

INCORPORATION DE FARINES DE LÉGUMINEUSES DANS DES PRODUITS DE BOULANGERIE ET PATISserie

– Evaluation des impacts techno-fonctionnels et sensoriels dans les madeleines et les pains de mie

Résumé

Les légumineuses, longtemps négligées dans les régimes alimentaires modernes, connaissent un regain d'intérêt grâce à leurs nombreux bienfaits nutritionnels et environnementaux. Les intégrer sous forme de farine représente une opportunité unique de diversifier notre alimentation tout en répondant aux défis de la durabilité.

Pour répondre à ces enjeux de formulation, le CTCPA a participé au projet GERMAGE, financé par le Carnot Qualiment et coordonné par l'Unité de Nutrition Humaine de Clermont-Ferrand. Ce projet visait à caractériser les propriétés nutritionnelles et fonctionnelles de farines mixtes à base de blé et de lentilles germées pour une mise en œuvre dans des produits de boulangerie adaptés aux capacités et aux préférences des personnes âgées, et en identifier l'impact sur le statut musculaire et inflammatoire dans un modèle préclinique.

Cet article présente les résultats des travaux coordonnés par le CTCPA dans le cadre de ce projet multidisciplinaire.

1. Introduction

La farine de blé représente l'ingrédient principal de la composition des produits céréaliers tels que les pains et les gâteaux. Les innovations autour de la substitution de la farine de blé par d'autres céréales ou légumineuses restent encore très marginales et souvent restreintes aux marchés du sans gluten. Les raisons de ce déficit d'innovation peuvent être liées à plusieurs facteurs :

- La disponibilité de la farine de blé en France et son prix jusqu'alors raisonnable,
- L'excellente aptitude technologique de la farine de blé à être transformée en gâteaux, pains ou biscuits,
- Les habitudes de consommation et les repères de goût sur des produits à base de farine de blé.

Cependant, les évolutions climatiques et géopolitiques pourraient à terme limiter la disponibilité du blé et donc de la farine de blé et pousser les acteurs de la filière Panification, Biscuits & Gâteaux à s'intéresser à l'utilisation d'autres farines.

De plus, les demandes des consommateurs pour des produits toujours plus sains pourraient également conduire les industriels de la biscuiterie à s'intéresser à l'incorporation de farines de légumineuses. En effet, l'ajout de farine de légumineuses augmente la teneur en protéines et en fibres alimentaires, offrant un profil en acides aminés plus équilibré ainsi qu'un apport minéral plus élevé. Cet enrichissement contribue à des bénéfices potentiels pour la santé, en particulier pour les populations âgées et les personnes à la recherche d'aliments fonctionnels.

Cependant, l'utilisation des farines de légumineuses dans les produits de biscuiterie ou de panification présente plusieurs défis ou "verrous", qui peuvent limiter leur adoption à grande échelle, en particulier pour les personnes âgées. On peut citer par exemple :

- **Propriétés technologiques** : Les farines de légumineuses ont des propriétés fonctionnelles différentes de celles des farines de blé qui contiennent du gluten. Ainsi, l'incorporation des farines de légumineuses peut affecter et dégrader la texture, la structure et la levée des produits de panification,
- **Goût et couleur** : Les farines de légumineuses ont souvent un goût plus prononcé et une couleur différente de la farine de blé. Les consommateurs âgés, habitués à des saveurs plus traditionnelles, peuvent être réticents à adopter ces nouveaux goûts. Il est donc crucial de trouver des recettes qui équilibrent bien les saveurs pour améliorer l'acceptabilité,
- **Disponibilité et coût** : Les farines de légumineuses ne sont pas toujours aussi facilement disponibles que les farines de blé et leur coût peut être plus élevé. Pour les consommateurs âgés, souvent à revenu fixe, le coût peut être un facteur dissuasif.

Les missions du CTCPA ont principalement porté sur les trois axes suivants :

- Caractériser l'impact technico-fonctionnel des mélanges de farines de blé et lentilles germées ou non dans des matrices de boulangerie et de pâtisserie,
- Optimiser les recettes et les procédés de fabrication de pain et de de pâtisserie utilisant ces mélanges de farines afin de proposer des produits adaptés aux besoins nutritionnels des seniors en collaboration avec l'Unité Nutrition Humaine de Clermont-Ferrand (Marine Gueugneau, INRAE),
- Fabriquer des échantillons de produits prêts à être consommés pour les tester dans le cadre d'une étude d'acceptabilité menée auprès de seniors en collaboration avec le Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation de Dijon (Claire Sulmont-Rossé, INRAE, CSGA).

2. Caractérisation de l'impact technico-fonctionnel des mélanges de farines de blé et lentilles germés ou non dans des matrices de boulangerie et de pâtisserie

2.1 Intérêt nutritionnel des farines de blé et de lentilles germés ou non

Le tableau ci-dessous permet de comparer la composition nutritionnelle de la farine de blé par rapport à la farine de lentille, notamment sur le % de protéines deux fois plus élevé pour la farine de lentilles. L'impact de la germination reste faible sur les macronutriments mais significatif sur les micronutriments¹.

Nutriments	Unités	Blé Non Germé	Blé Germé	Lentilles Non Germées	Lentilles Germées
Valeur énergétique	kJ/100g	1552,4	1558,1	1510,3	1515,3
Valeur calorique	kcal/100g	366,5	367,8	356,7	358,2
Matières grasses totales	%	1,9	1,4	1,9	2,2
Acides gras saturés	g/100g	0,3	0,3	0,3	0,5
Glucides assimilables	%	71,7	74	56,1	55,7
Total des sucres	%	5,4	13	3,3	3
Fibres totales	%	5,7	6,6	6,6	8,6
Azote total	g/100g	2,048	1,84	4,08	3,936
Protéines (N*5,7 blé; N*6,25 lentille)	%	11,7	10,5	25,5	24,6
Sel	% NaCl	0,01	<0,01	<0,01	0,01
Humidité	g	7,2	5,6	6,5	5,7
Matières minérales	%	0,75	0,91	3,4	3,19

2.2 Test d'incorporation de farines de légumineuses dans les madeleines

Mise au point d'un test applicatif standardisé

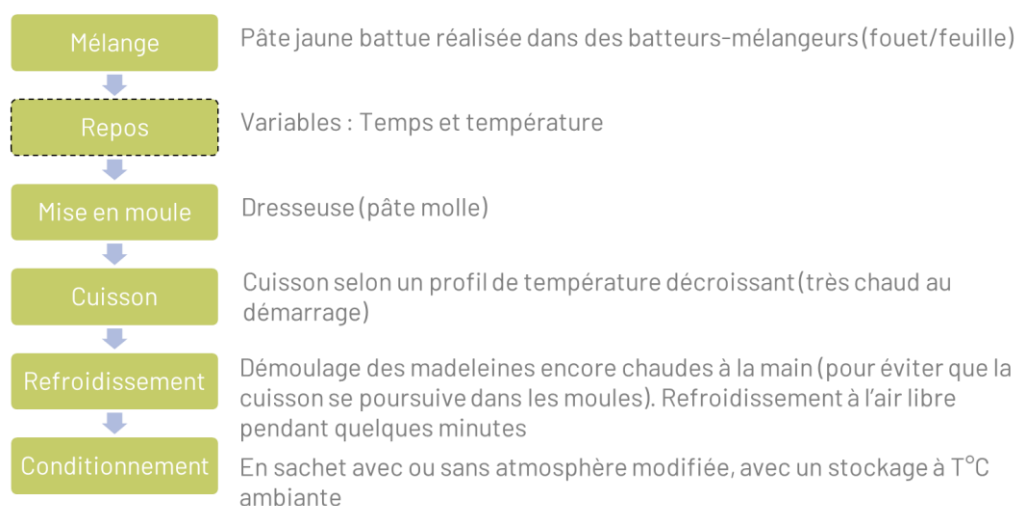
Dans un premier temps, un protocole de fabrication standardisé des madeleines a été mis au point. Selon le « Répertoire des dénominations et recueil des usages » (édité par l'Alliance 7), la madeleine est définie comme « un petit gâteau moelleux aux œufs, soit en forme de coquille pour le dessous et bombé sur le dessus, soit de forme longue. La mise en œuvre des ingrédients suivants est obligatoire : farine de froment, matières grasses ($\geq 12\%$), matières sucrantes, œufs ($\geq 14\%$). Une analyse de la composition des madeleines du commerce a également servi de base. La madeleine est un produit fabriqué par de nombreux opérateurs (plus de 2000 références sur la base [OPENFOODFACTS](https://openfoodfacts.org/)) que l'on retrouve facilement dans les supermarchés. Sur les rayons, on retrouve des madeleines fabriquées par des biscuiteries industrielles de taille nationale voire internationale tels que ST MICHEL, BONNE MAMAN, LE STER, KER CADELAC. A côté de ces grandes marques, on trouve également des produits sous marque de distributeur (Intermarché sous la marque CHABRIOR, MONOPRIX, AUCHAN...).

¹ Résultats publiés par l'UNH dans le cadre du projet

Une série d'essais au sein de la halle technologique du CTCPA a permis de fixer la recette témoin suivante :

Recette - Témoin blé T55	%
Farine de blé T55	33,7
Sucre cristal	24
Œufs liquides entiers pasteurisés	20
Beurre doux	18
Lait entier UHT	3
Bicarbonate de sodium (E500)	0,55
Pyrophosphate de sodium (E450iii)	0,45
Sel fin	0,30

Un diagramme de fabrication a été standardisé sur la base du process industriel standard suivant :

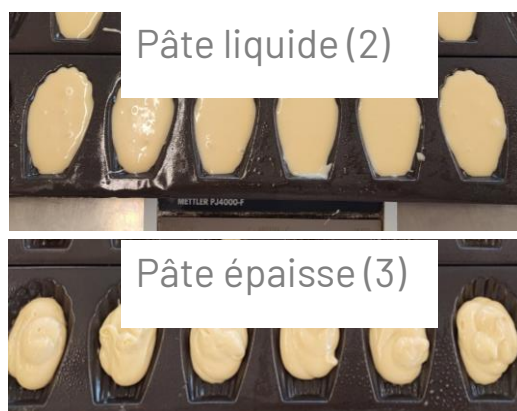


Le protocole laboratoire standardisé utilisé pour le projet a été le suivant :

Pétrissage (batteur à la feuille)	Etape 1 : Préparer et peser les ingrédients - Tamiser ensemble la farine et la levure chimique - Faire fondre le beurre Etape 2 : Mélange All In : liquide en premier, puis poudre - 1 minute vitesse 1 ² (à la fin bien racler le fond) - 5 minutes vitesse 5
Repos	Sans Repos
Mise en forme	Noter la température en fin de mélange et évaluer la texture de la pâte crue (liquide à pâteux) Doser à la poche 18 g/ moule (Grande Plaque de 40 empreintes)
Cuisson	FOUR A SOLES Voute : 220°C / Sole: 170°C 8 minutes
Refroidissement	En sortie de four, laisser refroidir 5 minutes à l'air ambiant, puis démouler dans des bacs inox placés en chambre froide à 10°C pendant 10 minutes avant conditionnement. Faire une mesure humidité/aw avant conditionnement
Conditionnement	Les madeleines sont conditionnées en poches plastiques par 10, scellées avec une mise sous vide partielle.

Enfin, une grille d'essais a été conçue pour évaluer la processabilité et les produits finis.

Exemple d'échelle de notation :



- 1: très liquide (eau)
- 2: liquide (pâte à crêpe)
- 3: s'écoule par simple gravité (pâte à gaufre)
- 4: s'écoule avec pression (pâte à cake)
- 5: difficile à doser (pâte à gâteau)

² Batteur Mélangeur Robot Coupe

Test d'incorporation de farine de lentilles

Une première série d'essais a été réalisée pour comparer la farine de lentilles vertes à la farine de lentilles corail et tester l'impact de la germination. Ces essais ont été réalisés sur la base d'un taux d'incorporation de 35% sur la base blé.

				
Témoin	Lentilles vertes	Lentilles vertes germées	Lentilles corail	Lentilles corail germées

Premières conclusions :

- Il n'existe pas de problématiques majeures de processabilité liées à l'incorporation de farine de lentille, lorsqu'elles sont incorporées à hauteur de 35% du poids de la farine,
- L'incorporation de farines de légumineuses modifie la couleur de la mie et impact le goût des madeleines,
- La germination semble avoir un léger effet positif sur le développement des madeleines.

A la suite de ces premiers essais, la farine de lentilles vertes a été sélectionnée car la couleur de la mie était proche d'une farine complète et la lentille verte est plus disponible sur le marché français que la lentille corail.

Plusieurs séries d'essais ont ensuite été réalisées pour standardiser le protocole et valider les 4 recettes à tester dans le cadre de l'étude d'acceptabilité à savoir :

1. Madeleine témoin n°1 (farine de blé T55 commerciale)
2. Madeleine témoin n°2 (farine de blé du projet)
3. Madeleine mélange farine de blé / lentille
4. Madeleine mélange farine de blé germé / lentille germé

Pour les mélanges, le ratio choisi était 65% de blé / 35% lentilles.

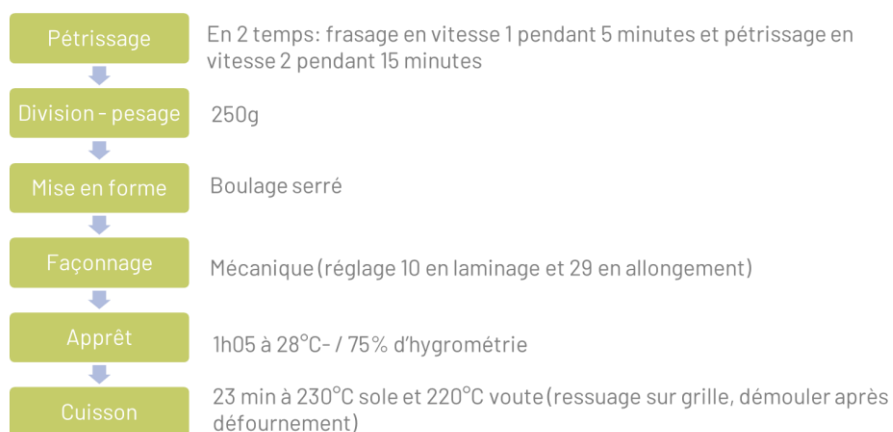
2.3 Test d'incorporation de farine de légumineuse dans les pains de mie

Les pains de mie sont des produits largement consommés et très présents en GMS (Grandes et moyennes surface). Ce sont donc des cibles intéressantes pour favoriser la consommation de farines de légumineuses. Comme ce sont des produits moelleux, qui se conservent plusieurs jours, ils sont particulièrement adaptés pour les seniors.

Le benchmark des pains de mie du commerce montre que l'incorporation de farines de légumineuses reste cependant encore très marginale. Si des publications scientifiques font

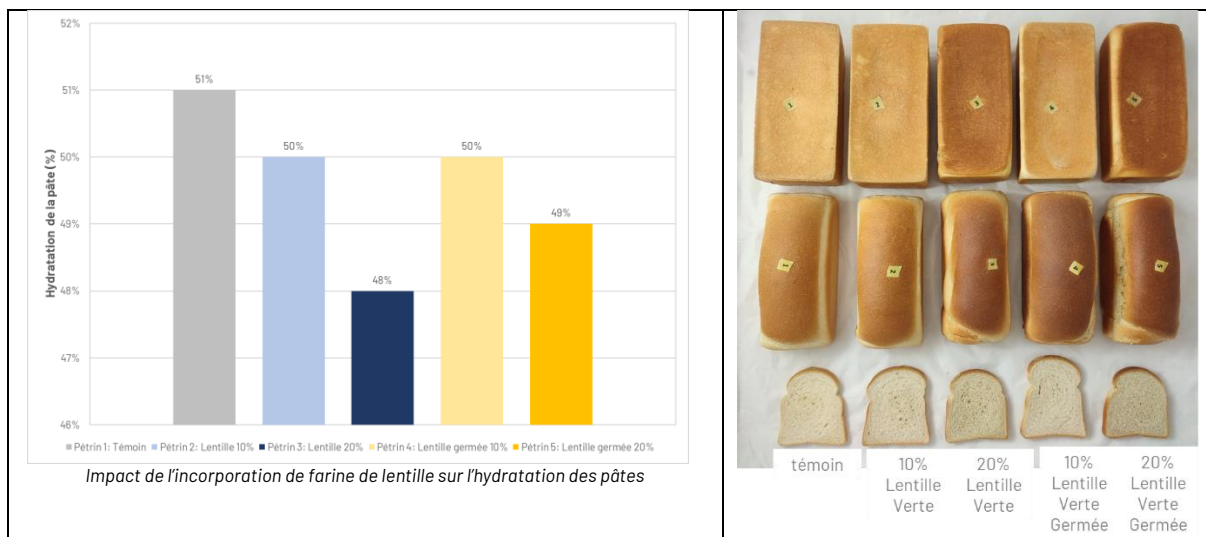
référence à l'utilisation de ce type de farine en panification³, aucune référence contenant de la farine de lentilles n'a pu être identifiée sur la base Open Food Facts et seule une seule référence avec 8.5% de farine de pois chiche a été identifiée, ce qui traduit la complexité de formuler et produire des pains de mie de qualité satisfaisante lorsque l'on veut substituer la farine de blé par de la farine de légumineuses.

Le protocole de fabrication a été défini sur la base des procédés standards à savoir :

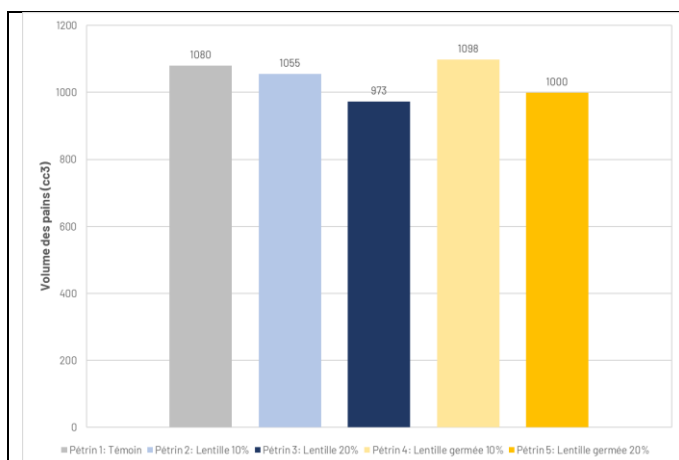


Pour des raisons de faisabilité, le taux d'incorporation de la farine de lentilles a été réduit par rapport aux essais madeleines. . Compte tenu de la plus forte proportion de farine dans le pain de mie, la quantité finale de farine de lentilles / 100 g de produit reste cependant équivalent.

Une première série a été réalisée pour évaluer l'impact entre 10 et 20%

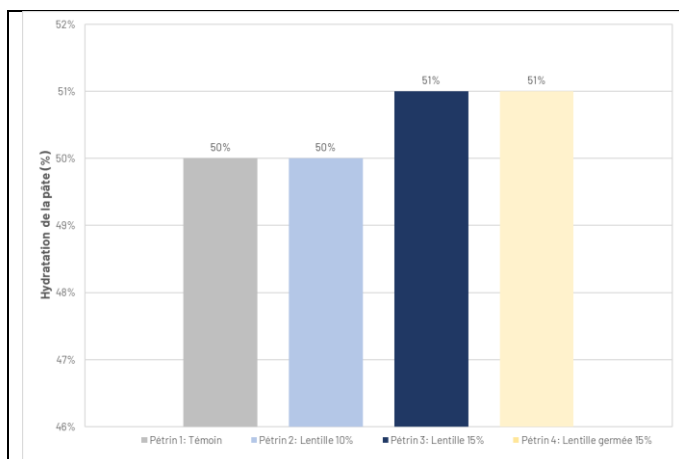


³ Romano, A., Gallo, V., Ferranti, P., & Masi, P. (2021). Lentil flour: nutritional and technological properties, in vitro digestibility and perspectives for use in the food industry. *Current opinion in food science*. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2021.04.003>.

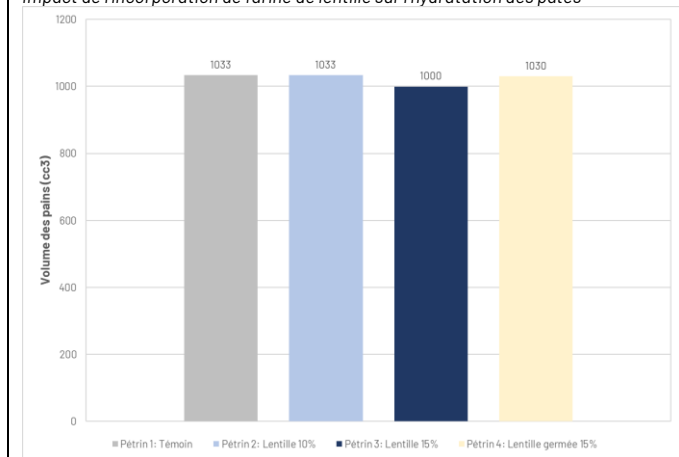


Impact de l'incorporation de farine de lentille sur le volume des pains

Puis une deuxième série a été réalisée pour tester un taux intermédiaire à 15% :



Impact de l'incorporation de farine de lentille sur l'hydratation des pâtes



Impact de l'incorporation de farine de lentille sur le volume des pains



témoin 10% L 15% L 15% LG



Ces essais ont permis de tirer le bilan suivant :

- A 10% et 15% d'incorporation, l'hydratation doit être légèrement réduite mais le comportement des pâtes reste acceptable et les différences sur le produit fini sont faibles,
- A partir de 20% d'incorporation, l'hydratation doit être réduite, la pâte devient un peu collante et moins tolérante (la pâte présente une plus grande porosité après fermentation et un léger affaissement)
- La germination semble améliorer le travail de la pâte et augmente le volume des pains vs lentilles non germées, avec un léger excès de coloration.

Les 3 recettes sélectionnées dans le cadre de l'étude d'acceptabilité étaient :

	Témoin	Mélange avec Farine de lentille	Mélange avec Farine de lentille germée
Farine de blé T55	100	85	85
Farine de lentille verte crue (LV)	-	15	-
Farine de lentille verte germée (LVG)	-	-	15
Eau (%)	53	51	51
Levure fraîche de boulanger (%)	4	4	4
Sel (%)	1,8	1,8	1,8
Sucre (%)	4	4	4
Beurre doux (%)	10	10	10
Total	100	100	100

3. Etude d'acceptabilité menée auprès de seniors

Protocole de l'étude

L'étude a été réalisée sur 74 participants âgés de 70 ans et plus :

- 29 hommes et 45 femmes
- Âge moyen : 74,1 ans (SD=3,3) ; 70-86 ans
- Critères d'inclusion : *≥ 70 ans, vivant à domicile, ayant vécu la majorité de leur vie en France*
- Critères d'exclusion : *Allergies/intolérances alimentaires, régime restreint ou végétarien ou sans sucre strict, nutrition entérale or parentérale, alimentation en texture modifiée, pathologie aiguë (cancer, insuffisance rénale...)*

Le questionnaire était composé :

- D'une échelle hédonique⁴
- De commentaires libres
- D'un questionnaire spécifique sur le confort en bouche⁵

D'un point de vue logistique, les produits ont été congelés juste après leur fabrication et décongelés 2 heures avant la séance pour une dégustation à température ambiante (19-20°C). La dégustation était basée sur :

- 1 portion / variante (1 madeleine ou 1 tranche de pain de mie),
- La moitié des participants ont commencé par les pains de mie, l'autre moitié par les madeleines,
- Pour chaque produit, l'ordre de présentation suivant un carré latin de Williams équilibré pour les effets d'ordre et de report de degré 1.

Résultats de l'étude d'acceptabilité sur les madeleines

Codification des échantillons :

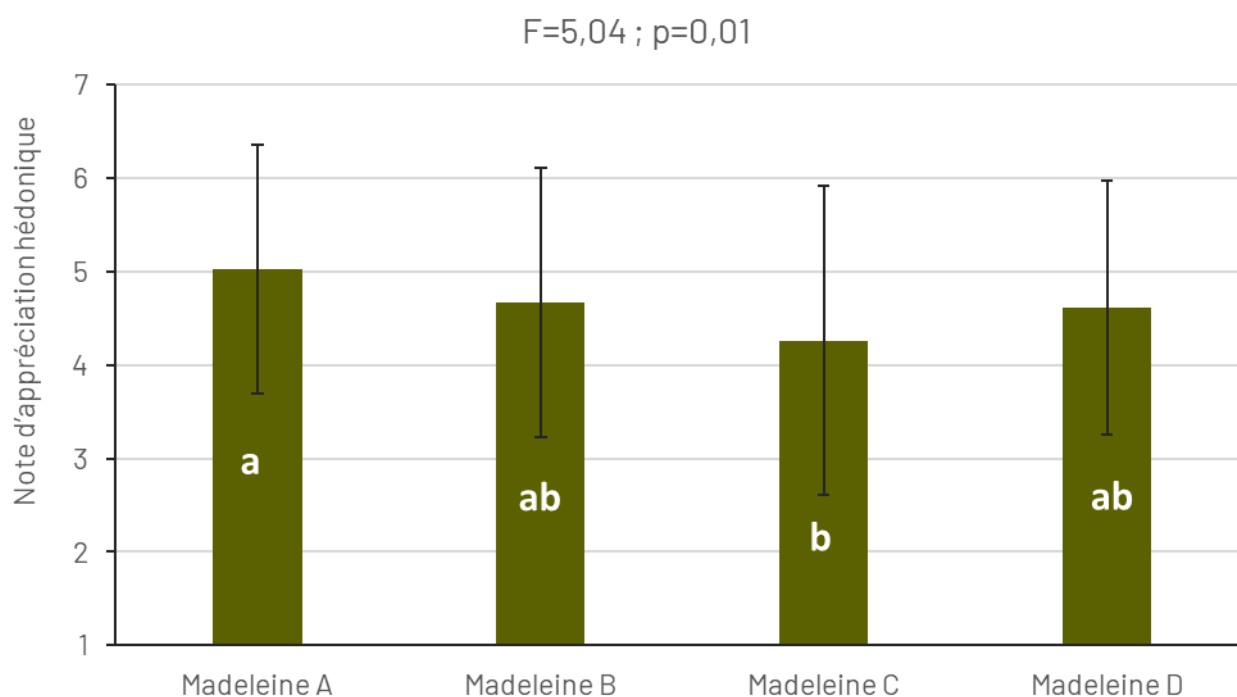
	Madeleine A	Madeleine B	Madeleine C	Madeleine D
Farine de blé T55	33,70 %			
Farine de blé		33,70 %	21,91 %	
Farine de blé germée				21,91 %
Farine de lentilles			11,80 %	
Farine de lentilles germées				11,80 %

Il est important de noter que 2 témoins « Farine de blé » ont été fabriqués, le premier avec de la farine de blé commerciale T55 (échantillon A), et l'autre avec une mouture pilote issue du blé du projet (échantillon B).

⁴ Maître I, Symoneaux R & Sulmont-Rossé C (2015). Sensory testing in new product development: working with older people. In Delarue J, Lawlor B & Rogeaux M (eds), Rapid sensory profiling techniques and related methods (pp. 485-208). Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK

⁵ Vandenberghe-Descamps M, Labouré H, Septier C, Feron G, Sulmont-Rossé C (2018). Oral comfort: a new concept to understand elderly people's expectations in terms of food sensory characteristics. Food Quality and Preference, 70, 57-67. DOI: 10.1016/j.foodqual.2017.08.009.

De manière globale, les madeleines fabriquées avec les farines du projet (farine de blé ou mélanges farines de blé/ farine de lentilles) sont perçues plus *dures* et plus *amères* que la madeleine témoin fabriquée avec la farine de blé commerciale industrielle. La madeleine C se démarque davantage de la madeleine témoin A : plus *filandreuse*, moins *fondante* et moins *confortable à manger* que la madeleine A et significativement moins appréciée que la madeleine A.



Attribut	Madeleine A	Madeleine B	Madeleine C	Madeleine D	F
Confort en bouche	3,78 (0,09) a	3,52 (0,12) ab	3,38 (0,13) b	3,51 (0,11) ab	3,61 **
Difficulté à mastiquer	4,08 (0,08)	3,85 (0,11)	4,00 (0,09)	3,99 (0,09)	1,50
Difficulté à humidifier	3,77 (0,10)	3,56 (0,11)	3,54 (0,11)	3,69 (0,10)	2,05
Difficulté à avaler	3,95 (0,09)	3,86 (0,09)	3,80 (0,10)	3,88 (0,10)	0,65

Attribut	Madeleine A	Madeleine B	Madeleine C	Madeleine D	F
Collant	1,89 (0,08)	1,86 (0,09)	1,93 (0,09)	1,77 (0,07)	1,03
Filandreux	1,11 (0,04) b	1,21 (0,05) ab	1,28 (0,07) a	1,24 (0,06) ab	2,71*
Gras	1,72 (0,07)	1,66 (0,08)	1,73 (0,08)	1,76 (0,07)	0,73
Sec	1,59 (0,08)	1,85 (0,11)	1,76 (0,08)	1,69 (0,09)	2,29
Pâteux	2,22 (0,10)	2,19 (0,10)	2,16 (0,09)	2,09 (0,10)	0,48
Fondant	2,11 (0,08) a	1,97 (0,09) ab	1,78 (0,09) b	1,96 (0,08) ab	3,32*
Ferme	1,49 (0,07)	1,55 (0,08)	1,47 (0,06)	1,49 (0,08)	0,32
Dur	1,01 (0,01) b	1,14 (0,04) a	1,11 (0,04) a	1,09 (0,04) a	3,58**

Attribut	Madeleine A	Madeleine B	Madeleine C	Madeleine D	F
Intense en goût	1,91 (0,09)	1,96 (0,09)	1,97 (0,09)	1,97 (0,09)	0,18
Salé	1,22 (0,05)	1,29 (0,06)	1,30 (0,06)	1,30 (0,06)	0,87
Sucré	2,18 (0,07)	2,16 (0,08)	2,12 (0,09)	2,20 (0,08)	0,34
Acide	1,05 (0,03)	1,14 (0,05)	1,09 (0,04)	1,15 (0,05)	1,83
Amer	1,03 (0,02) b	1,18 (0,05) a	1,28 (0,06) a	1,23 (0,06) a	6,25***

Les moyennes sont présentées avec leur erreur standard entre parenthèses.

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Une analyse des commentaires libres a également été réalisée, dont le bilan est repris ci-dessous :

- Madeleine A (témoin) : Les participants n'ont pas aimé la couleur pâle de ce produit, et l'ont jugé pas assez sucré
- Madeleine B : Les participants n'ont pas aimé l'aspect terne de ce produit
- Madeleine C : Les participants n'ont pas aimé l'aspect du produit, sa couleur grise / verdâtre
- Madeleine D : Les participants n'ont pas aimé le goût de ce produit, l'ont jugé trop sucré

Résultats de l'étude d'acceptabilité sur le pain de mie

Codification des échantillons :

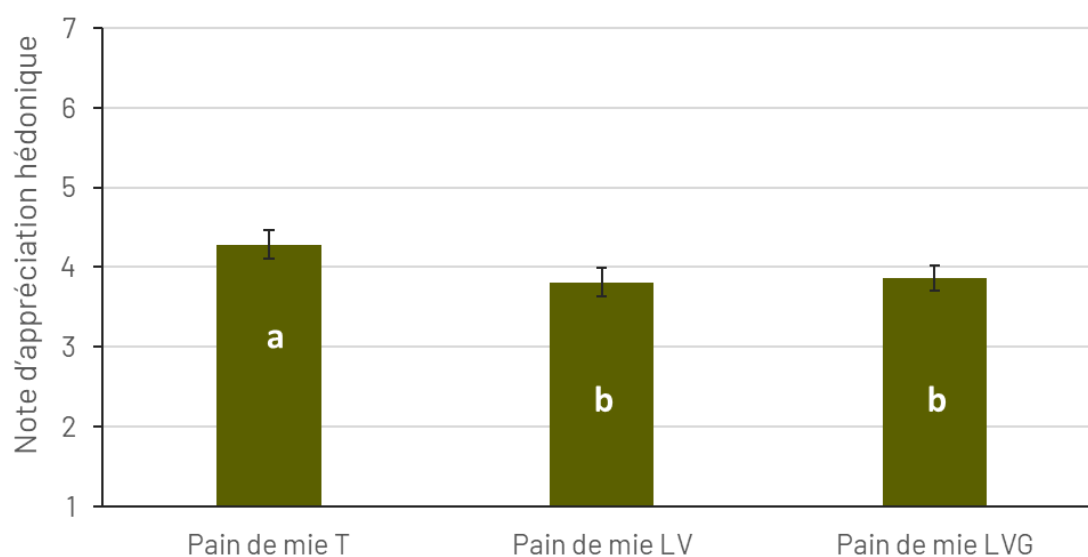
	Pain de mie T	Pain de mie LV	Pain de mie LGV
Farine de blé T55	100	85	85
Farine de lentille		15	
Farine de lentille germée			15



De manière globale, les pains de mie LV et LVG sont moins appréciés que le pain de mie T, perçus plus secs, plus acides et plus amers.

- Le pain de mie LV est perçu moins sucré que les 3 autres
- Le pain de mie LVG est perçu plus ferme que les 2 autres

$F=3,39$; $p=0,05$



Attribut	Pain de mie T	Pain de mie LV	Pain de mie LVG	F
Confort en bouche	3,41(0,12)	3,14 (0,13)	3,20 (0,12)	1,98
Difficulté à mastiquer	3,72 (0,09)	3,53 (0,10)	3,64 (0,08)	1,78
Difficulté à humidifier	3,45 (0,11)	3,26 (0,11)	3,18 (0,11)	2,92
Difficulté à avaler	3,69 (0,11)	3,46 (0,11)	3,47 (0,10)	2,53

Attribut	Pain de mie T	Pain de mie LV	Pain de mie LVG	F
Collant	1,74 (0,08)	1,78 (0,08)	1,89 (0,09)	1,39
Filandreux	1,36 (0,07)	1,36 (0,07)	1,28 (0,06)	0,88
Gras	1,27 (0,06)	1,35 (0,06)	1,30 (0,05)	0,85
Sec	1,73 (0,10) b	1,99 (0,11) a	2,09 (0,11) a	5,46**
Pâteux	2,09 (0,10)	2,19 (0,10)	2,27 (0,09)	1,50
Fondant	1,62 (0,08)	1,47 (0,07)	1,50 (0,08)	1,86
Ferme	1,59 (0,07) b	1,74 (0,09) b	1,99 (0,09) a	10,52 ***
Dur	1,15 (0,05)	1,27 (0,07)	1,28 (0,07)	2,15

Attribut	Pain de mie T	Pain de mie LV	Pain de mie LVG	F
Intense en goût	1,57 (0,08)	1,78 (0,09)	1,62 (0,08)	2,66
Salé	1,54 (0,06)	1,65 (0,07)	1,64 (0,07)	1,74
Sucré	1,42 (0,06) a	1,27 (0,06) b	1,38 (0,06) ab	3,46 *
Acide	1,05 (0,03) b	1,26 (0,05) a	1,22 (0,05) a	7,05 **
Amer	1,03 (0,02) b	1,39 (0,07) a	1,28 (0,07) a	13,81 ***

Les moyennes sont présentées avec leur erreur standard entre parenthèses.

* p<0,05 ; ** p<0,01 ; *** p<0,001

Une analyse des commentaires libres a été réalisée, dont le bilan est repris ci-dessous :

- Pain de mie T (témoin) : *Les participants ont noté la couleur pâle de ce produit ; ils n'ont pas aimé sa croûte trop dure et son goût fade ; ils l'ont jugé moelleux*
- Paine de mie LV (farine de lentille verte) : *Les participants n'ont pas aimé sa couleur grise*
- Pain de mie LVG (farine de lentille verte germée) : *Les participants n'ont pas aimé la texture dense et sec du produit ; ils ont jugé son goût neutre*

Conclusion générale

D'un point de vue technologique, l'incorporation des farines de légumineuses dans les produits de boulangerie et pâtisserie est possible, mais le taux d'incorporation doit être limité pour limiter l'impact à la fois sur la processabilité et sur le produit fini. Pour les madeleines, le taux maximal d'incorporation se situe autour des 30% de la farine, alors qu'il se situe autour de 15% pour le pain de mie. La farine germée a permis d'améliorer certaines caractéristiques techno-fonctionnelle, comme le volume des pains de mie.

Les tests d'acceptabilité réalisés auprès de la population senior montrent que des optimisations sont nécessaires pour valoriser les farines de légumineuses dans ce type de produit, notamment en ce qui concerne la couleur, la texture et la saveur des produits.

L'utilisation d'autres typologies de produits, comme des purées, des compotes ou des soupes, sont également des pistes ouvertes pour favoriser l'introduction des farines de légumineuses dans les produits transformés et ainsi développer la consommation des légumineuses.