

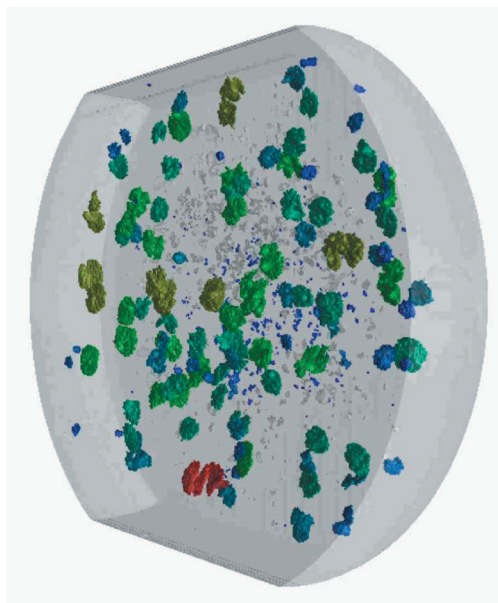
Formation d'ouverture indésirable dans le Gruyère AOP

Groupes de discussion

Avril 2014

Auteurs

Daniel Goy,
Dominik Guggisberg,
John Haldemann,
Ernst Jakob,
Daniel Wechsler



Agroscope

1. Introduction

L'ouverture est un critère spécifique à la sorte de fromage et représente un paramètre important pour l'évaluation de la qualité pour la plupart des fromages traditionnels. En ce qui concerne le Gruyère, le cahier des charges caractérise l'ouverture de la façon suivante: la présence d'ouverture est souhaitable mais pas indispensable. Les trous ont en majorité un diamètre de 4 à 6 mm. Des petites lainures fermées, isolées sont admises.

Une conservabilité insuffisante est un problème multifactoriel. Elle est le résultat de plusieurs effets liés aux matières premières, à la transformation et à la maturation. Les facteurs suivants influencent d'une manière synergique le risque d'une formation de becs et de lainures:

- une teneur en eau dans le fromage dégraissé (TEFD) élevée favorise l'activité fermentaire ce qui est favorable à la production de CO₂,
- la protéolyse progressive (= élasticité diminuée) rend la pâte de plus en plus cassante au cours de la maturation,
- la matière grasse est plus dure pendant l'hiver (= effet d'affouragement), ce qui diminue l'élasticité de la pâte. Ce facteur est une des explications pour l'apparition de ce problème pendant la saison hivernale.

Lors d'une étude réalisée en 2005, une comparaison analytique a été faite entre 14 Gruyère de bonne qualité et 17 Gruyère avec des défauts d'ouverture. Plusieurs critères ont été identifiés comme significativement différents entre les deux groupes (Tableau 1).



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'économie,
de la formation et de la recherche DEFR
Agroscope

Table des matières

1.	Introduction	1
2.	Réalisation de l'étude	4
2.1.	Echantillonnage	4
2.1.1.	Prélèvement des échantillons	4
2.2.	Analyses chimiques, biochimiques et microbiologiques	4
2.3.	Enquête dans les fromageries	4
3.	Résultats des analyses comparatives	5
3.1.	Résultats des analyses chimiques	5
3.1.1.	Composition des fromages	5
3.1.2.	Paramètres de maturation (Protéolyse)	5
3.1.3.	Teneurs en acides carboxyliques volatils	5
3.1.4.	Amines biogènes	6
3.1.5.	Analyse des acides aminés libres	6
3.1.6.	Composition en acides gras	6
3.2.	Analyse de la rhéologie des fromages	8
3.3.	Analyses bactériologiques	8
3.4.	Mesure de la formation de CO ₂	9
3.5.	Evaluation de l'enquête dans les fromageries	9
4.	Visualisation des défauts d'ouverture	10
4.1.	Résultats des analyses visuelles	10
5.	Evaluation de l'enquête dans les fromageries	12
5.1.	Analyse d'une exploitation avec présence de germes indésirables	12
5.2.	Analyse d'une exploitation avec des problèmes d'hygiène et technique	13
6.	Conclusions	14
6.1.	Récapitulatif des facteurs responsables des défauts d'ouverture	14
6.2.	Défaut d'ouverture – comment résoudre ce problème ?	15
7.	Résumé et perspectives	15
8.	Remerciements	16
9.	Références	16

Photo de couverture: image obtenue par tomographie d'un Gruyère déclassé avec lainures.

Tableau 1 : Critères identifiés comme significativement différents sur la base des analyses comparatives de Gruyère avec une bonne conservabilité et une conservabilité insuffisante (ALP forum 2005, N° 25 f).

Critères	Unité	Conservation insuffisante		Conservation bonne		t-Test
		Ø	s _x	Ø	s _x	
Teneur en eau	g/kg	359	5	354	5	0.003
TEFD	g/kg	542	7	534	6	0.004
Acide citrique	mmol/kg	5.24	1.31	6.48	1.27	0.013
Acides carboxyliques volatils totaux	mmol/kg	12.06	4.21	9.19	2.98	0.040
Acide formique (enzymatique)	mmol/kg	2.02	0.90	1.46	0.50	0.045
Acide acétique	mmol/kg	9.64	3.76	7.19	2.52	0.046
Lactobacilles hétérofermentaires facultatifs	log KbE/g	5.93	1.62	4.71	1.71	0.051

Ø = moyenne; s_x = écart type ; TEFD = teneur en eau dans le fromage dégraissé

Il est important de relever que les meules de Gruyère analysées avec une conservation insuffisante n'étaient pas dépréciées par une fermentation secondaire classique. Sur la base des résultats de cette étude, trois recommandations étaient proposées à la pratique pour minimiser le risque d'une ouverture indésirable, sachant bien que ce problème multifactoriel n'est pas maîtrisable par une seule mesure isolée:

- viser une TEFD entre 530 et 538 g/kg pour minimiser l'influence de l'activité fermentaire globale dans le fromage,
- limiter la matière grasse pour arriver à 515±8 g/kg de gras/sec pour prévenir une influence négative de la matière grasse sur la structure de la pâte,
- encourager l'affouragement d'oléagineux en hiver pour obtenir une pâte moins cassante.

Durant l'hiver 2011 / 2012, lors des taxations de ce fromage de haute qualité, il a été constaté que, sur plusieurs productions, l'ouverture ne répondait pas aux exigences du

cahier des charges. La présence d'ouverture indésirable (lainures, nids et éraillures) a provoqué le déclassement en qualité IB de plusieurs lots de Gruyère. une fois encore, l'analyse par la chromatographie en phase gazeuse de ces lots déclassés n'indiquait pas, dans la plupart des cas, la présence d'une fermentation indésirable selon les normes d'Agroscope.

Les différentes organisations responsables du conseil et de la qualité de Suisse romande: l'Interprofession du Gruyère (IPG), le centre de conseil fribourgeois CASEi, l'Agence régionale pour la sécurité alimentaire (ARQHA) et Agroscope ont souhaité réaliser une étude dans le but d'identifier les facteurs influençant l'apparition de ces défauts d'ouverture.

L'IPG a mis à disposition d'Agroscope 20 meules de Gruyère provenant de différentes fromageries. Agroscope a effectué une série d'analyses et l'interprétation des résultats de celles-ci. En parallèle, une enquête a été réalisée auprès des fromageries participant à l'essai.

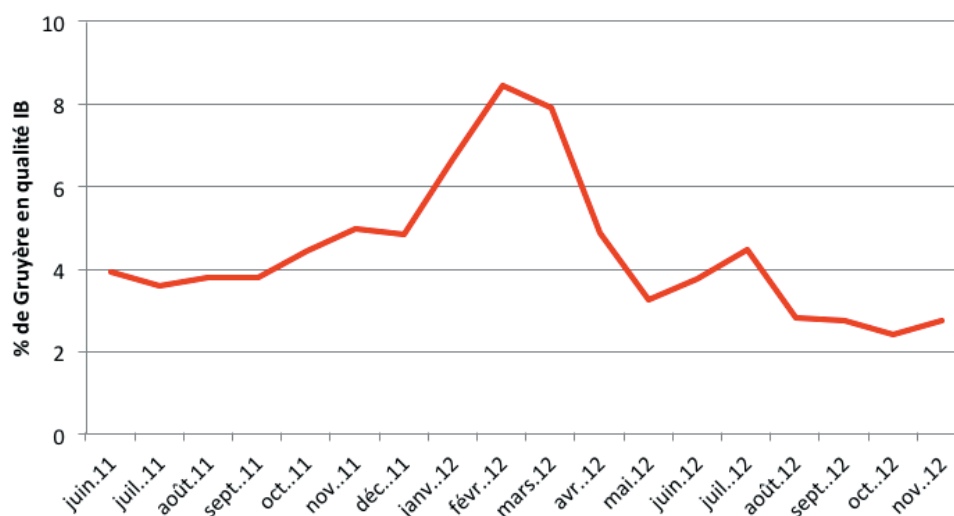


Figure 1 : Pourcentage de Gruyère taxé en qualité Ib dans la période de juin 2011 à juillet 2013.

2. Réalisation de l'étude

2.1. Echantillonnage

Pour cette étude vingt meules de Gruyère ont été sélectionnées en prenant en considération les critères suivants:

- Sélection de 10 meules de Gruyère avec défauts d'ouverture (selon l'appréciation de la taxation).
- Sélection de 10 meules de Gruyère de bonne qualité, sans défauts d'ouverture.
- Fromageries de la zone de production du Gruyère provenant des 3 régions différentes.
- Affinage dans les différentes caves des marchands.
- Comparaison des meules à un âge similaire.

Lors de la mise en valeur des résultats dans le groupe avec des défauts d'ouverture, deux meules ont été retirées des statistiques, une en raison d'un écart d'âge trop important (281 jours), et l'autre ne présentant aucun défaut d'ouverture. Après l'exclusion de ces deux fromages, l'âge moyen des deux groupes étaient très similaires: 189 ± 17 jours pour le groupe des Gruyère avec défauts d'ouverture et 181 ± 8 jours pour le groupe sans défauts.

2.1.1. Prélèvement des échantillons

Dans un premier temps, toutes les meules ont été analysées par tomodensitométrie (CT) à la clinique pour petits animaux de l'université de Berne pour évaluer la présence de trous et de lainures.

2.2. Analyses chimiques, biochimiques et microbiologiques

Les critères suivantes ont été analysés sur chaque meule: teneur en eau, teneur en eau dans le fromage dégraissé (TEFD), matière grasse, gras/sec, sel, sel dans l'eau, calcium, calcium soluble dans l'eau, azote total, azote non protéique, azote soluble dans l'eau, acides aminés libres (OPA), acide lactique total, acide lactique D(-), acide lactique L(+), acide citrique, valeur pH, L-leucine-aminopeptidase (LAP), acides carboxyliques volatils, acides aminés libres, composition des acides gras, amines biogènes, déformation à la rupture, force à la rupture, force à une déformation de 33,33%, lactobacilles hétérofermentaires facultatifs et obligatoire, *Lactobacillus fermentum* (test PCR qualitative).

2.3. Enquête dans les fromageries

Un questionnaire traitant des cultures employées, des contrôles effectués sur les laits de chaudière et lors des 24 premières heures de l'acidification du fromage, le mode de sortie des fromages, le positionnement des presses, l'état des installations de la fromagerie ainsi que des caves d'affinage a été préparé par un collaborateur d'Agroscope. Ce questionnaire a été rempli lors d'une visite de l'exploitation en compagnie du responsable de l'exploitation, du conseiller en fromagerie et d'un collaborateur d'Agroscope.

		
<p>Préparation des meules pour le prélèvement.</p>	<p>Morceau partagé en 4 pièces égales comme décrit dans le graphique de droite.</p>	<p>Utilisation des échantillons</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. analyses rhéologiques 2. analyses microbiologiques 3. réserve 4. analyses chimiques

Figure 2 : Préparation des fromages pour les analyses

3. Résultats des analyses comparatives

3.1. Résultats des analyses chimiques

3.1.1. Composition des fromages

La composition chimique des deux groupes de Gruyère analysés ne met pas en évidence de différences significatives (Tableau 2). On peut toutefois remarquer que les moyennes de la teneur en eau et TEFD sont plus basses dans les meules de Gruyère sans défauts d'ouverture, tandis que les autres valeurs chimiques sont plus élevées. Les écart-types sont plus élevés dans les fromages avec des défauts d'ouverture. Il faut mentionner que dans cette étude la différence de la teneur en eau entre les deux groupes est plus importante (8 g/kg) que dans la précédente étude (5 g/kg; voir Tableau 1). En raison des écarts types plus importants, ces critères n'apparaissent pas significativement différents.

3.1.2. Paramètres de maturation (Protéolyse)

Les fractions azotées indiquent l'intensité de la dégradation des protéines contenues dans le fromage. En particulier les proportions d'azote hydrosoluble et non-protéique ainsi que la valeur OPA, sont des critères importants pour apprécier le degré de protéolyse des fromages.

Les teneurs en acides aminés (OPA) et en azote non-protéique sont significativement différentes entre les deux groupes de Gruyère. Elles nous montrent que la protéolyse dans les meules de Gruyère avec défauts d'ouverture est plus intense (Tableau 2). Sans être significativement différente, la dégradation de l'acide citrique est plus importante dans les meules de Gruyère avec défauts d'ouverture. Celle-ci était significativement différente dans l'étude précédente (Tableau 1).

3.1.3. Teneurs en acides carboxyliques volatils

La teneur en acides carboxyliques volatils totaux est le résultat de la dégradation du lactose, du lactate, du citrate, de la graisse et des acides aminés contenus dans le fromage. L'analyse par chromatographie permet de mettre en évidence les métabolites de la transformation du lactate par fermentation. Les teneurs en acides formique et acétique sont significativement différentes. La valeur élevée en acide formique dans les meules de Gruyère avec défauts d'ouverture provient de la présence de lactobacilles hétérofermentaires facultatifs, tandis que la valeur élevée en acide acétique peut provenir de plusieurs sources, comme la dégradation du citrate par les lactobacilles hétérofermentaires, la présence plus importante de *L. helveticus* ou probablement la présence d'entérocoques (Tableau 3).

Tableau 2: Composition chimique et paramètres de maturation des Gruyère

Critères	Unité	Gruyère avec défauts d'ouverture (N = 8)		Gruyère sans défauts d'ouverture (N = 10)		t-Test
		Ø	s _x	Ø	s _x	
Teneur en eau	g/kg	353	13	345	6	0.136
TEFD	g/kg	530	14	523	7	0.210
Matière grasse	g/kg	333	11	339	8	0.179
Gras / sec	g/kg	516	10	519	10	0.524
Sel	g/kg	14.0	1.4	14.6	0.9	0.346
Sel dans l'eau	%	3.97	0.41	4.22	0.29	0.171
Calcium	mg/kg	7822	278	7900	205	0.519
Protéines	g/kg	256.3	7.5	256.6	5.1	0.915
Azote non protéique	g/kg	9.1	1.0	7.9	1.2	0.043
Azote non protéique / azote totale	%	22.1	1.9	19.3	2.8	0.025
Azote soluble dans l'eau	g/kg	11.5	1.3	10.5	1.0	0.104
Azote soluble dans l'eau / azote totale	%	28.1	2.8	25.6	2.2	0.068
Acides aminés libres (OPA)	mmol/kg	385	32	325	61	0.018
Acide lactique total	mmol/kg	132	10	133	6	0.777
% d'acide lactique L-(+)	%	36.2	8.6	41.6	7.0	0.171
Acide citrique	mmol/kg	6.6	2.0	7.5	0.7	0.280
Valeur pH	-	5.62	0.07	5.60	0.07	0.529
L-Leucine-aminopeptidase	IU/kg	9.9	1.7	8.2	3.3	0.175

Ø = moyenne; s_x = écart type

Tableau 3: Teneurs en acides carboxyliques volatils totaux (en mmol/kg)

Critères	Gruyère avec défauts d'ouverture (N = 8)		Gruyère sans défauts d'ouverture (N = 10)		t-Test
	Ø	s _x	Ø	s _x	
Acides carboxyliques volatils totaux	13.4	4.8	9.3	2.0	0.046
Acide formique	1.3	0.7	0.8	0.3	0.093
Acide acétique	10.0	4.0	6.8	1.1	0.060
Acide propionique	0.7	0.5	0.5	0.8	0.442
Acide iso-butyrique	0.1	0.1	0.1	0.1	0.967
acide butyrique calculé	0.6	0.5	0.6	0.4	0.753
Acide butyrique	1.0	0.6	0.8	0.4	0.489
Acide iso-valérique	0.2	0.1	0.1	0.2	0.625
Acide caproïque	0.1	0.1	0.1	0.1	0.289

Ø = moyenne; s_x = écart type

Tableau 4: Teneurs en amines biogènes (en mg/kg)

Critères	Gruyère avec défauts d'ouverture (N = 8)		Gruyère sans défauts d'ouverture (N = 10)		t-Test
	Ø	s _x	Ø	s _x	
Cadavérine	11	5	10	4	0.615
Histamine	2	5	0	0	0.239
Putrescine	1	1	0	1	0.521
Tyramine	72	59	38	4	0.149
Somme des amines biogènes	88	65	48	5	0.125

Ø = moyenne; s_x = écart type

3.1.4. Amines biogènes

Les amines biogènes sont produites de manière naturelle lors de la maturation du fromage, lorsque les acides aminés libres sont dégradés par des enzymes décarboxyliques. Parmi ces différentes amines, l'histamine est connue comme étant une substance piquante à faible concentration (> 500 mg/kg). En comparant la somme des amines biogènes, on remarque que dans les meules de Gruyère avec défauts d'ouverture la valeur est beaucoup plus élevée (Tableau 4). Cette valeur élevée provient essentiellement de la production de la tyramine. La tyramine est produite principalement par le développement de germes entérocoques.

3.1.5. Analyse des acides aminés libres

Les acides aminés libres proviennent de la protéolyse secondaire des fromages. Pour le Gruyère, ils contribuent au renforcement du goût, mais ne lui confère pas un goût spécifique.

3.1.6. Composition en acides gras

La matière grasse fromagère se caractérise par un grand nombre et un large spectre d'acide butyrique à l'acide stéarique ainsi que d'autres acides gras à longues chaînes en faibles concentrations. Aujourd'hui, on parle de plus de 400 acides gras dont 15 se trouvent à des concentrations supérieures à 1%. En comparaison avec les protéines, la matière grasse est stable durant la maturation du fromage, une très faible quantité est lipolysée. Par contre, le type d'alimentation (fourrage vert ou sec) influence la composition des acides gras.

Pour obtenir une onctuosité et une souplesse idéale de la pâte, le rapport en acide oléique et palmitique doit être égal ou supérieur au facteur 0,8. Dans cette étude, les fromages étaient fabriqués entre les mois de février et mars et le facteur était pour les deux groupes inférieurs à 0,8. Seul l'ester de l'acide linoléique C18:2 est significativement différent.

Tableau 5: Teneur en acides aminés libres et leur distribution relative

Critères	Unité	Gruyère avec défauts d'ouverture (N = 8)		Gruyère sans défauts d'ouverture (N = 10)		t-Test
		Ø	s _x	Ø	s _x	
Somme des acides aminés libres	mg/kg	57519	6189	48789	10053	0.039
Alanine	mol%	3.58	0.25	3.58	0.33	0.992
Acide alpha-aminobutyrique	mol%	0.09	0.07	0.04	0.02	0.112
Acide gamma-aminobutyrique	mol%	0.72	0.48	0.30	0.50	0.088
Arginine	mol%	0.10	0.11	0.12	0.07	0.610
Asparagine	mol%	4.96	0.31	5.05	0.22	0.515
Acide aspargique	mol%	2.75	0.28	2.58	0.23	0.193
Citruline	mol%	2.11	0.27	2.39	0.36	0.077
Cystine	mol%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b
Glutamine	mol%	2.95	0.41	2.87	0.22	0.622
Acide glutamique	mol%	18.79	1.07	19.18	0.63	0.378
Glycine	mol%	3.49	0.18	3.53	0.10	0.629
Histidine	mol%	3.14	0.16	3.12	0.14	0.811
Isoleucine	mol%	6.67	0.19	6.36	0.35	0.032
Leucine	mol%	10.67	0.18	10.63	0.53	0.803
Lysine	mol%	10.43	0.58	10.77	0.72	0.285
Méthionine	mol%	2.55	0.14	2.68	0.12	0.063
Ornithine	mol%	1.80	0.33	1.64	0.37	0.344
Phénylalanine	mol%	5.16	0.25	5.12	0.17	0.770
Phosphoserine	mol%	0.15	0.05	0.21	0.06	0.038
Proline	mol%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b
Sérine	mol%	4.09	0.34	4.05	0.25	0.791
Thréonine	mol%	3.80	0.23	3.92	0.13	0.222
Tryptophane	mol%	0.38	0.02	0.38	0.02	0.907
Tyrosine	mol%	2.30	0.13	2.23	0.08	0.199
Valine	mol%	9.32	0.27	9.26	0.17	0.571

Ø = moyenne; s_x = écart type

Tableau 6: Composition des acides gras (en % relatif)

Critères	Gruyère avec défauts d'ouverture (N = 8)		Gruyère sans défauts d'ouverture (N = 10)		t-Test
	Ø	s _x	Ø	s _x	
Ester de l'acide butyrique C4	3.8	0.1	3.7	0.2	0.584
Ester de l'acide caproïque C6	2.4	0.0	2.4	0.1	0.801
Ester de l'acide caprylique C8	1.4	0.0	1.4	0.1	0.856
Ester de l'acide caprique C10	3.2	0.2	3.2	0.2	0.926
Ester de l'acide laurique C12	3.5	0.2	3.5	0.3	0.906
Ester de l'acide myristique C14	11.6	0.3	11.6	0.4	0.862
Ester de l'acide palmitique C16	32.6	1.4	32.7	1.1	0.819
Ester de l'acide palmitoléique C16:1	1.6	0.1	1.5	0.1	0.216
Ester de l'acide stéarique C18	9.0	1.0	9.3	0.8	0.582
Ester de l'acide oléique C18:1	21.5	1.3	21.4	1.4	0.909
Ester de l'acide linoléique C18:2	0.9	0.1	0.8	0.0	0.004
Acides linoléique conjugués C18:2	0.7	0.1	0.7	0.1	0.789
Ester de l'acide linoléique C18:3	1.7	0.1	1.8	0.1	0.165
Ester de l'acide arachidonique C20	0.1	0.0	0.1	0.0	0.681
relation acide oléique / acide palmitique	0.66	0.07	0.66	0.06	0.858

Ø = moyenne; s_x = écart type

3.2. Analyse de la rhéologie des fromages

La rhéologie est l'étude de la déformation du fromage sous l'effet d'une contrainte mécanique. Pour les meules de Gruyère avec défauts d'ouverture, la déformation à la rupture était significativement plus basse que pour les meules de Gruyère sans défaut d'ouverture. Ceci indique que les meules avec défauts d'ouverture ont subi une protéolyse plus forte et, en conséquence, la pâte est moins élastique.

Tableau 7: Paramètres rhéologiques des Gruyère (test de compression uniaxiale)

Critères	Unité	Gruyère avec défauts d'ouverture (N = 8)		Gruyère sans défauts d'ouverture (N = 10)		t-Test
		Ø	s _x	Ø	s _x	
déformation à la rupture	%	38.10	3.20	42.02	3.06	0.019
force à la rupture	N	33.8	3.2	36.2	2.2	0.089
force à une déformation de 33.33%	N	31.6	2.3	31.9	2.8	0.332

Ø = moyenne; s_x = écart type

3.3. Analyses bactériologiques

Le nombre moyen des lactobacilles hétérofermentaires facultatifs était plus élevé dans le groupe de Gruyère avec défauts d'ouverture (pas significatif). Une présence de *L. fermentum* a été remarquée dans 5 fromages de ce même groupe. Présents dans l'herbe et les fourrages, mais aussi dans les caillettes mal conservées, le *L. fermentum* est susceptibles de coloniser le matériel de fromagerie en formant des biofilms.

Tableau 8 : Analyses bactériologiques

Critères	Unité	Gruyère avec défauts d'ouverture (N = 8)		Gruyère sans défauts d'ouverture (N = 10)		t-Test
		Ø	s _x	Ø	s _x	
Lactobacilles hétérofermentaires facultatifs	log10 UFC/g	6.44	0.74	5.89	0.87	0.167
Lactobacilles hétérofermentaires obligatoires	UFC/g	< 10	-	< 10	-	-
<i>Lactobacillus fermentum</i> (test PCR qualitatif)		présence faible dans 5 des 8 fromages analysés		absence dans tous les 10 fromages analysés		

Ø = moyenne; s_x = écart type

3.4. Mesure de la formation de CO₂

Le système abiotec a servi à mesurer le dégagement de CO₂ dans trois fromages. Pour effectuer cette mesure, trois pièces de 5 kg (-/+0.02 kg) issues de différentes meules ont été stockées dans 3 récipients étanches, durant 20 jours, dans une armoire avec une température constante. Un capteur a enregistré de façon précise l'augmentation de la pression au cours du test. Le volume de gaz produit durant le stockage se calcule selon l'équation des gaz parfaits comme suit: $p.V = n.R.T$. Les résultats de ce test démontrent, que la production de gaz des deux pièces avec lainures était très différente en comparaison avec la pièce sans défaut d'ouverture. Les résultats du Tableau 9 indiquent qu'au cours de l'affinage du fromage une flore bactérienne indésirable s'est développée, qui produit davantage de CO₂. Il semble que cette production de CO₂ est probablement liée à une dégradation plus importante de certains acides aminés libres.

Tableau 9: Résultats d'une étude sur la formation de gaz de trois pièces de Gruyère avec et sans défauts d'ouverture. Analyse des facteurs influençant la production de CO₂

Critères	Unité	Pièce 1 (avec lainure)	Pièce 2 (avec lainure)	Pièce 3 (sans défaut)
Diffusion de CO ₂ en 20 jours	ml/5 kg	580	330	90
Présence de <i>L. fermentum</i>	-	+/-	+/-	-
Lactobacilles hétérofermentaires facultatifs	UFC/g	66'000'000	1'400'000	9'200'000
Acides gras volatils totaux	mmol/kg	24.0	15.4	10.9
Acide formique	mmol/kg	2.7	1.5	0.9
Somme amines biogènes	mg/kg	236	77	51

3.5. Evaluation de l'enquête dans les fromageries

Dans cette enquête, il est ressorti que les fromageries avec des défauts d'ouverture transforment en moyenne des quantités de lait moins importantes que les fromageries sans défauts d'ouverture. Toutes les fromageries préparent leurs cultures d'exploitations en incubant du petit-lait de leur exploitation entre 8 et 20 heures à des températures de 32 et 38° C. La grande majorité des fromageries emploie des cultures mixtes brutes provenant du groupe autorisé par l'IPG. La proportion de cette dernière culture varie entre 1 à 40% de la quantité totale utilisée. Le lait livré le soir est refroidi à des températures comprises entre 13,5° C et 17,5° C. En général, les fromageries refroidissant le lait du soir à des températures voisines de 17,5° C se situent dans le groupe des Gruyère avec des défauts d'ouverture. Les contrôles quotidiens du fromager du lait du soir ne s'effectuent pas toujours. Il en est de même pour la mesure du pH. Le tranchant des tranche-caillés a été examiné avec attention. Les tranche-caillés mal aiguisés ou défectueux étaient beaucoup plus nombreux dans le groupe des

Gruyère avec des défauts d'ouverture. Les installations pour la sortie du caillé sont très différentes d'une fromagerie à l'autre. Le point le plus sensible est le mode de nettoyage de celles-ci ainsi que le matériel annexe. La position des presses ou plus précisément le fait que les fromages ne se refroidissent pas trop rapidement sous presse est un facteur relevant pour favoriser la qualité du Gruyère. Les caves d'affinage sont un outil très important pour l'obtention de Gruyère de qualité. Aucun fromage affiné dans de nouvelles structures ne se trouvait dans le groupe de fromages avec des défauts d'ouverture. Tout en insistant sur le fait que les défauts constatés dans cette étude étaient multifactoriels, trois chefs d'exploitation ont mentionné des lacunes au niveau de l'hygiène dans leur exploitation comme facteur prédominant dans l'apparition du défaut.

4. Visualisation des défauts d'ouverture

Pour visualiser l'ouverture des Gruyère nous avons pu bénéficier de l'appareil de tomodensitométrie de la Clinique pour petits animaux de l'Université de Berne (Tierspital, Vetsuisse). La tomodensitométrie est une technique non destructive qui permet la reconstruction d'images en coupe d'un objet à trois dimensions. Son principe repose sur l'analyse multidirectionnelle de l'interaction d'un faisceau de rayons X avec la matière, par enregistrement avec des détecteurs du rayonnement transmis après traversée d'un objet. Les données acquises lors de la prise de mesure sont collectées suivant des orientations multiples dont le nombre et le pas sont en fonction du type d'appareil. A l'aide de ces données, une image numérique est calculée et reconstruite.

4.1. Résultats des analyses visuelles

En comparaison avec une photo de la coupe l'appareil de tomodensitométrie fait environ 1'100 photos de coupes transversales d'un Gruyère d'environ 63 cm de diamètre. L'avantage de cette technologie non invasive réside dans le fait qu'elle permet de visionner à haute résolution et en 2 et 3 dimensions, la forme et la distribution de l'ouverture dans le fromage. Le découpage virtuel avec des images permet d'une part de suivre la formation de l'ouverture tout au long de la maturation et, d'autre part, d'étudier le développement des défauts d'ouverture de manière détaillée.

L'évaluation détaillée des analyses de tomodensitométrie des meules avec défauts d'ouverture a montré que la formation des lainures était souvent associée à la présence initiale des trous (Figure 4). Avec l'aide des images de tomodensitométrie en 2 dimensions, plus de 50 lainures associées avec un trou ont été identifiées dans le Gruyère illustré dans Figure 3. Cet exemple démontre que la présence des trous peut servir comme point de départ pour la formation des lainures. Si l'élasticité de la pâte est réduite par la protéolyse et que la production de CO₂ dépasse la diffusion de gaz dans une meule, celui-ci se concentre dans le trou et provoque une déchirure (lainure).

Ces dernières années, plusieurs études ont été effectuées par Agroscope pour identifier les facteurs principaux qui favorisent la formation de l'ouverture dans des fromages à pâte mi-dure et dure. Ces études ont montré clairement que la présence de particules d'origine végétale dans le lait de fabrication influence fortement le nombre de trous dans un fromage. L'efficacité de ces particules végétales varie fortement en fonction de l'origine botanique, du type du tissu végétal et de la taille. Dans des conditions idéales, une quantité de 20 mg de particules végétales par 1000 kg de lait transformé peut provoquer des centaines de trous dans une meule de fromage. Il est vraisemblable que l'affouragement du foin augmente le nombre de trous dans les fromages issus de la fabrication hivernale par de tous petits apports de poussière de foin dans le lait. Ce lien direct entre l'affouragement et l'ouverture et le fait

Figure 3: Comparaison visuelle de deux Gruyère avec et sans défauts d'ouverture.


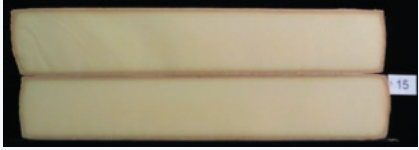


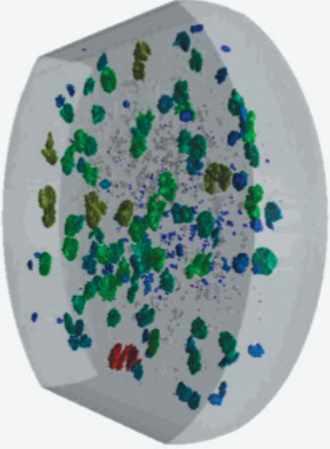

	Gruyère avec défauts d'ouverture	Gruyère sans défauts d'ouverture
Photo de la coupe		
Image de tomodensito-métrie en 2 dimensions		
Image de tomodensito-métrie en 3 dimensions		

Figure 3: Comparaison visuelle de deux Gruyère avec et sans défauts d'ouverture.

qu'une lainure est souvent associée à un trou. La Figure 4 explique probablement en partie l'apparition plus fréquente des lainures durant la saison hivernale.

Le problème d'une ouverture indésirable est aussi souvent lié à des problèmes techniques lors du remplissage des moules. Si on trouve, dans une même production journalière, des meules avec des défauts d'ouverture technique, l'identification des causes pose souvent des problèmes. L'analyse de plusieurs meules par tomodensitométrie peut fournir des informations importantes concernant la fréquence d'un tel problème et sa localisation dans les meules. Ceci peut rendre l'identification des causes plus simple. La Figure 5 contient des images de tomodensitométrie en 2D et 3D d'un Gruyère avec des défauts d'ouverture. Les résultats de l'analyse de tomodensitométrie laissent reconnaître deux types de défauts d'ouverture: des becs et des lainures au centre et des défauts (d'ouverture) techniques au bord de la meule. L'orientation artificielle des trous au long d'un arc laisse supposer l'inclusion des bulles d'air lors de la mise en moule du caillé ou des blessures de la meule au moment du démoulage.



Figure 4: Exemples de formation des lainures à partir d'un trou (images de tomodensitométrie)

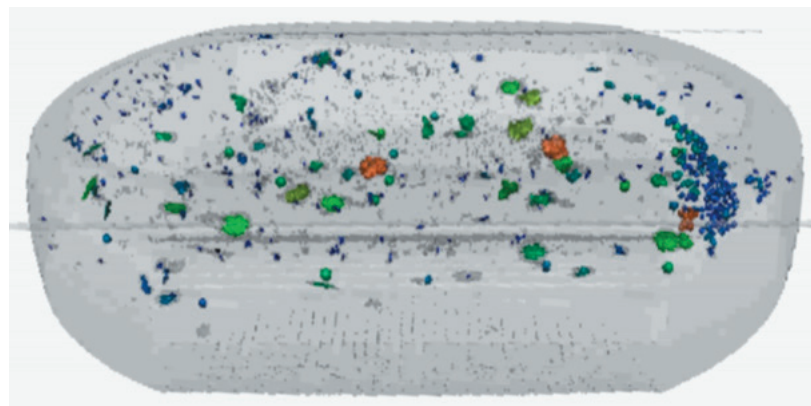
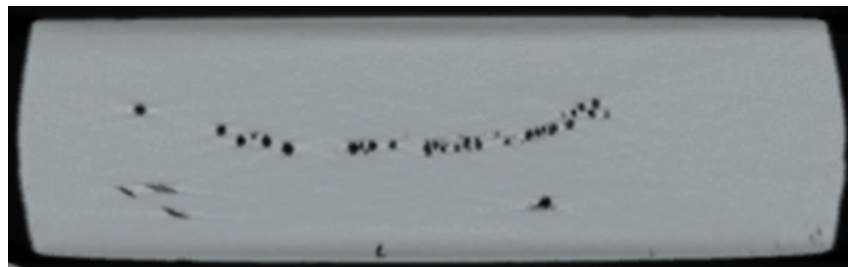


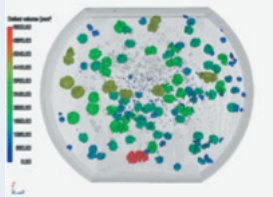
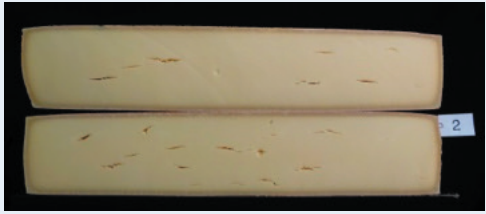
Figure 5: Exemple d'un Gruyère avec becs, lainures et défauts d'ouvertures techniques (images de tomodensitométrie)

5. Evaluation de l'enquête dans les fromageries

L'enquête dans les fromageries s'est effectuée lors d'une visite. Avant d'être questionné, le fromager a pris connaissance des résultats du fromage analysé comparés aux deux

groupes de Gruyère. Les points faibles de l'entreprise ont été débattus. Les modifications apportées avec le concours du conseiller ont été discutées. Sept mois après la visite, un nouvel échange a eu lieu afin de mesurer l'efficacité des correctifs apportés. Pour chaque fromagerie, un protocole a été établi et remis au conseiller.

5.1. Analyse d'une exploitation avec présence de germes indésirables

	
<p>Grosse ouverture et lainures (nids sous croûte face inférieure)</p>	<p>Fromage fortement lainé déformé</p>

Résultats les plus importants pouvant favoriser l'apparition du défaut

Paramètres	Unité	Fromagerie A	Moyenne avec lainure	Moyenne sans lainure
Eau à 180 jours	g/kg	358	360	354
Lactobacilles hétéro-fermentaires facultatifs	UFC / g	66 mio	1.7 mio	1.9 mio
<i>L. fermentum</i>	présence/absence	+	5 sur 8	0
Acide formique à 180 j	mmol/kg	2.7	1.3	0.8

Tableau des points négatifs mis en évidence par les analyses et lors de l'enquête ainsi que les améliorations apportées après l'enquête

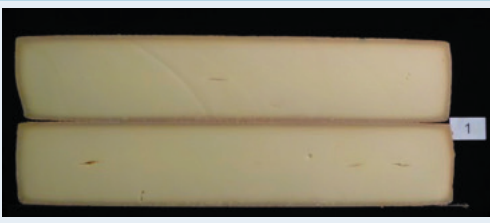
Facteurs négatifs	Facteurs positifs et améliorations apportées depuis le mois d'avril 2012
<ul style="list-style-type: none"> • Tranche-caillé émoussé • Brassage après le feu court • Pas de contrôle du fromager sur le lait du soir • Réductase courte (2 heures) • Acides acétique et formique élevées • Présence de tyramine • Valeur élevée en lactobacilles hétérofermentaires facultatifs • Présence de <i>L. fermentum</i> • Forte production de gaz • Position des presses (fenêtre + courant d'air) • Hygiène de l'exploitation 	<ul style="list-style-type: none"> • Changement des cultures de petit lait • Nettoyage approfondi de la fromagerie • Réalisation des contrôles par étapes • Échanges intensifs avec le conseiller

Qualité des Gruyère durant l'hiver 2012 / 2013

Tous les Gruyère de la production de l'hiver 2012 / 2013 ont été classés en qualité I. Cependant des réglages sont toujours en cours pour stabiliser la teneur en eau. La fromagerie dispose de trois chaudières; une cuve avec un décaillage planétaire d'une capacité de 6 pièces et des 2 chaudières traditionnelles de 5 pièces. Dans la cuve avec le décaillage planétaire, la teneur en eau à 24 h est constante et tou-

jours dans la valeur cible (385 g/kg) tandis que dans les chaudières traditionnelles la teneur en eau est souvent supérieure à 400 g/kg. Selon le fromager, la façon de confectionner le grain à une grande importance. Après plusieurs tests réalisés avec l'appui des conseillers, il semble être sur la bonne voie.

5.2. Analyse d'une exploitation avec des problèmes d'hygiène et technique

	
<p>Ouverture chargée Petits trous en périphérie, 3.4 mio de Lactobacilles hétérofermentaires facultatifs</p>	<p>Lainures au centre de la meule Petits trous sous croûte</p>

Résultats les plus importants pouvant favoriser l'apparition du défaut

Paramètres	Fromagerie B	Moyenne avec lainure	Moyenne sans lainure
Teneur en eau	362 g/kg	360 g/kg	354 g/kg
<i>L. fermentum</i>	++	5 sur 8	0

Tableau des points négatifs mis en évidence par les analyses et lors de l'enquête ainsi que les améliorations apportées après l'enquête

Facteurs négatifs	Facteurs positifs et améliorations apportées depuis le mois d'avril 2012
<ul style="list-style-type: none"> • Long brassage avant le feu • Teneur en eau élevée à la taxation • Présence marquée de lactobacilles • Valeurs OPA et LAP élevées • Présence de tyramine • Position des presses (refroidissement) • Nettoyage des circuits lait à des températures trop basses • Hygiène de l'exploitation • Variations importantes du climat des caves 	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place d'un contrôle par étapes • Nettoyage de l'entreprise • Augmenter la température des circuits → + 5° C (75° C et 65° C) • Circuit des tuyaux de sortie 1 x par semaine • Rincer la conduite de sortie avec de l'eau à 75 ° C (avant et après la sortie) • Réparer les réhausses (soudure mal faite) • Laver les réhausses 1 x par semaine • Tremper les réhausses dans une solution désinfectante (rotation journalière) • Remise en état du thermostat • Corriger les foncets égoutteurs

Qualité des Gruyère durant l'hiver 2012 / 2013

La qualité du lait s'est améliorée grâce à un suivi des analyses du fromager. Toutes les taxations ont obtenus la note de 19.0 points avec 5 à l'ouverture. Le fromager s'est fortement remis en question avec l'appui de son conseiller.

6. Conclusions

6.1. Récapitulatif des facteurs responsables des défauts d'ouverture

Différents paramètres influencent de manière directe ou indirecte la formation de l'ouverture et l'apparition de défauts (Figure 6). Ces facteurs s'expliquent de la manière suivante :

- **L'affouragement:** la présence de particules végétales (poussière de foin) est souvent le point de départ pour la formation d'une ouverture (Lochansatzstellen) (liaisons intergrains rompue).
- **La flore du lait:** le lait contient naturellement des Lactobacilles hétérofermentaires facultatifs et obligatoires. Ces germes peuvent se développer au cours de la maturation du fromage en consommant du citrate. Suivant les types de germes, ils produisent du CO₂.
- **Les cultures CMB:** selon les composants, les cultures mixtes brutes participent de manières différentes à la protéolyse du fromage et indirectement à la production de CO₂.
- **La culture sur petit lait:** la préparation de ce mode de culture favorise la croissance de *L. fermentum* et *L. helveticus*. Ces deux bactéries favorisent de manière directe ou indirecte (protéolyse) la production de CO₂.
- **La mise en moule:** lors de la mise en moule du caillé, l'absorption d'air peut provoquer des défauts d'ouverture (défaut technique).
- **La hauteur des meules:** a un effet direct sur la diffusion de gaz du centre de la meule vers l'extérieur. Une réduction de la hauteur augmente la relation entre la surface et le volume et favorise la diffusion de CO₂ vers l'extérieur.
- **La flore du fromage:** la présence importante d'une flore non lactique provoque des valeurs élevées en acides gras volatils totaux, la dégradation des acides aminés libres et/ou la formation d'amines biogènes. Ces fermentations ou dégradations produisent du CO₂.
- **La protéolyse:** une réduction de l'élasticité et une augmentation de la friabilité de la pâte est inévitable au cours de la maturation. Cet état augmente le risque d'obtenir une ouverture indésirable au cours d'un affinage prolongé.
- **L'épaisseur et la perméabilité de la croûte:** une croûte épaisse rend la diffusion de CO₂ vers l'extérieur plus difficile et favorise de ce fait une augmentation de la saturation et de la pression du gaz dans la meule.
- **La température de stockage:** une température élevée augmente la solubilité CO₂.
- **Les chocs mécaniques:** ils favorisent la formation de lainures dans des meules saturées de CO₂.
- **L'aspect multifactoriel:** l'apparition des défauts d'ouverture est un problème multifactoriel. La solution pour ce problème consiste à optimiser plusieurs paramètres.

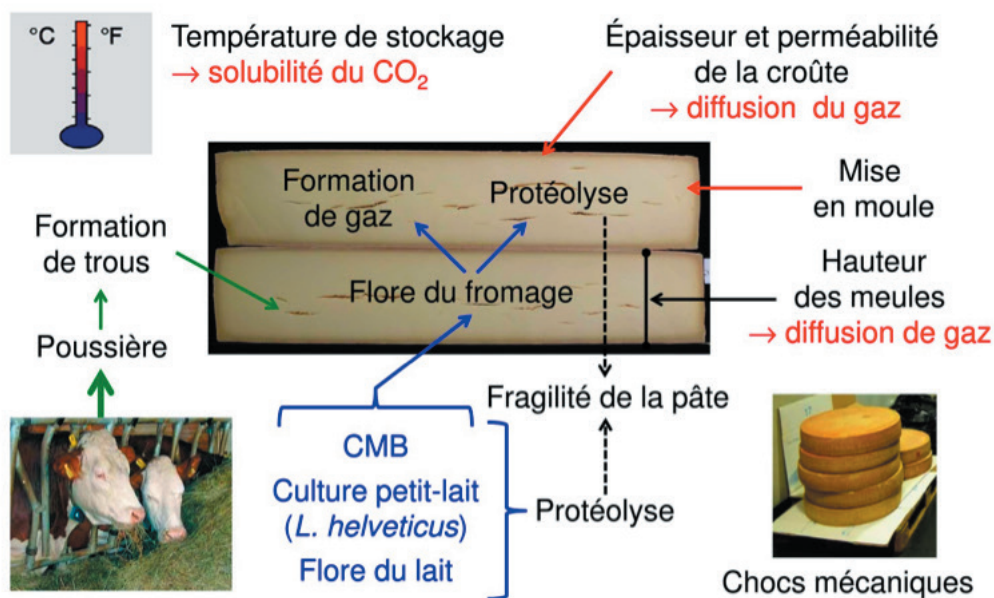


Figure 6 : Récapitulatif des principaux facteurs qui influencent l'ouverture et la formation des lainures dans le Gruyère AOP.

6.2. Défaut d'ouverture – comment résoudre ce problème ?

En cas de problèmes de défauts d'ouverture, ce, dans le but de le résoudre le plus rapidement possible, il est souhaitable de procéder à une consultation sur le site et de prendre en considération l'âge auquel on perçoit les premiers signes du défaut et d'analyser les résultats d'analyses de la qualité du lait transformé, la courbe d'acidification durant les 20 premières heures et des analyses chimiques du lot de fromages à 1 jour. Ce premier examen permettra de définir si nous sommes en présence d'un problème technique (présence d'air à la sortie, ce défaut peut se percevoir en tapant les fromages avec la sonde à fromages et éventuellement être confirmé par une radiographie). Si un défaut technique peut-être écarté, les analyses suivantes doivent être effectuées en cascade, chromatographie, (éventuellement, teneurs en eau et en sel), amines biogènes, analyses bactériologiques, radiographie ou examen des sondes à fromage

- Ordre des analyses:
chromatographie → amines biogènes → analyses microbiologiques et radiographie
- évaluations de la qualité du lait cru
- exclusion des raisons techniques

Si l'ensemble du lot est touché par le défaut, on peut objectivement affirmer que la source du défaut provient d'une contamination par le lait. Lorsque le défaut est sporadique et différent d'une meule à l'autre provenant de la même chaudière, l'infection se situe dans l'installation de sortie.

7. Résumé et perspectives

Suite à une augmentation des Gruyère taxés en qualité IB durant l'hiver 2012 / 2013 en raison de défauts d'ouverture, un essai pratique a été activé dans le but d'identifier les sources des défauts constatés. Huit meules de Gruyère fabriqués dans des fromageries avec problèmes ont été comparées avec dix meules de Gruyère sans défaut d'ouverture. Les défauts d'ouverture ont été visualisés par tomodensitométrie. Une caractérisation chimique, rhéologique et microbiologique a été effectuée par Agroscope et toutes les exploitations ont répondu à une enquête.

Les résultats de la présente étude ont fortement contribué à une meilleure compréhension du problème des défauts d'ouverture. Plusieurs facteurs ont été identifiés qui augmentent le risque des défauts d'ouverture:

- Niveau des matières premières: la présence de particules végétales dans le lait (poussière de foin), une température de stockage trop élevée pour le lait du soir.
- Niveau composition: des teneurs en eau et TEFD trop élevées.
- Niveau bactériologie: un développement des acides carboxyliques volatils élevée (principalement acide formique et acide acétique), une dégradation du citrate et des acides aminés libres plus intense par des germes indésirables.
- Niveau technologique: la mise en moule avec adjonction d'air, un refroidissement trop rapide sous presse, les conditions d'affinage comme la température de stockage et l'humidité relative.

L'apparition des défauts d'ouverture est très souvent un problème multifactoriel. La solution à ce problème réside dans l'optimisation de plusieurs facteurs. Même si les facteurs les plus importants ont été identifiés, des fabrications avec des défauts d'ouverture, reste un défi important pour les fromagers et le conseil.

8. Remerciements

De nombreuses personnes ont participé à cet essai. Par leur coopération et leur engagement, elles nous ont transmis de précieuses aides. Nos sincères remerciements s'adressent:

- aux responsables des fromageries de Bière, Chatonnaye, Corcelles-Payerne, Cottens, Echarlens, Grolley, La Joux du Plane, La Sionge, Le Cerneux-Péquignot, Le Crêt, Les Monts de Travers, Les Reusilles, Mezières, Moudon, Nods, Peney-le-Jorat, Prés-vers-Noréaz, Rueyres-Treyfayes, Semsales, Vuarmarens,
- à l'IPG pour son soutien financier,
- au Prof. Dr. Johann Lang, Vétuisse Bern, responsable de la Clinique de radiologie pour la mise à disposition de l'appareil de tomodynamométrie,
- au Dr. Philipp Schütz de l'Empa à Dübendorf pour le traitement informatique des données de la tomodynamométrie et la reconstruction des images 2D et 3D des fromages analysés,
- aux plate-formes de conseils CASEi, ARQHA et les commerces de fromages pour leur aide dans le choix des fromages et
- aux collaboratrices et collaborateurs et d'Agroscope, en particulier à Ueli Bütikofer pour la statistique et Walter Bisig pour la mesure de la diffusion de gaz ainsi qu'aux équipes de René Badertscher et Stefan Irmeler pour la caractérisation chimique et biochimique des échantillons.

9. Références

- Häni J.-P., Wechsler D., Jakob E. La conservabilité du Gruyère, ALP forum 2005, N° 25 f

Impressum

Auteur	Daniel Goy, Dominik Guggisberg, John Haldemann, Ernst Jakob, Daniel Wechsler mail???
Editeur	Agroscope, www.agroscope.ch
Renseignements	Agroscope, Schwarzenburgstrasse 161, 3003 Berne, Suisse Téléphone: +41 31 323 84 18 bestellungen@agroscope.admin.ch
Rédaction	Müge Yildirim-Mutlu, Agroscope
Mise en page	RMG Design, Fribourg
Impression	Office fédéral des constructions et de la logistique, Berne
Copyright	Reproduction autorisée sous condition d'indication de la source et de l'envoi d'une éprouve à l'éditeur.

ISSN 2296-7222 (Print)
ISSN 2296-7230 (Online)