



Sel de cuisine: le dilemme

Comment l'importance du NaCl pour le goût et l'arôme de l'Emmentaler Suisse a été oubliée et ce qui peut être fait pour y remédier

Auteurs

Marie-Therese Fröhlich-Wyder, Dominik Guggisberg,
Thomas Aeschlimann, Walter Bisig



Impressum

Éditeur	Agroscope Schwarzenburgstrasse 161 3003 Berne www.agroscope.ch
Renseignements	Marie-Therese Fröhlich-Wyder
Mise en page	Claude Ali
Photo de couverture	Emmentaler avec différents traitements au sel
Download	www.agroscope.ch/science
Copyright	© Agroscope 2025
ISSN	2296-729X
DOI	https://doi.org/10.34776/as203f

Exclusion de responsabilité:

Les informations contenues dans cette publication sont destinées uniquement à l'information des lectrices et lecteurs. Agroscope s'efforce de fournir des informations correctes, actuelles et complètes, mais décline toute responsabilité à cet égard. Nous déclinons toute responsabilité pour d'éventuels dommages en lien avec la mise en œuvre des informations contenues dans les publications. Les lois et dispositions légales en vigueur en Suisse s'appliquent aux lectrices et lecteurs; la jurisprudence actuelle est applicable.

Table des matières

Résumé	4
Summary	5
Riassunto	6
Zusammenfassung	7
1 Introduction.....	8
2 Facteurs qui influencent l'absorption de sel	10
3 Évaluation sensorielle du goût en fonction de la concentration en sel	11
4 Résultats des essais dans la fromagerie expérimentale.....	12
4.1 La complexité de l'absorption du NaCl	12
4.2 La perte d'eau est liée à l'absorption du sel	15
4.3 La protéolyse en profondeur	16
4.4 La lipolyse réagit différemment	16
4.5 La fermentation propionique surprend	17
4.6 La formation de l'ouverture dépend fortement des propriétés de la pâte	18
4.7 L'importance de l'analyse sensorielle.....	20
5 Conclusion	21
5.1 Le bain de sel	21
5.2 Comparaison avec le salage à sec de la surface du fromage	22
6 Recommandations	23
7 Remerciements	23
8 Bibliographie.....	24

Résumé

Le sel de cuisine (chlorure de sodium, NaCl) joue un rôle fondamental dans le fromage et influence les processus physiques, chimiques, biochimiques et microbiologiques pendant l'affinage. La teneur en sel est donc étroitement liée à la qualité sensorielle, à la maturation et à la sécurité sanitaire du produit final. La présente publication porte en particulier sur l'Emmentaler AOP, un fromage à pâte dure avec une fermentation propionique. Par rapport à d'autres sortes de fromage, l'Emmentaler AOP, comme d'autres fromages à pâte dure de type Emmental, présente une différence essentielle: il est souvent affiné à sec et présente une teneur en sel faible à très faible. Or, cette faible teneur en sel est de plus en plus remise en question aujourd'hui, car elle a un impact négatif sur la popularité de l'Emmentaler AOP.

Dans le cadre d'un essai pilote réalisé dans la fromagerie expérimentale d'Agroscope (Liebefeld), différents facteurs ont été étudiés à deux niveaux: la teneur en NaCl et la température du bain de sel ainsi que la durée de séjour dans celui-ci. Ces facteurs et leurs combinaisons ont été testés avec deux fromages d'essai, l'un de type Emmental et l'autre de type Dolce (température de chauffage: 52 °C; température de brassage et de sortie: 49 °C) en utilisant la culture d'essai Prop 23 composée de bactéries propioniques. Une variante avec un salage à sec sur la surface du fromage a également été étudiée.

Un traitement prolongé en bain de sel (72 h au lieu de 24 h) et un salage à sec ont permis d'augmenter considérablement la teneur en NaCl du fromage. Une concentration plus faible dans le bain de sel de 15 °Bé a apporté plusieurs avantages: pas de modification de la teneur en NaCl, moins de perte d'eau. Une teneur en sel plus élevée dans le fromage s'accompagne d'une teneur en eau plus faible, de modifications dans les processus d'affinage et d'une fermentation propionique modifiée. En outre, il a été démontré que la fermentation propionique nécessite une teneur minimale en NaCl afin que le rapport acide propionique/acide acétique reste idéalement élevé en faveur de l'acide propionique. Cette teneur optimale en NaCl d'environ 9 à 11 g/kg (0,9 à 1,1 %) est bien supérieure à la teneur actuelle en NaCl de l'Emmentaler AOP, qui est en moyenne de 3,5 g/kg (0,35 %).

Pourtant, une teneur en sel plus élevée a également des conséquences sur la formation de l'ouverture et sur les propriétés sensorielles. Davantage de sel signifie moins de défauts de goût tels que l'amertume et un arôme nettement plus intense. Les propriétés de la pâte sont modifiées dans le sens d'une plus grande fermeté, ce qui, si la fermeté est trop élevée - comme lors du salage à sec - a un effet négatif sur la formation de l'ouverture et l'épaisseur des bords. Mais les avantages l'emportent: un goût plus prononcé et plus pur, un arôme plus intense et moins d'acide acétique, ce qui augmente la popularité du produit. À l'avenir, il sera important que la pratique mette l'accent sur les changements de consistance de la pâte.

Summary

Salt (sodium chloride, NaCl) plays an essential role in cheese production, affecting the physical, chemical, biochemical and microbiological processes during ripening. Salt content is therefore closely linked with the sensory quality, ripening characteristics and food safety of the end-product. This publication focuses on Emmentaler PDO, a hard cheese made using propionic acid fermentation. Like other Emmentaler-type hard cheeses, Emmentaler PDO differs in one fundamental way from other hard cheeses: it is often dry-ripened, and has a low-to-very-low salt content. Today, this low salt content is increasingly called into question, since it is detrimental to the popularity of Emmentaler PDO.

In a model trial conducted in Agroscope's research cheese dairy in Liebefeld, various factors were studied at two levels: NaCl content and temperature of the salt bath as well as the time spent therein. These factors and combinations thereof were investigated with model Emmentaler and Dolce-type model cheese (scalding temperature, 52 °C; final stirring and moulding temperature, 49 °C) using the propionic-acid bacteria test culture Prop 23. A variant in which the cheese surface was dry-salted was also examined.

A longer salt-bath treatment (72 h rather than 24 h) and dry-salting substantially raised the NaCl content of the cheeses. A lower salt-bath concentration of 15 °Bé produced several benefits: no alteration of the NaCl content, lower water loss. A higher salt content in the cheese is associated with a lower water content, altered ripening processes and altered propionic acid fermentation. It was also shown that propionic acid fermentation requires a minimum NaCl content, particularly so that the ratio of propionic acid to acetic acid remains optimally high in favour of the propionic acid. This optimal NaCl content of around 9–11g/kg (0.9–1.1%) lies far above Emmentaler PDO's current average NaCl content of 3.5 g/kg (0.35%).

But a higher salt content also has implications for eye formation and sensory analysis. More salt means fewer 'off' flavours such as bitterness, as well as a significantly more intense flavour. The characteristics of the curd are altered towards a greater firmness, which in the case of excessive firmness, as occurs with dry-salting, negatively affects eye formation and edge thickness. The benefits outweigh the drawbacks, however: more and purer taste, a more intense flavour and less acetic acid, coupled with increased popularity. In future it will be important for practitioners to focus on the changes in curd consistency.

Riassunto

Il sale da cucina (cloruro di sodio, NaCl) ha un ruolo fondamentale nel formaggio e influisce sui processi fisici, chimici, biochimici e microbiologici durante la maturazione. Il tenore di sale è dunque strettamente correlato alla qualità sensoriale, alla maturazione e alla sicurezza alimentare del prodotto finale. Questa pubblicazione è dedicata in particolare all'Emmentaler AOP, un formaggio a pasta dura con fermentazione propionica. Rispetto ad altre varietà, così come anche altri formaggi a pasta dura di tipo Emmentaler, l'Emmentaler AOP presenta una differenza sostanziale: è spesso stagionato a secco e presenta un tenore di sale che varia da ridotto a molto ridotto. Questo basso tenore di sale è ora sempre più oggetto di studio, in quanto ha un impatto negativo sulla popolarità dell'Emmentaler AOP.

In un esperimento modello nel caseificio di ricerca Agroscope (Liebefeld), sono stati analizzati vari fattori a due livelli: tenore di NaCl e temperatura del bagno di sale nonché relativa durata. Questi fattori e le loro combinazioni sono stati testati con il modello Emmentaler e con il modello di tipo Dolce (temperatura di cottura: 52 °C; temperatura di mescolamento e di estrazione: 49 °C) utilizzando la coltura sperimentale Prop 23 per il test dell'acido propionico. È stata testata anche una variante con salatura a secco sulla superficie del formaggio.

Con un trattamento in bagno di sale più lungo (72 h invece di 24 h) e con salatura a secco, il tenore di NaCl del formaggio poteva essere aumentato in misura significativa. Una concentrazione di sale inferiore, pari a 15 °Bé, ha portato diversi vantaggi, a parità di tenore di NaCl. Un tenore di sale maggiore nel formaggio è associato a un tenore di acqua minore, a processi di maturazione modificati e a un'alterata fermentazione propionica. È stato inoltre dimostrato che la fermentazione propionica richiede un tenore minimo di NaCl, in modo tale che il rapporto tra acido propionico e acido acetico resti a un livello alto ottimale a favore dell'acido propionico. Questo tenore ottimale di NaCl, pari a circa 9-11 g/kg (0,9-1,1%), è nettamente superiore all'attuale tenore di NaCl dell'Emmentaler AOP, che in media è di 3,5 g/kg (0,35%).

Un tenore di sale maggiore implica però conseguenze anche sulla formazione dei buchi e a livello sensoriale. Un quantitativo maggiore di sale implica una riduzione del cattivo sapore, come l'amaro, e un aroma molto più intenso. Le proprietà dell'impasto vengono modificate per ottenere una compattezza maggiore, il che si ripercuote negativamente sulla formazione dei fori e sullo spessore dei margini se la compattezza risulta eccessiva, come nel caso della salatura a secco. I vantaggi superano tuttavia gli svantaggi: sapore più intenso e più puro, aroma più pronunciato e meno acido acetico, con conseguente aumento della popolarità. In futuro, sarà importante che i professionisti si concentrino sui cambiamenti nella consistenza dell'impasto.

Zusammenfassung

Kochsalz (Natriumchlorid, NaCl) spielt in Käse eine fundamentale Rolle und beeinflusst die physikalischen, chemischen, biochemischen und mikrobiologischen Vorgänge während der Reifung. Der Salzgehalt ist folglich eng mit der sensorischen Qualität, der Ausreifbarkeit und der Lebensmittelsicherheit des Endproduktes verbunden. In der vorliegenden Publikation wird der Fokus auf Emmentaler AOP gelegt, einem Hartkäse mit einer Propionsäuregärung. Im Vergleich zu anderen Käsesorten hat Emmentaler AOP, wie auch andere Hartkäse des Typs Emmentaler, einen wesentlichen Unterschied: Er wird häufig trocken gereift und weist einen tiefen bis sehr tiefen Salzgehalt auf. Dieser tiefe Salzgehalt wird heute mehr und mehr hinterfragt, denn er wirkt sich negativ auf die Beliebtheit von Emmentaler AOP aus.

In einem Modell-Versuch in der Forschungskäserei von Agroscope (Liebefeld) wurden verschiedene Faktoren auf zwei Stufen untersucht: NaCl-Gehalt und Temperatur des Salzbadetes sowie Aufenthaltsdauer darin. Diese Faktoren und deren Kombinationen wurden mit Modell-Emmentaler und mit Modell-Käse des Typs Dolce (Brenntemperatur: 52 °C; Ausrühr- und Ausziehtemperatur: 49 °C) unter Verwendung der Propionsäurebakterien Versuchskultur Prop 23 getestet. Auch eine Variante mit Trockensalzen der Käseoberfläche wurde untersucht.

Mit einer längeren Salzbad-Behandlung (72 h statt 24 h) und mit Trockensalzen konnte der NaCl-Gehalt der Käse deutlich erhöht werden. Eine tiefere Salzbadkonzentration von 15 °Bé brachte mehrere Vorteile mit sich: keine Veränderung des NaCl-Gehaltes, geringerer Wasserverlust. Generell geht ein höherer Salzgehalt im Käse mit tieferen Wassergehalten einher, veränderten Reifungsvorgängen sowie veränderter Propionsäuregärung. Zudem konnte gezeigt werden, dass die Propionsäuregärung einen minimalen NaCl-Gehalt braucht, damit insbesondere das Verhältnis von Propion- zu Essigsäure zugunsten der Propionsäure optimal hoch bleibt. Dieser optimale NaCl-Gehalt von ca. 9-11 g/kg (0.9-1.1 %) liegt weit über dem gegenwärtigen NaCl-Gehalt von Emmentaler AOP von durchschnittlich 3.5 g/kg (0.35 %).

Doch hat ein höherer Salzgehalt auch Folgen auf die Lochbildung und die Sensorik. Mehr Salz bedeutet weniger Fehlgeschmack wie beispielsweise Bitterkeit und deutlich intensiveres Aroma. Die Teigeigenschaften werden in Richtung höherer Festigkeit verändert, was sich bei zu grosser Festigkeit – wie beim Trockensalzen – negativ auf die Lochbildung und die Dicke der Borde auswirkt. Doch die Vorteile überwiegen: Mehr und reinerer Geschmack, intensiveres Aroma und weniger Essigsäure mit daran gekoppelter erhöhter Beliebtheit. Es wird in Zukunft wichtig sein, dass die Praxis die Veränderungen bei der Teigkonsistenz in den richtigen Fokus rückt.

1 Introduction

Le sel de cuisine joue un rôle fondamental dans la fabrication fromagère et influence les processus physiques, chimiques, biochimiques et microbiologiques pendant l'affinage. La teneur en sel est donc étroitement liée à la qualité sensorielle, à la maturation et à la sécurité sanitaire des aliments du produit final (Fröhlich-Wyder, 2012). L'affinage et la croissance des micro-organismes dans le fromage sont déterminés de manière significative par des facteurs «extrinsèques» (température, humidité relative dans la cave d'affinage) et «intrinsèques» (valeur a_w , pH, potentiel redox, teneur en NaCl, solubilité des protéines, teneur en matières grasses, teneur en eau et sources de carbone). Agroscope a déjà publié plusieurs études sur ce vaste sujet, notamment sur le rôle du sel de cuisine et les influences sur l'absorption du NaCl dans le fromage (Fröhlich-Wyder, 2012; Goy et al., 2008; Goy et al., 2012; Jakob et al., 2005). La présente publication porte plus particulièrement sur les fromages avec une fermentation propionique. Ceux-ci présentent une différence majeure par rapport aux autres fromages classiques: ils sont souvent affinés à sec, dans une couche de paraffine ou dans un film pastique. L'Emmentaler AOP, en particulier, présente une très faible teneur en sel (tabl. 1). Cette faible teneur en sel est aujourd'hui de plus en plus remise en question, car elle a un effet négatif sur le goût et l'arôme et donc sur la popularité de l'Emmentaler AOP. Or, cela n'a pas toujours été le cas.

Au cours des dernières décennies, la teneur en NaCl de l'Emmentaler AOP suisse n'a cessé de diminuer, comme le montrent la liste et la figure 1 ci-dessous. L'âge des échantillons n'était pas toujours connu.

- Années 1900: en moyenne 2,3 % (Rothenbühler, 1970; Sieber et al., 1987; Sollberger et al., 1991)
- Années 1940: 1,0 à 1,5 % (Flüeler & Kaufmann, 1982; Rothenbühler, 1970; Sieber et al., 1987)
- Années 1960: 0,5 à 1,2 % (Flüeler & Kaufmann, 1982; Mayr, 1976; Sieber et al., 1987). Cette baisse était due à l'introduction de l'affinage en cave sèche au lieu du salage à sec demandant beaucoup de travail.
- Années 1970: en moyenne 0,7 % (Sieber et al., 1987; Sollberger, 1998a)
- Années 1980: des efforts ont été déployés pour atteindre 1,0 % afin de contrôler la fermentation secondaire (Flüeler & Kaufmann, 1982). Dans le même temps, la prise de conscience concernant les aliments pauvres en sel s'est accrue (Sieber, 1985).
- Année 1990: en moyenne 0,65 % (0,43 à 1,5%) (Sieber & Badertscher, 1991; Sieber et al., 1987). La réduction de la teneur en sel était au premier plan, l'objectif visé étant de 0,3 %. (Sieber & Badertscher, 1991). La recommandation à la pratique était de réduire de moitié la durée de séjour dans le bain de sel, c'est-à-dire à un jour (Sollberger et al., 1991). Les teneurs en sel s'élevaient parfois à ~0,35 % (Sollberger, 1998b).

Deux changements majeurs ont permis de réduire durablement la teneur en NaCl de l'Emmentaler:

1. L'abandon du salage à sec, qui demande beaucoup de travail, à partir des années 1970.
2. Les aspects nutritionnels de l'alimentation, qui ont conduit à une réduction délibérée de la teneur en NaCl dans l'Emmentaler, alors que la teneur en sel de l'Emmentaler était déjà faible par rapport à d'autres fromages. Les avantages qui en découlaient pour les propriétés de la pâte – plus fine et plus souple – ont été décisifs pour la réduction de la teneur en sel opérée par la pratique. En même temps, le NaCl n'était plus nécessaire pour empêcher une fermentation secondaire, vu que dans les années 1980 les bactéries lactiques hétérofermentaires facultatives (Fröhlich-Wyder et al., 2022), puis, une décennie plus tard, la culture de bactéries propioniques à fermentation lente Prop 96 (Bachmann, 1998) avaient été introduites.

Tableau 1: Teneur idéale en sel de différentes sortes de fromage (Goy et al., 2008) (Emmental = Emmentaler AOP)

Fromage	Teneur en sel absolue [g/kg]
Sbrinz	16–20
Gruyère	13–16
Emmentaler	3–5
Tête de Moine	17–21
Tilsiter	14–16
Appenzeller	14–18
Raclette	15–19
Vacherin fribourgeois	15–18
Vacherin Mont-d'Or	12–15
Reblochon	14–17
Camembert	15–18

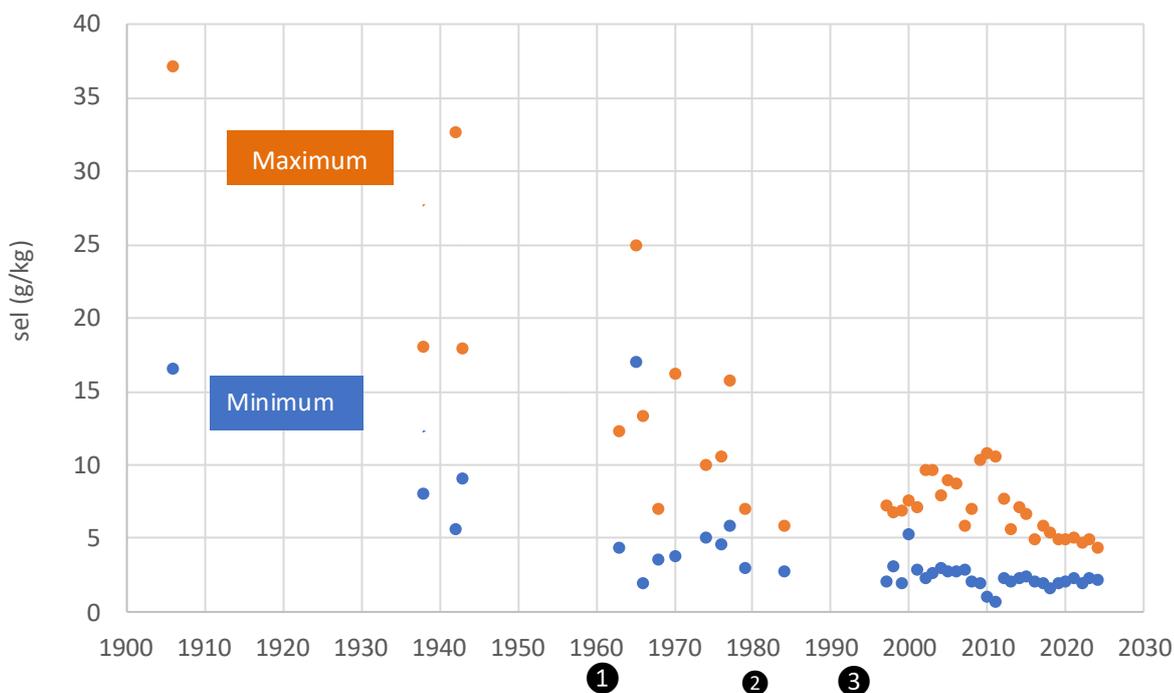


Figure 1: Evolution de la teneur en sel dans l'Emmentaler suisse au cours des ans (moyenne mobile). Le moment de la mesure est le plus souvent inconnu. (1: Abandon du salage à sec; 2: Contrôle de la fermentation secondaire avec du NaCl; 3: Amélioration des propriétés de la pâte et des propriétés physiologiques et nutritionnelles)

Comme le montre clairement la figure 2, la teneur en NaCl de l'Emmentaler a atteint un creux au moment de la taxation en 2010 à l'âge de 3 mois (médiane de 3,0 g/kg soit 0,3 %¹); depuis 2011, la teneur en NaCl semble s'être stabilisée autour de 3,5 g/kg. La valeur moyenne actuelle pour l'année 2024 est de 3,4 g/kg, avec une légère tendance à la baisse.

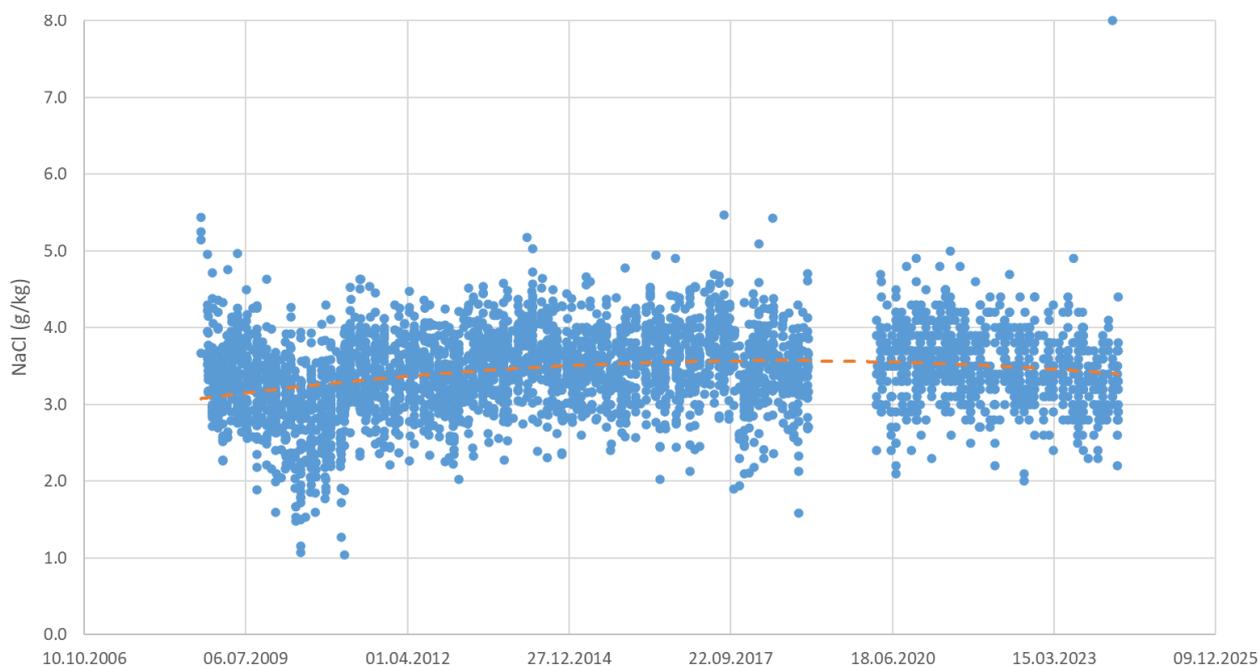


Figure 2: Teneurs en NaCl de l'Emmentaler AOP au moment de la taxation à l'âge de 3 mois, 2008 – 2024, Agroscope (données jusqu'en 2019: base de données interne Access LIMS; données à partir de 2020: base de données interne Limsophy; consulté le: 6 mai 2024; méthodes: NIR et FTIR)

¹ Les données relatives aux concentrations n'étaient pas cohérentes au fil des ans. Alors qu'au siècle dernier, les concentrations en NaCl étaient principalement indiquées en g/100 g ou en % (w/w), après le tournant du millénaire, elles l'ont été principalement en g/kg.

Dans les années 1980, des essais ont été menés à la station de recherche laitière FAM, aujourd'hui Agroscope, dans le but d'augmenter la teneur en NaCl de l'Emmentaler afin d'éviter autant que possible la fermentation secondaire. L'augmentation de la durée d'immersion dans le bain de sel (> 2 jours) ou un salage à sec ultérieur de la surface du fromage ont contribué à une teneur plus élevée en NaCl, mais aussi à une pâte plus courte et plus ferme, en particulier sous la croûte. Le salage ultérieur avec une humidité de l'air élevée (> 80 %) a contribué à une meilleure absorption du NaCl, de sorte qu'avec environ 0,76 % de NaCl, il était déjà possible d'obtenir un meilleur goût tout en ayant une pâte moins ferme et moins courte (Flüeler & Kaufmann, 1982, 1984). Un essai réalisé dans la pratique en 2017, dans lequel les fromages ont été soignés à une humidité relative de 90 % et avec de l'eau présentant une concentration de sel de 20 %, a permis d'atteindre une absorption supplémentaire en sel d'environ 1,6 g/kg. Le panel de dégustation d'Agroscope a évalué ces fromages avec 6,2 g de NaCl/kg d'une note plus salée ou plus intense en arôme sur une échelle de 10 points par rapport aux fromages de référence (4,6 g/kg de NaCl). Par ailleurs, ils ont été jugés plus fermes et moins gommeux, bien que ce ne soit pas significatif (résultats non présentés).

Comme nous l'avons déjà mentionné, une réduction de la teneur en NaCl était intéressante d'un point de vue nutritionnel (Sieber, 1985), bien que la teneur dans l'Emmentaler fût déjà faible par rapport aux autres fromages suisses. Contre toute attente, un essai réalisé en 1989 avec des concentrations de NaCl plus faibles dans le bain de sel (15 °Bé au lieu de 21 °Bé) n'a pas permis de réduire la teneur en NaCl du fromage (Sollberger, 1989).

Au cours de la même décennie, des essais ont été menés pour augmenter la teneur en NaCl du Sbrinz afin d'inhiber la fermentation propionique. Diverses variantes et méthodes ont été testées. L'immersion des fromages avant le bain de sel s'est avérée efficace, mais la croûte est restée épaisse (Kessler 1991). Les autres mesures n'étaient soit pas applicables dans la pratique, soit déjà connues, comme l'augmentation de la durée d'immersion, de la température et de la concentration en sel du bain de sel.

2 Facteurs qui influencent l'absorption de sel

La recherche de littérature sur les essais déjà réalisés par Agroscope a servi de base à la planification de l'essai actuel. La figure 3 montre de façon schématique l'état actuel des connaissances sur la manière dont les facteurs mentionnés peuvent influencer la teneur en sel du fromage (Bisig et al., 2025).

Différentes combinaisons de facteurs ont été sélectionnées pour influencer la teneur en NaCl de fromages modèles de type Emmentaler (température de chauffage et de sortie de 53°C chacune) et Emmentaler Dolce (température de chauffage de 52°C; température de sortie de 49°C). Ce n'est pas uniquement l'effet d'un seul facteur qui nous intéressait, mais surtout les combinaisons possibles. Les facteurs suivants ont été étudiés à deux niveaux: la concentration en NaCl et la température du bain de sel ainsi que la durée de séjour dans le bain de sel (BS). Ces facteurs ont été testés avec un Emmentaler modèle et un fromage modèle de type Dolce (fig. 4). Les fromages ont été fabriqués à partir de lait pasteurisé dans la fromagerie expérimentale d'Agroscope à Liebefeld et ont été affinés pendant 4 mois. Ils ont été conservés en cave chaude (21-23 °C/85 % d'humidité relative) jusqu'à la formation d'une ouverture suffisante. Dans une autre partie de l'essai, la surface des fromages modèles a été salée à sec pendant les sept premiers jours de l'affinage. Les fromages ont été fabriqués avec la culture de bactéries propioniques Prop 23 (Agroscope, pas encore disponible dans le commerce) afin de mieux connaître leur comportement avec différentes concentrations de NaCl. Il convient de mentionner qu'un Agroscope Transfer détaillé a été rédigé sur le type Dolce, dans lequel on peut trouver des informations approfondies (N° 551, 2024).

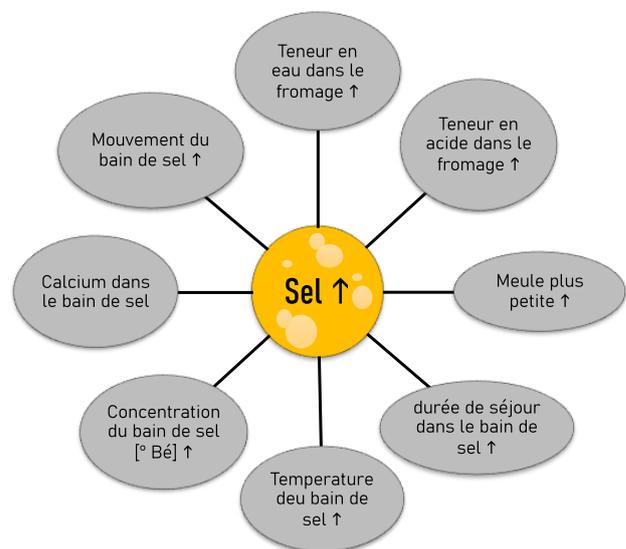


Figure 3: Facteurs qui influencent l'absorption du sel dans le fromage (Bisig et al., 2025).

Facteurs:	Niveaux:	
▪ Durée de séjour dans le BS:	24h vs. 72h	} 1ère partie 
▪ Teneur en sel dans le BS:	15°Bé vs. 21°Bé	
▪ Température du BS:	11°C vs. 16°C	
▪ Type de fromage:	Type Emmentaler vs. Type Dolce	} 2ème partie 
▪ Méthode du salage:	BS vs. 7 jours salage à sec	

Figure 4: Facteurs qui ont été testés avec des Emmentaler modèles et avec le type Dolce. BS = bain de sel. Le salage à sec de la surface du fromage pendant sept jours a été effectué après le BS (24h). Les concentrations en NaCl du BS s'élevaient à: 15 °Bé = 1,12 kg/dm³; 21 °Bé = 1,17 kg/dm³

3 Évaluation sensorielle du goût en fonction de la concentration en sel

Le fromage sans sel développe un goût fade avec des arômes indésirables perceptibles (Skeie et al., 2014). Le sel (NaCl) est d'une importance particulière pour la qualité sensorielle du fromage, car il a un effet direct et indirect sur le goût, agit comme exhausteur de goût, masque les défauts de goût (Hayes et al., 2010) et influence la structure et les propriétés rhéologiques du fromage. L'influence du sel sur la saveur du fromage (goût et arôme) dépend de sa concentration, de la composition du fromage et de son âge (O'Sullivan, 2023). Le salage a un effet indirect sur le goût de différentes manières, en influençant la croissance microbienne, les activités enzymatiques, les modifications biochimiques et l'hydratation de la caséine pendant l'affinage. Dans les fromages traités au bain de sel, deux processus métaboliques importants, la protéolyse et la lipolyse, sont influencés par le sel, et donc aussi le goût du fromage. Guinee (2004) souligne que la teneur en sel de la phase aqueuse est déterminante pour la qualité du cheddar et qu'elle doit se situer entre 30 et 60 g/kg, sachant que 45 à 55 g/kg donnent les meilleurs résultats (à titre de comparaison: l'Emmentaler AOP a une teneur d'environ 10 g/kg dans la phase aqueuse après 4 mois et le Gruyère d'environ 54 g/kg). Il faut en tenir compte en particulier dans le cas du cheddar allégé en matière grasse, car il contient plus d'eau que de matière grasse (Guinee, 2004; Skeie et al., 2014). Pour le cheddar affiné, la teneur en sel est le critère le plus important en termes de préférences gustatives des consommateurs. Même une légère diminution de la teneur en sel dans le fromage de 17,5 à 15,0 g/kg a légèrement réduit la préférence des consommateurs pour le cheddar, qui est passée de 6,8 à 6,5 sur une échelle hédonique à neuf niveaux (McMahon, 2010).

Il a été constaté que le sel réduit l'amertume du fromage (Guggenbühl Gasser et al., 2023; Kuhfeld et al., 2023; Pripp et al., 2006; Skeie et al., 2014). Cette réduction peut s'expliquer par le fait que le sel inhibe les protéases bactériennes et/ou de la présure, ce qui réduit la formation de peptides amers (Kuhfeld et al., 2023), mais masque également la perception de l'amertume (Hayes et al., 2010). Une formation plus faible de peptides au goût amer a été observée dans le cas d'une teneur en sel plus élevée de 17,1 g/kg par rapport à une teneur de 11 à 12 g/kg dans le fromage en tranches (Pripp et al., 2006). Les profils aromatiques et les propriétés sensorielles du fromage non salé et salé (20-30 g/kg), un fromage blanc marocain à pâte molle fabriqué à partir de lait de chèvre cru, ont été comparés (Tsouli Sarhir et al., 2022). Même avec une durée d'affinage d'environ 10 jours seulement, des différences ont été relevées dans le profil aromatique. Le fromage salé présentait un profil aromatique plus riche. Les profils sensoriels correspondaient également bien au profil aromatique. Le fromage salé présentait davantage de notes d'ananas, de beurre/matière grasse, de pomme, de fruits et de fruits trop mûrs, mais moins de notes de petit lait et de fromage (Tsouli Sarhir et al., 2022). Des résultats similaires relatifs aux notes gustatives ont été obtenus pour un fromage hollandais à pâte mi-dure, comparé à un fromage contenant 6 et 9 g/kg de sel (Skeie et al., 2014). Ces comparaisons montrent l'importance du sel dans la modulation de la formation des arômes et des saveurs.

Juan et al. (2022) ont réduit d'environ un tiers la teneur en sel d'un fromage à pâte mi-dure salé traité au bain de sel, la ramenant à 12,5 g/kg, et l'ont comparée à celle d'un fromage identique contenant la teneur en sel standard de 18,0 g/kg. Après 30 jours d'affinage, le panel de dégustation a jugé que le fromage à teneur réduite en sel était nettement moins salé, d'une amertume similaire, un peu moins acide, semblable au niveau de l'arrière-goût et

présentait un arôme nettement moins intense que le fromage témoin. Après 60 jours d'affinage, les fromages sont devenus durs en raison de la perte d'humidité pendant l'affinage et contenaient respectivement 21,3 et 14,9 g/kg de sel. Le panel a jugé que l'échantillon à teneur réduite en sel était nettement moins salé, d'une amertume et d'une acidité similaires et présentait un arrière-goût et un arôme similaires par rapport au fromage témoin. Après 30 jours, le fromage à teneur réduite en sel était aussi apprécié par les consommateurs que le fromage témoin, mais après 60 jours d'affinage, il était nettement moins apprécié.

L'augmentation de la teneur en sel dans la phase aqueuse de l'Emmentaler de 0,13 à 4,1 % (w/w; ce qui correspond à 1,3 - 41 g/kg dans la phase aqueuse) a renforcé l'intensité des notes sucrées et fruitées souhaitées et a supprimé les défauts de goût tels que la note métallique et l'amertume. Lorsque la teneur en sel est plutôt faible, une augmentation de celle-ci a conduit à une perception plus forte du goût doux (fig. 5). Pour les fromages de type Emmentaler («Swiss-type cheeses»), une forte corrélation a été établie entre la teneur en sel dans la fourchette allant de 3,6 à 17,0 g/kg et l'intensité gustative globale. Entre autres, il existe une forte association entre la popularité du fromage de type Emmentaler et les attributs de goût salé et sucré (Castada et al., 2019 ; Guggenbühl Gasser et al., 2023).

La teneur en sel a influencé la libération des arômes, en particulier dans les fromages pauvres en matière grasse, mais cette influence a augmenté ou diminué selon les substances aromatisantes (Saint-Eve et al., 2009). Andersen et al. (2010) ont constaté lors de l'évaluation sensorielle de mélanges aqueux de fromages servant de modèles que

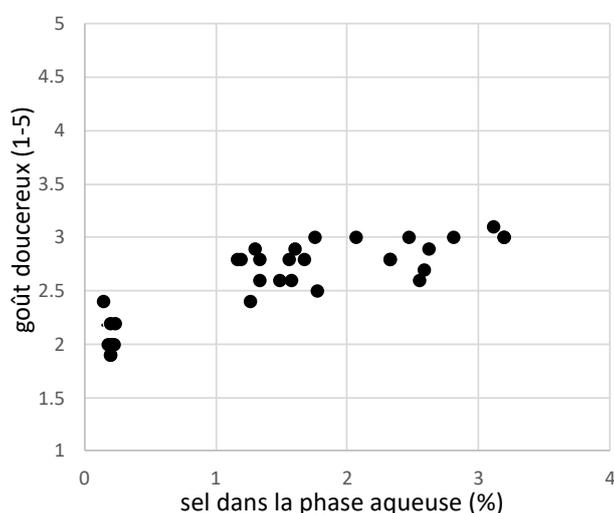


Figure 5: Corrélation entre la teneur en sel dans la partie aqueuse de l'Emmentaler et l'intensité perçue du goût doux (Guggenbühl Gasser et al., 2023)

l'acide glutamique, les acides organiques et les sels minéraux étaient les principaux vecteurs de goût du cheddar. Un effet d'interaction entre les acides organiques et le sel a été observé sur la perception du goût acide et salé. Le goût umami est un effet synergique de l'acide glutamique et du sel et une réduction de la teneur en sel a également influencé l'intensité du goût umami (Skeie et al., 2014). L'utilisation d'au moins 0,8 % de NaCl (w/w) ou 8 g/kg est nécessaire pour compenser le goût fade du fromage à faible teneur en sel (Schroeder et al., 1988). C'est plus du double de la teneur moyenne actuellement relevée dans l'Emmentaler AOP (fig. 2).

4 Résultats des essais dans la fromagerie expérimentale

Les résultats des essais menés dans la fromagerie expérimentale sont complexes et sont donc abordés individuellement en fonction des principaux ingrédients. Sauf indication contraire, les résultats décrivent l'intérieur du fromage, c'est-à-dire la pâte (échantillons prélevés au centre du fromage).

4.1 La complexité de l'absorption du NaCl

Les facteurs les plus importants pour l'absorption du sel sont la durée d'immersion dans le bain de sel et le salage à sec de la surface du fromage. Tous les autres facteurs, considérés isolément, n'ont eu aucune influence sur l'absorption du sel (fig. 6 et 7). La température plus élevée du bain de sel (16 °C) n'a permis d'augmenter la teneur en sel que dans les échantillons de croûte; au centre, un effet parfois même contraire a été observé: en particulier avec une concentration en sel élevée dans le bain de sel et un séjour prolongé des fromages dans le bain de sel, on a mesuré dans le centre une teneur en sel plus faible à 16 °C qu'à 11 °C (fig. 6). La forte absorption de NaCl à une température de 16 °C dans la zone de la croûte s'est accompagnée d'une perte d'eau plus importante, ce qui est devenu encore plus évident avec le traitement standard dans le bain de sel (24h / 21 °Bé, fig. 11). On suppose que la formation de la croûte à la surface du fromage est plus intense à 16 °C, ce qui ralentit l'absorption de sel.

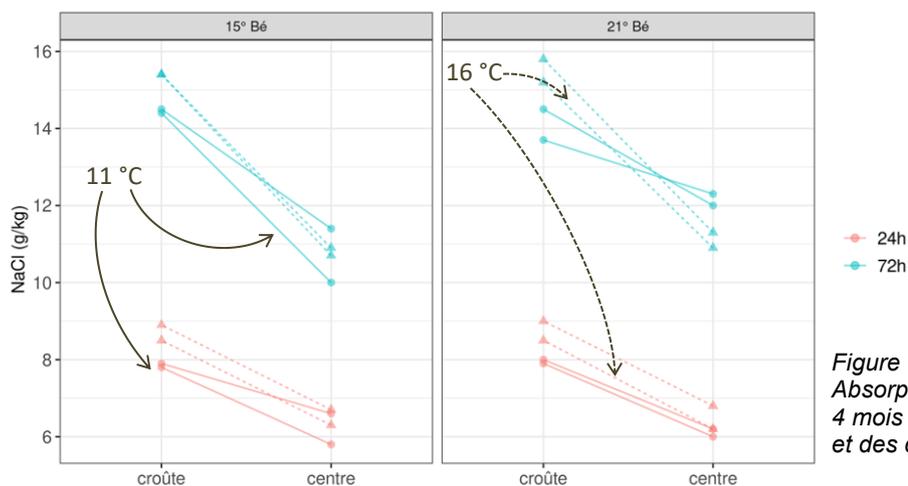


Figure 6: Absorption de NaCl dans les fromages âgés de 4 mois – Comparaison des zones des fromages et des concentrations du bain de sel

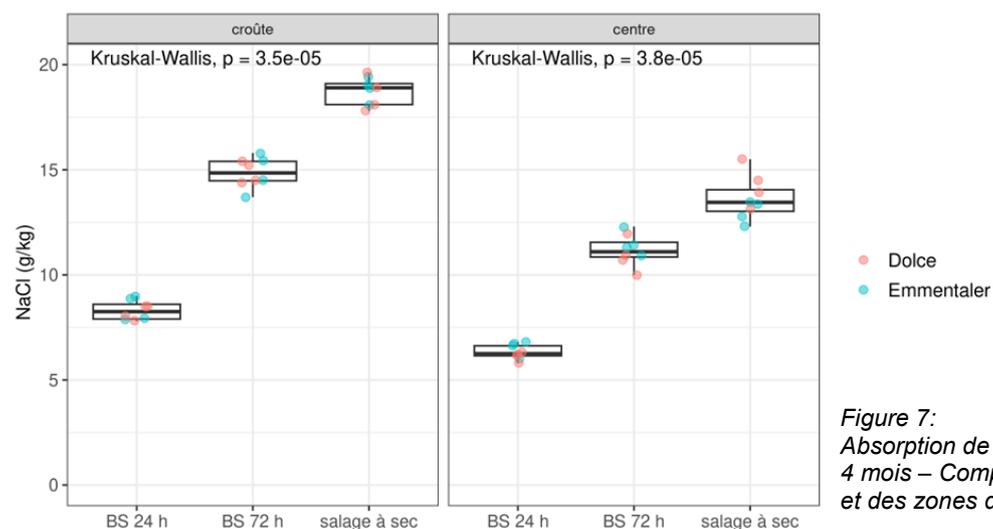


Figure 7: Absorption de NaCl dans les fromages âgés de 4 mois – Comparaison des méthodes de salage et des zones des fromages

Considérés séparément, les deux types de fromage Dolce (●) et Emmentaler (●) ne présentaient qu'une légère différence de teneur en sel (fig. 7). Cependant, après un traitement au bain de sel pendant 72 h à 15 °Bé, les fromages Dolce ont pu retenir davantage d'eau au centre tout en absorbant bien le NaCl (fig. 8; points sous la loupe). La teneur en eau légèrement plus élevée dans les fromages Dolce d'un jour ($\bar{x} = 375,7$ contre $\bar{x} = 373,1$ g/kg dans l'Emmentaler) associée à une acidification plus intense (valeurs pH plus faibles après 4 h) et à la concentration la plus faible du bain de sel, qui contribue probablement à ralentir la fermeture (formation de la croûte) de la surface du fromage, peuvent expliquer ce phénomène (fig. 9). Des teneurs en eau plus élevées et des valeurs pH plus faibles dans le fromage frais sont des facteurs qui favorisent l'absorption de sel (fig. 3).

Il est surprenant de constater que la concentration la plus faible dans le bain de sel n'entraîne pas des teneurs plus basses en NaCl. Ce résultat contradictoire a déjà été observé dans les années 1980 (Sollberger 1989). Un essai actuel avec des blocs de fromage standardisés a confirmé que seule la durée de séjour dans le bain de sel contribuait à une teneur en NaCl différente, mais pas la concentration de sel dans le bain de sel (fig. 10). À cet effet, des blocs de 10x10x25 cm, avec une surface latérale de 10x10 cm, ont été immergés à 1 cm de profondeur dans une solution saline afin de suivre l'absorption du sel de manière standardisée le long d'un axe unidimensionnel. Il convient de noter que seules les concentrations du bain de sel avec un minimum de 15 °Bé ont été étudiées; l'impact ne peut donc pas être extrapolé à des concentrations plus faibles sans études appropriées. On sait cependant que des concentrations de sel encore plus faibles dans le bain de sel entraîneraient la dissolution de la croûte (Bisig et al., 2025).

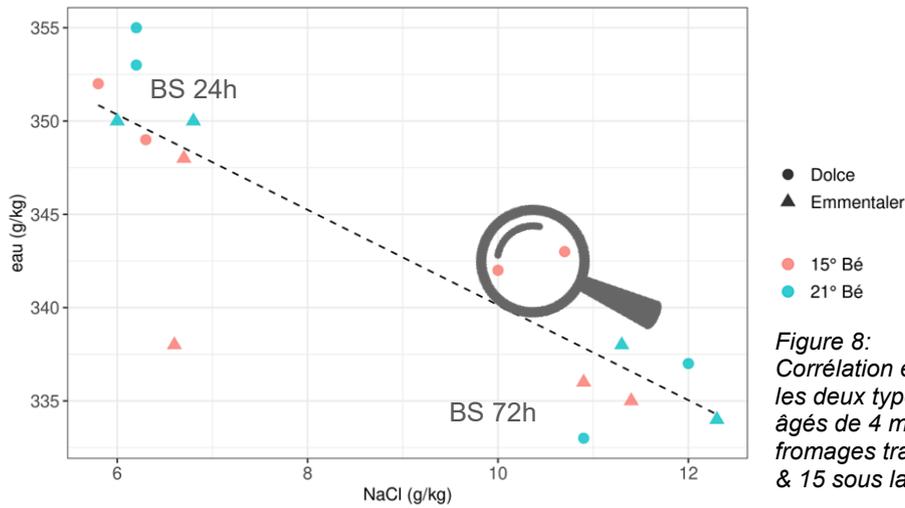


Figure 8: Corrélation entre le NaCl et la teneur en eau dans les deux types de fromage Dolce et Emmentaler âgés de 4 mois (échantillons prélevés au centre des fromages traités dans le BS, affinés à 4 mois) EH 11 & 15 sous la loupe: Dolce à 15 °Bé.

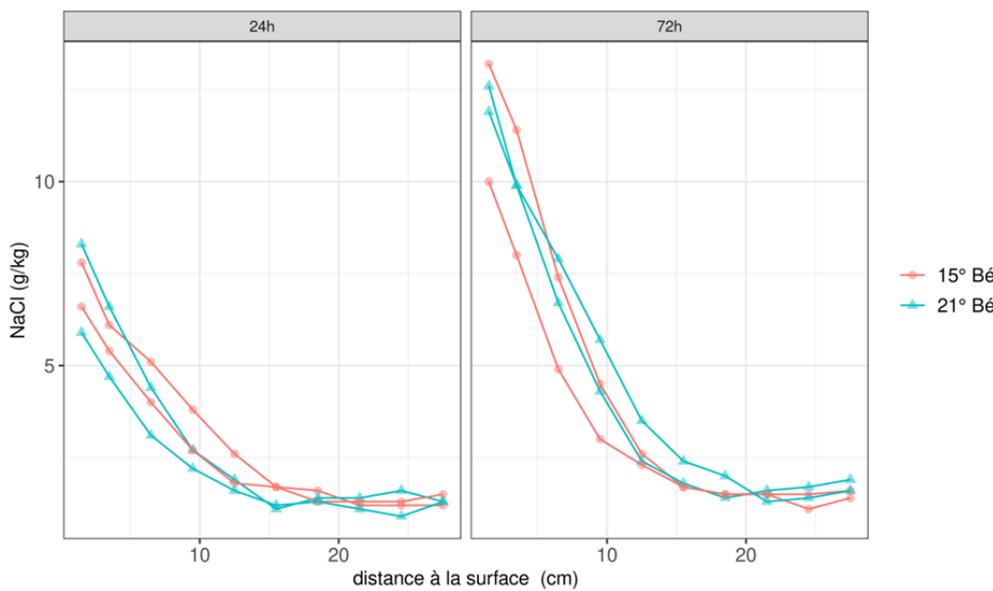


Figure 9: Corrélation entre la distance à la surface et la teneur en NaCl d'un bloc de fromage après traitement dans le bain de sel pendant 24h (à gauche) ou 72h (à droite) avec une concentration en sel de respectivement 15 et 21 °Bé (resp. rouge et turquoise) à l'âge de 3 mois (essai d'Agroscope).

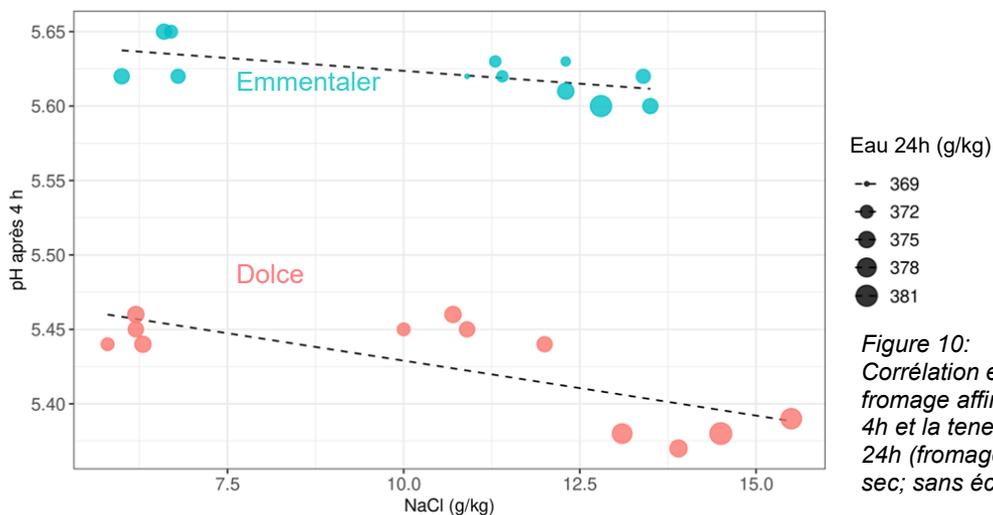


Figure 10: Corrélation entre la teneur en NaCl dans le fromage affiné (4 mois), la valeur pH après 4h et la teneur en eau dans le fromage de 24h (fromage traité dans un BS & salage à sec; sans échantillons du bord)

4.2 La perte d'eau est liée à l'absorption du sel

Comme nous l'avons déjà vu précédemment, il est difficile de discuter de l'absorption de NaCl sans tenir compte de la teneur en eau, car ces deux éléments dépendent directement l'un de l'autre (fig. 8 et 9). Il n'est donc pas surprenant que la teneur en eau soit également fortement influencée seulement par la méthode de salage ou par la durée d'immersion dans le bain de sel (fig. 11). Une teneur en eau légèrement plus élevée dans les fromages de type Dolce avec une concentration dans le bain de sel de 15 °Bé pendant 72h a déjà été présentée dans la figure 8. Même avec une durée d'immersion dans le bain de sel de 24h, la perte d'eau dans les fromages Dolce était plus faible que dans les Emmentaler, indépendamment de la concentration ou de la température du bain de sel. Cet avantage - une perte d'eau plus faible dans les fromages Dolce - a été perdu avec le salage à sec (fig. 11).

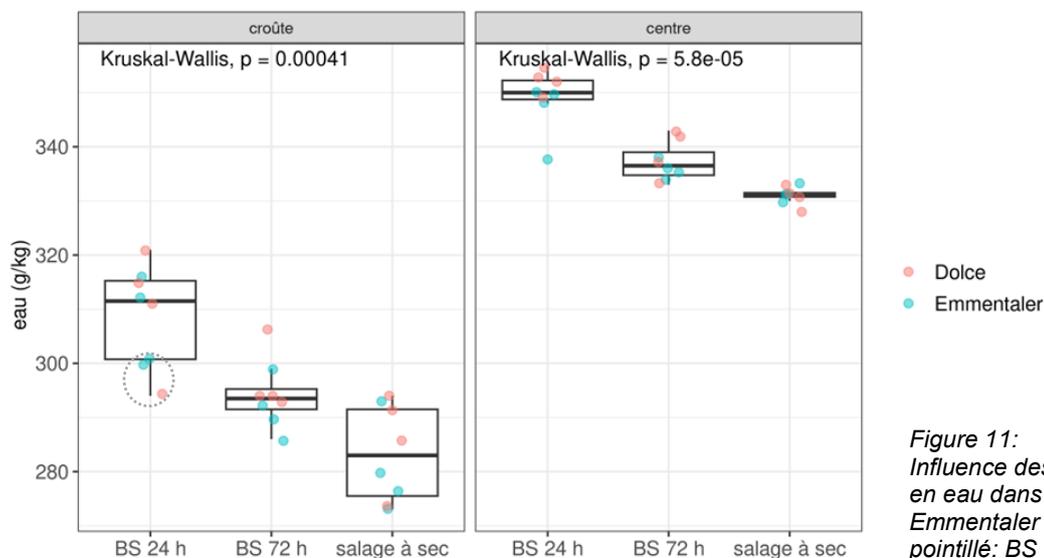


Figure 11: Influence des méthodes de salage sur la teneur en eau dans les fromages d'essai de type Emmentaler et Dolce âgés de 4 mois (cercle en pointillé: BS 21 °Bé & 16 °C)

La concentration du bain de sel de 15 °Bé a montré un autre effet intéressant lors du test avec les blocs de fromage standardisés (fig. 9): la répartition de l'eau dans le fromage était dès le début plus homogène qu'avec une concentration de 21 °Bé (fig. 12). Cette répartition différente de l'eau n'a eu apparemment aucun effet sur la migration du NaCl à l'intérieur du fromage (fig. 9). Ce n'est qu'avec l'augmentation de la durée d'affinage que la répartition de l'eau est devenue plus homogène également dans les autres variantes.

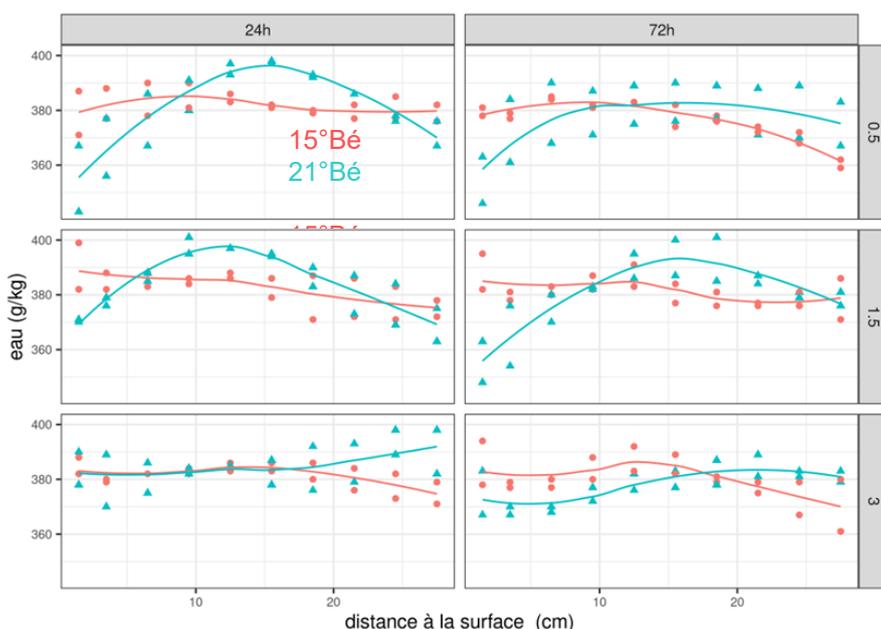


Figure 12: Corrélation entre la distance à la surface et la teneur en eau d'un bloc de fromage après le traitement au bain de sel pendant 24h (à gauche) ou 72h (à droite) avec une concentration en sel de resp. 15 et 21 °Bé (resp. rouge et turquoise) à l'âge de 0,5, 1,5 et 3 mois (axe y à droite) (essai d'Agroscope).

4.3 La protéolyse en profondeur

Dans la zone périphérique, comparée à l'intérieur du fromage, et au centre de l'Emmentaler comparé au Dolce, on a pu observer une protéolyse en profondeur nettement plus intense (fig. 13). À première vue, ce résultat semble contradictoire, car le NaCl est connu pour inhiber les processus microbiologiques. En effet, le NaCl peut, en cas de teneurs élevées, entraîner la lyse des cellules bactériennes et la pénétration de peptidases intracellulaires dans la matrice du fromage. Cette lyse explique les valeurs OPA plus élevées, un phénomène décrit dans la littérature (Bisig et al., 2025). De plus, lorsque la teneur en NaCl est élevée, les ions Na⁺ refoulent le Ca⁺⁺ de la structure de la caséine, ce qui la rend plus souple et plus accessible aux processus enzymatiques (Jakob et al., 2005). Dans la pratique, on observe souvent que la pâte est courte dans la croûte des fromages salés à sec.

Les valeurs OPA (OPA = o-phthaldialdéhyde: mesure de la teneur en acides aminés libres) plus élevées dans l'Emmentaler s'expliquent par les valeurs pH plus élevées comparées au type Dolce, qui sont plus proches de l'optimum des enzymes. Près de 50 % de la variation de valeurs OPA peut être expliquée de manière très significative par la teneur en NaCl et le pH, ce qui confirme leur rôle important.

La valeur aberrante dans la figure 13 pourrait être une conséquence de la température plus élevée du bain de sel, qui peut accélérer les processus enzymatiques dans le fromage.

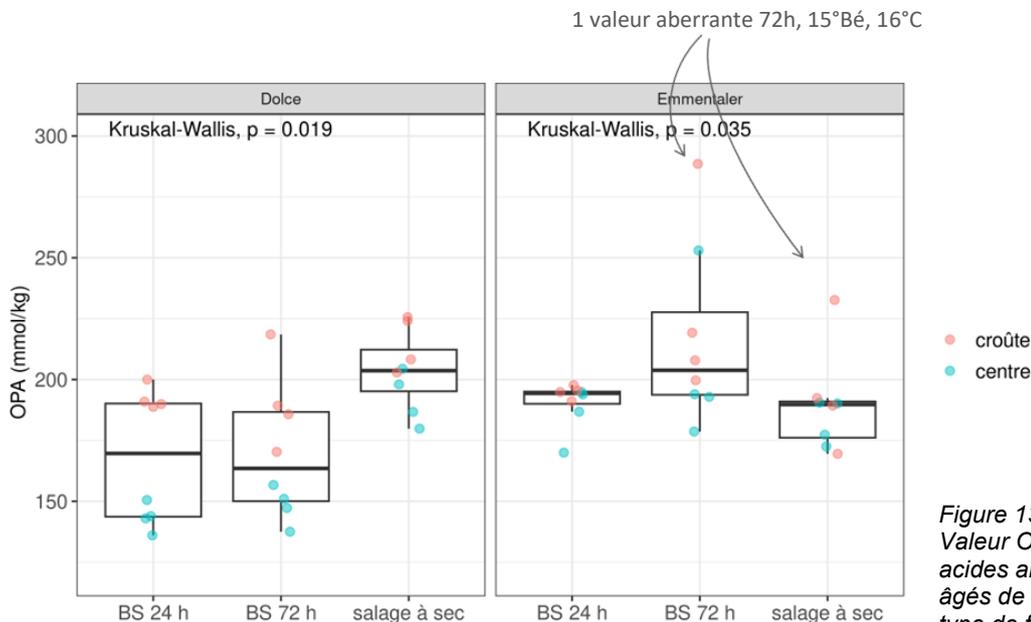


Figure 13: Valeur OPA (mesure pour la teneur en acides aminés libres) dans les fromages âgés de 4 mois, groupés selon la zone et le type de fromage.

4.4 La lipolyse réagit différemment

L'influence de la teneur en NaCl sur les processus lipolytiques dans le fromage n'est pas aussi claire que celle sur la protéolyse en profondeur, ce qui n'est pas surprenant, car la littérature décrit des influences apparemment contradictoires du NaCl sur la libération d'acides gras volatils (Bisig et al., 2025).

La figure 14 montre de manière impressionnante la différence entre la lipolyse et la protéolyse en profondeur: la lipolyse dans la zone périphérique des fromages salés à sec était toujours plus faible qu'au centre, contrairement à la protéolyse en profondeur. En revanche, la lipolyse dans la zone périphérique des fromages traités au bain de sel était toujours plus importante qu'au centre, de manière analogue à la protéolyse en profondeur. À nouveau, on observe une différence selon le type de fromage: la lipolyse était significativement plus intense dans les fromages de type Dolce que dans les fromages de type Emmentaler.

Malgré tout, il faut noter que la lipolyse évoluait dans une fourchette très étroite et qu'elle n'a probablement pas eu d'influence significative sur la qualité des fromages.

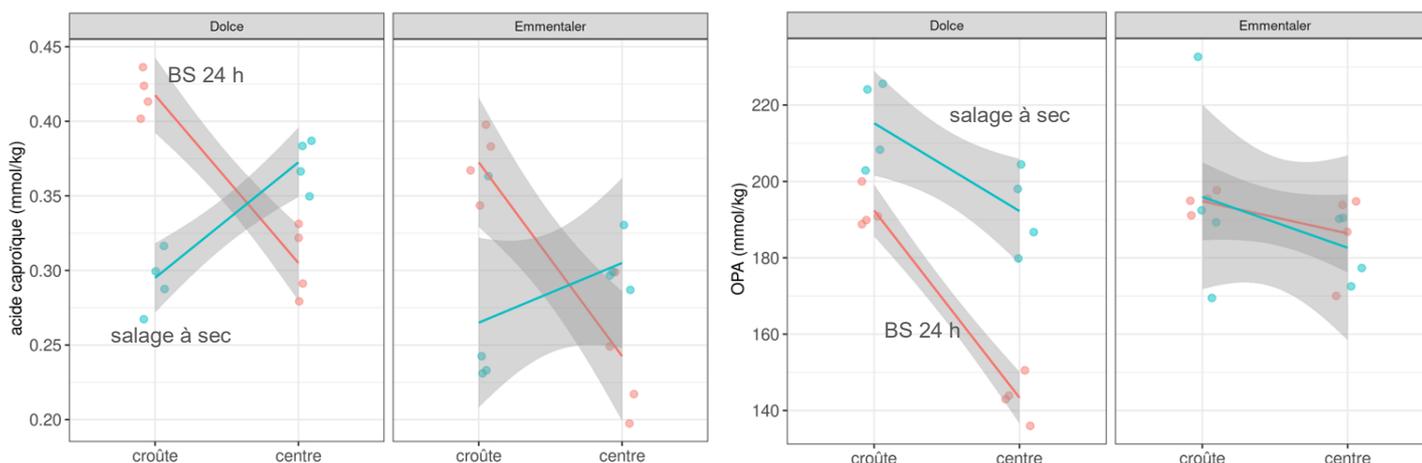


Figure 14: Acide caproïque (à gauche) et valeur OPA (à droite) dans les fromages groupés selon la zone, le type de fromage et la méthode de salage, âgés de 4 mois (turquoise: salage à sec de la surface; rouge: traitement au bain de sel standard 24h).

4.5 La fermentation propionique surprend

Le sel est un moyen bien connu pour contrôler l'activité microbologique dans le fromage (Fröhlich-Wyder, 2012). Les bactéries propioniques sont, selon les souches, inhibées dès que la concentration de NaCl dans l'eau atteint 4 % (environ 13 g/kg dans l'Emmentaler) et la croissance est complètement stoppée à partir de 5,5 % (environ 15 g/kg dans l'Emmentaler). De nombreuses sortes de fromage, en particulier celles à croûte emmorgée, dans lesquels la fermentation propionique n'est pas souhaitable, en tirent profit. Les résultats d'analyse des échantillons prélevés dans la zone de la croûte montrent que le sel peut considérablement inhiber la fermentation propionique: les deux méthodes ayant le plus d'effet sur l'absorption du sel (le salage à sec de la surface du fromage et le traitement au BS de 72h) ont pratiquement réduit de moitié la formation d'acide propionique dans les bords (fig. 15). Étonnamment, les résultats d'analyse des échantillons prélevés au centre montrent un effet inverse: les deux méthodes mentionnées ont plutôt conduit à une formation légèrement plus importante d'acide propionique. Il semble qu'une teneur en sel plus élevée au centre de 10 à 12 g/kg favorise même la fermentation propionique (BS de 72h dans les figures 7 et 15). De manière générale, la teneur en NaCl au centre, en particulier pour les fromages traités au BS, était loin d'être une concentration avec un effet inhibiteur (fig. 7).

Selon l'évaluation de tous les échantillons de fromage - sans les variantes avec de l'acide formique principalement formé par l'activité des lactobacilles hétérofermentaires facultatifs - il semble qu'il existe effectivement une teneur optimale en NaCl pour la fermentation propionique (fig. 15). Pour une formation maximale d'acide propionique par la culture de bactéries propioniques Prop 23, elle se situe apparemment entre 3,0 et 3,5 % dans la phase aqueuse (environ 9 à 11 g/kg dans l'Emmentaler). L'effet inhibiteur d'une teneur en sel trop faible semble être comparable à celui d'une teneur d'environ 4,5 %; ce n'est qu'à partir de 5 % (environ 15 g/kg dans l'Emmentaler) que la formation d'acide propionique diminue considérablement, car la culture Prop 23 ne décompose plus complètement le D-lactate (résultat non présenté). La formation d'acide acétique est également inhibée, mais dans une moindre mesure que celle de l'acide propionique (fig. 16).

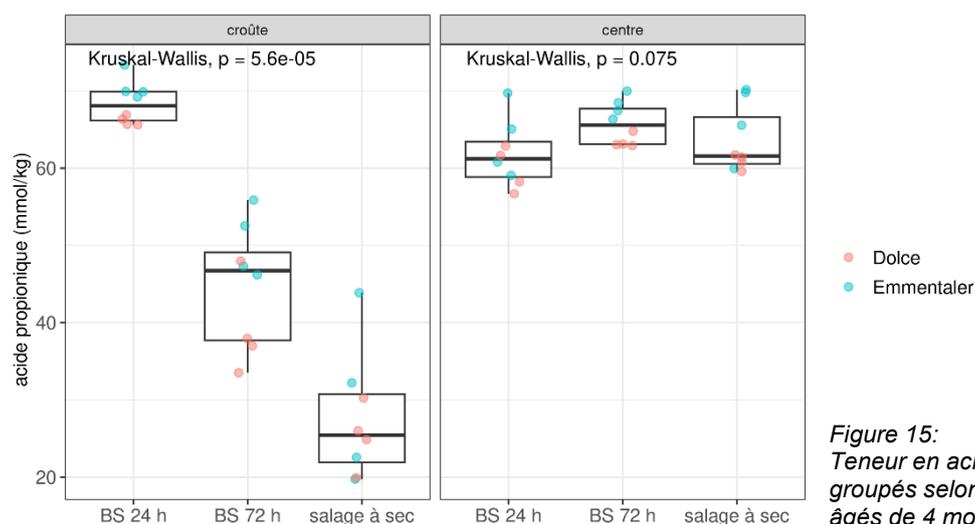


Figure 15:
Teneur en acide propionique dans les fromages groupés selon la zone et le type de fromage, âgés de 4 mois.

La teneur en NaCl optimale pour la fermentation propionique (9 à 11 g/kg) est bien supérieure à la teneur effective de l'Emmentaler, qui est en moyenne de 3,5 g/kg (fig. 2). Il faut partir du principe que cette faible teneur a un effet négatif sur la fermentation propionique, non seulement en l'inhibant, mais aussi en modifiant le rapport entre les deux acides carboxyliques dominants en faveur de l'acide acétique. L'acide acétique contribue à une note aromatique piquante, tandis que l'acide propionique apporte des notes sucrées et de noisette. Pour la culture Prop 96, on a également observé qu'un rapport maximal entre l'acide propionique et l'acide acétique n'est atteint qu'à partir d'une certaine teneur en NaCl (Bisig et al., 2019).

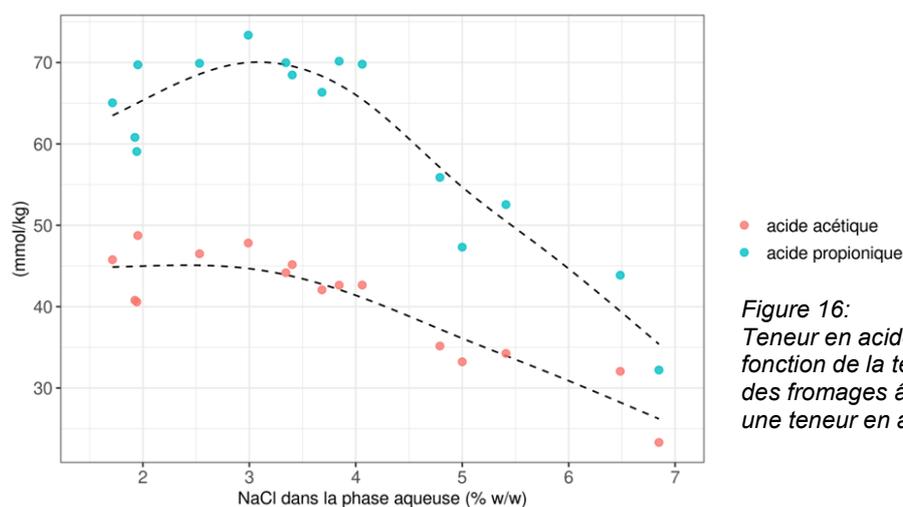


Figure 16:
Teneur en acide propionique et en acide acétique en fonction de la teneur en sel dans la phase aqueuse des fromages âgés de 4 mois (seul échantillon avec une teneur en acide formique de < 2 mmol/kg)

4.6 La formation de l'ouverture dépend fortement des propriétés de la pâte

Bien que la fermentation propionique au centre des fromages ne diffère guère entre les deux méthodes de traitement, à savoir le salage à sec de la surface du fromage et le traitement au bain de sel, comme le montre la figure 15, la formation de trous dans les fromages salés à sec était nettement plus faible (fig. 17). La croûte, c'est-à-dire la distance entre la surface et les trous, était également deux fois plus épaisse que dans les fromages standard (24h dans le bain de sel), avec une moyenne de 1,5 cm. Le facteur dominant était sans conteste la fermeté de la pâte qui, même si la formation de CO₂ est suffisante, peut empêcher une bonne formation de l'ouverture si elle est trop élevée (fig. 18). Le salage à sec n'a permis d'observer une formation de l'ouverture satisfaisante que pour le type Dolce.

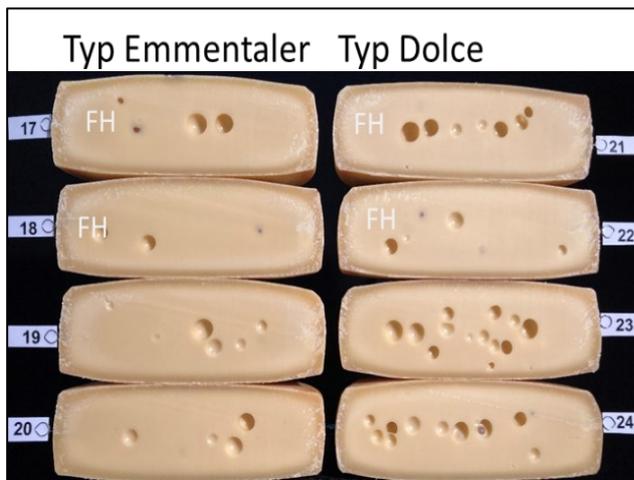
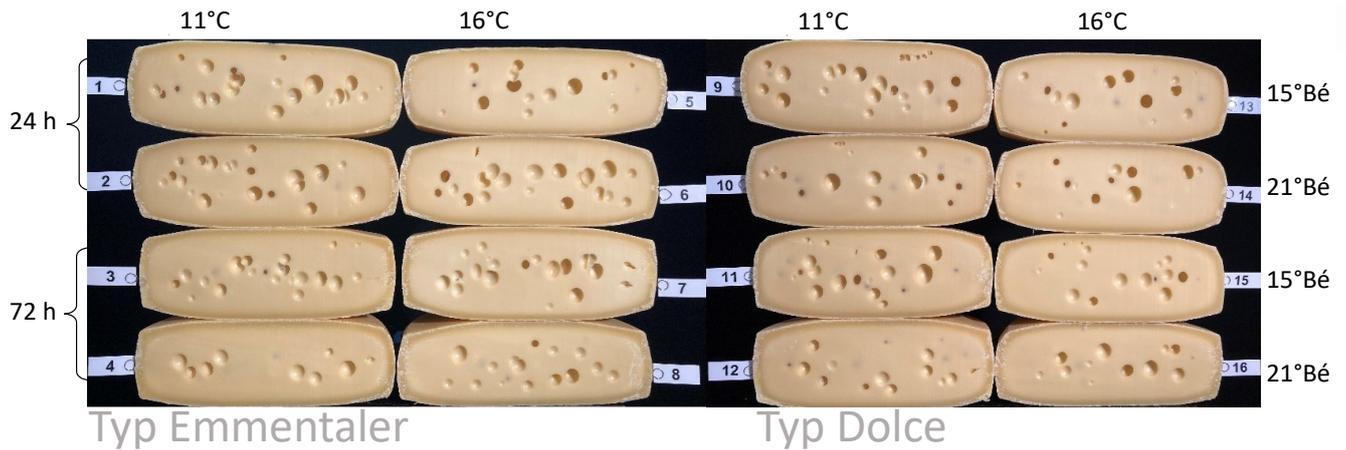


Figure 17: Formation de l'ouverture dans les fromages modèles âgés de 4 mois traités au BS (EH 1 – 16) et dans ceux dont la surface a été salée à sec pendant 7 jours (EH 17 – 24). Les fromages n° 17, 18, 21 et 22 ont été fabriqués avec une culture de lactobacilles hétérofermentaires facultatifs (FH) comme culture supplémentaire.

Pour les fromages traités au BS, seule la durée de 72 h a eu une légère influence sur la formation des trous; leur taille était un peu plus petite, ce qui est à peine visible sur la figure 17. Les traitements au BS ont parfois eu une influence sur la durée de séjour des fromages modèles en cave chaude. Ainsi, le traitement au BS à 16 °C, 15 °Bé pendant 24 h a permis de réduire la durée d'immersion (pour l'Emmentaler: 45 jours). En revanche, le traitement au BS à 21 °Bé, 16 °C pendant 72 h a prolongé au maximum la durée d'immersion en cave chaude (exemple de l'Emmentaler: 59 jours).

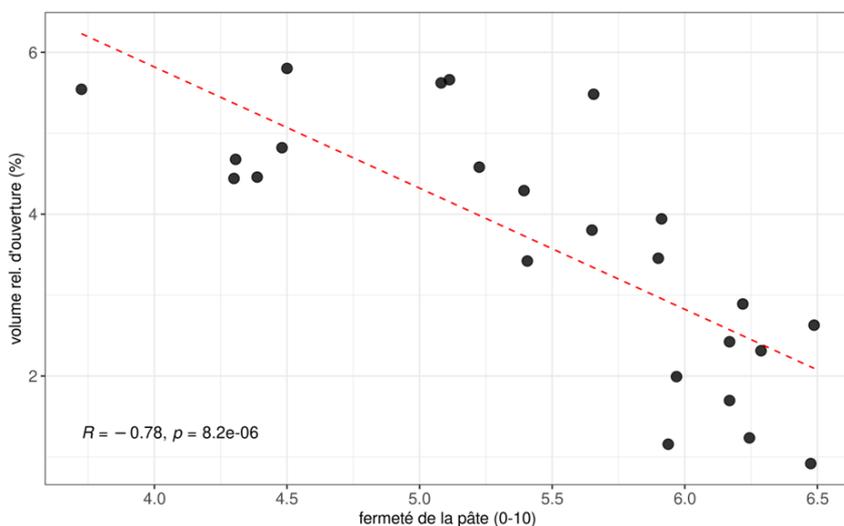


Figure 18: Corrélation entre la fermeté de la pâte et la formation de l'ouverture dans les fromages d'essai âgés de 4 mois. Nuage de points en bas à droite: salage à sec.

4.7 L'importance de l'analyse sensorielle

Comme décrit au chapitre 3, le sel joue un rôle important dans la formation du goût des aliments et en tant qu'exhausteur de goût. Il agit aussi dans le fromage contre l'amertume et les autres défauts de goût ainsi qu'en tant que renforçateur du goût doux. Il n'est donc pas surprenant que, dans les fromages d'essai, la perception du goût salé et l'intensité de l'arôme augmentent avec la teneur en sel (fig. 19). Parallèlement, les teneurs plus élevées en NaCl, obtenues notamment par le salage à sec de la surface du fromage et par un séjour prolongé dans le BS, ont permis d'obtenir une pâte plus ferme.

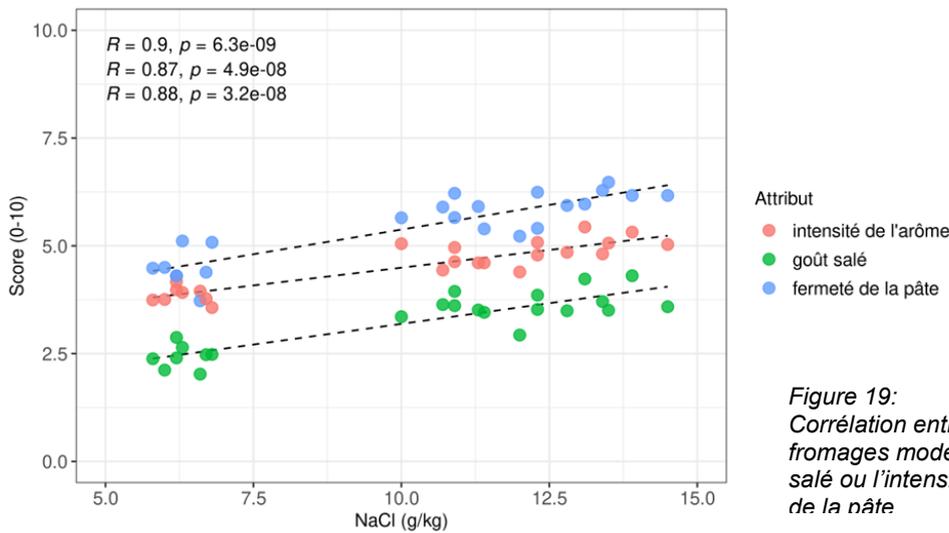


Figure 19: Corrélation entre la teneur en NaCl des fromages modèles âgés de 4 mois et le goût salé ou l'intensité de l'arôme ainsi que la fermeté de la nâte

Une différence significative entre les méthodes de salage a été constatée selon le type de fromage (fig. 20): l'avantage du Dolce, qui est légèrement plus élastique en raison des températures de chauffage et de sortie plus basses, a été perdu lors du salage à sec. La durée d'immersion plus longue dans le BS n'a pas eu le même effet (fig. 21). En général, le Dolce était perçu comme légèrement plus salé que l'Emmentaler.

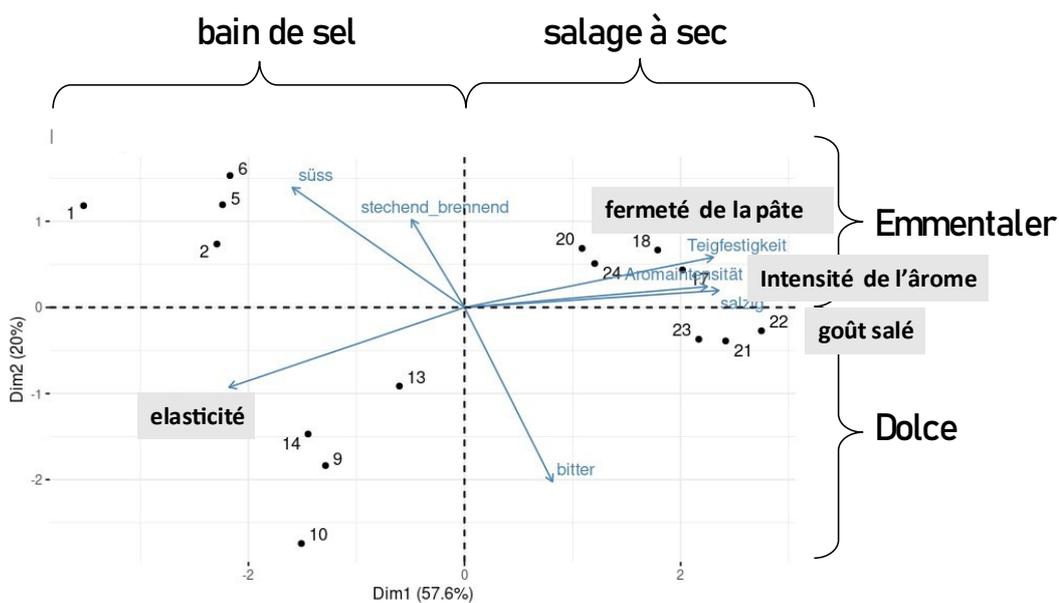


Figure 20: Analyse des composants principaux des EH 17-24 (fromages modèles salés à sec) et EH 1,2,5,6,9,10,13,14 (fromages modèles traités au BS pendant 24 h) (fromages âgés de 4 mois)

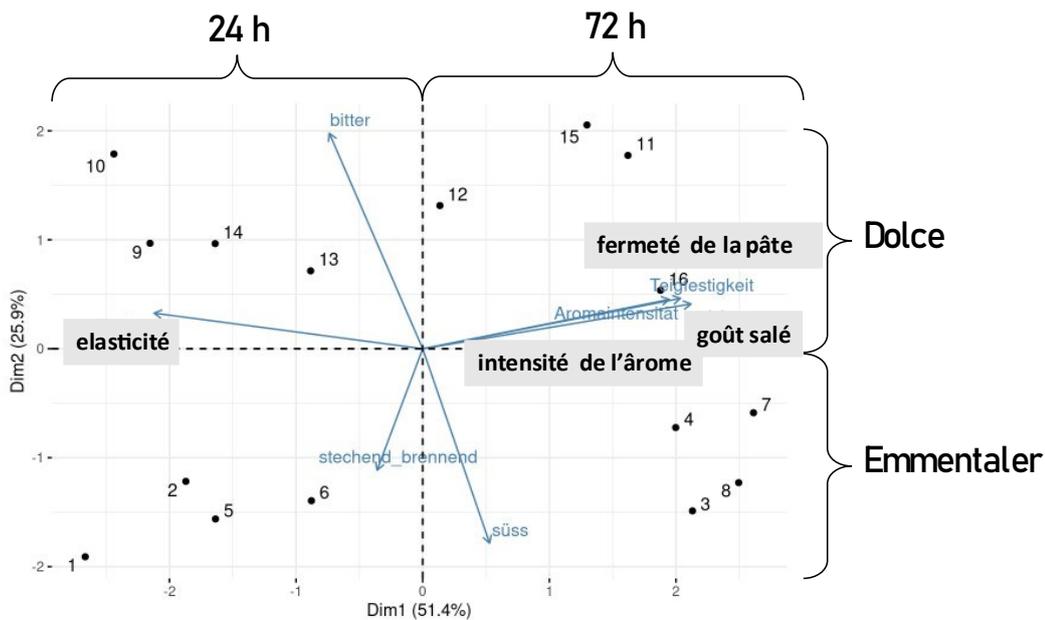


Figure 21: Analyse des composants principaux des EH 1-16 (fromages modèles traités au BS, à gauche pendant 24 h, à droite pendant 72h, âgés de 4 mois)

5 Conclusion

Il est possible d'influencer la teneur en sel et d'autres composants et propriétés du fromage en utilisant différentes méthodes de salage. Pour une fabrication identique, une teneur en sel plus élevée s'accompagne de teneurs en eau plus faibles et de modifications dans les processus d'affinage, voire d'une modification de la fermentation propionique. Il a ainsi été démontré qu'un traitement prolongé en BS ou un salage à sec permettait d'augmenter la protéolyse en profondeur, en particulier dans la zone de la croûte. Cela s'explique par une forte lyse cellulaire des bactéries starters et par une déstabilisation de la structure de la caséine. En outre, il a été démontré que la fermentation propionique de la culture Prop 23 nécessite une teneur minimale en NaCl afin que le rapport acide propionique/acide acétique reste élevé de manière optimale en faveur de l'acide propionique. Cette teneur optimale en NaCl d'environ 9 à 11 g/kg est bien supérieure à la teneur actuelle en NaCl de l'Emmentaler AOP, qui est d'environ 3,5 g/kg. Dans de travaux antérieurs, des chercheuses et chercheurs sont déjà parvenus à ce même constat avec d'autres cultures (Bisig et al., 2025). Même si l'on augmentait la teneur en NaCl jusqu'à cette concentration optimale, l'Emmentaler AOP continuerait à faire partie des aliments pauvres en sel et n'irait donc pas à l'encontre des objectifs en matière de [réduction du sel](#) de la Stratégie suisse de nutrition.

Une teneur en sel plus élevée a également des conséquences sur la formation de l'ouverture et les propriétés sensorielles. Plus de sel signifie plus de goût salé et plus de goût doux et un arôme nettement plus intense. Cependant, si la fabrication reste la même, les propriétés de la pâte sont modifiées dans le sens d'une plus grande fermeté, ce qui, si la fermeté est trop élevée - comme c'est le cas avec le salage à sec - a un effet négatif sur la formation de l'ouverture et l'épaisseur de la croûte.

Les conclusions détaillées de ces essais sont résumées dans les deux chapitres suivants.

5.1 Le bain de sel

Pour simplifier cet essai complexe, les principaux résultats des différentes combinaisons de facteurs et les conséquences qui en découlent sont présentés dans le tableau 2. Une modification des conditions du BS étudiées dans la présente étude a eu des répercussions sur la qualité des fromages, mais toutes n'ont pas été importantes, par exemple la concentration de sel dans le BS. Les modifications les plus importantes ont été causées par l'allongement de la durée du séjour dans le BS.

Tableau 2: Effets de différents traitements au bain de sel (BS) et de teneurs en NaCl plus élevées sur des fromages d'essai de type Emmentaler et Dolce (température de chauffage: 52 °C; température de brasage et de sortie: 49 °C)

Facteur et paramètre	Effets
BS: 72 h	Absorption maximale de NaCl, en particulier à 11 °C + 21 °Bé et à 11 °C + 15 °Bé
BS: 72 h + 15 °Bé	Absorption maximale de NaCl avec une perte d'eau minimale (type Dolce, indépendamment de la température du BS)
BS: 15 °Bé	Avec 21 °Bé, absorption de NaCl comparable Répartition de l'eau homogène dès le début Probablement formation plus lente de la croûte du fromage
BS: 16 °C	Forte absorption de NaCl dans la zone de la croûte Impact négatif sur l'absorption de NaCl au centre, probablement comme conséquence d'une formation plus rapide de la croûte du fromage
Fermentation propionique	NaCl 9 à 11 g/kg (NaCl _{aq} 3 à 4 %): optimum pour la fermentation propionique avec la culture Prop 23; atteint avec un BS pendant 72h (centre) NaCl <7 et >15 (NaCl _{aq} <2 et >4,5 %): fermentation propionique sous-optimale, voire début d'inhibition des bactéries propioniques
Protéolyse en profondeur	Valeurs OPA sensiblement plus élevées (acides aminés libres) dans la zone périphérique en présence de teneurs en NaCl plus élevées, car il faut s'attendre à une lyse cellulaire et à une déstabilisation de la structure de la caséine et, par conséquent, à une protéolyse plus intense. Une valeur pH plus élevée favorise en outre le processus enzymatique.
Formation de l'ouverture et des bords	Séjour plus court en cave chaude à 16 °C + 15 °Bé + 24h. Séjour plus long en cave chaude à 21 °Bé & 72h. Formation de l'ouverture légèrement plus faible et bords plus épais avec une durée de 72 h.
Type de fromage	Dolce: perte d'eau plus faible, plus salé, valeurs OPA et pH plus faibles, lipolyse plus intense

5.2 Comparaison avec le salage à sec de la surface du fromage

Comme dans la partie précédente, les principaux résultats des différentes méthodes et les conséquences qui en découlent sont présentés dans le tableau 3. Sans surprise, l'effet le plus important a été obtenu par le salage à sec de la surface du fromage.

Tableau 3: Effets du salage à sec (après une durée d'immersion dans un bain de sel de 24 h) comparé à uniquement une durée d'immersion de 24 h dans le bain de sel de fromages d'essai de type Emmentaler et Dolce

Paramètre	Effets
Composition chimique	Doublément de la teneur en NaCl Forte réduction de la teneur en eau
Fermentation propionique	Forte inhibition de la fermentation propionique dans la zone de la croûte Fermentation propionique comparable au centre
Protéolyse en profondeur	Protéolyse en profondeur plus intense (valeurs OPA plus élevée)
Formation de l'ouverture et croûte	Séjour plus long en cave chaude, en particulier dans le cas du type Emmentaler Moins de trous en raison d'une fermeté de la pâte plus élevée Croûte plus épaisse
Type de fromage	Dolce: meilleure absorption du NaCl que l'Emmentaler, teneur en eau comparable dans le produit final après une perte plus importante en eau, valeur pH plus faible, plus salé, davantage de trous.

6 Recommandations

Les recommandations basées sur les résultats des essais pilotes sont toujours à prendre avec précaution, surtout lorsque les dimensions des fromages diffèrent fortement, comme c'est le cas entre un Emmentaler modèle et un Emmentaler AOP. Néanmoins, des recommandations peuvent être faites pour une mise en œuvre expérimentale, qui peut être prometteuse pour augmenter la teneur en sel. Si rien n'est modifié dans le processus de fabrication, on peut s'attendre avec une grande probabilité à ce que la consistance de la pâte devienne plus ferme. Pour la pratique, il s'agit de trouver le bon équilibre entre les pertes de consistance de la pâte et les avantages que peut apporter une augmentation de la teneur en NaCl: une saveur plus intense et plus harmonieuse, qui serait plus appréciée, et une fermentation propionique plus optimale.

Les points suivants peuvent être retenus comme recommandations pour la mise en œuvre:

- Ne pas augmenter la température du BS à 16 °C, mais la laisser à 11 °C.
- Des concentrations de sel pour le BS de 15 à 21 °Bé sont possibles sans crainte de conséquences majeures sur la teneur en NaCl. Dans le cas d'un problème de pâte blanche sous la croûte (zone avec une protéolyse plus intense), un essai avec 15 °Bé pourrait en valoir la peine.
- Prolonger la durée d'immersion dans le bain de sel en réduisant simultanément la concentration de sel à 15 °Bé.
- Le salage à sec des fromages n'est recommandé que pour l'affinage en cave humide.
- Éventuellement réduire les températures de chauffage et de sortie ainsi qu'augmenter l'acidification (cf. Agroscope Transfer 551).

En raison des nouvelles connaissances acquises, la figure 3 doit être adaptée pour le domaine étudié (fig. 22).

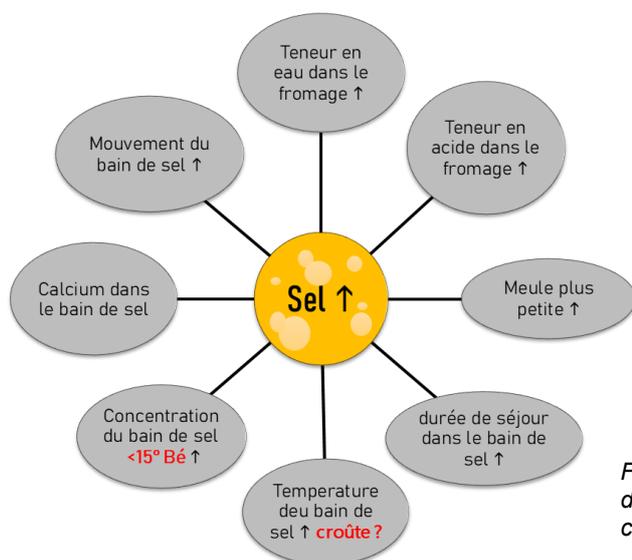


Figure 22: Facteurs qui influencent l'absorption de sel dans le fromage, corrigé sur la base des connaissances de la présente étude

7 Remerciements

Un tel essai n'a pu être réalisé que grâce à la collaboration de divers spécialistes d'Agroscope. Nous tenons à remercier chaleureusement:

- Florian Loosli pour la fabrication et les soins aux fromages
- Charlotte Egger, Charlotte Fleuti, Dominik Guggisberg et leurs groupes pour les nombreuses analyses réalisées
- Edith Beutler pour les analyses sensorielles et Jonas Inderbitzin pour l'évaluation des résultats et le rapport détaillé.

8 Bibliographie

- Andersen, L. T., Ardö, Y., & Bredie, W. L. P. (2010). Study of taste-active compounds in the water-soluble extract of mature Cheddar cheese. *International Dairy Journal*, 20(8), 528-536.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2010.02.009>
- Bachmann, H. P. (1998). Emmentaler-Käse: Aspartat-Vergärung erhöht Nachgärungsrisiko. *Agrarforschung*(4), 161-164. (In File)
- Bisig, W., Arias-Roth, E., Fröhlich-Wyder, M.-T., Guggisberg, D., Jakob, E., Sheehan, D. J. J., & Skeie, S. (2025). Salt in cheese: physical, chemical, biological and sensory aspects. Water activity. In P. L. H. McSweeney, P. D. Cotter, D. W. Everett, & R. Govindasamy-Lucey (Eds.), *CHEESE: Chemistry, Physics and Microbiology* (5 ed., Vol. 1). Elsevier.
- Bisig, W., Guggisberg, D., Jakob, E., Turgay, M., Irmeler, S., Wechsler, D., & Fröhlich-Wyder, M.-T. (2019). The effect of NaCl and metabolic profile of propionibacteria on eye formation in experimental Swiss-type cheese. *International Dairy Journal*, 89, 86-95. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.09.001>
- Castada, H. Z., Hanas, K., & Barringer, S. A. (2019). Swiss Cheese Flavor Variability Based on Correlations of Volatile Flavor Compounds, Descriptive Sensory Attributes, and Consumer Preference. *Foods*, 8(2).
<https://doi.org/10.3390/foods8020078>
- Flüeler, O., & Kaufmann, H. (1982). *Auswirkungen eines erhöhten Kochsalzgehaltes auf den Qualitätsausfall von Emmentalerkäse* (Interner Bericht, Issue).
- Flüeler, O., & Kaufmann, H. (1984). *Fabrikationsversuch zur Ermittlung der Auswirkungen eines erhöhten Salzgehaltes auf die Reifungsvorgänge beim Emmentalerkäse (2. Versuch)* (FAM Interner Bericht, Issue).
- Fröhlich-Wyder, M.-T. (2012). Lebensmittelqualität und ihre verschiedenen Facetten, Aufgezeigt am Beispiel der Bedeutung von Salz im. *Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin*, 1, 5.
- Fröhlich-Wyder, M. T., Bisig, W., Guggisberg, D., Bachmann, H. P., Guggenbühl, B., Turgay, M., & Wechsler, D. (2022). Käse Typ Emmentaler : Überblick über die Arten von Hart- und Halbhartkäse mit Propionsäuregärung und über spezifische Aspekte ihrer Herstellung, ihrer Qualität und der Ernährung. (Emmentaler cheese types: Overview of hard and semi-hard cheeses with propionic acid fermentation and specific aspects of their manufacture, quality and nutrition). *Agroscope Science*, 134, 1-27.
<https://doi.org/https://doi.org/10.34776/as134g>
- Goy, D., Häni, J.-P., Piccinali, P., Wehrmüller, K., & Jakob, E. (2008). Das Salz und seine Bedeutung. *ALP forum*, 59, 18.
- Goy, D., Häni, J.-P., Piccinali, P., Wehrmüller, K., Jakob, E., Fröhlich-Wyder, M.-T., & Bisig, W. (2012). SALT AND ITS SIGNIFICANCE IN CHEESE MAKING. *ALP forum*, 59, 20.
- Guggenbühl Gasser, B., Fuchsmann, P., & Fröhlich-Wyder, M. T. (2023). Sensory characteristics of Swiss-type cheese varieties. In *Sensory Profiling of Dairy Products* (pp. 195-224). John Wiley and Sons Inc.
<https://doi.org/10.1002/9781119619383.ch11>
- Guinee, T. P. (2004). Salting and the role of salt in cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 57(2-3), 99-109. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2004.00145.x>
- Hayes, J. E., Sullivan, B. S., & Duffy, V. B. (2010). Explaining variability in sodium intake through oral sensory phenotype, salt sensation and liking. *Physiology & Behavior*, 100(4), 369-380.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2010.03.017>
- Jakob, E., Amrein, R., & Winkler, H. (2005). Einfluss der Salzlake auf die Käsequalität. *ALP forum*, 24(24), 15.
- Juan, B., Trujillo, A. J., & Ferragut, V. (2022). The Effect of Salt Reduction and Partial Substitution of NaCl by KCl on Physicochemical, Microbiological, and Sensorial Characteristics and Consumers' Acceptability of Semi-Hard

- and Hard Lactose-Free Cow's Milk Cheeses [Article]. *Frontiers in Nutrition*, 9, Article 861383. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.861383>
- Kessler, A. (1991). *Einfluss der Wässerung von Sbrinz vor bzw. nach der Salzbehandlung auf das Aeussere und die Rindendicke (Borde)* (FAM Interner Bericht, Issue).
- Kuhfeld, R. F., Eshpari, H., Atamer, Z., & Dallas, D. C. (2023). A comprehensive database of cheese-derived bitter peptides and correlation to their physical properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-15. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2220792>
- Mayr, A. (1976). Zur Kochsalzkonzentration in Emmentalerkäse. *Deutsche Molkereizeitung*, 17, 4.
- McMahon, D. J. (2010). Issues with lower fat and lower salt cheeses. *Australian Journal of Dairy Technology*,
- O'Sullivan, M. G. (2023). Sensory characteristics of cheddar and related cheeses varieties. In *Sensory Profiling of Dairy Products* (pp. 179-194). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119619383.ch10>
- Pripp, A. H., Skeie, S., Isaksson, T., Borge, G. I., & Sørhaug, T. (2006). Multivariate modelling of relationships between proteolysis and sensory quality of Präst cheese. *International Dairy Journal*, 16(3), 225-235. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.02.007>
- Rothenbühler, E. (1970). Der Kochsalzgehalt des Emmentalerkäses heute, im Vergleich zu früher. *Schweizerische Milchzeitung*, 96, 5.
- Saint-Eve, A., Lauerjat, C., Magnan, C., Déléris, I., & Souchon, I. (2009). Reducing salt and fat content: Impact of composition, texture and cognitive interactions on the perception of flavoured model cheeses. *Food Chemistry*, 116 (1), 167-175. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.027>
- Schroeder, C. L., Bodyfelt, F. W., Wyatt, C. J., & McDaniel, M. R. (1988). Reduction of Sodium Chloride in Cheddar Cheese: Effect on Sensory, Microbiological, and Chemical Properties [Article]. *Journal of Dairy Science*, 71(8), 2010-2020. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79776-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79776-3)
- Sieber, R. (1985). *Kochsalz im Käse, Auswertung einer Umfrage bei den Vertretern der Käseunion im Auslande* (FAM Interner Bericht, Issue).
- Sieber, R., & Badertscher, R. (1991). Ueber den Kochsalzgehalt von reifem Emmentalerkäse. *Schweizerische Milchwirtschaftliche Forschung*, 20, 43-45. (In File)
- Sieber, R., Collomb, M., & Steiger, G. (1987). Natrium- und Kochsalzgehalt von Milch und Milchprodukten, im besonderen von Käse. *Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmittel-Untersuchung und -Hygiene*, 78, 106-132. (In File)
- Skeie, S., Ardö, Y., & Everett, D. (2014). Salt in cheese flavour. In P. Paquin, S. Labrie, & IDF (Eds.), *The importance of salt in the manufacture and ripening of cheese - Special Issue of the IDF* (Vol. 1401, pp. 42-45). International Dairy Federation IDF.
- Sollberger, H. (1989). *Modifizierte Salzbadbehandlung - reduzierter Salzgehalt im Emmentaler* (FAM Interner Bericht, Issue).
- Sollberger, H. (1998a). *Reifungsverlauf Emmentaler Teil 6: Vergleich der Analysen-Resultate vom Versuch 9701 mit alten Emmentaler-Versuchsdaten* (FAM Interner Bericht, Issue).
- Sollberger, H. (1998b). *Uebersicht der Analysen-Resultate zum Gärungsverlauf Emmentaler 2. Teil: "Reifungsverlauf Emmentaler"* (3991). (FAM Interner Bericht, Issue).
- Sollberger, H., Kaufmann, H., & Sieber, R. (1991). Einfluss einer verkürzten Salzbadbehandlung auf den Kochsalzgehalt von Emmentalerkäse. *Schweizerische Milchwirtschaftliche Forschung*, 20(3), 46-48. (In File)
- Tsouli Sarhir, S., Amanpour, A., Bouseta, A., & Selli, S. (2022). Potent odorants and sensory characteristics of the soft white cheese "Jben": Effect of salt content [Article]. *Flavour and Fragrance Journal*, 37(4), 243-253. <https://doi.org/10.1002/ffj.3696>