



Authenticité du pain de seigle valaisan AOP

Auteur-e-s

Hans-Peter Bachmann, Hélène Berthoud-dit-Gallon Marchand, Vincent Beuret, Edith Beutler, Stephanie Bräunlich, Sébastien Dubois, Lotti Egger, Charlotte Fleuti, Marie-Therese Fröhlich-Wyder, Pascal Fuchsmann, Dominik Guggisberg, Jonas Inderbitzin, Daniel Marzohl, Reto Portmann, Remo Schmidt, Noam Shani, Simon Wacker

Partenaires

Association du Pain de seigle valaisan,
Association suisse des AOP-IGP



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Impressum

Éditeur	Agroscope Schwarzenburgstrasse 161 3003 Bern www.agroscope.ch
Renseignements	Hans-Peter Bachmann, hans-peter.bachmann@agroscope.admin.ch
Rédaction	Hans-Peter Bachmann
Photos	Agroscope
Photo de couverture	Agroscope
Download	www.agroscope.ch/science
Copyright	© Agroscope 2026
ISSN	2296-729X
DOI	https://doi.org/10.34776/as225f
Versions linguistiques	Cette publication est également disponible en allemand: https://doi.org/10.34776/as225g

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	5
Zusammenfassung	6
Summary	7
Riassunto	8
1 Concept de l'étude	9
1.1 Introduction	9
1.2 Objectif	10
1.3 Procédure	11
2 Matériel et méthodes	12
2.1 Prélèvements d'échantillons	12
2.2 Description sensorielle	13
2.3 Analyses microbiologiques	14
2.3.1 Préparation des échantillons	14
2.3.2 Dénombrements microbiens	14
2.3.3 Analyses des communautés microbiennes par séquençage Ion Torrent	14
2.3.4 Statistique multivariée	15
2.4 Analyses chimiques	15
2.4.1 Valeur pH et sel de cuisine	15
2.4.2 Analyses des nutriments et des protéines	15
2.5 Analyses enzymatiques	16
2.6 Acides aminés totaux et libres	16
2.7 Détermination du volatilome	16
2.8 Analyses physiques	17
2.9 Détermination du temps de chute des farines	17
3 Données sur les exploitations et la fabrication	18
3.1 Matières premières	18
3.2 Levain ou Poolisch	20
3.3 Fermentation en stock et fermentation du pain	21
3.4 Cuisson	22
4 Résultats des analyses de la farine	23
4.1 Finesse des farines	23
4.2 Temps de chute des farines	24
4.3 Fibres	25
5 Microbiologie des pâtons	26
5.1 Levures	26
5.2 Bactéries lactiques	28
5.3 Bactéries acétiques	30
5.4 Collection de souches	31
5.5 Microbiome des levures	31
5.6 Microbiome des bactéries	33
6 Caractérisation des pains de seigle	35

6.1	Analyses chimiques et biochimiques.....	35
6.1.1	Composition chimique	36
6.1.2	Analyses de la fermentation	41
6.1.3	Acides aminés totaux et libres.....	46
6.2	Analyses physiques.....	50
6.2.1	Texture	50
6.2.2	Couleur	51
6.2.3	Macroscopie	51
6.2.4	Tomodensitométrie (TDM).....	52
6.3	Description sensorielle	54
6.3.1	Texture	54
6.3.2	Goût.....	57
6.3.3	Arôme	59
6.3.4	Regroupement par attributs et boulangeries	62
6.3.5	Diagrammes en araignée	63
6.4	Petit test auprès des consommateurs	64
6.5	Composants aromatiques volatils	66
6.6	Différences entre le levain et la poolisch.....	69
7	Évaluation statistique	70
7.1	Corrélations	70
7.1.1	Matrice de corrélation des attributs sensoriels	70
7.1.2	Attribut «acide».....	71
7.1.3	Attribut «salé».....	72
7.1.4	Fermeté	72
7.1.5	Matière sèche	73
7.1.6	Perte d'eau pendant la cuisson et le stockage.....	74
7.2	Statistiques multivariées.....	75
7.2.1	Analyse multifactorielle (MFA) avec les 30 variables principales	75
7.2.2	Différences entre les régions linguistiques.....	76
8	Conclusions	77
8.1	Facteurs influençant la qualité et la diversité du pain de seigle valaisan AOP	77
8.2	Hypothèses scientifiques pour des études complémentaires	78
8.3	Suite de la démarche.....	78
9	Liste de figures	79
10	Liste de tableaux	80
11	Bibliographie.....	82
12	Annexe: Données brutes Volatilom	84

Résumé

Une étude a été menée pour décrire l'authenticité du pain de seigle valaisan AOP en analysant la farine, les pâtons ainsi que les pains frais et ceux conservés pendant une semaine de 21 boulangeries représentatives de Suisse. Son but était d'identifier les éléments susceptibles d'affecter la qualité et la variété du pain de seigle valaisan AOP, grâce aux résultats obtenus.

L'analyse du métagénome des pâtons a révélé une faible biodiversité levurienne et une biodiversité bactérienne élevée. La bactérie typique du levain *Fructilactobacillus sanfranciscensis* n'était la plus abondante que dans un seul pâton. Dans 10 des 21 pâtons, l'espèce *Fructilactobacillus frigidiflavus*, nouvellement décrite en 2025, était prédominante. Différentes espèces d'autres bactéries lactiques dominaient dans 7 pâtons, tandis que, dans 3 autres pâtons, l'abondance relative la plus importante était formée par des bactéries Gram négatif, ce qui laisse supposer qu'il s'agissait de «jeunes» levains ayant subi peu de rafraîchis. En ce qui concerne les levures, seules trois pâtons contenaient des espèces autres que la levure de boulangerie *Saccharomyces cerevisiae* en quantité significative.

Dans cette étude, le principal facteur ayant influencé la qualité et la diversité du pain de seigle valaisan AOP était la proportion de farine de blé. Toutefois, il convient de souligner que les boulangeries qui utilisaient exclusivement de la farine de seigle proposaient un pain qui s'inspirait davantage du pain de seigle valaisan AOP d'origine, dont la fabrication visait avant tout une longue durée de conservation. Les pains composés uniquement de farine de seigle étaient en moyenne nettement plus acidulés et légèrement plus salés que ceux avec un complément de farine de blé. Ils étaient également un peu plus aromatiques, fruités, fermentés et un peu moins céréaliers. L'emploi exclusif de farine de seigle a entraîné une fermentation plus intense, une augmentation du nombre de produits de fermentation et un pH plus faible.

Dans la plupart des cas, les pains de seigle valaisan AOP n'étaient que légèrement acides. L'acidité du pain était principalement déterminée par la teneur en acide lactique, tandis que l'acide acétique ne jouait qu'un rôle secondaire. La présence d'acide lactique n'a pas été identifiée dans cinq des 21 pains de seigle valaisan AOP, alors que l'acide acétique était présent dans tous les pâtons et pains analysés. L'étude a également constaté une corrélation positive entre l'attribut «acide» et les attributs «fruité», «fermenté», «persistant», «épicé», «intensité aromatique» et «astringent».

L'utilisation d'une poolish (une sorte de pré-pâte liquide) a entraîné une fermentation plus rapide, mais avec un impact limité sur les propriétés sensorielles des pains de seigle.

Un grand nombre de boulangères et de boulangers n'ont pas suivi de recette strictement standardisée pour la fabrication du pain de seigle valaisan AOP. Leur processus de fabrication reposait souvent sur des observations sensorielles et une longue expérience professionnelle. Cette pratique a considérablement limité la possibilité d'évaluer les corrélations statistiques entre les paramètres de production et les caractéristiques des pains.

Zusammenfassung

Um die Authentizität von Walliser Roggenbrot AOP zu beschreiben, wurden von 21 repräsentativ ausgewählten Bäckereien, das Mehl, die Teiglinge sowie das frische und das 1 Woche gelagerte Brot analytisch untersucht und basierend auf den Ergebnissen mögliche Einflussfaktoren auf die Qualität und Diversität von Walliser Roggenbrot AOP ermittelt.

Das Metagenom in den Teiglingen wies bei den Hefen eine kleine und bei den Bakterien eine grosse Biodiversität auf. Das typische Sauerteig-Bakterium *Fructilactobacillus sanfranciscensis* wies nur bei einem einzigen Teigling die höchste Abundanz auf. In 10 von 21 Teiglingen war die 2025 neu beschriebene Spezies *Fructilactobacillus frigidiflavus* vorherrschend. In 7 Teiglingen dominierten unterschiedliche Spezies von anderen Milchsäurebakterien. In 3 Teiglingen hatten gram-negative Bakterien die höchste relative Abundanz, was darauf hinweist, dass es sich um «junge» Sauerteige mit wenig Passagen gehandelt haben könnte. Bei den Hefen konnten nur in 3 Teiglingen andere Spezies als die Bäckerhefe *Saccharomyces cerevisiae* in einer signifikanten Menge nachgewiesen werden.

Der bedeutendste Einflussfaktor auf die Qualität und Diversität von Walliser Roggenbrot AOP war bei der vorliegenden Studie der Anteil des Weizenmehles. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Bäckereien, welche 100 % Roggenmehl verwendeten, sich insgesamt auch etwas stärker am ursprünglichen Walliser Roggenbrot AOP orientierten, bei dem die Herstellung in erster Linie auf eine lange Haltbarkeit ausgelegt war. Die Brote aus reinem Roggenmehl waren im Mittel deutlich saurer und auch etwas salziger als die Brote mit dem Zusatz von Weizenmehl. Sie waren zudem leicht aromatischer, fruchtiger, gäriger und etwas weniger getreideartig. Bei der ausschliesslichen Verwendung von Roggenmehl verlief die Gärung intensiver, es entstanden mehr Gärprodukte und der pH-Wert war tiefer.

Die meisten Walliser Roggenbrote AOP waren nur schwach sauer. Die Sauerkeit wurde dabei durch den Gehalt an Milchsäure bestimmt. Die Essigsäure spielte nur eine untergeordnete Rolle. In 5 der 21 untersuchten Walliser Roggenbrote AOP war gar keine Milchsäure nachweisbar. Essigsäure wurde hingegen in allen untersuchten Teiglingen und Broten gefunden. Das Attribut sauer korrelierte positiv mit den Attributen fruchtig, gärig, anhaltend, würzig, Aromaintensität und adstringierend.

Der Einsatz einer Poolisch (einem flüssigen Vorteig) führte zu einer schnelleren Gärung, hatte aber auf die sensorischen Eigenschaften der Roggenbrote nur einen eng begrenzten Einfluss.

Viele Bäckerinnen und Bäcker wendeten bei der Herstellung von Walliser Roggenbrot AOP keine strikte Rezeptur an, sondern führten den Prozess aufgrund von sensorischen Beobachtungen und ihren langjährigen Erfahrungen. Dies schränkte die Möglichkeiten stark ein, statistische Zusammenhänge zwischen den Produktionsparametern und den Eigenschaften der Brote zu berechnen.

Diese Publikation ist auch auf Deutsch erschienen: <https://doi.org/10.34776/as225g>

Summary

To characterise the authenticity of Valais rye bread AOP, flour, dough samples and loaves (both fresh and after one week's storage) from 21 representative bakeries were analysed and possible factors influencing the quality and diversity of Valais rye bread AOP were identified based on the results.

Metagenomic analysis of the dough samples showed low yeast biodiversity and high bacterial biodiversity. The typical sourdough bacterium *Fructilactobacillus sanfranciscensis* had the highest abundance in one dough only. *Fructilactobacillus frigidiflavus*, a novel species described in 2025, was dominant in 10 of the 21 doughs. Different species of other lactic acid bacteria dominated in seven doughs. Gram-negative bacteria had the highest relative abundance in three doughs, which suggests that these may have been 'young' sourdoughs that had undergone only a few feeds. As for yeasts, only three doughs were found to contain significant quantities of species other than the brewer's yeast *Saccharomyces cerevisiae*.

This study found the proportion of wheat flour to be the most significant factor influencing the quality and diversity of Valais rye bread AOP. It is important to note that the bakeries which used 100% rye flour also more closely corresponded to the original Valais rye bread AOP, which was designed primarily to have a long shelf life. Loaves made from pure rye flour were on average significantly more sour and slightly saltier than loaves with added wheat flour. They were also slightly more aromatic, fruity, fermented flavour and a little less cereal-like. When rye flour alone was used, fermentation was more intense, more fermentation products were produced, and the pH was lower.

Most of the Valais rye breads AOP were only slightly sour. Sourness was determined by the lactic acid content, with acetic acid playing only a minor role. No lactic acid whatsoever was detected in 5 of the 21 Valais rye breads AOP studied. In contrast, acetic acid was found in all the doughs and loaves analysed. The attribute 'sour' correlates positively with the attributes 'fruity', 'tangy', 'lingering', 'spicy', 'aroma intensity' and 'astringent'.

The use of a poolish (a liquid pre-ferment) led to more rapid fermentation but had only very limited effect on the sensory characteristics of the rye breads.

Many bakers did not follow a strict recipe when making the Valais rye breads AOP. Instead, they relied on their sensory observations and years of experience to guide the process. This greatly limited options for identifying statistical correlations between the production parameters and the characteristics of the breads.

Riassunto

Sono stati analizzati la farina, gli impasti, il pane fresco e quello conservato da una settimana provenienti da 21 panifici selezionati a titolo rappresentativo e, in base ai risultati, sono stati determinati i possibili fattori che influenzano la qualità e la diversità del pane di segale del Vallese AOP per descriverne l'autenticità.

Il metagenoma degli impasti ha mostrato una biodiversità bassa per quanto riguarda i lieviti, ma elevata per i batteri. *Fructilactobacillus sanfranciscensis*, il batterio tipico della pasta acida, è risultato prevalente soltanto in un impasto. La specie *Fructilactobacillus frigidiflavus*, descritta nel 2025, era invece predominante in 10 dei 21 impasti. In 7 impasti erano prevalenti diverse specie di altri batteri acido lattici. In 3 impasti, i batteri gram-negativi avevano l'abbondanza relativa più elevata, il che indica che potrebbe trattarsi di paste acide "giovani" che hanno subito pochi passaggi. Tra i lieviti, specie diverse dal lievito per panificazione *Saccharomyces cerevisiae* sono state rilevate in quantità significative solo in 3 impasti.

Il fattore che nel presente studio ha inciso in maniera più significativa sulla qualità e la diversità del pane di segale del Vallese AOP è stata la percentuale di farina di frumento. Tuttavia, va notato che i panifici che hanno utilizzato il 100 % di farina di segale tendono anche a orientarsi verso il pane di segale del Vallese AOP originale, che si contraddistingue soprattutto per la lunga conservabilità. Le pagnotte prodotte con farina di segale pura risultavano in media significativamente più acide e anche leggermente più salate rispetto a quelle con aggiunta di farina di frumento. Avevano un gusto anche lievemente più aromatico, fruttato e fermentato, con un sapore di cereali meno pronunciato. Utilizzando la sola farina di segale, la fermentazione è stata più intensa, sono stati generati più prodotti di fermentazione, mentre il valore pH risultava più basso.

La maggior parte del pane di segale del Vallese AOP ha mostrato solo una lieve acidità, determinata dal tenore di acido lattico, mentre l'acido acetico svolgeva solo un ruolo secondario. In 5 dei 21 pani di segale del Vallese AOP analizzati non è stato rilevato alcun acido lattico. L'acido acetico, invece, è stato trovato in tutti gli impasti e i pani studiati. L'attributo acido si è correlato positivamente con gli attributi fruttato, fermentato, persistente, piccante, intenso nel gusto e astringente.

L'uso di un poolish (un preimpasto liquido) ha portato a una fermentazione più rapida, ma ha avuto solo un effetto molto limitato sulle proprietà organolettiche del pane di segale.

Molti panettieri non hanno seguito una ricetta rigorosa per la preparazione del pane di segale del Vallese AOP, ma hanno basato il processo su osservazioni sensoriali e su un'esperienza pluriennale. Ciò ha fortemente limitato la possibilità di calcolare correlazioni statistiche tra i parametri di produzione e le proprietà del pane.

1 Concept de l'étude

1.1 Introduction

Au Moyen Âge déjà, le seigle était cultivé et transformé en pain dans tout l'Arc alpin européen. L'importance du pain de seigle dans l'alimentation des Valaisans est attestée par des écrits datant de 1209. À cette époque, il constituait l'aliment de base quotidien dans les villages valaisans, car le seigle était la seule céréale à s'adapter aux conditions climatiques extrêmes. Le four banal, qui servait à la fabrication collective du pain, était chauffé seulement deux ou trois fois par an. Par conséquent, les produits de boulangerie, comme le pain de seigle valaisan, devaient se conserver particulièrement longtemps. Aujourd'hui, le pain de seigle valaisan AOP contribue à préserver la culture du seigle en Valais et, par ricochet, à la protection du paysage. Il constitue également un lien précieux entre les consommatrices et consommateurs, les boulangères et boulangers, les meunières et meuniers ainsi que les paysannes et paysans. Le pain de seigle valaisan, produit dans le strict respect des directives du cahier des charges AOP, porte néanmoins la signature de chaque boulanger ou boulangère (source: Association du Pain de seigle valaisan).

Selon le Dictionnaire historique de la Suisse, le seigle était déjà cultivé dans les Alpes à l'époque romaine.



Figure 1.1 : Champ de seigle dans le vieux Saas Fee

La photo montre une image provenant du musée privé de l'hôtel-boulangerie Imseng à Saas Fee

Les micro-organismes jouent un rôle important dans la fabrication de nombreux produits AOP et IGP et contribuent de manière significative à leur qualité et à leur différenciation. Ils sont naturellement présents dans et sur les matières premières et influencent ainsi l'authenticité du produit et son lien avec le terroir. Malheureusement, les informations disponibles à ce jour sur la diversité naturelle des micro-organismes impliqués dans la fabrication du pain de seigle valaisan AOP restent très limitées.

Une revue de littérature sur la microbiologie du pain au levain a été effectuée dans une publication distincte (Bachmann & Stergiou-Gekenidis, 2024). La composition des communautés microbiennes des levains peut être aussi bien simple que complexe. Les fermentations spontanées induisent des systèmes plutôt complexes, alors que l'inoculation de cultures starters sélectionnées génère des systèmes microbiens plutôt simples, ce qui suggère une structure plutôt complexe du microbiome des levains employés pour la fabrication du pain de seigle valaisan AOP. La conclusion de cette revue de la littérature souligne la nécessité de mener d'autres études pour découvrir les mécanismes cachés qui sous-tendent la communauté microbienne, la dynamique et la stabilité du levain. Le présent article vise à combler cette lacune dans la littérature.

1.2 Objectif

L'étude poursuit des objectifs à la fois scientifiques et de communication:

- Déterminer la diversité naturelle des micro-organismes dans les pâtons du pain de seigle valaisan et discuter avec les fabricants des conclusions sur les effets possibles sur les propriétés sensorielles du pain de seigle.
- Formuler des hypothèses scientifiques pour des études ultérieures.
- Isoler les micro-organismes intéressants, les intégrer dans la collection de souches et convenir mutuellement de leur utilisation ultérieure.
- Les médias spécialisés et grand public font état de manière positive de l'authenticité du Pain de seigle valaisan AOP.



Figure 1.2: Pains de seigle de la boulangerie Les Artisans à Savièse

1.3 Procédure

À la fin de l'année 2023, les boulangères et les boulangers produisant le pain de seigle valaisan AOP ont reçu une correspondance conjointe de:

- l'Association du Pain de seigle valaisan,
- l'Association suisse des AOP-IGP et
- Agroscope (Groupe de recherche Qualité du fromage, cultures et terroir).

La correspondance les invitait à s'inscrire à l'étude en fournissant diverses informations sur leur entreprise et leur mode de fabrication. Les frais de collecte et d'analyse des échantillons étaient couverts par Agroscope. Au total, 21 des 37 boulangeries contactées ont décidé de participer à l'étude.

En janvier 2023, plusieurs petits essais préliminaires ont été réalisés afin de mieux comprendre la diversité, d'ajuster les méthodes d'analyse en fonction des besoins, de former un panel d'évaluation sensorielle et de définir les attributs. Les visites des 21 boulangeries se sont ensuite déroulées au cours des mois de février et de mars 2024 comme suit:

- Visite des lieux documentée à l'aide de photos
- Collecte d'informations complémentaires sur l'entreprise et la méthode de fabrication
- Signature du ATM (Accord de transfert de matériel et d'utilisation)
- Collecte des échantillons

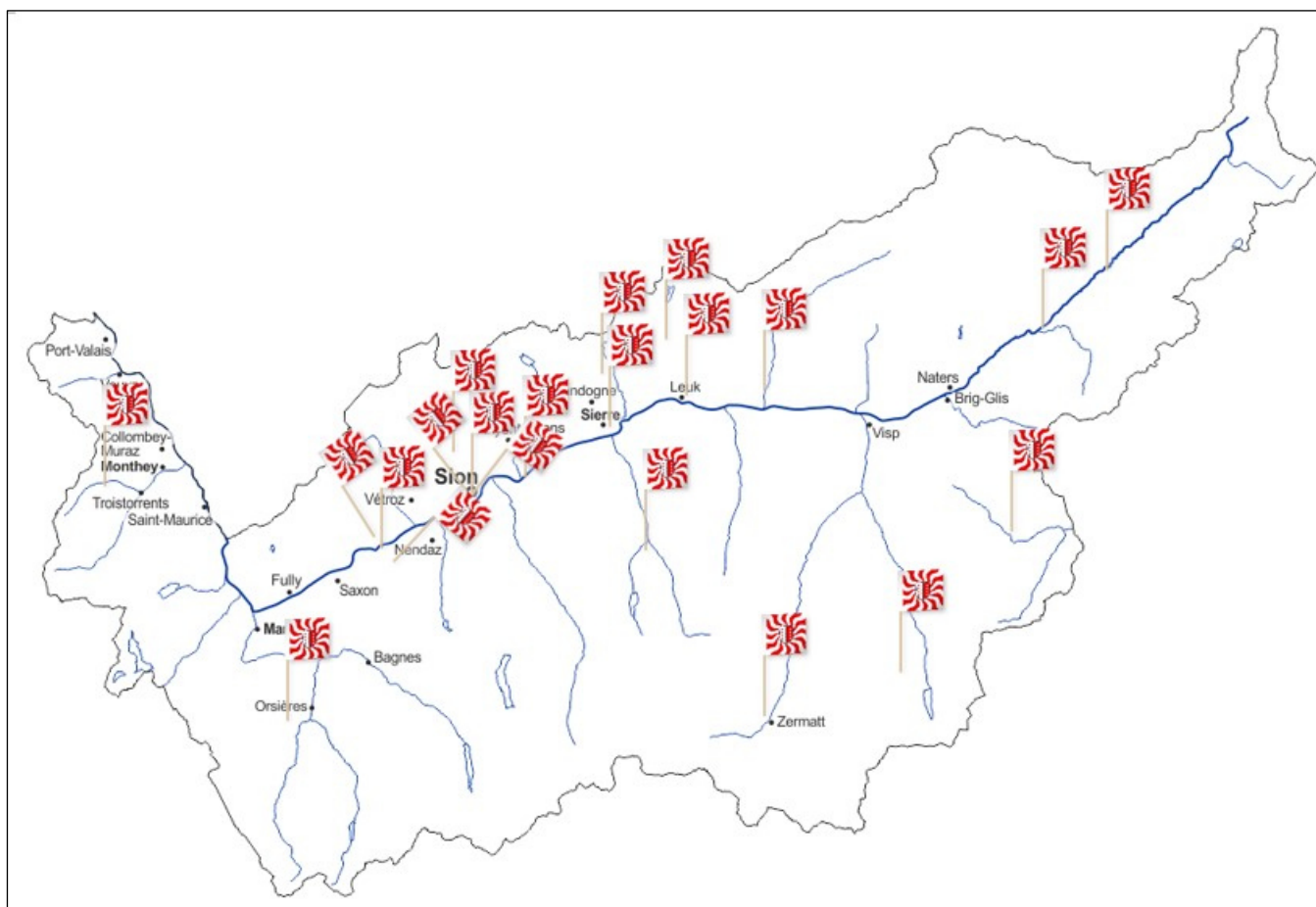


Figure 1.3: Des boulangeries de tout le canton du Valais ont participé à l'étude.

2 Matériel et méthodes

2.1 Prélèvements d'échantillons

Les matériaux suivants ont été collectés dans chaque boulangerie:

- 5 pains de seigle valaisan AOP aussi frais que possible (idéalement 1 kg),
- 5 pâtons à partir desquels les pains ont été cuits (congelés après fermentation en stock) et
- 500 g de la farine utilisée pour la préparation de la pâte.

Les pains ont été analysés à l'âge de 1 à 3 jours ainsi que pour certains paramètres spécifiques à l'âge de 8 à 10 jours. Ils étaient conservés individuellement dans un sac en lin à température ambiante entre les deux analyses.

Pour les analyses chimiques et biochimiques, les pâtons et les pains ont été soit congelés dans de l'azote liquide (site de Liebefeld), soit lyophilisés (site de Posieux), puis finement moulus en poudre.

Tableau 2.1a: Poids des pains collectés

Poids des pains	Boulangeries
Environ 1 kg	1, 2, 3 (3 pains), 4 (3 pains), 5, 6, 7, 9, 11, 12, 14 (4 pains), 15, 18, 19, 20, 21
Environ ½ kg	3 (2 pains), 4 (2 pains), 8, 13, 14 (1 pain), 16, 17

Quelques insuffisances dans certains échantillons ont conduit à de petites lacunes dans l'ensemble des données. Cependant, ces lacunes n'étaient pas suffisamment importantes pour affecter négativement la représentativité des résultats ni la validité des conclusions.

Tableau 2.1b: Insuffisances de certains échantillons ayant une incidence sur les résultats

Insuffisances	Incidence	Boulangeries concernées
Formation de moisissures sur les pains pendant leur stockage d'une semaine dans un sac en lin	Pas de description sensorielle après 8 à 10 jours	14, 16, 19
Noyau pâteux dans les pains qui ont été congelés pour les mesures physiques	Les résultats d'analyse ne peuvent pas être évalués	21, 22
Les spécifications du cahier des charges AOP n'ont pas été respectées, car les pains étaient rectangulaires au lieu d'être ronds.	Résultats néanmoins pris en compte dans les calculs statistiques, car valeurs dans la distribution normale	6
Retrait complet de l'étude	Keine Ergebnisse	10

La boulangerie 6 a clairement été à l'origine de l'écart le plus important, car la forme rectangulaire de ses pains ne respectait pas le cahier des charges AOP. Les résultats ont néanmoins été pris en compte dans les calculs statistiques, car les valeurs se situaient dans la distribution normale.

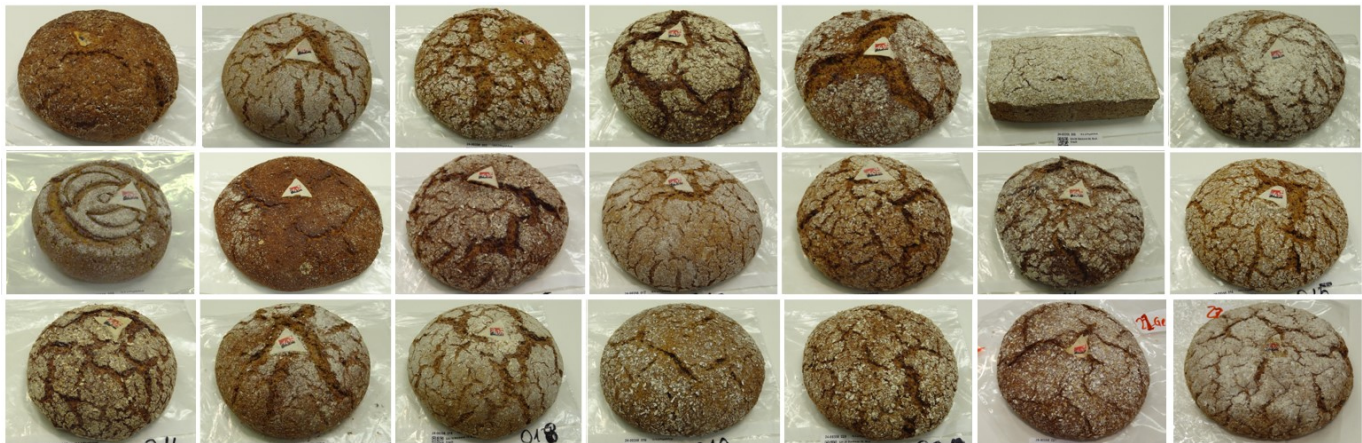


Figure 2.1: Pains provenant des 21 boulangeries qui ont participé à l'étude
(Rangée supérieure : boulangeries 1 à 7, rangée centrale : 8 à 15, rangée inférieure : 16 à 22. En raison de sa forme rectangulaire, le pain de la boulangerie 6 ne répond pas au cahier des charges du Pain de seigle valaisan

2.2 Description sensorielle

Les pains ont été livrés un jour avant la dégustation, emballés individuellement dans des sacs en lin et conservés à température ambiante (20-22 °C). À Liebefeld, le panel d'analyse sensorielle qualifié d'Agroscope a évalué les pains de seigle frais (âge = 1 à 3 jours, N_{Panelistes} =21) et d'une semaine (âge = 8 à 10 jours, N_{Panelistes} = 18), par groupes de 5 échantillons maximum.

Pour la dégustation, les pains ont été coupés en quarts, puis en tranches de 0,5 à 0,7 cm d'épaisseur à l'aide d'une trancheuse à pain, et ils ont été présentés au panel pour dégustation. Les échantillons ont été identifiés par des codes aléatoires à trois chiffres et dégustés dans un ordre aléatoire (monadique séquentiel, Williams Design). Entre chaque dégustation, le palais était rincé à l'eau et au thé noir.

Les attributs suivants ont été enregistrés numériquement à l'aide d'un logiciel d'analyse sensorielle (FIZZ 2.61, Biosystèmes, France):

Modalité	Attributs	Échelle linéaire (10cm)	
		Gauche	Droit
Arôme	Intensité aromatique	pas du tout	très prononcé
	fruité	pas du tout	très prononcé
	fermenté	pas du tout	très prononcé
	torréfié	pas du tout	très prononcé
	céréaliier	pas du tout	très prononcé
	épicé	pas du tout	très prononcé
	à cocher ☐ végétal ☐ levuré ☐ vert ☐ boisé ☐ champignon ☐ beurré		
Goût	salé	pas du tout	très prononcé
	acide	pas du tout	très prononcé
	sucré	pas du tout	très prononcé
	amer	pas du tout	très prononcé
	umami	pas du tout	très prononcé
Texture	croustillant (croûte)	pas du tout	très prononcé
	ferme	pas du tout	très prononcé
	élastique	pas du tout	très prononcé
	humide	pas du tout	très prononcé
	adhésive	pas du tout	très prononcé
	granuleux	pas du tout	très prononcé
	astringent	pas du tout	très prononcé
	à cocher ☐ poreux ☐ friable ☐ sensation en bouche, dur (croûte) ☐ fibreux		
Persistance	arôme persistant	pas du tout	très prononcé

La roue des arômes du pain ([lien](#)) de l'Université des sciences appliquées de Zurich (ZHAW) a servi de référence pour les attributs aromatiques. Les définitions d'attributs supplémentaires suivantes ont été spécifiées:

- croustillant (croûte): degré de croustillance perçu de la croûte (y compris acoustique).
- ferme: force nécessaire pour croquer dans l'échantillon.
- élastique: capacité de l'échantillon à revenir à sa position initiale après compression.
- humide: quantité d'humidité perçue à la surface du produit lorsqu'il entre en contact avec la langue et la cavité buccale.
- adhésif: degré d'adhérence du produit au palais. Analyse après compression entre la langue et le palais.
- granuleux: degré de présence de particules de différentes tailles dans l'échantillon.
- poreux: degré de perforation de la surface du pain.
- astringent: sensation de sécheresse dans la bouche.
- dur (croûte): degré de dureté perçu de la croûte.
- fibreux: sensation provoquée par la quantité de fibres présentes dans l'échantillon.
- arôme persistant: durée de la perception par voie rétro-nasale de l'arôme après la déglutition.

2.3 Analyses microbiologiques

2.3.1 Préparation des échantillons

Les pâtons ont été amenés congelés au labo et décongelés à 4 °C durant la nuit avant leur préparation pour les analyses ultérieures. Les échantillons ont été homogénéisés dans une solution peptonée à pH 7.0 (10 g/L peptone, 5 g/L chlorure de sodium, 20 g/L citrate de sodium dihydraté, Merck, Grogg Chemie, Suisse) à 40°C dans un stomacher (Masticator, IUL Instruments GmbH, Troisdorf, Allemagne) pendant 3 minutes. La suspension obtenue a été centrifugée à 200 x g pendant 5 minutes à 4°C afin d'éliminer les grosses particules de farine, et le surnageant a été recueilli pour les analyses moléculaires et les comptages microbiens.

2.3.2 Dénombrements microbiens

Des dilutions décimales de la suspension obtenue par homogénéisation ont été étalées sur milieux gélosés en duplicats, incubées selon les conditions ci-dessous, et dénombrées.

- Levures: milieu PY (phytone yeast extract agar, Becton Dickinson, Grogg Chemie, Suisse), 30 °C, aérobie, 2-5 jours
- Bactéries acétiques: milieu ABS (Kim et al., 2019), 30 °C, aérobies, 2-5 jours
- Bactéries lactiques (coques): M17-S (M17 additionné de 5 g/L de saccharose, Merck, Grogg Chemie, Suisse), 30 °C, anaérobie, 2-5 jours
- Bactéries lactiques (bâtonnets): mMRS-m (MRS additionné de 10 g/L de saccharose et 10 g/L de maltose ; Merck, Grogg Chemie, Suisse), 30 °C, anaérobie, 2-5 jours

Des colonies d'aspects différents ont été sélectionnées sur chaque milieu et identifiées par MALDI-TOF sur un MicroFlex™ LT/SH MS (Bruker Daltonics, Bremen, Allemagne) comme décrit dans (Pfrunder et al., 2016). Les données ont été acquises avec FlexControl v. 3.4 (Build 206.94). Les spectres ont été analysés avec le logiciel MBT Compass v.1.4 et classifiés avec le Realtime Classification Biotyper MBT RUO 3.1 et la base de données BDAL v11.0.

Au minimum une colonie de chaque espèce appartenant au groupe de risque biologique 1 a été isolée de chaque échantillon, purifiée, et incorporée dans la Collection de Cultures d'Agroscope.

2.3.3 Analyses des communautés microbiennes par séquençage Ion Torrent

Pour l'extraction d'ADN, 10 mL de surnageant préparé au point 2.3.1 ont été centrifugés à 4'600 g pendant 20 minutes à 4°C. Le culot a été resuspendu dans 2 mL de tampon TE (10 mM Tris-HCl (pH8.0), 0.1 mM EDTA) et transféré dans un tube de type Eppendorf pour une nouvelle centrifugation à 13'000 g pendant 5 minutes. Les cellules ont été transférées avec 400 µl de tampon G2 (Qiagen, Hilden, Germany) dans les tubes contenant 0.1 g de billes

zirconia 0.1 mm puis lysées dans le Bead Ruptor 12 (OMNI International Inc., Kennesaw, GA, USA) pendant 1 minute à haute vitesse. Après une centrifugation à 14'000 g pendant 10 minutes, 200 µl de surnageant ont été prélevés, mélangé avec 10 µl de protéinase K (Qiagen) et incubés une heure à 56°C avant la purification d'ADN par le BioRobot® EZ1 workstation et le EZ1 DNA Tissue Kit (Qiagen) avec un volume d'élution de 100 µl.

Les librairies et les analyses de séquences ont été réalisées pour les bactéries (Dreier et al., 2022) et pour les levures et moisissures (Sizzano et al., 2023) comme décrit. Les parties des gènes codant pour l'ADNr16S et pour le facteur d'élongation 1- α ont été respectivement utilisées.

2.3.4 Statistique multivariée

Toutes les analyses statistiques multivariées des communautés microbiennes ont été réalisées à l'aide du logiciel R v.4.3.3 dans RStudio Pro 2025.05.1 Build 513.pro3. Les ensembles de données microbiennes (champignons ou bactéries) obtenus par séquençage ont été préprocessés avant chaque analyse à l'aide du package *vegan* v. 2.6-4 au moyen de la transformation de Hellinger. Tous les autres ensembles de données (chimiques, sensorielles, etc.) ont été centrés et mis à l'échelle avant les analyses.

L'analyse multifactorielle des ensembles de données microbiennes et physico-chimiques a été générée à l'aide du package *FactoMineR* v. 2.8.

2.4 Analyses chimiques

2.4.1 Valeur pH et sel de cuisine

Le pH a été mesuré deux fois avec un pH-mètre. Deux échantillons de pain, âgés de 1 à 3 jours (boulangeries 4 et 14), ainsi que tous les pains âgés de 8 à 10 jours ont reçu environ 10 gouttes d'eau Milli-Q, car la mesure n'était pas stable sans eau.

Pour l'analyse du chlorure, entre 1 et 2 g de poudre (uniquement pour les pains de 1 à 3 jours) ont été pesés deux fois, puis titrés de manière potentiométrique à l'aide du système de titrage Metrohm OMNIS. Le résultat pour le chlorure de sodium (NaCl) a été calculé à partir de la masse molaire du NaCl.

2.4.2 Analyses des nutriments et des protéines

Tous les échantillons ont été conservés à -20 °C jusqu'à leur analyse. Les pâtons et les pains ont été lyophilisés avant analyse (Christ Delta 2-24, Kühner AG, Birsfelden, Suisse).

Après broyage avec un tamis de 1 mm (broyeur rotatif Brabender; Brabender GmbH & Co. KG, Duisburg, Allemagne), tous les échantillons (farine, pâtons et pains) ont été analysés pour déterminer leur teneur en matière sèche en les chauffant pendant 3 heures à 105 °C, puis en les brûlant à 550 °C jusqu'à obtention d'une masse stable, afin de déterminer la teneur en cendres conformément à la norme ISO 5984:2002 (prepASH, Precisa Gravimetrics AG, Dietikon, Suisse).

L'analyse de la teneur en minéraux a été effectuée selon la norme EN 15510:2008 avec l'ICP-OES (ICP-OES 5800, Agilent Technologies, Suisse) après minéralisation par micro-ondes. Les échantillons ont été dissous dans un tube en verre à l'aide d'un appareil de minéralisation par micro-ondes (Multiwave, Anton Paar). Si nécessaire, les échantillons étaient dilués avec de l'acide nitrique à 2 % (HNO₃) avant analyse.

La teneur en azote (N) a été déterminée selon la méthode de Dumas (ISO 16634) et la teneur en matière azotée a été calculée à partir de $N \times 6,25$.

La teneur en amidon a été évaluée en suivant les directives du guide VDLUFA-Methodenbuch III Chemische Analyse von Futtermitteln: 7.2.1 Bestimmung von Stärke: Polarimetrische Methoden, 8. Erg. 2012 de l'ISO 6493 Ed. 2000-02-01 (F).

La teneur en matières grasses a été déterminée avec du pétrole éther après hydrolyse acide (ISO 6492:1999) à l'aide d'un extracteur rapide Büchi Speed Extractor E-916, Flawil, Suisse.

Les différents types de fibres ont été analysés selon des protocoles standards. La teneur en cellulose brute a été déterminée par gravimétrie (ISO 6865:2000) au moyen de la combustion des résidus de cendre après traitement acide et alcalin au moyen d'un analyseur de fibres (Fibretherm Gerhardt FT-12, C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Königswinter, Allemagne). La teneur en α NDFom et ADFom (ISO 16472:2006 pour α NDF et ISO 13906:2008 pour

ADF) a été analysée avec le même analyseur de fibres (Fibretherm Gerhardt FT-12, C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Königswinter, Allemagne) et exprimée sans résidus de cendres. Les fibres de détergent neutre (α NDFom) ont été mesurées avec de l'amylase thermorésistante et du sulfite de sodium, puis exprimées sans résidus de cendres après combustion à 600 °C pendant 3 heures. Les analyses de cellulose brute ont été réalisées uniquement sur les échantillons de farine.

2.5 Analyses enzymatiques

La détermination des sucres (maltose, saccharose, glucose et fructose) et des produits de fermentation (acide lactique total, éthanol et acide acétique) a été réalisée à l'aide d'analyses enzymatiques après la minéralisation des échantillons par clarification. Des kits commerciaux ont été utilisés pour chacun des paramètres individuels. L'éthanol (Enzytec™), le maltose et l'acide acétique (R-Biopharm®) ont été analysés manuellement par spectrophotométrie. Les analyses d'acide lactique total (thermo), de saccharose, de glucose et de fructose (Enzytec™) ont été adaptées et réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre automatisé (Gallery, Thermo).

2.6 Acides aminés totaux et libres

Pour déterminer les acides aminés totaux et libres, tous les échantillons (farine, pâtons et pains) ont été lyophilisés avant d'être finement moulus. Les analyses ont été réalisées par chromatographie en phase liquide à haute performance (CLHP) selon la méthode AccQ-Tag™ (Waters Corporation, Milford, États-Unis), dans laquelle les acides aminés sont dérivatisés et détectés à 260 nmol.

Pour la détermination des acides aminés libres, 150 mg de poudre ont été mélangés à 400 μ L d'acide trichloroacétique (TCA) à 10 % et bien mélangés. Après centrifugation à 3500 tr/min pendant 10 minutes à 10 °C, le surnageant a été prélevé et 10 μ L de ce dernier ont été dilués avec 120 μ L de HCl 0,1 M, filtrés puis dérivatisés avec AccQ-Tag. Le norvaline a servi d'étalon interne.

Pour l'analyse des acides aminés totaux, environ 30 mg de l'échantillon moulu ont été hydrolysés pendant 24 heures dans une ampoule en verre étanche aux gaz sous atmosphère d'azote à 110 °C avec 4 mL de HCl 6 N contenant 1 % de DPP. L'hydrolysate a ensuite été normalisé à un pH neutre avec l'hydroxyde de soude (NaOH), ajusté au volume approprié avec du HCl 0,1 M, puis filtré et dérivatisé avec AccQ-Tag. Le norvaline a également servi d'étalon interne pour cette analyse.

La séparation chromatographique a été effectuée sur une colonne Acquity UPLC BEH C18 (2,1 $\times$ 150 mm, 1,7 μ m; Waters) à 55 °C, en utilisant un gradient d'AccQ-Tag Eluent A et d'acétonitrile. La quantification a été effectuée à l'aide d'étalons externes et de l'étalon interne norvaline.

2.7 Détermination du volatilome

Les pains, croûte comprise, ont été découpés en cubes d'environ 2 cm, surgelés à l'aide d'azote liquide, puis homogénéisés à 3500 tr/min au moyen d'un Robot-Coupe Blixer 4 V.V. 250 mg de matrice homogénéisée ont ensuite été prélevés et enrichis à l'aide du Dynamic Headspace (DHS) combiné au système d'extraction Vakuum-In-Tube Extraction (V-ITEX). Les composants organiques volatils (COV) ainsi enrichis ont ensuite été analysés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG-SM).

Les analyses ont été réalisées à l'aide d'un système CPG-SM constitué d'un chromatographe en phase gazeuse Agilent 7890 et d'un spectromètre de masse Agilent 5977. L'hélium a servi de gaz porteur avec un débit constant. La séparation chromatographique a été réalisée sur une colonne capillaire polaire fonctionnalisée de type OPTIMA® FFAPplus (60 m $\times$ 320 μ m $\times$ 1 μ m). Le programme de température du four CPG démarrait à 40 °C avec un temps de maintien de 5 min, puis augmentait de 5 °C/min jusqu'à 240 °C, où la température était maintenue pendant 15 minutes. Le débit linéaire du gaz porteur était de 29,3 cm/s.

Les spectres de masse ont été analysés à l'aide du logiciel de déconvolution *MassHunter Profinder* (Agilent Technologies). L'identification de la substance a été effectuée par comparaison des spectres avec la base de données NIST23.

2.8 Analyses physiques

Les photographies des pains ont été réalisées avec des paramètres d'exposition standards.

Les pains ont ensuite été coupés en tranches de 17 mm d'épaisseur à l'aide d'un couteau spécial Victorinox (couteau de précision, Dux, P.F0005, Ibach, Suisse).

Colorimétrie: la couleur a été mesurée avec un colorimètre (Minolta, CM 3500 d, Zurich, Suisse) selon le système colorimétrique CIELab de 1976 dans des conditions standards.

Compression uniaxiale: l'analyse a été réalisée sur les tranches de pain à l'aide d'un cylindre de 13 mm de large sur une machine d'essai universelle Zwick avec une force d'essai allant jusqu'à 5 kN (Zwick & Roell, Ulm, Allemagne). Elle a été effectuée conformément aux directives pour l'analyse de la «compression uniaxiale du fromage» de la norme ISO/TS 17996:2023 | IDF/RM 205:2023: «Fromage — Détermination des propriétés rhéologiques par compression uniaxiale à vitesse constante de translation».

2.9 Détermination du temps de chute des farines

Pour l'analyse du temps de chute, 6,81 g de farine (différentes moutures, voir fig. 4.1) ont été transférés sans broyage supplémentaire dans un tube à essai et analysés selon la méthode normalisée ICC 107/1 (Hagberg). 25 ml d'eau déminéralisée ont été ajoutés à la farine, puis mélangés dans un Shakematic 1095 (Perten Instruments, Stockholm, Suède). Le couvercle a ensuite été remplacé par l'agitateur, et le tube à essai a été placé dans l'appareil de mesure de chute FN 1000 (Perten Instruments). Le mélange de farine et d'eau a été agité dans l'appareil pendant une minute dans un bain-marie bouillant, puis le temps nécessaire à l'agitateur pour descendre au fond du tube à essai a été mesuré.

3 Données sur les exploitations et la fabrication

Les informations sur les entreprises et la production reposent sur une auto-déclaration des boulangères et boulangers qui ont participé à l'étude. En cas de valeurs inhabituelles, une demande de précision et de vérification a été adressée aux boulangères et boulangers. Un contrôle approfondi, par exemple à l'aide de documents écrits, n'a toutefois pas eu lieu.

Les données ont révélé que de nombreux boulangères et boulangers ne suivent pas toujours une recette précise, mais s'appuient largement sur leurs observations sensorielles et leur grande expérience. Ainsi, la quantité d'eau n'est souvent pas mesurée avec précision, mais déterminée en fonction des propriétés de la pâte. De même, la durée de fermentation du pain est évaluée en fonction du «levage» observé. Finalement, c'est un simple coup d'œil dans le four qui permet de décider si la cuisson des pains est achevée.

3.1 Matières premières

Les 21 boulangeries participantes produisent des quantités très variées de pain de seigle valaisan AOP. La quantité de farine traitée varie d'un facteur 330 entre la plus grande et la plus petite production. Au total, les boulangeries participantes ont traité en moyenne 270 tonnes de farine de seigle AOP en 2022 et 2023, le plus grand établissement (boulangerie 15) ayant utilisé près de la moitié de cette quantité totale de farine.

Tableau 3.1: Matières premières utilisées selon les déclarations des boulangeries

Boulangerie	Farine de seigle AOP par an [kg] a)	Pourcentage de farine de blé [%]	Eau [en % de la farine]	Sel [g par kg de pâte]	Levure [g par kg de pâte]
01	900 b)	10	71	15	12
02	9'600	0	74-77	14	20
03	12'000	10	80	19	15
04	15'300	10	86	15	3 (été) 6 (hiver)
05	1'000	10	70	18	0
06	4'000 b)	0	63-67	19-21	0
07	6'500	10	80	22	5
08	29'500	0	71	12	0
09	4'800	0	80	11	10
11	13'000	10	69	17	5
12	25'300	0	73	15	12
13	3'900	10	74-77	16	10
14	500	10	63-67	10-12	4-6
15	132'200	10	70	15	4
16	1'000 c)	10	80	14	5
17	400	10	80-82	17	1
18	3'200	0	67	24	5 g en poolisch 15 g dans la pâte
19	3'300	10	71	15	5
20	2'200	0	83	16	8
21	1'200	10	56-58	22	5-10
22	1'100	8	83	19	5-6

a) Moyenne des années 2022 et 2023 selon les données fournies par l'Association valaisanne du pain de seigle

b) Quantité selon les déclarations de l'entreprise

c) Uniquement en 2023

Sept boulangeries utilisaient exclusivement de la farine de seigle, treize boulangeries incorporent les 10 % de farine de blé autorisés par le cahier des charges et une boulangerie se contentait d'ajouter 8 % de farine de blé. Conformément au cahier des charges AOP, la production des céréales (seigle et blé) et leur transformation en farine

et en pain doivent se dérouler dans le canton du Valais. À quelques exceptions près, toutes les boulangeries s'approvisionnaient en farine auprès du moulin du Rhône à Naters. Les petits moulins historiques produisent également une faible quantité de farine de seigle, parfois même de qualité bio.

Des écarts surprenants ont été observés dans la quantité d'eau ajoutée proportionnellement à la quantité de farine (fig. 3.1a). Selon ses propres indications, la boulangerie 21 utilisait le moins d'eau, soit 56 à 58 %, tandis que la boulangerie 4 ajoutait 86 % d'eau.

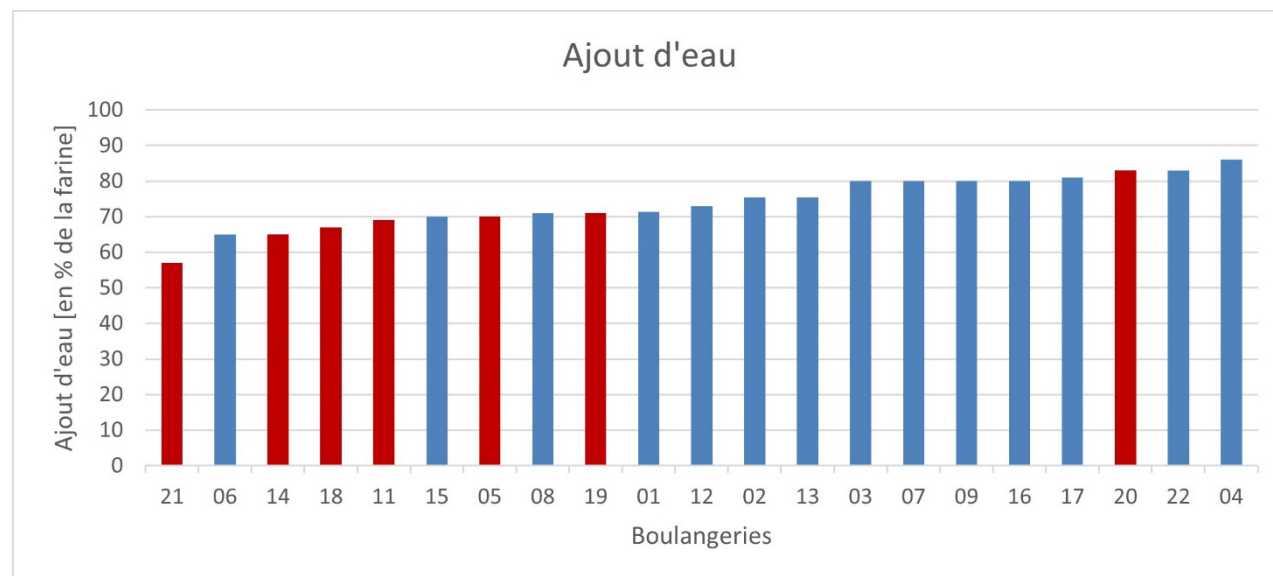


Figure 3.1a: Ajout moyen d'eau lors de la préparation de la pâte
(barres rouges = ajout d'eau très probablement nettement sous-estimé ou surestimé)

La teneur en eau des pâtons (voir chapitre 7.1.4) permet d'évaluer approximativement dans quelle mesure les boulangers et boulangères ont sous-estimé ou surestimé la quantité d'eau ajoutée lors de la préparation de la pâte (barres rouges). Même dans ces conditions, la quantité d'eau ajoutée fluctue énormément d'une boulangerie à une autre.

La sous-estimation ou la surestimation de la quantité d'eau ajoutée s'explique par le fait que la fabrication du pain de seigle valaisan ne suit pas toujours une recette précise. Les boulangères et boulangers ajoutent généralement de l'eau en fonction des caractéristiques souhaitées pour la pâte. C'est pourquoi, pendant le pétrissage, seule la quantité d'eau nécessaire pour atteindre la consistance idéale est ajoutée. Il est fort probable que d'autres paramètres de fabrication mesurés aient été également partiellement surestimés ou sous-estimés. Ceux-ci ont été pris en compte lors de l'interprétation et de l'analyse statistique.

Trois boulangeries seulement (5, 6 et 8) n'ont pas ajouté de levure boulangère. Pendant la fermentation des sucres disponibles, la levure boulangère entre en compétition avec les micro-organismes du levain. Plus on ajoute de levure, plus la concurrence avec les micro-organismes du levain est importante.

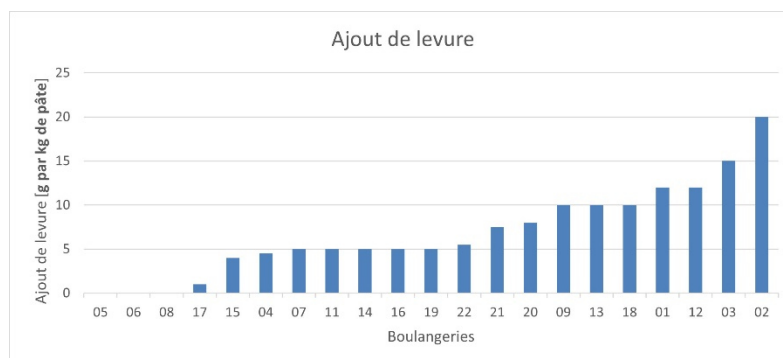


Figure 3.1b: Ajout moyen de levure lors de la préparation de la pâte

3.2 Levain ou Poolish

Selon le cahier des charges, le levain peut être remplacé par une poolish, une pré-pâte liquide à base de levure, préparée avec 1/3 de farine, 2/3 d'eau et une petite quantité de levure. La fabrication du pain à l'aide d'une poolish vise à décomposer les protéines qui constituent le gluten, à savoir la gliadine et la gluténine. Toutefois, une forte teneur en eau peut entraîner le gonflement complet des protéines du gluten. L'expérience de la pratique montre que la poolish peut également avoir une influence significative sur le goût et l'arôme.

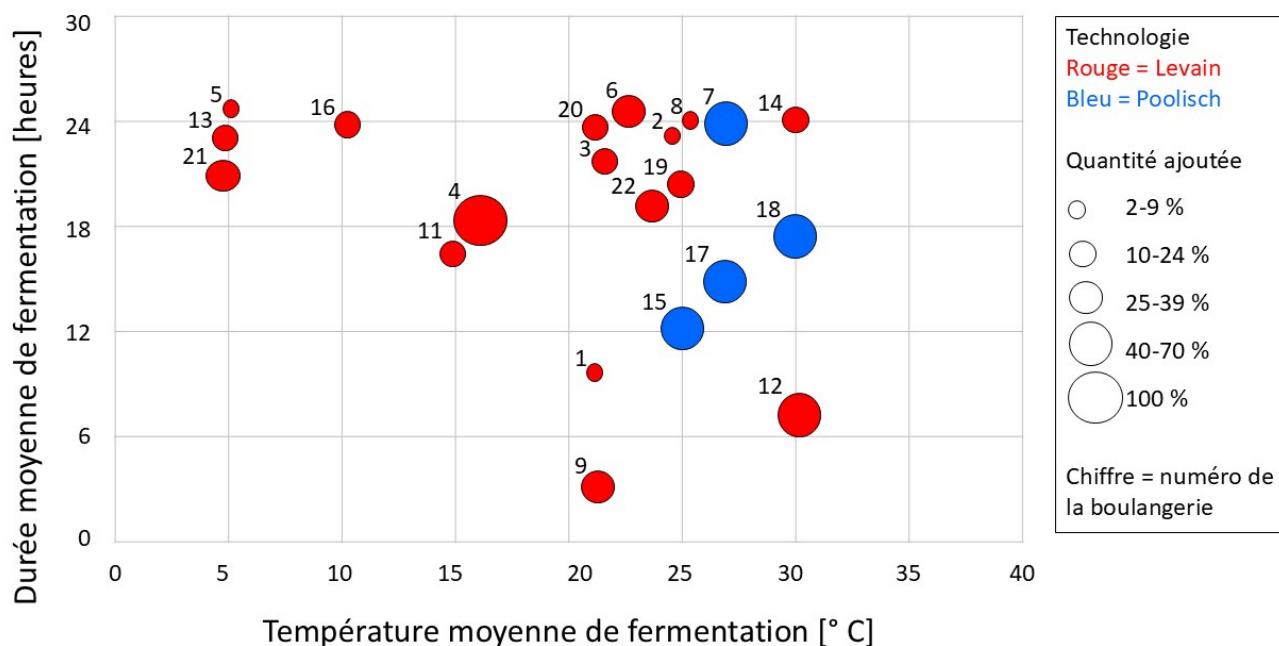


Figure 3.2: Fabrication et quantité ajoutée de levain resp. poolish

Quatre boulangeries (7, 15, 17 et 18) ont incorporé entre 50 et 65 % de poolish dans leur pâte. Les 17 autres boulangeries ont opté pour du levain, mais les conditions de fermentation, telles que la température et la durée moyennes ainsi que les quantités ajoutées, présentaient des écarts significatifs d'une boulangerie à l'autre. Une seule boulangerie (4) a effectué une fermentation de toute la pâte pendant 18 heures à 15 °C (en hiver) et 18 °C (en été).

Certaines études ont démontré que les fermentations au levain à une température plus élevée (par exemple, 20-37 °C) favorisaient davantage les bactéries lactiques homofermentaires (*Lactobacillaceae*) que celles effectuées à une température plus basse (par exemple, 4-15 °C), qui peuvent plutôt favoriser des bactéries lactiques hétérofermentaires des genres *Fructilactobacillus*, *Leuconostoc* et *Weissella* (Calvert *et al.*, 2021).

La durée de fermentation «optimale» est relative, car certaines personnes apprécient les pains au levain bien prononcés et acidulés, obtenus grâce à une fermentation prolongée.

L'eau présente dans le levain de démarrage est appelée «hydratation» (c'est-à-dire le pourcentage d'eau par rapport à la farine) ou «rendement en pâte» (le rapport entre farine et eau pour 100 g de farine). L'hydratation est très importante pour l'écologie microbienne et sa fonction métabolique: plus il y a d'eau disponible, plus les nutriments et les enzymes se diffusent rapidement (De Vuyst *et al.*, 2014). En règle générale, une hydratation élevée tend à favoriser les bactéries lactiques, tandis qu'une hydratation faible favorise plutôt les levures (Di Cagno *et al.*, 2014).

3.3 Fermentation en stock et fermentation du pain

Six boulangeries (4, 8, 14, 16, 19 et 21) ont procédé à une fermentation en stock toute la nuit (18 à 24 heures), à des températures comprises entre 5 °C et la température ambiante.

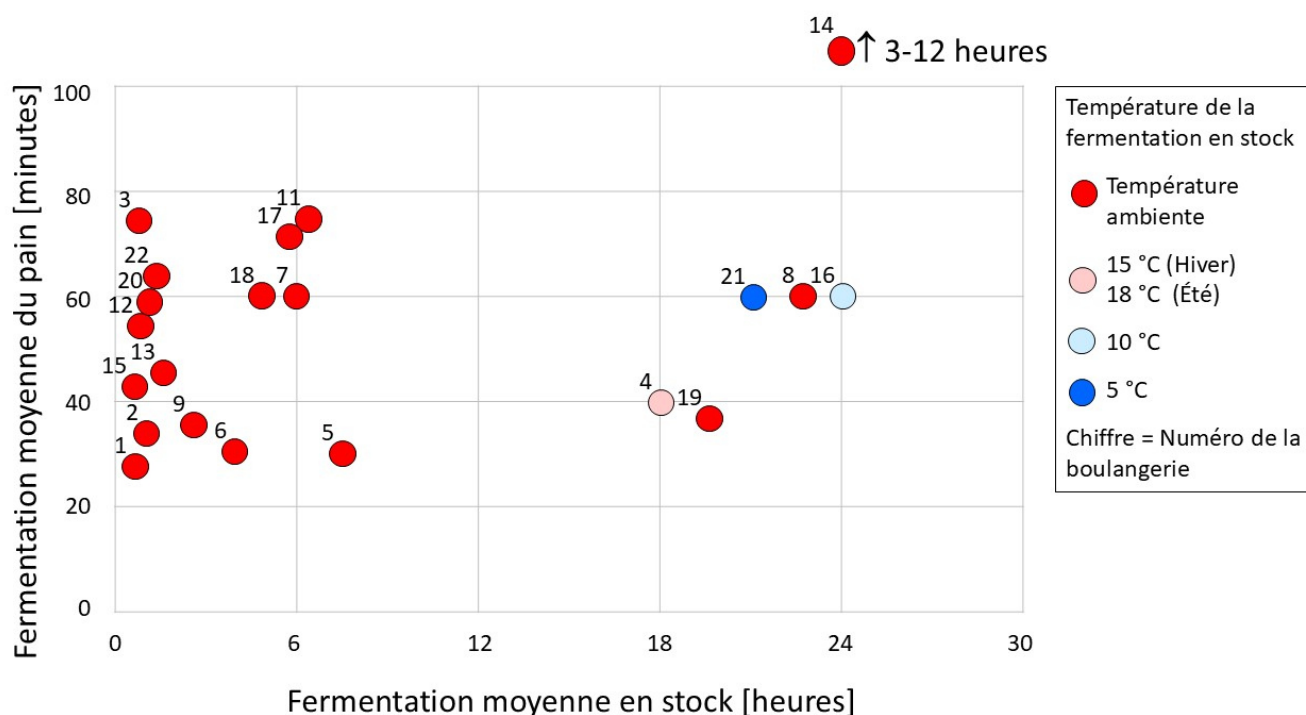


Figure 3.3: Fermentation moyenne en stock et fermentation moyenne du pain

Les fermentations en stock de plus courte durée et toutes les fermentations du pain ont été effectuées à température ambiante. Aucune différence en termes de durée entre la fermentation en stock et la fermentation du pain n'a été observée. Cependant, la boulangerie 14 s'est distinguée par une fermentation du pain manifestement plus longue.

3.4 Cuisson

Le temps de cuisson variait entre 45 et 85 minutes, avec une tendance marquée autour de 60 minutes. La température de cuisson était comprise entre 200 et 250 °C et, de manière surprenante, ne présentait aucune corrélation négative avec le temps de cuisson.

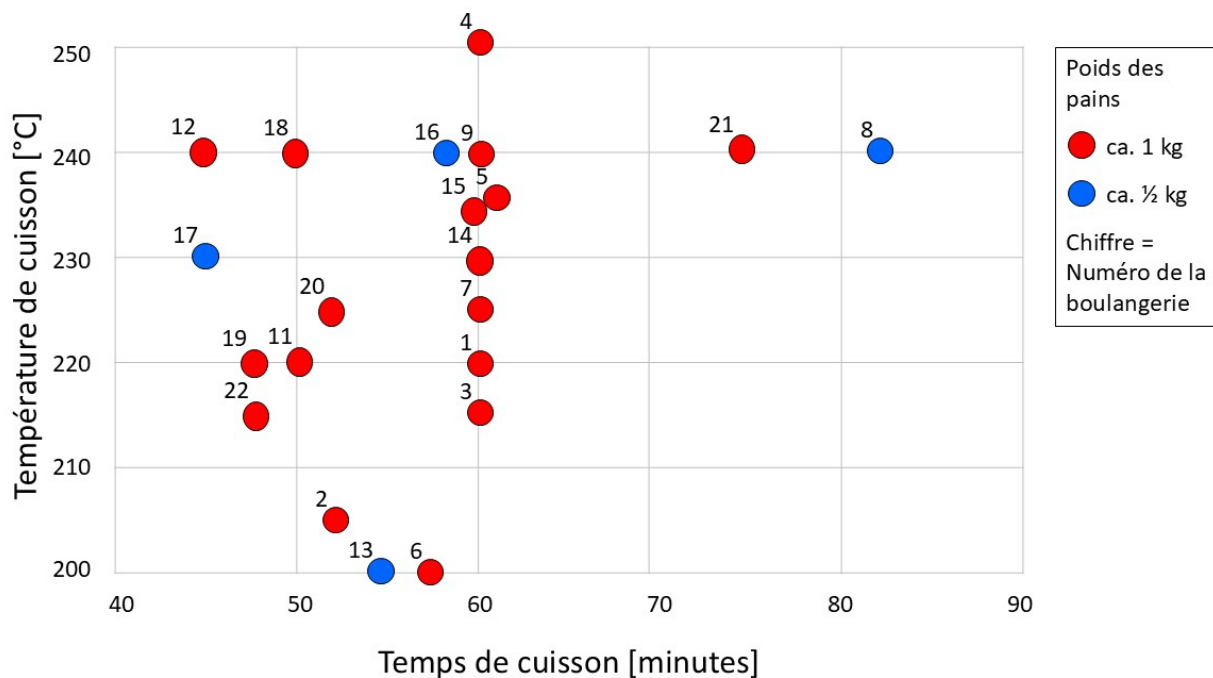


Figure 3.4: Temps et température de cuisson moyens

Les conditions de cuisson n'étaient pas influencées par le poids des pains.

Seule la boulangerie 16 a déclaré cuire ses pains à chaleur tournante, tandis que les boulangeries 2, 5 et 15 ont affirmé renoncer à l'humidification du four.

4 Résultats des analyses de la farine

4.1 Finesse des farines

Une variation considérable de la finesse de la farine a été observée. Les farines les plus fines étaient utilisées par les boulangeries 2, 9 et 12. En revanche, la farine la plus grossière était celle de la boulangerie 15.

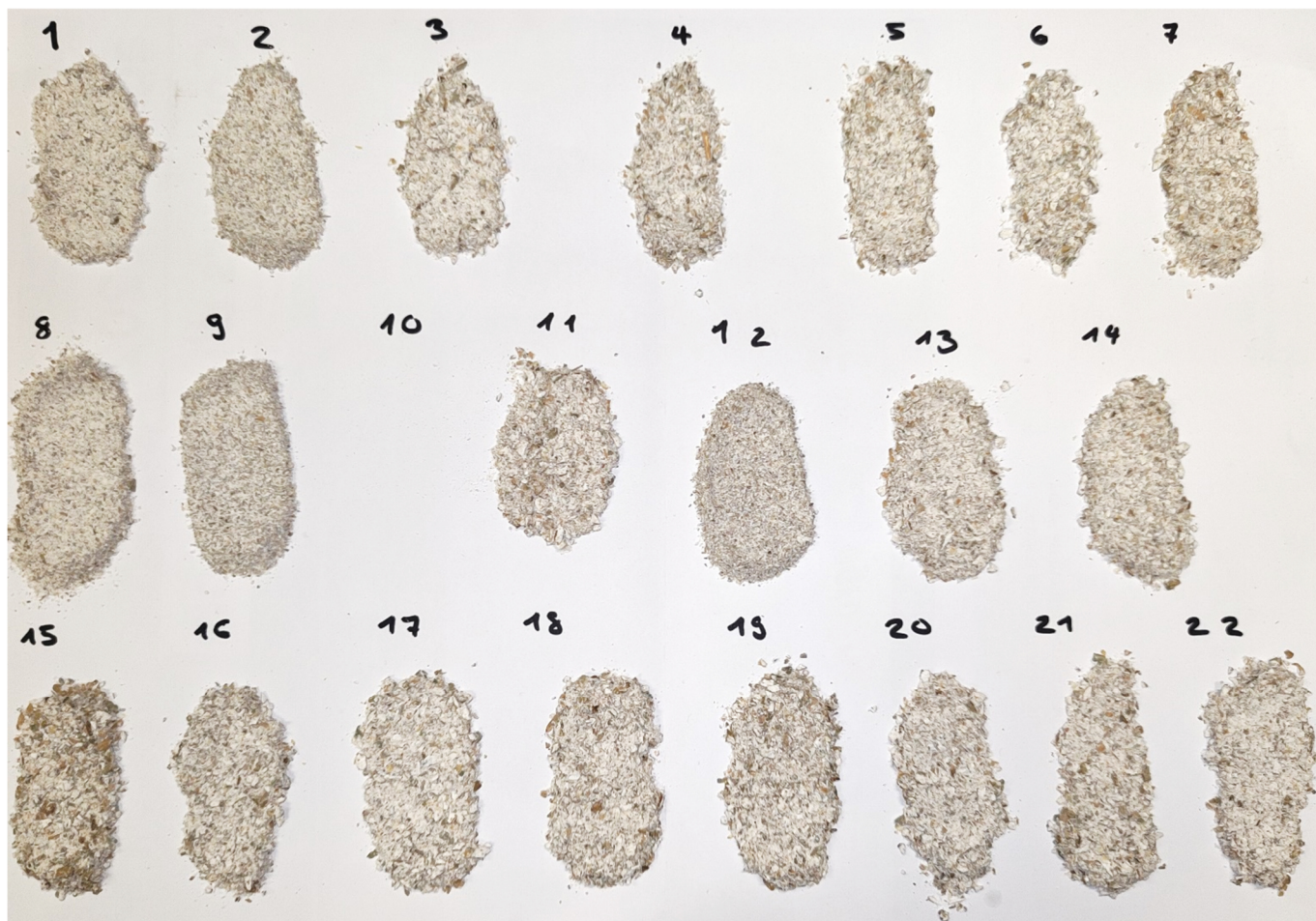


Figure 4.1: Finesse des farines utilisées

Les boulangeries 2, 6, 8, 9, 12, 18 et 20 ont déclaré utiliser exclusivement de la farine de seigle.

La teneur en son des céréales a un impact encore inexpliqué sur l'écologie microbienne (Minervini *et al.*, 2012).

4.2 Temps de chute des farines

Le temps de chute est un indicateur de la qualité de la farine et de son activité enzymatique, en particulier celle de l'α-amylase. Un faible temps de chute indique une activité enzymatique élevée, causée par de mauvaises conditions météorologiques (par exemple, de fortes pluies) peu avant la récolte. Dans le pire des cas, elles peuvent entraîner la germination. L'analyse du temps de chute est basée sur la gélatinisation rapide d'une suspension aqueuse de farine ou de gruau dans un bain-marie bouillant, puis sur la mesure de la liquéfaction du gel d'amidon par l'α-amylase contenue dans l'échantillon. On mesure le temps qu'un mélangeur met pour s'enfoncer dans la préparation de farine, sous l'influence de son propre poids.

Tableau 4.2: Temps de chute des farines

Para-mètre	Unité	N	Médian e	Valeur moyenne	s _x	Mini-mum	Maxi-mum	Farine de seigle ¹⁾
temps de chute	en secondes avec 6.81 g de farine	21	275	284	80	71	481	62

1) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

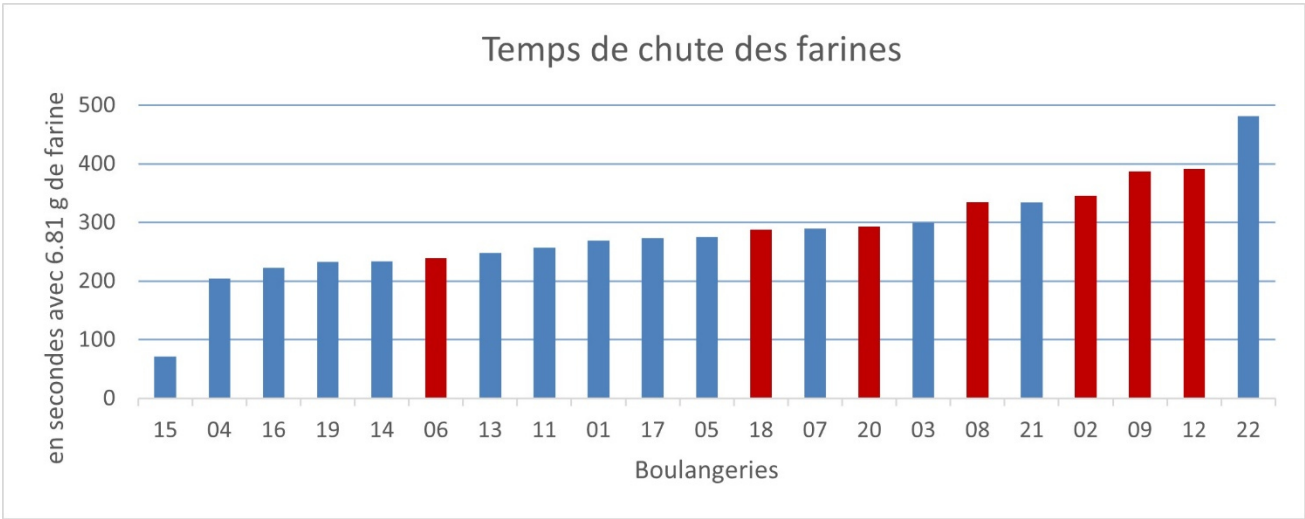


Figure 4.2: Temps de chute des farines
(barres rouges = 100 % de farine de seigle)

Le seigle employé pour confectionner le pain de seigle valaisan AOP doit présenter un temps de chute minimal de 160 secondes. Si ce temps est inférieur à 160 s, cela indique que le grain a germé et sa farine ne pourra pas être utilisée pour la panification. Parmi les échantillons analysés, seul celui de la boulangerie 15 ne respectait pas cette condition (fig. 4.2). Il se distinguait également visuellement par une mouture très grossière (fig. 4.1). On ne peut toutefois en conclure que la mouture a une influence directe sur le temps de chute. Selon le schéma d'évaluation de la qualité du seigle, seule la farine de la boulangerie 22 aurait remporté le nombre maximal de points. La plupart des échantillons ont cependant obtenu plus de la moitié des points (Brabant *et al.*, 2013).

De manière générale, le temps de chute était légèrement plus élevé dans les farines de seigle pur que dans celles mélangées avec 8 à 10 % de farine de blé. Les levains à base de farine de seigle ont souvent une activité amylasique élevée, ce qui accélère leur fermentation. Cette accélération peut entraîner une diminution de l'activité de la levure, un goût plus acidulé et une durée de conservation plus longue (Calvert *et al.*, 2021).

Puisque les résultats du temps de chute sont des données individuelles, ils doivent être interprétés avec précaution et il n'y a aucune garantie quant à la représentativité des échantillons de farine prélevés par les boulangères et boulangers.

4.3 Fibres

La farine de la boulangerie 15, reconnaissable à l'œil nu par sa très forte teneur en son (fig. 4.1), contenait aussi la plus grande quantité de fibres insolubles dans des solvants neutres (fig. 4.3).

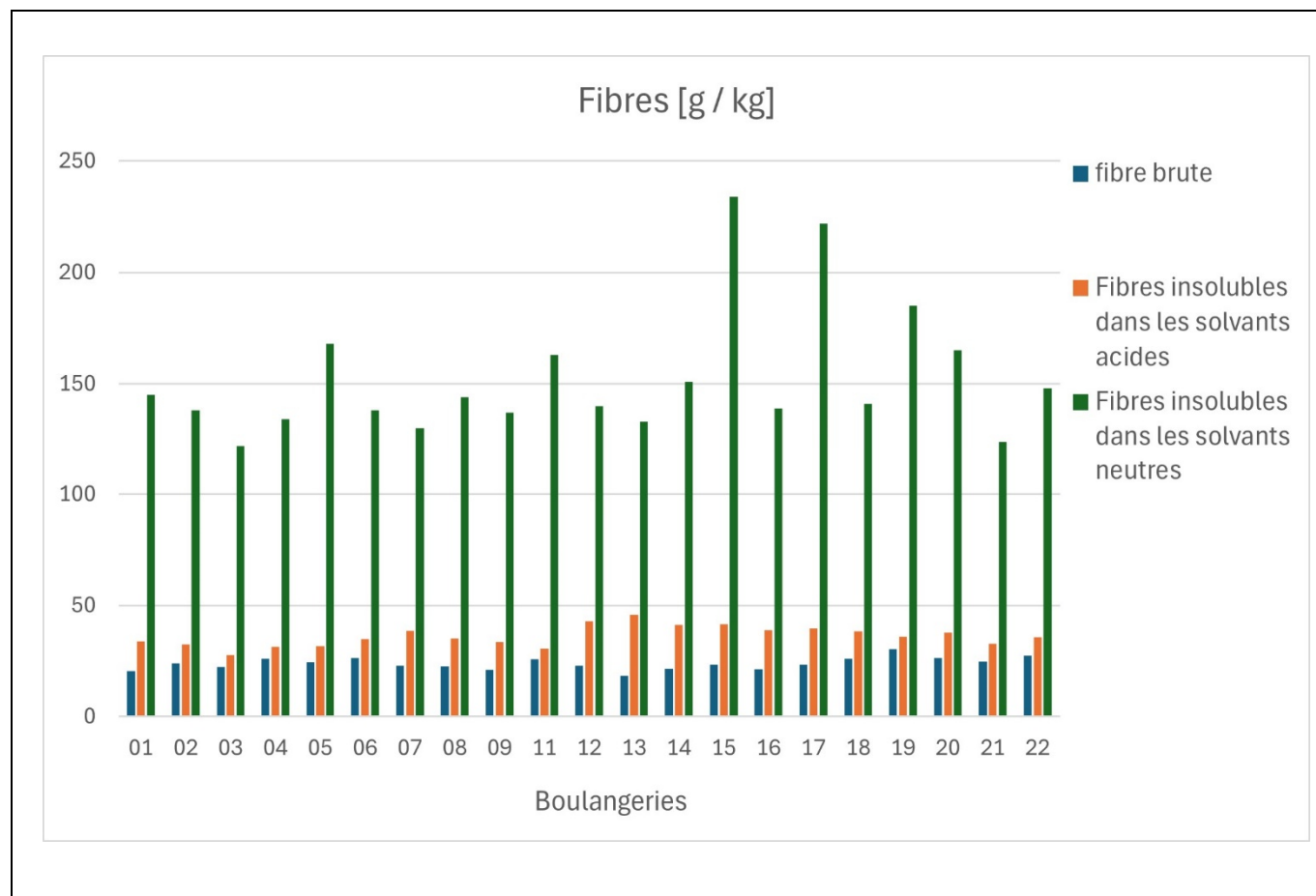


Figure 4.3: Teneur en fibres

En ajoutant 8 à 10 % de farine de blé, la teneur en fibres insolubles dans des solvants neutres (NDF) a augmenté en moyenne de 143 à 157 g/kg.

5 Microbiologie des pâtons

Selon les données disponibles dans la littérature, le levain est un système microbien simple présentant une faible diversité microbienne. Les communautés de levain sont composées de deux groupes fonctionnels: les levures et les bactéries. Ces groupes fonctionnels ont des rôles différents, (par exemple, la production de CO₂ et d'acides organiques), ce qui influence considérablement les propriétés du pain (Calvert *et al.*, 2021).

Afin d'étudier la microbiologie, des échantillons de pâtons ont été prélevés après la fermentation dans chaque boulangerie.

5.1 Levures

Les boulangeries 5, 6 et 8 ont indiqué n'avoir pas ajouté de levure boulangère, même si cette dernière est naturellement présente dans le levain. Il est donc surprenant qu'aucune levure n'ait été détectée dans l'échantillon de pâton de la boulangerie 8. Pour les 20 autres pâtons, la population de levures variait dans une plage de quatre puissances de dix.

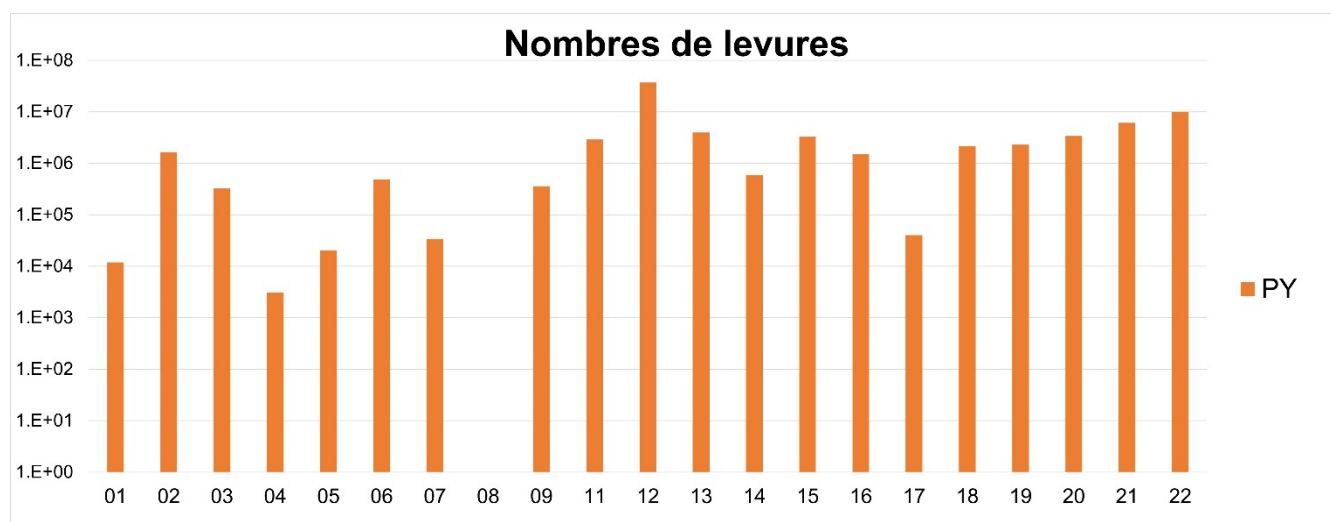


Figure 5.1a: Levures détectées dans les pâtons après la fermentation du pain [ufc / g]
PY = Peptone Yeast, Milieu nutritif pour levures

Aucune corrélation n'a été observée entre la quantité de levures et la concentration en éthanol (fig. 6.1.2e).

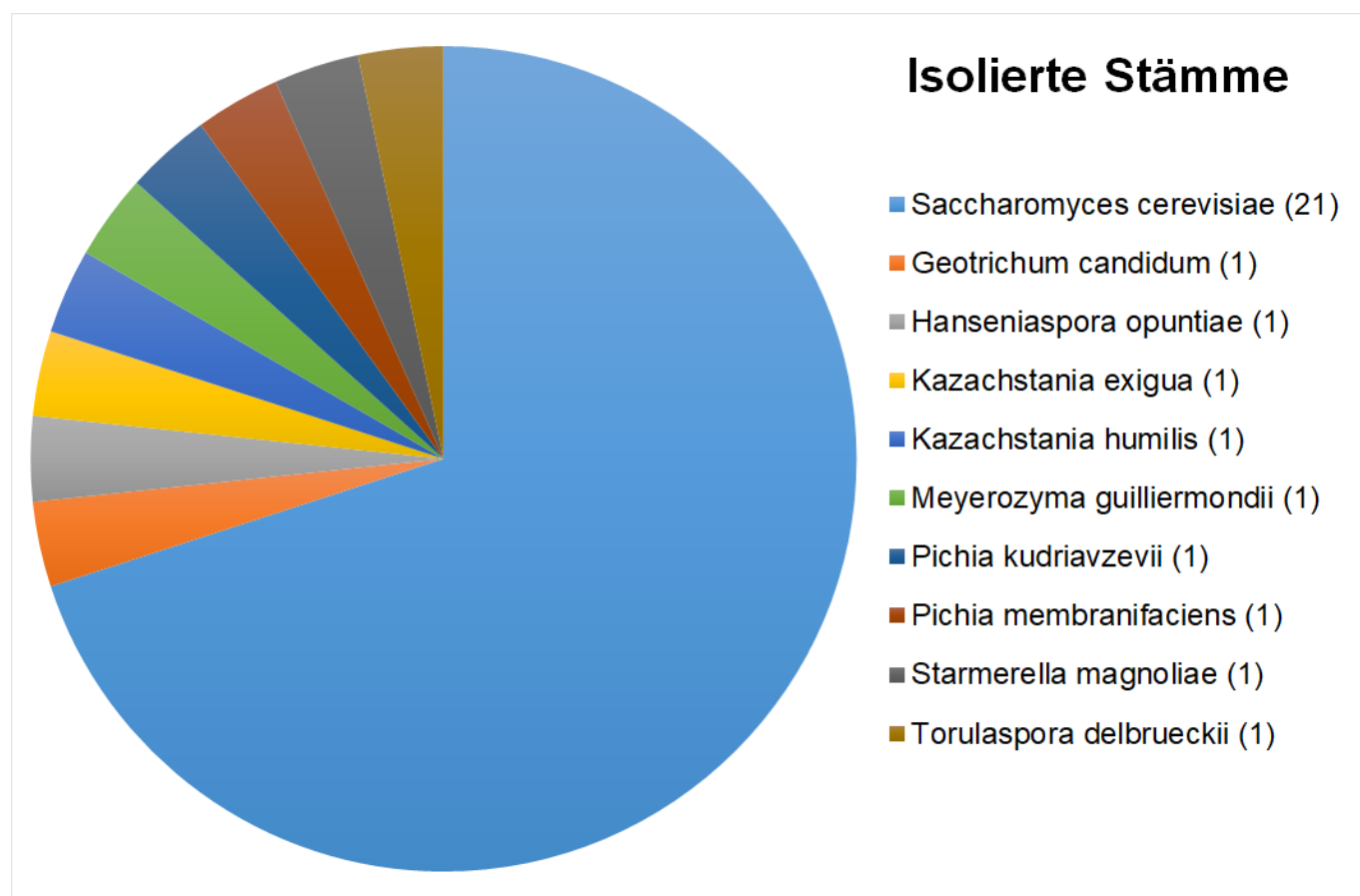


Figure 5.1b: Souches de levure isolées issues de pâtons après fermentation du pain

Comme prévu, la majorité des souches de levure isolées se sont révélées être de type *Saccharomyces cerevisiae*, la levure de boulangerie la plus courante. En outre, neuf autres souches de levure ont pu être isolées.

Selon la littérature, environ 40 différentes espèces de levures sont présentes dans des milieux de levain, certaines ayant été découvertes et nommées pour la première fois à partir de levains de démarrage. Bien que cette diversité soit possible, un levain de démarrage contient généralement très peu d'espèces - parfois seulement une ou deux, voire aucune (Landis *et al.*, 2021). Parmi les levures typiquement associées aux levains, on compte notamment *Saccharomyces cerevisiae*, *Kazachstania humilis*, *Candida krusei*, *Kazachstania exigua*, *Torulaspora delbrueckii*, *Wickerhamomyces anomalus* et *Pichia kudriavzevii* (Ercolini *et al.*, 2013). La levure *S. cerevisiae* est souvent considérée comme la levure «classique» des levains, puisqu'elle est dominante dans la plupart de levains de démarrage.

Toutes les levures isolées à partir des pâtons de pain de seigle valaisan AOP appartiennent à des genres déjà décrits dans la littérature comme étant associés aux levains (Sevgili *et al.*, 2023), à l'exception de *Hanseniaspora opuntiae*, plus connue pour son rôle dans le développement des arômes du vin, de la bière et d'autres boissons fermentées (Bourbon-Melo *et al.*, 2021).

La corrélation décrite dans la littérature entre une augmentation du nombre de levures et une proportion croissante de levain de démarrage (levain ou poolish) n'a pas pu être confirmée (Lattanzi *et al.*, 2014).

5.2 Bactéries lactiques

Le pâton de la boulangerie 8 présentait une quantité nettement inférieure de bactéries lactiques par rapport à tous les autres pâtons. De plus, aucune levure n'a pu être détectée (voir ci-dessus), ce qui suggère que la fermentation du pâton de la boulangerie 8 était encore à un stade initial (probablement avant la première fermentation en stock) au moment de sa congélation.

Comme avec les levures, les dénombrements des bactéries lactiques se situaient également dans un intervalle de 4 puissances de dix (excepté pour la boulangerie 8), mais d'une puissance de dix supérieurs à celui des levures, soit entre 10^5 - 10^9 . Une observation des pâtons des boulangeries 3, 8 et 9 sur une plaque de gélose mMRS-m a révélé un très grand nombre de très petites colonies «non dénombrables». La même observation a été faite sur la gélose M17S de la boulangerie 4. Il s'agissait probablement également de bactéries lactiques.

Sur la plaque de gélose mMRS-m de la boulangerie 18, la plupart des colonies présentaient un aspect très visqueux et se répandaient sur toute la surface de la boîte.

Les dénombrements effectués sur les deux milieux nutritifs étaient comparables dans la majorité des pâtons, ce qui indique un équilibre entre coques et bâtonnets.

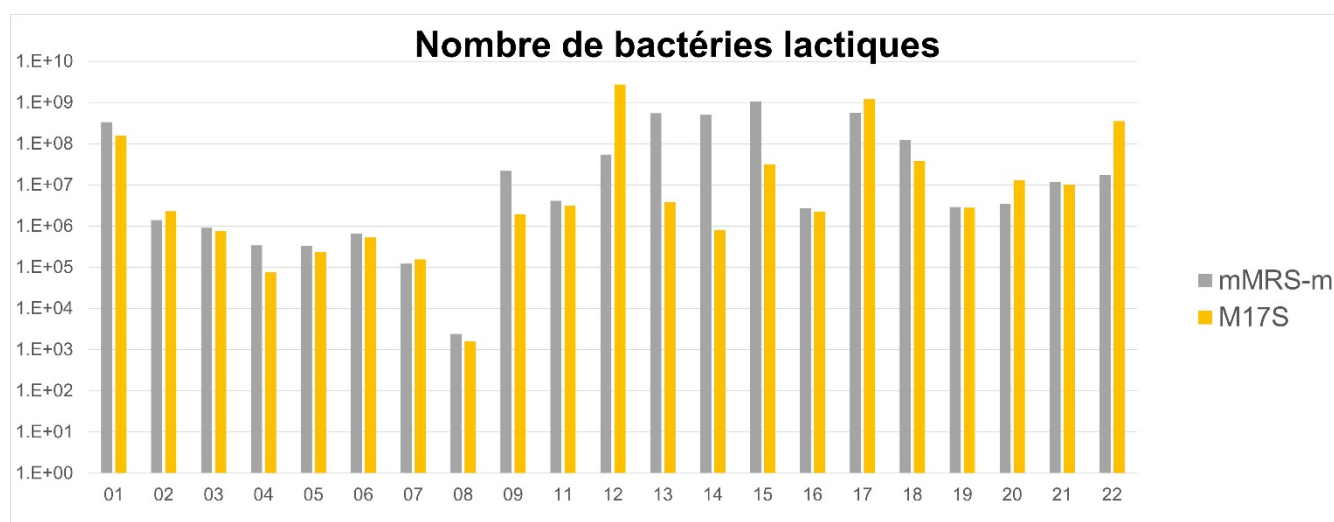


Figure 5.2a: Bactéries lactiques détectées dans les pâtons après la fermentation du pain [u.f.c. / g]

mMRS-m: Milieu pour bactéries lactiques (plutôt en forme de bâtonnets)

M17S: Milieu pour bactéries lactiques (plutôt des coques)

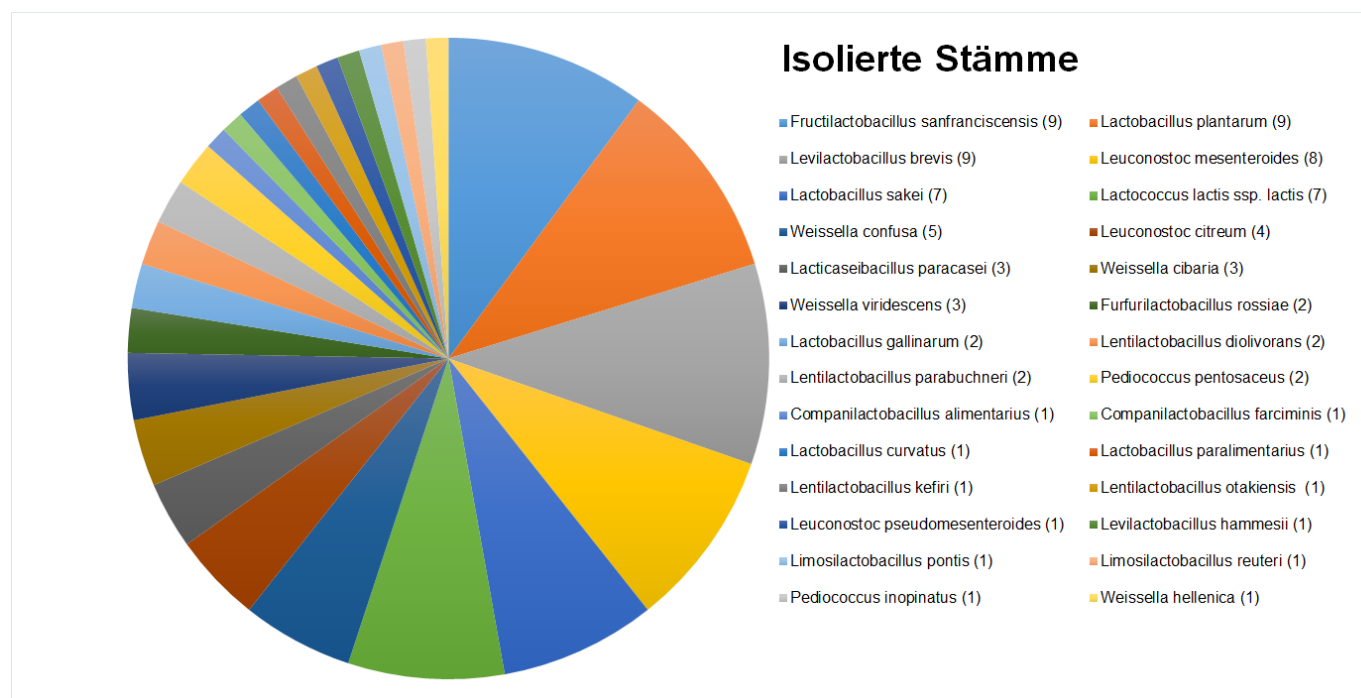


Figure 5.2b: Souches isolées de bactéries lactiques provenant de pâtons après fermentation du pain
(Le nombre d'isolats est indiqué entre parenthèses)

Contre toute attente, la biodiversité microbienne des bactéries lactiques s'est révélée élevée. Outre *Fructilactobacillus sanfranciscensis*, la bactérie en bâtonnet typique du levain, des souches appartenant à au moins 27 autres espèces de bactéries lactiques ont pu être isolées, toutes relevant de genres spécifiques au levain (De Vuyst & Neysens, 2005).

En général, la variété des bactéries présentes dans la population diminue au fur et à mesure de la maturation du levain. Toutefois, la diversité au niveau des espèces et des souches peut augmenter au fil du temps (Gobbetti *et al.*, 2016). Le fait que l'on ait observé une grande diversité de genres (13) et un important nombre d'espèces de bactéries lactiques dans les divers échantillons de pâte analysés pourrait indiquer que les levains employés par les différentes boulangeries pour le pain de seigle valaisan présentent des degrés de maturité variables.

En règle générale, les bactéries lactiques hétérofermentaires sont les plus présentes dans les levains mûrs (De Vuyst & Neysens, 2005). Diverses espèces de bactéries lactiques hétérofermentaires étaient présentes dans les pâtons destinés au pain de seigle valaisan AOP, notamment *Fructilactobacillus*, *Levilactobacillus*, *Lentilactobacillus*, *Limosilactobacillus*, *Furfurilactobacillus*, *Leuconostoc* ou *Weissella*.

Remarque: aucun des isolats n'a été identifié comme *Fructilactobacillus frigidiflavus*. Cela s'explique par le fait qu'au moment de l'analyse, aucun spectre de référence MALDI-TOF n'était encore disponible pour cette espèce, qui n'a été décrite qu'en 2025. Il est plausible de supposer que lors d'un contrôle de suivi, certaines des souches isolées de *F. sanfranciscensis* seraient désormais identifiées comme *F. frigidiflavus*.

5.3 Bactéries acétiques

La présence de bactéries acétiques a été identifiée dans 13 des 21 pâtons analysés. Toutefois, leur nombre était nettement plus faible que celui des bactéries lactiques.

Selon la littérature, les bactéries acétiques peuvent aussi être présentes dans le levain, mais avec une fréquence moins élevée que les bactéries lactiques. Elles sont associées négativement à *F. sanfranciscensis*, mais positivement à certaines levures (Comasio *et al.*, 2020). Cependant, les facteurs qui déterminent leur présence restent encore largement inconnus (Di Cagno *et al.*, 2014).

Lors du dénombrement des colonies des pâtons des boulangeries 18, 20 et 21 sur les plaques de gélose ABS, on a observé que la coloration jaunâtre caractéristique était absente, ce qui laisse croire qu'il ne s'agissait probablement pas de bactéries acétiques.

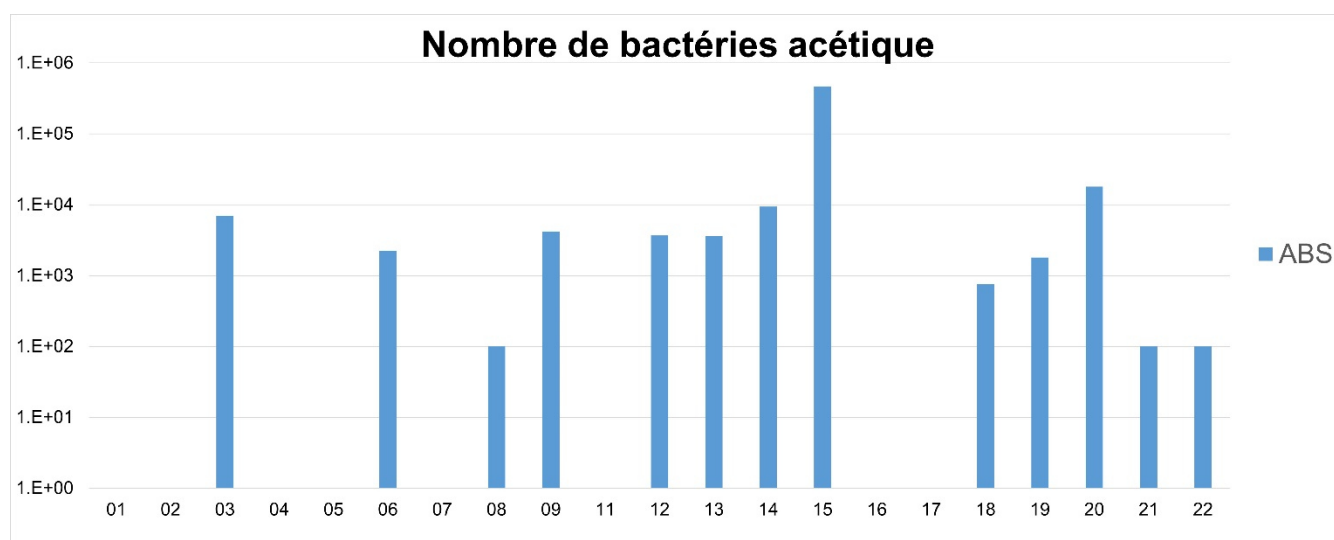


Figure 5.3a: Bactéries acétiques détectées dans les pâtons après la fermentation du pain [ufc / g]
ABS: Milieu nutritif pour bactéries acétiques

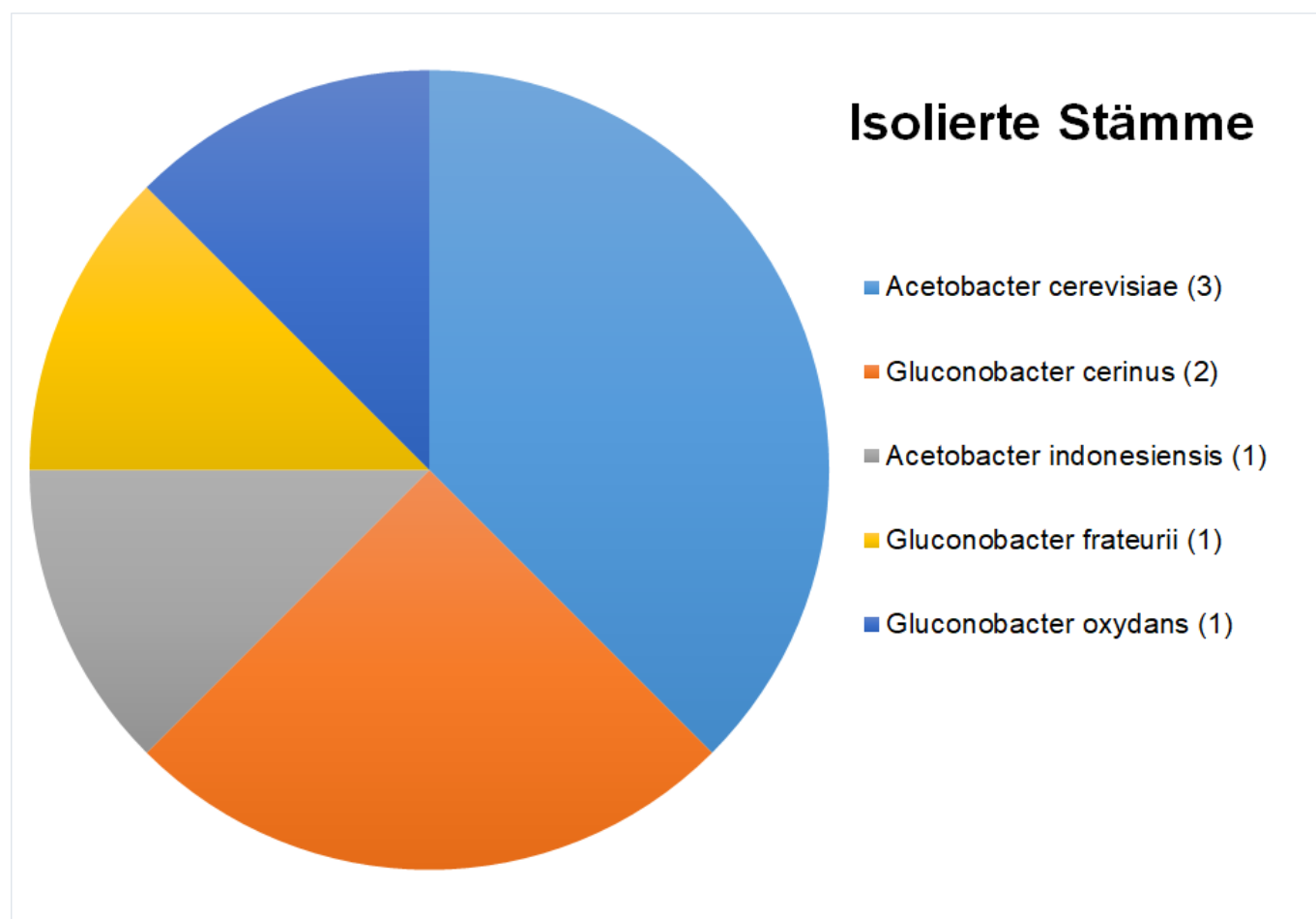


Figure 5.3b: Souches isolées de bactéries acétiques provenant de pâtons après fermentation du pain

Les 8 souches isolées ont pu être classées en 5 espèces différentes.

5.4 Collection de souches

Chaque boulangerie participante a signé un «Accord de transfert de matériel et d'utilisation (ATM)» ou sa version allemande «Materialtransfer- und Nutzungsvereinbarung (MTA)». Selon cet accord, la boulangère ou le boulanger conserve le droit de propriété sur les micro-organismes (bactéries, levures) isolés à partir des pâtons. Si l'analyse des pâtons met en évidence la présence de micro-organismes qui présentent un intérêt (bactéries ou levures), ceux-ci sont clairement identifiés, c'est-à-dire désignés selon leur origine, puis intégrés à la collection de souches de Liebefeld Kulturen AG. Dans le cas où ces souches seraient ultérieurement utilisées à des fins commerciales, cette utilisation fera l'objet d'une discussion préalable avec la boulangère ou le boulanger concerné. Si un accord est conclu, l'utilisation sera consignée dans un contrat additionnel. Conformément à l'ATM, Agroscope est autorisé à utiliser toutes les données à des fins scientifiques et à publier les résultats sous une forme anonymisée.

Les différents isolats prélevés sur les pâtons ont été ajoutés à la bibliothèque de souches de Liebefeld Kulturen AG. Ils portent les numéros d'identification FAM 28524 à 28652.

5.5 Microbiome des levures

Selon leurs propres déclarations, les boulangeries 5, 6 et 8 n'utilisent pas de levures. La diversité déterminée analytiquement montre que les pâtons des boulangeries 8, 12 et 15 se distinguent nettement de ceux des autres

boulangeries. Dans la majorité des boulangeries, on a identifié presque exclusivement des traces de la «levure boulangère» *Saccharomyces cerevisiae* dans les pâtons.

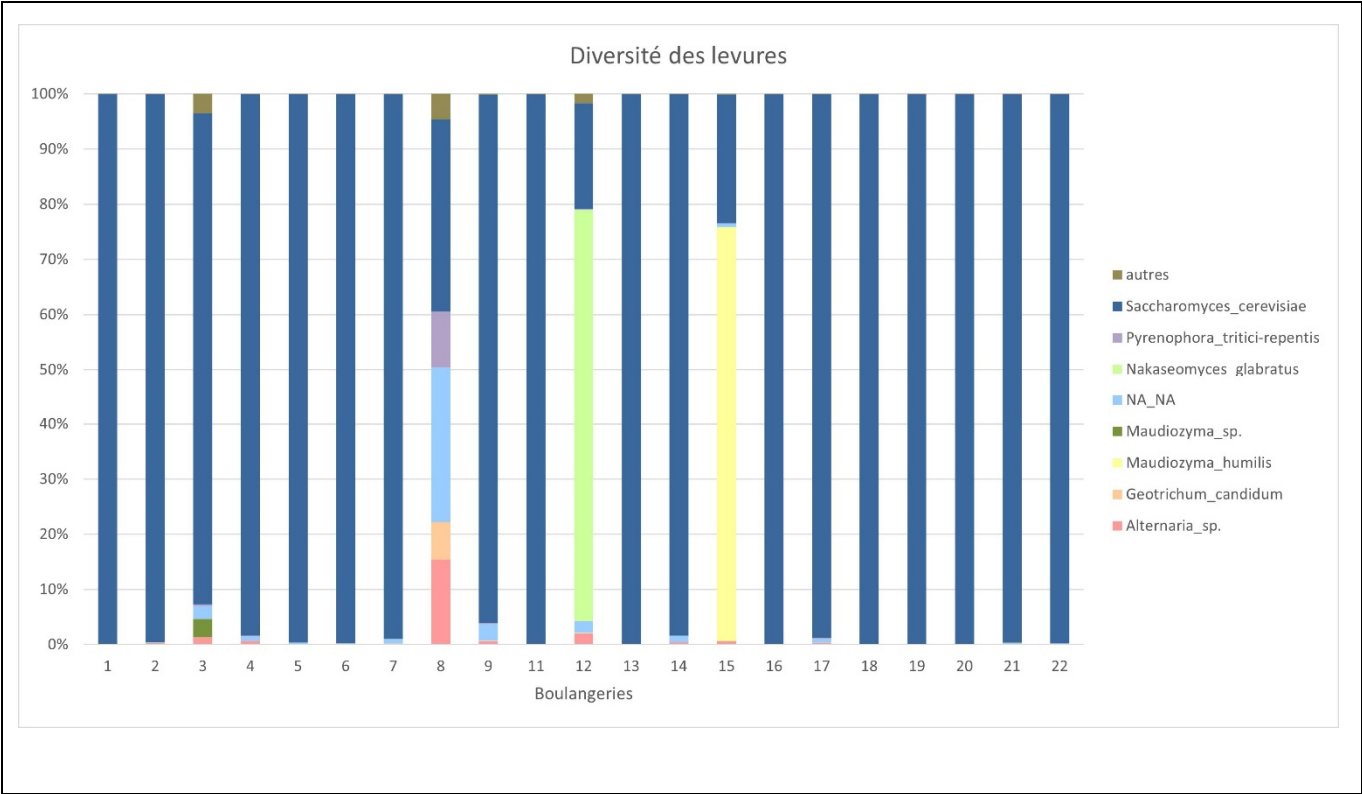


Figure 5.5a: Diversité des levures dans les pâtons (EF abrel species)

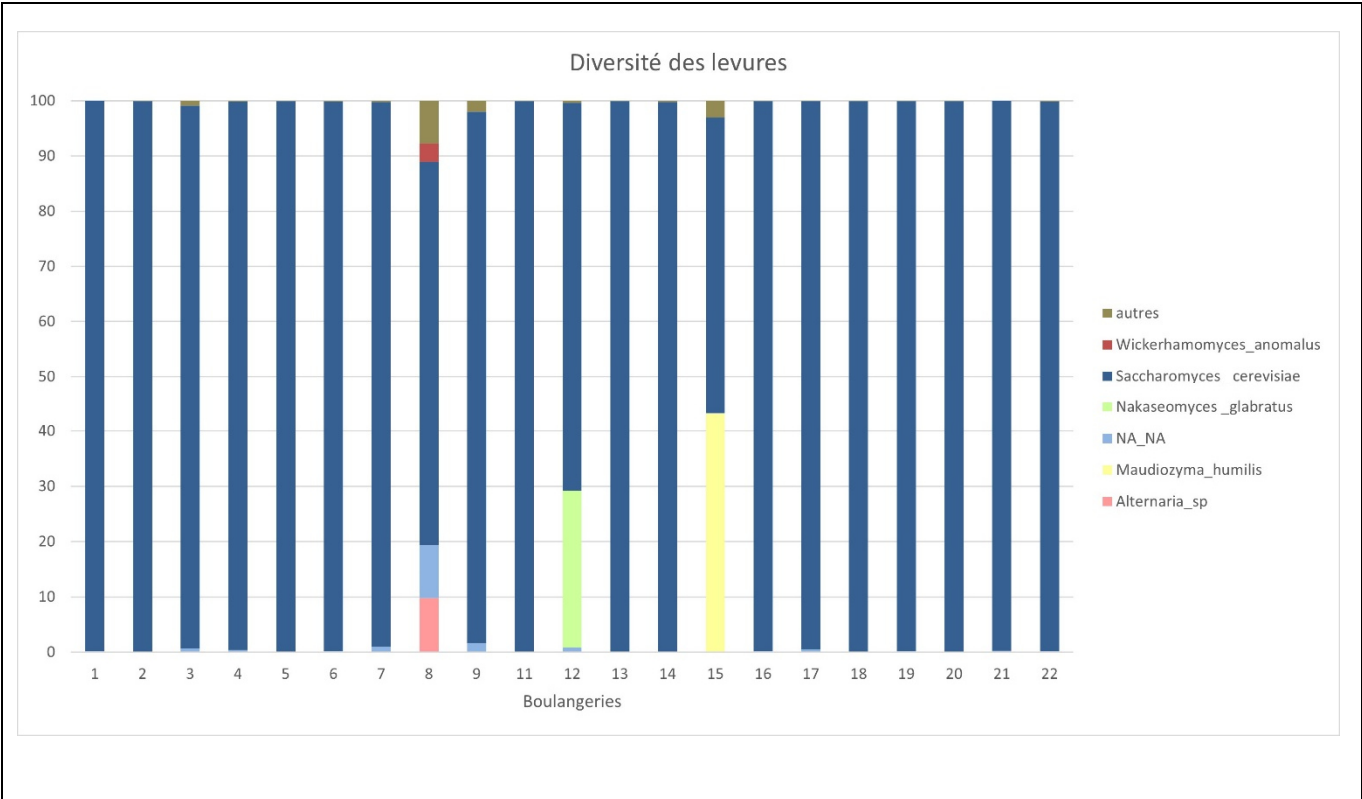


Figure 5.5b: Diversité des levures dans les pâtons (LSU abrel species)

Les résultats obtenus avec les deux méthodes EF et LSU concordent bien.

Il est intéressant de noter que différentes espèces de levures ont été détectées dans le microbiome de la pâte de la boulangerie 8, alors que la microbiologie classique (chapitre 5.1) n'a permis de détecter aucune levure. Ce

microbiome doit éventuellement être évalué différemment, car on ne sait pas exactement à quel moment la pâte a été congelée.

Il n'y a pas si longtemps, *Nakaseomyces glabrata* (anciennement *Candida glabrata* et auparavant *Torulopsis glabrata*) était considéré comme un organisme principalement non pathogène. Cependant, en raison de l'augmentation continue du nombre de personnes immunodéprimées, *N. glabrata* s'est révélé être un agent pathogène hautement opportuniste, en particulier dans l'appareil urogénital et le système sanguin (fongémie). Il est ubiquiste et est fréquemment responsable de la contamination des jus de fruits. Chez la vache, il peut provoquer une mammite. Son apparition dans le levain est atypique (Beardsley *et al.*, 2024).

5.6 Microbiome des bactéries

Fructilactobacillus sanfranciscensis n'était la plus abondante que dans un seul pàton. Dans 10 des 21 pàtons, l'espèce *Fructilactobacillus frigidiflavus*, nouvellement décrite en 2025 (Pham & Gänzle, 2025), était prédominante. Les bactéries gram-négatives *Pantoea* spp. dominaient dans 3 pàtons (numéros 2, 11 et 16), ce qui suggère qu'il s'agissait de levains relativement jeunes, avec moins de rafraîchis. Dans deux pàtons, *Weissella* spp. et *Latilactobacillus sakei* prédominaient. *Lactobacillus helveticus* et *Leuconostoc* spp. étaient majoritaires dans un pàtons. Dans l'ensemble, la diversité était remarquablement grande.

Les pàtons des boulangeries 8 et 12, dont les pains se distinguaient par une forte teneur en acide lactique (fig. 6.1.2e) et un goût nettement plus acidulé (fig. 6.3.2a), présentaient des métagénomes totalement différents. Le pàton de la boulangerie 8 était dominé par *Fructilactobacillus frigidiflavus* und tandis que celui de la boulangerie 12 était dominé par *Lactobacillus helveticus*.

Les échantillons provenant des boulangeries où aucun acide lactique n'a pas été détecté dans les pàtons ou les pains (4, 5, 16, 19 et 21) ne présentaient pas de caractéristiques microbiologiques distinctives.

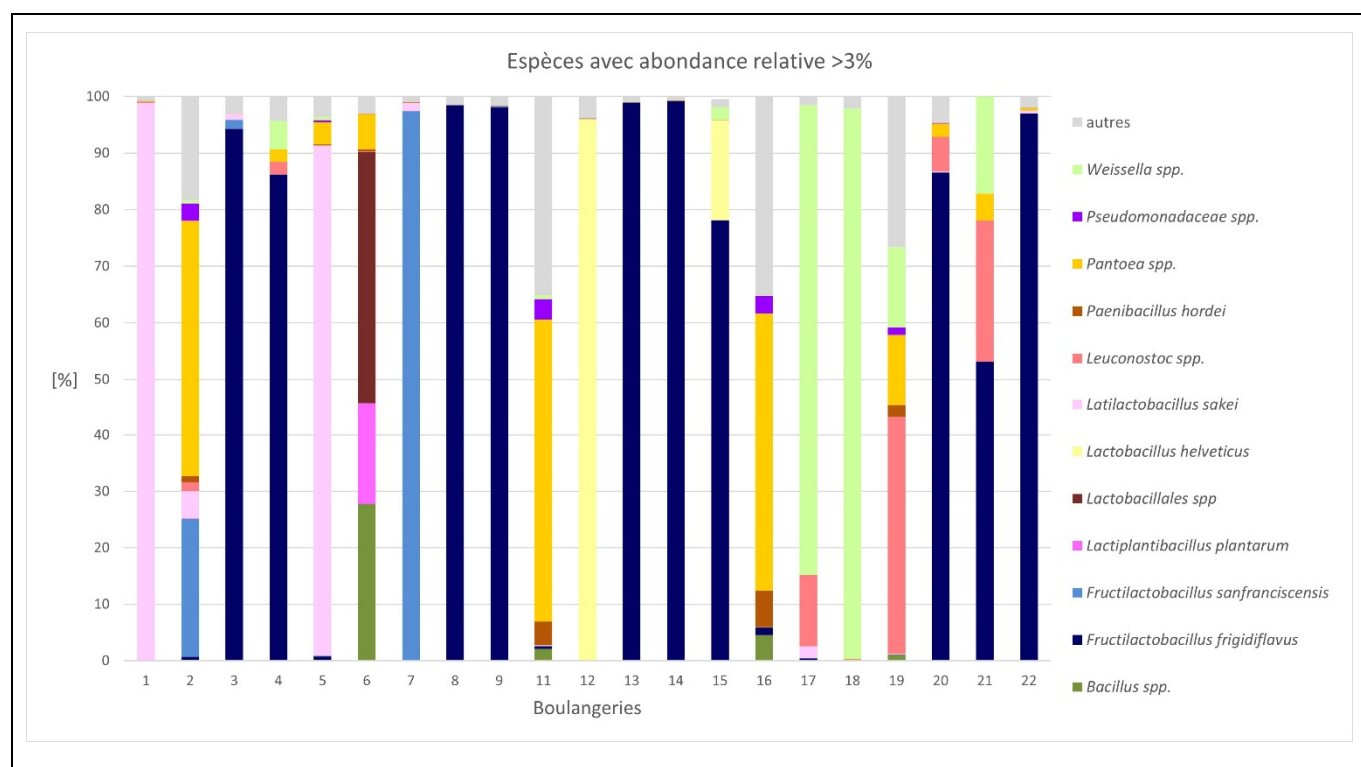


Figure 5.6: Diversité des bactéries dans les pàtons

Aucune bactérie *Fructilactobacillus* spp. n'a pu être mise en évidence dans 6 des 7 pàtons présentant une teneur en éthanol supérieure à 10 g/kg (boulangeries 1, 5, 11, 12, 18 et 19). L'unique exception concernait le pàton de la boulangerie 20 avec une forte présence de *F. frigidiflavus*.

En revanche, les trois pâtons présentant une plus grande biodiversité dans le métagénome des levures (8, 12 et 15) affichaient une biodiversité plutôt faible dans le métagénome des bactéries. Il est intéressant de souligner que seuls les pâtons des boulangeries 12 et 15 contenaient des *Lactobacillus helveticus*, ce qui peut cependant être un résultat fortuit.

Aucune bactérie *L. helveticus* n'a été identifiée parmi les 128 souches de bactéries lactiques isolées à partir des pâtons et intégrées à la collection de souches. Des études antérieures ont montré que les souches de *L. helveticus* peuvent être difficiles à cultiver. À l'inverse, *Lactobacillus brevis* a pu être isolée à plusieurs reprises, sans qu'une trace correspondante ait été détectée au niveau du métagénome.

Aucune trace n'a été mesurée pour les bactéries acétiques isolées des genres *Acetobacter* et *Gluconobacter* (voir chapitre 5.1).

6 Caractérisation des pains de seigle

6.1 Analyses chimiques et biochimiques

Afin de vérifier si les différentes méthodes de préparation des échantillons

- Posieux: lyophilisation
- Liebefeld: congélation dans l'azote liquide suivie d'un broyage

avaient une influence sur les résultats d'analyse, la matière sèche a été déterminée selon les deux procédés. Les résultats obtenus avec les préparations d'échantillons différentes, calculés sur l'ensemble des 63 analyses réalisées sur les pâtons ainsi que sur les pains âgés de 1 à 3 jours et de 8 à 10 jours, concordent très bien (fig. 6.1). L'effet de la méthode de préparation des échantillons sur les résultats d'analyse peut ainsi être considéré comme négligeable et ne sera pas pris en compte par la suite.

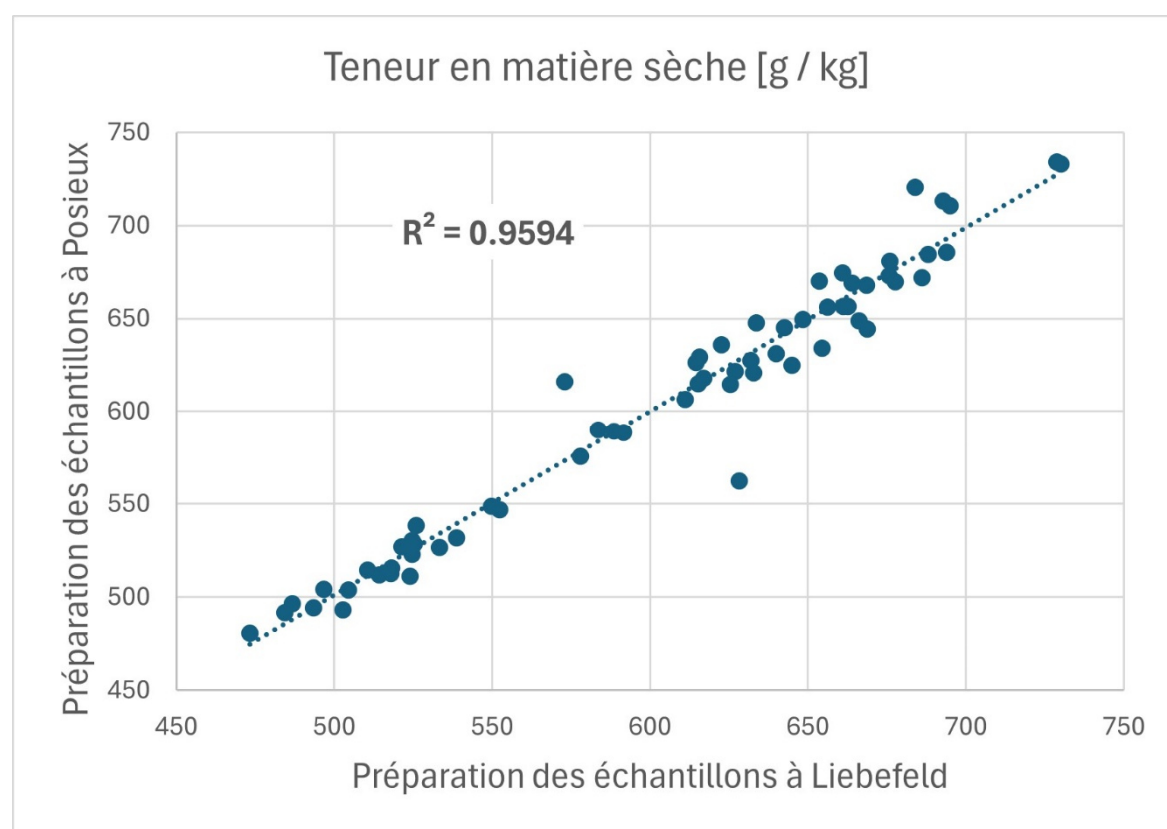


Figure 6.1: Teneur en matière sèche avec différentes préparations d'échantillons

6.1.1 Composition chimique

Les farines se distinguaient non seulement par leur teneur en son (fig. 4.1) et leur temps de chute (fig. 4.2), mais aussi par leur composition chimique, comme le montre l'importante dispersion s_x observée pour l'ensemble des paramètres analysés (tabl. 6.1.1a). L'ajout de farine de blé a entraîné une augmentation de la teneur en protéines et une diminution de la teneur en amidon.

Tableau 6.1.1a: Composition chimique (valeurs absolues)

Para-mètres	Échantillons	Unité	N	Médian e	Valeur moyenn e	s_x	Mini-mum	Maxi-mum	Farine de seigle ¹⁾
Matière sèche	Farine	g/kg	21	882.6	885.0	10.0	873.7	918.9	7.7
	Pâtons	g/kg	21	514.5	515.7	18.3	480.5	548.6	14.6
	Pains, 1 à 3 jours	g/kg	21	620.6	617.9	25.1	562.3	656.4	4.3
	Pains, 8 à 10 jours	g/kg	21	672.1	676.8	30.0	631.2	734.2	-0.7
	Hausse en cuisson	g/kg	21	95.7	102.2	21.9	71.4	152.8	-10.3
	Hausse au stockage	g/kg	21	61.4	58.9	25.5	9.4	105.4	-5.1
Amidon	Farine	g/kg	21	579.0	577.9	12.8	550.0	601.0	3.6
	Pâtons	g/kg	21	323.0	320.7	13.4	295.0	355.0	9.6
	Pains, 1 à 3 jours	g/kg	21	369.0	370.2	16.9	343.0	401.0	8.9
	Pains, 8 à 10 jours	g/kg	21	405.0	405.4	20.5	378.0	463.0	5.6
Protéines (N x 5.80)	Farine	g/kg	21	87.6	86.4	5.4	74.2	93.4	-3.2
	Pâtons	g/kg	21	51.5	52.7	4.4	45.5	66.1	-1.6
	Pains, 1 à 3 jours	g/kg	21	60.9	62.5	5.1	53.6	77.1	-2.8
	Pains, 8 à 10 jours	g/kg	21	67.3	68.3	6.4	59.7	88.2	-3.8
Matières grasses	Farine	g/kg	21	16.6	16.6	1.0	14.7	18.3	0.1
	Pâtons ²⁾	g/kg	10	10.8	11.0	0.6	10.2	12.2	-0.1
	Pains, 1 à 3 jours	g/kg	21	12.0	12.3	1.2	10.5	16.1	-0.3
	Pains, 8 à 10 jours	g/kg	21	11.8	12.4	1.5	10.7	17.6	-0.1
Cendres brutes	Farine	g/kg	21	15.1	15.2	1.1	12.3	17.5	0.3
	Pâtons	g/kg	21	21.8	21.9	1.9	17.1	25.9	0.4
	Pains, 1 à 3 jours	g/kg	21	26.7	26.3	2.5	20.1	30.4	-0.01
	Pains, 8 à 10 jours	g/kg	21	29.2	28.2	2.8	22.2	34.2	-0.2

1) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

2) 11 pâtons avaient une teneur en matières grasses inférieure à 10 g/kg

La variabilité de la composition chimique des pâtons et des pains s'explique principalement par les écarts significatifs de teneur en eau. Comme prévu, la teneur en eau diminuait pendant la cuisson et pendant le stockage d'une semaine, mais les différences entre les 21 boulangeries étaient très surprenantes (fig. 6.1.1a).

Les pâtons avec 100 % de farine de seigle présentaient en moyenne une teneur en eau nettement plus faible. Cet écart s'est atténué après la cuisson. Après une semaine de stockage, la teneur en eau était comparable entre les pains faits avec 100 % de seigle et ceux contenant 8 à 10 % de farine de blé. Ces deux observations suggèrent que, en moyenne, les pains avec 100 % de farine de seigle perdent moins d'eau lors de la cuisson et le stockage.

Les disparités importantes observées dans la teneur en eau des pâtons montrent que les boulangeries ont cherché à obtenir une texture de pâte extrêmement variée.

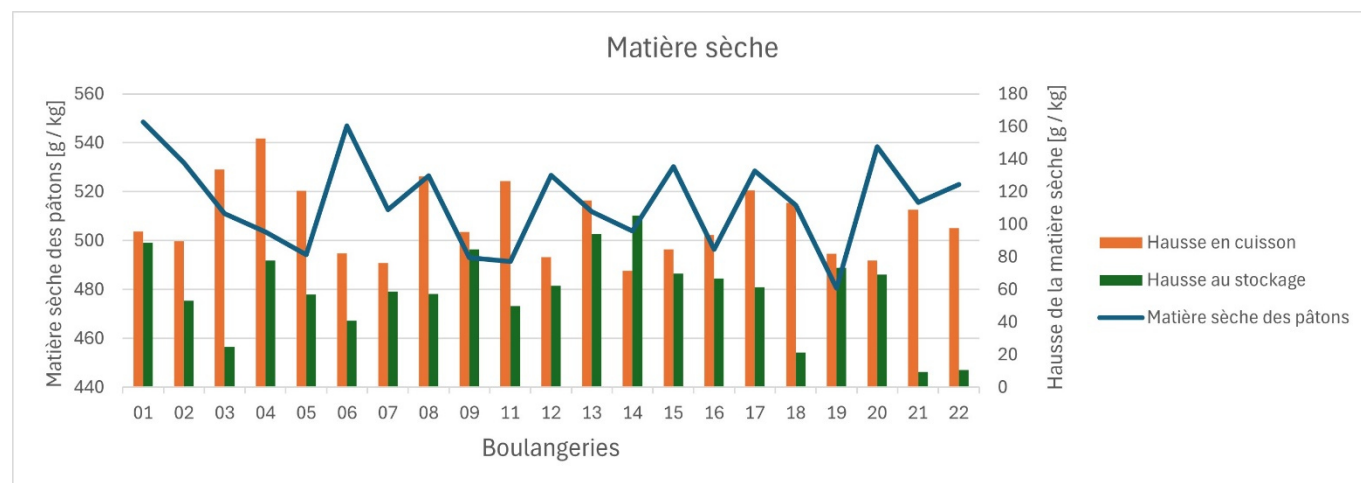


Figure 6.1.1a: Matière sèche
Teneur dans les pâtons et hausse lors de la cuisson et pendant le stockage d'une semaine

Les températures et les temps de cuisson (fig. 3.4) ne permettent pas d'expliquer entièrement la grande variabilité de la perte en eau lors de la cuisson. Par exemple, le pain de la boulangerie 4, qui présentait la plus grande perte d'eau, a été le seul pain cuit à 250 °C. Quant au pain de la boulangerie 3, qui affichait la deuxième plus forte perte en eau, a été cuit à une température inférieure à la moyenne, soit 215 °C. Les pains des boulangeries 3 et 4 ont tous été cuits pendant 60 minutes.

Les boulangeries 8 et 21, qui sont les seules à avoir indiqué une durée de cuisson supérieure à une heure (respectivement 82 et 75 minutes), n'ont pas présenté de perte d'eau importante.

Seule la boulangerie 16 a déclaré cuire ses pains à chaleur tournante, tandis que les boulangeries 2, 5 et 15 ont affirmé renoncer à l'humidification du four. Autrement dit, ces particularités ne permettent pas elles non plus d'expliquer la variabilité observée en matière de perte d'eau.

Il est tout aussi étonnant de constater à quel point les pains ont séché à des degrés divers pendant leur stockage d'une semaine dans un sac en lin. Les pains des boulangeries 21 et 22 en particulier ont présenté la perte d'eau la plus faible pendant le stockage. Ce n'est sans doute pas un hasard si, après avoir été congelés pour les mesures physiques, ces pains présentaient également un cœur pâteux, empêchant leur analyse.

Lorsque les résultats de la composition chimique sont exprimés en pourcentage de matière sèche, les dispersions s_x des différents paramètres diminuent (tabl. 6.1.1b). De même, on observe une diminution de l'écart de différences entre les pains à 100 % de farine de seigle et ceux contenant 8 à 10 % de farine de blé.

Tableau 6.1.1b: Composition chimique (valeurs relatives)

Para-mètres	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenne	s_x	Mini-mum	Maxi-mum	Farine de seigle ¹⁾
Matière sèche	Farine	%	21	88.3	88.5	1.0	87.3	91.9	0.77
	Pâtons	%	21	51.5	51.6	1.8	48.1	54.9	1.46
	Pains, 1 à 3 jours	%	21	62.1	61.8	2.5	56.2	65.6	0.43
	Pains, 8 à 10 jours	%	21	67.2	67.7	3.0	63.1	73.4	-0.74
Amidon	Farine	% de MS	21	65.3	65.3	1.3	62.8	68.3	-0.16
	Pâtons	% de MS	21	61.8	62.2	1.2	60.0	64.7	0.14
	Pains, 1 à 3 jours	% de MS	21	59.9	59.9	1.4	56.7	62.5	1.01
	Pains, 8 à 10 jours	% de MS	21	59.9	59.9	1.5	56.7	63.2	0.90
Protéines (N x 5.80)	Farine	% de MS	21	9.85	9.76	0.62	8.41	10.64	-0.44
	Pâtons	% de MS	21	10.35	10.23	0.75	9.15	12.05	-0.60
	Pains, 1 à 3 jours	% de MS	21	10.13	10.12	0.75	9.02	11.97	-0.53
	Pains, 8 à 10 jours	% de MS	21	10.07	10.09	0.76	8.94	12.03	-0.53
Matières grasses	Farine	% de MS	21	1.88	1.87	0.12	1.68	2.06	-0.01
	Pâtons ²⁾	% de MS	10	2.08	2.11	0.12	1.93	2.35	-0.10
	Pains, 1 à 3 jours	% de MS	21	1.98	1.99	0.17	1.68	2.62	-0.07
	Pains, 8 à 10 jours	% de MS	21	1.80	1.83	0.17	1.63	2.40	0.00
Cendres brutes	Farine	% de MS	21	1.72	1.71	0.12	1.41	2.00	0.02
	Pâtons	% de MS	21	4.36	4.26	0.40	3.18	5.05	-0.05
	Pains, 1 à 3 jours	% de MS	21	4.37	4.25	0.40	3.26	4.96	-0.03
	Pains, 8 à 10 jours	% de MS	21	4.39	4.26	0.42	3.24	5.05	-0.03

1) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)
2) 11 pâtons avaient une teneur en matières grasses inférieure à 10 g/kg

En revanche, il est confirmé que l'ajout de farine de blé entraîne en général une augmentation de la teneur en protéines.

Les variations de la teneur en matières grasses et en cendres étaient plutôt marginales.

La teneur en sel des pains des différentes boulangeries variait entre 10 et 20 g/kg, la plupart des pains présentant une teneur située entre 15 et 18 g/kg (fig. 6.1.1b).

L'analyse de la teneur en sel a elle aussi confirmé que les indications fournies par les boulangères et les boulangers (tabl. 3.1) doivent être interprétées avec précaution. En effet, il n'est pas inhabituel que la pesée du sel soit inexacte.

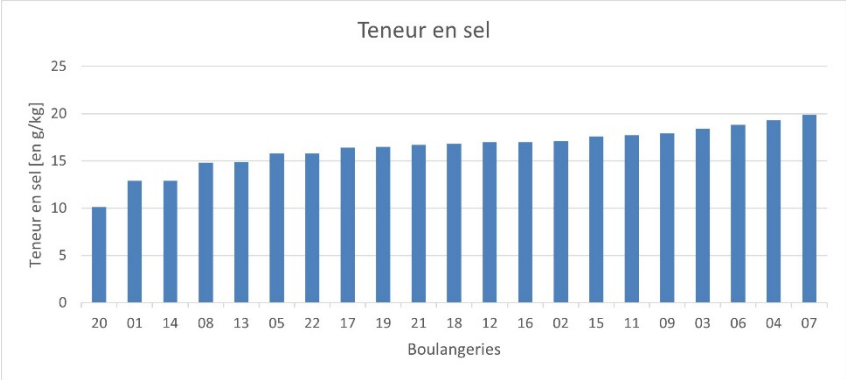


Figure 6.1.1b: Teneur en sel dans les pains de 1 à 3 jours

Les pains faits avec 100 % de farine de seigle présentaient en moyenne une teneur en potassium légèrement plus élevée (tabl. 6.1.1d). Selon la base de données suisse des valeurs nutritives, la teneur en potassium de la farine de seigle est presque le double de celle de la farine de blé.

Tableau 6.1.1c: Minéraux

Para-mètres	Échantillons	Unit é	N	Médian e	Valeur moyenn e	s _x	Mini-mum	Maxi-mum	Farine de seigle ¹⁾
Calcium	Farine	g/kg	21	0.41	0.39	0.05	0.31	0.48	-0.01
	Pâtons	g/kg	21	0.26	0.28	0.13	0.21	0.86	-0.04
	Pains, 1 à 3 jours	g/kg	21	0.30	0.31	0.08	0.25	0.67	-0.02
	Pains, 8 à 10 jours	g/kg	21	0.33	0.34	0.09	0.24	0.73	-0.02
Magné-sium	Farine	g/kg	21	0.95	0.93	0.10	0.68	1.14	0.03
	Pâtons	g/kg	21	0.57	0.56	0.04	0.51	0.65	0.01
	Pains, 1 à 3 jours	g/kg	21	0.65	0.66	0.05	0.59	0.73	-0.01
	Pains, 8 à 10 jours	g/kg	21	0.69	0.71	0.05	0.60	0.81	0.00
Sodium	Farine	g/kg	21	< 0.05	< 0.05		< 0.05	< 0.05	
	Pâtons	g/kg	21	5.26	5.25	0.74	3.17	6.89	-0.02
	Pains, 1 à 3 jours	g/kg	21	6.22	6.18	0.94	3.60	7.58	-0.20
	Pains, 8 à 10 jours	g/kg	21	6.76	6.76	1.02	3.92	8.51	-0.18
Potassi-um	Farine	g/kg	21	4.09	4.08	0.31	3.46	4.64	0.22
	Pâtons	g/kg	21	2.44	2.45	0.17	2.17	2.78	0.23
	Pains, 1 à 3 jours	g/kg	21	2.85	2.88	0.17	2.60	3.14	0.15
	Pains, 8 à 10 jours	g/kg	21	3.11	3.14	0.21	2.72	3.56	0.17
Phos-phore	Farine	g/kg	21	2.71	2.67	0.23	2.06	3.18	0.06
	Pâtons	g/kg	21	1.68	1.69	0.09	1.54	1.92	0.05
	Pains, 1 à 3 jours	g/kg	21	1.97	1.99	0.11	1.80	2.16	0.00
	Pains, 8 à 10 jours	g/kg	21	2.11	2.14	0.14	1.86	2.39	0.00

1) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Les pâtons et les pains âgés de 1 à 3 jours et de 8 à 10 jours de la boulangerie 5 présentaient des teneurs en calcium nettement plus élevées, ce qui n'était pas le cas pour la farine (fig. 6.1.1c). La boulangerie 5 se situe dans une région où l'eau est dure, ce qui explique au moins partiellement ces résultats.

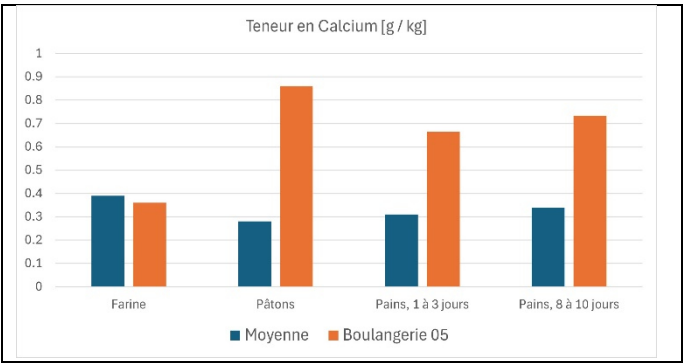


Figure 6.1.1c: Teneur en calcium chez la boulangerie 05 par rapport à la moyenne

Les pâtons et les pains âgés de 1 à 3 jours et de 8 à 10 jours de la boulangerie 20 présentaient des teneurs en sodium nettement plus faibles, ce qui corrélait avec la faible teneur en sel. La teneur en sodium de la farine étant inférieure au seuil de détection, la teneur en sodium des pains corrélait fortement avec la teneur en sel ($R^2 = 0,973$).

Comme on s’y attendait, la dispersion s_x était relativement faible pour les oligo-éléments, notamment le fer, le cuivre, le manganèse et le zinc (tabl. 6.1.1e).

Tableau 6.1.1d: Oligo-éléments

Para-mètres	Échantillons	Unité	N	Médian e	Valeur moyenn e	s_x	Mini-mum	Maxi-mum	Farine de seigle 1)
Fer	Farine	mg/kg	21	22.7	22.2	2.2	16.1	25.9	0.05
	Pâtons	mg/kg	21	14.2	14.1	1.5	11.5	16.7	-0.09
	Pains, 1 à 3 jours	mg/kg	21	15.7	16.1	1.8	13.2	19.8	-0.25
	Pains, 8 à 10 jours	mg/kg	21	16.7	17.0	2.0	13.3	21.6	-0.56
Cuivre	Farine	mg/kg	21	3.8	3.8	0.3	2.9	4.4	-0.05
	Pâtons	mg/kg	21	2.6	2.5	0.2	2.1	3.0	0.08
	Pains, 1 à 3 jours	mg/kg	21	2.8	2.8	0.2	2.3	3.2	-0.02
	Pains, 8 à 10 jours	mg/kg	21	3.0	3.0	0.2	2.5	3.5	0.00
Manga-nèse	Farine	mg/kg	21	7.3	7.5	3.4	5.1	21.6	-0.88
	Pâtons	mg/kg	21	4.6	5.2	2.6	3.0	13.0	0.36
	Pains, 1 à 3 jours	mg/kg	21	5.3	6.1	2.9	3.5	15.6	0.49
	Pains, 8 à 10 jours	mg/kg	21	5.5	6.6	3.2	4.0	17.5	0.46
Zinc	Farine	mg/kg	21	22.5	22.7	2.2	17.0	26.7	-0.23
	Pâtons	mg/kg	21	14.6	14.7	1.1	12.9	17.6	0.39
	Pains, 1 à 3 jours	mg/kg	21	17.6	17.2	1.3	15.3	20.0	0.09
	Pains, 8 à 10 jours	mg/kg	21	18.0	18.2	1.1	16.2	20.3	0.27

1) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Seules les teneurs en manganèse affichaient des valeurs particulièrement frappantes. En effet, les pâtons et les pains âgés de 1 à 3 jours et de 8 à 10 jours des boulangeries 1 et 6 présentaient des teneurs en manganèse nettement plus élevées par rapport aux autres boulangeries. Chez la boulangerie 1, la teneur en manganèse était déjà fortement élevée dans la farine, contrairement à la boulangerie 6 (fig. 6.1.1d).

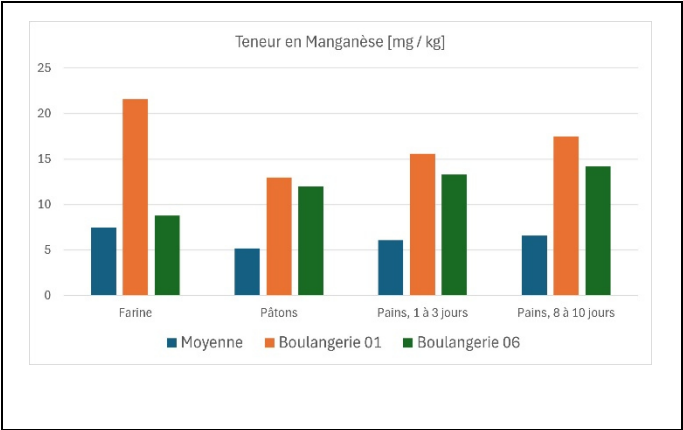


Figure 6.1.1d: Teneur en manganèse dans les boulangeries 01 et 06 par rapport à la moyenne

6.1.2 Analyses de la fermentation

Le saccharose présent dans la farine est rapidement hydrolysé en glucose et en fructose lors de la préparation de la pâte et est généralement à peine détectable dans le pâton.

En raison de l'hydrolyse de l'amidon, l'amylase propre à la farine et les enzymes microbiennes entraînent une teneur plus élevée en maltose, saccharose et fructose dans le pain frais que dans les pâtons. En revanche, la teneur en glucose diminue, car il est le sucre préféré des micro-organismes. La légère augmentation des différents sucres observée dans le pain âgé d'une semaine est quant à elle liée à la diminution de la teneur en eau.

Tableau 6.1.2a: Sucres fermentables

Para-mètres	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenn e	s _x	Mini- mum	Maxi- mum	Farine de seigle ¹⁾
Maltose	Farine	g/kg	21	1.80	2.09	0.75	0.80	4.00	-0.67
	Pâtons	g/kg	21	1.65	2.39	1.82	0.30	6.05	-1.49
	Pains, 1 à 3 jours	g/kg	21	4.70	6.06	4.82	0.85	18.80	-5.24
	Pains, 8 à 10 jours	g/kg	21	5.20	6.46	5.11	0.80	20.30	-5.64
Saccha- rose	Farine	g/kg	21	10.00	10.00	0.96	7.22	12.10	0.00
	Pâtons	g/kg	21	<0.01	0.05	0.09	<0.01	0.29	0.01
	Pains, 1 à 3 jours	g/kg	21	0.44	0.54	0.32	0.11	1.07	-0.14
	Pains, 8 à 10 jours	g/kg	21	0.45	0.51	0.32	0.12	1.13	-0.12
Glucose	Farine	g/kg	21	1.05	1.25	0.41	0.70	2.15	0.04
	Pâtons	g/kg	21	3.05	3.08	1.71	0.14	6.63	-0.95
	Pains, 1 à 3 jours	g/kg	21	2.57	2.25	1.49	0.24	4.73	-0.93
	Pains, 8 à 10 jours	g/kg	21	2.73	2.42	1.59	0.27	5.13	-1.01
Fructose	Farine	g/kg	21	0.90	0.93	0.16	0.65	1.35	0.01
	Pâtons	g/kg	21	3.72	4.15	2.95	0.55	11.60	-0.07
	Pains, 1 à 3 jours	g/kg	21	5.95	5.02	2.74	<0.01	11.90	0.61
	Pains, 8 à 10 jours	g/kg	21	6.28	5.51	3.06	<0.01	13.70	0.77

1) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Les pains avec 100 % de farine de seigle contenaient en moyenne moins de maltose, de saccharose et de glucose que les pains avec 8 à 10 % de farine de blé. À l'inverse, la teneur en fructose était plus élevée, ce qui indique une activité plus importante des levures, car ces dernières libèrent du fructose (Siepmann *et al.*, 2019). La faible teneur en sucres fermentables n'était vraisemblablement pas liée à une faible activité amylasique, mais plutôt à une fermentation plus intense. Les levains à base de farine de seigle ont souvent une activité amylasique élevée, ce qui accélère leur fermentation. Cette accélération peut entraîner une diminution de l'activité de la levure, un goût plus acidulé et une durée de conservation plus longue (Calvert *et al.*, 2021).

De manière générale, on observe une très grande variabilité dans la teneur en sucres fermentables des pains issus des 21 boulangeries (fig. 6.1.2a).

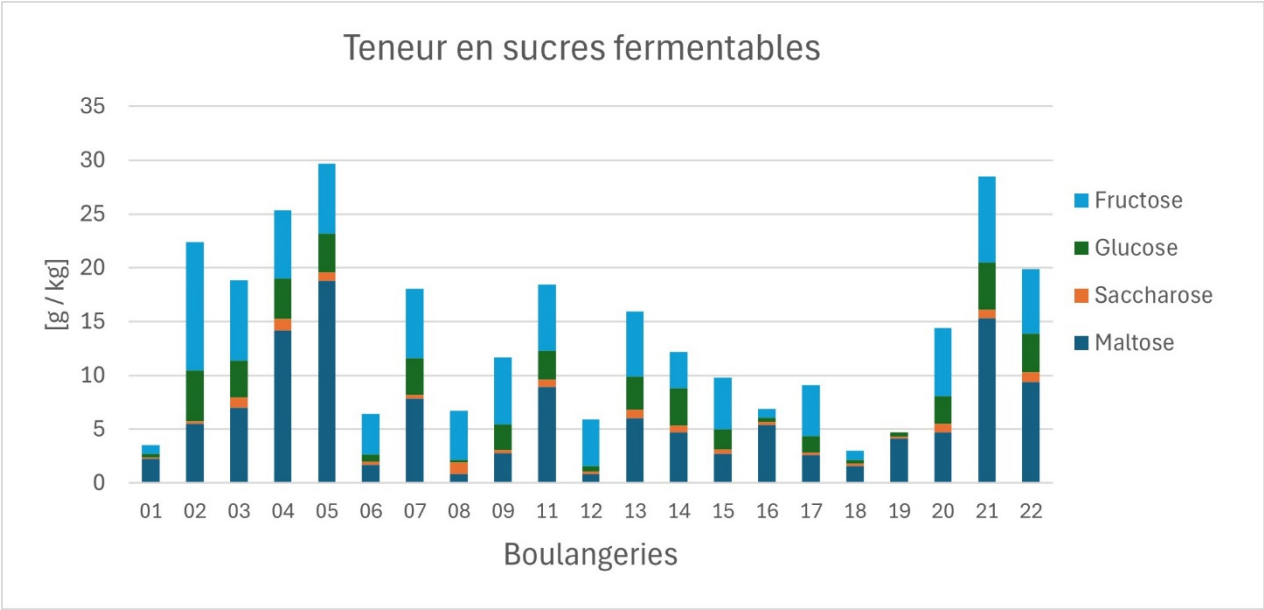


Figure 6.1.2a: Teneur en sucres fermentables dans les pains après 1 à 3 jours

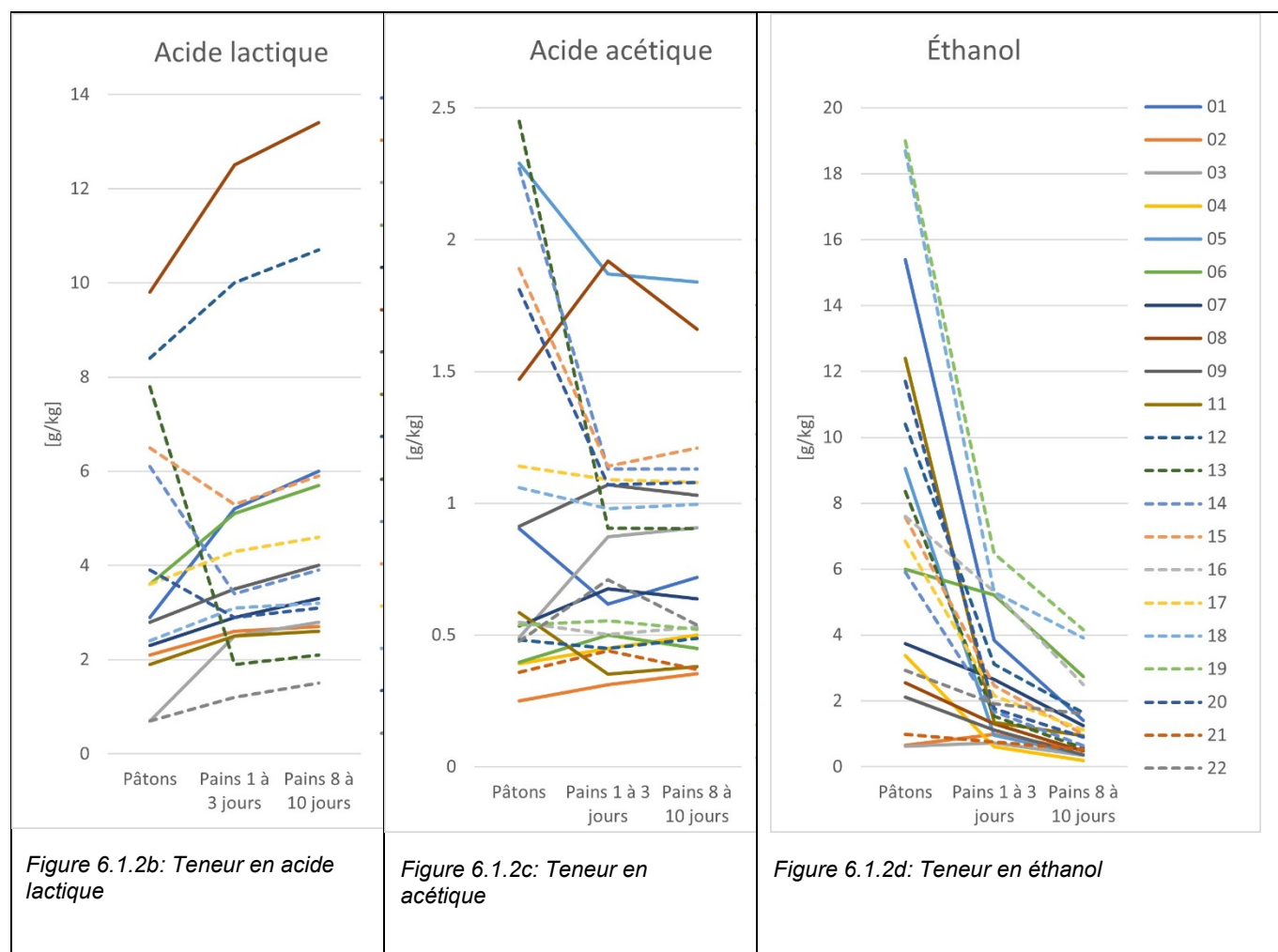
Aucun acide lactique n’a pas été détecté dans les pâtons et pains des boulangeries 4, 5, 16, 19 et 21. En revanche, de l’acide acétique et de l’éthanol ont été décelés dans tous les échantillons. La corrélation décrite dans la littérature entre une teneur plus élevée en éthanol avec une proportion croissante de levain de démarrage (levain et poolish) et une densité plus élevée de cellules de levure n’a pas pu être confirmée (Lattanzi *et al.*, 2014).

Tableau 6.1.2b: Produits de fermentation

Para- mètres	Échantillons	Unité	N	Médian e	Valeur moyenn e	s _x	Mini- mum	Maxi- mum	Farine de seigle ¹⁾
Acide lactique	Pâtons	g/kg	21	2.40	3.11	2.93	0	9.8	2.39
	Pains, 1 à 3 jours	g/kg	21	2.90	3.28	3.12	0	12.5	3.59
	Pains, 8 à 10 jours	g/kg	21	3.10	3.60	3.36	0	13.4	3.78
Acide acétique	Pâtons	g/kg	21	0.59	1.01	0.70	0.25	2.45	-0.15
	Pains, 1 à 3 jours	g/kg	21	0.71	0.84	0.44	0.31	1.92	0.09
	Pains, 8 à 10 jours	g/kg	21	0.72	0.82	0.41	0.35	1.84	0.06
Éthanol	Pâtons	g/kg	21	6.85	7.42	5.44	0.62	19.0	0.03
	Pains, 1 à 3 jours	g/kg	21	1.76	2.44	1.73	0.62	6.48	0.37
	Pains, 8 à 10 jours	g/kg	21	0.94	1.29	1.11	0.20	4.16	0.32
Valeur pH	Pâtons		21	5.20	5.04	0.60	3.89	5.83	-0.51
	Pains, 1 à 3 jours		21	5.10	5.04	0.43	3.92	5.79	-0.53
	Pains, 8 à 10 jours		21	5.07	5.02	0.45	3.88	5.75	-0.51

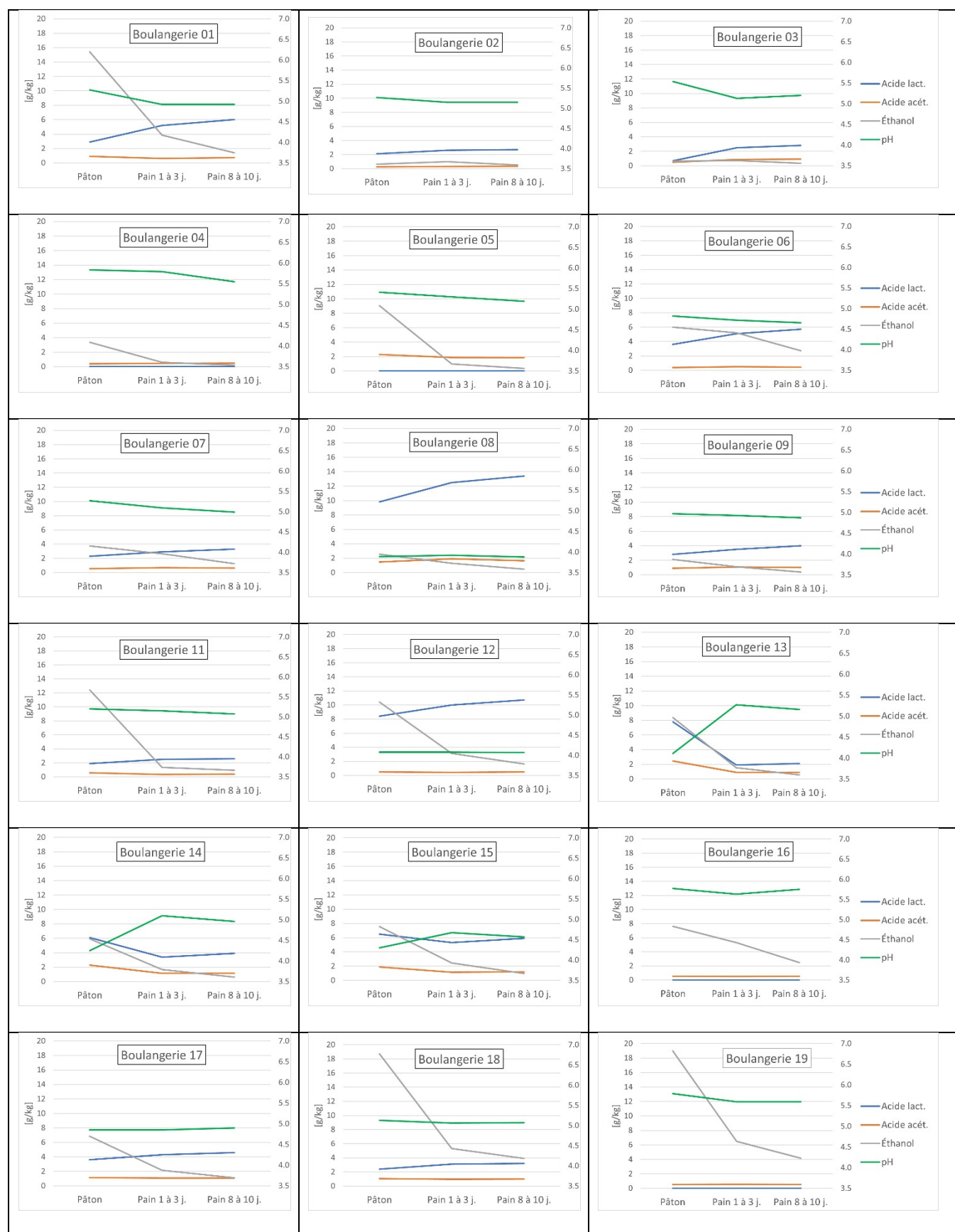
1) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Les produits de fermentation mesurés et le pH confirment que la fermentation a été plus intense dans les pains avec 100 % de farine seigle (tabl. 6.1.2b), probablement en raison d’une activité amylasique plus élevée (Calvert *et al.*, 2021).



Les figures 6.1.2b à 6.1.2d illustrent de manière impressionnante la diversité de fermentation des pâtes des 21 boulangeries participantes. Les teneurs des pâtons et des pains sont difficiles à extraire de ces graphiques, c'est pourquoi un graphique distinct a été réalisé pour chaque boulangerie (fig. 6.1.2e). Plusieurs constats intéressants peuvent être établis:

- L'acide lactique n'a pas été détecté dans les pâtons et les pains des boulangeries 4, 5, 16, 19 et 21. Ces cinq boulangeries utilisaient toutes du levain, mais ne se distinguaient ni par la durée ni par la température de fermentation (fig. 3.2). En revanche, lorsque les matrices analysées contenaient de l'acide lactique, ses quantités étaient quasiment toujours supérieures à l'acide acétique.
- De l'acide acétique et de l'éthanol ont été décelés dans tous les échantillons. En moyenne, les teneurs en acide acétique étaient plutôt faibles, probablement en raison des températures de fermentation relativement élevées face à des durées de fermentation relativement courts (De Vuyst *et al.*, 2016).
- Les pâtons des boulangeries 1, 5, 11, 12, 18, 19 et 20 présentaient une teneur en éthanol supérieure à 10 g/kg. En raison de sa forte volatilité, la teneur en éthanol diminuait nettement à la cuisson. Pour les pains âgés de 1 à 3 jours, les boulangeries 6, 16, 18 et 19 présentaient une teneur en éthanol supérieure à 5 g/kg.
- Le pH était nettement inférieur à 5 uniquement dans les pains des boulangeries 8, 12 et 15.
- La baisse significative du pH des pâtons des boulangeries 13, 14 et 15 par rapport à leurs pains s'explique probablement par le fait que les pâtons n'ont pas été congelés immédiatement, ce qui a prolongé la durée de fermentation.



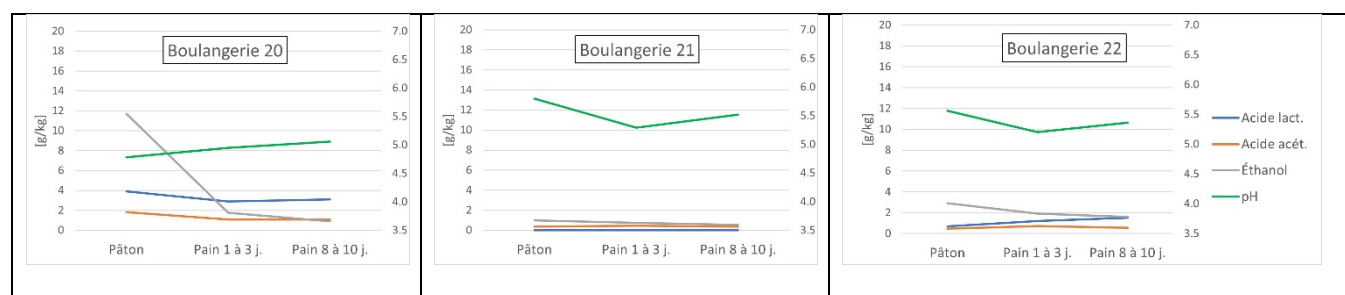


Figure 6.1.2e: Teneur en produits de fermentation et valeur pH en fonction de la boulangerie

Les pains des boulangeries 14, 16 et 19 ont présenté une légère formation de moisissures pendant la semaine de stockage dans un sac en lin. Il est à noter que ces pains présentaient des valeurs pH plus élevées ainsi qu'une acidité plus faible.

Dans les pâtons, il existe une corrélation étroite entre la teneur en sucres fermentables (maltose + saccharose + glucose + fructose) et la teneur en produits de fermentation (acide lactique + acide acétique + éthanol) (fig. 6.1.2f).

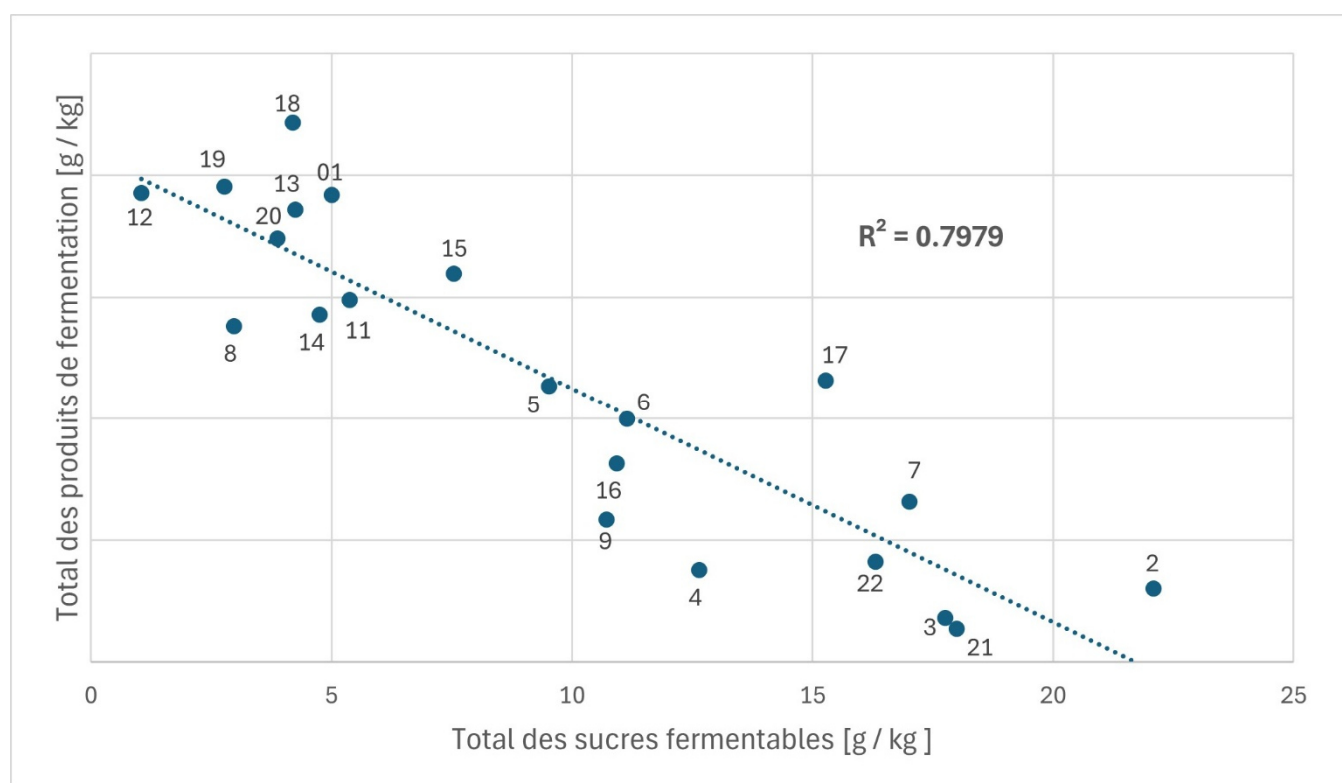


Figure 6.1.2f: Somme des sucres fermentables et des produits de fermentation dans les pâtons
Les numéros dans le graphique désignent les 21 boulangeries.

Autrement dit, dans tous les pâtons des 21 boulangeries, une quantité approximativement égale d'amidon a été hydrolysée en sucres fermentables. Cependant, ces sucres ont ensuite été fermentés à des intensités très différentes: dans le pâton de la boulangerie 21, seul 1,3 g/kg de produits de fermentation a été mesuré. Le pâton de la boulangerie 18 présentait la teneur la plus élevée avec 22,2 g/kg de produits de fermentation.

La somme des sucres fermentables et des produits de fermentation était comparable pour tous les pâtons (moyenne: 20,3 g/kg, écart-type: 5,4 g/kg).

Les amylases des micro-organismes sont plutôt insignifiantes par rapport à l'amylase contenue dans la farine et les micro-organismes ne peuvent donc pratiquement pas dégrader l'amidon eux-mêmes.

6.1.3 Acides aminés totaux et libres

Comme prévu, les teneurs en acides aminés totaux (tabl. 6.1.3a et b) dépendaient directement de la teneur en eau. Comme pour d'autres paramètres, la variabilité était étonnamment élevée, bien que la plupart des boulangeries s'approvisionnent en farine auprès du même moulin; le maximum était généralement environ deux fois supérieur au minimum.

Tableau 6.1.3a: Acides aminés totaux (partie 1)

Para-mètres	Échantillons	Unité	N	Médian e	Valeur moyenn e	s _x	Mini-mum	Maxi-mum	Farine de seigle ¹⁾
Total	Farine	mg / g	21	80.82	87.62	13.57	70.76	121.47	0.69
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	60.76	64.67	11.58	50.79	96.06	-1.41
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	70.34	72.45	13.52	53.55	99.93	4.35
Histidine	Farine	mg / g	21	2.24	2.39	0.38	1.92	3.33	0.00
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	1.66	1.74	0.32	1.35	2.58	-0.02
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	1.89	2.05	0.57	1.47	3.58	0.20
Aspara-gine	Farine	mg / g	21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Serine	Farine	mg / g	21	4.45	4.75	0.73	3.75	6.71	-0.06
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	3.32	3.59	0.63	2.78	5.35	-0.07
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	3.61	3.84	0.69	2.84	5.38	0.11
Gluta-mine	Farine	mg / g	21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Arginine	Farine	mg / g	21	4.86	5.14	0.96	3.96	7.40	0.02
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	3.52	3.64	0.70	2.51	5.12	0.00
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	3.54	3.79	0.66	2.98	5.54	0.29
Glycine	Farine	mg / g	21	4.13	4.36	0.71	3.51	6.12	0.04
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	3.11	3.24	0.55	2.60	4.58	-0.03
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	3.88	4.43	1.40	2.79	7.13	0.59
Acide asparti-que	Farine	mg / g	21	6.03	6.57	1.24	5.13	9.06	0.34
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	4.04	4.55	0.91	3.28	6.13	0.33
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	4.49	4.46	0.48	3.69	5.58	0.32
Acide glutami-que	Farine	mg / g	21	15.07	16.81	3.26	12.75	24.78	0.09
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	11.23	12.68	2.99	9.41	22.00	-0.74
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	13.24	13.18	2.11	9.13	16.73	-0.53
Threo-nine	Farine	mg / g	21	3.22	3.44	0.56	2.75	4.80	0.07
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	2.43	2.57	0.46	2.04	3.61	0.02
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	2.51	2.70	0.48	2.23	4.08	0.18
Alanine	Farine	mg / g	21	4.33	4.46	0.75	3.48	6.20	0.09
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	3.09	3.35	0.60	2.61	4.59	0.01
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	3.72	3.69	0.57	2.93	4.80	0.26

1) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Aucune trace d'asparagine, de glutamine ni même de cystine n'a été détectée dans les 63 échantillons. Ces acides aminés sont détruits lors de l'hydrolyse acide pratiquée en phase analytique. Le glutamine et l'asparagine sont alors transformées respectivement en glutamate et en aspartate, augmentant ainsi leur nombre dans les acides aminés totaux. L'acide aminé le plus abondant était l'acide glutamique, suivi de la proline et de la leucine. Les acides aminés essentiels les plus présents étaient la leucine, la phénylalanine et la valine. Les teneurs en lysine et en méthionine, deux acides aminés limitants fréquemment présents dans les protéines végétales, étaient faibles.

Tableau 6.1.3b: Acides aminés totaux (partie 2)

Para-mètres	Échantillons	Unité	N	Médian e	Valeur moyenn e	s _x	Mini-mum	Maxi-mum	Farine de seigle ¹⁾
Proline	Farine	mg / g	21	8.45	8.97	1.38	7.28	12.28	0.19
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	6.26	6.70	1.30	5.31	10.78	-0.31
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	7.58	7.60	1.51	5.20	10.27	0.35
Cystine	Farine	mg / g	21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Lysine	Farine	mg / g	21	3.64	3.77	0.63	3.05	5.27	0.12
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	2.62	2.54	0.50	1.47	3.37	0.18
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	2.39	2.24	0.48	1.27	2.83	0.01
Tyrosine	Farine	mg / g	21	2.27	2.44	0.31	2.09	3.20	-0.02
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	1.74	1.80	0.32	1.47	2.80	-0.12
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	2.15	2.89	1.41	1.55	6.32	0.54
Cysteine	Farine	mg / g	21	2.72	2.37	0.64	1.50	3.11	-0.35
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	1.89	1.70	0.46	1.11	2.88	-0.23
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	1.48	1.64	0.43	1.22	2.88	0.06
Méthio-nine	Farine	mg / g	21	1.34	1.34	0.09	1.19	1.50	-0.05
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	0.98	0.98	0.18	0.40	1.34	-0.13
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	1.28	1.52	0.60	0.91	2.90	0.25
Valine	Farine	mg / g	21	4.65	4.91	0.79	3.92	6.80	0.07
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	3.50	3.67	0.63	2.90	5.22	-0.03
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	3.99	4.15	0.80	3.16	5.61	0.45
Isoleu-cine	Farine	mg / g	21	3.34	3.57	0.57	2.80	4.96	0.02
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	2.59	2.71	0.48	2.17	4.04	-0.07
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	2.79	2.76	0.30	2.26	3.25	0.03
Leucine	Farine	mg / g	21	5.85	6.30	0.99	5.02	8.82	0.01
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	4.45	4.65	0.90	3.11	7.08	-0.12
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	5.33	5.59	1.25	3.86	7.82	0.43
Phenyl-alanine	Farine	mg / g	21	4.42	4.94	0.94	3.84	7.08	0.18
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	3.38	3.68	0.77	2.79	5.70	-0.05
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	4.06	5.01	2.18	2.85	10.46	0.78
Trypto-phan	Farine	mg / g	21	1.09	1.10	0.14	0.91	1.52	-0.06
	Pains, 1 à 3 jours	mg / g	21	0.87	0.87	0.08	0.74	1.08	-0.04
	Pains, 8 à 10 jours	mg / g	21	0.89	0.90	0.08	0.72	1.09	0.04

1) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

À l'exception de la glutamine, de la cystine et du tryptophane, les teneurs en acides aminés libres dans la farine étaient systématiquement plus élevées en l'absence d'ajout de farine de blé (tabl. 6.1.3c et d).

Tableau 6.1.3c: Acides aminés libres (partie 1)

Para-mètres	Échantillons	Unité	N	Médian e	Valeur moyenn e	S _x	Mini-mum	Maxi-mum	Farine de seigle ¹⁾
Total	Farine	µg / g	21	1'922.41	1'965.27	243.52	1'539.51	2'397.13	226.49
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	1'403.62	1'440.33	348.42	933.06	2'193.39	532.85
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	1511.70	1501.76	428.45	826.14	2461.96	679.34
Histidine	Farine	µg / g	21	16.17	16.62	3.24	9.55	22.40	2.14
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	10.25	11.52	5.46	3.17	30.36	6.51
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	8.56	9.98	5.42	2.13	28.09	6.95
Aspara-gine	Farine	µg / g	21	604.64	612.54	100.51	391.13	877.10	91.18
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	290.53	249.16	107.42	12.20	432.70	67.88
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	247.68	251.68	124.84	15.87	500.98	102.66
Serine	Farine	µg / g	21	40.86	37.03	9.07	21.77	59.39	2.23
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	37.04	40.03	16.45	14.50	89.14	23.64
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	47.50	50.46	18.52	23.30	107.01	27.10
Gluta-mine	Farine	µg / g	21	116.13	122.10	22.63	84.15	189.42	-6.42
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	23.97	32.61	25.21	2.27	122.24	18.53
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	26.67	31.88	26.46	4.29	120.55	20.00
Arginine	Farine	µg / g	21	140.90	137.38	23.21	92.77	180.30	7.59
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	140.45	142.48	40.83	68.26	218.43	10.27
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	163.21	160.03	46.61	78.61	254.59	46.57
Glycine	Farine	µg / g	21	32.34	31.56	5.03	21.23	42.73	1.45
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	37.08	41.81	24.67	16.10	101.43	6.98
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	33.73	36.87	16.42	16.24	81.16	10.95
Acide asparti-que	Farine	µg / g	21	404.55	401.04	46.28	310.45	494.29	58.71
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	242.10	239.86	60.21	114.78	402.18	79.26
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	254.47	253.76	67.94	109.46	411.26	85.91
Acide glutami-que	Farine	µg / g	21	177.32	191.50	36.81	143.10	276.66	37.13
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	124.66	134.54	38.43	79.88	213.02	57.68
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	138.22	149.12	65.80	72.72	371.92	46.80
Threo-nine	Farine	µg / g	21	21.75	21.09	3.00	15.70	26.99	2.38
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	24.05	25.33	10.01	9.22	56.85	14.85
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	22.83	26.16	11.59	9.49	60.50	17.50
Alanine	Farine	µg / g	21	114.84	115.63	19.09	81.11	149.03	11.57
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	135.78	145.57	40.40	94.86	237.38	43.60
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	144.96	142.66	48.28	84.34	274.88	53.64

1) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

La dispersion des acides aminés libres était nettement plus grande que celle des acides aminés totaux, ce qui s'explique par deux facteurs opposés: l'activité variable des enzymes végétales et microbiennes (protéases et peptidases) libérant les acides aminés ainsi que la dégradation ultérieure des acides aminés libérés par les micro-organismes.

La cystine libre a été détectée dans la farine, mais pas dans les pains, ce qui peut s'expliquer par une dégradation microbienne lors de la préparation de la pâte.

Tableau 6.1.3d: Acides aminés libres (partie 2)

Para-mètres	Échantillons	Unité	N	Médian e	Valeur moyenn e	s _x	Mini- mum	Maxi- mum	Farine de seigle ¹⁾
Proline	Farine	µg / g	21	98.49	104.03	33.60	56.07	169.70	9.20
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	93.15	91.24	20.83	46.41	124.67	19.24
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	99.29	93.28	26.21	47.63	137.33	28.87
Cystine	Farine	µg / g	21	12.41	13.63	5.04	5.11	27.75	-2.40
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lysine	Farine	µg / g	21	23.85	23.43	3.23	17.08	28.73	1.25
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	38.53	38.27	14.45	10.32	81.99	19.74
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	36.01	38.85	15.10	14.79	76.41	25.82
Tyrosine	Farine	µg / g	21	21.93	22.81	4.64	15.30	36.39	3.25
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	35.58	35.56	12.31	16.02	67.11	12.83
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	39.24	43.37	14.17	21.10	79.47	20.63
Cysteine	Farine	µg / g	21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Methio-nine	Farine	µg / g	21	6.12	6.22	1.63	3.41	8.84	0.74
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	12.13	12.54	7.55	2.84	37.45	10.23
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	10.55	13.10	8.52	3.43	36.76	13.41
Valine	Farine	µg / g	21	42.22	42.42	6.49	31.33	55.74	4.42
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	52.37	58.88	24.41	29.65	121.71	35.04
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	52.63	60.32	28.42	32.65	139.83	42.85
Isoleu-cine	Farine	µg / g	21	19.77	20.20	3.68	13.62	29.60	1.58
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	23.31	24.43	10.63	10.09	56.96	13.66
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	21.41	25.10	12.25	9.19	65.63	18.09
Leucine	Farine	µg / g	21	9.77	9.93	1.90	6.46	13.65	0.88
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	47.94	62.05	46.37	14.75	186.12	60.98
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	52.47	64.88	52.54	15.58	221.27	76.15
Phenyl-alanine	Farine	µg / g	21	17.08	17.88	6.16	7.23	28.83	1.47
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	32.43	40.93	23.92	17.94	103.98	30.80
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	28.79	38.60	25.29	11.80	113.77	35.32
Tryptophane	Farine	µg / g	21	17.58	18.24	4.34	11.19	26.24	-1.84
	Pains, 1 à 3 jours	µg / g	21	13.38	13.52	4.41	3.36	25.12	1.13
	Pains, 8 à 10 jours	µg / g	21	11.63	11.64	3.43	4.23	19.17	0.12

1) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

6.2 Analyses physiques

6.2.1 Texture

À des fins de standardisation, tous les pains ont été congelés pendant plusieurs jours avant d’être décongelés puis analysés. Après décongélation, les pains des boulangeries 21 et 22 présentaient un cœur pâteux et n’ont donc pas pu être analysés (à l’exception de la couleur et de la macroscopie).

Les pains avec 100 % de farine de seigle étaient en moyenne un peu plus fermes après 1 à 3 jours que ceux contenant 8 à 10 % de farine de blé (tabl. 6.2.1). Cette différence était principalement liée aux pains des boulangeries 6 et 8 (fig. 6.2.1).

Tableau 6.2.1: Mesure de la texture à l'aide du test du cylindre (pains de 1 à 3 jours)

Paramètres	Unité	N ¹⁾	Médian e	Valeur moyenn e	s _x	Mini- mum	Maxi- mum	Farine de seigle ²⁾
Force à la rupture	N	19	6.7	7.4	2.5	4.7	12.6	1.5
Force à 33 % de déformation	N	19	5.7	6.3	2.2	4.0	11.1	1.4

1) Pains des boulangeries 21 et 22 exclus en raison d'un noyau pâteux
2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 12)

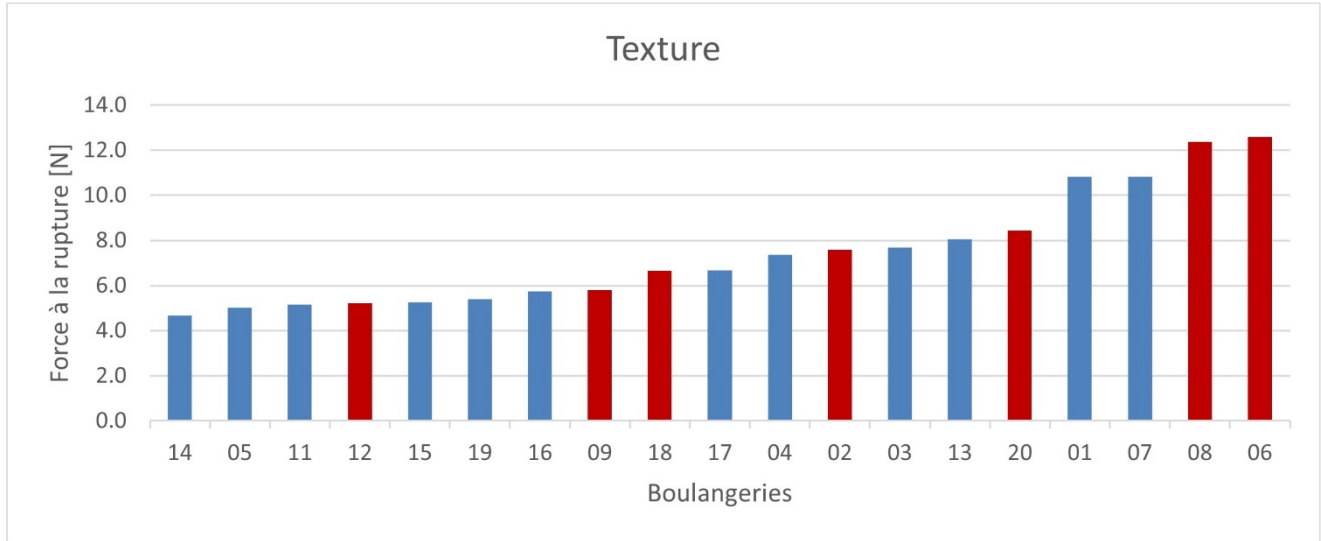


Figure 6.2.1: Mesure de la texture à l'aide du test du cylindre
(Barres rouges = boulangeries utilisant exclusivement de la farine de seigle)

6.2.2 Couleur

Les miettes des pains avec 100 % de farine de seigle étaient en moyenne légèrement plus foncés et présentaient une couleur un peu plus vive que les pains contenant un ajout de farine de blé (tabl. 6.2.2).

Tableau 6.2.2: Mesure des couleurs (pains 1 à 3 jours)

Paramètres	Unité	N	Médiane	Valeur moyenne	s _x	Mini-mum	Maximu m	Farine de seigle ¹⁾
Luminosité L*	N	19 ²⁾	47.0	47.3	2.7	40.1	51.7	-0.5
Rouge / Vert b*	N	21	6.8	6.8	0.7	5.9	8.8	0.6
Jaune / Bleu a*	N	21	15.7	15.7	1.1	13.7	18.5	0.4

1) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 12)

2) Pains des boulangeries 21 et 22 exclus en raison d'un noyau pâteux

6.2.3 Macroscopie

Les images macroscopiques illustrent les différences de couleur et indiquent également le volume des trous (fig. 6.2.3).

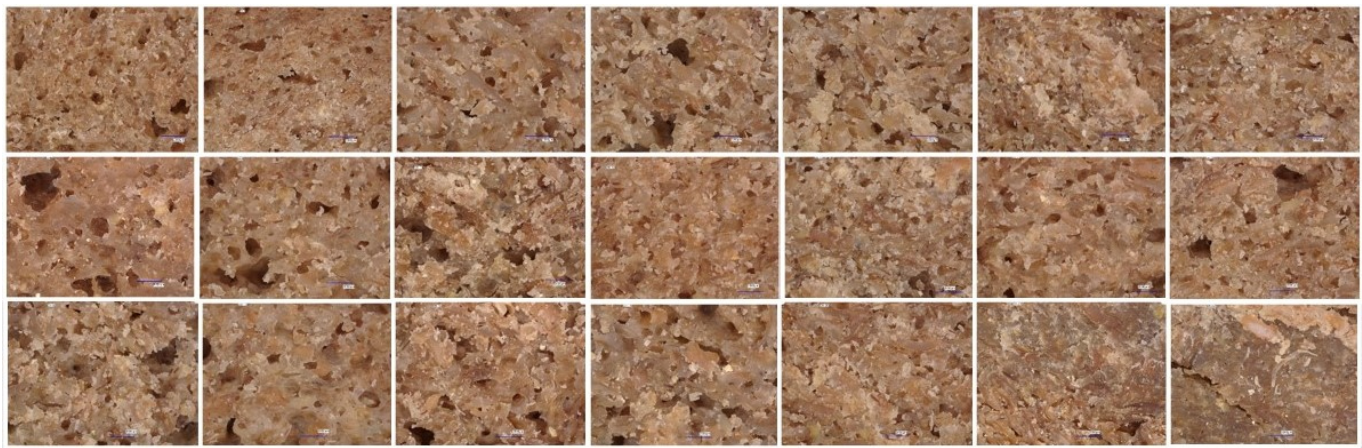


Figure 6.2.3: Images macroscopiques
Extraits de 1,6 x 1,2 cm chacun (rangée supérieure: boulangeries 1 à 7, rangée centrale: 8 à 15, rangée inférieure: 16 à 22)

6.2.4 Tomodensitométrie (TDM)

En moyenne, les pains de 1 kg présentaient un volume relatif des trous plus faible par rapport aux pains plus petits de ½ kg (tabl. 6.2.4a). L'ajout de farine de blé augmentait le volume relatif des trous, même si leur nombre diminuait (fig. 6.2.4). Toutefois, il convient de souligner que les boulangeries qui utilisaient exclusivement de la farine de seigle proposaient un pain qui s'inspirait davantage du pain de seigle valaisan AOP d'origine, dont la fabrication visait avant tout une longue durée de conservation.

Tableau 6.2.4a: Valeurs issues du tomodensitométrie (pains 1 à 3 jours)

Paramètres		Unité	N 1)	Médian e	Valeur moyenn e	s _x	Mini- mum	Maxi- mum	Farine de seigle 2)
Volume des pains	Pains 1 kg	L	15	0.86	0.85	0.06	0.74	0.98	0.06
	Pains ½ kg		4	0.45	0.47	0.07	0.39	0.59	
Volume des trous	Pains 1 kg	L	15	0.50	0.51	0.13	0.25	0.96	-0.11
	Pains ½ kg		4	0.29	0.31	0.08	0.23	0.42	
Volume rel. des trous	Pains 1 kg	% du volume des pains	15	38.4	36.8	6.7	22.2	48.0	-7.4
	Pains ½ kg		4	39.3	39.5	3.4	35.4	43.9	
Nombre de trous	Pains 1 kg		15	30'100	40'100	23'800	16'200	100'000	26'800
	Pains ½ kg		4	15'500	14'800	2'300	11'300	17'000	

1) Pains des boulangeries 21 et 22 exclus en raison d'un noyau pâteux
2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 12)

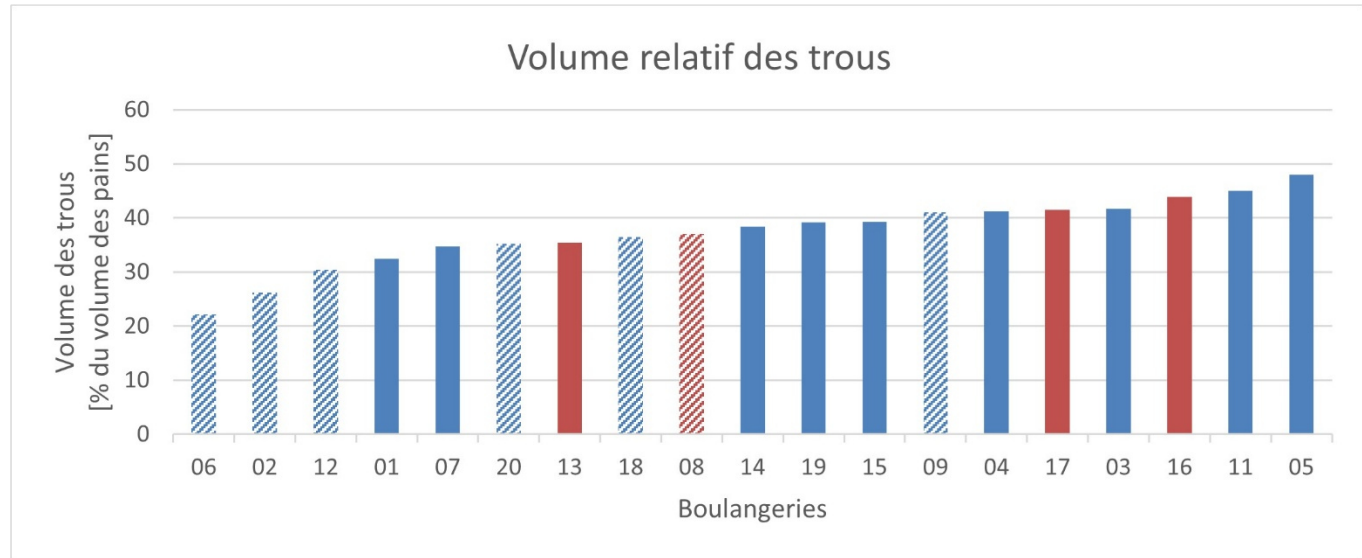
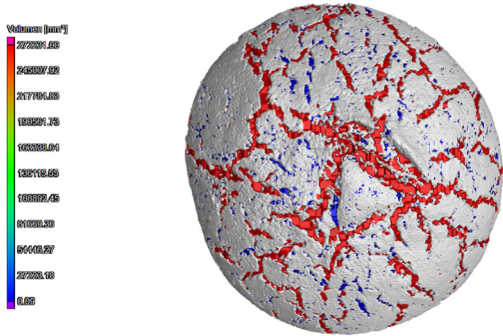
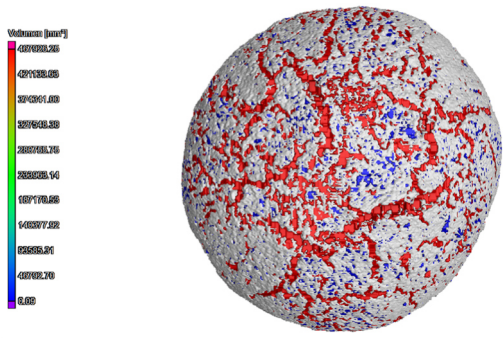
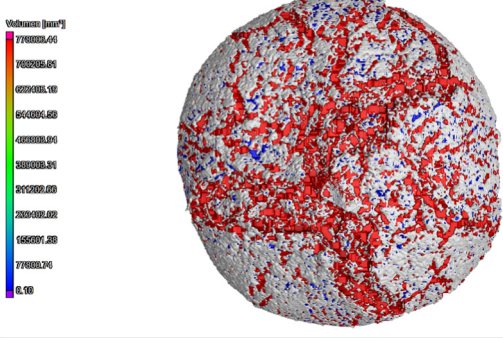


Figure 6.2.4: Volume relatif des trous
(barres bleues = pains de 1 kg, barres rouges = pains de ½ kg
Hachuré = pains à base de farine de seigle à 100 %)

Les topogrammes permettent une visualisation 3D des trous, ce qui permet une classification globale des pains en trois groupes (tabl. 6.2.4b).

Tableau 6.2.4b: Classification des pains (1 à 3 jours) sur la base des tomogrammes

Groupe	Figure	Caractéristique	Boulangeries
A	EH2 	Grand nombre de trous (54'200 – 100'000) Très nombreux petits trous, surtout sous les fissures de la croûte Petit volume relatif des trous (22.2 – 32.5 %)	Pains 1 kg: 1, 2, 6, 12
B	EH19 	Nombre moyen de trous (24'600 – 35'900) Petits et grands trous Volume relatif des trous moyen à grand (34.7 – 41.3 %)	Pains 1 kg: 4, 7, 9, 14, 15, 18, 19, 20
C	EH5 	Petit nombre de trous (11'300 – 19'100) Trous généralement un peu plus grands, répartis de manière assez homogène Volume relatif des trous moyen à élevé (35.4 – 48.0 %)	Pains 1 kg: 3, 5, 11 Pains ½ kg: 8, 13, 16, 17

6.3 Description sensorielle

6.3.1 Texture

D'importants écarts ont été observés au niveau de la description sensorielle de la texture et des perceptions trigéminales, notamment en ce qui concerne les caractéristiques «croustillant» et «persistant».

Tableau 6.3.1: Description sensorielle de la texture et des perceptions trigéminales

Attributs ¹⁾	Âge des pains	N	Médiane	Valeur moyenne	s _x	Minimum	Maximum	Farine de seigle ²⁾
ferme	1-3 jours	21	3.2	3.2	0.4	2.4	4.1	0.4
	8-10 jours ³⁾	18	4.5	4.6	0.8	3.3	6.6	-0.2
	Différence	18	1.3	1.3	0.7	0.4	2.5	-0.5
croustillant	1-3 jours	21	4.6	4.7	0.9	2.9	7.0	0.7
	8-10 jours	18	5.0	4.8	1.0	2.5	6.3	-0.5
	Différence	18	0.2	0.1	1.0	-1.7	1.7	-1.2
élastique	1-3 jours	21	3.1	3.2	0.5	2.5	4.2	-0.1
	8-10 jours	18	1.6	1.7	0.3	1.2	2.5	-0.3
	Différence	18	-1.8	-1.6	0.6	-2.6	-0.2	-0.1
humide	1-3 jours	21	3.4	3.6	0.7	2.2	4.9	0.0
	8-10 jours	18	1.9	2.0	0.5	1.3	2.8	0.1
	Différence	18	-1.4	-1.5	0.9	-3.6	-0.1	-0.1
adhésif	1-3 jours	21	2.5	2.5	0.5	1.9	3.7	0.0
	8-10 jours	18	2.1	2.3	0.7	1.3	3.8	0.0
	Différence	18	-0.4	-0.2	0.7	-1.4	1.4	0.0
granuleux	1-3 jours	21	3.5	3.5	0.5	2.4	4.4	0.1
	8-10 jours	18	3.8	3.9	0.5	3.1	5.0	-0.5
	Différence	18	0.3	0.3	0.6	-0.4	1.9	-0.6
astringent	1-3 jours	21	1.3	1.3	0.6	0.6	3.4	0.5
	8-10 jours	18	1.3	1.5	0.8	0.6	3.4	0.7
	Différence	18	<0.1	0.1	0.4	-0.4	1.5	0.3
persistant	1-3 jours	21	4.3	4.2	0.9	2.7	6.4	0.4
	8-10 jours	18	3.6	4.0	1.0	3.0	6.7	0.7
	Différence	18	-0.5	-0.4	0.7	-1.4	1.2	0.4

1) Échelle linéaire non structurée (10 cm), calculée à partir des valeurs médianes du panel

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

3) Les pains provenant des boulangeries 14, 16 et 19 ont présenté une légère moisissure pendant la semaine de stockage, ce qui a empêché toute description sensorielle. Le nombre d'établissements ayant ajouté de la farine de blé a ainsi été réduit à 11.

Au cours de la semaine de stockage à température ambiante dans un sac en lin, les pains de seigle sont devenus en moyenne nettement plus fermes, plus secs et nettement moins élastiques. Ces changements ont été observés sur l'ensemble des 18 pains analysés, mais à des degrés très variables.

Les pains à base de 100 % de farine de seigle étaient plus fermes et plus croustillants après 1 à 3 jours que ceux avec un ajout de 8 à 10 % de farine de blé. L'inverse a été constaté après une semaine de stockage, ce qui signifie que les pains avec ajout de farine de blé ont nettement gagné en fermeté.

Pour tous les autres attributs de texture et perceptions trigéminales, les changements observés durant le stockage ont été nettement moins importants.

Il faut souligner que les quatre pains avec la fermeté la plus importante ont tous été fabriqués avec 100 % de farine de seigle. Les boulangeries 12, 18 et 20 ont démontré qu'il est également possible d'obtenir une fermeté moyenne avec des pains contenant 100 % de farine de seigle.

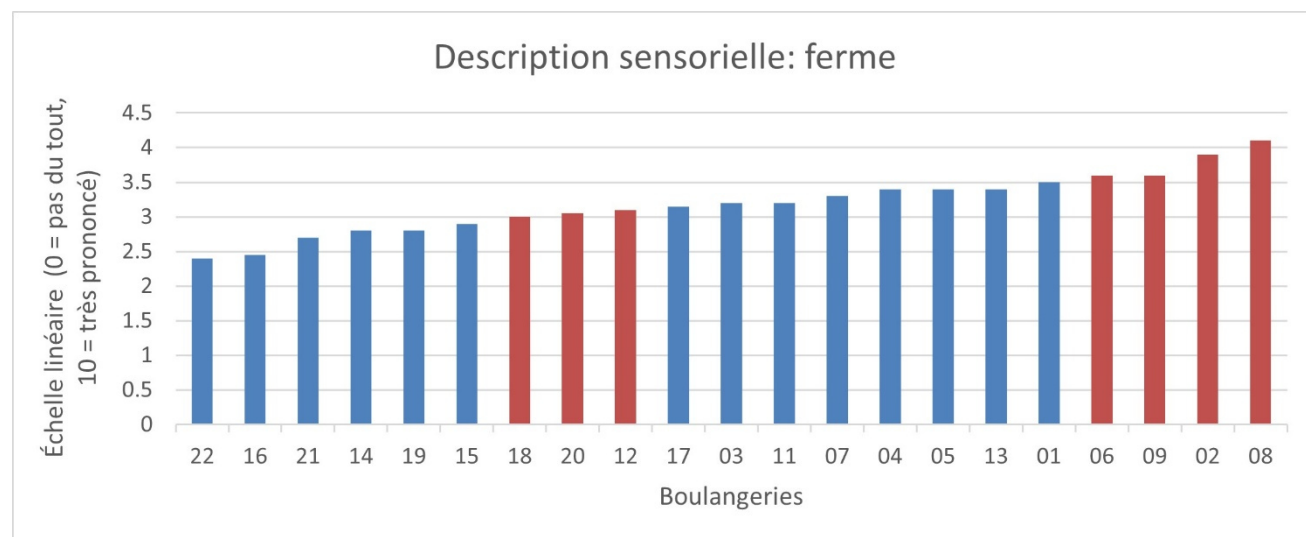


Figure 6.3.1a: Attribut « ferme » pour les pains âgés de 1 à 3 jours

(barres bleues = pains contenant 8 à 10 % de farine de blé, barres rouges = pains contenant 100 % de farine de seigle)

Pour l'attribut « humide », le pain de la boulangerie 13 s'est distingué par une valeur nettement plus faible. Les pains des boulangeries 3, 7, 8 et 19 se situaient à l'autre extrémité de l'échelle.

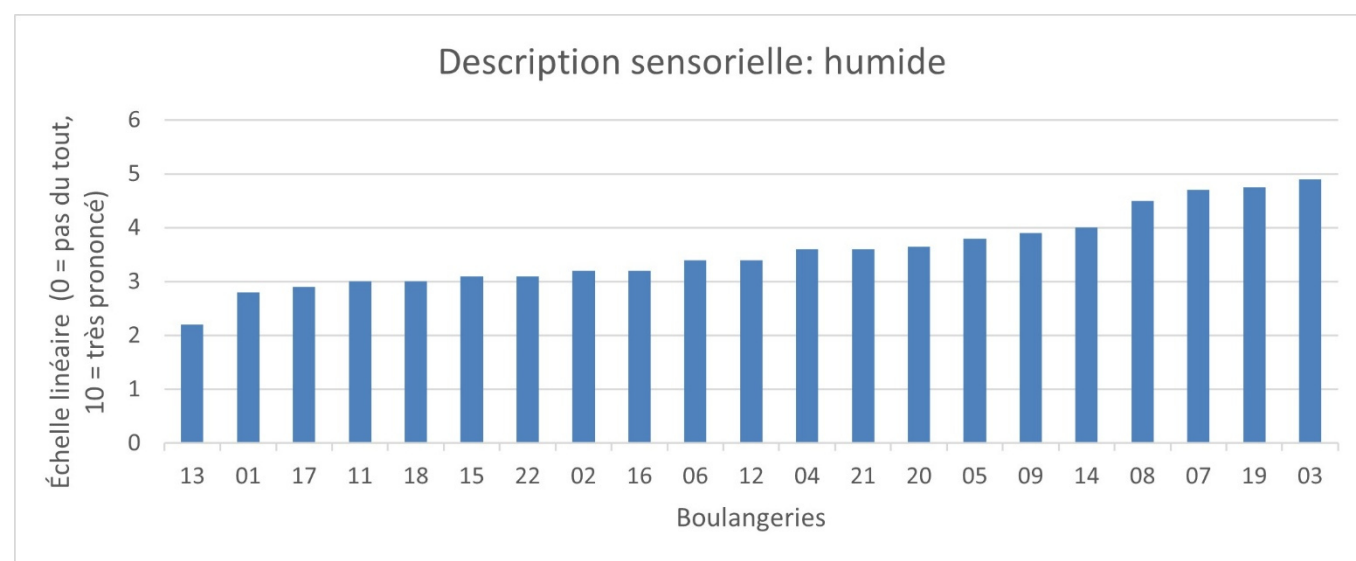


Figure 6.3.1b: Attribut « humide » pour les pains âgés de 1 à 3 jours

Aucune corrélation n'a été observée entre les attributs « ferme » et « humide ».

La croûte des 21 pains présentait une grande diversité de croustillance. Le pain de la boulangerie 8, avec la croustillance la plus élevée, présentait également la valeur la plus élevée en termes de fermeté. Cependant, aucune corrélation systématique n'a pas été établie entre ces deux attributs.

Le pain de la boulangerie 22 était le moins croustillant. Cette boulangerie a également produit un pain pour lequel aucune mesure physique n'a pu être réalisée en raison d'un cœur trop pâteux.

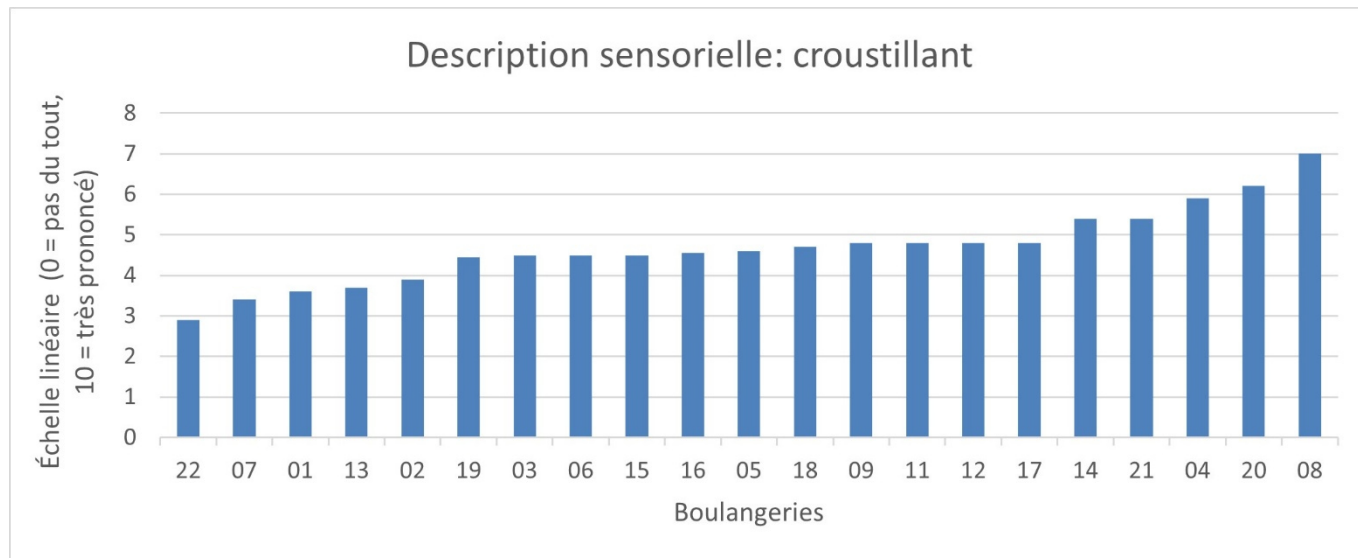


Figure 6.3.1c: Attribut «croustillant» pour les pains âgés de 1 à 3 jours

En ce qui concerne «persistant» que les deux pains présentant les valeurs les plus élevées (8 et 12) se caractérisaient également par une acidité prononcée (fig. 6.3.2a).

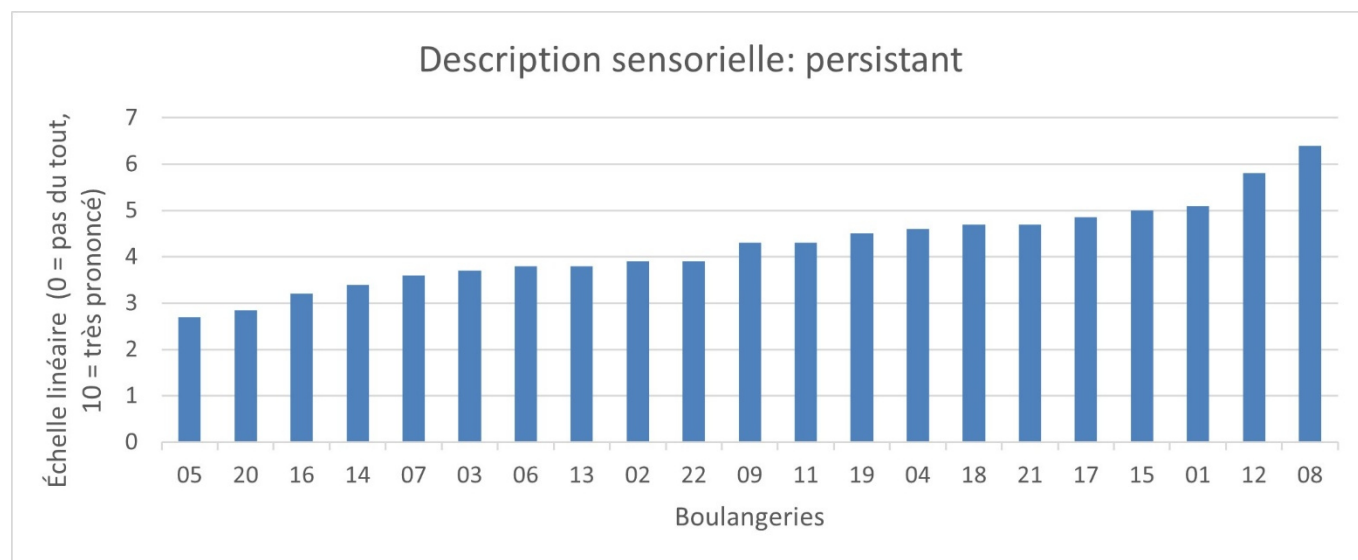


Figure 6.3.1d: Attribut «persistant» pour les pains âgés de 1 à 3 jours

6.3.2 Goût

Dans l'ensemble, les pains étaient légèrement salés et tous les autres attributs gustatifs étaient peu prononcés.

Tableau 6.3.2: Description sensorielle du goût des pains de seigle

Attributs ¹⁾	Âge des pains	N	Médiane	Valeur moyenne	s _x	Mini-mum	Maximum	Farine de seigle ²⁾
salé	1-3 jours	21	3.3	3.3	0.5	2.4	4.3	0.5
	8-10 jours ³⁾	18	3.5	3.4	0.4	2.4	4.0	0.1
	Différence	18	0.0	0.1	0.6	-1.0	1.6	-0.5
acide	1-3 jours	21	2.2	2.6	1.4	1.4	6.8	1.5
	8-10 jours	18	2.4	2.8	1.7	1.2	7.0	2.0
	Différence	18	-0.1	<0.1	0.6	-0.6	2.1	0.6
sucré	1-3 jours	21	1.7	1.7	0.3	1.3	2.3	-0.2
	8-10 jours	18	1.4	1.5	0.5	0.8	3.1	-0.3
	Différence	18	-0.4	-0.3	0.4	-0.7	0.8	0.0
amer	1-3 jours	21	0.7	0.7	0.3	0.2	1.6	0.3
	8-10 jours	18	0.7	0.7	0.3	0.2	1.4	0.1
	Différence	18	-0.2	<0.1	0.5	-0.7	1.0	-0.2
umami	1-3 jours	21	1.5	1.5	0.5	0.8	2.7	0.3
	8-10 jours	18	1.2	1.3	0.4	0.7	1.9	0.2
	Différence	18	-0.3	-0.3	0.5	-1.3	0.5	-0.1

1) Échelle linéaire non structurée (10 cm), calculée à partir des valeurs médianes du panel
2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)
3) Les pains provenant des boulangeries 14, 16 et 19 ont présenté une légère moisissure pendant la semaine de stockage, ce qui a empêché toute description sensorielle. Le nombre d'établissements ayant ajouté de la farine de blé a ainsi été réduit à 11.

Le stockage dans un sac en lin pendant une semaine n'a entraîné que de très légers changements au niveau du goût.

Les pains composés uniquement de farine de seigle étaient dans l'ensemble nettement plus acidulés et légèrement plus salés que ceux avec un ajout de farine de blé.

La majorité des pains de seigle valaisans n'étaient pas acides. Les quatre pains des boulangeries 1, 15, 17 et 18 ont affiché une légère acidité. Seuls deux pains (8 et 12) se sont distingués par une acidité prononcée. Ils présentaient la teneur la plus élevée en acide lactique (fig. 6.1.2e), avec les valeurs les plus élevées pour les attributs «persistant» (fig. 6.3.1d) et «fermenté» (fig. 6.3.3c).

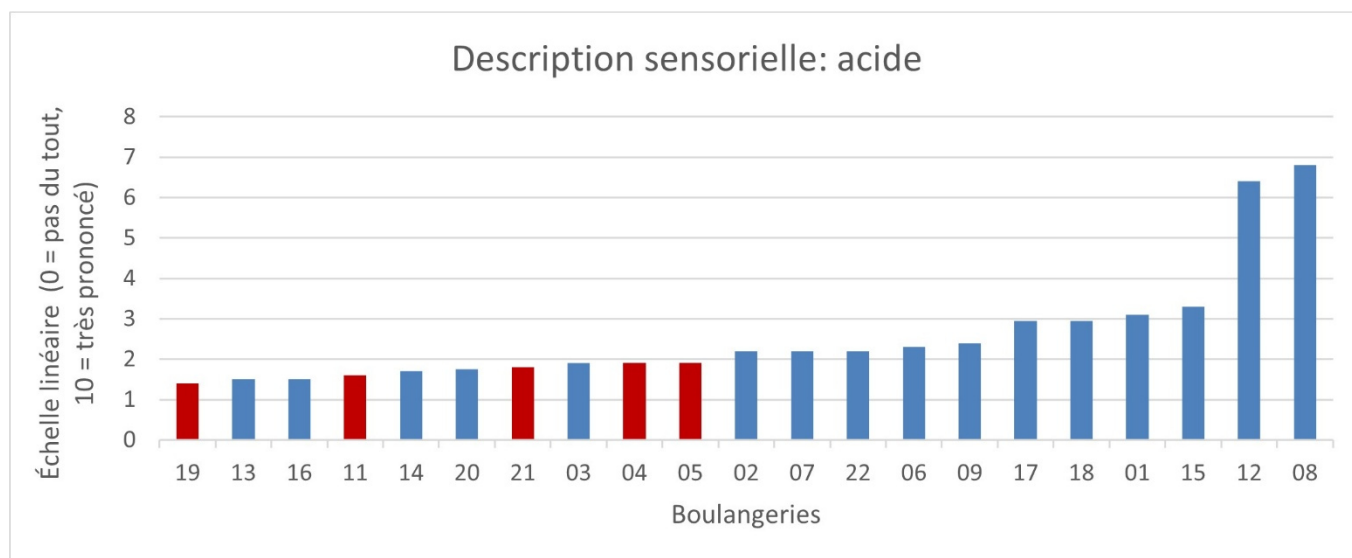


Figure 6.3.2a: Attribut « acide » pour les pains âgés de 1 à 3 jours
(barres rouges = pains dans lesquels aucune trace d'acide lactique n'a pu être détectée)

Les pains des boulangeries 6, 9 et 12 étaient un peu plus salés, ce qui ne s'explique pas par la quantité de sel ajoutée (tabl. 3.1).

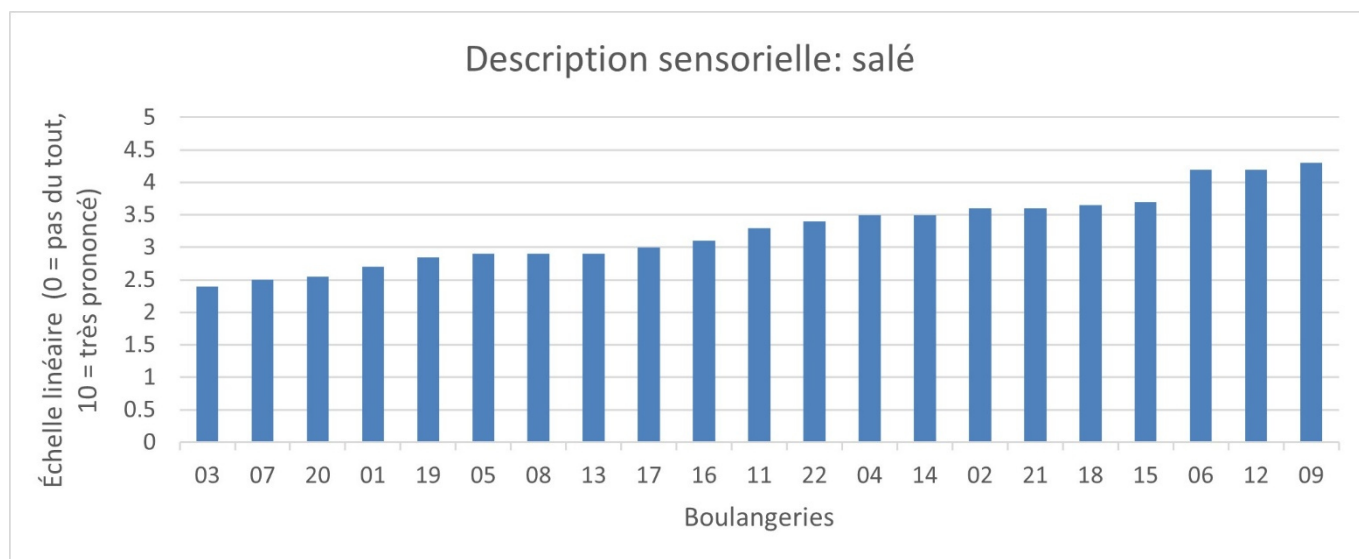


Figure 6.3.2b: Attribut «salé» pour les pains âgés de 1 à 3 jours

6.3.3 Arôme

L'intensité aromatique des pains était moyenne. L'attribut «céréaliier» a obtenu la note la plus élevée. Tous les autres attributs évalués n'ont obtenu qu'une faible note.

Tableau 6.3.3: Description sensorielle de l'arôme des pains de seigle

Attributs ¹⁾	Âge des pains	N	Médiane	Valeur moyenne	s _x	Minimum	Maximum	Farine de seigle ²⁾
Intensité aromatique	1-3 jours	21	4.8	4.9	0.6	3.9	6.2	0.4
	8-10 jours ³⁾	18	4.6	4.6	0.6	3.7	6.0	0.2
	Différence	18	-0.3	-0.4	0.5	-1.8	0.4	-0.1
fruité	1-3 jours	21	2.3	2.3	0.4	1.6	3.3	0.4
	8-10 jours	18	2.0	2.1	0.6	1.4	3.8	0.3
	Différence	18	-0.2	-0.2	0.5	-1.3	0.5	0.0
fermenté	1-3 jours	21	3.2	3.2	0.9	2.0	5.5	0.8
	8-10 jours	18	2.3	2.7	0.9	1.7	4.5	0.5
	Différence	18	-0.4	-0.6	0.6	-1.6	0.4	-0.3
torréfié	1-3 jours	21	2.5	2.6	0.7	1.6	4.1	0.1
	8-10 jours	18	2.6	2.6	0.8	1.6	4.7	-0.2
	Différence	18	-0.2	-0.2	0.7	-1.1	2.3	-0.2
céréaliier	1-3 jours	21	4.6	4.5	0.9	3.2	6.7	-0.3
	8-10 jours	18	4.6	4.5	0.6	3.5	6.0	-0.3
	Différence	18	-0.2	-0.1	0.8	-2.0	1.2	0.0
épicé	1-3 jours	21	2.0	1.9	0.4	1.4	2.9	0.3
	8-10 jours	18	1.6	1.6	0.6	1.0	3.3	-0.1
	Différence	18	-0.4	-0.4	0.6	-1.3	1.1	-0.3

1) Échelle linéaire non structurée (10 cm), calculée à partir des valeurs médianes du panel

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

3) Les pains provenant des boulangeries 14, 16 et 19 ont présenté une légère moisissure pendant la semaine de stockage, ce qui a empêché toute description sensorielle. Le nombre d'établissements ayant ajouté de la farine de blé a ainsi été réduit à 11.

Le stockage dans un sac en lin pendant une semaine n'a entraîné que de très légères modifications de l'intensité aromatique. En moyenne, seul l'attribut «fermenté» a connu une baisse significative.

Les pains à base de 100 % de farine de seigle étaient légèrement plus aromatiques, fruités et fermentés, tout en restant un peu moins «céréaliiers».

S’agissant de l’intensité aromatique, il faut souligner que, selon les déclarations des boulangeries, les deux pains ayant obtenu la note la plus élevée ont été fabriqués sans ajout de levure boulangère (fig. 6.3.3a).

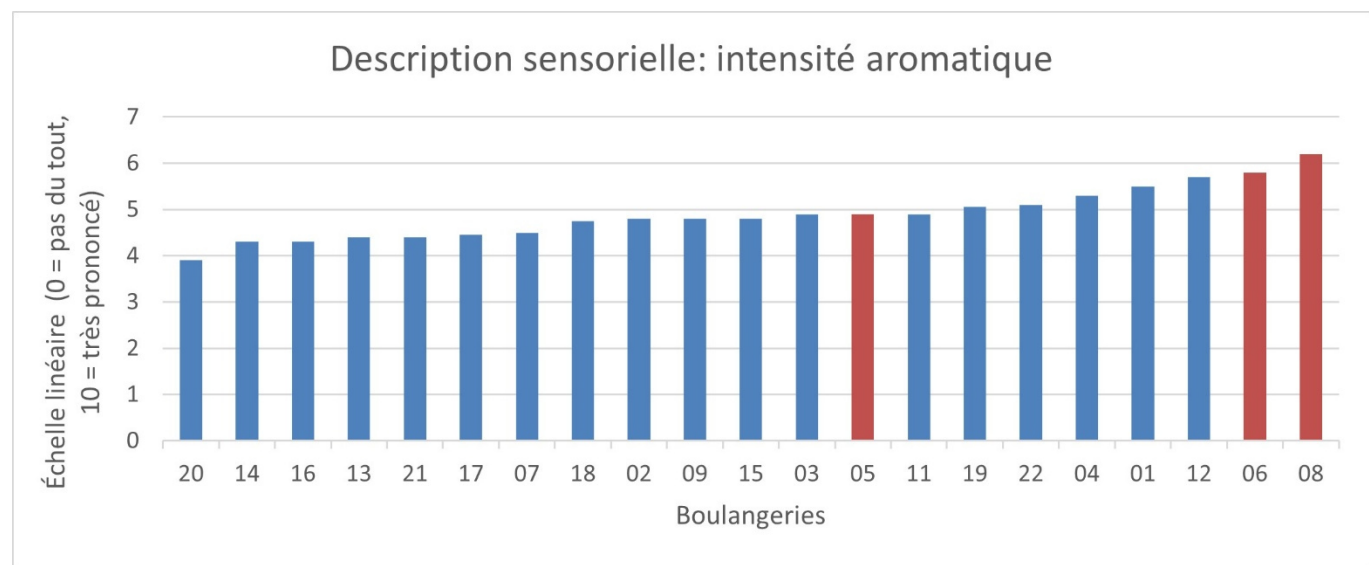


Figure 6.3.3a: Attribut «intensité aromatique» pour les pains âgés de 1 à 3 jours
(barres bleues = avec ajout de levure, barres rouges = sans ajout de levure)

Les pains des boulangeries 3, 4 et 9 étaient les plus céréaliés (fig. 6.3.3b).

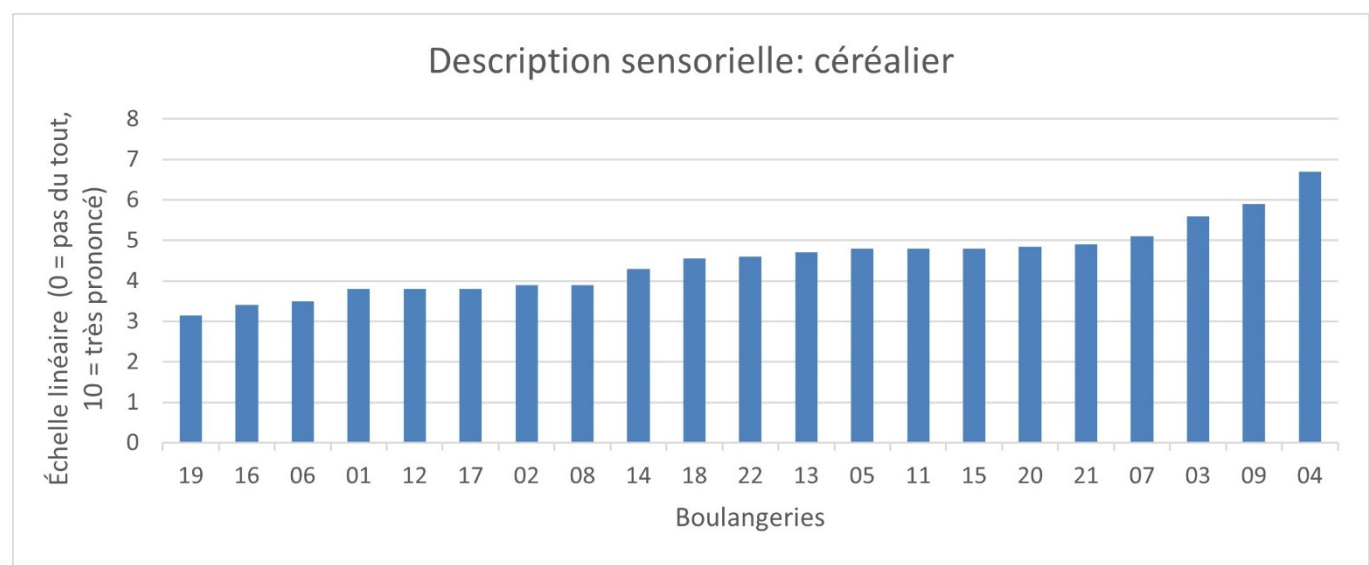


Figure 6.3.3b: Attribut «céréalié» pour les pains âgés de 1 à 3 jours

Les deux pains avec la note la plus élevée pour l'attribut «fermenté» (boulangeries 8 et 12) se distinguaient également par une acidité prononcée (fig. 6.3.2a). Ces deux pains ont aussi obtenu les valeurs les plus élevées pour l'attribut «persistant» (fig. 6.3.1d).

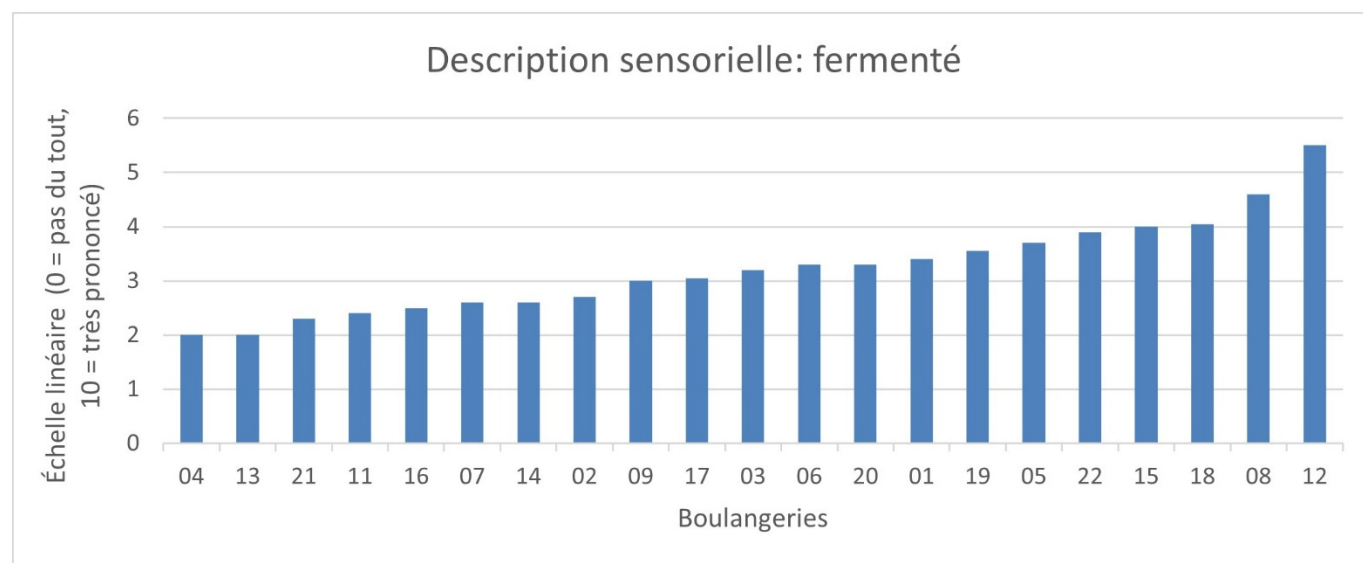


Figure 6.3.3c: Attribut «fermenté» pour les pains âgés de 1 à 3 jours

Les trois pains (3, 4 et 9) les plus céréaliés (fig. 6.3.3b) ont également obtenu une note plus élevée pour l'attribut «torréfié» (fig. 6.3.3d).

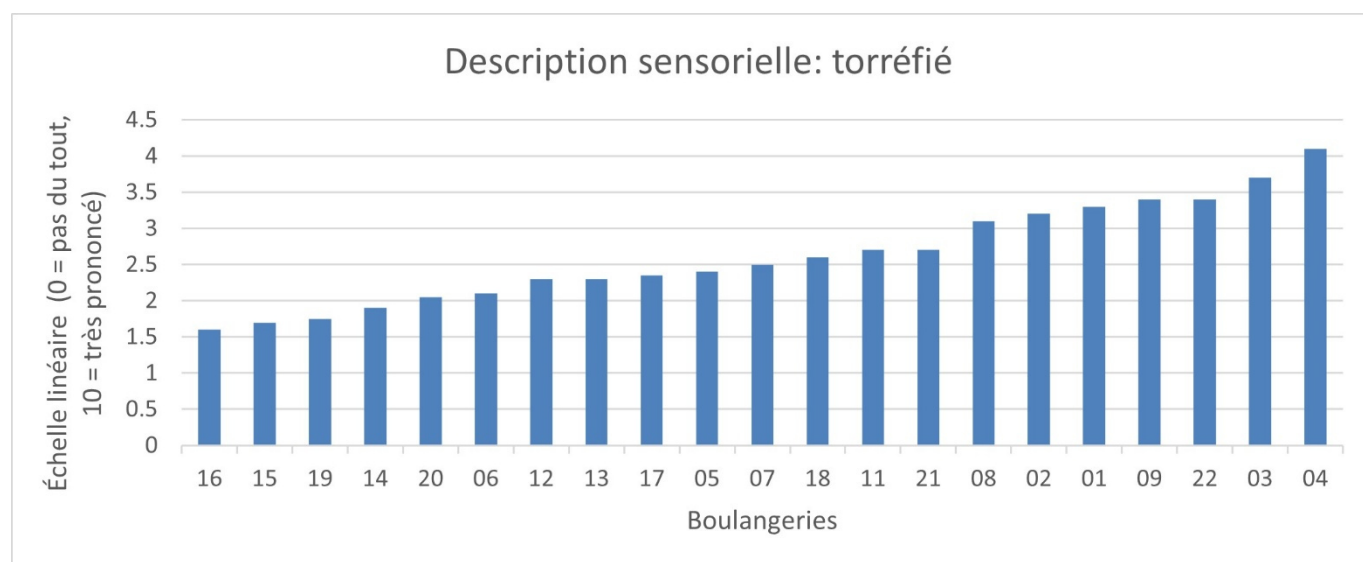


Figure 6.3.3d: Attribut «torréfié» pour les pains âgés de 1 à 3 jours

6.3.4 Regroupement par attributs et boulangeries

Les pains de seigle valaisans AOP des 21 boulangeries participantes avaient un arôme persistant, céréaliers et croustillants, comme le montre la coloration rouge (valeurs entre 4 et 7) du diagramme 6.3.4. Ils n'étaient pas acides, à l'exception des pains 8 et 12.

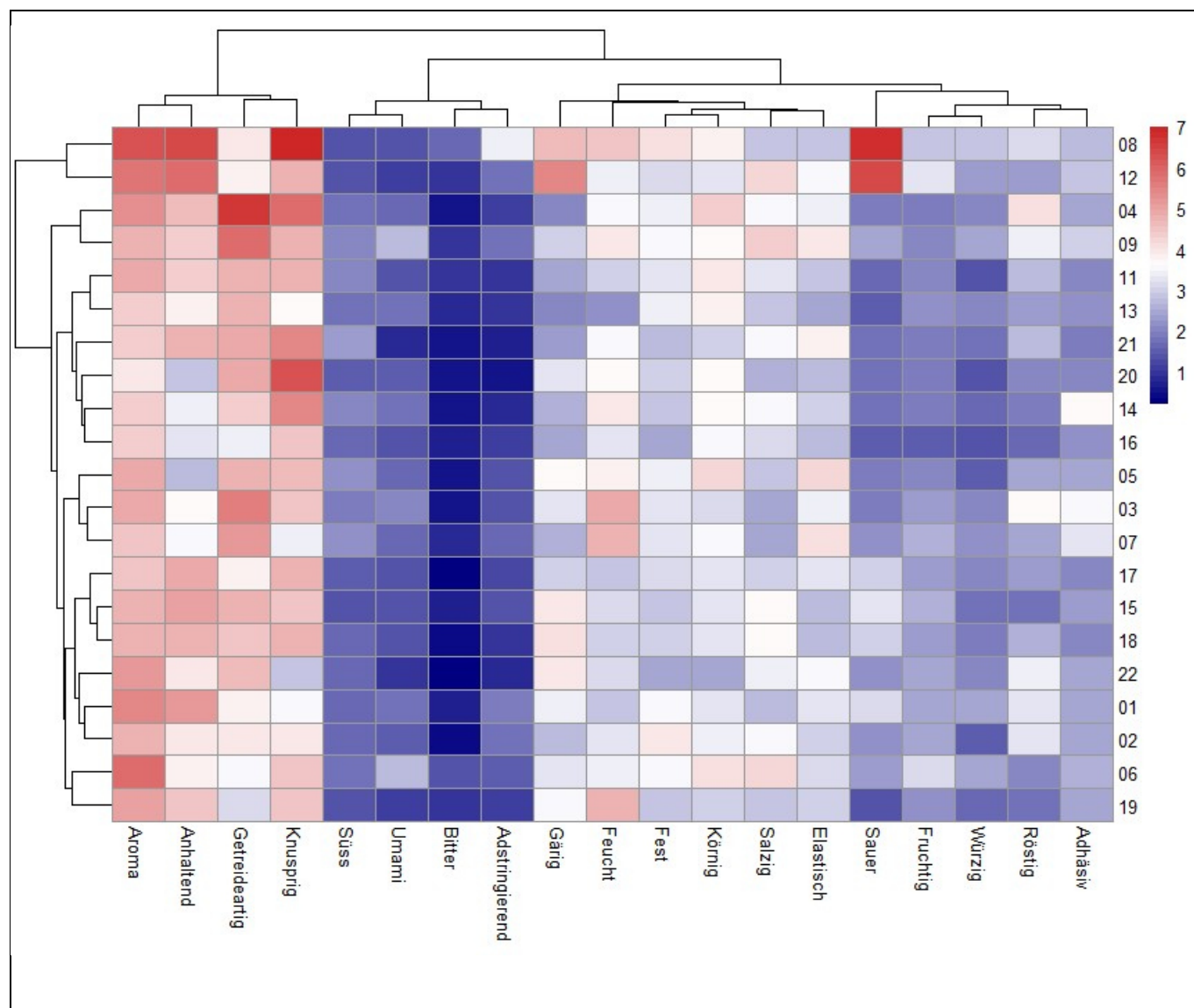
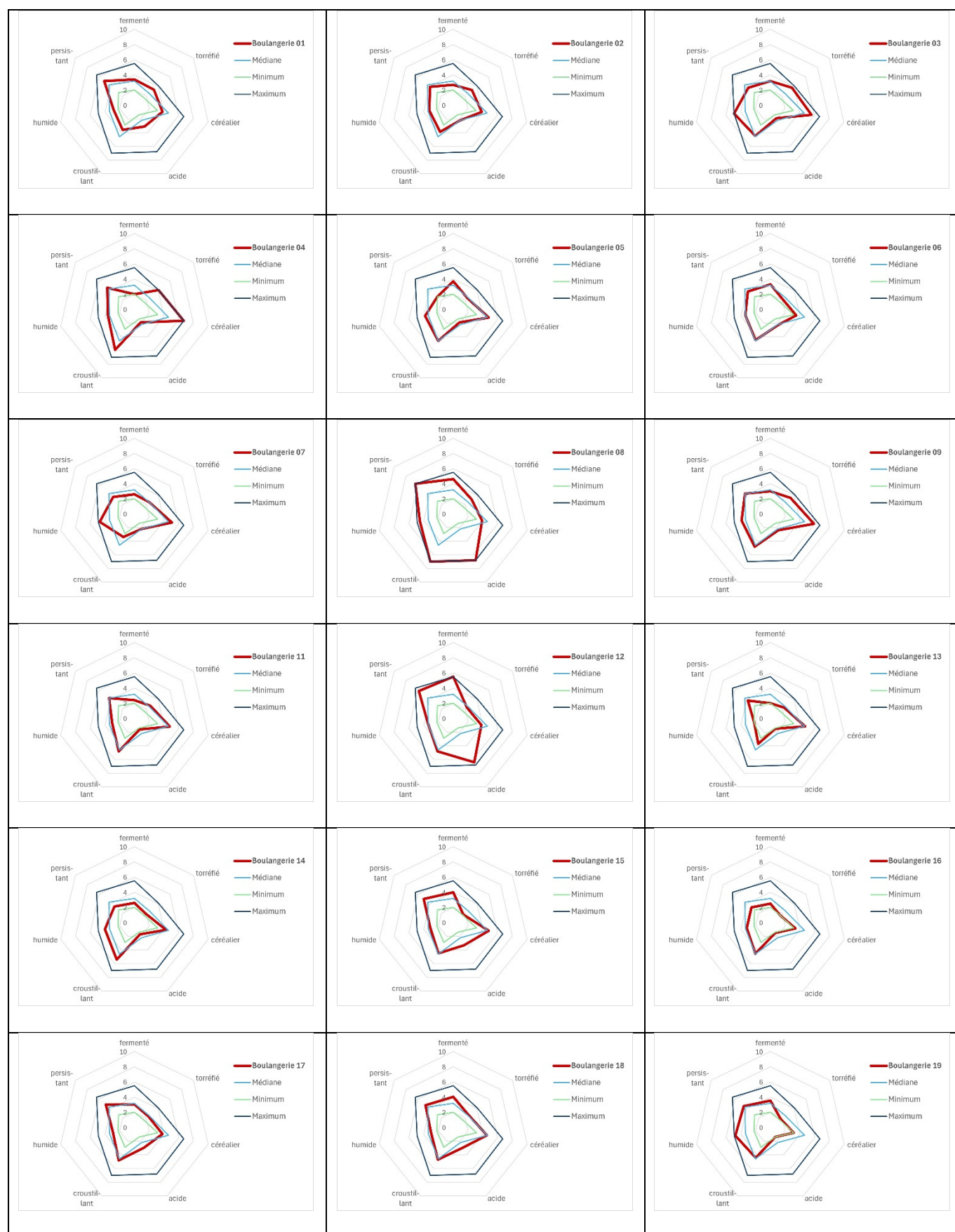


Figure 6.3.4 : Regroupement par attributs et boulangeries

Une caractéristique commune à tous les pains était l'absence des attributs sucré, amère et umami. Concernant l'arôme, les attributs «fruité», «épicé» et «torréfié» ont été évalués comme étant peu prononcés. Les pains n'étaient ni adhésifs ni astringents (coloration bleue, valeurs entre 1 et 3).

6.3.5 Diagrammes en araignée

Les diagrammes en toile d'araignée présentant sept attributs sélectionnés illustrent de manière saisissante la grande diversité dont peut faire preuve le pain de seigle valaisan AOP (fig. 6.3.5).



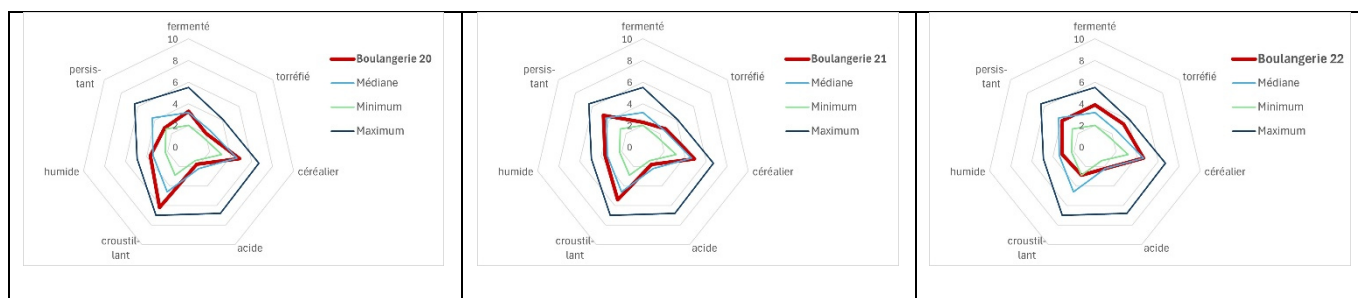


Figure 6.3.5: Principaux attributs sensoriels des pains âgés de 1 à 3 jours

6.4 Petit test auprès des consommateurs

Le concept et les premiers résultats de cette étude ont été présentés lors de la manifestation annuelle «Cheese & Science» du 11 juin 2024 organisé par Agroscope à Liebefeld. Le public a été invité à répondre à trois questions.

La première question portait sur les termes qu'il associait au pain de seigle. Il est apparu que le pain de seigle est très fortement ancré dans le canton du Valais et les termes utilisés pour le décrire étaient en majorité positifs (fig. 6.4a).

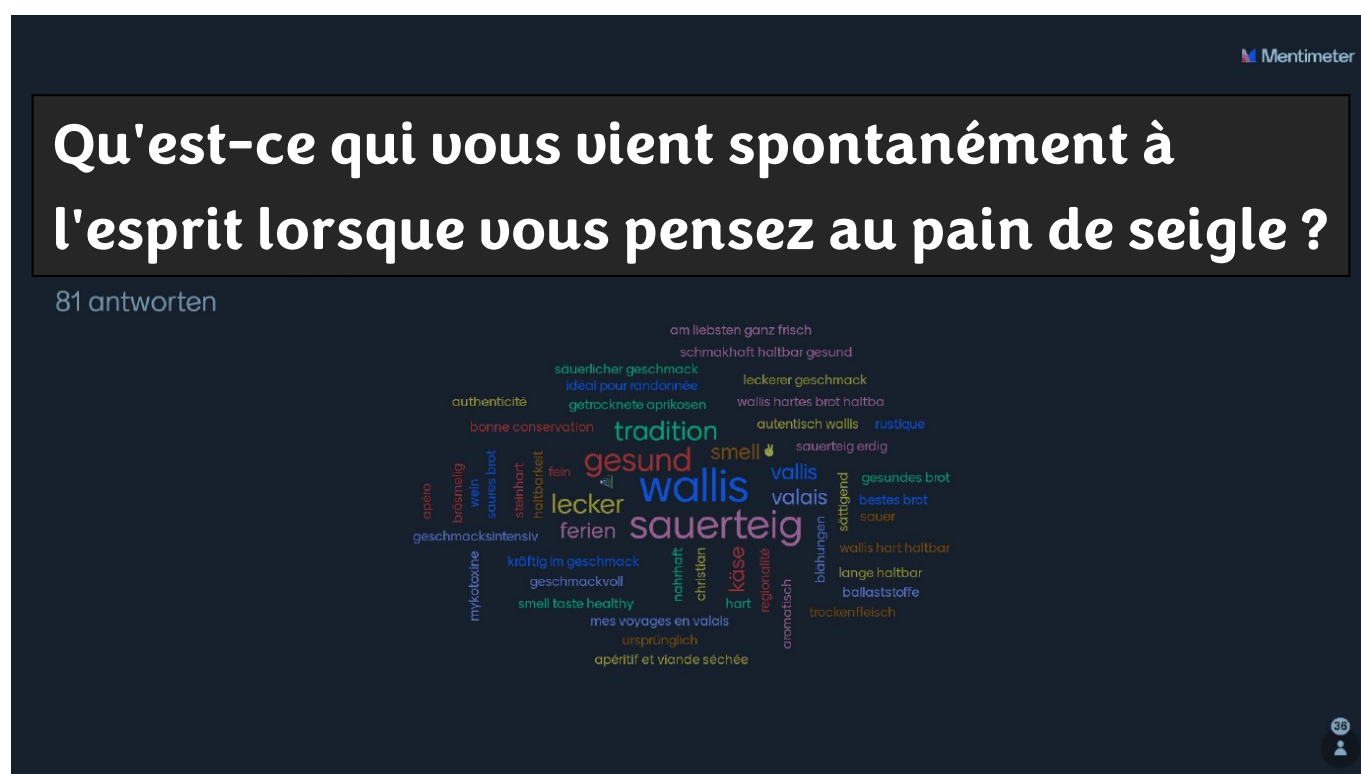


Figure 6.4a: Regroupement des réponses à la question 1 par fréquence

Avec la deuxième question, le public devait choisir son pain préféré parmi deux échantillons anonymes de pain de seigle valaisan AOP:

- Échantillon 615 de la boulangerie 5, un pain de seigle légèrement acide
- Échantillon 230 de la boulangerie 12, un pain de seigle avec une acidité prononcée

Le choix du public s'est porté, avec une majorité d'une seule voix, sur le pain de seigle légèrement acide de la boulangerie 5 (fig. 6.4 b).



6.5 Composants aromatiques volatils

L'annexe 12 présente un aperçu complet de la répartition statistique des données brutes des pâtons, des pains âgés de 1 à 3 jours et des pains âgés de 8 à 10 jours. Étant donné qu'au moins 361 espèces différentes (plusieurs espèces pouvant appartenir à un même composant) ont été détectées, seules quelques espèces «remarquables» ont pu être identifiées à l'aide de la base de données NIST (tabl. 6.5a).

Tableau 6.5a: Espèces remarquables dans le volatilome

Remarquabilité	Critères	Composants volatils (ID)
Très grande variabilité dans les pâtons	Médiane > 1'000 et moyenne / s_x < 0,8 et moins d'un tiers de valeurs nulles	1-Methylcyclohexa-1,3-diene (019), Decanoic acid, ethyl ester (025), Acetone (034), 2-Methylenecyclohexanol (062, 193), Heptanal (125), 2-[2-(2-butoxyethoxy)ethoxy]-Ethanol (137), 2-Methylenecyclohexanol (157), Acetic acid (240), Cyclopentene (297, 327), 1-Octen-3-ol (314), Hexanal (362)
Forte augmentation due à la cuisson	Valeur moyenne multipliée par au moins 10 et médiane > 1' 000	Furfural (009, 336, 351), methyl-Pyrazine (029), 1-(2-furanyl)-Ethanone (038), 5-methyl-2-Furancarboxaldehyde (053), 2-Methoxy-4-vinylphenol (075), Furfuryl ethyl ether (128), Heptane (241)
Teneur élevée dans les pains	Moyenne > 50'000	2,3-Butanedione (003, 253), Acetic acid (004, 013, 240), Acetoin (005, 121), 3-Methylbutanol (006), Furfural (009), Ethanol (011), Propanoic acid, 2-hydroxy-, ethyl ester (012), 3-Methylbutanal (028), Heptane (241), 2-methyl-1-Propanol (277)
Changement important après une semaine de stockage	Valeur moyenne modifiée d'un facteur 3 au moins et médiane > 1'000	<u>Augmentation</u> : Heptanal (125), 2-Octanone (152), 2-methyl-Propanoic acid (261, 285), 1-Octen-3-ol (314) <u>Diminution</u> : Heptane (021, 241), Butanal (083), 2-Methylenecyclohexanol (157), 4,4-dimethyl-2-Cyclohexen-1-one (246), Propanoic acid, 2-hydroxy-, 2-methylpropyl ester (295)
Grande différence lors de l'utilisation de farine 100 % seigle	Valeur moyenne modifiée d'un facteur 3 au moins et médiane > 1'000	<u>Augmentation</u> : 1-Hexanol (007), Furfural (009, 336, 351), 2-ethoxy-Propane (030), 2-Methylenecyclohexanol (157, 193 uniquement pâtons), 2-Methylenecyclohexanol (193, uniquement pâtons), 1-Octen-3-ol (314) <u>Diminution</u> : Heptane (021), 2-Methylenecyclohexanol (193, uniquement des pains d'une semaine)
Grande différence lors de l'utilisation d'une Poolisch	Valeur moyenne modifiée d'un facteur 3 au moins et médiane > 1'000	<u>Augmentation</u> : Heptane (021, 241), Heptanal (125), Cyclopentene (327) <u>Diminution</u> : 2-ethoxy-Propane (030), 2-[2-(2-butoxyethoxy)ethoxy]-Ethanol (137), 2-methyl-1-Propanol (298), 1-Octen-3-ol (314)
Grande différence entre les pains qui ont développé un peu de moisissure pendant le stockage	Valeur moyenne modifiée d'un facteur 3 au moins et médiane > 1'000	<u>Augmentation</u> : Octanoic acid ethyl ester (018), Decanoic acid, ethyl ester (025), 1,1-dimethyl-Hydrazine (052, 180) <u>Diminution</u> : Furfural (009, 336), Heptane (021, 241), Isobutyl acetate (023), Acetone (034), Heptanal (125), Acetonitrile (145), 2-Octanone (152)

Une sélection de composants a également été comparée avec les données disponibles dans la littérature (Pétel et al., 2017) (tabl. 6.5b et 6.5d). Pour les composants ne figurant pas dans cette revue de la littérature, les informations sur l'odeur ont été extraites de la base de données de «The Good Scents Company Information System» (<https://www.thegoodscentscompany.com/>).

Tableau 6.5b: Références bibliographiques sur les composants avec une forte augmentation à la cuisson

Composants volatils	Odeur	Origine	Détecté dans le pain au levain à base de
Furfural	Doux, boisé, amande, pain, rance	Fermentation, réaction de Maillard	Farine de blé
methyl-Pyrazine	Noix, cacao, torréfié, chocolat, vert, cacahuète, brûlé	Réaction de Maillard	Farine de blé
1-(2-furanyl)-Ethanone	<i>Pas mentionné dans la revue de la littérature (Pétel et al., 2017)</i> <i>Odeur : balsamique, sucrée, d'amande, de cacao, de caramel, de café, de noisette, de torréfaction brune, lactée, lactique</i>		
5-methyl-2-Furancarboxaldehyde	caramélisé, épicé, érable, pain, café brun	Aucune indication	Farine de seigle
2-Methoxy-4-vinylphenol	Épicé, clou de girofle, fumé, phénolique,, poivre, boisé, métallique	Aucune indication	Aucune indication
Furfuryl ethyl ether	<i>Pas mentionné dans la revue de la littérature (Pétel et al., 2017)</i> <i>Odeur: douce, épicée, noisette, café</i>		
Heptane	<i>Pas mentionné dans la revue de la littérature (Pétel et al., 2017)</i> <i>Odeur: douce, éthérée</i>		

Tableau 6.5c: Références bibliographiques sur les composants à forte teneur dans le pain

Composants volatils	Odeur	Origine	Détecté dans le pain au levain à base de
2,3-Butanedione	Fort, beurre, sucré, crémeux, acide, caramel	Fermentation, réaction de Maillard	Farine de blé
Acide acétique	Piquant, acide, vinaigre, aigre	Fermentation	Farine de blé, farine de seigle
Acetoin	<i>Pas mentionné dans la revue de la littérature (Pétel et al., 2017)</i> <i>Odeur: sucrée, beurrée, crémeuse, lactée, grasse</i>		
3-Methylbutanol	Huile, alcool, fruité, banane, whisky, amande, sucré	Fermentation	Aucune indication
Furfural	Doux, boisé, amande, pain, rance	Fermentation, réaction de Maillard	Farine de blé
Éthanol	Fort, alcool, éthéré, médicinal	Fermentation	Farine de blé, farine de seigle
Propanoic acid, 2-hydroxy-, ethyl ester	<i>Pas mentionné dans la revue de la littérature (Pétel et al., 2017)</i> <i>Odeur: fruitée, piquante, âpre, beurrée, caramel au beurre, sucrée, acidulée, éthérée, toast brun</i>		
3-Methylbutanal	Éthéré, aldéhydique, chocolat, pêche, gras, acide, pain grillé, fruité, fermenté, flocons de maïs	Fermentation, réaction de Maillard	Farine de blé, farine de seigle
Heptane	<i>Pas mentionné dans la revue de la littérature (Pétel et al., 2017)</i> <i>Odeur: douce, éthérée</i>		
2-methyl-1-Propanol	Éthéré, vineux, alcool	Fermentation	Farine de blé, farine de seigle

Tableau 6.5d: Références bibliographiques concernant les composants à teneur élevée dans les pains à 100% de farine de seigle

Composants volatils	Odeur	Origine	Déecté dans le pain au levain à base de
1-Hexanol	Éthéré, huile, alcool, vert, fruité, sucré, boisé, floral	Fermentation, oxydation des lipides	Farine de blé, farine de seigle
Furfural	Doux, boisé, amande, pain, rance	Fermentation, réaction de Maillard	Farine de blé
2-ethoxy-Propane	<i>Pas mentionné dans la revue de la littérature (Pétel et al., 2017)</i> <i>Odeur: aucune donnée disponible dans la base de données.</i>		
2-Methylenecyclohexanol	<i>Pas mentionné dans la revue de la littérature (Pétel et al., 2017)</i> <i>Odeur: aucune donnée disponible dans la base de données.</i>		
1-Octen-3-ol	Champignon, terreux, vert, huile, poulet cru, moisi-acide	Oxydation des lipides	Aucune indication

6.6 Différences entre le levain et la poolish

Seules quatre boulangeries travaillaient avec la poolish (pré-pâte liquide), tandis que les 17 autres utilisaient des quantités de levain très variables. En moyenne, les boulangeries travaillant avec la poolish ajoutaient des quantités plus faibles de levure boulangère et la fermentation en stock était nettement plus courte, malgré des températures de fermentation légèrement plus élevées (tabl. 6.6).

Tableau 6.6: Différences entre le levain et la poolish

Paramètres		Unité	Levain (Moyenne, N = 17)	Poolish (Moyenne, N = 4)
Ajout de levain		%	23.8	0
Ajout de Poolish		%	0	53.8
Ajout de levures		g par kg de pâte	7.3	5.0
Fermentation en stock		heures	9.2	4.4
		°C	21.3	24.4
Bactéries lactiques dans les pâtons	mMRS-m	log ufc/g	6.7	7.7
	M17S	log ufc/g	6.5	7.3
Produits de fermentation dans les pâtons	Acide lactique	g/kg	3.0	3.7
	Acide acétique	g/kg	1.0	1.2
	Éthanol	g/kg	7.0	9.2
	Somme	g/kg	11.0	14.1
Sucres fermentables dans les pains de 1 à 3 jours	Glucose	g/kg	2.4	1.8
	Fructose	g/kg	5.2	4.2
	Maltose	g/kg	6.6	3.7
	Saccharose	g/kg	0.6	0.3
	Somme	g/kg	14.8	10.0
Valeur pH dans les pains de 1-3 jours			5.07	4.92
Attribut «acide» dans les pains de 1-3 j.		Échelle de 1 à 10	2.5	2.9
Attribut «ferme» dans les pains de 1-3 j.		Échelle de 1 à 10	3.2	3.1

La fermentation était légèrement plus intense dans les pâtons des boulangeries travaillant avec la poolish: la teneur en bactéries lactiques y était supérieure d'environ une puissance de dix et les produits de fermentation y étaient également plus élevés, quoique modestement. Les pains ainsi produits présentaient un pH moyen plus faible et moins de sucres fermentables. Les différences observées dans la description sensorielle restaient toutefois globalement marginales. Cette étude n'a pas permis de confirmer l'expérience de la pratique selon laquelle la poolish peut également avoir une grande influence sur le goût et l'arôme (Hernández-Figueroa *et al.*, 2022).

7 Évaluation statistique

7.1 Corrélations

7.1.1 Matrice de corrélation des attributs sensoriels

L'étude a également constaté une forte corrélation entre l'attribut «acide» et les attributs «fruité», «fermenté», «persistant», «épicé», «intensité aromatique» et «astringent». Les pains avec une acidité prononcée présentaient donc souvent des arômes plus intenses et plus complexes.

L'attribut «sucré» corrélait en revanche négativement avec les attributs «fermenté», «acide» et «persistant».

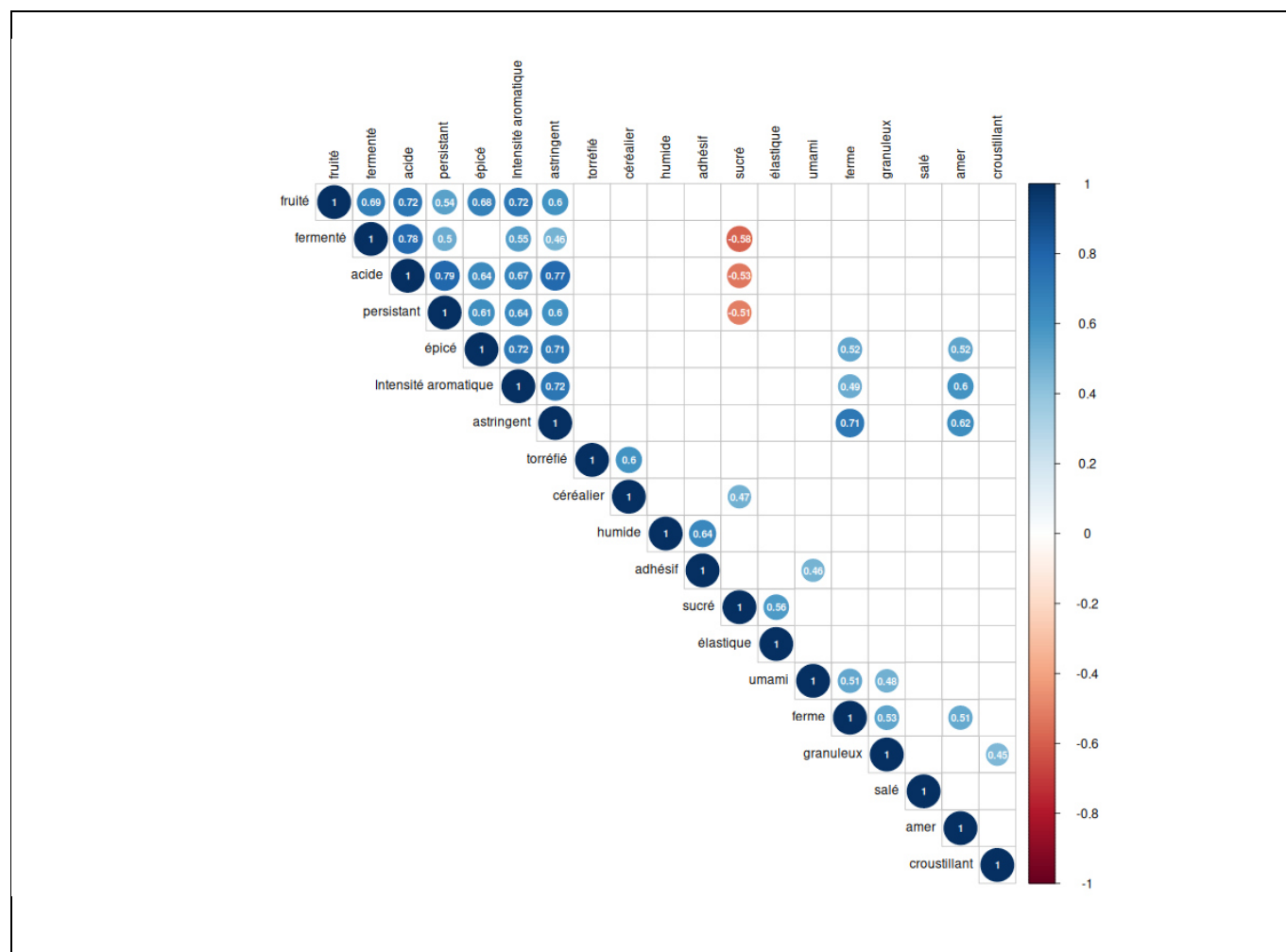


Figure 7.1.1: Matrice de corrélation des attributs sensoriels des pains de 1 à 3 jours

7.1.2 Attribut «acide»

L'attribut «acide» corrélait fortement avec la teneur en acide lactique et cette corrélation était beaucoup moins prononcée avec l'acide acétique (fig. 7.1.2). En conséquence, c'est principalement l'acide lactique qui détermine le degré d'acidité du pain de seigle valaisan AOP.

Le pH constitue une méthode simple et pratique pour estimer le niveau d'acidité ainsi que la concentration en acide lactique.

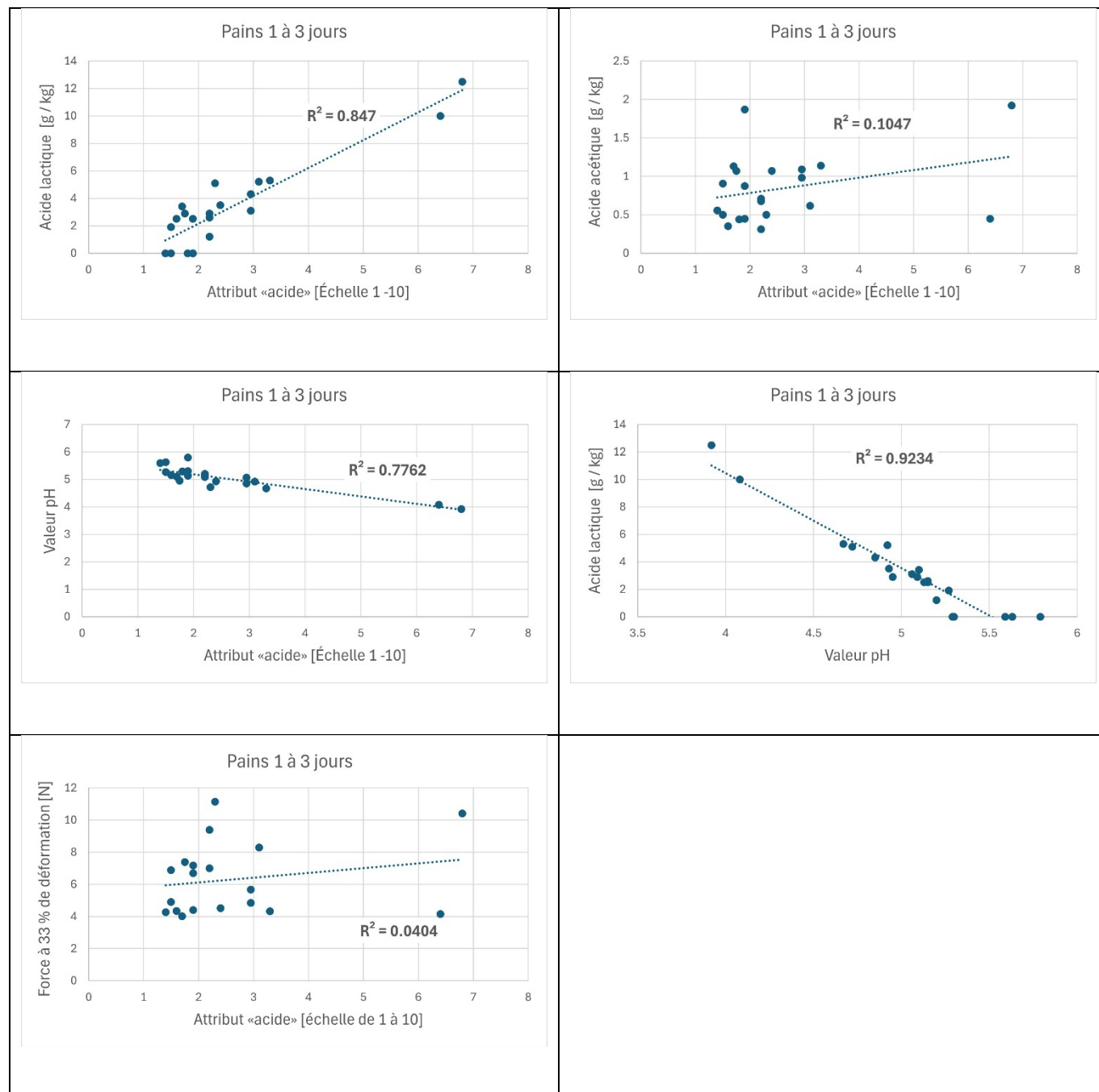


Figure 7.1.2: Corrélations avec l'attribut «acide»

Tous les pains de seigle acides ne présentaient pas une grande fermeté et les pains peu acides n'étaient pas nécessairement moins fermes.

7.1.3 Attribut «salé»

L'évaluation de l'attribut «salé» a révélé qu'il corrélait faiblement avec la teneur en sel mesurée (fig. 7.1.3). Elle était légèrement plus élevée avec la teneur en glutamine et en acide glutamique. L'acide glutamique est connu pour ses qualités d'exhausteur de goût.

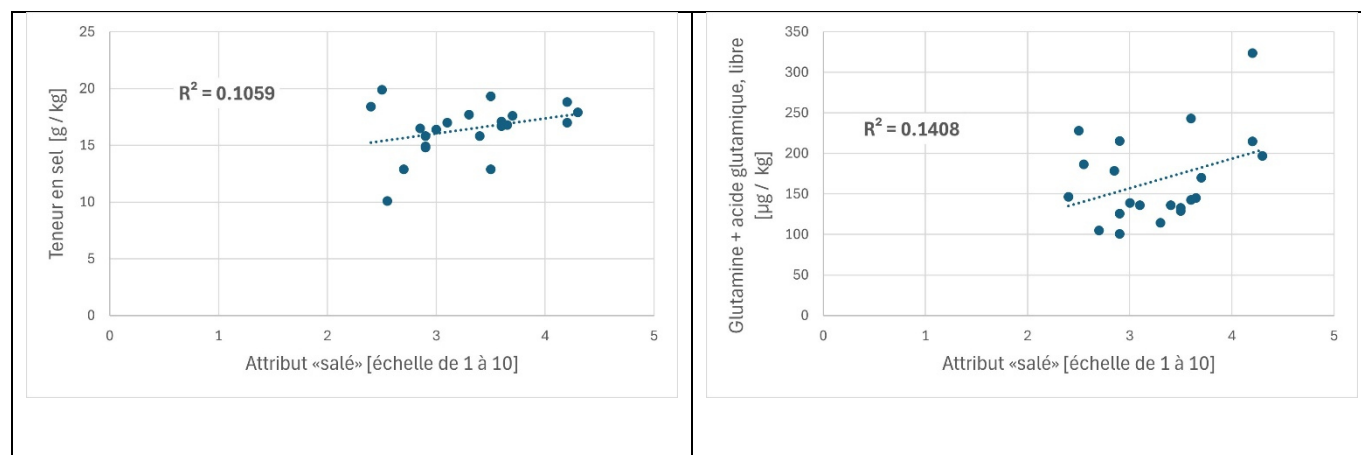


Figure 7.1.3: Corrélations avec l'attribut «acide»

7.1.4 Fermeté

Plus la matière sèche était élevée, plus la teneur en amidon était importante et plus le volume relatif des trous était faible, plus les pains étaient fermes (fig. 7.1.4).

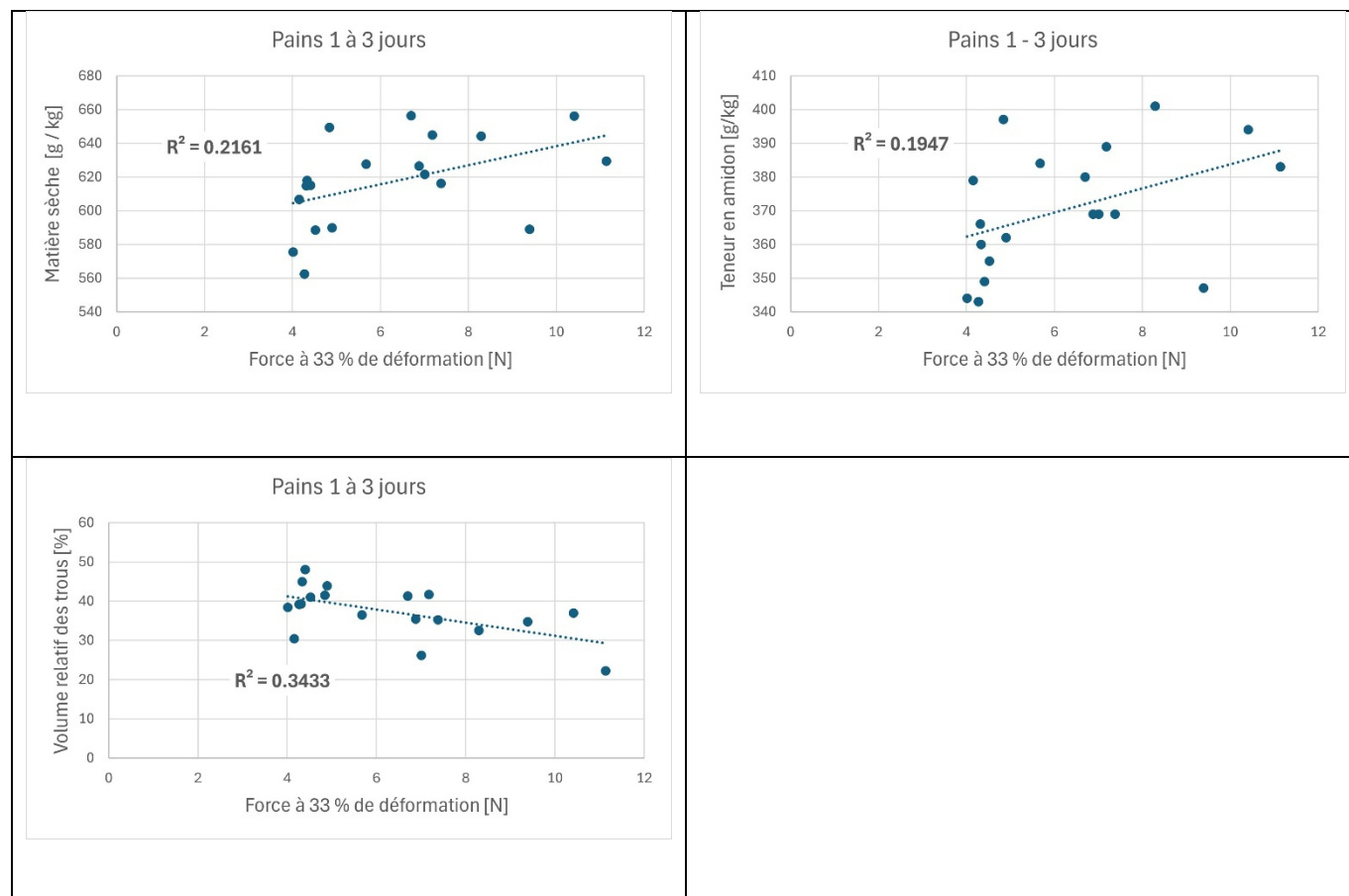


Figure 7.1.4: Corrélations avec la force à 33 % de déformation [N]

7.1.5 Matière sèche

Comme indiqué dans l'introduction du chapitre 3, les données révèlent que beaucoup de boulangères et de boulangers ne suivent pas toujours une recette précise, mais s'appuient largement sur leurs observations sensorielles et leur grande expérience.

Cela explique également pourquoi la matière sèche mesurée ne présentait aucune corrélation avec la quantité d'eau ajoutée à la farine telle que déclarée. De plus, l'augmentation de la matière sèche pendant la cuisson ne semblait en rien dépendre de la température ni du temps de cuisson (fig. 7.1.5).

Cependant, lorsque les boulangeries ayant vraisemblablement surestimé ou sous-estimé l'ajout d'eau étaient exclues du calcul de corrélation, la dépendance attendue entre la matière sèche dans les pâtons et l'ajout d'eau à la farine est clairement apparue.

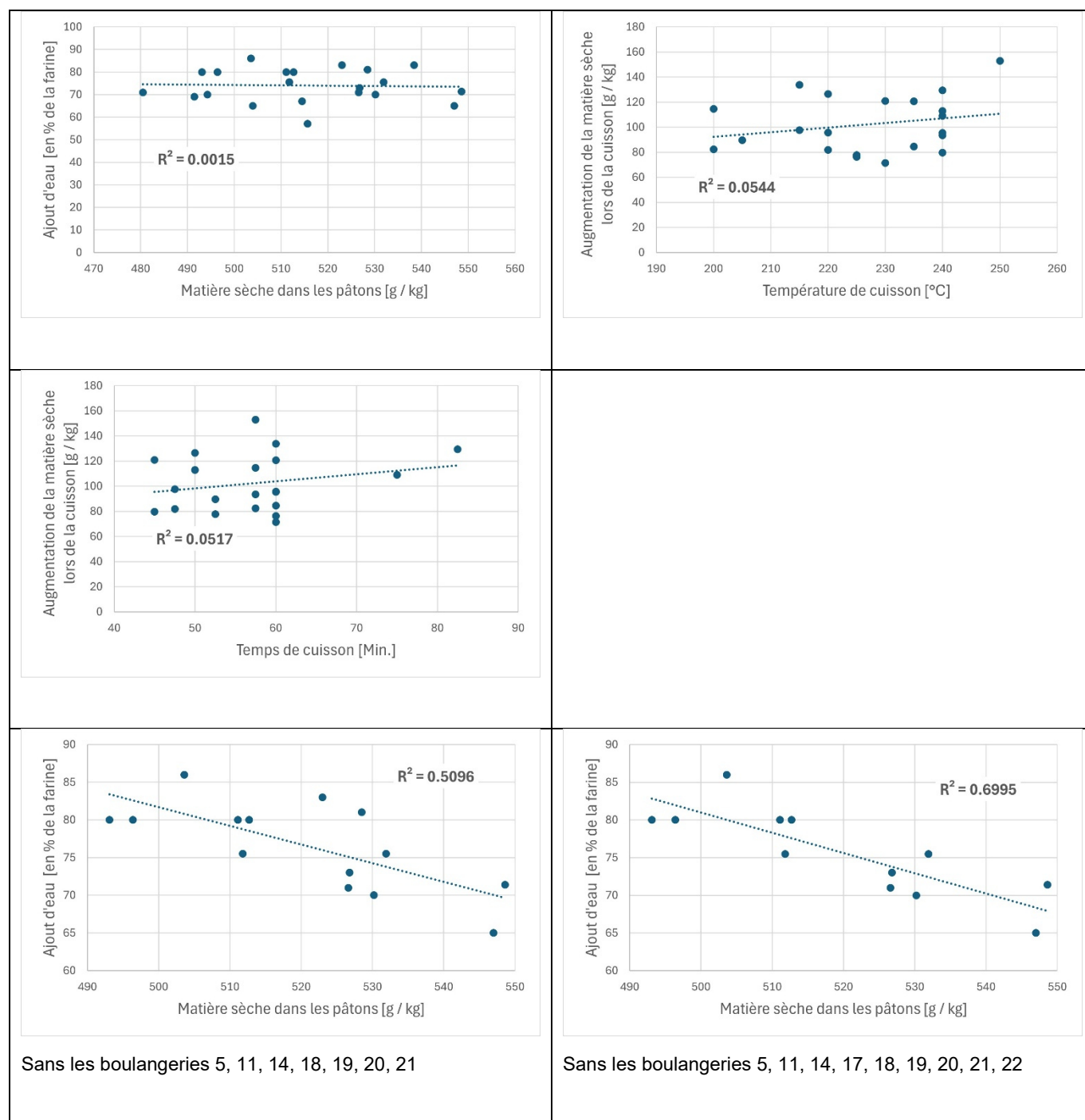


Figure 7.1.5: Corrélations avec la matière sèche

7.1.6 Perte d'eau pendant la cuisson et le stockage

Une corrélation a été observée entre un taux de matière grasse plus élevé dans le pain et une grande perte d'eau lors de la cuisson. Il est possible que la graisse ait réduit la capacité de rétention d'eau de la pâte ou ait entraîné une faible densité de la croûte (fig. 7.1.6).

Plus la perte d'eau était importante pendant la cuisson, plus la teneur en éthanol du pain diminuait.

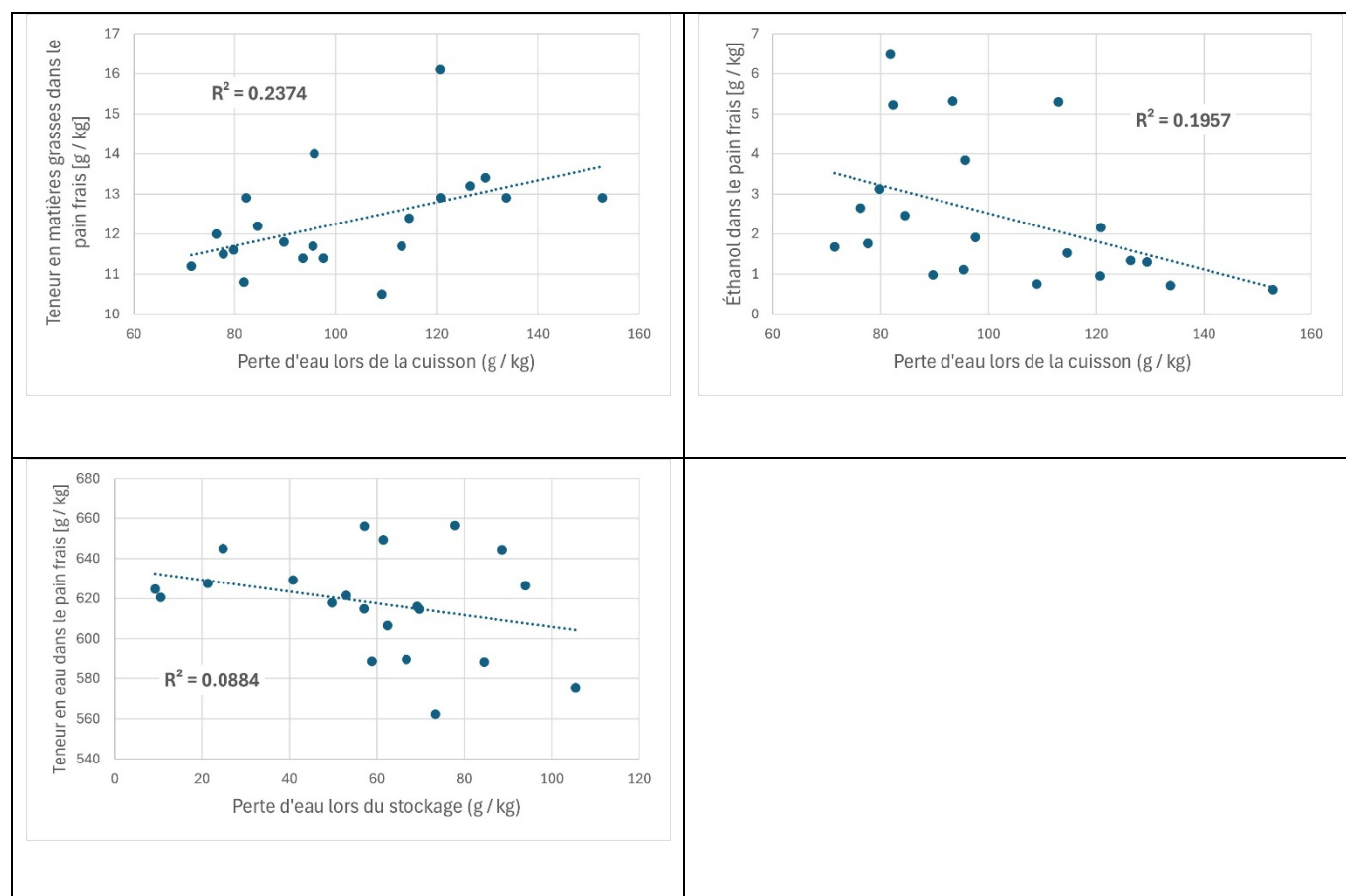


Figure 7.1.6: Corrélations avec la perte d'eau

Pendant le stockage, la perte d'eau n'était pas plus importante avec une teneur en eau plus élevée dans le pain, mais avait plutôt tendance à être faible. Cela suggère que l'eau est liée à des degrés divers dans les pains et que la croûte joue un rôle important. Il existe donc des pains qui peuvent être conservés longtemps sans se dessécher excessivement. À l'inverse, certains pains se dessèchent et durcissent beaucoup plus rapidement.

7.2 Statistiques multivariées

7.2.1 Analyse multifactorielle (MFA) avec les 30 variables principales

Les deux premières dimensions de l'analyse multifactorielle (MFA) avec les 30 variables principales ne permettent d'expliquer que 27 % de la variabilité (Figure 7.2.1). Cela signifie que de nombreuses autres variables ont également une influence importante. Néanmoins, certaines conclusions intéressantes peuvent être tirées.

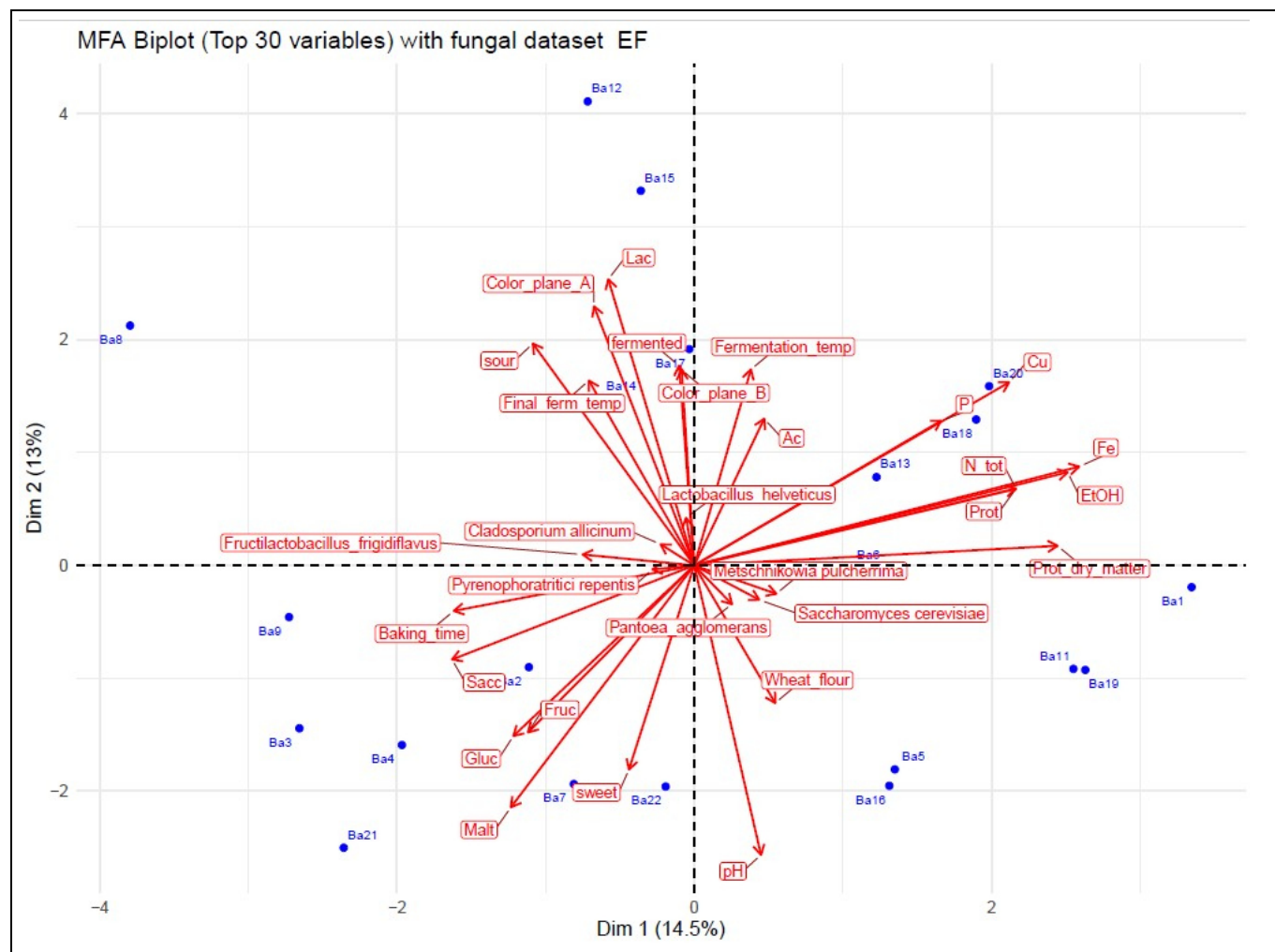


Figure 7.2.1: Biplot de l'analyse multifactorielle (MFA) avec les 30 variables principales

La diversité des levures dans les pâtons a été calculée à l'aide du jeu de données « EF abrel species ». La répartition des différentes boulangeries est indiquée en bleu. La signification des abréviations utilisées pour désigner les flèches rouges est expliquée dans le texte ci-dessous.

Les positionnements les plus frappants sont ceux des boulangeries 8, 12 et 15 dans le quadrant supérieur gauche. Les pains provenant de ces trois boulangeries présentaient la plus forte acidité (sour) lors de la description sensorielle, et la teneur en acide lactique (Lac) ainsi que l'attribut «fermenté» (fermented) étaient donc élevés. Le pain de la boulangerie 8 présentait également la couleur la plus intense, tant en rouge/vert (Color_plane_B) qu'en jaune/bleu (Color_plane_A). Dans la boulangerie 15, la fermentation des pâtons s'est déroulée à la température la plus élevée (Final_ferm_temp). Seuls les pâtons provenant de ces boulangeries présentaient une diversité importante au niveau des levures, et l'abondance de la levure de boulangerie *Saccharomyces cerevisiae* était donc moindre. Le positionnement très différent des boulangeries 8, 12 et 15 s'explique par le fait que, dans le microbiome bactérien de la pâte de la boulangerie 8, *Fructilactobacillus frigidiflavus* était fortement dominant et que *Lactobacillus helveticus* n'a été mesuré en quantité significative que dans les pâtons des boulangeries 12 et 15.

Dans le quadrant inférieur gauche se trouvent les boulangeries dont les pains contiennent encore relativement beaucoup de sucres fermentables tels que le glucose (Gluc), le fructose (Fruc), le saccharose (Sacc) et le maltose (Malt) et qui sont donc également un peu plus sucrés (sweet). La boulangerie 5, dont le pain contenait le plus de sucres fermentables, sort du lot, car elle se trouve dans le quadrant inférieur droit. On peut ajouter à titre d'explication que leur farine présentait la teneur en protéines la plus élevée, tant en valeur absolue (Prot) que par rapport à la matière sèche (Prot_dry_matter) ou mesurée en azote (N_tot).

Dans le quadrant supérieur droit se trouvent les boulangeries présentant les teneurs les plus élevées en minéraux, notamment en cuivre (Cu) et en phosphore (P) dans la farine et, par conséquent, dans les pâtons et les pains. Comme la flèche indiquant l'éthanol (EtOH) pointe dans la même direction, on peut en déduire que les minéraux ont tendance à favoriser davantage les levures que les bactéries lactiques et acétiques.

7.2.2 Différences entre les régions linguistiques

Sur la base des résultats de la description sensorielle, les pains ont pu être clairement attribués à une région linguistique (statistiquement à l'aide de l'OPLS-DA).

L'OPLS-DA (analyse discriminante par projection orthogonale des moindres carrés partiels) est une méthode statistique supervisée utilisée pour séparer des groupes et identifier les caractéristiques-clés qui diffèrent entre des catégories d'échantillons prédéfinies. Elle est fréquemment utilisée pour identifier des biomarqueurs et analyser des ensembles de données complexes. Cette méthode sépare la variabilité totale en une composante prédictible et une composante orthogonale, ce qui permet une meilleure séparation des classes et des résultats interprétables qui peuvent être visualisés dans des graphiques appelés «scores plots».

Les pains de seigle frais du Valais germanophone étaient en moyenne plus fermes et plus épicés, avec également un arôme plus intense et plus astringent. Ils avaient également tendance à avoir un goût umami plus prononcé (fig. 7.2.3). La diversité était également un peu plus importante en région germanophone. En particulier, les pains des boulangeries 6, 8 et 12 présentaient un profil distinctif.

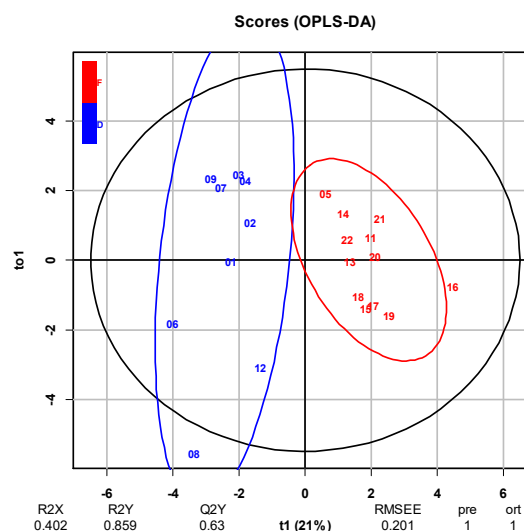


Figure 7.2.2: Répartition multivariée par région linguistique

Chiffres = numéros des boulangeries
Rouge = boulangeries de la région francophone
Bleu = boulangeries de la région germanophone

8 Conclusions

8.1 Facteurs influençant la qualité et la diversité du pain de seigle valaisan AOP

Un grand nombre de boulangères et de boulangers n'ont pas suivi de recette strictement standardisée pour la fabrication du pain de seigle valaisan AOP. Leur processus de fabrication reposait souvent sur des observations sensorielles et une longue expérience professionnelle.

Une proportion importante des données relatives à la production a été involontairement surestimée ou sous-estimée par les boulangères et boulangers. Ainsi, sur la base de la teneur en eau déterminée par analyse dans les pâtons, 7 des 21 boulangeries participantes ont nettement surestimé ou sous-estimé l'ajout d'eau à la farine, tandis que deux autres l'ont légèrement surestimé ou sous-estimé. Pour de nombreux paramètres de production, il n'a toutefois pas été possible, sur la base des résultats d'analyse, de déterminer si leur déclaration était correcte. Cette pratique a considérablement limité la possibilité d'évaluer les corrélations statistiques entre les paramètres de production et les caractéristiques des pains.

L'analyse du métagénome des pâtons a révélé une faible biodiversité chez les levures et une biodiversité bactérienne élevée.

La bactérie typique du levain *Fructilactobacillus sanfranciscensis* n'était la plus abondante que dans un seul pâton. Dans 10 des 21 pâtons, l'espèce *Fructilactobacillus frigidiflavus*, nouvellement décrite en 2025, était prédominante. Différentes espèces d'autres bactéries lactiques dominaient dans 7 pâtons, tandis que, dans 3 autres pâtons, l'abondance relative la plus importante était constituée par des bactéries à Gram négatif, ce qui laisse supposer qu'il s'agissait de «jeunes» levains ayant subi peu de rafraîchis. En ce qui concerne les levures, seuls trois pâtons contenaient des espèces autres que la levure boulangère *Saccharomyces cerevisiae*.

Dans cette étude, le principal facteur ayant influencé la qualité et la diversité du pain de seigle valaisan AOP était la proportion de farine de blé. Toutefois, il convient de souligner que les boulangeries qui utilisaient exclusivement de la farine de seigle proposaient un pain qui s'inspirait davantage du pain de seigle valaisan AOP d'origine et visaient avant tout une longue durée de conservation.

Les pains composés uniquement de farine de seigle étaient en moyenne nettement plus acidulés et légèrement plus salés que ceux avec un complément de farine de blé. Ils étaient également un peu plus aromatiques, fruités, fermentés et un peu moins céréaliés. L'emploi exclusif de farine de seigle a entraîné une fermentation plus intense, une augmentation du nombre de produits de fermentation et un pH plus faible, ce qui peut s'expliquer d'une part par une activité amylasique plus élevée. D'autre part, les boulangères et boulangers recherchaient délibérément une fermentation plus intense. Les quatre pains avec la fermeté la plus importante après 1 à 3 jours ont tous été fabriqués avec 100 % de farine de seigle. Trois boulangeries ont néanmoins démontré qu'il est possible d'obtenir une fermeté moyenne avec des pains contenant 100 % de farine de seigle. Les pains à base de 100 % de farine de seigle ont perdu en moyenne moins d'eau lors de la cuisson et du stockage que les pains contenant 8 à 10 % de farine de blé.

Les pains à forte teneur en acide présentaient en moyenne un arôme plus intense et plus complexe.

Dans la plupart des cas, les pains de seigle valaisan AOP n'étaient que légèrement acides. L'acidité du pain était principalement déterminée par la teneur en acide lactique, tandis que l'acide acétique ne jouait qu'un rôle secondaire. La présence d'acide lactique n'a pas été identifiée dans cinq des 21 pains de seigle valaisan AOP, alors que de l'acide acétique a été décelé dans tous les pâtons et pains analysés. L'origine de la formation de l'acide acétique reste inconnue, car certains pâtons (provenant des boulangeries 4, 5 et 16) ne contenaient pas de bactéries acétiques et n'ont pas subi de fermentation lactique hétérofermentaire, puisqu'ils ne contenaient pas d'acide lactique. Une corrélation positive entre l'attribut «acide» et les attributs «fruité», «fermenté», «persistant», «épicé», «intensité aromatique» et «astringent» a également été observée.

L'utilisation d'une poolish a entraîné une fermentation plus rapide, mais avec un impact limité sur les propriétés sensorielles des pains de seigle.

Dans les quatre boulangeries qui utilisaient une poolish, la fermentation en stock a duré en moyenne deux fois moins longtemps que dans les 17 autres boulangeries qui travaillaient avec du levain. Cependant, la teneur en bactéries lactiques y était supérieure d'environ une puissance de dix et les produits de fermentation y étaient également plus élevés, quoique modestement. Les pains ainsi produits présentaient un pH moyen plus faible et moins de sucres fermentables. Les différences observées dans la description sensorielle restaient toutefois globalement marginales pour tous les attributs.

La farine utilisée était très variée

Conformément au cahier des charges de l'AOP, la production des céréales (seigle et blé) et leur transformation en farine et en pain doivent se dérouler dans le canton du Valais. À quelques exceptions près, toutes les boulangeries s'approvisionnaient en farine auprès du moulin du Rhône à Naters. Toutefois, les écarts observés dans la composition de la farine, la teneur en fibres, la proportion de son et le temps de chute étaient étonnamment importants. Ces écarts pourraient s'expliquer par la petite taille des lots de production du moulin, une séparation dans les sacs de farine ou encore un échantillonnage non représentatif pour l'analyse.

Les pains se distinguaient dans leur description sensorielle selon les régions linguistiques

Les pains de seigle du Valais germanophone étaient en moyenne plus fermes et plus épicés, avec également un arôme plus intense et plus astringent. Ils avaient aussi tendance à avoir un goût umami plus prononcé. De même, la diversité était un peu plus importante en région germanophone.

8.2 Hypothèses scientifiques pour des études complémentaires

Les souches isolées de bactéries lactiques permettent de développer une culture de levain biodiversifiée, ce qui renforce considérablement l'authenticité du pain de seigle valaisan AOP et son lien avec le terroir.

Le microbiome bactérien des pâtons était très diversifié et aucune mauvaise fermentation ne semble s'être produite. Les souches présentant une abondance relative élevée semblent adaptées à la fabrication du pain de seigle valaisan AOP. Outre la bactérie lactique typique du levain, *Fructilactobacillus frigidiflavus*, des souches appartenant aux espèces *Fructilactobacillus sanfranciscensis*, *Lactobacillus helveticus*, *Latilactobacillus sakei*, *Leuconostoc mesenteroides* et *Weissella cibaria* devraient également être testées.

Une culture de levain ne nécessite pas d'ajout de levure, car la levure boulangère *Saccharomyces cerevisiae* est un composant dominant du microbiote présent dans toutes les boulangeries.

Une teneur minimale en acide lactique augmente la diversité des arômes dans le pain de seigle valaisan AOP sans renforcer son acidité.

Dans la présente étude, seuls deux pains (8 et 12) se sont distingués par une acidité prononcée. Comparés à tous les autres pains, ils présentaient également une teneur en acide lactique nettement plus élevée, supérieure à 10 g/kg.

Des teneurs en acide lactique comprises entre 1 et 5 g/kg pourraient rendre ces pains plus populaires auprès des consommatrices et consommateurs que les pains sans teneur mesurable en acide lactique.

8.3 Suite de la démarche

Agroscope n'a pas prévu de travaux complémentaires dans son nouveau programme d'activité 2026–2029. L'initiative devrait venir de la filière qui, en plus d'objectifs, doit aussi proposer des options de financement.

9 Liste de figures

Figure 1.2: Pains de seigle de la boulangerie Les Artisans à Savièse	10
Figure 1.3: Des boulangeries de tout le canton du Valais ont participé à l'étude.....	11
Figure 2.1: Pains provenant des 21 boulangeries qui ont participé à l'étude.....	13
Figure 3.1a: Ajout moyen d'eau lors de la préparation de la pâte.....	19
Figure 3.1b: Ajout moyen de levure lors de la préparation de la pâte.....	19
Figure 3.2: Fabrication et quantité ajoutée de levain resp. poolish	20
Figure 3.3: Fermentation moyenne en stock et fermentation moyenne du pain	21
Figure 3.4: Temps et température de cuisson moyens	22
Figure 4.1: Finesse des farines utilisées	23
Figure 4.2: Temps de chute des farines	24
Figure 4.3: Teneur en fibres	25
Figure 5.1a: Levures détectées dans les pâtons après la fermentation du pain [ufc / g]	26
Figure 5.1b: Souches de levure isolées issues de pâtons après fermentation du pain	27
Figure 5.2a: Bactéries lactiques détectées dans les pâtons après la fermentation du pain [ufc / g]	28
Figure 5.2b: Souches isolées de bactéries lactiques provenant de pâtons après fermentation du pain	29
Figure 5.3a: Bactéries acétiques détectées dans les pâtons après la fermentation du pain [ufc / g]	30
Figure 5.3b: Souches isolées de bactéries acétiques provenant de pâtons après fermentation du pain	31
Figure 5.5a: Diversité des levures dans les pâtons (EF abrel species)	32
Figure 5.5b: Diversité des levures dans les pâtons (LSU abrel species).....	32
Figure 5.6: Diversité des bactéries dans les pâtons.....	33
Figure 6.1: Teneur en matière sèche avec différentes préparations d'échantillons	35
Figure 6.1.1a: Matière sèche	37
Figure 6.1.1b: Teneur en sel dans les pains de 1 à 3 jours	38
Figure 6.1.1c: Teneur en calcium chez la boulangerie 05 par rapport à la moyenne	39
Figure 6.1.1d: Teneur en manganèse dans les boulangeries 01 et 06 par rapport à la moyenne	40
Figure 6.1.2a: Teneur en sucres fermentables dans les pains après 1 à 3 jours	42
Figure 6.1.2b: Teneur en acide lactique	43
Figure 6.1.2c: Teneur en acétique.....	43
Figure 6.1.2d: Teneur en éthanol	43
Figure 6.1.2e: Teneur en produits de fermentation et valeur pH en fonction de la boulangerie	45
Figure 6.1.2f: Somme des sucres fermentables et des produits de fermentation dans les pâtons	45
Figure 6.2.1: Mesure de la texture à l'aide du test du cylindre	50
Figure 6.2.3: Images macroscopiques	51
Figure 6.2.4: Volume relatif des trous.....	52
Figure 6.3.1a: Attribut « ferme » pour les pains âgés de 1 à 3 jours.....	55
Figure 6.3.1b: Attribut «humide» pour les pains âgés de 1 à 3 jours.....	55
Figure 6.3.1c: Attribut «croustillant» pour les pains âgés de 1 à 3 jours.....	56
Figure 6.3.1d: Attribut «persistant» pour les pains âgés de 1 à 3 jours	56
Figure 6.3.2a: Attribut « acide » pour les pains âgés de 1 à 3 jours	58

Figure 6.3.2b: Attribut «salé» pour les pains âgés de 1 à 3 jours	58
Figure 6.3.3a: Attribut «intensité aromatique» pour les pains âgés de 1 à 3 jours	60
Figure 6.3.3b: Attribut «céréalié» pour les pains âgés de 1 à 3 jours	60
Figure 6.3.3c: Attribut «fermenté» pour les pains âgés de 1 à 3 jours	61
Figure 6.3.3d: Attribut «torréfié» pour les pains âgés de 1 à 3 jours	61
Figure 6.3.4 : Regroupement par attributs et boulangeries	62
Figure 6.3.5: Principaux attributs sensoriels des pains âgés de 1 à 3 jours	64
Figure 6.4a: Regroupement des réponses à la question 1 par fréquence	64
Figure 6.4b: Popularité des deux pains testés	65
Figure 6.4c: Regroupement des réponses à la question 3 par fréquence	65
Figure 7.1.1: Matrice de corrélation des attributs sensoriels des pains de 1 à 3 jours	70
Figure 7.1.2: Corrélations avec l'attribut «acide»	71
Figure 7.1.3: Corrélations avec l'attribut «acide»	72
Figure 7.1.4: Corrélations avec la force à 33 % de déformation [N]	72
Figure 7.1.5: Corrélations avec la matière sèche	73
Figure 7.1.6: Corrélations avec la perte d'eau	74
Figure 7.2.1: Biplot de l'analyse multifactorielle (MFA) avec les 30 variables principales	75
Figure 7.2.2: Répartition multivariée par région linguistique	76

10 Liste de tableaux

Tableau 2.1a: Poids des pains collectés	12
Tableau 2.1b: Insuffisances de certains échantillons ayant une incidence sur les résultats	12
Tableau 3.1: Matières premières utilisées selon les déclarations des boulangeries	18
Tableau 4.2: Temps de chute des farines	24
Tableau 6.1.1a: Composition chimique (valeurs absolues)	36
Tableau 6.1.1b: Composition chimique (valeurs relatives)	38
Tableau 6.1.1c: Minéraux	39
Tableau 6.1.1d: Oligo-éléments	40
Tableau 6.1.2a: Sucres fermentables	41
Tableau 6.1.2b: Produits de fermentation	42
Tableau 6.1.3a: Acides aminés totaux (partie 1)	46
Tableau 6.1.3b: Acides aminés totaux (partie 2)	47
Tableau 6.1.3c: Acides aminés libres (partie 1)	48
Tableau 6.1.3d: Acides aminés libres (partie 2)	49
Tableau 6.2.1: Mesure de la texture à l'aide du test du cylindre (pains de 1 à 3 jours)	50
Tableau 6.2.2: Mesure des couleurs (pains 1 à 3 jours)	51
Tableau 6.2.4a: Valeurs issues du tomodynamisme (pains 1 à 3 jours)	52
Tableau 6.2.4b: Classification des pains (1 à 3 jours) sur la base des tomogrammes	53
Tableau 6.3.1: Description sensorielle de la texture et des perceptions trigéminales	54
Tableau 6.3.2: Description sensorielle du goût des pains de seigle	57

Tableau 6.3.3: Description sensorielle de l'arôme des pains de seigle.....	59
Tableau 6.5a: Espèces remarquables dans le volatilome.....	66
Tableau 6.5b: Références bibliographiques sur les composants avec une forte augmentation à la cuisson.....	67
Tableau 6.5c: Références bibliographiques sur les composants à forte teneur dans le pain.....	67
Tableau 6.5d: Références bibliographiques concernant les composants à teneur élevée dans les pains à 100% de farine de seigle.....	68
Tableau 6.6: Différences entre le levain et la poolisch.....	69
Tableau 12a : Composants aromatiques volatils (ID_001 - ID_013).....	84
Tableau 12b: Composants aromatiques volatils (ID_014 - ID_028).....	85
Tableau 12c: Composants aromatiques volatils (ID_029 - ID_042).....	86
Tableau 12d: Composants aromatiques volatils (ID_043 - ID_055).....	87
Tableau 12e: Composants aromatiques volatils (ID_056 - ID_068).....	88
Tableau 12f: Composants aromatiques volatils (ID_069 - ID_082).....	89
Tableau 12g: Composants aromatiques volatils (ID_083 - ID_095).....	90
Tableau 12h: Composants aromatiques volatils (ID_096 - ID_108).....	91
Tableau 12i: Composants aromatiques volatils (ID_109 - ID_122).....	92
Tableau 12j: Composants aromatiques volatils (ID_123 - ID_135).....	93
Tableau 12k: Composants aromatiques volatils (ID_136 - ID_149).....	94
Tableau 12l: Composants aromatiques volatils (ID_150 - ID_162).....	95
Tableau 12m: Composants aromatiques volatils (ID_163 - ID_175).....	96
Tableau 12n: Composants aromatiques volatils (ID_176 - ID_189).....	97
Tableau 12o: Composants aromatiques volatils (ID_190 - ID_202).....	98
Tableau 12p: Composants aromatiques volatils (ID_203 - ID_215).....	99
Tableau 12q: Composants aromatiques volatils (ID_216 - ID_228).....	100
Tableau 12r: Composants aromatiques volatils (ID_229 - ID_242).....	101
Tableau 12s: Composants aromatiques volatils (ID_243 - ID_256).....	102
Tableau 12t: Composants aromatiques volatils (ID_257 - ID_269).....	103
Tableau 12u: Composants aromatiques volatils (ID_270 - ID_283).....	104
Tableau 12v: Composants aromatiques volatils (ID_284 - ID_296).....	105
Tableau 12w: Composants aromatiques volatils (ID_297 - ID_312).....	106
Tableau 12x: Composants aromatiques volatils (ID_314 - ID_328).....	107
Tableau 12y: Composants aromatiques volatils (ID_329 - ID_341).....	108
Tableau 12z: Composants aromatiques volatils (ID_342 - ID_355).....	109
Tableau 12aa: Composants aromatiques volatils (ID_356 - ID_368).....	110
Tableau 12ab: Composants aromatiques volatils (ID_370 - ID_381).....	111

11 Bibliographie

- Bachmann, H. P., & Stergiou-Gekenidis, M. T. (2024). Mikrobiologie von Sauerteig: einfach oder komplex? *Agrarforschung Schweiz*, 15(294-303). <https://doi.org/https://doi.org/10.34776/afs15-294>
- Beardsley, J., Kim, H. Y., Dao, A., Kidd, S., Alastruey-Izquierdo, A., Sorrell, T. C., Tacconelli, E., Chakrabarti, A., Harrison, T. S., Bongomin, F., Gigante, V., Galas, M., Siswanto, S., Dagne, D. A., Roitberg, F., Sati, H., Morrissey, C. O., & Alfenaar, J. W. (2024). *Candida glabrata* (Nakaseomyces glabrata): A systematic review of clinical and microbiological data from 2011 to 2021 to inform the World Health Organization Fungal Priority Pathogens List. *Med Mycol*, 62(6). <https://doi.org/10.1093/mmy/myae041>
- Bourbon-Melo, N., Palma, M., Rocha, M. P., Ferreira, A., Bronze, M. R., Elias, H., & Sá-Correia, I. (2021). Use of *Hanseniaspora guilliermondii* and *Hanseniaspora opuntiae* to enhance the aromatic profile of beer in mixed-culture fermentation with *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Microbiology*, 95, 103678. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103678>
- Brabant, C., Schwaerzel, R., Augsburg, B., Jaquet, H., Bitz, J. J., Claeyman, N., & Dossenbach, A. (2013). Backqualität von Roggen in der Schweiz [Article]. *Agrarforschung Schweiz*, 4(7-8), 316-323. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84880475407&partnerID=40&md5=11e410b4cb2fe78cc17d100fb8bd8ada>
- Calvert, M. D., Madden, A. A., Nichols, L. M., Haddad, N. M., Lahne, J., Dunn, R. R., & McKenney, E. A. (2021). A review of sourdough starters: ecology, practices, and sensory quality with applications for baking and recommendations for future research. *PeerJ*, 9, e11389. <https://doi.org/10.7717/peerj.11389>
- Comasio, A., Verce, M., Van Kerrebroeck, S., & De Vuyst, L. (2020). Diverse Microbial Composition of Sourdoughs From Different Origins [Original Research]. *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01212>
- De Vuyst, L., Harth, H., Van Kerrebroeck, S., & Leroy, F. (2016). Yeast diversity of sourdoughs and associated metabolic properties and functionalities. *International Journal of Food Microbiology*, 239, 26-34. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.07.018>
- De Vuyst, L., & Neysens, P. (2005). The sourdough microflora: biodiversity and metabolic interactions. *Trends in Food Science & Technology*, 16(1), 43-56. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.012>
- De Vuyst, L., Van Kerrebroeck, S., Harth, H., Huys, G., Daniel, H. M., & Weckx, S. (2014). Microbial ecology of sourdough fermentations: Diverse or uniform? *Food Microbiology*, 37, 11-29. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.06.002>
- Di Cagno, R., Pontonio, E., Buchin, S., De Angelis, M., Lattanzi, A., Valerio, F., Gobbetti, M., & Calasso, M. (2014). Diversity of the Lactic Acid Bacterium and Yeast Microbiota in the Switch from Firm- to Liquid-Sourdough Fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(10), 3161-3172. <https://doi.org/10.1128/AEM.00309-14>
- Dreier, M., Meola, M., Berthoud, H., Shani, N., Wechsler, D., & Junier, P. (2022). High-throughput qPCR and 16S rRNA gene amplicon sequencing as complementary methods for the investigation of the cheese microbiota [Article]. *BMC Microbiology*, 22(1), Article 48. <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02451-y>
- Ercolini, D., Pontonio, E., De Filippis, F., Minervini, F., La Storia, A., Gobbetti, M., & Di Cagno, R. (2013). Microbial Ecology Dynamics during Rye and Wheat Sourdough Preparation. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(24), 7827-7836. <https://doi.org/10.1128/AEM.02955-13>
- Gobbetti, M., Minervini, F., Pontonio, E., Di Cagno, R., & De Angelis, M. (2016). Drivers for the establishment and composition of the sourdough lactic acid bacteria biota. *International Journal of Food Microbiology*, 239, 3-18. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.05.022>
- Hernández-Figueroa, R. H., Mani-López, E., & López-Malo, A. (2022). Antifungal Capacity of Poolish-Type Sourdough Supplemented with *Lactiplantibacillus plantarum* and Its Aqueous Extracts In Vitro and Bread [Article]. *Antibiotics*, 11(12), Article 1813. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11121813>
- Kim, D.-H., Chon, J.-W., Kim, H., & Seo, K.-H. (2019). Development of a novel selective medium for the isolation and enumeration of acetic acid bacteria from various foods. *Food Control*, 106, 106717. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106717>
- Landis, E. A., Oliverio, A. M., McKenney, E. A., Nichols, L. M., Kfoury, N., Biango-Daniels, M., Shell, L. K., Madden, A. A., Shapiro, L., Sakunala, S., Drake, K., Robbat, A., Booker, M., Dunn, R. R., Fierer, N., & Wolfe, B. E. (2021). The diversity and function of sourdough starter microbiomes. *eLife*, 10, e61644. <https://doi.org/10.7554/eLife.61644>
- Lattanzi, A., Minervini, F., & Gobbetti, M. (2014). Assessment of comparative methods for storing type-I wheat sourdough. *LWT - Food Science and Technology*, 59(2, Part 1), 948-955. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.032>
- Minervini, F., Di Cagno, R., Lattanzi, A., De Angelis, M., Antonielli, L., Cardinali, G., Cappelle, S., & Gobbetti, M. (2012). Lactic acid bacterium and yeast microbiotas of 19 sourdoughs used for traditional/typical italian breads: interactions between ingredients and microbial species diversity. *Appl Environ Microbiol*, 78(4), 1251-1264. <https://doi.org/10.1128/aem.07721-11>

- Pétel, C., Onno, B., & Prost, C. (2017). Sourdough volatile compounds and their contribution to bread: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 105-123. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.015>
- Pfrunder, S., Grossmann, J., Hunziker, P., Brunisholz, R., Gekenidis, M.-T., & Drissner, D. (2016). *Bacillus cereus* Group-Type Strain-Specific Diagnostic Peptides. *Journal of Proteome Research*, 15(9), 3098-3107. <https://doi.org/10.1021/acs.jproteome.6b00216>
- Pham, V. D., & Gänzle, M. G. (2025). *Fructilactobacillus frigidiflavus* sp. nov., a pigmented species, and *Levilactobacillus lettrarii* sp. nov., a propionate-producing species isolated from sourdough. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 75(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.1099/ijsem.0.006726>
- Sevgili, A., Can, C., Ceyhan, D. I., & Erkmén, O. (2023). Molecular identification of LAB and yeasts from traditional sourdoughs and their impacts on the sourdough bread quality characteristics. *Current Research in Food Science*, 6, 100479. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100479>
- Siepmann, F. B., Sousa de Almeida, B., Waszczynskyj, N., & Spier, M. R. (2019). Influence of temperature and of starter culture on biochemical characteristics and the aromatic compounds evolution on type II sourdough and wheat bread. *Lwt*, 108, 199-206. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.065>
- Sizzano, F., Blackford, M., Berthoud, H., Amiet, L., Bailly, S., Vuichard, F., Monnard, C., Bieri, S., Spring, J. L., Barth, Y., Descombes, C., Lefort, F., Cléroux, M., Simonin, S., Chappuis, C., Bourdin, G., & Bach, B. (2023). Bioprospecting of a *Metschnikowia pulcherrima* Indigenous Strain for Chasselas Winemaking in 2022 Vintage [Article]. *Foods*, 12(24), Article 4485. <https://doi.org/10.3390/foods12244485>

12 Annexe: Données brutes Volatilom

Tableau 12a : Composants aromatiques volatils (ID_001 - ID_013)

Paramètres 1)	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenn e	s _x	Mini- mum	Maxi- mum	Farine de seigle 2)
ID_001	Pâtons	Surface par mg	21	170'624	245'503	184'210	13'847	575'757	-28'425
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	7'222	10'229	7'277	2'709	25'463	3'644
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	7'052	7'862	3'272	3'415	17'357	1'464
ID_002 Toluene (Artefact)	Pâtons	Surface par mg	21	3'130	6'163	9'022	433	42'024	3'036
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'541	4'361	6'212	438	24'921	2'487
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'314	1'931	2'409	287	9'570	-1'020
ID_003 2,3- Butanedione	Pâtons	Surface par mg	21	20'337	43'746	44'208	314	122'758	3'290
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	23'739	38'264	41'619	2'831	174'214	14'551
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	37'135	53'983	58'506	4'673	238'450	18'864
ID_004 Acetic acid	Pâtons	Surface par mg	21	221'549	325'988	366'095	190	1'267'491	13'360
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	170'008	199'983	161'431	26'618	738'912	83'731
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	224'834	267'714	221'052	37'007	1'008'314	135'810
ID_005 Acetoin	Pâtons	Surface par mg	21	13'861	38'398	40'541	420	126'560	4'858
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	11'751	24'594	33'336	613	143'926	15'152
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	15'732	27'114	36'721	1'659	159'159	16'883
ID_006 3-Methyl- butanol	Pâtons	Surface par mg	21	308'817	279'802	154'653	5'474	621'556	-31'484
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	161'453	171'379	96'212	6'809	399'552	5'565
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	92'242	115'124	71'293	10'223	285'366	16'518
ID_007 1-Hexanol	Pâtons	Surface par mg	21	17'179	27'356	21'975	1'922	94'401	7'591
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	7'696	13'978	11'764	4'806	48'269	13'842
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	9'252	13'481	11'107	2'566	45'009	16'437
ID_008 Benzene (Artefact)	Pâtons	Surface par mg	21	9'671	24'329	34'667	977	141'887	5'777
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'162	1'171	283	761	1'732	78
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	829	871	163	633	1'256	125
ID_009 Furfural	Pâtons	Surface par mg	21	120	111	79	0	247	-38
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	15'807	26'684	35'250	1'976	168'015	22'268
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	9'465	15'936	24'562	2'038	121'787	22'495
ID_010	Pâtons	Surface par mg	21	29'122	39'445	47'487	0	193'681	7'317
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'155	1'829	3'081	0	12'855	858
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	432	1'235	2'306	0	9'403	827
ID_011 Ethanol	Pâtons	Surface par mg	21	83'764	81'120	36'867	0	153'287	2'180
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	40'170	43'401	14'139	28'195	77'429	1'346
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	33'502	34'507	9'266	20'991	57'388	699
ID_012 Pro- panoic acid, 2-hydroxy-, ethyl ester	Pâtons	Surface par mg	21	72'775	74'189	26'021	29'444	134'638	253
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	38'530	41'816	14'411	22'733	74'444	8'028
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	31'732	35'320	16'721	13'953	91'224	19'972
ID_013 Acetic acid	Pâtons	Surface par mg	21	156'200	266'480	261'134	977	928'649	131'869
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	145'590	168'091	109'809	0	382'592	-23'381
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	207'254	193'879	143'176	0	456'464	30'501

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12b: Composants aromatiques volatils (ID_014 - ID_028)

Paramètres 1)	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenn e	s _x	Mini- mum	Maxi- mum	Farine de seigle 2)
ID_014	Pâtons	Surface par mg	21	16'901	20'784	17'332	1'836	72'004	-4'519
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'976	3'456	4'729	529	22'776	3'677
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'590	1'929	1'708	252	7'112	1'134
ID_015	Pâtons	Surface par mg	21	16'802	21'031	20'792	343	63'847	-5'900
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'561	2'453	2'096	400	8'751	1'518
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	919	1'505	1'455	204	6'889	1'071
ID_017	Pâtons	Surface par mg	21	30'480	25'466	12'543	6'771	45'905	-604
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	8'163	11'094	6'771	2'946	23'480	2'206
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	8'591	10'741	6'556	2'762	27'147	2'835
ID_018 Octanoic acid ethyl ester	Pâtons	Surface par mg	21	4'329	6'590	7'362	247	32'657	-2'381
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'186	2'016	2'170	187	7'143	-96
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	723	1'557	1'768	185	6'719	82
ID_019 1-Methyl- cyclohexa- 1,3-diene	Pâtons	Surface par mg	21	4'282	7'653	12'785	0	58'691	4'159
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	2'592	3'211	2'348	181	10'343	-140
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	2'719	3'191	2'231	424	7'412	-260
ID_020	Pâtons	Surface par mg	21	1'294	1'809	1'820	174	6'893	243
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	3'634	4'683	3'412	466	15'163	-67
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	4'043	4'709	3'234	638	11'149	-491
ID_021 Heptane	Pâtons	Surface par mg	21	35'464	48'901	42'865	540	135'215	-2'474
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	3'823	14'698	18'059	82	59'052	1'422
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	216	1'255	3'279	0	12'128	-1'603
ID_023 Isobutyl acetate	Pâtons	Surface par mg	21	21	9'522	10'518	9'596	0	34'585
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	21	2'709	3'110	2'523	306	10'643
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	21	3'289	3'245	2'176	327	7'495
ID_024	Pâtons	Surface par mg	21	21	863	1'654	1'754	0	7'004
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	21	1'197	1'466	918	628	5'046
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	21	1'069	1'126	419	549	2'153
ID_025 Deca- noic acid, ethyl ester	Pâtons	Surface par mg	21	21	1'757	3'255	4'364	20	18'427
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	21	248	732	1'102	19	4'161
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	21	149	631	1'020	16	4'305
ID_026	Pâtons	Surface par mg	21	21	6'913	10'440	10'045	383	35'653
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	21	1'425	1'739	1'314	245	6'700
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	21	1'646	1'711	868	364	4'335
ID_027	Pâtons	Surface par mg	21	12'220	13'094	11'660	0	34'278	351
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	119	338	0	1'474	242
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	29	129	0	604	86
ID_028 3-Methyl- butanal	Pâtons	Surface par mg	21	7'392	8'345	4'065	820	17'809	459
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	12'364	22'593	21'553	4'287	94'170	17'350
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	11'534	14'060	10'701	3'817	55'226	9'577

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12c: Composants aromatiques volatils (ID_029 - ID_042)

Paramètres 1)	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenn e	s _x	Mini- mum	Maxi- mum	Farine de seigle 2)
ID_029 methyl- Pyrazine	Pâtons	Surface par mg	21	0	72	119	0	378	-7
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	2'211	3'662	4'209	315	17'639	-399
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	2'166	2'869	2'651	440	10'621	144
ID_030 2-ethoxy- Propane	Pâtons	Surface par mg	21	483	1'253	1'615	0	6'656	-102
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	507	1'969	4'176	59	19'384	2'881
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	346	1'170	2'575	49	12'115	1'832
ID_031	Pâtons	Surface par mg	21	1'251	2'473	2'648	324	11'287	-176
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'888	1'931	758	779	3'708	562
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'763	1'951	704	1'022	3'722	275
ID_032	Pâtons	Surface par mg	21	7'119	7'580	4'543	990	16'181	1'946
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	4'063	4'157	1'490	1'593	6'178	678
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	4'060	4'126	1'986	932	8'146	1'203
ID_033	Pâtons	Surface par mg	21	7'247	8'386	7'932	825	36'460	-613
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'157	2'772	4'565	0	21'232	3'058
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	752	2'030	3'529	209	16'800	2'662
ID_034 Acetone	Pâtons	Surface par mg	21	2'531	5'027	6'680	427	22'920	-1'871
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	15'803	17'564	10'754	1'165	38'759	-2'463
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	10'012	16'111	12'892	973	39'066	1'071
ID_035	Pâtons	Surface par mg	21	54'944	71'504	59'173	5'996	178'684	-7'521
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	8'759	14'329	12'660	2'951	47'538	3'632
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	5'157	7'039	6'108	2'695	30'418	3'905
ID_036	Pâtons	Surface par mg	21	5'531	6'010	2'434	1'083	12'867	823
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'705	2'021	971	518	4'050	698
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'207	1'434	587	709	3'132	601
ID_038 1-(2-furanyl)- Ethanone	Pâtons	Surface par mg	21	197	223	135	0	649	61
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'383	2'493	2'767	248	12'837	-978
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'466	1'792	1'379	242	5'559	-82
ID_039	Pâtons	Surface par mg	21	1'207	1'711	1'504	93	5'308	-28
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	326	399	165	205	843	106
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	281	306	151	0	648	54
ID_040	Pâtons	Surface par mg	21	6'331	5'969	3'060	1'029	13'194	921
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	5'520	6'148	2'340	2'244	12'661	448
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	4'953	5'020	1'695	1'616	8'910	1'518
ID_041	Pâtons	Surface par mg	21	3'022	3'989	3'549	285	13'071	996
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	254	261	120	54	593	9
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	227	242	137	47	677	66
ID_042	Pâtons	Surface par mg	21	585	1'723	3'062	71	12'310	1'058
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	117	136	49	81	277	17
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	92	102	33	56	190	37

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12d: Composants aromatiques volatils (ID_043 - ID_055)

Paramètres ¹⁾	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenne	s _x	Minimum	Maximum	Farine de seigle ²⁾
ID_043	Pâtons	Surface par mg	21	8'534	10'119	7'836	2'151	36'058	-6'577
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	9'016	9'345	2'839	5'204	17'709	1'022
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	4'900	5'144	2'418	1'324	10'227	2'933
ID_044	Pâtons	Surface par mg	21	2'528	3'162	2'381	465	9'488	-740
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'006	1'210	818	441	3'576	-179
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	830	1'098	824	441	3'731	-268
ID_045	Pâtons	Surface par mg	21	4'231	4'940	2'595	711	9'344	1'970
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	7'726	8'081	2'326	4'536	13'605	3'286
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	7'967	7'903	3'340	2'063	16'798	4'983
ID_046	Pâtons	Surface par mg	21	6'889	10'419	10'062	383	35'618	1'870
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'376	1'726	1'339	245	6'721	-257
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'647	1'716	851	633	4'336	488
ID_047	Pâtons	Surface par mg	21	1'125	1'977	2'158	306	8'604	388
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	975	1'386	1'322	284	6'557	-536
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	877	1'127	703	361	2'677	108
ID_048	Pâtons	Surface par mg	21	1'556	1'810	977	693	5'360	-151
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	4'554	4'811	1'398	2'693	9'278	114
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	2'962	3'180	1'069	1'768	6'528	220
ID_049	Pâtons	Surface par mg	21	24'239	24'425	9'840	2'575	43'093	671
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	11'398	10'401	6'319	247	24'313	1'333
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	9'241	9'572	4'252	319	21'733	4'041
ID_050	Pâtons	Surface par mg	21	630	1'233	1'615	0	7'187	577
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	670	923	654	0	2'398	143
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	508	722	494	0	2'040	252
ID_051	Pâtons	Surface par mg	21	813	1'306	1'245	0	4'286	-586
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'610	2'918	3'034	447	12'418	715
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'196	1'446	1'574	352	7'943	1'050
ID_052 1,1-dimethyl-Hydrazine	Pâtons	Surface par mg	21	2'783	3'995	3'703	518	15'717	-43
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	2'268	3'304	3'114	194	11'469	-28
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	578	1'650	2'195	142	7'482	399
ID_053 5-methyl-2-Furancarboxaldehyde	Pâtons	Surface par mg	21	0	89	120	0	476	60
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'112	1'871	2'230	77	10'530	-390
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	705	1'157	1'021	137	4'239	789
ID_054	Pâtons	Surface par mg	21	1'869	2'252	1'753	201	6'464	701
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	815	1'000	1'079	90	4'535	647
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	639	893	998	101	3'886	559
ID_055	Pâtons	Surface par mg	21	1'573	2'479	3'287	33	14'892	1'243
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'528	2'660	3'176	213	13'417	124
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'008	1'539	1'908	200	9'169	1'012

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12e: Composants aromatiques volatils (ID_056 - ID_068)

Paramètres ¹⁾	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenne	s _x	Minimum	Maximum	Farine de seigle ²⁾
ID_056	Pâtons	Surface par mg	21	1'550	2'215	1'957	384	9'237	-83
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'262	1'263	448	584	2'102	295
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'590	1'593	782	354	3'026	826
ID_057	Pâtons	Surface par mg	21	2'503	3'016	2'841	229	12'602	-468
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	190	216	85	94	354	77
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	239	244	73	92	395	68
ID_058	Pâtons	Surface par mg	21	1'260	2'012	1'963	46	7'473	-72
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	244	1'773	2'596	50	10'056	-1'366
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'001	1'609	1'931	41	6'040	681
ID_059	Pâtons	Surface par mg	21	1'002	1'692	1'885	81	7'052	362
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	360	611	640	94	2'899	287
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	271	506	532	68	2'348	322
ID_060	Pâtons	Surface par mg	21	2'372	2'347	958	0	5'434	227
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'191	1'296	342	865	2'211	120
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'142	1'440	1'302	0	5'560	-672
ID_061	Pâtons	Surface par mg	21	4'241	4'942	2'598	711	9'351	1'967
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	7'724	8'084	2'328	4'538	13'605	3'294
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	7'966	7'899	3'338	2'061	16'771	4'975
ID_062 2-Methylenecyclohexanol	Pâtons	Surface par mg	21	422	4'064	7'250	226	25'980	4'793
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'682	2'193	1'693	488	6'160	239
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'332	1'918	1'243	546	5'628	405
ID_063	Pâtons	Surface par mg	21	1'176	1'868	2'134	118	8'947	-417
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	167	222	195	30	794	62
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	155	221	191	37	734	-19
ID_064	Pâtons	Surface par mg	21	1'171	1'665	1'948	0	7'616	-19
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'947	3'080	3'022	552	13'153	2'923
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'686	2'119	1'204	776	6'335	1'025
ID_065	Pâtons	Surface par mg	21	1'694	2'051	1'028	733	4'722	163
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'183	1'198	257	746	1'747	78
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	832	844	155	672	1'303	129
ID_066	Pâtons	Surface par mg	21	4'622	4'558	2'317	834	10'266	904
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	3'618	3'739	1'249	1'545	6'225	739
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	3'375	3'366	1'220	1'058	5'588	1'300
ID_067	Pâtons	Surface par mg	21	1'292	1'308	380	692	2'135	26
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'447	1'808	1'079	665	5'153	-51
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'255	1'476	716	654	3'707	207
ID_068	Pâtons	Surface par mg	21	21	325	584	974	30	4'776
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	21	214	267	171	80	693
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	21	174	244	171	61	690

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12f: Composants aromatiques volatils (ID_069 - ID_082)

Paramètres ¹⁾	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenne	s _x	Minimum	Maximum	Farine de seigle ²⁾
ID_069	Pâtons	Surface par mg	21	21	1'326	1'335	730	168	2'709
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	21	1'363	1'443	596	538	2'859
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	21	1'579	1'595	557	553	2'985
ID_070	Pâtons	Surface par mg	21	21	1'357	1'331	498	88	2'281
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	21	1'064	1'530	1'673	135	6'753
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	21	874	1'114	1'020	132	4'150
ID_071	Pâtons	Surface par mg	21	21	1'079	2'003	1'990	198	6'438
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	21	220	212	105	0	409
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	21	266	278	74	148	420
ID_072	Pâtons	Surface par mg	21	2'142	2'316	691	1'166	3'537	296
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	966	953	609	0	2'323	178
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	684	784	341	268	1'657	369
ID_073	Pâtons	Surface par mg	21	0	48	115	0	427	-67
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	319	352	220	60	875	-133
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	354	446	437	17	1'937	-217
ID_074	Pâtons	Surface par mg	21	513	699	816	0	3'602	174
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	726	972	670	341	3'351	327
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	554	707	351	325	1'441	415
ID_075 2-Methoxy-4-vinylphenol	Pâtons	Surface par mg	21	140	150	57	66	290	-14
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	2'765	3'030	2'002	319	8'191	-1'575
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'446	1'998	1'422	169	6'122	-602
ID_076	Pâtons	Surface par mg	21	936	1'175	1'080	425	5'791	-271
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	600	689	280	313	1'509	-160
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	989	1'104	428	496	1'901	81
ID_077	Pâtons	Surface par mg	21	599	697	342	264	1'751	0
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	2'182	2'764	1'493	1'060	6'960	1'886
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'538	2'140	1'399	897	6'758	1'830
ID_079	Pâtons	Surface par mg	21	3'860	3'719	1'924	601	8'144	478
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	4'903	5'109	2'568	1'565	13'827	-401
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	3'895	3'958	1'459	1'212	7'384	782
ID_080	Pâtons	Surface par mg	21	438	953	1'370	0	5'881	355
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	137	291	0	1'094	60
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	53	155	0	712	101
ID_081	Pâtons	Surface par mg	21	6'063	6'624	6'172	0	22'053	318
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	375	550	0	1'775	191
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	154	284	407	0	1'509	244
ID_082	Pâtons	Surface par mg	21	726	1'209	1'117	144	4'090	-676
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'558	2'450	2'318	370	8'590	711
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'087	1'269	1'214	315	6'032	798

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12g: Composants aromatiques volatils (ID_083 - ID_095)

Paramètres 1)	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenn e	s _x	Mini- mum	Maxi- mum	Farine de seigle 2)
ID_083 Butanal	Pâtons	Surface par mg	21	1'471	1'975	2'233	0	9'178	311
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	317	1'140	1'365	73	3'884	434
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	260	437	686	22	3'278	389
ID_084	Pâtons	Surface par mg	21	124	283	597	14	2'893	-167
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	88	245	332	31	1'386	-203
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	168	306	374	48	1'609	-164
ID_085	Pâtons	Surface par mg	21	1'302	1'418	659	566	2'748	4
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	490	511	107	332	688	22
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	507	497	59	382	647	-5
ID_086	Pâtons	Surface par mg	21	223	590	729	17	2'621	-128
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	77	321	492	7	1'653	171
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	124	355	594	11	2'287	149
ID_087	Pâtons	Surface par mg	21	1'061	1'191	443	585	2'045	-395
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	545	610	203	336	1'006	35
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	504	534	169	246	881	114
ID_088	Pâtons	Surface par mg	21	1'545	1'661	899	721	4'937	355
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	935	998	555	264	2'927	326
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	712	828	449	385	2'520	383
ID_089	Pâtons	Surface par mg	21	2'270	2'422	1'278	497	5'248	53
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	714	877	598	168	2'257	361
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	683	876	653	200	2'717	436
ID_090	Pâtons	Surface par mg	21	1'784	2'774	2'143	192	7'184	-1'309
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	119	306	372	0	1'248	48
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	113	135	193	0	812	164
ID_091	Pâtons	Surface par mg	21	0	228	824	0	3'875	489
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	171	262	0	854	204
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	207	250	259	0	934	172
ID_092	Pâtons	Surface par mg	21	1'437	1'488	369	805	2'313	11
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	621	689	253	363	1'375	69
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	492	470	262	0	1'114	235
ID_093	Pâtons	Surface par mg	21	42	242	415	14	1'840	-12
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	75	106	103	28	444	40
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	63	91	90	30	404	46
ID_094	Pâtons	Surface par mg	21	621	1'200	1'461	0	5'765	278
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	522	712	474	191	1'952	270
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	603	654	322	288	1'809	341
ID_095	Pâtons	Surface par mg	21	1'005	1'133	645	157	2'466	225
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	870	846	286	342	1'241	142
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	944	903	398	223	1'875	309

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12h: Composants aromatiques volatils (ID_096 - ID_108)

Paramètres ¹⁾	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenne	s _x	Minimum	Maximum	Farine de seigle ²⁾
ID_096	Pâtons	Surface par mg	21	429	550	562	214	3'001	-158
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	308	339	103	187	528	12
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	394	403	115	237	668	13
ID_097	Pâtons	Surface par mg	21	1'875	2'037	1'678	92	5'375	64
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	35	65	77	0	302	59
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	8	10	10	0	43	8
ID_098	Pâtons	Surface par mg	21	0	413	750	0	2'568	446
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	820	1'055	751	0	3'105	399
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	762	950	565	338	2'307	323
ID_099	Pâtons	Surface par mg	21	8'124	7'780	4'105	1'354	15'488	381
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	5'847	8'445	7'279	1'983	28'414	2'173
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	3'247	4'087	3'351	1'940	17'488	2'371
ID_100	Pâtons	Surface par mg	21	1'378	1'965	1'550	320	6'097	150
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	208	227	116	86	499	6
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	107	118	64	47	322	-12
ID_101	Pâtons	Surface par mg	21	762	968	732	0	3'097	29
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	457	742	639	0	2'250	-9
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	444	698	584	161	2'023	-131
ID_102	Pâtons	Surface par mg	21	352	578	621	31	2'591	-69
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	381	515	532	66	2'432	303
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	279	370	380	51	1'845	216
ID_103	Pâtons	Surface par mg	21	774	981	996	0	3'665	-43
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	748	1'006	679	367	3'353	363
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	619	669	448	0	1'782	484
ID_104	Pâtons	Surface par mg	21	1'577	2'715	3'465	71	14'766	773
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'528	2'635	3'089	213	12'885	162
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'011	1'538	1'899	203	9'117	1'008
ID_105	Pâtons	Surface par mg	21	1'897	1'989	843	332	4'000	-83
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	895	1'172	869	269	3'389	578
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	390	529	426	155	2'018	326
ID_106	Pâtons	Surface par mg	21	45	194	494	0	2'344	266
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	50	53	27	19	138	5
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	41	44	18	20	95	8
ID_107	Pâtons	Surface par mg	21	0	81	311	0	1'468	193
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	240	380	454	65	2'271	442
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	188	312	418	75	2'108	395
ID_108	Pâtons	Surface par mg	21	15	14	5	3	23	1
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	412	594	556	64	2'549	-260
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	423	535	349	132	1'411	-55

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12i: Composants aromatiques volatils (ID_109 - ID_122)

Paramètres ¹⁾	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenne	s _x	Minimum	Maximum	Farine de seigle ²⁾
ID_109	Pâtons	Surface par mg	21	129	125	19	70	154	1
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	117	117	7	104	141	3
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	140	137	13	108	161	12
ID_110	Pâtons	Surface par mg	21	61	103	119	0	400	6
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	208	418	482	0	2'073	-127
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	270	329	306	0	1'031	-53
ID_111	Pâtons	Surface par mg	21	0	31'201	56'491	0	181'108	4'571
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	9'555	12'597	10'853	1'792	38'753	6'459
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	9'829	9'894	5'595	1'573	25'103	2'632
ID_112	Pâtons	Surface par mg	21	98	108	53	18	220	-2
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	257	390	408	26	1'931	-164
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	195	235	152	44	615	28
ID_113	Pâtons	Surface par mg	21	276	643	964	130	4'182	-57
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	259	416	349	172	1'300	-38
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	257	276	154	148	910	123
ID_114	Pâtons	Surface par mg	21	545	948	1'016	0	3'594	-139
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	138	178	167	0	649	125
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	14	35	49	0	179	46
ID_115	Pâtons	Surface par mg	21	353	431	340	39	1'246	116
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	168	219	138	78	622	135
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	170	202	117	73	568	127
ID_117	Pâtons	Surface par mg	21	1'325	1'521	1'342	43	3'932	-87
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	52	58	33	24	143	17
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	48	49	12	29	80	11
ID_118	Pâtons	Surface par mg	21	0	8	11	0	33	-3
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	386	500	460	19	1'657	147
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	244	392	367	21	1'230	206
ID_119	Pâtons	Surface par mg	21	575	672	282	279	1'136	78
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	258	266	60	187	381	9
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	89	96	31	54	178	14
ID_120	Pâtons	Surface par mg	21	783	796	230	537	1'708	-32
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	535	551	124	338	766	14
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	548	544	64	418	706	-4
ID_121 Acetoin	Pâtons	Surface par mg	21	12'492	34'845	37'133	649	115'156	5'065
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	10'470	22'155	30'385	0	130'576	13'761
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	14'167	24'490	33'410	1'308	144'372	15'362
ID_122	Pâtons	Surface par mg	21	325	449	398	0	1'949	-50
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	253	264	69	143	398	-4
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	213	215	51	98	342	0

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12j: Composants aromatiques volatils (ID_123 - ID_135)

Paramètres 1)	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenn e	s _x	Mini- mum	Maxi- mum	Farine de seigle 2)
ID_123	Pâtons	Surface par mg	21	16'133	21'190	21'019	289	67'523	1'723
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	662	831	553	322	2'789	455
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	486	585	266	338	1'453	222
ID_124	Pâtons	Surface par mg	21	67	138	171	25	622	4
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	317	383	271	70	1'157	-27
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	134	206	167	45	629	95
ID_125 Heptanal	Pâtons	Surface par mg	21	4'214	85'273	113'011	128	331'627	-837
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'362	1'295	331	679	1'935	-219
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	873	10'330	29'353	374	106'035	6'029
ID_126	Pâtons	Surface par mg	21	570	633	260	314	1'410	62
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'070	1'121	374	632	2'167	90
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	817	866	366	416	1'780	-28
ID_127	Pâtons	Surface par mg	21	0	212	578	0	2'699	266
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	170	226	0	806	142
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	91	200	227	0	720	168
ID_128 Furfuryl ethyl ether	Pâtons	Surface par mg	21	0	191	237	0	710	94
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'111	1'145	384	583	1'960	34
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'000	1'099	410	482	2'010	7
ID_129	Pâtons	Surface par mg	21	1'733	2'173	2'311	0	7'139	-460
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	53	76	84	0	295	-22
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	19	133	182	0	526	-113
ID_130	Pâtons	Surface par mg	21	1'319	1'329	725	169	2'694	241
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'363	1'433	585	529	2'751	18
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'571	1'590	555	552	2'969	377
ID_131	Pâtons	Surface par mg	21	8'299	10'739	12'160	0	48'931	1'704
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	413	860	0	3'182	566
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	299	636	0	2'409	507
ID_132	Pâtons	Surface par mg	21	60	77	70	0	224	-19
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	364	410	305	90	1'581	-193
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	246	301	204	99	872	151
ID_133	Pâtons	Surface par mg	21	7'182	18'485	20'669	342	63'860	-2'052
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'200	1'610	1'866	186	8'727	1'208
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	410	780	1'398	158	6'857	859
ID_134 Toluene (Artefact)	Pâtons	Surface par mg	21	1'295	2'421	2'480	338	9'266	-1'524
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	955	2'536	3'646	178	14'684	1'556
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	514	968	1'456	0	5'578	-705
ID_135	Pâtons	Surface par mg	21	101	169	205	0	653	79
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	400	460	350	0	1'598	31
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	347	387	290	0	1'098	256

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12k: Composants aromatiques volatils (ID_136 - ID_149)

Paramètres ¹⁾	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenne	s _x	Minimum	Maximum	Farine de seigle ²⁾
ID_136	Pâtons	Surface par mg	21	514	582	442	0	1'503	149
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	158	292	347	0	988	151
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	139	281	347	0	1'266	37
ID_137 2-[2-(2-butoxy-ethoxy)ethoxy]-Ethanol	Pâtons	Surface par mg	21	821	7'689	14'000	0	44'926	-2'101
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	439	488	378	0	1'654	34
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	344	364	242	0	928	190
ID_138	Pâtons	Surface par mg	21	1'927	2'429	1'371	515	5'224	59
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'166	1'237	436	414	2'038	-86
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'458	1'433	756	335	3'144	155
ID_139	Pâtons	Surface par mg	21	727	1'770	2'065	248	7'441	578
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'267	1'602	1'262	423	6'462	-274
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'505	1'590	810	631	4'042	431
ID_140	Pâtons	Surface par mg	21	1'276	1'282	722	214	2'905	168
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	712	670	275	248	1'408	123
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	952	953	440	253	2'038	299
ID_141	Pâtons	Surface par mg	21	28	146	394	0	1'795	212
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	42	131	0	614	86
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	41	135	0	636	98
ID_142	Pâtons	Surface par mg	21	981	982	218	600	1'428	136
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	756	921	483	464	2'810	313
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	866	1'050	589	581	3'214	282
ID_143	Pâtons	Surface par mg	21	321	353	275	0	1'030	6
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	311	306	147	0	648	39
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	250	278	150	0	758	88
ID_144	Pâtons	Surface par mg	21	527	572	462	105	1'905	91
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	212	321	246	142	1'224	184
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	231	251	101	121	534	99
ID_145 Acetonitrile	Pâtons	Surface par mg	21	1'143	1'541	1'382	309	5'347	221
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	2'569	3'206	2'356	334	10'277	-129
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	2'890	3'068	2'179	179	7'264	-252
ID_147	Pâtons	Surface par mg	21	1'688	2'248	1'805	335	6'455	708
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'274	1'513	945	672	5'224	-228
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'104	1'166	428	585	2'208	72
ID_148	Pâtons	Surface par mg	21	1'112	1'634	1'735	251	8'423	69
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'080	1'161	618	367	3'311	59
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'557	1'379	664	237	2'499	568
ID_149	Pâtons	Surface par mg	21	227	380	327	46	1'075	-57
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	78	76	31	27	138	21
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	80	93	56	16	245	25

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12l: Composants aromatiques volatils (ID_150 - ID_162)

Paramètres 1)	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenn e	s _x	Mini- mum	Maxi- mum	Farine de seigle 2)
ID_150	Pâtons	Surface par mg	21	97	103	57	12	212	5
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	260	371	365	21	1'695	-146
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	183	231	144	39	559	31
ID_151	Pâtons	Surface par mg	21	13	35	41	0	166	-2
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	5	10	0	45	5
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	2	3	0	10	0
ID_152 2-Octanone	Pâtons	Surface par mg	21	720	2'032	3'776	0	14'825	-2'111
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	884	1'391	1'477	328	7'356	-234
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	670	3'614	6'674	288	23'331	3'232
ID_153	Pâtons	Surface par mg	21	1'430	1'203	959	0	2'676	23
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	0	0	0	0	0
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	5	23	0	108	-8
ID_154	Pâtons	Surface par mg	21	337	426	289	71	1'099	99
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	283	310	161	131	823	-50
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	301	372	187	126	950	0
ID_155	Pâtons	Surface par mg	21	46	189	301	0	1'317	-9
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	572	574	188	241	1'062	192
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	400	420	162	201	809	98
ID_156	Pâtons	Surface par mg	21	6'751	8'563	8'144	0	25'416	-2'120
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	622	931	845	0	3'425	595
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	364	586	570	0	2'673	421
ID_157 2-Méthylén- ecyclohexa- nol	Pâtons	Surface par mg	21	626	8'946	16'190	363	57'939	7'093
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	952	2'965	8'472	424	40'801	5'877
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	811	881	335	399	1'926	246
ID_158	Pâtons	Surface par mg	21	226	260	237	0	1'088	133
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	27	121	0	566	-40
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	25	55	0	199	-7
ID_159	Pâtons	Surface par mg	21	3'188	3'011	846	1'452	4'483	5
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'946	1'931	580	574	3'219	-300
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	2'004	2'012	676	624	3'276	-122
ID_160	Pâtons	Surface par mg	21	266	364	377	0	1'263	-93
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	44	173	230	0	840	91
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	15	27	36	0	148	-5
ID_161	Pâtons	Surface par mg	21	45	64	50	31	267	17
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	47	55	29	31	155	-14
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	49	56	26	34	134	-9
ID_162	Pâtons	Surface par mg	21	0	556	671	0	2'048	121
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'204	1'312	707	0	3'190	474
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'008	1'144	498	270	2'365	604

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12m: Composants aromatiques volatils (ID_163 - ID_175)

Paramètres ¹⁾	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenne	s _x	Minimum	Maximum	Farine de seigle ²⁾
ID_163	Pâtons	Surface par mg	21	322	398	271	0	1'197	4
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	356	360	141	142	728	67
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	285	318	155	129	838	139
ID_164	Pâtons	Surface par mg	21	962	1'349	1'311	0	4'337	-690
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'613	2'922	3'031	425	12'418	723
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'196	1'445	1'574	354	7'946	1'047
ID_165	Pâtons	Surface par mg	21	1'022	1'672	1'403	32	4'670	13
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	932	1'175	1'085	574	5'853	905
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	654	965	651	367	2'974	20
ID_166	Pâtons	Surface par mg	21	282	304	125	145	703	1
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	225	222	53	143	330	23
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	232	251	87	137	504	98
ID_167	Pâtons	Surface par mg	21	0	75	147	0	504	18
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	0	0	0	0	0
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	0	0	0	0	0
ID_168	Pâtons	Surface par mg	21	160	1'739	5'546	0	25'957	-2'218
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	309	365	249	0	950	99
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	266	277	158	52	746	110
ID_169	Pâtons	Surface par mg	21	500	582	445	0	1'694	89
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	400	390	274	0	902	224
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	153	207	183	0	594	61
ID_170	Pâtons	Surface par mg	21	534	502	276	80	984	86
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	174	173	73	58	291	26
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	130	148	82	32	359	40
ID_171	Pâtons	Surface par mg	21	947	1'749	1'588	0	5'239	-236
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	753	799	422	0	1'698	427
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	532	613	423	0	1'770	378
ID_172	Pâtons	Surface par mg	21	27	40	37	3	137	-17
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	436	580	516	82	2'548	526
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	320	489	438	106	2'102	542
ID_173	Pâtons	Surface par mg	21	350	472	401	0	1'282	107
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	400	417	211	0	930	42
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	445	480	217	161	860	31
ID_174	Pâtons	Surface par mg	21	133	227	227	10	805	-36
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	28	33	35	0	166	0
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	33	38	23	5	86	-10
ID_175	Pâtons	Surface par mg	21	0	113	246	0	926	139
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	343	332	172	0	619	71
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	272	210	176	0	473	160

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12n: Composants aromatiques volatils (ID_176 - ID_189)

Paramètres ¹⁾	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenne	s _x	Minimum	Maximum	Farine de seigle ²⁾
ID_176	Pâtons	Surface par mg	21	262	336	306	0	967	-3
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	36	58	49	21	227	2
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	22	52	80	0	381	-7
ID_177	Pâtons	Surface par mg	21	73	95	59	39	293	-17
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	466	464	160	229	965	-49
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	346	365	134	178	701	-25
ID_178	Pâtons	Surface par mg	21	748	1'142	1'231	71	5'494	-373
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	408	522	246	242	1'232	31
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	340	378	244	0	1'152	104
ID_179	Pâtons	Surface par mg	21	243	227	139	27	562	-38
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	60	55	51	0	184	-17
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	32	43	0	165	-13
ID_180 1,1-dimethyl- Hydrazine	Pâtons	Surface par mg	21	2'725	3'336	2'314	195	7'936	414
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	562	1'289	1'503	197	5'426	153
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	366	693	872	165	3'609	159
ID_181	Pâtons	Surface par mg	21	573	596	87	358	771	-3
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	700	710	108	536	930	-28
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	783	798	154	569	1'127	4
ID_182	Pâtons	Surface par mg	21	707	854	578	0	2'255	-346
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	252	237	123	0	457	93
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	369	360	121	0	608	2
ID_183	Pâtons	Surface par mg	21	266	405	337	103	1'334	17
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	270	334	272	77	1'159	-4
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	198	268	240	0	1'002	198
ID_184	Pâtons	Surface par mg	21	1'282	1'605	1'384	131	5'864	52
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	281	298	121	175	739	123
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	223	242	103	125	597	119
ID_186	Pâtons	Surface par mg	21	405	1'179	1'246	193	4'972	23
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	422	466	181	290	1'002	165
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	296	318	132	193	801	178
ID_187	Pâtons	Surface par mg	21	624	974	1'060	131	4'062	1'205
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'692	1'770	720	423	3'285	40
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'195	1'269	400	514	2'089	55
ID_188	Pâtons	Surface par mg	21	82	123	115	0	503	-76
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	87	94	57	0	208	45
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	43	50	39	0	169	28
ID_189	Pâtons	Surface par mg	21	908	897	563	0	2'020	-26
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	575	668	314	0	1'445	180
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	568	589	207	0	925	183

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12o: Composants aromatiques volatils (ID_190 - ID_202)

Paramètres 1)	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenn e	s _x	Mini- mum	Maxi- mum	Farine de seigle 2)
ID_190	Pâtons	Surface par mg	21	333	334	190	38	643	104
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	155	152	61	49	248	27
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	157	159	81	36	327	41
ID_191	Pâtons	Surface par mg	21	2'857	3'974	4'095	306	18'201	-1'314
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	312	356	289	143	1'592	184
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	316	331	69	216	499	-6
ID_192	Pâtons	Surface par mg	21	301	399	432	0	1'584	-39
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	370	465	397	0	1'822	179
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	414	477	287	0	1'113	138
ID_193 2-Methy- lenecyclo- hexanol	Pâtons	Surface par mg	21	668	10'668	16'290	299	56'521	13'267
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	459	3'432	8'083	294	33'417	2'678
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	524	5'753	6'731	306	18'586	-4'328
ID_194	Pâtons	Surface par mg	21	29	30	12	0	55	0
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	98	119	91	0	326	-5
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	97	98	53	30	255	33
ID_195	Pâtons	Surface par mg	21	0	109	278	0	1'210	115
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	259	220	187	0	520	87
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	175	174	169	0	516	92
ID_196	Pâtons	Surface par mg	21	23	47	59	0	222	-19
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	70	98	89	24	453	-35
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	57	63	37	14	152	6
ID_197	Pâtons	Surface par mg	21	145	192	197	35	815	-69
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	97	101	67	35	361	-27
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	81	88	59	34	324	-7
ID_198	Pâtons	Surface par mg	21	478	705	543	250	2'661	160
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	528	903	946	173	3'587	-220
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	322	660	714	186	2'811	374
ID_199	Pâtons	Surface par mg	21	194	301	200	76	690	-10
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	150	158	59	68	252	39
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	193	208	87	94	489	21
ID_200	Pâtons	Surface par mg	21	0	108	191	0	666	30
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	163	140	123	0	536	-80
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	164	154	89	0	351	-22
ID_201	Pâtons	Surface par mg	21	2'833	3'386	2'361	678	8'059	-460
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	939	909	303	443	1'527	181
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	669	672	301	279	1'636	252
ID_202	Pâtons	Surface par mg	21	393	571	438	0	1'444	145
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	236	339	204	161	751	-3
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	238	280	164	84	720	62

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12p: Composants aromatiques volatils (ID_203 - ID_215)

Paramètres ¹⁾	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenne	s _x	Minimum	Maximum	Farine de seigle ²⁾
ID_203	Pâtons	Surface par mg	21	4'203	12'060	12'862	0	39'787	1'680
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	3'631	7'658	10'474	0	44'862	4'699
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	4'934	8'515	11'657	236	50'384	5'340
ID_204	Pâtons	Surface par mg	21	431	435	199	50	979	26
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	336	348	147	100	849	-60
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	265	296	125	119	690	-31
ID_205	Pâtons	Surface par mg	21	120	120	29	60	194	2
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	156	174	88	67	376	-1
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	127	160	110	44	422	57
ID_206	Pâtons	Surface par mg	21	502	507	238	154	973	143
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	215	238	129	81	588	66
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	105	127	76	40	317	48
ID_207	Pâtons	Surface par mg	21	505	866	791	129	3'072	33
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	342	661	634	76	2'220	-73
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	385	676	607	226	2'136	-136
ID_208	Pâtons	Surface par mg	21	877	977	734	0	2'556	-208
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	56	175	0	676	61
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	70	219	0	857	210
ID_209	Pâtons	Surface par mg	21	0	7	9	0	23	1
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	73	87	92	0	385	36
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	64	85	77	0	355	56
ID_210	Pâtons	Surface par mg	21	19	27	19	6	76	7
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	20	26	14	7	55	-7
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	23	25	17	1	72	-2
ID_211	Pâtons	Surface par mg	21	121	271	375	51	1'538	404
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	322	447	384	118	1'798	73
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	200	292	360	84	1'834	171
ID_212	Pâtons	Surface par mg	21	0	73	240	0	1'043	219
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	80	289	0	1'328	241
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	55	170	0	648	57
ID_213	Pâtons	Surface par mg	21	21	25	15	3	63	1
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	15	15	6	5	28	0
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	17	16	6	0	25	1
ID_214	Pâtons	Surface par mg	21	2'141	1'886	1'336	77	4'718	52
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	948	1'503	1'625	121	6'244	-761
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	670	833	731	96	2'199	-76
ID_215	Pâtons	Surface par mg	21	3	6	11	0	51	-3
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	5	6	6	0	22	2
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	7	10	9	2	31	4

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12q: Composants aromatiques volatils (ID_216 - ID_228)

Paramètres 1)	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenn e	s _x	Mini- mum	Maxi- mum	Farine de seigle 2)
ID_216	Pâtons	Surface par mg	21	134	134	30	64	191	-14
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	82	86	23	52	129	9
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	78	84	30	39	142	25
ID_217	Pâtons	Surface par mg	21	159	265	301	0	1'186	-141
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	85	128	125	0	404	18
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	102	109	107	0	379	7
ID_218	Pâtons	Surface par mg	21	733	1'628	1'649	98	4'637	600
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'386	1'872	1'936	58	5'596	1'387
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	3'567	3'022	2'183	64	6'769	2'100
ID_219	Pâtons	Surface par mg	21	691	1'030	1'138	0	5'047	-351
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	760	975	704	270	2'696	84
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	526	750	499	211	1'917	107
ID_220	Pâtons	Surface par mg	21	216	224	132	43	510	11
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	178	202	103	73	535	46
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	179	191	93	68	468	59
ID_221	Pâtons	Surface par mg	21	1'935	2'409	1'579	903	8'407	-797
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'180	1'282	447	443	2'190	18
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	786	867	318	444	1'840	187
ID_222	Pâtons	Surface par mg	21	19	23	15	4	58	-6
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	12	13	6	0	31	-1
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	11	13	9	0	34	4
ID_223	Pâtons	Surface par mg	21	14	15	10	0	39	3
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	5	6	6	0	19	3
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	6	6	3	0	10	2
ID_224	Pâtons	Surface par mg	21	13	13	9	0	27	-2
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	9	8	5	0	17	-2
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	7	8	4	2	17	0
ID_225	Pâtons	Surface par mg	21	167	391	622	9	2'835	-165
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	57	104	116	0	407	76
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	29	43	56	0	271	38
ID_226	Pâtons	Surface par mg	21	0	23	41	0	116	6
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	141	138	78	0	295	13
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	85	97	71	0	253	24
ID_227	Pâtons	Surface par mg	21	0	5	8	0	25	4
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	145	201	156	42	560	32
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	140	170	115	45	476	49
ID_228	Pâtons	Surface par mg	21	102'332	95'602	64'630	0	183'643	-29'967
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	461	542	231	235	1'103	99
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	294	6'141	26'045	81	122'614	17'666

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12r: Composants aromatiques volatils (ID_229 - ID_242)

Paramètres ¹⁾	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenne	s _x	Minimum	Maximum	Farine de seigle ²⁾
ID_229	Pâtons	Surface par mg	21	50	51	26	11	109	10
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	133	140	96	20	421	47
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	100	115	74	29	341	71
ID_230	Pâtons	Surface par mg	21	203	183	119	0	440	89
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	213	174	103	0	300	-28
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	221	202	72	0	308	50
ID_231	Pâtons	Surface par mg	21	912	1'726	1'637	132	5'228	-457
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	647	1'030	1'070	98	3'206	236
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	302	407	356	75	1'597	32
ID_232	Pâtons	Surface par mg	21	0	75	176	0	599	16
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	154	262	0	1'166	-39
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	121	148	195	0	871	-13
ID_233	Pâtons	Surface par mg	21	114	136	73	41	305	6
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	100	104	36	39	171	7
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	116	116	41	47	192	29
ID_234	Pâtons	Surface par mg	21	362	590	714	0	3'278	-303
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	971	928	232	592	1'423	-167
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	615	567	178	170	806	27
ID_235	Pâtons	Surface par mg	21	629	651	331	281	1'843	126
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	346	374	195	153	1'081	128
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	234	278	160	114	880	139
ID_236	Pâtons	Surface par mg	21	68	82	76	0	326	-27
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	82	111	85	16	332	13
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	84	107	74	41	275	37
ID_237	Pâtons	Surface par mg	21	73	101	95	0	413	-22
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	112	132	65	58	274	14
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	79	107	76	49	403	72
ID_239	Pâtons	Surface par mg	21	4'118	5'454	5'103	571	21'430	246
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	930	1'211	865	364	4'098	557
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	553	700	530	254	2'674	412
ID_240 Acetic acid	Pâtons	Surface par mg	21	825	82'260	125'448	225	402'224	-7'878
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	512	35'363	59'994	172	236'338	12'727
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	66'764	71'513	78'830	125	321'198	41'709
ID_241 Heptane	Pâtons	Surface par mg	21	2'144	2'914	3'324	658	15'809	-24
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	5'556	25'823	31'823	462	105'727	2'616
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	807	2'601	5'470	550	20'816	-2'476
ID_242	Pâtons	Surface par mg	21	1'477	1'562	916	448	4'938	256
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	940	1'000	556	268	2'933	329
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	709	829	448	385	2'516	382

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12s: Composants aromatiques volatils (ID_243 - ID_256)

Parameter 1)	Probematerial	Einheit	N	Median	Mittel- wert	s _x	Mini- mum	Maxi- mum	Roggen- mehl 2)
ID_243	Pâtons	Surface par mg	21	9	13	10	0	36	-4
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	6	7	4	0	13	-2
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	6	5	4	0	11	2
ID_244	Pâtons	Surface par mg	21	97	108	84	0	321	-48
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	61	65	34	15	168	15
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	65	68	30	0	157	21
ID_245	Pâtons	Surface par mg	21	16'802	21'031	20'792	343	63'847	-5'900
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'561	2'453	2'096	400	8'751	1'518
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	919	1'505	1'455	204	6'889	1'071
ID_246 4,4-dimethyl- 2-Cyclohe- xen-1-one	Pâtons	Surface par mg	21	399	564	476	0	1'826	13
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	457	743	684	191	3'145	44
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	158	184	181	0	543	6
ID_247	Pâtons	Surface par mg	21	12	13	6	0	23	6
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	9	8	4	0	17	-1
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	4	5	3	0	9	-1
ID_248	Pâtons	Surface par mg	21	0	57	126	0	482	-40
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	716	752	338	0	1'697	130
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	634	696	311	202	1'338	241
ID_249	Pâtons	Surface par mg	21	3	4	4	0	20	-2
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	2	2	2	0	8	1
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1	1	2	0	4	0
ID_250 Toluene (Artefact)	Pâtons	Surface par mg	21	3'095	5'872	8'224	411	38'589	2'617
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'830	4'359	5'734	468	23'122	2'990
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'229	1'814	2'206	294	8'775	-901
ID_251	Pâtons	Surface par mg	21	0	62	133	0	543	-12
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	97	207	0	753	-51
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	57	121	0	428	-86
ID_253 2,3-Butane- dione	Pâtons	Surface par mg	21	16'265	33'066	32'904	662	91'657	2'376
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	18'408	29'053	30'674	2'196	128'850	10'567
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	28'295	40'782	43'152	3'605	176'104	13'653
ID_254	Pâtons	Surface par mg	21	6	6	4	0	12	1
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	6	5	2	0	10	1
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	7	7	3	2	13	0
ID_255	Pâtons	Surface par mg	21	79	162	159	6	525	24
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	7	8	6	0	28	6
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	7	10	11	0	47	1
ID_256	Pâtons	Surface par mg	21	146	149	67	59	366	-34
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	109	122	81	43	445	-37
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	95	111	44	61	250	-21

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12t: Composants aromatiques volatils (ID_257 - ID_269)

Paramètres ¹⁾	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenne	s _x	Minimum	Maximum	Farine de seigle ²⁾
ID_257	Pâtons	Surface par mg	21	927	884	570	0	2'008	52
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	539	554	305	0	1'240	229
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	436	401	231	0	850	261
ID_258	Pâtons	Surface par mg	21	876	1'473	1'761	0	6'807	497
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	236	293	199	0	804	110
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	225	282	166	103	909	171
ID_259	Pâtons	Surface par mg	21	5	8	8	0	28	-1
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	7	6	4	0	13	3
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	7	7	4	2	15	-1
ID_260	Pâtons	Surface par mg	21	1'966	2'108	652	1'045	3'172	303
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	842	826	534	0	2'032	158
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	582	586	372	0	1'386	246
ID_261 2-méthyl- Propanoic acid	Pâtons	Surface par mg	21	130	146	48	50	294	3
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	111	291	325	66	1'186	138
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	763	990	620	153	2'135	502
ID_262	Pâtons	Surface par mg	21	17	23	21	0	95	-6
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	8	10	11	0	55	4
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	6	6	4	0	14	-1
ID_263	Pâtons	Surface par mg	21	7	9	6	1	21	4
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	6	6	4	1	18	2
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	8	9	6	2	29	3
ID_264	Pâtons	Surface par mg	21	38	45	34	11	152	9
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	159	200	126	35	510	53
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	111	143	106	35	392	62
ID_265	Pâtons	Surface par mg	21	390	674	546	138	1'886	-205
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	320	324	103	154	685	85
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	205	214	68	121	401	63
ID_266	Pâtons	Surface par mg	21	187	175	166	0	474	34
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	29	128	0	600	-43
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	22	51	0	196	-15
ID_267	Pâtons	Surface par mg	21	5	6	5	0	18	-4
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	3	3	2	0	9	0
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	3	3	2	0	8	-1
ID_268	Pâtons	Surface par mg	21	3	4	5	0	22	-1
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	2	2	1	0	4	0
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1	2	2	0	8	1
ID_269	Pâtons	Surface par mg	21	7	6	5	0	17	-2
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	5	6	3	0	14	0
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	4	4	3	0	10	2

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12u: Composants aromatiques volatils (ID_270 - ID_283)

Paramètres ¹⁾	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenne	s _x	Minimum	Maximum	Farine de seigle ²⁾
ID_270	Pâtons	Surface par mg	21	867	1'066	1'249	0	5'536	436
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	0	0	0	0	0
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	7	30	0	141	20
ID_271	Pâtons	Surface par mg	21	6	13	19	0	61	-2
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	4	4	4	0	12	-1
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	4	3	3	0	9	-2
ID_272	Pâtons	Surface par mg	21	18	67	157	0	748	76
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	84	124	114	0	440	4
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	80	94	84	0	298	26
ID_273	Pâtons	Surface par mg	21	28	63	93	3	429	-27
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	9	10	8	0	31	3
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	6	8	7	0	27	-2
ID_274	Pâtons	Surface par mg	21	4	4	3	0	9	1
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	3	3	2	0	7	0
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	5	4	2	0	7	0
ID_275	Pâtons	Surface par mg	21	0	3	3	0	9	-2
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	4	3	2	0	7	1
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	2	2	2	0	8	0
ID_276	Pâtons	Surface par mg	21	479	630	481	0	1'994	216
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	121	167	0	470	-59
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	134	148	0	394	-91
ID_277 2-methyl-1-Propanol	Pâtons	Surface par mg	21	40'138	47'971	39'135	594	132'043	10'805
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	22'627	27'759	21'030	479	80'440	5'339
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	9'758	14'751	14'082	221	47'308	5'873
ID_278	Pâtons	Surface par mg	21	4	4	3	0	10	-1
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	3	3	2	0	8	-3
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	3	3	3	0	11	2
ID_279	Pâtons	Surface par mg	21	130	248	292	0	1'140	-114
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	145	140	127	0	495	-48
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	119	106	79	0	247	11
ID_280	Pâtons	Surface par mg	21	160	208	158	77	726	-96
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	140	187	105	76	438	11
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	114	140	87	62	380	64
ID_281	Pâtons	Surface par mg	21	11	13	10	0	44	-5
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	8	8	5	0	24	-3
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	12	12	3	5	18	1
ID_283	Pâtons	Surface par mg	21	0	71	146	0	666	-72
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	223	240	140	70	697	-28
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	195	233	128	43	521	86

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12v: Composants aromatiques volatils (ID_284 - ID_296)

Paramètres 1)	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenn e	s _x	Mini- mum	Maxi- mum	Farine de seigle 2)
ID_284	Pâtons	Surface par mg	21	7	9	10	0	34	6
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	44	69	59	25	260	66
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	42	71	69	21	320	81
ID_285 2-methyl- Propanoic acid	Pâtons	Surface par mg	21	244	699	930	58	3'114	-686
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	134	872	1'243	67	4'033	532
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	2'479	2'535	1'722	81	5'819	1'126
ID_286	Pâtons	Surface par mg	21	133	130	69	22	284	24
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	144	141	69	0	367	27
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	131	137	51	61	243	34
ID_287	Pâtons	Surface par mg	21	4	5	5	0	23	-4
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	3	4	3	0	11	2
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	6	6	3	0	11	2
ID_288	Pâtons	Surface par mg	21	319	650	993	172	4'905	-303
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	973	883	402	124	1'420	85
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	557	533	281	119	1'101	242
ID_289	Pâtons	Surface par mg	21	4	54	87	0	278	-16
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	72	112	86	22	310	1
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	57	76	57	0	228	-12
ID_290	Pâtons	Surface par mg	21	72	148	176	12	735	-27
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	19	22	16	0	64	2
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	9	13	19	0	76	-11
ID_291	Pâtons	Surface par mg	21	58	60	24	29	145	-5
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	105	102	17	53	123	-2
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	92	92	15	67	122	12
ID_292	Pâtons	Surface par mg	21	152	484	881	14	3'388	270
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	179	173	54	66	279	6
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	121	128	52	45	245	25
ID_293	Pâtons	Surface par mg	21	0	636	1'734	0	6'021	-828
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	261	240	193	0	547	-72
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	183	187	100	0	424	10
ID_294	Pâtons	Surface par mg	21	1'173	1'398	1'011	227	3'766	201
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	509	770	901	228	4'449	608
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	420	437	173	189	925	160
ID_295 Pro- panoic acid, 2- hydroxy-, 2-me- thylpropyl ester	Pâtons	Surface par mg	21	1'640	2'164	1'828	265	7'726	-731
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'623	1'669	823	258	3'049	-471
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	312	439	362	119	1'604	454
ID_296	Pâtons	Surface par mg	21	1'179	1'349	1'009	228	3'753	268
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	629	855	939	209	4'467	630
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	478	885	996	166	4'602	604

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12w: Composants aromatiques volatils (ID_297 - ID_312)

Paramètres 1)	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenn e	s _x	Mini- mum	Maxi- mum	Farine de seigle 2)
ID_297 Cyclopentene	Pâtons	Surface par mg	21	4'404	8'749	16'080	1'165	78'907	9'426
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'436	1'423	673	656	3'124	361
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'019	1'171	542	437	2'780	439
ID_298 2-methyl-1-Propanol	Pâtons	Surface par mg	21	365	875	1'200	19	4'496	67
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	129	268	286	54	1'238	192
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	151	196	139	27	578	96
ID_299	Pâtons	Surface par mg	21	169	248	242	34	1'192	-77
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	139	143	55	55	253	-22
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	179	198	77	52	377	51
ID_300	Pâtons	Surface par mg	21	1'507	1'825	1'734	0	7'139	82
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	99	141	0	406	96
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	70	134	0	469	8
ID_301	Pâtons	Surface par mg	21	9	14	12	0	47	0
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	8	9	4	0	18	1
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	7	10	7	0	27	-4
ID_303	Pâtons	Surface par mg	21	103	131	97	11	462	61
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	88	424	983	24	4'504	971
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	65	344	609	23	2'314	621
ID_304	Pâtons	Surface par mg	21	5'583	6'559	5'748	0	20'866	444
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	439	493	399	0	1'856	226
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	249	352	367	0	1'744	218
ID_306	Pâtons	Surface par mg	21	59	87	72	0	268	8
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	41	47	22	18	108	-7
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	38	41	24	14	136	15
ID_307	Pâtons	Surface par mg	21	0	0	0	0	0	0
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	130	167	0	610	-93
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	66	128	0	425	3
ID_308	Pâtons	Surface par mg	21	91	97	57	0	221	39
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	100	113	73	0	334	14
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	137	114	58	0	226	23
ID_309	Pâtons	Surface par mg	21	4	4	2	0	12	0
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	2	2	2	0	6	0
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	2	2	2	0	6	0
ID_310	Pâtons	Surface par mg	21	321	403	269	0	1'197	1
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	356	360	139	137	728	67
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	285	317	154	123	829	137
ID_312	Pâtons	Surface par mg	21	37	44	20	21	99	5
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	198	209	100	80	449	26
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	163	182	77	77	354	67

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12x: Composants aromatiques volatils (ID_314 - ID_328)

Paramètres 1)	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenn e	s _x	Mini- mum	Maxi- mum	Farine de seigle 2)
ID_314 1-Octen-3-ol	Pâtons	Surface par mg	21	1'782	5'682	11'102	924	46'213	3'449
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	818	2'577	7'511	585	36'151	5'088
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	967	8'616	12'518	499	49'314	6'766
ID_315	Pâtons	Surface par mg	21	34	33	13	0	55	-3
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	97	119	91	0	329	-2
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	111	110	31	63	196	19
ID_317	Pâtons	Surface par mg	21	2'245	2'886	2'702	217	11'329	105
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	468	524	204	316	1'164	191
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	352	386	177	206	958	198
ID_319	Pâtons	Surface par mg	21	334	438	361	191	1'915	-123
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	522	516	316	167	1'073	53
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	279	374	217	137	901	221
ID_320	Pâtons	Surface par mg	21	56	80	90	0	414	-24
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	71	73	30	0	120	25
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	62	50	30	0	92	22
ID_321	Pâtons	Surface par mg	21	9	11	6	5	22	-1
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	10	10	5	2	22	1
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	9	9	5	0	22	0
ID_322	Pâtons	Surface par mg	21	509	852	894	81	3'958	-308
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	111	123	62	0	253	-11
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	171	168	61	0	263	28
ID_323	Pâtons	Surface par mg	21	9	8	5	0	25	4
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	4	4	4	0	11	4
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	3	4	3	0	11	0
ID_324	Pâtons	Surface par mg	21	0	115	336	0	1515	176
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	218	215	123	0	503	42
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	182	172	121	0	541	17
ID_325	Pâtons	Surface par mg	21	58	68	38	23	200	-20
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	49	48	15	14	80	5
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	45	49	19	25	93	27
ID_326	Pâtons	Surface par mg	21	38	180	317	0	1194	24
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	66	103	116	0	329	53
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	17	34	59	0	268	35
ID_327 Cyclopent- ène	Pâtons	Surface par mg	21	1560	3592	6556	370	32108	3738
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	848	7631	11589	230	37038	1128
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	453	623	751	114	3757	17
ID_328	Pâtons	Surface par mg	21	270	505	549	160	2388	-170
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	212	221	63	104	347	-16
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	195	219	97	106	555	50

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12y: Composants aromatiques volatils (ID_329 - ID_341)

Paramètres ¹⁾	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenne	s _x	Minimum	Maximum	Farine de seigle ²⁾
ID_329	Pâtons	Surface par mg	21	16	51	64	6	236	-34
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	32	39	24	16	110	-1
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	36	36	13	14	62	4
ID_330	Pâtons	Surface par mg	21	0	37	98	0	453	-36
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	124	125	62	0	261	34
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	99	92	50	0	208	8
ID_331	Pâtons	Surface par mg	21	1'040	1'018	411	231	1'659	-266
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	431	529	328	180	1'693	-236
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	468	519	315	112	1'468	74
ID_332	Pâtons	Surface par mg	21	479	1'236	1'194	185	3'995	45
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	356	809	1'064	0	4'777	523
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	216	757	1'111	100	5'102	216
ID_333	Pâtons	Surface par mg	21	104	118	95	30	473	-45
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	62	65	24	29	128	-2
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	50	52	21	10	95	6
ID_334	Pâtons	Surface par mg	21	30	57	73	0	291	-45
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	27	39	43	0	175	23
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	37	40	28	0	134	21
ID_335	Pâtons	Surface par mg	21	75	75	52	0	196	-3
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	76	83	56	0	249	11
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	50	67	39	27	183	22
ID_336 Furfural	Pâtons	Surface par mg	21	230	254	220	0	823	62
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	7'943	13'433	17'762	1'010	84'685	11'208
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	4'730	8'025	12'346	1'064	61'237	11'316
ID_337	Pâtons	Surface par mg	21	189	219	169	0	648	-25
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	23	67	0	289	-8
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	10	35	0	165	-15
ID_338	Pâtons	Surface par mg	21	39	223	435	0	1'768	-62
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	91	120	98	0	460	3
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	69	78	44	19	224	49
ID_339	Pâtons	Surface par mg	21	10	14	13	0	55	-5
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	55	55	40	5	208	-19
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	31	35	26	8	139	-8
ID_340	Pâtons	Surface par mg	21	269	323	229	76	880	-66
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	115	123	71	0	263	-28
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	105	111	71	0	340	29
ID_341	Pâtons	Surface par mg	21	64	82	57	19	212	-6
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	63	72	34	27	169	-9
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	59	68	30	26	147	19

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12z: Composants aromatiques volatils (ID_342 - ID_355)

Paramètres ¹⁾	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenne	s _x	Minimum	Maximum	Farine de seigle ²⁾
ID_342	Pâtons	Surface par mg	21	139	144	63	60	374	-31
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	236	238	71	116	394	33
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	212	206	58	103	304	46
ID_343	Pâtons	Surface par mg	21	7	10	9	0	28	0
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	12	13	9	0	40	-2
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	11	13	7	3	29	-1
ID_344	Pâtons	Surface par mg	21	50	54	23	20	104	-1
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	55	52	21	25	107	-6
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	53	56	23	18	92	6
ID_345	Pâtons	Surface par mg	21	181	212	190	0	889	60
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	209	257	132	0	617	-87
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	201	208	80	62	334	-24
ID_346	Pâtons	Surface par mg	21	9	12	11	0	40	0
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	3	4	5	0	16	0
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	4	5	5	0	20	0
ID_347	Pâtons	Surface par mg	21	1'040	1'024	399	354	1'659	-244
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	437	525	328	182	1'737	-249
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	377	498	323	188	1'468	134
ID_348	Pâtons	Surface par mg	21	26	124	137	0	427	51
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	119	125	126	0	514	82
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	60	85	106	0	425	63
ID_349	Pâtons	Surface par mg	21	87	123	92	28	425	-66
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	70	76	48	24	171	25
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	37	46	27	22	137	24
ID_350	Pâtons	Surface par mg	21	15	16	10	0	40	-5
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	8	8	7	0	31	-5
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	15	14	8	0	30	-5
ID_351 Furfural	Pâtons	Surface par mg	21	61	62	52	0	216	32
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	999	1'813	1'907	76	7'942	-9
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	930	1'718	2'709	87	13'293	2'538
ID_352	Pâtons	Surface par mg	21	7'080	9'002	8'828	225	29'182	725
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	526	518	216	0	991	121
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	495	529	174	282	986	48
ID_353	Pâtons	Surface par mg	21	2'957	2'705	2'406	183	8'575	1'036
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	2'187	2'466	922	702	4'041	614
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	1'510	1'645	669	113	3'120	680
ID_355	Pâtons	Surface par mg	21	50	51	33	0	106	2
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	40	38	22	0	79	-1
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	42	43	27	0	92	15

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12aa: Composants aromatiques volatils (ID_356 - ID_368)

Paramètres ¹⁾	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenne	s _x	Minimum	Maximum	Farine de seigle ²⁾
ID_356	Pâtons	Surface par mg	21	234	265	90	162	441	2
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	76	81	23	35	132	9
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	77	76	16	40	101	8
ID_357	Pâtons	Surface par mg	21	105	194	260	0	1'090	-90
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	59	73	60	0	250	-13
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	49	63	50	25	257	10
ID_358	Pâtons	Surface par mg	21	65	73	48	14	184	4
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	70	100	85	18	360	20
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	44	69	53	16	203	26
ID_359	Pâtons	Surface par mg	21	2'090	2'232	616	1'122	3'433	257
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	972	1'018	475	0	2'185	234
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	723	817	282	424	1'621	282
ID_360	Pâtons	Surface par mg	21	210	634	853	7	2'767	-196
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	30	166	386	19	1'617	134
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	32	99	226	14	974	13
ID_361	Pâtons	Surface par mg	21	3	3	3	0	12	-2
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	4	4	3	0	14	1
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	4	4	2	0	9	0
ID_362 Hexanal	Pâtons	Surface par mg	21	1'384	5'146	7'054	310	25'658	1'343
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	1'157	1'534	1'367	742	7'364	967
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	759	720	296	273	1'303	310
ID_363	Pâtons	Surface par mg	21	25'880	26'480	10'247	2'529	45'620	-334
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	11'954	10'199	6'742	282	25'775	2'385
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	9'678	9'572	3'500	323	14'921	2'650
ID_364	Pâtons	Surface par mg	21	0	64	134	0	446	-96
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	100	167	240	0	1'063	150
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	64	170	0	791	134
ID_365	Pâtons	Surface par mg	21	1'491	2'424	2'736	0	12'260	-905
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	454	769	829	0	2'609	56
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	284	583	701	0	2'517	25
ID_366	Pâtons	Surface par mg	21	46	55	28	29	149	-16
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	38	39	16	0	78	-2
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	45	48	20	21	87	30
ID_367	Pâtons	Surface par mg	21	49	53	28	15	108	-18
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	38	39	21	0	101	11
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	41	44	16	21	91	16
ID_368	Pâtons	Surface par mg	21	11	20	24	3	116	-6
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	7	8	4	3	21	1
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	4	5	4	0	11	1

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)

Tableau 12ab: Composants aromatiques volatils (ID_370 - ID_381)

Paramètres 1)	Échantillons	Unité	N	Médiane	Valeur moyenn e	s _x	Mini- mum	Maxi- mum	Farine de seigle 2)
ID_370	Pâtons	Surface par mg	21	518	969	987	98	4'392	299
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	246	327	294	112	1'570	243
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	194	244	256	79	1'357	201
ID_371	Pâtons	Surface par mg	21	0	125	202	0	640	215
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	83	142	0	442	92
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	53	110	0	377	94
ID_372	Pâtons	Surface par mg	21	65	61	22	0	106	10
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	106	110	37	64	241	-10
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	98	101	17	73	141	9
ID_373	Pâtons	Surface par mg	21	1'439	2'219	2'442	345	11'105	635
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	533	513	269	0	1'017	261
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	795	794	237	203	1'292	80
ID_375	Pâtons	Surface par mg	21	125	212	304	0	1'364	108
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	194	215	149	0	678	-24
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	137	148	138	0	498	41
ID_376	Pâtons	Surface par mg	21	59	66	40	0	150	18
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	69	80	43	27	245	-16
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	68	70	20	41	125	4
ID_377	Pâtons	Surface par mg	21	27	39	44	0	217	-17
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	52	62	30	23	136	31
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	62	64	26	23	124	26
ID_378	Pâtons	Surface par mg	21	26	122	134	0	417	52
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	142	134	140	0	608	105
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	72	97	101	0	400	45
ID_380	Pâtons	Surface par mg	21	45	58	46	8	167	-15
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	24	26	21	0	88	-9
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	24	33	23	0	98	7
ID_381	Pâtons	Surface par mg	21	0	168	324	0	1'236	13
	Pains, 1 à 3 j.	Surface par mg	21	0	28	126	0	591	-42
	Pains, 8 à 10 j.	Surface par mg	21	0	0	0	0	0	0

1) Plusieurs espèces (ID) peuvent appartenir au même composant

2) Moyenne lors de l'utilisation de 100 % de farine de seigle (N = 7) moins la moyenne avec ajout de 8 à 10 % de farine de blé (N = 14)