

# Caractérisation d'une alternative végétale aux fromages à base de matières premières suisses

Helena Stoffers<sup>1</sup>, Margaux Peter<sup>1</sup>, Hans-Peter Bachmann<sup>1</sup>, Lotti Egger<sup>1</sup>, Sébastien Dubois<sup>2</sup>, Barbara Guggenbühl<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Agroscope, 3003 Berne, Suisse

<sup>2</sup>Agroscope, 1725 Posieux, Suisse

Renseignements: Helena Stoffers, e-mail: helena.stoffers@agroscope.admin.ch

<https://doi.org/10.34776/afs12-164f> Date de publication: 9. Décembre 2021



Alternative aux fromages à base de noix, lupin et avoine affinée avec des moisissures. (Photo: Agroscope)

## Résumé

La demande de produits contenant des protéines végétales ne cesse d'augmenter depuis plusieurs années. Agroscope s'est fixé comme objectif de développer une base scientifique pour des alternatives végétales aux fromages à base de matières premières suisses. Lors de ce projet, 20 variantes ont été réalisées en fonction de la recette, de la culture bactérienne ainsi que du mode et du temps d'affinage. Les expériences réalisées ont montré qu'il est possible de fabriquer des produits à base de noix, de farine de lupin et d'avoine provenant principalement de Suisse. La fermentation souhaitée de cette base végétale avec une culture commerciale ou des bactéries d'acide lactique de la collection de souches

d'Agroscope a été possible. Les cultures avaient une influence significative sur l'intensité des attributs sensoriels fermenté, acide et piquant. L'ajout de farine d'avoine a eu un impact majeur sur le profil sensoriel. Le mode d'affinage avec des moisissures a eu pour résultat une teneur en eau plus basse, comparé à un affinage sous vide. Les teneurs des alternatives végétales en lipides, en protéines et en acide lactique étaient inférieures à celles des fromages à pâte molle à croûte fleurie.

**Keywords:** vegetable cheese alternative, cheese analogues, all natural, vegan cultures, oats, potato flour, white flour, lupine flour, rape seed oil, tree nuts.

## Introduction

Au cours des dernières années, les modes alimentaires de type végétarien, végétalien et flexitarien se sont passablement développés en raison d'une plus grande attention des consommateurs-trices aux aspects écologiques, nutritionnels, éthiques et culturels. Pour répondre à leurs besoins, les producteurs de denrées alimentaires se sont lancés dans l'innovation de produits afin de fournir des alternatives aux aliments d'origine animale. Les produits les plus populaires sur le marché actuel sont à base de soja (tel le tofu) ou de noix, par exemple les noix de cajou, de macadamia, les amandes, etc. (Tabanelli *et al.*, 2018). Les matières premières de ces produits proviennent souvent de pays non européens. De plus, ces alternatives végétales contiennent fréquemment des additifs alimentaires, tels que des épaississants afin d'obtenir la consistance souhaitée et des substances aromatisantes pour en améliorer le goût et l'arôme.

Les aliments fermentés apportent une contribution importante à un régime alimentaire équilibré. La fermentation, qui est une très vieille forme de conservation alimentaire, prolonge la durée de vie des aliments et influence le caractère des produits d'origine animale et végétale (Doyle, 2007) en terme d'arômes, de texture et de valeur nutritionnelle (Tabanelli *et al.*, 2018). La fermentation est relativement peu coûteuse, car c'est un processus de conservation qui nécessite peu d'énergie (Chaves-López *et al.*, 2014).

Agroscope s'est fixé pour objectif de développer une base scientifique pour des alternatives végétales aux fromages avec des matières premières provenant de Suisse, contenant le moins d'additifs possible et pouvant être produites dans une fromagerie standard sans trop d'investissements.

Parmi les matières premières suisses utilisées durant le projet, le lupin doux a été choisi en raison de sa teneur élevée en protéines, en moyenne 43 %. De plus, le lupin se caractérise par une forte teneur en fibres et une couleur jaune (Awad *et al.*, 2014). La farine d'avoine a été choisie pour obtenir un produit homogène et riche en fibres solubles, les cerneaux de noix pour leur texture et leurs arômes et la farine de pomme de terre pour son effet liant et épaississant. La farine de pomme de terre avec 70 % d'amidon en moyenne ainsi que la farine blanche avec 55 % d'amidon en moyenne ont été utilisés comme substituts à la caséine (Guinee *et al.*, 2004).

La culture bactérienne utilisée pour la fermentation ainsi que la méthode et le temps d'affinage sont autant de paramètres qui influencent la texture, le goût et l'aspect visuel des produits avec une base végétale. Après la réalisation de plusieurs prototypes, l'essai multifactoriel présenté ci-après a eu pour but d'étudier l'influence de deux recettes, de deux cultures et de différentes technologies d'affinage sur les produits finaux.

## Matériel et méthode

### Matières premières

Deux recettes différentes ont été réalisées avec les matières premières présentées dans le tableau 1. Le tableau 2 montre les valeurs nutritionnelles des deux recettes calculées à partir des déclarations des matières premières. Les quantités d'ingrédients ont été choisies en se basant sur l'étude de Guinee *et al.* (2004).

Pour la fermentation, une culture expérimentale d'Agroscope (*Lactiplantibacillus plantarum* FAM 18230) et une culture commerciale de Danisco® (Vege 033 LYO

**Tableau 1** | Recettes et matières premières utilisées par ordre décroissant

Ingrédients	Recette avec avoine [g/kg]	Recette sans avoine [g/kg]	Fournisseur / producteur
Eau	513	513	
Cerneaux de noix	154	154	Alpine Pacific Nut Co
Farine de lupin doux bio (N° article 8719)	77	154	Morga AG, CH
Farine d'avoine bio (N° article 2583)	77	–	Bauck GmbH, D
Huile de tournesol MClassic	75	75	Migros
Farine blanche qualité&prix (froment)	65	65	Coop
Farine de pomme de terre bio (N° article 2605)	26	26	Bauck GmbH, D
Sel alimentaire JuraSel®	8	8	Schweizer Salinen AG
Glucose	4	4	Merck KGaA, D

**Tableau 2 | Valeurs nutritionnelles des deux recettes (valeurs calculées sur la base des déclarations des matières premières)**

Composants	Unité	Recette avec avoine	Recette sans avoine
Énergie	[kcal/100g]	324	350
Lipides	[g/100g]	23	25
Glucides	[g/100g]	19	15
Fibres alimentaires	[g/100g]	5	7
Protéines	[g/100g]	9	13
Sel	[g/100g]	1	1
Amidon	[g/100g]	6,9	7,5

200DCU) contenant des souches de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* ont été utilisées. Pour l'affinage aux moisissures, une culture de Danisco® (PC VB LYO 10DCU, *Penicillium candidum*) a été sprayée sur la surface.

### Processus de fabrication

Le tableau 3 montre les variantes réalisées. Comme facteurs, deux types de recette, deux types de cultures, trois types d'affinage et deux périodes d'affinage ont été testés.

Dans un préparateur culinaire type cuiseur (KitchenAid Cook Processor Artisan 5KCF0103, KitchenAid, Benton

Harbor, MI, United States), les noix et l'huile de tournesol ont été mixés avec l'agitateur «StirAssist» trois fois 30 sec à vitesse maximale (2300 rpm), afin d'obtenir une pâte lisse et homogène. Ensuite, tous les autres ingrédients, sauf le sel, les cultures et les moisissures, ont été mixés dans le cuiseur deux fois 30 sec à vitesse maximale. Par la suite, la masse a été chauffée jusqu'à 120°C et mixée pendant 15 min avec une vitesse de mixage de 800rpm pour obtenir une pâte homogène. Puis la pâte a été maintenue à 65°C pendant 25 min, mixée pendant 30 secondes à vitesse maximale et refroidie à température ambiante pendant 40 min. Elle a été mixée une dernière fois pendant 30sec à vitesse maximale.

Par la suite, la masse a été ajustée à 43°C dans un bain-marie et les ferments ont été ajoutés. La fermentation s'est déroulée jusqu'à un pH de 4,2 pour les produits frais et 4,8 pour les produits affinés. à la fin de la fermentation, 0,9 % de sel a été ajouté. La pâte a été moulée et stockée pendant 4 jours à 4°C. Une pression de 0,1 kPa a été appliquée afin d'évacuer le surplus d'eau et éviter les trous d'air. Les produits ont été affinés soit avec des moisissures, soit sans moisissures sous film plastique stérile et sous vacuum. Les moisissures ont été sprayées sur la surface, les pâtons ont été retournés et sprayés à nouveau après 24 h. Ils ont été affinés pendant 10 jours à 16°C et 95 % d'humidité relative et retournés

**Tableau 3 | Liste des variantes des produits fabriqués (conception expérimentale)**

Variante	Recette	Source de culture	Type d'affinage	Temps d'affinage [jours]
1	avec avoine	Danisco®	sans (frais)	0
2	avec avoine	Agroscope	sans (frais)	0
3	avec avoine	Danisco®	moisissures	5
4	avec avoine	Danisco®	sous film	5
5	avec avoine	Agroscope	moisissures	5
6	avec avoine	Agroscope	sous film	5
7	avec avoine	Danisco®	moisissures	10
8	avec avoine	Danisco®	sous film	10
9	avec avoine	Agroscope	moisissures	10
10	avec avoine	Agroscope	sous film	10
11	sans avoine	Danisco®	sans (frais)	0
12	sans avoine	Agroscope	sans (frais)	0
13	sans avoine	Danisco®	moisissures	5
14	sans avoine	Danisco®	sous film	5
15	sans avoine	Agroscope	moisissures	5
16	sans avoine	Agroscope	sous film	5
17	sans avoine	Danisco®	moisissures	10
18	sans avoine	Danisco®	sous film	10
19	sans avoine	Agroscope	moisissures	10
20	sans avoine	Agroscope	sous film	10

une fois par jour. Les produits affinés sous film stérile ont été mis sous vide et stockés à la cave à 16°C. Des échantillons ont été prélevés avant la fermentation, après la fermentation (produit frais), après 5 jours d'affinage et après 10 jours d'affinage.

### Analyses des produits

Une analyse sensorielle a été effectuée sur les quatre produits frais qui n'ont pas été affinés et les quatre produits affinés avec moisissures (10 jours d'affinage). Seuls ces huit produits ont pu être analysés, étant donné qu'à 5 jours d'affinage les moisissures n'étaient pas réparties uniformément sur les produits et que les produits sous film étaient moisissés.

Les huit produits ont été évalués à deux reprises par un panel entraîné interne de 14 personnes. L'intensité de 14 attributs prédéfinis ont été évalués sur une échelle non structurée (10 cm), avec des points d'ancrage «peu prononcé» (extrémité gauche de l'échelle) et «très prononcé» (extrémité droite de l'échelle). Au cours d'une session de test, les échantillons marqués avec un code aléatoire à trois chiffres ont été disposés selon un carré latin de William. Tous les échantillons ont été conservés à 5°C jusqu'à la dégustation. La dégustation s'est déroulée dans des cabines sensorielles sous une lumière normale. Les données ont été enregistrées électroniquement (FIZZ, Biosystèmes, France).

Pour les analyses chimiques et biochimiques, le lactate et tous les sucres (sucrose, fructose, glucose) ont été analysés avec des méthodes enzymatiques par spectrophotométrie. La teneur en amidon a été analysée avec la méthode de polarimétrie. Les analyses de la teneur en eau, des protéines, des lipides et du sel ont été réalisées par le laboratoire UFAG AG à Sursee. Le degré de protéolyse a été déterminé par l'analyse des acides aminés libres (valeur OPA) par spectrophotométrie.

### Analyses statistiques

Les données ont été traitées statistiquement avec un «general linear model» en utilisant le logiciel Systat 13 (Systat Software, San José, Californie, États-Unis) et XLSTAT Version 19 (Addinsoft Inc., New York, États-Unis).

## Résultats et discussion

### Fabrication

Les essais ont montré qu'il était difficile d'obtenir une consistance comparable à celle d'un fromage à pâte molle. Pour y parvenir, il a fallu ajouter une grande quantité d'eau, 513 g/kg, ce qui limite la quantité de matière première utilisable.

La fermentation des composants végétaux était relativement lente comparée à la fermentation dans un fromage. Il a fallu environ 5 h à 43°C avec la culture de Danisco® et environ 10 h à 30°C avec la culture d'Agroscope pour atteindre un pH de 4,8. Pour atteindre un pH de 4,2, la fermentation avec la culture de Danisco a duré 18 heures et avec la culture Agroscope 22 heures. Afin d'accélérer ce processus, il faudrait sélectionner des souches adaptées aux produits végétaux et/ou optimiser la base nutritionnelle des microorganismes en ajoutant différentes sources d'énergie supplémentaires.

Lors du pressage de la pâte, de l'huile a suinté sur certains échantillons. Il faut corriger ce problème dans de futurs essais en réduisant la quantité d'huile mise en début de fabrication ou en améliorant l'interaction eau/huile avec des substances émulsifiantes naturelles. Le saumurage des produits destiné à stopper la fermentation et à favoriser la formation de la croûte - comme c'est le cas dans la fabrication fromagère - n'a pas pu être utilisé, car les alternatives végétales absorbent davantage d'eau dans le bain de sel que le fromage.

En début d'affinage, les produits - très mous - ont été déposés sur un support avec une perforation fine pour permettre l'égouttement de l'eau. Il en a résulté un effet secondaire indésirable: les moisissures ont collé au support. Pour éviter ce problème, il faut soit retourner les produits tous les jours, soit sprayer à nouveau des moisissures.

Pour l'affinage, au moins huit jours ont été nécessaires pour que les moisissures se répartissent régulièrement sur la surface et qu'une couche de moisissures semblable à celle d'un fromage à pâte molle se forme.

### Analyses sensorielles

#### Aspects visuels des produits

La figure 1 montre les aspects visuels d'un produit frais et des produits affinés. Malgré une pression de 0,1 kPa sur les pâtes durant l'affinage, on a observé la présence d'un grand nombre de trous dans la pâte des produits. Après le démoulage, des tâches noires sont apparues aux endroits qui ont été en contact avec les moules. La décoloration noire pourrait être due à une réaction entre le fer contenu dans le moule, l'acide lactique et éventuellement certains phénols provenant des matières premières végétales. Cette réaction est connue pour les olives noires et est utilisée spécifiquement pour stabiliser la couleur (Brenes *et al.* 1995). Les tâches noires ont été enlevées pour l'affinage et les analyses. Pour éviter ce défaut, il est conseillé d'utiliser des moules en plastique.



Figure 1 | A gauche, produit frais; au milieu, produit affiné sous film; à droite, produit avec moisissures. (Photo: Agroscope)

### Aspects de la texture et de la flaveur des produits

Les résultats du panel de dégustation ont montré que le choix de la culture avait influencé les attributs collant, salé, sucré et lupin (figure 2). Les produits contenant la culture d'Agroscope ont été perçus comme étant moins collants, plus salés, moins sucrés et avec un arôme en lupin plus prononcé. La recette, avec ou sans avoine, a influencé la fermeté, celle sans avoine a été perçue comme étant moins ferme. Il n'y a pas eu d'effet significatif des produits sur les attributs sablonneux, huileux, amer, avoine, noix et off-flavour.

La figure 3 montre qu'il n'y a pas d'effet des produits sur les attributs sablonneux, huileux, salé, sucré, avoine, noix et off-flavour. Quand les différences entre les produits sont significatives, c'est le produit sans avoine, fermenté avec la culture de Danisco® et affiné avec des moisissures qui est différent, sauf pour l'attribut collant. Le produit a été perçu comme étant plus ferme, moins amer, moins

acide, avec un arôme de lupin moins prononcé et moins piquant. Pour l'attribut collant, c'est le produit sans avoine, fermenté avec la culture d'Agroscope et affiné avec des moisissures qui a été perçu comme étant plus collant que les autres. Le produit sans avoine, fermenté avec la culture de Danisco® et affiné avec des moisissures a été qualifié comme ayant une bonne acidité. Tandis que les autres ont été perçus comme étant trop acides et avec un arôme de vinaigre.

### Analyses chimiques et biochimiques

Le tableau 4 montre que les cultures n'ont pas eu d'influence significative sur la teneur en eau, les protéines, les lipides et les acides aminés libres. Par contre, les recettes ont eu un effet hautement significatif sur les protéines et les lipides et significatif sur la teneur en eau. L'avoine a une plus grande capacité de fixation de l'eau que la farine de lupin.

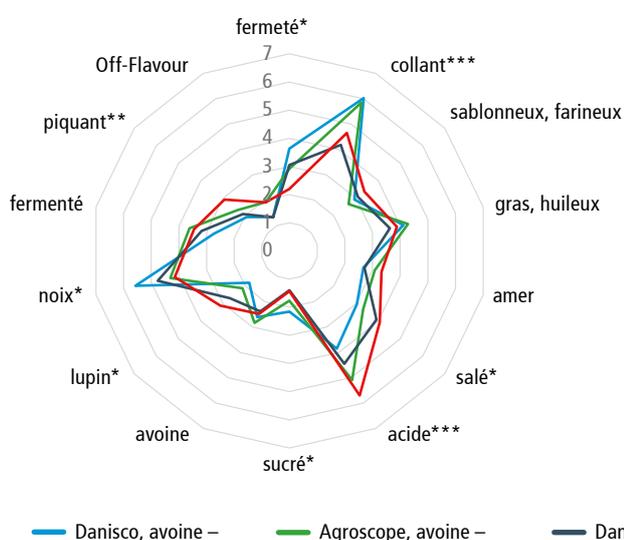


Figure 2 | Profils de l'intensité des attributs testés des 4 produits frais (\*significatif  $p \leq 0,05$ ; \*\*significatif  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*significatif  $p \leq 0,001$ )

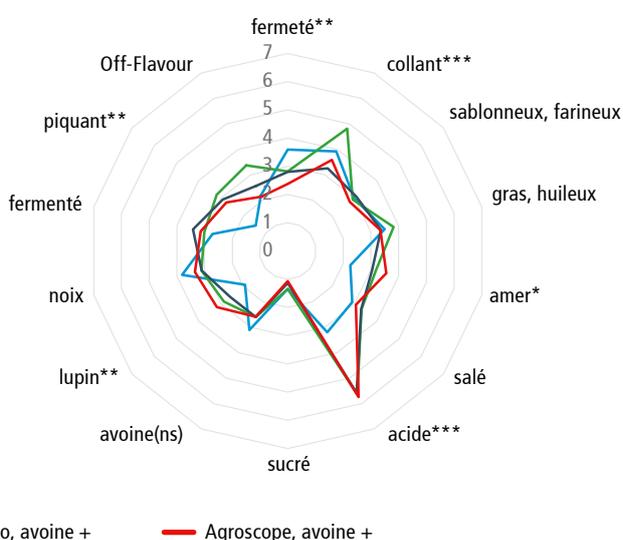


Figure 3 | Profils de l'appréciation des différents attributs des 4 produits affinés (10 jours) avec moisissures (\*significatif  $p \leq 0,05$ ; \*\*significatif  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*significatif  $p \leq 0,001$ )

L'affinage a eu une influence hautement significative sur la teneur en eau et les protéines et significative sur les acides aminés libres. L'affinage sous film protège contre la perte d'eau. Pendant l'affinage avec des moisissures, l'eau s'évapore et la teneur en protéines augmente de manière relative. Cet effet n'a pas pu être constaté dans la teneur en matière grasse. Comme prévu, les résultats montrent qu'une protéolyse s'est produite durant l'af-

finage, car une augmentation des acides aminés libres a été observée lors de la maturation des moisissures. La protéolyse peut augmenter la digestibilité du produit et changer la texture.

La teneur en eau correspondait à celle des fromages à pâte molle à croûte fleurie, avec 521 g/kg pour le camembert gras (OSAV, 2019). Par contre, la moyenne de la teneur en lipides,  $190 \pm 10$  g/kg et en protéines,

**Tableau 4 | Résultats d'analyse de la variance avec les facteurs recettes, cultures, affinage et âge ainsi que comparaison des valeurs moyennes pour la teneur en eau, les protéines totales (N x 6,25), les lipides et les acides aminés (les différentes lettres des valeurs moyennes indiquent les différences significatives)**

Facteurs	Niveau de signification (*p≤0,05, **p≤0,01, ***p≤0,001)			
Recette	*	***	***	
Culture				
Affinage	***	***		*
Âge	*			

#### Résultats de comparaison des valeurs moyennes

Facteurs	Niveaux	n	Teneur en H <sub>2</sub> O [g/kg]		Matière grasse [g/kg]		Protéines totales [g/kg]		Acides aminés libres [mmol/kg]	
			Moyenne	écart type	Moyenne	écart type	Moyenne	écart type	Moyenne	écart type
Recette	Avec avoine	10	524,5 b	19,4	180,6 a	4,1	82,4 a	7,2	21,8 a	16,7
	Sans avoine	10	504,6 a	33,8	196,9 b	6,6	97,0 b	9,2	25,5	12,2
Culture	Danisco®	10	513,5	30,4	189,3	12,3	89,9	11,6	25,1	16,6
	Agroscope	10	515,6	28,6	188,2	7,5	89,5	11,1	22,2	12,5
Affinage	Moisissure	8	493,0 a	7,1	186,4 a	8,3	97,5	11,5	34,4 a	2,9
	Sous film	8	530,3 b	35,6	187,8 b	10,4	84,6	6,8	16,9 b	18,1
Âge [jours]	0	4	526,2 b	7,2	195,5	11,4	84,3	9,1	15,8	2,8
	5	8	525,5 b	10,3	187,8	8,4	87,5	9,8	24,9	14,6
	10	8	497,8 a	39,7	186,4	10,4	94,6	12,2	26,4	17,2

**Tableau 5 | Influence des recettes, cultures, affinage et âge sur l'acide lactique (les différentes lettres des valeurs moyennes indiquent les différences significatives)**

Facteurs	Niveau de signification (*p≤0,05, **p≤0,01, ***p≤0,001)			
Recette				
Culture	***		***	***
Affinage	*		***	
Âge		***	**	

#### Résultats de comparaison des valeurs moyennes

Facteurs	Niveaux	n	Acide lactique D- [g/kg]		Acide lactique L+ [g/kg]		Acide lactique total [g/kg]		Acide lact. L+ [% d'acide lactique totale]	
			Moyenne	écart type	Moyenne	écart type	Moyenne	écart type	Moyenne	écart type
Recette	avec	10	4,3	3,0	4,5	1,1	8,8	3,3	58,3	25,1
	sans	10	4,7	2,8	4,6	1,0	9,4	3,3	54,2	18,8
Culture	Danisco®	10	2,1 a	2,0	4,6	0,7	6,7 a	2,3	73,4 a	17,7
	Agroscope	10	6,9 b	1,0	4,5	1,3	11,4 b	2,2	39,1 b	4,8
Affinage	Moisissure	8	5,6 a	2,3	4,8	0,8	10,4 a	2,9	48,7	11,4
	Sous film	8	4,2 b	3,2	5,1	0,6	9,3 b	3,2	61	22
Âge [jours]	0	4	2,8	3,0	3,1 a	0,9	6,0 a	2,2	62	35,9
	5	8	4,4	3,0	4,4 b	0,5	8,8 ab	3,0	55,9	20,2
	10	8	5,4	2,7	5,5 c	0,4	10,9 b	2,8	53,8	17

**Tableau 6 | Influence des recettes, cultures, affinage et âge sur les glucides et le sel (les différentes lettres des valeurs moyennes indiquent les différences significatives)**

Facteurs	Niveau de signification (***) $p \leq 0,001$			
Recette				
Culture		***		
Affinage				
Âge				

## Résultats de comparaison des valeurs moyennes

Facteurs	Niveaux	n	Fructose [g/kg]		Glucose [g/kg]		Amidon [g/kg]		NaCl [g/kg]	
			Moyenne	écart type	Moyenne	écart type	Moyenne	écart type	Moyenne	écart type
Avoine	avec	10	0,3	0,5	1,4	1,5	78,9	23,1	10,7	1,7
	sans	10	0,1	0,1	1,4	1,2	66,8	9,9	9,3	3,3
Culture	Danisco®	10	0,3	0,4	2,5a	0,8	70,1	16,3	10,0	3,7
	Agroscope	10	0,1	0,3	0,4b	0,8	75,5	20,8	10,0	1,0
Affinage	Moisissure	8	0,2	0,3	1,5	1,0	72,3	18,3	10,6	1,5
	Sous film	8	0,3	0,4	1,1	1,2	74,8	23,4	10,3	0,8
Âge [jours]	0	4	0,3	0,3	2,0	2,2	70,0	7,4	8,3	5,7
	5	8	0,4	0,4	1,5	1,2	73,2	21,6	10,2	1,2
	10	8	0,1	0,1	1,1	1,0	73,9	20,5	10,7	1,2

88 ± 11 g/kg, étaient inférieures à celle des fromages à pâte molle et à croûte fleurie, de respectivement 250 g/kg et 200 g/kg (Kammerlehner, 2003). La recette sans avoine contenait davantage de protéines, ce résultat correspond à la valeur attendue (cf. tableau 2). La recette sans avoine contenait également plus de lupin, qui lui contient plus de protéines. Les produits avec la culture d'Agroscope contenaient moins d'acides aminés libres, car *L. plantarum* ne possède pas le système enzymatique de base pour dégrader certaines peptides (Jakob, 2006), qui peuvent avoir un goût amer. Cela pourrait expliquer la raison pour laquelle les produits avec la culture d'Agroscope ont été qualifiés de plus amers (cf. figure 7). La recette sans avoine contenait plus de lipides. Cela correspond à la valeur attendue (cf. tableau 2), car le lupin possède plus de lipides.

Le tableau 5 montre que les recettes n'ont pas eu d'influence significative sur les acides lactiques. Par contre, le facteur culture a eu une influence hautement significative sur l'acide lactique D-, l'acide lactique total et le pourcentage d'acide lactique L+ dans l'acide lactique total. Ce résultat n'est pas surprenant, car les deux cultures sont constituées de différentes espèces de bactéries lactiques. La culture d'Agroscope contient *Lactiplantibacillus plantarum*, qui forme les deux isomères de l'acide lactique. La culture de Danisco® est une culture pour yogourts et consiste en *Streptococcus thermophilus* (forme le lactate L+) et *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* (forme le lactate D-). Les

résultats sont en corrélation avec l'analyse sensorielle, vu que c'est l'échantillon sans avoine, fermenté avec la culture de Danisco®, qui a été perçu comme étant moins acide comparé aux produits fermentés avec la culture d'Agroscope.

La teneur en acide lactique des échantillons en début d'affinage s'est élevée en moyenne à 8,6 g/kg. Cette teneur était nettement plus faible que celle des fromages à pâte molle avec 27 g/kg de lactate (Leclercq-Perlat *et al.*, 2004). Contrairement au fromage, la teneur en acide lactique a augmenté en cours d'affinage. Cela signifie que les sucres présents n'ont pas été complètement décomposés durant les premières 24 h et que la fermentation lactique s'est poursuivie pendant l'affinage jusqu'à un pH de 4,30–4,00. Cette forme de métabolisation des sucres a aussi été constatée pour les produits à base de noix de cajou, mais la valeur de pH est tombée à seulement 4,58 après 10 jours (Tabanelli *et al.*, 2018). Pour le camembert, le pH des fromages a augmenté en cours d'affinage, avec un pH de 5 à 5,5 après 10 jours (Liu & Puri, 2008). L'affinage aux moisissures n'a pas conduit non plus à la dégradation de l'acide lactique, comme c'est généralement le cas pour le fromage (Walther, 2006). Il n'est pas clair si les moisissures ont métabolisé directement les sucres présents ou si l'acide lactique dégradé a été constamment reproduit par les bactéries lactiques.

Les teneurs en fructose et glucose confirment que la fermentation lactique s'est poursuivie tout au long du processus d'affinage. Même après 10 jours, tous les sucres

n'ont pas été fermentés. La culture d'Agroscope est apparemment plus apte à fermenter les sucres résiduels que la culture de Danisco®.

On sait, grâce au fromage, que les sucres résiduels présentent également un risque majeur pour la qualité. Cela peut entraîner une fermentation défectueuse ou une croissance indésirable des germes à la surface.

La recette avec avoine avait une teneur en amidon souvent supérieure à celle calculée, 69 g/kg (cf. tableau 2). Cette différence peut s'expliquer par les variations naturelles de la teneur en amidon des matières premières. La teneur moyenne en sel de 10 g/kg était inférieure à celle des camembert gras, qui en contiennent 22 g/kg (OSAV, 2019).

## Conclusions

Il a été possible de fabriquer un produit végétalien à partir de matières premières végétales d'origine suisse et avec un équipement technologique simple.

La composition des produits diffère de celle des fromages à pâte molle à croûte fleurie en ce qui concerne les principaux nutriments, mais les teneurs peuvent être évaluées par approximation en sélectionnant des matières premières appropriées à haute quantité en protéines comme la farine de lupin ou de graines de tournesol. Un défi majeur est de développer des recettes qui conduisent à des produits homogènes avec une consistance appropriée pour l'affinage.

Une fermentation a été possible avec les cultures disponibles sur le marché ou les bactéries lactiques de la

collection de souches d'Agroscope. Les cultures avaient une influence significative sur les différents attributs du profil sensoriel, en particulier sur l'acidité. Cependant, il n'était pas possible d'utiliser un bain de sel, parce que contrairement au fromage, les produits végétaux absorbaient l'eau au lieu de la libérer. Une alternative serait le salage à sec.

L'affinage avec le *Penicillium candidum* avait permis d'obtenir un duvet dense de moisissures après dix jours. En plus d'une perte d'eau, des acides aminés ont été libérés. Dans le fromage, ces acides aminés sont ensuite transformés en substances aromatiques actives. On suppose que la durée de l'affinage n'a pas été suffisante pour former de telles substances aromatiques dans les produits végétaux. Cela explique le profil sensoriel inchangé par rapport aux produits non affinés. Comme le produit final contenait des quantités encore plus importantes de sucres fermentescibles, il y a un risque accru de défaut de fermentation et de développement de germes indésirables à la surface. Lors d'expériences ultérieures, il faudra chercher des moyens de faire fermenter rapidement tout le sucre présent, comme des cultures starters ou cultures de surface plus adaptées à la matière première végétale.

Ce présent travail constitue la base d'une alternative végétale au fromage à pâte molle à croûte fleurie. D'autres adaptations de la recette, le développement de cultures appropriées avec un profil d'acidification et d'arômes déterminés ainsi qu'une utilisation ciblée de différentes épices sont nécessaires pour obtenir des alternatives de fromage commercialisables. ■

## Bibliographie

- Awad, R., Salama, W., & Farahat, M. (2014). Effect of lupine as cheese base substitution on technological and nutritional properties of processed cheese analogue. *Acta scientiarum polonorum. Technologia alimentaria*, **13**, 55–64. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2014.1.5>
- Doyle, P., Beuchat, L., & Montville, T. (2007). *Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers*. ASM Press.
- Chaves-López, C., Serio, A., Grande-Tovar, C. D., Cuervo-Mulet, R., Delgado-Ospina, J., & Paparella, A. (2014). Traditional Fermented Foods and Beverages from a Microbiological and Nutritional Perspective: The Colombian Heritage. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **13**(5), 1031–1048. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12098>
- Guinee, T. P., Carić, M., & Kaláb, M. (2004). Pasteurized processed cheese and substitute/imitation cheese products. In P. F. Fox, P. L. H. McSweeney, T. M. Cogan, & T. P. Guinee (Eds.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology* (Vol. 2, pp. 349–394). Academic Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1874-558X\(04\)80052-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1874-558X(04)80052-6)
- Jakob, E., Piccinali, P. (2006). Amertume dans le fromage. ALP forum Nr. 21, Agroscope, [www.agroscope.ch](http://www.agroscope.ch)
- Kammerlehner, J. (2003). *Käsetechnologie*. Verlag Freisinger Künstlerpresse, Freising.
- Leclercq-Perlat, M.-N., Buono, F., Lambert, D., Latrille, E., Spinnler, H.-E., & Corrieu, G. (2004). Controlled production of Camembert-type cheeses. Part I: Microbiological and physicochemical evolutions. *The Journal of dairy research*, **71**, 346–354. <https://doi.org/10.1017/S0022029904000196>
- Liu, S., & Puri, V. M. (2008). pH spatial distribution model during ripening of Camembert cheese. *LWT – Food Science and Technology*, **41**(8), 1528–1534. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.09.010>
- OSAV (2019, 27.02.2019). Base de données suisses des valeurs nutritives V6.1. autorités de la Confédération suisse. <https://www.valeursnutritives.ch/fr/search/#/food/248950>
- Tabanelli, G., Pasini, F., Riciputi, Y., Vannini, L., Gozzi, G., Balestra, F., Caboni, M. F., Gardini, F., & Montanari, C. (2018). Fermented Nut-Based Vegan Food: Characterization of a Home made Product and Scale-Up to an Industrial Pilot-Scale Production. *Journal of Food Science*, **83**(3), 711–722. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14036>
- Walther, B. (2006). Milchsäure in Lebensmitteln und ihre Bedeutung für die menschliche Ernährung, ALP science, Nr. 505, Agroscope, [www.agroscope.ch](http://www.agroscope.ch)