V., GUARNACCIA, P., BIONDI, L., LESINA, S. C., LONGO, S., TESTA, G., & COSENTINO, S. L. (2015). Pasture quality and cheese traceability index of Ragusano PDO cheese. *Italian Journal of Agronomy*, 10(4), 667.
- COPPA, M., CHASSAING, C., SIBRA, C., CORNU, A., VERBIČ, J., GOLECKÝ, J., ...MARTIN, B. (2019). Forage system is the key driver of mountain milk specificity. *Journal of Dairy Science*, 102(11), 10483–10499.
- COPPA, M., FERLAY, A., BORREANI, G., REVELLO-CHION, A., TABACCO, E., TORNAMBÉ, G., ... & MARTIN, B. (2015). Effect of phenological stage and proportion of fresh herbage in cow diets on milk fatty acid composition. *Animal Feed Science and Technology*, 208, 66-78.
- COPPA, M., FERLAY, A., MONSALLIER, F., VERDIER-METZ, I., PRADEL, P., DIDIENNE, R., ... & MARTIN, B. (2011b). Milk fatty acid composition and cheese texture and appearance from cows fed hay or different grazing systems on upland pastures. *Journal of dairy science*, 94(3), 1132-1145.
- COPPA, M., FERLAY, A., MONSALLIER, F., VERDIER-METZ, I., PRADEL, P., DIDIENNE, R., ... & FARRUGGIA, A. (2012). Le système de pâturage influence-t-il les caractéristiques nutritionnelles et sensorielles des fromages ? *Fourrages*, 209, 33-41.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- COPPA, M., VERDIER-METZ, I., FERLAY, A., PRADEL, P., DIDIENNE, R., FARRUGGIA, A., ... & MARTIN, B. (2011a). Effect of different grazing systems on upland pastures compared with hay diet on cheese sensory properties evaluated at different ripening times. *International Dairy Journal*, 21(10), 815-822.
- CORNU, A., CARNAT, A. P., MARTIN, B., COULON, J. B., LAMAISON, J. L., & BERDAGUE, J. L. (2001). Solid-phase microextraction of volatile components from natural grassland plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(1), 203-209.
- COULON, J. B., & PRIOLO, A. (2002). Influence of forage feeding on the composition and organoleptic properties of meat and dairy products: bases for a “terroir” effect. *Grassland Science in Europe*, 7, 513-524.
- COULON, J. B., DELACROIX-BUCHET, A., MARTIN, B., & PIRISI, A. (2005). Facteurs de production et qualité sensorielle des fromages. *INRA Prod. Anim*, 18(1), 49-62.
- COULON, J. B., DELACROIX-BUCHET, A., MARTIN, B., & PIRISI, A. (2004). Relationships between ruminant management and sensory characteristics of cheeses: a review. *Le Lait*, 84(3), 221-241.
- COUVREUR, S., & HURTAUD, C. (2007). Le globule gras du lait : sécrétion, composition, fonctions et facteurs de variation. *INRA Prod. Anim*, 20, 365-382.
- COUVREUR, S., HURTAUD, C., LOPEZ, C., DELABY, L., & PEYRAUD, J. L. (2006). The linear relationship between the proportion of fresh grass in the cow diet, milk fatty acid composition, and butter properties. *Journal of Dairy Science*, 89(6), 1956-1969.
- CURIONI, P. M. G., & BOSSET, J. O. (2002). Key odorants in various cheese types as determined by gas chromatography-olfactometry. *International Dairy Journal*, 12(12), 959–984.

D

- DE NONI, I., & BATTELLI, G. (2008). Terpenes and fatty acid profiles of milk fat and “Bitto” cheese as affected by transhumance of cows on different mountain pastures. *Food chemistry*, 109(2), 299-309.
- DECANDIA, M., YIAKOULAKI, M. D., PINNA, G., CABIDDU, A., & MOLLE, G. (2008). Foraging behaviour and intake of goats browsing on Mediterranean shrublands. *Dairy Goats Feeding and Nutrition*. Oxfordshire: CABI, 161-88.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DELAHUNTY, C. M., EYRES, G., & DUFOUR, J. P. (2006). Gas chromatography-olfactometry. *Journal of Separation Science*, 29, 2107e2125
- DELGADO, F.J., GONZÁLEZ-CRESPO, J., CAVA, R., RAMÍREZ, R. (2011). Formation of the aroma of a raw goat milk cheese during maturation analysed by SPME–GC–MS. *Food Chemistry*, 129(3), 1156-1163.
- DELGADO, F.J., GONZÁLEZ-CRESPO, J., RAMÍREZ, R., CAVA, R. (2013). The aromatic profile of cheese during ripening: a focus on goats' cheese. In: V.R. Preedy, R.R. Watson V.B. Patel (Eds.), *Handbook of cheese in health: Production, nutrition and medical sciences*. Wageningen Academic Publishers, pp. 4545-4554.
- DERBALI, E., MAKHLOUF, J., & VEZINA, L. P. (1998). Biosynthesis of sulfur volatile compounds in broccoli seedlings stored under anaerobic conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 13(3), 191-204.
- DEWHURST, R. J., SHINGFIELD, K. J., LEE, M. R., & SCOLLAN, N. D. (2006). Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Animal Feed Science and Technology*, 131(3-4), 168-206.
- DOMINGUE, B. F., DELLOW, D. W., & BARRY, T. N. (1991). Voluntary intake and rumen digestion of a low-quality roughage by goats and sheep. *The Journal of Agricultural Science*, 117(1), 111-120.
- DOUGHERTY, R. W., SHIPE, W. F., GUDNASON, G. V., LEDFORD, R. A., PETERSON, R. D., & SCARPELLINO, R. (1962). Physiological mechanisms involved in transmitting flavors and odors to milk. I. Contribution of eructated gases to milk flavor. *Journal of dairy science*, 45(4), 472-476.
- DUMONT, B., MEURET, M., & PRUD'HON, M. (1995). Direct observation of biting for studying grazing behavior of goats and llamas on garrigue rangelands. *Small Ruminant Research*, 16(1), 27-35.
- DZIBA, L. E., & PROVENZA, F. D. (2008). Dietary monoterpene concentrations influence feeding patterns of lambs. *Applied Animal Behavior Science*, 109, 49–57.
- DZIBA, L. E., SCOGINGS, P. F., GORDON, I. J., & RAATS, J. G. (2003). Effects of season and breed on browse species intake rates and diet selection by goats in the False Thornveld of the Eastern Cape, South Africa. *Small Ruminant Research*, 47(1), 17-30.

E

EL AICH, A., EL ASSOULI, N., FATHI, A., MORAND-FEHR, P., & BOURBOUZE, A. (2007). Ingestive behavior of goats grazing in the Southwestern Argan (*Argania spinosa*) forest of Morocco. *Small Ruminant Research*, 70(2-3), 248-256.

ELLIS, C. R., JONES, R. E., SCOTT, C. B., TAYLOR, C. A. JR, WALKER, J. W., & WALDRON, D. F. (2005). Sire influence on juniper consumption by goats. *Rangeland Ecology & Management*, 58(3), 324–328.

ESTELL, R. E., FREDRICKSON, E. L., ANDERSON, D. M., HAVSTAD, K. M., & REMMENGA, M. D. (1996). Tarbush leaf surface terpene profile in relation to mammalian herbivory. In: Barrow, J. R., McArthur, E. D., Sosebee, R. E., & Tausch, R. J. (Eds), *Proceedings of Symposium Shrubland Ecosystem Dynamics in a Changing Climate* (pp. 237–241). General Technical Report INT-GTR-338: Intermountain Research Station, Forest Service, USDA.

ESTELL, R. E., FREDRICKSON, E. L., ANDERSON, D. M., HAVSTAD, K. M., & REMMENGA, M. D. (2005). Effect of previous exposure of sheep to monoterpene odors on intake of alfalfa pellets treated with camphor or α -pinene. *Small Ruminant Research*, 58(1), 33–38.

F

FALAKI, R., TAJBAKHSI, M., & GHOLLASIMOOD, S. (2014). Biodiversity evaluation of rangelands ecosystems to achieve sustainable development (Case study: Dastgerd Watershed, Birjand, Iran). *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 5, 268–275.

FARRUGGIA, A., MARTIN, B., BAUMONT, R., PRACHE, S., DOREAU, M., HOSTE, H., & DURAND, D. (2008). Quels intérêts de la diversité floristique des prairies permanentes pour les ruminants et les produits animaux. *Productions Animales*, 21, 181-200.

FAULKNER, H., O'CALLAGHAN, T. F., MCAULIFFE, S., HENNESSY, D., STANTON, C., O'SULLIVAN, M. G., ... & KILCAWLEY, K. N. (2018). Effect of different forage types on the volatile and sensory properties of bovine milk. *Journal of Dairy Science*, 101(2), 1034-1047.

FEDELE, V., PIZZILLO, M., CLAPS, S., MORAND-FEHR, P., & RUBINO, R. (1993). Grazing behavior and diet selection of goats on native pasture in Southern Italy. *Small Ruminant Research*, 11(4), 305-322.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- FERLAY, A., AGABRIEL, C., SIBRA, C., MARTIN, B., & CHILLIARD, Y. (2008). Tanker milk variability in fatty acids according to farm feeding and husbandry practices in a French semi-mountain area. *Dairy Science & Technology*, 88(2), 193-215.
- FERLAY, A., GLASSER, F., MARTIN, B., ANDUEZA, D., & CHILLIARD, Y. (2011). Effects of feeding factors and breed on cow milk fatty acid composition: Recent data. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, 68(2).
- FERLAY, A., MARTIN, B., PRADEL, P., COULON, J. B., & CHILLIARD, Y. (2006). Influence of grass-based diets on milk fatty acid composition and milk lipolytic system in Tarentaise and Montbéliarde cow breeds. *Journal of Dairy Science*, 89(10), 4026-4041.
- FLORES, M., & CORRAL, S. (2017). Olfactometry detection of aroma compounds. In F. Toldr_a, & L. M. L. Nollet (Eds.), *Advances in food diagnostics* (pp. 379e400). Chichester, UK: Wiley Publishing
- FORT, F., & RASTOIN, J. L. (2009). Marchés agroalimentaires, choix du consommateur et stratégies d'entreprises fondées sur le territoire : le modèle européen des indications géographiques. *Options méditerranéennes*, (89), 93-119.
- FOX, P. F., COGAN, T. M., & GUINEE, T. P. (2017b). Factors that affect the quality of cheese. In P. L. H. McSweeney, P. F. Fox, P. D. Cotter, & D. W. Everett (Eds.), *Cheese: Chemistry, physics and microbiology* (pp. 617-641). San Diego, CA, USA: Academic Press.
- FRÉTIN, M., MARTIN, B., BUCHIN, S., DESSERRE, B., LAVIGNE, R., TIXIER, E., ... & FERLAY, A. (2019). Milk fat composition modifies the texture and appearance of Cantal-type cheeses but not their flavor. *Journal of dairy science*, 102(2), 1131-1143.

G

- GALBETE, C., SCHWINGSHACKL, L., SCHWEDHELM, C., BOEING, H., & SCHULZE, M. B. (2018). Evaluating Mediterranean diet and risk of chronic disease in cohort studies: An umbrella review of meta-analyses. *European journal of epidemiology*, 33(10), 909-931.
- GALLOIS, A., LANGLOIS, D. (1990). New results in the volatile odorous compounds of French cheeses. *Le Lait*, 70(2), 89-106
- GAUJOUR, E., AMIAUD, B., MIGNOLET, C., & PLANTUREUX, S. (2012). Factors and processes affecting plant biodiversity in permanent grasslands. *A Review. Agronomy for Sustainable Development*, 32(1), 133–160.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- GLASSER, T. A., LANDAU, S. Y., UNGAR, E. D., PEREVOLOTSKY, A., DVASH, L., MUKLADA, H., ... & WALKER, J. W. (2012). Foraging selectivity of three goat breeds in a Mediterranean shrubland. *Small Ruminant Research*, 102(1), 7-12.
- GOETSCH, A. L., GIPSON, T. A., ASKAR, A. R., & PUCHALA, R. (2010). Invited review: Feeding behavior of goats. *Journal of animal science*, 88(1), 361-373.
- GONZÁLEZ-MARTÍN, I., HERNÁNDEZ-HIERRO, J.M., REVILLA, I., VIVAR-QUINTANA, A., & LOBOS ORTEGA, I. (2011). The mineral composition (Ca, P, Mg, K, Na) in cheeses (cow's, ewe's and goat's) with different ripening times using near infrared spectroscopy with a fibre-optic probe. *Food Chemistry*, 127, 147–152.
- GOTTARDO, P., PENASA, M., RIGHI, F., LOPEZ-VILLALOBOS, N., CASSANDRO, M., & DE MARCHI, M. (2017). Fatty acid composition of milk from Holstein-Friesian, Brown Swiss, Simmental and Alpine Grey cows predicted by mid-infrared spectroscopy. *Italian Journal of Animal Science*, 16(3), 380-389.
- GRAPPIN, R., & COULON, J. B. (1996). Terroir, lait et fromage : éléments de réflexion. *Rencon. Recher. Rumin*, 3, 21-8.

H

- HADJIPANAYIOTOU, M., & ANTONIOU, T. (1983). A comparison of rumen fermentation patterns in sheep and goats given a variety of diets. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34(12), 1319-1322.
- HAYALOGLU, A. A., TOLU, C., YASAR, K., SAHINGIL, D. (2013). Volatiles and sensory evaluation of goat milk cheese Gokceada as affected by goat breeds (Gokceada and Turkish Saanen) and starter culture systems during ripening. *Journal of Dairy Science*, 96(5), 2765-2780.
- HAYALOGLU, A.A., CAKMAKCI, S., BRECHANY, E.Y., DEEGAN, K.C., MCSWEENEY, P.L.H. (2007). Microbiology, biochemistry, and volatile composition of Tulum cheese ripened in goat's skin or plastic bags. *Journal of Dairy Science*, 90(3), 1102-1121.
- HO, C., & CHEN, Q. (1994). Lipids in food flavors: An overview. In C. Ho, & T. G. Hartman (Eds.), *Lipids Oxidation, Interaction, and Flavors* (pp.2–29). American Chemical Society.
- HOWE, J. C., BARRY, T. N., & POPAY, A. I. (1988). Voluntary intake and digestion of gorse (*Ulex europaeus*) by goats and sheep. *The Journal of Agricultural Science*, 111(1), 107-114.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

HSIEH, J. R. (1994). Contribution of lipoxygenase pathway to food flavors. In C. Ho, & T. G. Hartman (Eds.), *Lipids Oxidation, Interaction and Flavors* (pp. 30–48). American Chemical Society

HUR, S.J., PARK, G.B., & JOO, S.T. (2007). Formation of cholesterol oxidation products (COPs) in animal products. *Food Control*, 18, 939–947.

I

IDF. (2008). Cheese. Determination of fat content e Van Gulik method. IDF bulletin N_222. ISO 3433. Brussels, Belgium: International Dairy Federation.

IDF. (2014). Milk and milk products. Determination of nitrogen content e Kjeldahl principle and crude protein calculation. ISO 8968-1. Brussels, Belgium: International Dairy Federation.

IUSSIG, G., LONATI, M., PROBO, M., HODGE, S., & LOMBARDI, G. (2015). Plant species selection by goats foraging on montane semi-natural grasslands and grazable forestlands in the Italian Alps. *Italian Journal of Animal Science*, 14(3), 3907.

J

JAOUDE, D.A., OLABI, A., NAJM, N. EL O., MALEK, A., SAADEH, C., BAYDOUN, E., & TOUFEILI, I. (2010). Chemical composition, mineral content and cholesterol levels of some regular and reduced-fat white brined cheeses and strained yogurt (Labneh). *Dairy Science and Technology*, 90(6), 699–706.

JEANMONOD, D., SCHLÜSSEL, A., & GAMISANS, J. (2011). Analyse de la flore Corse : Aspects biologiques. *Candollea*, 66(1), 5–25.

K

KABABYA, D., PEREVOLOTSKY, A., BRUCKENTAL, I., & LANDAU, S. (1998). Selection of diets by dual-purpose Mamber goats in Mediterranean woodland. *The Journal of Agricultural Science*, 131(2), 221-228.

KABBOUT, N., MERZOUG, D., & CHENCHOUNI, H. (2016). Ecological status of phlebotomine sandflies (Diptera: Psychodidae) in rural communities of Northeastern Algeria. *Journal of Arthropod-Borne Diseases*, 10(1), 24–38.

KARAGOZLU, C., ASLI, A., BÜLENT, E., GÜLFEM, Ü., HARUN, U., & GÜLŞAH, E. (2016). Cholesterol Levels and Some Nutritional Parameters of Traditional Cheeses in Turkey. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 53 (2), 161–168.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

KELI, A., RIBEIRO, L. P. S., GIPSON, T. A., PUCHALA, R., TESFAI, K., TSUKAHARA, Y., ... & GOETSCH, A. L. (2017). Effects of pasture access regime on performance, grazing behavior, and energy utilization by Alpine goats in early and mid-lactation. *Small Ruminant Research*, 154, 58-69.

KELLY, M. L., KOLVER, E. S., BAUMAN, D. E., VAN AMBURGH, M. E., & MULLER, L. D. (1998). Effect of intake of pasture on concentrations of conjugated linoleic acid in milk of lactating cows. *Journal of dairy science*, 81(6), 1630-1636.

KILCAWLEY, K., FAULKNER, H., CLARKE, H., O'SULLIVAN, M., & KERRY, J. (2018). Factors influencing the flavor of bovine milk and cheese from grass based versus non-grass-based milk production systems. *Foods*, 7(3), 37.

KONDYLI, E., PAPPAS, E. C., & VLACHOU, A. M. (2012). Effect of package type on the composition and volatile compounds of Feta cheese. *Small Ruminant Research*, 108(1-3), 95-101.

KOUBA, Y., MERDAS, S., MOSTEPHAOUI, T., SAADALI, B., & CHENCHOUNI, H. (2021). Plant community composition and structure under short-term grazing exclusion in steppe arid rangelands. *Ecological Indicators*, 120, 106910.

KOVACS, A., DULICSEK, R., VARGA, L., SZIGETI, J., & HERPAI, Z. (2004). Relationship between cholesterol and fat contents of commercial dairy products. *Acta Alimentaria*, 33(4), 387-395.

KOVATS, V. E. (1958). Gas-chromatographische charakterisierung organischer verbindungen. Teil 1: Retentionsindices aliphatischer halogenide, alkohole, aldehyde und ketone. *Helvetica Chimica Acta*, 41(7), 1915-1932.

L

LANDAU, S., PEREVOLOTSKY, A., BONFIL, D., BARKAI, D., & SILANIKOVE, N. (2000). Utilization of low-quality resources by small ruminants in Mediterranean agropastoral systems: the case of browse and aftermath cereal stubble. *Livestock Production Science*, 64(1), 39-49.

LARSEN, M. K., KIDMOSE, U., KRISTENSEN, T., BEAUMONT, P., & MORTENSEN, G. (2013). Chemical composition and sensory quality of bovine milk as affected by type of forage and proportion of concentrate in the feed ration. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(1), 93-99.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- LEBOPA, C. K., BOOMKER, E. A., CHIMONYO, M., & MOKOBOKI, H. K. (2011). In sacco dry matter and crude protein degradation of woody plant species in Tswana and Boer goats. *J. Life Sci. P*, 8.
- LEGRAND, S., BOURGEOIS, M., BLANC, K., & GUERRA J, (2010). Le pillage des terroirs : ses différentes formes, pistes de réflexion pour les enrayer, *Mémoire Master Marketing management Business School*, Paris –Singapore.
- LEIBER, F., KREUZER, M., NIGG, D., WETTSTEIN, H. R., & SCHEEDER, M. R. L. (2005). A study on the causes for the elevated n-3 fatty acids in cows' milk of alpine origin. *Lipids*, 40(2), 191-202.
- LEJONKLEV, J., LØKKE, M. M., LARSEN, M. K., MORTENSEN, G., PETERSEN, M. A., WEISBJERG, M. R. (2013). Transfer of terpenes from essential oils into cow milk. *Journal of Dairy Science*, 96(7), 4235-4241.
- LERCH, S., FERLAY, A., GRAULET, B., CIRIE, C., VERDIER-METZ, I., MONTEL, M. C., ... & MARTIN, B. (2015). Extruded linseeds, vitamin E and plant extracts in corn silage-based diets of dairy cows: Effects on sensory properties of raw milk and uncooked pressed cheese. *International Dairy Journal*, 51, 65-74.
- LETABLIER M.T., & NICOLAS F. (1994). Genèse de la typicité, *Sciences des Aliments*, 14 (5), 541-556.
- LICITRA, G., CAMPO, P., MANENTI, M., PORTELLI, G., SCUDERI, S., CARPINO, S., & BARBANO, D. M. (2000). Composition of Ragusano cheese during aging. *Journal of Dairy Science*, 83(3), 404-411.
- LINDEN, G., & CHAMBA, J. F. (1994). Reality and aims of cheese. *Sciences des Aliments (France)*.
- LIU, S., ZHANG, R., KANG, R., MENG, J., & AO, C. (2016). Milk fatty acids profiles and milk production from dairy cows fed different forage quality diets. *Animal Nutrition*, 2(4), 329-333.
- LLUSIA, J., PEÑUELAS, J., ALESSIO, G. A., & ESTIARTE, M. (2006). Seasonal contrasting changes of foliar concentrations of terpenes and other volatile organic compound in four dominant species of a Mediterranean shrubland submitted to a field experimental drought and warming. *Physiologia Plantarum*, 127(4), 632–649.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

LOGAN, A., XU, M., DAY, L., SINGH, T., MOORE, S. C., MAZZONETTO, M., & AUGUSTIN, M. A. (2017). Milk fat globule size affects Cheddar cheese properties. *International dairy journal*, 70, 46-54.

LOURENÇO, M., MOLONEY, A. P., & FIEVEZ, V. (2009). Botanically diverse forages: implications for ruminant product composition and quality. *Pastagens e Forragens*, 30, 119-137.

LU, C. D. (1988). Grazing behavior and diet selection of goats. *Small Ruminant Research*, 1(3), 205-216.

LUCAS, A., ROCK, E., AGABRIEL, C., CHILLIARD, Y., & COULON, J. B. (2008). Relationships between animal species (cow versus goat) and some nutritional constituents in raw milk farmhouse cheeses. *Small Ruminant Research*, 74(1-3), 243-248.

LUCAS, A., ROCK, E., CHAMBA, J. F., VERDIER-METZ, I., BRACHET, P., & COULON, J. B. (2006). Respective effects of milk composition and the cheese-making process on cheese compositional variability in components of nutritional interest. *Le Lait*, 86(1), 21-41.

M

MA, Y., & BARBANO, D.M. (2000). Gravity separation of raw bovine milk: fat globule size distribution and fat content of milk fractions. *Journal of Dairy Science*, 83(8), 1719–1727.

MALLIA, S., ESCHER, F., SCHLICHTERLE-CERNY, H. (2008). Aroma-active compounds of butter: a review. *European Food Research and Technology*, 226(3), 315-325.

MALLIA, S., FERNÁNDEZ-GARCÍA, E., & BOSSET, J. O. (2005). Comparison of purge and trap and solid phase microextraction techniques for studying the volatile aroma compounds of three European PDO hard cheeses. *International Dairy Journal*, 15(6-9), 741-758.

MEHALAINE, S., & CHENCHOUNI, H. (2018). Effect of climatic factors on essential oil accumulation in two Lamiaceae species from Algerian semiarid lands. In *Conference of the Arabian Journal of Geosciences* (pp. 57-60). Springer, Cham.

MEHALAINE, S., & CHENCHOUNI, H. (2019). Effect of climatic factors on essential oil accumulation in two Lamiaceae species from Algerian semiarid lands. In H. Chenchouni, E. Errami, F. Rocha, & L. Sabato (Eds.), *Exploring the Nexus of Geoecology, Geography, Geoarcheology and Geotourism* (pp. 57–60). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01683-8_12

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- MEHALAINE, S., & CHENCHOUNI, H. (2020). Plants of the same place do not have the same metabolic pace: Soil properties affect differently essential oil yields of plants growing wild in semiarid Mediterranean lands. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(23).
- MANOUSIDIS, T., MALESIOS, C., KYRIAZOPOULOS, A. P., PARISSI, Z. M., ABRAHAM, E. M., & ABAS, Z. (2016). A modeling approach for estimating seasonal dietary preferences of goats in a Mediterranean Quercus frainetto–Juniperus oxycedrus woodland. *Applied animal behavior science*, 177, 25-33.
- MANOUSIDIS, T., PARISSI, Z. M., KYRIAZOPOULOS, A. P., MALESIOS, C., KOUTROUBAS, S. D., & ABAS, Z. (2018). Relationships among nutritive value of selected forages, diet composition and milk quality in goats grazing in a Mediterranean woody rangeland. *Livestock science*, 218, 8-19.
- MANUELIAN, C. L., PENASA, M., VISENTIN, G., BENEDET, A., CASSANDRO, M., & DE MARCHI, M. (2019). Multi-breed herd approach to detect breed differences in composition and fatty acid profile of cow milk. *Czech Journal of Animal Science*, 64(1), 11-16.
- MANUELIAN, C.L., CURRÒ, S., PENASA, M., CASSANDRO M., & DE MARCHI, M. (2017). Characterization of major and trace minerals, fatty acid composition, and cholesterol content of Protected Designation of Origin cheeses. *Journal of Dairy Science*, 100 (5), 3384–3395.
- MANZI, P., & PIZZOFERRATO, L. (2010). Cholesterol and antioxidant vitamins in fat fraction of whole and skimmed dairy products. *Food Bioprocess Technology*, 3, 234–238.
- MARIACA, R. G., BERGER, T. F., GAUCH, R., IMHOF, M. I., JEANGROS, B., & BOSSET, J. O. (1997). Occurrence of volatile mono- and sesquiterpenoids in highland and lowland plant species as possible precursors for flavor compounds in milk and dairy products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(11), 4423-4434.
- MARIN, A. B., ACREE, T. E., & BARNARD, J. (1988). Variation in odor detection thresholds determined by charm analysis. *Chemical Senses*, 13(3), 435–444.
- MARINO, V. M., BELBELDI, A., LA TERRA, S., MANENTI, M., LICITRA, G., & CARPINO, S. (2012). Survey of fat-soluble antioxidants, linolenic acid and conjugated linoleic acid content of traditional Algerian Bouhezza cheese. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 10(3-4), 186-190

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- MARINO, V.M., LA TERRA, S., LICITRA, G., & CARPINO, S. (2010). Effetto del trattamento termico sulle sostanze nutraceutiche del latte. *Scienza e Tecnica Lattiero-Casearia*, 61, 19–27.
- MARINO, V.M., SCHADT, I., CARPINO, S., CACCAMO, M., LA TERRA, S., GUARDIANO C., & LICITRA, G. (2014). Effect of Sicilian pasture feeding management on content of α -tocopherol and β -carotene in cow milk. *Journal of Dairy Science*, 97, 543–551.
- MARIN, A. B., ACREE, T. E., & BARNARD, J. (1988). Variation in odor detection thresholds determined by charm analysis. *Chemical Senses*, 13(3), 435–444.
- MARTIN, B., FEDELE, V., FERLAY, A., GROLIER, P., ROCK, E., GRUFFAT, D., & CHILLIARD, Y. (2004). Effects of grass-based diets on the content of micronutrients and fatty acids in bovine and caprine dairy products. *Grassland Science in Europe*, 9, 876–886.
- MARTIN, B., VERDIER-METZ, I., BUCHIN, S., HURTAUD, C., & COULON, J. B. (2005). How do the nature of forages and pasture diversity influence the sensory quality of dairy livestock products? *Animal Science*, 81(2), 205-212.
- MARTINI, M., ALTOMONTE, I., SANT'ANA DA SILVA, A.M. & SALARI, F. (2017). Fatty acid composition of the bovine milk fat globules obtained by gravity separation. *International Food Research Journal*, 24(1), 148–152.
- MASSON, C., RUBINO, R., & FEDELE, V. (1991). Forage utilization in goats. *Goat nutrition*, 46, 145-159.
- MAZARI, K., BENDIMERAD, N., & BEKHECHI, C. (2010). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils isolated from Algerian *Juniperus phoenicea* L. and *Cupressus sempervirens* L. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(10), 959-964.
- MCSWEENEY, P. L., & SOUSA, M. J. (2000). Biochemical pathways for the production of flavor compounds in cheeses during ripening: A review. *Le Lait*, 80(3), 293-324.
- MEDJOU DJ, H. (2018). Contribution à l'étude pour la caractérisation du fromage traditionnel *Bouhezza*. Thèse de doctorat, spécialité : Sciences Alimentaires, Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires (INATAA), Université frères Mentouri Constantine1. 147 pages
- MEDJOU DJ, H., AOUAR, L., ZIDOUNE, M. N., & HAYALOG LU, A. A. (2017). Proteolysis, microbiology, volatiles and sensory evaluation of Algerian traditional cheese

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bouhezza* made using goat's raw milk. *International journal of food properties*, 20(sup3), S3246-S3265.
- MEDJOUDJ, H., ZIDOUNE, M. N., & HAYALOGLU, A. A. (2016). Proteolysis and volatile profile in the Algerian traditional *Bouhezza* cheese made using raw goat's milk. *International Journal of Food Properties*, 20(8), 1876-1893.
- MEHALAINE, S., & CHENCHOUNI, H. (2019). Effect of climatic factors on essential oil accumulation in two Lamiaceae species from Algerian semiarid lands. In H. Chenchouni, E. Errami, F. Rocha, & L. Sabato (Eds.), *Exploring the Nexus of Geoecology, Geography, Geoarcheology and Geotourism* (pp. 57–60). Springer.
- MEHALAINE, S., & CHENCHOUNI, H. (2020). Plants of the same place do not have the same metabolic pace: Soil properties affect differently essential oil yields of plants growing wild in semiarid Mediterranean lands. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(23).
- MEHALAINE, S., & CHENCHOUNI, H. (2021). Effect of edaphic factors on essential oil production in wild plants growing under semiarid Mediterranean conditions. In H. Chenchouni, H. I. Chaminé, M. F. Khan, B. J. Merkel, Z. Zhang, P. Li, A. Kallel, & N. Khélifi (Eds.), *New Prospects in Environmental Geosciences and Hydrogeosciences*. Cham, Switzerland: Springer.
- MERDAS, S., MENAD, A., MOSTEPHAOUI, T., & SAKAA, B. (2017). Plant community structure and diversity under grazing gradient in arid Mediterranean steppe of Algeria. *Journal of Materials and Environmental Science*, 8, 4329–4338.
- MEURET, M., BARTIAUX-THILL, N., BOURBOUZE, A., ROSENBERGER, S., VERNEREY, M., SOURBIER, Y., ... & ANDRÉ, J. F. (1985). Evaluation de la consommation d'un troupeau de chèvres laitières sur parcours forestier—Méthode d'observation directe des coups de dents—Méthode du marqueur oxyde de chrome. In *Annales de zootechnie* (Vol. 34, No. 2, pp. 159-180). EDP Sciences.
- MICHALSKI, M. C., GASSI, J. Y., FAMELART, M. H., LECONTE, N., CAMIER, B., MICHEL, F., & BRIARD, V. (2003). The size of native milk fat globules affects physico-chemical and sensory properties of Camembert cheese. *Le lait*, 83(2), 131-143
- MILEWSKI, S., ZĄBEK, K., ANTOSZKIEWICZ, Z., TAŃSKI, Z., & SOBCZAK, A. (2018). Impact of production season on the chemical composition and health properties of goat milk and rennet cheese. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 30(2), 107–114.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- MITANI, T., KOBAYASHI, K., UEDA, K., & KONDO, S. (2016). Discrimination of “grazing milk” using milk fatty acid profile in the grassland dairy area in Hokkaido. *Animal science journal*, 87(2), 233-241.
- MOIO, L., RILLO, L., LEDDA, A., & ADDEO, F. (1996). Odorous constituents of ovine milk in relationship to diet. *Journal of Dairy Science*, 79(8), 1322-1331.
- MOLONEY, A. P., MONAHAN, F. J., & SCHMIDT, O. (2014). Quality and authenticity of grassland products. *The Future of European Grasslands*, 509.
- MORAN, L., ALDEZABAL, A., ALDAI, N., & BARRON, L. J. R. (2019). Terpenoid traceability of commercial sheep cheeses produced in mountain and valley farms: From pasture to mature cheeses. *Food Research International*, 126, 108669.
- MORAND-FEHR, P. (2003). Dietary choices of goats at the trough. *Small ruminant research*, 49(3), 231-239.
- MORDENTI, A. L., BROGNA, N., & FORMIGONI, A. (2017). The link between feeding dairy cows and Parmigiano-Reggiano cheese production area. *The Professional Animal Scientist*, 33(5), 520-529.

N

- NARJISSE, H. (1991). Feeding behavior of goats on rangelands. *Goat Nutrition (Editors: P Morand-Fehr)*. Wageningen: Pudoc, (3), 13-24.
- NEFFAR, S., CHENCHOUNI, H., & SI BACHIR, A. (2016). Floristic composition and analysis of spontaneous vegetation of Sabkha Djendli in North-east Algeria. *Plant Biosystems*, 150(3), 396–403.
- NEFFAR, S., MENASRIA, T., & CHENCHOUNI, H. (2018). Diversity and functional traits of spontaneous plant species in Algerian rangelands rehabilitated with prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) plantations. *Turkish Journal of Botany*, 42(4), 448–461.
- NGWA, A. T., PONE, D. K., & MAFENI, J. M. (2000). Feed selection and dietary preferences of forage by small ruminants grazing natural pastures in the Sahelian zone of Cameroon. *Animal feed science and technology*, 88(3-4), 253-266.
- NOZIERE, P., GRAULET, B., LUCAS, A., MARTIN, B., GROLIER, P., & DOREAU, M. (2006a). Carotenoids for ruminants: From forages to dairy products. *Animal feed science and technology*, 131(3-4), 418-450.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

NOZIÈRE, P., GROLIER, P., DURAND, D., FERLAY, A., PRADEL, P., & MARTIN, B. (2006 b). Variations in carotenoids, fat-soluble micronutrients, and color in cows' plasma and milk following changes in forage and feeding level. *Journal of Dairy Science*, 89(7), 2634-2648.

O

O'CALLAGHAN, T. F., MANNION, D. T., HENNESSY, D., MCAULIFFE, S., O'SULLIVAN, M. G., LEEUWENDAAL, N., ... & ROSS, R. P. (2017). Effect of pasture versus indoor feeding systems on quality characteristics, nutritional composition, and sensory and volatile properties of full-fat Cheddar cheese. *Journal of dairy science*, 100(8), 6053-6073.

OH, H. I., SHIN, T. S., & CHANG, E. J. (2001). Determination of cholesterol in milk and dairy products by high-performance liquid chromatography. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 14, 1465-1469.

ONM (2020). Données météorologiques de la station météorologique de Oum El Bouaghi (code OMM: 60421). Office National de Météorologie (ONM), Ministère des Transports.

OSORIO, M. T., KOIDIS, A., & PAPADEMAS, P. (2015). Major and trace elements in milk and Halloumi cheese as markers for authentication of goat feeding regimes and geographical origin. *International journal of dairy technology*, 68(4), 573-581.

OSORO, K., FERREIRA, L. M. M., GARCÍA, U., JÁUREGUI, B. M., MARTÍNEZ, A., GARCÍA, R. R., & CELAYA, R. (2013). Diet selection and performance of sheep and goats grazing on different heathland vegetation types. *Small Ruminant Research*, 109(2-3), 119-127.

OUCHENE-KHELIFI, N. A., OUCHENE, N., DA SILVA, A., & LAFRI, M. (2018). Multivariate characterization of phenotypic traits of Arabia, the main Algerian goat breed. *Livest. Res. Rural Dev*, 30 (7).

OZTURKOGLU-BUDAK, S., GURSOY, A., AYKAC, D.P., KOÇAK, C., DÖNMEZ, S., DE VRIES, R.P., BRON, P.A. (2016). Volatile compound profiling of Turkish Divle Cave cheese during production and ripening. *Journal of Dairy Science* 99, 5120-5131.

P

PALOZZA, P., & KRINSKY, N.I. (1992). β -Carotene and tocopherol are synergistic antioxidants. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 297, 184-187.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- PAPPA, E. C., BONTINIS, T.G., TASIOULA-MARGARI, M., & SAMELIS, J. (2017). Microbial Quality of and Biochemical Changes in Fresh Soft, Acid-Curd Xinotyri Cheese Made from Raw or Pasteurized Goat's Milk. *Food Technology and Biotechnology*, 55 (4) 496-510.
- PARK, Y. W. (1987). Effect of freezing, thawing, drying, and cooking on carotene retention in carrots, broccoli and spinach. *Journal of Food Science*, 52(4), 1022-1025.
- PARK, Y.W. (2017). Goat milk—chemistry and nutrition. In: Y.W. Park, G.F.W. Haenlein, W.L. Wendorff (Eds.), *Handbook of milk of non-bovine mammals*, John Wiley & Sons, pp. 42-83.
- PEIRETTI, P. G., GAI, F., ALONZI, S., BATTELLI, G., & TASSONE, S. (2017). Characterization of Alpine highland pastures located at different altitudes: Forage evaluation, chemical composition, in vitro digestibility, fatty acid, and terpene contents. *Plant Biosystems*, 151(1), 50–62.
- PFEIFFER, M., LANGAN, L., LINSTÄDTER, A., MARTENS, C., GAILLARD, C., RUPPERT, J. C., ... SCHEITER, S. (2019). Grazing and aridity reduce perennial grass abundance in semi-arid rangelands—Insights from a trait-based dynamic vegetation model. *Ecological Modelling*, 395, 11–22.
- PIZZOFERRATO, L., MANZI, P., MARCONI, S., FEDELE, V., CLAPS, S., & RUBINO, R. (2007). Degree of antioxidant protection: A parameter to trace the origin and quality of goat's milk and cheese. *Journal of dairy science*, 90(10), 4569-4574.
- POULOPOULOU, I., ZOIDIS, E., MASSOURAS, T., & HADJIGEORGIOU, I. (2012). Terpenes transfer to milk and cheese after oral administration to sheep fed indoors. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 96(2), 172-181.
- POVEDA, J.M., SANCHEZ-PALOMO, E., PEREZ-COELLO, M.S., CABEZAS, L. (2008). Volatile composition, olfactometry profile and sensory evaluation of semi-hard Spanish goat cheeses. *Dairy Science and Technology*, 88(3), 355–367.
- PRACHE, S., CORNU, A., BERDAGUÉ, J. L., & PRIOLO, A. (2005). Traceability of animal feeding diet in the meat and milk of small ruminants. *Small Ruminant Research*, 59(2-3), 157-168.
- PREVOST, P., CAPITAINE, M., GAUTIER-PELISSIER, F., MICHELIN, Y., JEANNEAUX, P., FORT, F., ... & FOURNIER, S. (2014). Le terroir, un concept pour l'action dans le développement des territoires. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 14(1).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

PROVENZA, F. D. (1995). Role of learning in food preferences of ruminants: Greenhalgh and Reid revisited. In *Ruminant physiology: digestion, metabolism, growth and reproduction* (pp. 233-247). Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

PROVENZA, F. D., & BALPH, D. F. (1990). Applicability of five diet-selection models to various foraging challenges ruminant's encounter. In *Behavioral mechanisms of food selection* (pp. 423-460). Springer, Berlin, Heidelberg.

PROVENZA, F. D., & MALECHEK, J. C. (1986). A comparison of food selection and foraging behavior in juvenile and adult goats. *Applied Animal Behavioral Science*, 16(1), 49-61.

Q

QUEZEL, P., & SANTA, S. (1963). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*, CNRS ed.

R

RAPISARDA, T., MEREU, A., CANNAS, A., BELVEDERE, G., LICITRA, G., & CARPINO, S. (2012). Volatile organic compounds and palatability of concentrates fed to lambs and ewes. *Small ruminant research*, 103(2-3), 120-132.

RAPISARDA, T., PASTA, C., BELVEDERE, G., SCHADT, I., LA TERRA, F., LICITRA, G., & CARPINO, S. (2013). Variability of volatile profiles in milk from the PDO *Ragusano* cheese production zone. *Dairy Science & Technology*, 93(2), 117-134.

RAPISARDA, T., PASTA, C., CARPINO, S., CACCAMO, M., OTTAVIANO, M., & LICITRA, G. (2014). Volatile profile differences between spontaneous and cultivated Hyblean pasture. *Animal Feed Science and Technology*, 191, 39-46.

REBEY, I. B., JABRI-KAROUI, I., HAMROUNI-SELLAMI, I., BOURGOU, S., LIMAM, F., & MARZOUK, B. (2012). Effect of drought on the biochemical composition and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum L.*) seeds. *Industrial Crops and Products*, 36(1), 238-245.

REDJEM KHODJA, Y. (2015). « Rôle des pouvoirs publics dans la valorisation des produits agricoles de terroir », communication lors de la rencontre « consommons algérien », Ministère de l'agriculture et du développement rural (Algérie), Alger, 26 avril 2015. Disponible sur : www.mincommerce.gov.dz/consomalgrien/comuniqu/communic3.pdf

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RIAHY, L., GHAZGHAZI, H., AYARI, B., AOUADHI, C., KLAY, I., CHOGRANI, H., ... & ZOGHLAMI, N. (2015). Effect of environmental conditions on chemical polymorphism and biological activities among *Artemisia absinthium* L. essential oil provenances grown in Tunisia. *Industrial Crops and Products*, 66, 96-102.

RICARD, D. (1999). Filières de qualité et ancrage au terroir : la délimitation des zones d'AOC fromagères. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest. Sud-Ouest Européen*, 6(1), 31-40.

ROGOSIC, J., PFISTER, J. A., PROVENZA, F. D., & GRBESA, D. (2006). Sheep and goat preference for and nutritional value of Mediterranean maquis shrubs. *Small Ruminant Research*, 64(1-2), 169-179.

S

SAJED, H., SAHEBKAR, A., & IRANSHAHI, M. (2013). Zataria multiflora Boiss.(Shirazi thyme)—an ancient condiment with modern pharmaceutical uses. *Journal of ethnopharmacology*, 145(3), 686-698.

SALETTE, J., JACQUET, A., & MORLAT, R. (1995). Sol support ou sol terroir ? La dimension du sol n'est pas unique dans la notion du terroir. *Revue des oenologues et des techniques vitivinicoles et oenologiques: magazine trimestriel d'information professionnelle*, 21(77), 9-11.

SAMKOVÁ, E., KOUBOVÁ, J., HASOŇOVÁ, L., HANUŠ, O., KALA, R., KVÁČ, M., ... & ŠPIČKA, J. (2018). Joint effects of breed, parity, month of lactation, and cow individuality on the milk fatty acids composition. *Mljekarstvo: časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka*, 68(2), 98-107.

SAMPELAYO, M. S., CHILLIARD, Y., SCHMIDELY, P., & BOZA, J. (2007). Influence of type of diet on the fat constituents of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 68(1-2), 42-63.

SANON, H. O., KABORÉ-ZOUNGRANA, C., & LEDIN, I. (2007). Behaviour of goats, sheep and cattle and their selection of browse species on natural pasture in a Sahelian area. *Small ruminant research*, 67(1), 64-74.

SANT'ANA, A. M., BESSA, R. J., ALVES, S. P., MEDEIROS, A. N., COSTA, R. G., DE SOUSA, Y. R., ... & QUEIROGA, R. C. (2019). Fatty acid, volatile and sensory profiles of

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- milk and cheese from goats raised on native semiarid pasture or in confinement. *International dairy journal*, 91, 147-154.
- SELLAMI, I. H., WANNES, W. A., BETTAIEB, I., BERRIMA, S., CHAHED, T., MARZOUK, B., & LIMAM, F. (2011). Qualitative and quantitative changes in the essential oil of *Laurus nobilis* L. leaves as affected by different drying methods. *Food Chemistry*, 126(2), 691–697.
- SENOUSSI, A. (2013). Caractérisation microbiologique de la peau de chèvre utilisée dans la fabrication du fromage traditionnel Algérien « Bouhezza ». *Memoire de Diplôme en Sciences Alimentaires, Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires INATAA- Université des Frères Mentouri- Constantine*.
- SERHAN, M., LINDER, M., HOSRI, C., & FANNI, J. (2010). Changes in proteolysis and volatile fraction during ripening of *Darfiyeh*, a Lebanese artisanal raw goat's milk cheese. *Small Ruminant Research*, 90(1-3), 75-82.
- SHKOLNIK, A., MALTZ, E., & GORDIN, S. (1980). Desert conditions and goat milk production. *Journal of Dairy Science*, 63(10), 1749-1754.
- SILANIKOVE, N. (2000). The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. *Small ruminant research*, 35(3), 181-193.
- SILANIKOVE, N., GILBOA, N., NIR, I., PEREVOLOTSKY, A., & NITSAN, Z. (1996). Effect of a daily supplementation of polyethylene glycol on intake and digestion of tannin-containing leaves (*Quercus calliprinos*, *Pistacia lentiscus*, and *Ceratonia siliqua*) by goats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(1), 199-205.
- SILANIKOVE, N., TAGARI, H., & SHKOLNIK, A. (1993). Comparison of rate of passage, fermentation rate and efficiency of digestion of high fiber diet in desert Bedouin goats compared to Swiss Saanen goats. *Small Ruminant Research*, 12(1), 45-60.
- SIMOPOULOS, A. P. (2008). The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. *Experimental biology and medicine*, 233(6), 674-688.
- STOOP, W. M., BOVENHUIS, H., HECK, J. M. L., & VAN ARENDONK, J. A. M. (2009). Effect of lactation stage and energy status on milk fat composition of Holstein-Friesian cows. *Journal of dairy science*, 92(4), 1469-1478.

T

TEIXEIRA, B., MARQUES, A., RAMOS, C., BATISTA, I., SERRANO, C., MATOS, O., ... & NUNES, M. L. (2012). European pennyroyal (*Mentha pulegium*) from Portugal: Chemical composition of essential oil and antioxidant and antimicrobial properties of extracts and essential oil. *Industrial Crops and Products*, 36(1), 81-87.

TORNAMBE, G., CORNU, A., PRADEL, P., KONDOYAN, N., CARNAT, A. P., PETIT, M., & MARTIN, B. (2006). Changes in terpene content in milk from pasture-fed cows. *Journal of Dairy Science*, 89(6), 2309-2319.

TORNAMBÉ, G., FERLAY, A., FARRUGGIA, A., CHILLIARD, Y., LOISEAU, P., GAREL, J. P., & MARTIN, B. (2007). Effet de la diversité floristique des pâturages de montagne sur le profil en acides gras et les caractéristiques sensorielles des laits. *Rencontres Recherches Ruminants*, 14, 333-336.

TUDOR KALIT, M., KALIT, S., HAVRANEK J. (2010). An overview of researches on cheeses ripening in animal skin. *Mljekarstvo* 60 (3), 149-155.

TUDOR KALIT, M., LOJBL, T., RAKO, A., GÜN, I., KALIT, S. (2020). Biochemical changes during ripening of cheeses in an animal skin. *Mljekarstvo*: 70(4), 225-241.

TUDOR KALIT, M., MARKOVIĆ, K., KALIT, S., VAHČIĆ, N., HAVRANEK, J. (2014). Application of electronic nose and electronic tongue in the dairy industry. *Mljekarstvo*: (4), 228-244.

TURBES, G., LINSKOTT, T. D., TOMASINO, E., WAITE-CUSIC, J., LIM, J., & MEUNIER-GODDIK, L. (2016). Evidence of terroir in milk sourcing and its influence on Cheddar cheese. *Journal of dairy science*, 99(7), 5093-5103.

U

URBACH, G. (1990). Effect of feed on flavor in dairy foods. *Journal of Dairy Science*, 73(12), 3639-3650.

V

VALCESCHINI, E., & MAZE, A. (2000). La politique de la qualité agro-alimentaire dans le contexte international. *Economie rurale*, 258(1), 30-41.

VALDIVIELSO, I., ALBISU, M., DE RENOBALLES, M., & BARRON, L. J. R. (2016). Changes in the volatile composition and sensory properties of cheeses made with milk from commercial sheep flocks managed indoors, part-time grazing in valley, and extensive mountain grazing. *International dairy journal*, 53, 29-36.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- VALDIVIELSO, I., DE RENOBALLES, M., ALDAI, N., & BARRON, L. J. R. (2017). Changes in terpenoid composition of milk and cheese from commercial sheep flocks associated with seasonal feeding regimens throughout lactation. *Journal of dairy science*, 100(1), 96-105.
- VIALON, C., MARTIN, B., VERDIER-METZ, I., PRADEL, P., GAREL, J. P., COULON, J. B., & BERDAGUÉ, J. L. (2000). Transfer of monoterpenes and sesquiterpenes from forages into milk fat. *Le lait*, 80(6), 635-641.
- VIALON, C., VERDIER-METZ, I., DENOYER, C., PRADEL, P., COULON, J. B., & BERDAGUE, J. L. (1999). Desorbed terpenes and sesquiterpenes from forages and cheeses. *Journal of Dairy Research*, 66(2), 319–326.
- VICENTE, S. J. V., SAMPAIO, G. R., FERRARI, C. K. B., & TORRES, E. A. F. S. (2012). Oxidation of cholesterol in foods and its importance for human health. *Food Reviews International*, 28, 47e70.
- VIEITEZ, I., IRIGARAY, B., CALLEJAS, N., GONZALEZ, V., GIMENEZ, S., ARECHAVALETA, A., ET AL. (2016). Composition of fatty acids and triglycerides in goat cheeses and study of the triglyceride composition of goat milk and cow milk blends. *Journal of Food Composition and Analysis*, 48, 95-101
- VILLALBA, J. J., & PROVENZA, F. D. (1997). Preference for flavoured foods by lambs conditioned with intraruminal administration of nitrogen. *British Journal of Nutrition*, 78(4), 545–561.
- VILLALBA, J. J., PROVENZA, F. D., & OLSON, K. C. (2006). Terpenes and carbohydrate source influence rumen fermentation, digestibility, intake, and preference in sheep. *Journal of Animal Science*, 84(9), 2463–2473.
- VRDOLJAK, M., MIKULEC, N., MARKOV, K., KALIT, S., & FRECE, J. (2018). Aromatic compounds of cheese ripening in animal skin: An overview. *Journal of Central European Agriculture*, 19(2), 318-334.

W.

- WAGHORN, G. C., & KNIGHT, T. W. (1992). Beta-carotene intake, digestion, absorption and metabolism in the dairy cow. In *Summary of Proceedings of the Milkfat Flavour Forum*. New Zealand Dairy Research Institute, Palmerston North (pp. 42-49).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Y

YAHI, N., VELA, E., BENHOUBOU, S., DE BELAIR, G., & GHARZOULI, R. (2012). Identifying important plants areas (key biodiversity areas for plants) in northern Algeria. *Journal of Threatened Taxa*, 4(8), 2753–2765.

Z

ZAIDI O., ZERTAL M. ET ZIDOUN M.N., 2000. Présentation d'un fromage traditionnel *Bouhezza*. *J.A.M.*, n° 02 vol X, mars-avril, pp 96-101.

ZEPPA, G., GIORDANO, M., GERBI, V., & ARLORIO, M. (2003). Fatty acid composition of Piedmont “Ossolano” cheese. *Le Lait*, 83(2), 167-173.

ZOUAOUI, N., CHENCHOUNI, H., BOUGUERRA, A., MASSOURAS, T., & BARKAT, M. (2020). Characterization of volatile organic compounds from six aromatic and medicinal plant species growing wild in North African drylands. *NFS Journal*, 18, 19–28.

ANNEXES

Annexe 1Bulletin de réponse

Nom :

Prénom :

Date :

Un échantillon de fromage vous est proposé. Il vous est demandé d'évaluer ses caractéristiques.

L'ordre d'évaluation est le suivant :

1• Aspect et texture, 2• Odeur/Arôme, 3• Goût et 4•consistances de la pâte

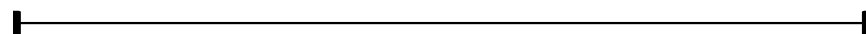
1-ASPECT ET TEXTURE

Donnez une note sur l'échelle suivante pour la consistance de la pâte

Couleur

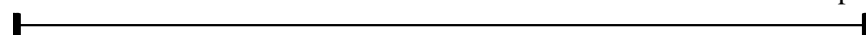
Blanc

jaune

**Tartinabilité**

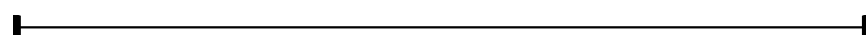
Néant

beaucoup

**gypseux**

Néant

beaucoup

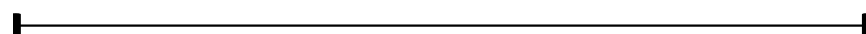
**2- ODEUR/AROME**

Flairez et notez rapidement sur l'échelle l'intensité de l'odeur du fromage

Rancidité

Néant

Beaucoup

**Levure**

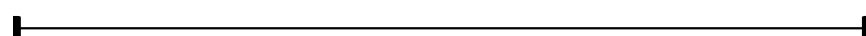
Néant

Beaucoup

**Odeur animale**

Néant

Beaucoup

**Herbe**

Néant

Beaucoup

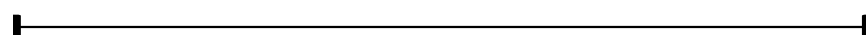
**3-GOUT**

Mastiquez l'échantillon de fromage puis évaluez les saveurs sur l'échelle suivante :

Acide

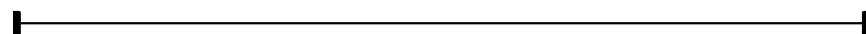
Néant

Beaucoup

**Salé**

Néant

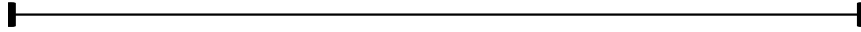
Beaucoup



Astringent

Néant

Beaucoup



Durée de l'intensité

Faible (≤ 3 sec)

longue (≥ 30 sec)



4-CONSISTANCE

Donnez une note sur l'échelle suivante pour la consistance de la pâte :

Pâteux

Néant

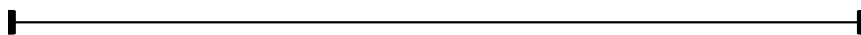
Beaucoup



Crémeux

Néant

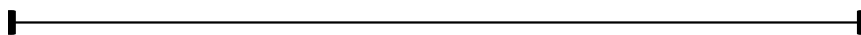
Beaucoup



Dispersion

Néant

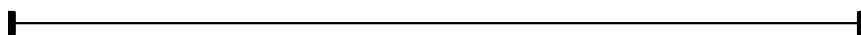
Beaucoup



Solubilité

Néant

Beaucoup



Annexe 2

Composition botanique et biomasse des espèces recensées sur les trois zones de pâturage étudiées

Familles	Espèces	Moyenne de biomass (%)		
		Montagne ^a	Mise au repos ^b	Cultivé ^c
Asteraceae	<i>Scolymus hispanicus</i> L.	–	7,1±1,5	–
	<i>Atractylis humilis</i> L.	27,5±9,0	–	–
	<i>Atractylis cancellata</i> L.	0,6±0,3	–	–
	<i>Leontodon saxatilis</i> Lam	0,6±0,1	1,1±0,6	–
	<i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertn	–	0,6±0,0	–
	<i>Rhaponticum acaule</i> (L.) DC.	–	0,4±0,1	–
	<i>Calendula arvensis</i> L.	–	1,6±0,9	–
	<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	–	24,8±0,4	28,9±12,0
	<i>Taraxacum officinale</i> F.H.Wigg	0,3± 0,3	0,7±0,2	–
	<i>Anacyclus clavatus</i> (Desf.) Pers	–	6,1±1,4	–
	<i>Centaurea solstitialis</i> L.	–	0,3±0,1	–
	<i>Carthamus pinnatus</i> Desf	–	6,7±2,4	–
	<i>Pallenis spinosa</i> (L.) Cass	–	–	0,1±0,1
	<i>Artemisia judaica</i> L.	0,3± 0,1	–	–
	<i>Filago pygmaea</i> L.	–	7,8±0,1	–
<i>Senecio vulgaris</i> L.	–	0,3±0,3	–	
Brassicaceae	<i>Lobularia maritima</i> (L.) Desv.	0,9±0,1	–	–
	<i>Diplotaxis muralis</i> (L.) DC.	0,5±0,1	0,6±0,0	–
	<i>Diplotaxis tenuifolia</i> (L.) DC.	–	1,1±0,9	–
	<i>Diplotaxis eruroides</i> (L.) DC.	–	1,1±0,2	–
	<i>Matthiola fruticulosa</i> (L.) Maire	0,3±0,1	–	–
	<i>Eruca vesicaria</i> (L.) Cav	0,3±0,1	0,7±0,4	–
	<i>Sisymbrium irio</i> L.	–	0,8±0,3	–
	<i>Rapistrum rugosum</i> (L.) All.	–	1,5±0,1	–
Lamiaceae	<i>Ajuga chamaepitys</i> (L.) Schreb.	–	1,2±0,5	–
	<i>Ajuga iva</i> (L.) Schreb.	0,9±0,5	–	–
	<i>Teucrium polium</i> L.	3,3±1,9	–	–
	<i>Thymus algeriensis</i> Boiss. & Reut	20±6,4	–	–
	<i>Thymus vulgaris</i> L.	3,6±2,0	–	–
	<i>Marrubium vulgare</i> L.	–	1,5±0,2	–

Fabaceae	<i>Argyrolobium zanonii</i> (Turra) P.W.Ball	0,7±0,2	–	–
	<i>Lotus</i> sp.	0,6±0,4	–	–
	<i>Coronilla</i> sp.	0,4±0,1	–	–
	<i>Scorpiurus muricatus</i> L.	–	1±0,4	–
	<i>Astragalus geniculatus</i> Desf.	0,3±0,2	–	–
	<i>Astragalus</i> sp.	0,1±0,1	–	–
	<i>Vicia sativa</i> L.	–	0,3±0,0	–
Poaceae	<i>Bromus</i> sp.	1,5±0,9	–	–
	<i>Macrochloa tenacissima</i> (L.) Kunth	0,5±0,6	–	–
	<i>Lolium perenne</i> L.	–	1,6±2,1	–
	<i>Avena</i> sp.	–	3,1±4,3	3,5±4,9
	<i>Hordeum vulgare</i> L.	–	–	45,2±13,1
	<i>Hordeum murinum</i> L.	–	2,8±3,4	–
Apiaceae	<i>Daucus carota</i> L.	–	0,7±0,2	–
	<i>Bunium pachypodium</i> P.W. Ball	–	1,8±0,1	14±6,7
	<i>Eryngium campestre</i> L.	–	–	0,8±1,0
	<i>Deverra scoparia</i> Coss. & Durieu	1,7±0,1	–	–
Plantaginaceae	<i>Plantago lanceolata</i> L.	–	0,8±0,6	–
	<i>Plantago</i> sp.	–	6,9±3,8	–
	<i>Linaria</i> sp.	–	0,3±0,0	–
	<i>Globularia alypum</i> L.	33,1±10,5	–	–
Boraginaceae	<i>Nonea micrantha</i> Boiss. & Reut	–	0,7±0,4	–
	<i>Alkanna tinctoria</i> Tausch	0,6±0,5	–	–
Malvaceae	<i>Malope malacoides</i> (L.)	–	0,3±0,1	–
	<i>Malva sylvestris</i> L.	–	8,6±4,4	–
Ranunculaceae	<i>Nigella damascena</i> L.	–	–	0,1±0,1
	<i>Adonis aestivalis</i> L.	–	0,4±0,3	4,3±4,4
Asparagaceae	<i>Muscari comosum</i> (L.) Mill	–	0,4±0,3	2,4±0,1
	<i>Ornithogalum</i> sp.	–	–	–
Primulaceae	<i>Lysimachia arvensis</i> (L.) U.Manns & Anderb	0,2±0,2	0,5±0,1	–
Papaveraceae	<i>Papaver rhoeas</i> L.	–	0,3±0,3	0,7±0,0
Iridaceae	<i>Moraea sisyrinchium</i> (L.) Ker Gawl	–	–	–
Cistaceae	<i>Fumana thymifolia</i> (L.) Spach ex Webb	1±0,5	–	–
Caryophyllaceae	<i>Paronychia argentea</i> Lam.	0,3±0,2	–	–
Rosaceae	<i>Poterium sanguisorba</i> L.	0,2±0,0	–	–
Orchidaceae	<i>Orchis mascula</i> (L.) L	–	–	–
Resedaceae	<i>Reseda alba</i> L.	0,2±0,0	0,8±0,3	–

Geraniaceae	<i>Erodium moschatum</i> (L.) L'Hér	–	0,7±0,2	–
Rutaceae	<i>Ruta montana</i> (L.) L.	0,2±0,1	–	–
Euphobiaceae	<i>Euphorbia helioscopia</i> L.	–	1,7±1,0	0,1±0,0

^a Jamais cultivé.

^b Terre mise au repos durant trois années consécutives avant l'étude.

^c *Cultivé en orge* .








NI	–	Epice sucré	1320	–	×														
NI	–	Désagréable	1383	–	×														
<i>Total COAs</i>						5	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1

^a LRI, Indice de rétention linéaire avec colonne HP-5,

^b Méthode d'identification (MS: comparaison avec la bibliothèque NIST, PI: comparaison avec la base de données LRI flavornet),

^c **At hu:** *Atractylis humilis*, **Ho vu:** *Hordeum vulgare*, **Fi py:** *Filago pygmaea*, **Ma sy:** *Malva sylvestris*, **Th al:** *Thymus algeriensis*, **Gl al:** *Globularia alypum*, **Ca ar:** *Calendula arvensis*, **So as:** *Sonchus asper*, **Sc hi:** *Scolymus hispanicus*, **Pl sp:** *Plantago* sp.

Botanical composition and aroma compounds of semi-arid pastures in Algeria

Asma Senoussi^{1,2}  | Iris Schadt³  | Soraya Hioun⁴ | Haroun Chenchouni^{4,5}  |
 Zineddine Saoudi⁶ | Ouarda Aissaoui Zitoun-Hamama⁶  |
 Mohammed Nasreddine Zidoune²  | Stefania Carpino⁷  | Teresa Rapisarda³ 

¹Department of Applied Biology, Faculty of Exact Sciences and Nature and Life Sciences, University of Larbi Tebessi- Tebessa, Tebessa, Algeria

²Laboratoire de Nutrition et Technologies Alimentaires (LNTA), Equipe "TEPA", INATAA, University of Constantine 1, Constantine, Algeria

³Consorzio di Ricerca Lattiero Casearia (CoRFiLaC), Ragusa, Sicilia, Italy

⁴Department of Nature and Life Sciences, Faculty of Exact Sciences and Nature and Life Sciences, University of Tebessa, Tebessa, Algeria

⁵Laboratory of Natural Resources and Management of Sensitive Environments 'RNAMS', University of Larbi Ben M'hidi, Oum-El-Bouaghi, Algeria

⁶Laboratoire de Génie Agro-Alimentaire (GeniAAI), INATAA, University of Constantine 1, Constantine, Algeria

⁷Department of central inspectorate for fraud repression and quality protection of the agri-food products and foodstuffs (ICQRF), Laboratory of Perugia, Perugia, Italy

Correspondence

Asma Senoussi, Department of Applied Biology, Faculty of Exact Sciences and Nature and Life Sciences, University of Larbi Tebessi- Tebessa, Tebessa, Algeria and Laboratoire de Nutrition et Technologies Alimentaires (LNTA), Equipe "TEPA", INATAA, University of Constantine 1, Constantine, Algeria.
 Emails: asma_senoussi@yahoo.com; asma_senoussi@univ-tebessa.dz

Abstract

This study aims to determine the botanical composition of different pastures in a semiarid region of Algeria and investigate the aromatic profile of the characteristic plant species grazed by goats and sheep. At three pastures (1: montane area with spontaneous vegetation 'never cultivated before', 2: previously cultivated but set at rest, 3: cultivated, under cereal production), plants were sampled twice during April–May to determine plant composition. Based on dominance of fresh aerial biomass of each plant per pasture and consumption by dairy goats, 10 species (*Atractylis humilis*, *Calendula arvensis*, *Filago pygmaea*, *Globularia alypum*, *Hordeum vulgare*, *Malva sylvestris*, *Plantago* sp., *Scolymus hispanicus*, *Sonchus asper* and *Thymus algeriensis*) were selected and sampled once at flowering stage to characterize their aromatic profile. The odour-active compounds (OACs) of the selected species were extracted using steam distillation, then detected and identified using gas chromatography/mass spectrometry/olfactometry (GC/MS/O). The analysis of botanical composition revealed the presence of 70 species (29 in mountain, 40 in set at rest, 11 in cultivated pasture) belonging to 62 genera and 22 families, with dominance of Asteraceae species. A total of 86 different OACs were identified, including mainly terpenes (21) and aldehydes (18). Among the OACs, 19 different compounds have various odour notes including herbaceous, floral, sweet spicy, fried, mint, cooked, fruity, sulphur, sweet and unpleasant notes. The number of OACs and individual chemical classes differed significantly between selected species. *Atractylis humilis* contained more OACs than *Scolymus hispanicus* and *Plantago* sp., whereas *Globularia alypum* had higher number of OACs compared to *Plantago* sp. This study gave a general overview on plant aroma profile of semiarid pastures in Algeria and suggests that the aromatic profile of grazed plants in the pasture is determinant of the aromatic quality of dairy-derived foods which depends also on animal feed selection.

KEYWORDS

algerian semi-arid pastures, botanical composition, GC/MS/Olfactometry, odour-active compounds, steam distillation extraction, volatile profile

1 | INTRODUCTION

Covering an area of nearly 2.4 million km², Algeria is the largest country in Africa. Most of its lands are considered as drylands falling mostly under Saharan or semi-arid and arid climates, whereas only about 2% of the country area receive annual precipitations higher than 800 mm (Negm et al., 2020). These conditions are highly limiting crop yields and conditioning animal production that is mainly practiced in semiarid steppe rangelands (Fenni, 2013; Iñiguez, 2011). Eighty % of the Algerian area consists of barren lands, whereas 16.5%, c. 0.39 M km², are agricultural lands of which 0.31 M km² are used for grazing and only 0.08 M km² for primarily crops and some forage production (Nedjraoui, 2001). Livestock comprises mainly sheep farming as cow breeding is more difficult and limited. According to FAOSTAT (2018), 79% of livestock are sheep, 14% goats and only 6% are cows. Although more intensive husbandry systems have been introduced in recent years, traditional extensive systems are still the dominant livestock farming practices.

Pasture composition and quality have a high impact on the aroma profile and quality of milk and dairy-derived products. For instance, the development of volatile compounds in milk and cheese is influenced by the quality of grazing on fresh pasture (Buchin et al., 1999; Cornu et al., 2001; Viallon et al., 1999). Volatiles can be in part directly transferred from feed into the blood stream and from there into the milk via inhalation and through the animal skin. Volatiles in the animal's blood and milk can also have origin from the animals' metabolism during rumination and digestion (Dougherty et al., 1962; McSweeney et al., 2000). Carpino et al. (2004) detected different aroma profiles in selected spontaneously growing plant species. Rapisarda et al. (2014) demonstrated differences in plant volatile profiles between spontaneous and cultivated pastures. Schadt et al. (2008) detected differences in milk aroma profiles of cows fed with selected plant species. According to Viallon et al. (2000), the composition of plant species in forages strongly influences the proportions and quantities of monoterpenes and sesquiterpenes in dairy fat. Forage plants belonging to the Asteraceae family compared to Poaceae species may generate terpenes-rich milk. Carpino, Mallia, La Terra, et al. (2004) did a controlled study to determine the relationship between odour-active compounds (OACs) present in fresh pasture plants and their presence in Ragusano cheese. They found that pasture derived Ragusano cheeses were much richer in odour-active aldehydes, esters and terpenoid compounds than cheeses made from cows fed only with total mixed ration. According to O'Callaghan et al. (2017), feeding system affected significantly the volatile profile of Cheddar cheeses.

Notwithstanding that an important part of the total Algerian area (about 13%) consists of steppe rangelands used for animal grazing where pastures are the main feeding ground in livestock production,

Highlights

- Pastures located in semiarid regions of Algeria have high plant diversity, with dominance of Asteraceae species.
- Odour-active compounds and odour notes of key plant species in semiarid pastures were determined using GC-MS-olfactometry.
- Terpenes and aldehydes are the main characteristic odour-active components of dominant plant species in both cultivated and uncultivated pastures.
- The number of odour-active terpenes differed significantly between pasture plant species.
- The aromatic profile of grazed plants in the pasture is determinant of the aromatic quality of dairy-derived foods which depends also on animal feed selection.

the botanical composition of Algerian pastures in semiarid lands is little known. Therefore, studies investigating pasture plant composition and quality are highly needed as they may improve both pasture habitat management and animal production through a comprehensive valorization of high-quality animal-derived products. The present study aims to determine the botanical composition of different pasture areas in a semi-arid region of Algeria, and to identify the composition of OACs of key plant species growing in these pastures. In addition, the study examines aroma differences and similarities between the selected species in terms of (i) total number of OACs, (ii) numbers of compounds belonging to specific chemical classes (acids, alcohols, aldehydes, alkanes, aromatic hydrocarbons, esters, ketones, pyrazines, pyrroles, sulfur compounds, terpenes, thiazoles), and (iii) numbers of compounds belonging to specific odour classes such as herbaceous, sweet spicy, floral, fried, sulphur, cooked, mint, fruity, sweet and unpleasant notes.

2 | MATERIALS AND METHODS**2.1 | Study area**

The study was conducted in a rural farm (latitude: 35.9515°N, longitude: 7.457°E) located at the Province of Oum-El-Bouaghi (Hauts-Plateaux region, northeastern Algeria), at an altitude ranging from 860m to 940m above sea level (a.s.l.). The area is particularly known for rainfed cereal production and livestock farming using both spontaneous and cultivated pastures (Kabbout et al., 2016). The rural farm was based on semi-intensive management which depend on the availability of pasture.

The climate is typical Mediterranean semi-arid with a dry period lasting 4–5 months from June to October. January was the coldest month and July was the hottest with a mean temperature of 5.3°C and 24.3°C respectively (Mehalaine & Chenchouni, 2019). Mean temperatures during the study period, May–July 2017, ranged between 11 and 20°C. Rainfall was low and erratic with pronounced variations between years and within seasons of the same year. During the study period, monthly rainfall varied between 18 and 44mm.

The study area was subdivided into three areas of 2 ha each, representing three different types of pastures, used for mixed sheep-goat grazing: (i) Mountain area (35°57'10.1"N, 07°27'17.2"E, altitude: 940m a.s.l.) with high stony load and similar slope as the two following pasture areas, this hilly pasture has never been cultivated and was characterized by the absence of direct and indirect humane activities except small ruminant grazing; it is characterized by spontaneous and natural vegetation; (ii) Set at rest area (35°57'00.3"N, 07°27'34.2"E, altitude: 860m a.s.l.), this area was put at rest during the last three consecutive years prior carrying out the study, before that period, barley (*Hordeum vulgare*) was rainfed cultivated; and (iii) cultivated pasture under rainfed barley production (35°57'02.2"N, 07°27'37.5"E, altitude 860m a.s.l.). Because of the drought that affected the region during fall and winter of 2017, the crop failed and the plot was thus not harvested, but instead it was used starting from April as grazing pasture for small ruminant feeding. The agricultural activity in this plot was limited to tillage in the autumn before sowing during October–November. No irrigation, fertilization nor pesticides were applied during cereal cultivation.

2.2 | Sampling of pasture plants

Plant botanical composition was determined using wooden square frames (1.5 m × 1.5 m). Pasture samples were collected twice, during mid-April and mid-May (spring season). Most of the plant species are expected to be abundant and at the flowering stage during this period. Square frames were placed at the four corners of an

imaginary rectangle with a surface of about 50 m × 100 m set at the centre of each pasture plot. During the second sampling period, the four frames were put in between the locations of previous samples (Figure 1).

For each sample, the plants sited inside the frame were cut close to the ground and the entire aerial part (stems, branches, leaves, flowers) were carefully collected in paper bags and brought to the laboratory where individual species were sorted, counted and weighed to determine fresh biomass and number of individuals of each plant species. Plant species were identified according to Quézel and Santa (1963), Blamey and Gray-Wilson (2009) and the database of "Tela Botanica" for the North African flora (<https://www.tela-botanica.org/flore/>).

Ten plant species (*Atractylis humilis*, *Calendula arvensis*, *Filago pygmaea*, *Globularia alypum*, *Hordeum vulgare*, *Malva sylvestris*, *Plantago* sp., *Scolymus hispanicus*, *Sonchus asper*, and *Thymus algeriensis*) were chosen based on their high levels of fresh aerial biomass measured onsite during the sampling time on the three pasture areas. This choice was also supported by practical considerations from local shepherds on the basis of their detailed observations of high consumption of these species by goats and sheep during grazing. The choice of using fresh mater is considered in this study as grazers intake fresh aerial parts of these plants thus this approach may reflect better the amount of forage intake. In addition, recent studies revealed that screening fresh plant sample can elucidate a higher aromatic profile than using dry samples (Sellami et al., 2011; Zouaoui et al., 2020). It is noteworthy mentioning that the use of dry matter instead of fresh samples to measure forage mass may be more suitable for comparisons as it is the standard procedure often employed (Ngwa et al., 2000). Nevertheless, many studies (e.g. Cornu et al., 2001; Viallon et al., 1999) demonstrated the importance of grazing on fresh pasture in the development of high amount of volatile compounds in milk and cheeses and thus improving the traceability of dairy products.

These plant species were sampled once during the flowering stage in April, which coincides with the production period of "Bouhezza", a traditional cheese made from raw goat milk. The plant

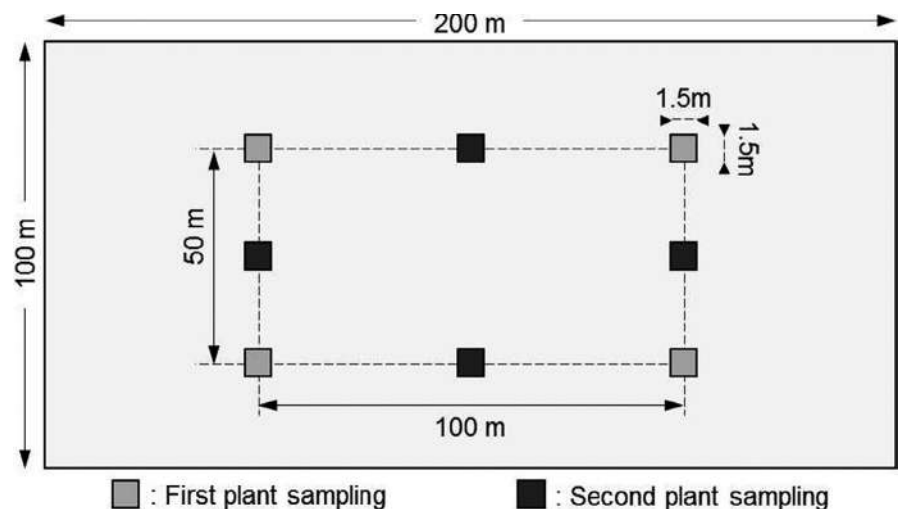


FIGURE 1 In-field sampling scheme applied in each of the three pasture areas in northeastern Algeria

material analysed was the aerial parts including tender, woody and hard stems, leaves, flowers of the 10 selected plant species. Samples were collected onsite during the flowering stage and immediately frozen at -20°C in plastic bags until the analysis of OACs.

2.3 | Extraction and detection of odour-active compounds

The 10 selected individual plant samples were extracted with ethyl ether (Sigma Chemical Co., St. Louis, MO) using the steam distillation extraction (SDE) technique and analysed with a qualitative detection technique, using Gas Chromatography Olfactometry analysis (GC/O), as described by Rapisarda et al. (2013, 2014). This technique was already selected to determine the aroma profile in Sicilian pastures and individual pasture species as reported by Rapisarda et al. (2013). This method is used in cases of real mixtures constituted by odorous compounds characterized by strong odours and low odour thresholds, capable to detect a vast range of OACs belonging to all kinds of different chemical classes, and seemed therefore to be the best option to provide a first general qualitative screening of the pasture plants of this study that have not been studied yet. One hundred grams of sample was extracted and each sample was composed of plants without the roots containing all other morphological parts. Each volatile extract was poured in 5 ml glass Teflon-capped vial and stored at -20°C , until GC/O analysis. Each extract was then concentrated under a nitrogen flow to remove 2/3 of the solvent. OACs were then detected and identified.

The analysis of OACs was performed using a modified Agilent Technologies 6890N gas chromatograph (GC/O) (Agilent Technology, Palo Alto, CA, USA) where, through the sniffing port (DATU Technology Transfer, Geneva, NY, USA), the final detector was represented by the trained human nose (Acree et al., 1976). One μL of volatile compound extract in diethyl ether was injected in splitless mode (injector temperature: 250°C) and each OAC was separated by a fused-silica capillary column (HP-5:12 m, 0.32 mm i.d. and 0.25 μm film thickness Hewlett Packard, Palo Alto, CA, USA). The chromatographic conditions were in accordance with Rapisarda et al. (2013). During olfactometric analysis, the eluted compounds were mixed with humidified air to prevent the drying of the assessors' nose mucous membranes which could cause discomfort, using the method described in Acree and Barnard (1994). The sniffer, a single trained 40-years-old female sniffer (Marin et al., 1988) was continuously exposed to this source for 30 min. The humidified sniff airflow was 4L/min at the sniffing port (Acree & Barnard, 1994). Even though it may seem a subjective measurement, a trained human nose is necessary to describe each kind of perceived odour and its intensity (Acree et al., 1976; Mallia et al., 2008). The olfactometric analysis was carried out twice per sample extract in order to confirm odour results. During GC/O analysis, each odour retention time (RT) was recorded by Charmware software (v.1.12, Datu Inc., Geneva, NY). Following Kovats et al. (1958), retention times (RT) of the detected odorants were converted into retention indices (RI) based on known

RI of a series of normal alkanes (C7–C18), (Sigma Chemical Co., St. Louis, MO). Other chemical standards were not used because qualitative but not quantitative analysis was performed. The OACs separation was obtained under the same gas chromatographic conditions used to detect OACs by GC/O analysis. The identification of each OAC was performed by an Agilent Technologies 7890A gas chromatograph (Agilent Technology, Palo Alto, CA, USA) coupled with 5975C mass selective detector (with triple-axis detector) (Agilent Technology, Palo Alto, CA, USA) using the chromatographic conditions reported in Rapisarda et al., 2013, as well as, by the 'Flavornet' internet data base (<http://www.flavornet.org>) (Arn & Acree, 1997).

2.4 | Statistical analysis

The binary dataset (presence-absence of OACs) was processed using JMP statistical software (version 12.0.1, SAS Institute Inc., Cary, NC). To determine differences between the 10 selected plant species and to characterize the chemical and odour profile of Algerian pasture in general, nominal and ordinal logistic regression of generalized linear models 'GLM' were developed and Chi-square tests on present OACs were applied. In particular, the statistical analyses examined differences between the selected species in their total number of OACs, in numbers of compounds belonging to specific chemical classes (acids, alcohols, aldehydes, alkanes, aromatic hydrocarbons, esters, ketones, pyrazines, pyrroles, sulfur compounds, terpenes, thiazoles) as well as in numbers of compounds belonging to specific odour classes (herbaceous, sweet spicy, floral, fried, sulfur, cooked, mint, fruity, sweet and unpleasant notes). In addition, overall differences in the numbers of the above-mentioned chemical and OAC categories considering all selected plants together were determined to obtain a general picture on the aroma profile of semiarid Algerian pastures. The significance level was set at $\alpha = 0.05$.

3 | RESULTS

3.1 | Botanical composition of semiarid pastures

In total, 70 different plant species were identified during the sampling periods on the three pasture areas. These plants were classified into 62 genera and 22 different families (Tables 1, 2). Asteraceae was the dominant family with 16 species, followed by Brassicaceae with 8 species, Fabaceae with 7 species, Lamiaceae and Poaceae with 6 species each, Apiaceae and Plantaginaceae with 4 species, Boraginaceae, Malvaceae, Ranunculaceae and Asparagaceae have 2 species each. All the rest of families have one species (Tables 1, 2).

As regards to mountain pasture, over 90% of fresh plant biomass were observed in Plantaginaceae (33.1%), Asteraceae (29.3%) and Lamiaceae (27.8%) species (Table 2). With a total of about 8% of the total biomass, Fabaceae, Brassicaceae, Poaceae and Apiaceae were less represented in this pasture area. The set at rest pasture

TABLE 1 Botanical composition and species biomass of three selected pasture areas in the semiarid region of northeastern Algeria

Family	Species	Average biomass (%)		
		Mountain ^a	Set at rest ^b	Cultivated ^c
Asteraceae	<i>Scolymus hispanicus</i> L.	-	7.1 ± 1.5	-
	<i>Atractylis humilis</i> L.	27.5 ± 9.0	-	-
	<i>Atractylis cancellata</i> L.	0.6 ± 0.3	-	-
	<i>Leontodon saxatilis</i> Lam	0.6 ± 0.1	1.1 ± 0.6	-
	<i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertn	-	0.6 ± 0.0	-
	<i>Rhaponticum acaule</i> (L.) DC.	-	0.4 ± 0.1	-
	<i>Calendula arvensis</i> L.	-	1.6 ± 0.9	-
	<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	-	24.8 ± 0.4	28.9 ± 12.0
	<i>Taraxacum officinale</i> F.H.Wigg	0.3 ± 0.3	0.7 ± 0.2	-
	<i>Anacyclus clavatus</i> (Desf.) Pers	-	6.1 ± 1.4	-
	<i>Centaurea solstitialis</i> L.	-	0.3 ± 0.1	-
	<i>Carthamus pinnatus</i> Desf	-	6.7 ± 2.4	-
	<i>Pallenis spinosa</i> (L.) Cass	-	-	0.1 ± 0.1
	<i>Artemisia judaica</i> L.	0.3 ± 0.1	-	-
	<i>Filago pygmaea</i> L.	-	7.8 ± 0.1	-
<i>Senecio vulgaris</i> L.	-	0.3 ± 0.3	-	
Brassicaceae	<i>Lobularia maritima</i> (L.) Desv.	0.9 ± 0.1	-	-
	<i>Diploaxis muralis</i> (L.) DC.	0.5 ± 0.1	0.6 ± 0.0	-
	<i>Diploaxis tenuifolia</i> (L.) DC.	-	1.1 ± 0.9	-
	<i>Diploaxis eruroides</i> (L.) DC.	-	1.1 ± 0.2	-
	<i>Matthiola fruticulosa</i> (L.) Maire	0.3 ± 0.1	-	-
	<i>Eruca vesicaria</i> (L.) Cav	0.3 ± 0.1	0.7 ± 0.4	-
	<i>Sisymbrium irio</i> L.	-	0.8 ± 0.3	-
	<i>Rapistrum rugosum</i> (L.) All.	-	1.5 ± 0.1	-
Lamiaceae	<i>Ajuga chamaepitys</i> (L.) Schreb.	-	1.2 ± 0.5	-
	<i>Ajuga iva</i> (L.) Schreb.	0.9 ± 0.5	-	-
	<i>Teucrium polium</i> L.	3.3 ± 1.9	-	-
	<i>Thymus algeriensis</i> Boiss. & Reut	20 ± 6.4	-	-
	<i>Thymus vulgaris</i> L.	3.6 ± 2.0	-	-
	<i>Marrubium vulgare</i> L.	-	1.5 ± 0.2	-
Fabaceae	<i>Argyrolobium zanonii</i> (Turra) P.W.Ball	0.7 ± 0.2	-	-
	<i>Lotus</i> sp.	0.6 ± 0.4	-	-
	<i>Coronilla</i> sp.	0.4 ± 0.1	-	-
	<i>Scorpiurus muricatus</i> L.	-	1 ± 0.4	-
	<i>Astragalus geniculatus</i> Desf.	0.3 ± 0.2	-	-
	<i>Astragalus</i> sp.	0.1 ± 0.1	-	-
	<i>Vicia sativa</i> L.	-	0.3 ± 0.0	-
Poaceae	<i>Bromus</i> sp.	1.5 ± 0.9	-	-
	<i>Macrochloa tenacissima</i> (L.) Kunth	0.5 ± 0.6	-	-
	<i>Lolium perenne</i> L.	-	1.6 ± 2.1	-
	<i>Avena</i> sp.	-	3.1 ± 4.3	3.5 ± 4.9
	<i>Hordeum vulgare</i> L.	-	-	45.2 ± 13.1
	<i>Hordeum murinum</i> L.	-	2.8 ± 3.4	-

(Continues)

TABLE 1 (Continued)

Family	Species	Average biomass (%)		
		Mountain ^a	Set at rest ^b	Cultivated ^c
Apiaceae	<i>Daucus carota</i> L.	-	0.7 ± 0.2	-
	<i>Bunium pachypodum</i> P.W. Ball	-	1.8 ± 0.1	14 ± 6.7
	<i>Eryngium campestre</i> L.	-	-	0.8 ± 1.0
	<i>Deverra scoparia</i> Coss. & Durieu	1.7 ± 0.1	-	-
Plantaginaceae	<i>Plantago lanceolata</i> L.	-	0.8 ± 0.6	-
	<i>Plantago</i> sp.	-	6.9 ± 3.8	-
	<i>Linaria</i> sp.	-	0.3 ± 0.0	-
	<i>Globularia alypum</i> L.	33.1 ± 10.5	-	-
Boraginaceae	<i>Nonea micrantha</i> Boiss. & Reut	-	0.7 ± 0.4	-
	<i>Alkanna tinctoria</i> Tausch	0.6 ± 0.5	-	-
Malvaceae	<i>Malope malacoides</i> (L.)	-	0.3 ± 0.1	-
	<i>Malva sylvestris</i> L.	-	8.6 ± 4.4	-
Ranunculaceae	<i>Nigella damascena</i> L.	-	-	0.1 ± 0.1
	<i>Adonis aestivalis</i> L.	-	0.4 ± 0.3	4.3 ± 4.4
Asparagaceae	<i>Muscari comosum</i> (L.) Mill	-	0.4 ± 0.3	2.4 ± 0.1
	<i>Ornithogalum</i> sp.	-	-	-
Primulaceae	<i>Lysimachia arvensis</i> (L.) U.Manns & Anderb	0.2 ± 0.2	0.5 ± 0.1	-
Papaveraceae	<i>Papaver rhoeas</i> L.	-	0.3 ± 0.3	0.7 ± 0.0
Iridaceae	<i>Moraea sisyrinchium</i> (L.) Ker Gawl	-	-	-
Cistaceae	<i>Fumana thymifolia</i> (L.) Spach ex Webb	1 ± 0.5	-	-
Caryophyllaceae	<i>Paronychia argentea</i> Lam.	0.3 ± 0.2	-	-
Rosaceae	<i>Poterium sanguisorba</i> L.	0.2 ± 0.0	-	-
Orchidaceae	<i>Orchis mascula</i> (L.) L	-	-	-
Resedaceae	<i>Reseda alba</i> L.	0.2 ± 0.0	0.8 ± 0.3	-
Geraniaceae	<i>Erodium moschatum</i> (L.) L'Hér	-	0.7 ± 0.2	-
Rutaceae	<i>Ruta montana</i> (L.) L.	0.2 ± 0.1	-	-
Euphobiaceae	<i>Euphorbia helioscopia</i> L.	-	1.7 ± 1.0	0.1 ± 0.0

^aNever cultivated (i.e. contains spontaneous vegetation).

^bSet at rest for three consecutive years before conducting the study.

^cUnder barley (*Hordeum vulgare*) production.

was dominated by Asteraceae plants (biomass = 57.5%), followed by Malvaceae (biomass = 8.9%), Plantaginaceae (biomass = 8%), Poaceae (biomass = 7.5%) and Brassicaceae (biomass = 5.8%). The Lamiaceae, Fabaceae, Apiaceae and Euphobiaceae families totalled minor biomass of about 10%, while the rest of families were very rare. The cultivated pasture included mainly Poaceae plants (biomass = 48.7%). However, this area contained also many plants belonging to Asteraceae (biomass = 29%), Apiaceae (biomass = 14.8%) and Ranunculaceae (biomass = 6.8%) families (Table 2).

Of ten selected plant species (plant with high occurrence, high fresh biomass and effectively grazed by goats and sheep), five belonged to Asteraceae (*A. humilis*, *C. arvensis*, *F. pygmaea*, *S. hispanicus* and *S. asper*), two to Plantaginaceae (*G. alypum* and *Plantago* sp.), one to Lamiaceae (*T. algeriensis*), Malvaceae (*M. sylvestris*) and Poaceae (*H. vulgare*) (Table 1). the species with the highest biomasses in the mountain

pasture were *G. alypum* (33%), *A. humilis* (27%) and *T. algeriensis* (20%) (Table 1). Biomass of *H. vulgare* (45%) was dominant in the cultivated pasture, it was followed by *S. asper* (29%). Species with the highest biomass in the set at rest pasture were *S. asper* (25%), *M. sylvestris* (9%), *F. pygmaea* (8%), *S. hispanicus* (7%) and *Plantago* sp. (7%). Although *C. arvensis* had slight biomass (2%) in the pasture set at rest, it was selected for OAC screening, since even some minor species could contribute to the cheese flavour and/or the quality of other dairy-derived products.

3.2 | Distribution of spontaneous plant species in the three pastures areas

The distribution of spontaneous plant species growing in the three pastures is displayed in Figure 2. A total of 23 species were listed

TABLE 2 Total number of species (S) and biomass (B%) for plant families at different pastures in semiarid lands of northeastern Algeria

Plant family	No of Genera	No of Species	Mountain		Set at rest		Cultivated	
			S	B%	S	B%	S	B%
Apiaceae	4	4	1	1.7	2	2.5	2	14.8
Asparagaceae	2	2	-	-	1	0.4	1	2.4
Asteraceae	15	16	5	29.3	12	57.5	2	29.0
Boraginaceae	2	2	1	0.6	1	0.7	-	-
Brassicaceae	6	8	4	2.0	6	5.8	-	-
Caryophyllaceae	1	1	1	0.3	-	-	-	-
Cistaceae	1	1	1	1.0	-	-	-	-
Eupobiaceae	1	1	-	-	1	1.7	1	0.1
Fabaceae	6	7	5	2.1	2	1.3	-	-
Geraniaceae	1	1	-	-	1	0.7	-	-
Iridaceae	1	1	-	-	-	-	-	-
Lamiaceae	4	6	4	27.8	2	2.7	-	-
Malvaceae	2	2	-	-	2	8.9	-	-
Orchidaceae	1	1	-	-	-	-	-	-
Papaveraceae	1	1	-	-	1	0.3	1	0.7
Plantaginaceae	3	4	1	33.1	3	8.0	-	-
Poaceae	5	6	2	2.0	3	7.5	2	48.7
Primulaceae	1	1	1	0.2	1	0.5	-	-
Ranunculaceae	2	2	-	-	1	0.4	2	4.4
Resedaceae	1	1	1	0.2	1	0.8	-	-
Rosaceae	1	1	1	0.2	-	-	-	-
Rutaceae	1	1	1	0.2	-	-	-	-
Total	62	70	29	100	40	100	11	100

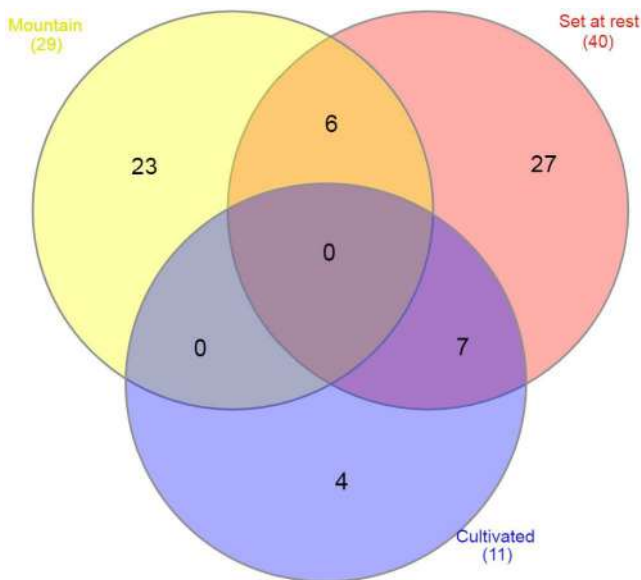


FIGURE 2 Three-set Venn diagram displaying the distribution of spontaneous plant species growing in three pastures in semiarid lands of Algeria. Figures between brackets represent the total number of species in each pasture, whereas numbers within the diagram are species shared exclusively between the corresponding pastures [Colour figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

exclusively in mountain pasture, 27 species exclusively recorded in set at rest areas and four species were exclusively found in cultivated pasture, with complete absence of common species between the three pastures and between exclusively mountain and cultivated pastures. The mountain and set at rest pastures held exclusively six common species. Whereas, seven common species were exclusively shared between set at rest and cultivated pastures.

3.3 | Odour-active compounds of selected pasture plants

A total of 86 different OACs were identified, with 21 terpenes, 18 aldehydes, 10 alcohols, 7 esters, 5 sulphur compounds, 5 ketones, 3 pyrazines, 3 aromatic hydrocarbons, 2 thiazoles, 2 pyrroles, 1 acid and 1 alkane. Eight of the 86 OACs could not be identified (Table 3). Furthermore, the 86 OACs identified included 19 different compounds with herbaceous notes, 13 with floral, 10 with sweet spicy, 10 with fried, 9 with mint, 7 with cooked, 6 with fruity, 6 with sulphur, 3 with sweet and 3 with unpleasant notes (Table 3). The number of OACs per species ranged from 20 to 42 and differed significantly between plants ($p = .0025$, Table 4). *Attractylis humilis* contained more OACs compared to *S. hispanicus* and *Plantago* sp. The difference in

TABLE 3 Odour-active compounds (OACs) and odours detected in selected spontaneous plant species from semiarid pastures in Algeria

Compound	Class	Odour	LRI ^a	Ident ^b	Selected plant species ^c													
					At hu	Ho vu	Fi py	Ma sy	Th al	Gl al	Ca ar	So as	Sc hi	Pl sp				
Phenyl acetic acid	Acids	Floral	1,264	PI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Total OACs					1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1
Guaiacol	Alcohols	Cooked	1,090	PI,MS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1-Octen-3-ol	Alcohols	Floral	976	PI,MS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1-Hexenol	Alcohols	Herbaceous	785	PI,MS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1-Hexanol	Alcohols	Herbaceous	844	PI,MS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1.5-Octadien-3-ol	Alcohols	Herbaceous	988	PI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2-Ethylhexanol	Alcohols	Herbaceous	1,028	PI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Artemisia alcohol	Alcohols	Herbaceous	1,085	PI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2-Methyl-1-butanol	Alcohols	Sulfur	733	PI,MS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
p-Vinyguaiacol	Alcohols	Sweet spicy	1,314	PI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
(z)-2-Penten-1-ol	Alcohols	Unpleasant	768	PI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Total OACs					8	6	6	5	5	2	3	2	2	2	2	4	4	4
2,4-Heptadienal	Aldehydes	Fried	1,006	PI,MS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2,4-Nonadienal	Aldehydes	Fried	1,217	PI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Decadienal	Aldehydes	Fried	1,308	PI,MS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Isobutyraldehyde	Aldehydes	Herbaceous	663	PI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Mercaptoacetaldehyde	Aldehydes	Herbaceous	684	PI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
(E)-2-Hexenal	Aldehydes	Herbaceous	830	PI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2-Octenal	Aldehydes	Herbaceous	1,052	PI,MS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3-Nonenal	Aldehydes	Herbaceous	1,097	PI,MS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2,4-Octadienal	Aldehydes	Herbaceous	1,113	PI,MS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
(E)-2-Nonenal	Aldehydes	Herbaceous	1,146	PI,MS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
(Z)-2-Nonenal	Aldehydes	Herbaceous	1,152	PI,MS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2,6-Nonadienal	Aldehydes	Herbaceous	1,157	PI,MS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
p-Anisaldehyde	Aldehydes	Mint	1,278	PI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Phenylethanal	Aldehydes	Sweet	1,041	PI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2-Undecenal	Aldehydes	Sweet	1,354	PI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Vanillin	Aldehydes	Sweet	1,412	PI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Furfural	Aldehydes	Sweet spicy	826	PI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

(Continues)

TABLE 3 (Continued)

Compound	Class	Odour	LRI ^a	Ident ^b	Selected plant species ^c												
					At hu	Ho vu	Fi py	Ma sy	Th al	Gl al	Ca ar	So as	Sc hi	Pl sp			
4-Heptenal	Aldehydes	Sweet spicy	890	PI,MS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Total OACs					8	9	10	8	6	8	8	10	7	6	7	7	7
Dodecane	Alkanes	Unpleasant	1,199	PI,MS						X							
Total OACs					0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1,2-Dimethylbenzene	Aromatic hydrocarbons	Floral	877	PI					X								
Ethylidihydrocinamate	Aromatic hydrocarbons	Floral	1,343	PI			X		X								
Methylquinoxaline	Aromatic hydrocarbons	Fried	1,283	PI		X		X									
Total OACs					0	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Ethyl octanoate	Esters	Floral	1,193	PI,MS			X									X	
Ethyl phenylacetate	Esters	Floral	1,254	PI												X	
Ethyl methylbutyrate	Esters	Fruity	848	PI,MS			X			X							
Propylbutyrate	Esters	Fruity	880	PI,MS							X						
Propylhexanoate	Esters	Fruity	1,101	PI	X												X
Isobornylformate	Esters	Herbaceous	1,239	PI						X							
Isobutylacetate	Esters	Sweet spicy	765	PI		X				X							
Total OACs					1	1	2	0	0	3	1	0	0	2	1	1	1
8-Nonen-2-one	Ketones	Cooked	815	PI		X	X	X	X								
2-Nonanone	Ketones	Cooked	1,093	PI,MS	X	X					X	X	X	X	X	X	X
Octadienone	Ketones	Floral	980	PI	X	X	X	X	X								
1-Nonen-3-one	Ketones	Floral	1,070	PI	X	X		X			X						
Artemisia ketone	Ketones	Sweet spicy	1,072	PI					X								
Total OACs					3	4	2	3	3	0	3	2	2	2	2	2	2
2,5-Dimethyl-3-ethylpyrazine	Pyrazines	Cooked	1,076	PI	X	X	X	X									
Diethylmethylpyrazine	Pyrazines	Cooked	1,164	PI,MS	X					X							
Methyl ethylpyrazine	Pyrazines	Fried	1,057	PI	X		X	X									
Total OACs					3	1	2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Acetylpyrroline	Pyrroles	Fried	923	PI		X		X			X				X		
2-Acetylpyrrole	Pyrroles	Fruity	1,046	PI							X				X		

(Continues)

TABLE 3 (Continued)

Compound	Class	Odour	LRI ^a	Ident ^b	Selected plant species ^c											
					At hu	Ho vu	Fi py	Ma sy	Th al	Gl al	Ca ar	So as	Sc hi	PI sp		
Total OACs					0	1	0	1	0	0	0	2	0	1	0	
Methylfuranthiol	Sulfurs	Cooked	865	PI		X										X
Methyl-(methylthio)furan	Sulfurs	Cooked	1,165	PI		X	X									X
Methylthiophene	Sulfurs	Herbaceous	747	PI		X										
Thiophene	Sulfurs	Sulfur	665	PI	X		X									X
Methional	Sulfurs	Sulfur	917	PI	X	X	X									X
Total OACs					2	4	3	3	2	3	3	2	2	2	2	
(Z)-Linalooloxide	Terpenes	Floral	1,064	PI					X							
Linalool	Terpenes	Floral	1,095	PI			X									X
Citronellol	Terpenes	Floral	1,231	PI												
Isogeraniol	Terpenes	Floral	1,248	PI												X
β -Carene	Terpenes	Fruity	996	PI,MS	X	X	X									X
p-2-Menthen-1-ol	Terpenes	Herbaceous	1,140	PI,MS	X	X	X									X
cis-Isocitral	Terpenes	Herbaceous	1,173	PI		X										
Methyleugenol	Terpenes	Herbaceous	1,397	PI	X		X									X
Methylgeranate	Terpenes	Floral	1,301	PI		X										X
α -Pinene	Terpenes	Mint	939	PI,MS												X
Myrcene	Terpenes	Mint	998	PI					X							
(+)-Limonene	Terpenes	Mint	1,030	PI,MS	X	X	X									
(Z)-Ocimene	Terpenes	Mint	1,027	PI,MS					X							
Dihydrocarveol	Terpenes	Mint	1,182	PI	X	X	X									X
α -Terpineol	Terpenes	Mint	1,207	PI					X							
Dihydrocarvyacetate	Terpenes	Mint	1,343	PI												X
α -Cubebene	Terpenes	Mint	1,347	PI	X											
(+)-Carvone	Terpenes	Sweet spicy	1,255	PI,MS	X	X	X									X
Eugenol	Terpenes	Sweet spicy	1,359	PI	X	X	X									X
α -Copaene	Terpenes	Sweet spicy	1,371	PI	X	X	X									X
Isocaryophyllene	Terpenes	Sweet spicy	1,434	PI	X		X									X
Total OACs					9	9	8	10	11	14	6	10	6	2	2	
Acetylthiazoline	Thiazoles	Fried	1,105	PI,MS	X	X	X									X

(Continues)

TABLE 3 (Continued)

Compound	Class	Odour	LRI ^a	Ident ^b	Selected plant species ^c												
					At hu	Ho vu	Fi py	Ma sy	Th al	Gl al	Ca ar	So as	Sc hi	Pl sp			
Methyl thiazoline	Thiazoles	Sulfur	956	PI	X					X				X			
NI	-	Fried	1,122	-				X									
NI	-	Fried	1,130	-	X												
NI	-	Fried	1,239	-	X			X									
NI	-	Fruity	1,174	-	X												
NI	-	Sulfur	1,139	-					X								
NI	-	Sulfur	1,202	-													X
NI	-	Sweet spicy	1,320	-	X												
NI	-	Unpleasant	1,383	-	X												
Total OACs					5	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	1

^aLRI, Linear Retention Index with HP-5 column.

^bIdentification method (MS: comparison with NIST library, PI: comparison with LRI flavornet database).

^cPlant species (At hu: *Atractylis humilis*, Ho vu: *Hordeum vulgare*, Fi py: *Filago pygmaea*, Ma sy: *Malva sylvestris*, Th al: *Thymus algeriensis*, Gl al: *Globularia alypum*, Ca ar: *Calendula arvensis*, So as: *Sonchus asper*, Sc hi: *Scolymus hispanicus*, Pl sp: *Plantago sp.*)

the number of OACs among the selected plant species was mainly attributed to the odour-active terpenes ranging from 2 to 14 different compounds per plant species ($p = .0136$, Table 5). *Globularia alypum* contained significantly more odour-active terpenes than *Plantago sp.* There was also a marginal difference ($p = .0607$, information not reported in tables) in the number of odour-active alcohols among the selected plants, with *Atractylis humilis* containing the highest number of eight OACs belonging to the alcohol class. The difference in odours between the selected plants was only marginal ($p = .0823$, information not reported in tables) and was limited to the fried notes with *M. sylvestris* and *H. vulgare* containing the highest number of seven fried smelling compounds.

The OACs of pasture samples were mainly composed by terpenes and aldehydes (Table 6), on average 9 terpenes and 8 aldehydes per sample, followed by 4 alcohols, 3 sulphur compounds and 2 ketones. They also had on average 1 odour-active ester, 1 pyrazine and 1 thiazole, half of the samples contained 1 acid, 1 aromatic hydrocarbon and 1 pyrrole, whereas only 10% of the samples had 1 odour-active alkane. Herbaceous, sweet spicy and floral notes were predominant with 7, 5 and 5 OACs, respectively, on the average sample (Table 7). The average pasture samples also contained 4 fried, 3 sulphur, 3 cooked, 2 mint, 2 fruity, 1 sweet, flavours and 1 unpleasant note.

4 | DISCUSSION

4.1 | Botanical composition in relation to Mediterranean pastures

The total number of plant species listed on the three pasture areas represented about 1.8% of the total number of plant species identified in northeastern of Algeria (Yahi et al., 2012). Most of plant species recorded in this survey were therophytic annual plants, which are precipitation-dependent (Bradai et al., 2015). Considering both the mountain area and the pasture set at rest for three consecutive years, plant species of the Asteraceae family were most represented in terms of both species' richness and fresh plant biomass. Asteraceae plants were also the most abundant on Sicilian spontaneous pastures (Carpino et al., 2003). Generally, this plant family is well-represented in both the continental and island regions of Algeria (Benhamiche-Hanifi & Moulai, 2012) as well as across the Mediterranean region (Jeanmonod et al., 2011; Neffar et al., 2018). According to Falaki et al. (2014), when degradation level of the vegetation is high, the number of plant species of some families such as Asteraceae may become more abundant. There are few studies concerning the botanical description of pastures located at arid and semi-arid zones in North Africa (Bouallala et al., 2021; Bouallala et al., 2020; Kouba et al., 2021). Merdas et al. (2017) identified 101 different plant species in the central steppe rangelands of Algeria. Most of them belonged to the Asteraceae family (26 species) followed by the Poaceae (18 species) and Fabaceae (8 species) families. Nine of those plant species (*Atractylis cancellata*, *Deverra scoparia*, *Eruca vesicaria*, *Filago pygmaea*, *Macrochloa tenacissima*,

Plant species	No of OACs	LL CI ^a	UL CI	Chi-square	p-value ^b
<i>Atractylis humilis</i>	42	0.105	0.915	6.15	*
<i>Hordeum vulgare</i>	39	-0.038	0.775	3.22	0.07
<i>Filago pygmaea</i>	37	-0.135	0.682	1.77	NS
<i>Malva sylvestris</i>	36	-0.185	0.635	1.21	NS
<i>Thymus algeriensis</i>	33	-0.337	0.493	0.16	NS
<i>Calendula arvensis</i>	32	-0.390	0.445	0.03	NS
<i>Globularia alypum</i>	32	-0.390	0.445	0.03	NS
<i>Sonchus asper</i>	24	-0.852	0.041	2.98	0.08
<i>Scolymus hispanicus</i>	22	-0.984	-0.068	4.82	*
<i>Plantago sp.</i>	20	-1.127	-0.183	7.07	**

^aLower limit (LL) and upper limit (UL) of the 95% confidence interval (CI).

^bSignificance of difference from number of OACs of other species (at least from one)

* $p < .05$

** $p < .01$, NS: not significant ($p > .10$).

TABLE 4 Number of odour-active compounds (OACs) detected in individual plant species of semiarid pastures of Algeria

Plant species	No of OACs	LL CI ^a	UL CI	Chi-square	p-value ^b
<i>Globularia alypum</i>	14	0.307	2.065	6.74	**
<i>Thymus algeriensis</i>	11	-0.278	1.389	1.71	NS
<i>Malva sylvestris</i>	10	-0.478	1.189	0.73	NS
<i>Sonchus asper</i>	10	-0.478	1.189	0.73	NS
<i>Atractylis humilis</i>	9	-0.687	0.994	0.16	NS
<i>Hordeum vulgare</i>	9	-0.687	0.994	0.16	NS
<i>Filago pygmaea</i>	8	-0.910	0.801	0.01	NS
<i>Calendula arvensis</i>	6	-1.429	0.401	1.01	NS
<i>Scolymus hispanicus</i>	6	-1.429	0.401	1.01	NS
<i>Plantago sp.</i>	2	-3.466	-0.648	6.93	**

^aLower limit (LL) and upper limit (UL) of the 95% confidence interval (CI).

^bSignificance of difference from number of OACs of other species (at least from one).

** $p < .01$, NS: not significant ($p > .05$).

TABLE 5 Differences in the number of odour-active terpenes detected in individual plant species of semiarid pastures of Algeria

Moraea sisyrinchium, *Nonea micrantha*, *Reseda alba*) were also detected in the present study. Similar findings were reported in semiarid halophytic pastures, where Asteraceae, Poaceae, Fabaceae, Chenopodiaceae and Brassicaceae species dominate (Neffar et al., 2016). Boutaouni et al. (2018) identified *Thymus algeriensis* as the most widespread species in North Africa. It is recognized as an indigenous plant in Libya, Tunisia, Algeria and Morocco, where it is well-adapted to the local pedo-climatic conditions (Mehalaine & Chenchouni, 2021).

The observed dissimilarities in plant distribution and composition among the three pastures (Tables 1 and 2) can be related to several environmental factors such as climatic conditions that vary following elevation (Peiretti et al., 2017), soil characteristics (Chenchouni, 2017) and management practices (Boob et al., 2019; Kouba et al., 2021). According to Gaujour et al. (2012), the edaphic and topographic factors play a key role in the formation of plant communities that ultimately leads to specific phytogeographical

regions. Pfeiffer et al. (2019) reported that grazing favours the development of annual species and species growth with various forms. Furthermore, plant secondary metabolism is closely related to abiotic variables of the habitat, with climate and soil characteristics are the main drivers of changes observed in the composition and yields of plant secondary metabolites (Mehalaine & Chenchouni, 2019, 2020).

4.2 | Profile of odour-active compounds in the selected pasture plant species

The content of OACs in plants is depending on various factors such as species, morphology, phenological stage, environmental conditions and management practices (Ait Said et al., 2011; Llusia et al., 2006; Mariaca et al., 1997). The Algerian pasture samples had similar numbers of OACs compared to Sicilian pasture samples

TABLE 6 Overall number of odour-active compounds (OACs) according to their chemical classes detected in selected plant species of semiarid pastures of Algeria

Chemical classes	No of OACs		LL CI ^a	UL CI	Chi-square	p-value ^b
	Total in 10 plant species	Average per plant sample				
Terpenes	85	8.5	5.326	9.363	55.42	****
Aldehydes	81	8.1	4.908	8.648	50.83	****
Alcohols	43	4.3	1.808	4.561	21.69	****
Sulfur compounds	26	2.6	0.307	2.691	5.45	*
Ketones	24	2.4	0.076	2.541	4.23	*
Esters	11	1.1	-2.731	-0.321	6.29	*
Pyrazines	10	1.0	-3.027	-0.533	8.38	**
Thiazoles	9	0.9	-3.098	-0.658	9.21	**
Acids	6	0.6	-3.570	-1.227	14.06	***
Aromatic hydrocarbons	5	0.5	-4.173	-1.558	17.92	****
Pyrrroles	5	0.5	-4.173	-1.558	17.92	****
Alkanes	1	0.1	-7.313	-2.895	19.58	****

^aLower limit (LL) and upper limit (UL) of the 95% confidence interval (CI).

^bSignificance of difference from number of OACs of other chemical classes (at least from one).

* $p \leq .05$,

** $p < .01$,

*** $p < .001$,

**** $p < .0001$.

TABLE 7 Overall number of odour-active compounds (OACs) according to their odour categories detected in selected plant species of semiarid pastures of Algeria

Odour	No of OACs		LL CI ^a	UL CI	Chi-square	p-value ^b
	Total in 10 plant species	Average per plant sample				
Herbaceous	66	6.6	3.125	6.147	41.16	****
Sweet spicy	49	4.9	1.438	3.665	18.08	****
Floral	47	4.7	1.179	3.375	14.84	***
Fried	40	4.0	-0.075	2.338	3.87	*
Sulfur	28	2.8	-1.153	0.929	0.04	NS
Cooked	28	2.8	-1.235	0.986	0.04	NS
Mint	24	2.4	-2.415	0.110	4.02	*
Fruity	15	1.5	-3.579	-1.148	14.75	***
Sweet	13	1.3	-3.796	-1.435	17.43	****
Unpleasant	7	0.7	-5.671	-2.824	33.07	****

NS: not significant ($p > .05$).

^aLower limit (LL) and upper limit (UL) of the 95% confidence interval (CI).

^bSignificance of difference from number of OACs of other odour categories (at least from one).

* $p \leq .05$,

*** $p < .001$,

**** $p < .0001$,

(Rapisarda et al., 2014). Thirty chemical compounds, over 30% of the total identified compounds were identical with the compounds perceived by Rapisarda et al. (2014) in spontaneous Sicilian pasture samples, including 6 alcohols, 6 aldehydes, 5 terpenes, 3 esters, 3 sulphur compounds and 1 aromatic hydrocarbon, 1 ketone, 1 pyrazine and 1 pyrrole.

Alcohols were detected in the sampled plants with a total of 10 different compounds (Table 3): 1-Hexanol was predominantly detected in most samples, whereas 1-Octen-3-ol was a common compound. This alcohol was also detected as common compound in cultivated and spontaneous pastures (Rapisarda et al., 2014). Aldehydes totalled 18 OACs (Table 3), 4-Heptenal and

2,4-Nonadienal were recognized as common compound in all samples. Decadienal, (E)-2-Nonenal, (Z)-2-Nonenal and Phenylethanal were predominantly detected in most samples. (Z)-2-nonenal with hay note was identified as common compound in 15 different types of ruminant's feeds tested by Rapisarda et al. (2012) in order to determine their palatability. (E)-2-nonenal and 2,4-Nonadienal (with green and nutty notes respectively) were predominantly detected in most ruminant feeds analyzed by Rapisarda et al. (2012). These Aldehydes, also detected in the present study, originate from the oxidation process of unsaturated fatty acids present in plants grazed by animals (Ho & Chen, 1994; Hsieh, 1994) highlighting that grazing animals favour the transfer of these compounds directly from pasture. Martin et al. (2005) showed that botanical diversity could be associated with more numerous and varied cheese flavours. These compounds can be considered pasture feeding tracers. According to Carpino, Mallia, Licitra, et al. (2004), (E)-2-nonenal, (Z)-2-nonenal generated green and hay notes were predominantly detected in most individual plant species known to be consumed by cattle in Sicilian pastures. Aldehydes are known to exert attractiveness for herbivores affecting thus the palatability of plants (Chmelová, 2010).

A total of 7 ester compounds were found in plants. Ethyloctanoate, ethylmethylbutyrate and isobutylacetate were detected more often compared to the other esters. Rapisarda et al. (2014) mentioned the presence of these ethyl esters in spontaneous and cultivated Sicilian pastures. Ethyloctanoate was identified with appreciable level in traditional *Lben* and *Bouhezza* cheese made from milk of goats fed on pastures within the area of *Bouhezza* cheese production (Medjoudj et al., 2016). This ester was detected as common compound in all Feta cheeses from both mountainous areas of Greece and could be considered as a key characteristic compound of the traditional feta cheese (Bozoudi et al., 2018). Boltar et al. (2015) highlighted a potential direct transfer between forage and milk for ethyl octanoate. According to Curioni and Bosset (2002), the different types of ethyl esters detected in pasture-derived cheese are known for their important role in the formation of a fruity character in the cheese. Rapisarda et al. (2014) reported that fruity, green, broth, and floral notes identified and smelled principally in spontaneous pasture are linked to the presence of esters.

Ketones included five AOCs (Table 3): Octadienone and 2-Nonanone, detected predominately in the most plants, contribute with floral and cooked notes, respectively. 2-Nonanone was detected in 6 of 10 plants. 2-Nonanone was detected in traditional Feta cheeses made from milk of sheep fed only with forage growing in mountainous areas of Greece (Bozoudi et al., 2018). 2-Nonanone was also determined in farmhouse *Bouhezza* cheese produced with cow milk at different ripening times (Aissaoui Zitoun-Hamana et al., 2016). This compound derived typically from an oxidation product of unsaturated fatty acid (Ho & Chen, 1994).

In plant samples, six sulphur compounds result mainly from the catalysis of amino acids (Derbali et al., 1998) were detected (Table 3): Methional being the predominantly smelled sulphur compound in

all plant samples with sulphur note. Rapisarda et al. (2014) demonstrated that sulphur compounds detected in spontaneous and cultivated Sicilian pasture are mainly originated from Brassicaceae species.

Among the chemical classes of OACs, terpenes presented, as expected, the highest number of OACs. A total of 21 terpenes was recognized using GC/O and GC/MS (Table 3). Terpenes compounds give pleasant notes to the plant aromatic profile (floral, fruity, herbaceous, mint, sweet and spicy). Six terpenes (β -Carene, p-2-Menthen-1-ol, Dihydrocarveol, (+)-Carvone, Eugenol, α -Copaene) were predominantly detected in most plant samples with Citronellol was noted only in *Globularia alypum*. Several studies (e.g. Coppa et al., 2019; Mariaca et al., 1997) indicated that terpenes are usually derived from secondary plant metabolites synthesized by plants, not by animals. These natural products are considered an important indicator (tracer) for determining the geographical origin of a cheese type, the dietary history of the animals and contributing to the PDO status of cheese (Martin et al., 2005). Nonetheless, their importance in the formation of cheese flavour remains controversial (Curioni & Bosset, 2002). Bovolenta et al. (2014) revealed that terpenes and ketones were at highest levels in cheese made from nutrient-poor pasture characterized by the dominance of Asteraceae, Lamiaceae and Apiaceae which are terpene-rich plants (Cornu et al., 2001; Mariaca et al., 1997).

Plant feed flavours will affect its palatability, plant selection and intake (Arsenos et al., 2000; Villalba & Provenza, 1997; Villalba et al., 2006). Even though some compounds may be perceived as pleasant notes by humans, such as terpenes, this is not necessarily true in grazing animals. Estell et al. (1996), Villalba et al. (2006) and Dziba and Provenza (2008) reported a negative influence of some terpene compounds on palatability and ingestion of feed by small ruminants. Especially α -pinene, camphene, camphor, 1,8-cineole appear to be repellent to these animals (Estell et al., 2005; Narjisse et al., 1997). Ellis et al. (2005) also demonstrated that goats avoided rich-terpenes plants which reduce palatability when other palatable species were available, despite the fact that they exhibited the tendency to increase its consumption when exposed to this plant species for a long time. Plants species with the highest intake have the lowest numbers of terpenes. Considering this concept, *Plantago* sp., *S. hispanicus* and *C. arvensis* may represent the most palatable spontaneous plant species in the present study, but, on the opposite, *G. alypum*, *T. algeriensis*, *M. sylvestris* and *S. asper* may represent less pleasant species. *G. alypum* had high number of terpenes. In addition, goats have the ability to convert the low-quality vegetation into high-quality products (Landau et al., 2000). According to Allegretti et al. (2012), forage availability was the main factor influencing diet selection in arid environments. When food availability was not a limiting factor, goats selected a diet that most closely matched their nutritional requirements. Our findings showed that the feeds with the highest intake had the lowest numbers of total OACs and also the lowest numbers of odour-active sulphur compounds. Considering these two concepts, *Plantago* sp., *S. hispanicus* and *S. asper* may represent the most palatable spontaneous plant

species in the present study (Table 4), while *H. vulgare*, *F. pygmaea*, *M. sylvestris* and *G. alypum* may represent less pleasant species. *H. vulgare*, *F. pygmaea* and *M. sylvestris* had high number of OACs and also 3–4 sulphuric compounds. *Globularia alypum* only had an intermediate total number of OACs but contained α -pinene in addition to 3 sulphur compounds. Furthermore, *G. alypum* contained 3 and *H. vulgare* 4 of the OACs which were characteristic for the feeds tested by Rapisarda et al. (2012) that were less eaten by both ewes and lambs. Even though *Atractylis humilis* had the highest number of OACs, it had only two sulphur compounds. Moreover, *A. humilis* contained 2-undecenal and diethylmethylpyrazine. In the study of Rapisarda et al. (2012), these two compounds were within the characteristic OACs of beet pulp and soybean meal, which were the most accepted feeds by ewes and lambs respectively.

5 | CONCLUSIONS

The analysed Algerian spontaneous and set at rest pasture areas were characterized by high plant diversity and were mainly represented by species of the Asteraceae family. Plants of semiarid pastures of Algeria were mainly characterized by odour-active terpenes and aldehydes and by herbaceous, sweet spicy and floral notes. Individual species mainly differed in their numbers of odour-active terpenes. There is still little knowledge about aromatic profile of plant species bearing OACs in relation to animal selection and intake in semi-arid pastures of North Africa including Algeria. Further studies are recommended to investigate the relationship between OACs present in pasture plants and animal derived foods in particular mechanisms and pathways by which OACs in general and some appreciated flavouring and fragrant compounds are transferred to dairy products.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank all the staff from CoRFiLaC that participated and/or helped in carrying out this work. We also like to acknowledge the Associate Editor and the two anonymous referees for their proposed corrections to improve the article.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

AUTHOR CONTRIBUTION

Asma Senoussi: Conceptualization (equal); Investigation (equal); Methodology (equal); Writing-original draft (equal); Writing-review & editing (equal). **Iris Schadt:** Formal analysis (equal); Validation (equal); Writing-original draft (equal); Writing-review & editing (equal). **Soraya Hioun:** Investigation (equal); Methodology (equal). **Haroun Chenchouni:** Formal analysis (equal); Visualization (equal); Writing-original draft (equal); Writing-review & editing (equal). **Zineddine Saoudi:** Investigation (equal). **Ouarda Aissaoui Zitoun-Hamama:** Supervision (equal); Writing-original draft

(equal). **Mohammed Nasreddine Zidoune:** Methodology (equal); Writing-original draft (equal). **Stefania Carpino:** Conceptualization (equal); Supervision (equal). **Teresa Rapisarda:** Project administration (equal); Resources (equal); Validation (equal); Writing-original draft (equal).

DATA AVAILABILITY STATEMENT


The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.


ORCID

Asma Senoussi  <https://orcid.org/0000-0002-3587-6614>

Iris Schadt  <https://orcid.org/0000-0002-8391-1613>

Haroun Chenchouni  <https://orcid.org/0000-0001-9077-2706>

Ouarda Aissaoui Zitoun-Hamama  <https://orcid.org/0000-0001-6163-1672>

Mohammed Nasreddine Zidoune  <https://orcid.org/0000-0002-2334-8208>

Stefania Carpino  <https://orcid.org/0000-0002-3330-1083>

Teresa Rapisarda  <https://orcid.org/0000-0003-3104-7795>

REFERENCES

- Acree, T. E., & Barnard, J. (1994). Gas chromatography-olfactometry using charm analysis. In Maarse, H. (Ed.), *Trends in flavour Research. Proceedings of 7th Weurman Flavour Research Symposium* (pp. 211–220). Elsevier.
- Acree, T. E., Butts, R. M., Nelson, R. R., & Lee, C. Y. (1976). Sniffer to determine the odor of gas chromatographic effluents. *Analytical Chemistry*, 48(12), 1821–1822. <https://doi.org/10.1021/ac50006a050>
- Aissaoui Zitoun-Hamama, O., Carpino, S., Rapisarda, T., Belvedere, G., Licitra, G., & Zidoune, M. N. (2016). Use of smart nose and GC/MS/O analysis to define volatile fingerprint of a goatskin bag cheese “Bouhezza”. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(11), 746–754. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-02-184>
- Ait Said, S., Fernandez, C., Greff, S., Derridj, A., Gauquelin, T., & Mevy, J. P. (2011). Inter-population variability of leaf morpho-anatomical and terpenoid patterns of *Pistacia atlantica* Desf. ssp. *atlantica* growing along an aridity gradient in Algeria. *Flora*, 206(4), 397–405. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2010.08.002>
- Allegretti, L., Sartor, C., Lama, S. P., Egea, V., Fucili, M., & Passera, C. (2012). Effect of the physiological state of Criollo goats on the botanical composition of their diet in NE Mendoza. *Argentina. Small Ruminant Research*, 103(2–3), 152–157. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.09.018>
- Arn, H., & Acree, T. E. (1997). Flavornet. <http://acree.foodscience.cornell.edu/flavornet.html>. Accessed on June 4th, 2020
- Arsenos, G., Hills, J., & Kyriazakis, I. (2000). Conditioned feeding responses of sheep towards flavoured foods associated with casein administration: The role of long delay learning. *Animal Science*, 70(1), 157–169. <https://doi.org/10.1017/S1357729800051699>
- Arsenos, G., Kyriazakis, I., & Tolcamp, B. J. (2000). Conditioned feeding responses of sheeptowards flavoured foods associated with the administration of ruminally degradable and/or undegradable protein sources. *Animal Science*, 71(3), 597–606. <https://doi.org/10.1017/S1357729800055429>
- Benhamiche-Hanifi, S., & Moulai, R. (2012). Analyse des phytocénoses des systèmes insulaires des régions de Béjaia et de Jijel (Algérie) en présence du Goéland leucopnée (*Larus michahellis*). *Revue Ecologie (Terre & Vie)*, 67, 375–397.

- Blamey, M., & Grey-Wilson, C. (2009). *Toutes les fleurs de Méditerranée: Les fleurs, les graminées, les arbres et arbustes*, 3rd ed. Delachaux et Niestlé.
- Boltar, I., Majhenič, A. Č., Jarni, K., Jug, T., & Kralj, M. B. (2015). Volatile compounds in Nanos cheese: Their formation during ripening and seasonal variation. *Journal of Food Science and Technology*, 52(1), 608–623. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1603-4>
- Boob, M., Truckses, B., Seither, M., Elsäßer, M., Thumm, U., & Lewandowski, I. (2019). Management effects on botanical composition of species-rich meadows within the Natura 2000 network. *Biodiversity and Conservation*, 28(3), 729–750. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-01689-1>
- Bouallala, M., Bradai, L., & Chenchouni, H. (2021). Effects of sand encroachment on vegetation diversity in the Sahara Desert. In H. Chenchouni, H. I. Chaminé, M. F. Khan, B. J. Merkel, Z. Zhang, P. Li, A. Kallel, & N. Khélifi (Eds.), *New Prospects in environmental geosciences and hydrogeosciences*. Cham, Switzerland: Springer.
- Bouallala, M., Neffar, S., & Chenchouni, H. (2020). Vegetation traits are accurate indicators of how do plants beat the heat in drylands: Diversity and functional traits of vegetation associated with water towers in the Sahara Desert. *Ecological Indicators*, 114, 106364. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106364>
- Boutaoui, N., Zaiter, L., Benayache, F., Benayache, S., Carradori, S., Cesa, S., ... Locatelli, M. (2018). Qualitative and quantitative phytochemical analysis of different extracts from *Thymus algeriensis* aerial parts. *Molecules*, 23(2), 463. <https://doi.org/10.3390/molecules23020463>
- Bovolenta, S., Romanzin, A., Corazzin, M., Spanghero, M., Aprea, E., Gasperi, F., & Piasentier, E. (2014). Volatile compounds and sensory properties of Montasio cheese made from the milk of Simmental cows grazing on alpine pastures. *Journal of Dairy Science*, 97(12), 7373–7385. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8396>
- Bozoudi, D., Kondyli, E., Claps, S., Hatzikamari, M., Michaelidou, A., Biliaderis, C. G., & Litopoulou-Tzanetaki, E. (2018). Compositional characteristics and volatile organic compounds of traditional PDO Feta cheese made in two different mountainous areas of Greece. *International Journal of Dairy Technology*, 71(3), 673–682. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12497>
- Bradai, L., Bouallala, M., Bouziane, N. F., Zaoui, S., Neffar, S., & Chenchouni, H. (2015). An appraisal of eremophyte diversity and plant traits in a rocky desert of the Sahara. *Folia Geobotanica*, 50(3), 239–252. <https://doi.org/10.1007/s12224-015-9218-8>
- Buchin, S., Martin, B., Dupont, D., Bornard, A., & Achilleos, C. (1999). Influence of the composition of Alpine highland pasture on the chemical, rheological and sensory properties of cheese. *Journal of Dairy Research*, 66(4), 579–588. <https://doi.org/10.1017/S0022029999003842>
- Carpino, S., Licitra, G., & Van Soest, P. J. (2003). Selection of forage species by dairy cattle on complex Sicilian pasture. *Animal Feed Science and Technology*, 105(1–4), 205–214. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00054-3](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00054-3)
- Carpino, S., Mallia, S., La Terra, S., Melilli, C., Licitra, G., Acree, T. E., ... Van Soest, P. J. (2004). Composition and aroma compounds of Ragusano cheese: Native pasture and total mixed rations. *Journal of Dairy Science*, 87(4), 816–830. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73226-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73226-9)
- Carpino, S., Mallia, S., Licitra, G., van Soest, P. J., & Acree, T. E. (2004). Aroma compounds of some Hyblean pasture species. *Flavour and Fragrance Journal*, 19(4), 293–297. <https://doi.org/10.1002/ffj.1346>
- Chenchouni, H. (2017). Edaphic factors controlling the distribution of inland halophytes in an ephemeral salt lake “Sabkha ecosystem” at North African semi-arid lands. *Science of the Total Environment*, 575, 660–671. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.071>
- Chmelová, Š. (2010). Aldehydes in maize and grass silages. 14th Int. Symp. Forage Conservation Brno, Czech Rep., March 17–19. <http://sustainable.at/files/projects/342/en/additional/14th%20international%20symposiumforage%20conservation.pdf>
- Coppa, M., Chassaing, C., Sibra, C., Cornu, A., Verbič, J., Golecký, J., ... Martin, B. (2019). Forage system is the key driver of mountain milk specificity. *Journal of Dairy Science*, 102(11), 10483–10499. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16726>
- Cornu, A., Carnat, A. P., Martin, B., Coulon, J. B., Lamaison, J. L., & Berdagué, J. L. (2001). Solid-phase microextraction of volatile components from natural grassland plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(1), 203–209. <https://doi.org/10.1021/jf0008341>
- Curioni, P. M. G., & Bosset, J. O. (2002). Key odorants in various cheese types as determined by gas chromatography-olfactometry. *International Dairy Journal*, 12(12), 959–984. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(02\)00124-3](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(02)00124-3)
- Derbali, E., Makhlof, J., & Vezina, L. P. (1998). Biosynthesis of sulfur volatile compounds in broccoli seedlings stored under anaerobic conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 13(3), 191–204. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00016-7](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00016-7)
- Dougherty, R. W., Shipe, W. F., Gudnason, G. V., Ledford, R. A., Peterson, R. D., & Scarpellino, R. (1962). Physiological mechanisms involved in transmitting flavors and odors to milk. I. contribution of eructated gases to milk flavor. *Journal of Dairy Research*, 45(4), 472–476. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(62\)89429-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(62)89429-6)
- Dziba, L. E., & Provenza, F. D. (2008). Dietary monoterpene concentrations influence feeding patterns of lambs. *Applied Animal Behaviour Science*, 109, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.02.003>
- Ellis, C. R., Jones, R. E., Scott, C. B., Taylor, C. A. Jr, Walker, J. W., & Waldron, D. F. (2005). Sire influence on juniper consumption by goats. *Rangeland Ecology & Management*, 58(3), 324–328. <https://doi.org/10.2111/1551-5028>
- Estell, R. E., Fredrickson, E. L., Anderson, D. M., Havstad, K. M., & Remmenga, M. D. (1996). Tarbush leaf surface terpene profile in relation to mammalian herbivory. In: Barrow, J. R., McArthur, E. D., Sosebee, R. E., & Tausch, R. J. (Eds.), *Proceedings of Symposium Shrubland Ecosystem Dynamics in a Changing Climate* (pp. 237–241). General Technical Report INT-GTR-338. : Intermountain Research Station, Forest Service, USDA.
- Estell, R. E., Fredrickson, E. L., Anderson, D. M., Havstad, K. M., & Remmenga, M. D. (2005). Effect of previous exposure of sheep to monoterpene odors on intake of alfalfa pellets treated with camphor or α -pinene. *Small Ruminant Research*, 58(1), 33–38. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2004.08.011>
- Falaki, R., Tajbakhsh, M., & Ghollasimood, S. (2014). Biodiversity evaluation of rangelands ecosystems to achieve sustainable development (Case study: Dastgerd Watershed, Birjand, Iran). *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 5, 268–275.
- FAOSTAT. (2018). FAOSTAT: Live Animals. Statistics of Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QA>. Accessed 2 June 2020
- Fenni, M. (2013). Impacts of climate change on cereal production in the Setif high plains (North-East of Algeria). In I. Dincer, C. O. Colpan, & F. Kadioglu (Eds.), *Causes, Impacts and Solutions to Global Warming* (pp. 225–231). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7588-0_14
- Gaujour, E., Amiaud, B., Mignolet, C., & Plantureux, S. (2012). Factors and processes affecting plant biodiversity in permanent grasslands. *A Review. Agronomy for Sustainable Development*, 32(1), 133–160. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0015-3>
- Ho, C., & Chen, Q. (1994). Lipids in food flavors: An overview. In C. Ho, & T. G. Hartman (Eds.), *Lipids Oxidation, Interaction, and Flavors* (pp. 2–29). American Chemical Society.
- Hsieh, J. R. (1994). Contribution of lipoxygenase pathway to food flavors. In C. Ho, & T. G. Hartman (Eds.), *Lipids Oxidation, Interaction and Flavors* (pp. 30–48). American Chemical Society.
- Iñiguez, L. (2011). The challenges of research and development of small ruminant production in dry areas. *Small Ruminant Research*, 98(1–3), 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.03.010>

- Jeanmonod, D., Schlüssel, A., & Gamisans, J. (2011). Analyse de la flore Corse: Aspects biologiques. *Candollea*, 66(1), 5–25. <https://doi.org/10.15553/c2011v66a1a>
- Kabbout, N., Merzoug, D., & Chenchouni, H. (2016). Ecological status of phlebotomine sandflies (Diptera: Psychodidae) in rural communities of Northeastern Algeria. *Journal of Arthropod-Borne Diseases*, 10(1), 24–38. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4813400/>
- Kouba, Y., Merdas, S., Mostephaoui, T., Saadali, B., & Chenchouni, H. (2021). Plant community composition and structure under short-term grazing exclusion in steppic arid rangelands. *Ecological Indicators*, 120, 106910. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106910>
- Kovats, V. E. (1958). Gas-chromatographische charakterisierung organischer verbindungen. Teil 1: Retentionsindizes aliphatischer halogenide, alkohole, aldehyde und ketone. *Helvetica Chimica Acta*, 41(7), 1915–1932. <https://doi.org/10.1002/hlca.19580410703>
- Landau, S., Perevolotsky, A., Bonfil, D., Barkai, D., & Silanikove, N. (2000). Utilization of low quality resources by small ruminants in Mediterranean agro-pastoral systems: The case of browse and after-math cereal stubble. *Livestock Production Science*, 64(1), 39–49. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00174-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00174-3)
- Llusà, J., Peñuelas, J., Alessio, G. A., & Estiarte, M. (2006). Seasonal contrasting changes of foliar concentrations of terpenes and other volatile organic compound in four dominant species of a Mediterranean shrubland submitted to a field experimental drought and warming. *Physiologia Plantarum*, 127(4), 632–649. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00693.x>
- Mallia, S., Escher, F., & Schlichtherle-Cerny, H. (2008). Aroma-active compounds of butter: A review. *European Food Research and Technology*, 226(3), 315–325. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0555-y>
- Mariaca, R. G., Berger, T. F., Gauch, R., Imhof, M. I., Jeangros, B., & Bosset, J. O. (1997). Occurrence of volatile mono- and sesquiterpenoids in highland and lowland plant species as possible precursors for flavor compounds in milk and dairy products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(11), 4423–4434. <https://doi.org/10.1021/jf970216t>
- Marin, A. B., Acree, T. E., & Barnard, J. (1988). Variation in odor detection thresholds determined by charm analysis. *Chemical Senses*, 13(3), 435–444. <https://doi.org/10.1093/chemse/13.3.435>
- Martin, B., Verdier-Metz, I., Buchin, S., Hurtaud, C., & Coulon, J. B. (2005). How do the nature of forages and pasture diversity influence the sensory quality of dairy livestock products? *Animal Science*, 81(2), 205–212. <https://doi.org/10.1079/ASC50800205>
- McSweeney, P. L., & Sousa, M. J. (2000). Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheeses during ripening: A review. *Le Lait*, 80(3), 293–324. <https://doi.org/10.1051/lait:2000127>
- Medjoudj, H., Zidoune, M. N., & Hayaloglu, A. A. (2016). Proteolysis and volatile profile in the Algerian traditional Bouhezza cheese made using raw goat's milk. *International Journal of Food Properties*, 20(8), 1876–1893. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1222588>
- Mehalaine, S., & Chenchouni, H. (2019). Effect of climatic factors on essential oil accumulation in two Lamiaceae species from Algerian semiarid lands. In H. Chenchouni, E. Errami, F. Rocha, & L. Sabato (Eds.), *Exploring the Nexus of Geoecology, Geography, Geoarcheology and Geotourism* (pp. 57–60). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01683-8_12
- Mehalaine, S., & Chenchouni, H. (2021). Effect of edaphic factors on essential oil production in wild plants growing under semiarid Mediterranean conditions. In H. Chenchouni, H. I. Chaminé, M. F. Khan, B. J. Merkel, Z. Zhang, P. Li, A. Kallel, & N. Khélifi (Eds.), *New Prospects in Environmental Geosciences and Hydrogeosciences*. Cham, Switzerland: Springer.
- Mehalaine, S., & Chenchouni, H. (2020). Plants of the same place do not have the same metabolic pace: Soil properties affect differently essential oil yields of plants growing wild in semiarid Mediterranean lands. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(23). <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06219-4>
- Merdas, S., Menad, A., Mostephaoui, T., & Sakaa, B. (2017). Plant community structure and diversity under grazing gradient in arid Mediterranean steppe of Algeria. *Journal of Materials and Environmental Science*, 8, 4329–4338.
- Narjisse, H., Malechek, J. C., & Olsen, J. D. (1997). Influence of odor and taste of monoterpenoids on food selection by anosmic and intact sheep and goats. *Small Ruminant Research*, 23(2–3), 109–115. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(96\)00900-5](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(96)00900-5)
- Nedjraoui, D. (2001). *Country Pasture / Forage Resource Profiles*. https://ees.kuleuven.be/klimos/toolkit/documents/648_Algeria.pdf
- Neffar, S., Chenchouni, H., & Si Bachir, A. (2016). Floristic composition and analysis of spontaneous vegetation of Sabkha Djendli in North-east Algeria. *Plant Biosystems*, 150(3), 396–403. <https://doi.org/10.1080/11263504.2013.810181>
- Neffar, S., Menasria, T., & Chenchouni, H. (2018). Diversity and functional traits of spontaneous plant species in Algerian rangelands rehabilitated with prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) plantations. *Turkish Journal of Botany*, 42(4), 448–461. <https://doi.org/10.3906/bot-1801-39>
- Negm, A. M., Bouderbala, A., Chenchouni, H., & Barcelo, D. (Eds.) (2020). *Water Resources in Algeria - Part I: Assessment of Surface and Groundwater Resources*. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-57895-4>
- Ngwa, A. T., Pone, D. K., & Mafeni, J. M. (2000). Feed selection and dietary preferences of forage by small ruminants grazing natural pastures in the Sahelian zone of Cameroon. *Animal Feed Science and Technology*, 88(3–4), 253–266. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(00\)00215-7](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00215-7)
- O'Callaghan, T. F., Mannon, D. T., Hennessy, D., McAuliffe, S., O'Sullivan, M. G., Leeuwendaal, N., ... Stanton, C. (2017). Effect of pasture versus indoor feeding systems on quality characteristics, nutritional composition, and sensory and volatile properties of full-fat Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*, 100(8), 6053–6073. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12508>
- Peiretti, P. G., Gai, F., Alonzi, S., Battelli, G., & Tassone, S. (2017). Characterization of Alpine highland pastures located at different altitudes: Forage evaluation, chemical composition, in vitro digestibility, fatty acid, and terpene contents. *Plant Biosystems*, 151(1), 50–62. <https://doi.org/10.1080/11263504.2015.1064044>
- Pfeiffer, M., Langan, L., Linstädter, A., Martens, C., Gaillard, C., Ruppert, J. C., ... Scheiter, S. (2019). Grazing and aridity reduce perennial grass abundance in semi-arid rangelands—Insights from a trait-based dynamic vegetation model. *Ecological Modelling*, 395, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.12.013>
- Quézel, P., & Santa, S. (1963). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*, CNRS ed.
- Rapisarda, T., Mereu, A., Cannas, A., Belvedere, G., Licitra, G., & Carpino, S. (2012). Volatile organic compounds and palatability of concentrates fed to lambs and ewes. *Small Ruminant Research*, 103(2–3), 120–132. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.08.011>
- Rapisarda, T., Pasta, C., Belvedere, G., Schadt, I., La Terra, F., Licitra, G., & Carpino, S. (2013). Variability of volatile profiles in milk from the PDO Ragusano cheese production zone. *Dairy Science & Technology*, 93(2), 117–134. <https://doi.org/10.1007/s13594-012-0104-3>
- Rapisarda, T., Pasta, C., Carpino, S., Caccamo, M., Ottaviano, M., & Licitra, G. (2014). Volatile profile differences between spontaneous and cultivated Hyblean pasture. *Animal Feed Science and Technology*, 191, 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.02.003>
- Schadt, I., Rapisarda, T., Belvedere, G., La Terra, F., Azzaro, G., Van Soest, P. J., ... Carpino, S. (2008). Which native Sicilian pasture plants make the difference for milk aroma quality. Abstract. *Journal of Dairy Science*, 91(1), 171.

- Sellami, I. H., Wannas, W. A., Bettaieb, I., Berrima, S., Chahed, T., Marzouk, B., & Limam, F. (2011). Qualitative and quantitative changes in the essential oil of *Laurus nobilis* L. leaves as affected by different drying methods. *Food Chemistry*, 126(2), 691–697. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.022>
- Viallon, C., Martin, B., Verdier-Metz, I., Pradel, P., Garel, J. P., Coulon, J. B., & Berdagué, J. L. (2000). Transfer of monoterpenes and sesquiterpenes from forages into milk fat. *Le Lait*, 80(6), 635–641. <https://doi.org/10.1051/lait:2000150>
- Viallon, C., Verdier-Metz, I., Denoyer, C., Pradel, P., Coulon, J. B., & Berdagué, J. L. (1999). Desorbed terpenes and sesquiterpenes from forages and cheeses. *Journal of Dairy Research*, 66(2), 319–326. <https://doi.org/10.1017/S0022029999003520>
- Villalba, J. J., & Provenza, F. D. (1997). Preference for flavoured foods by lambs conditioned with intraruminal administration of nitrogen. *British Journal of Nutrition*, 78(4), 545–561. <https://doi.org/10.1079/BJN19970174>
- Villalba, J. J., Provenza, F. D., & Olson, K. C. (2006). Terpenes and carbohydrate source influence rumen fermentation, digestibility, intake, and preference in sheep. *Journal of Animal Science*, 84(9), 2463–2473. <https://doi.org/10.2527/jas.2005-716>
- Yahi, N., Vela, E., Benhouhou, S., De Belair, G., & Gharzouli, R. (2012). Identifying important plants areas (key biodiversity areas for plants) in northern Algeria. *Journal of Threatened Taxa*, 4(8), 2753–2765. <https://doi.org/10.11609/jott.o2998.2753-65>
- Zouaoui, N., Chenchouni, H., Bouguerra, A., Massouras, T., & Barkat, M. (2020). Characterization of volatile organic compounds from six aromatic and medicinal plant species growing wild in North African drylands. *NFS Journal*, 18, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2019.12.001>

How to cite this article: Senoussi A, Schadt I, Hioun S, et al. Botanical composition and aroma compounds of semi-arid pastures in Algeria. *Grass Forage Sci.* 2020;00:1–18. <https://doi.org/10.1111/gfs.12510>