

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2015

- **Date de la demande : 15/03/2015**

1- Identification du projet (en langue française)

- **Acronyme du projet (8 caractères maximum) : FIVAC**

- **Intitulé du projet (en langue française) : Optimisation de la cuisson sous vide de produits céréaliers à basse température**

2- Domaine d'innovation stratégique (DIS) du projet

- **Cocher le DIS prioritaire** au sein duquel le projet de thèse s'intègre. Vous pouvez cocher un DIS secondaire (à préciser en ce cas, point 6 de la présentation du projet). Si aucun DIS ne correspond, cocher « Projet Blanc ».

- Innovations sociales et citoyennes pour une société ouverte et créative
- Chaîne alimentaire durable pour des aliments de qualité
- Activités maritimes pour une croissance bleue
- Technologies pour la société numérique
- Santé et bien-être pour une meilleure qualité de vie
- Technologies de pointe pour les applications industrielles
- Observation et ingénieries écologique et énergétique au service de l'environnement
- Projet Blanc

- **Préciser le sous-domaine correspondant** : DIS 2C « Usine agro-alimentaire du futur »

Pour une plus ample présentation des DIS et des sous-domaines, merci de vous référer au Schéma régional de l'enseignement supérieur et de la recherche disponible à l'adresse suivante : http://www.bretagne.fr/internet/upload/docs/application/pdf/2013-11/sresr_version_finale.pdf

3- Présentation de l'établissement porteur (bénéficiaire de l'aide régionale)

- **Établissement porteur du projet (implantation obligatoire sur le territoire régional) : Irstea**

- **Ecole Doctorale : SDLM**

4- Identification du/de la responsable du projet (futur-e directeur-trice de thèse)

- **Nom et prénom : Tiphaine LUCAS**

- **Genre du/de la responsable du projet (F/H) : F**

- **e-mail : tiphaine.lucas@irstea.fr**

- **Téléphone : 02 23 48 21 77**

- **Equipe de recherche encadrante (JE/EA/...) : IRM-FOOD**

- **Unité (U/UMR/USR /...) : TERE**

- **Nombre HDR dans l'équipe d'accueil : 4**

- **Nombre de thèses en cours : 2**

- **Nombre de post-docs en cours : 2**

- **Publications récentes du directeur-trice de thèse (nb total et 5 références max au cours des 5 dernières années) :**

Lucas, T., et al., *Modeling of bread baking with a new, multi-scale formulation of evaporation–condensation–diffusion and evidence of compression in the outskirts of the crumb*. Journal of Food Engineering, 2015. **149**(0): p. 24-37.

Lucas, T., et al., *Bubble growth and collapse in pre-fermented doughs during freezing, thawing and final proving*. Food Research International, 2010. **43**(4): p. 1041-1048.

Grenier, D., D. Le Ray, and T. Lucas, *Combining local pressure and temperature measurements during bread baking: insights into crust properties and alveolar structure of crumb*. Journal of Cereal Science, 2010. **52**(1): p. 1-8.

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2015

Grenier, D., T. Lucas, and D. Le Ray, *Measurement of local pressure during proving of bread dough sticks: Contribution of surface tension and dough viscosity to gas pressure in bubbles*. *Journal of Cereal Science*, 2010. **52**(3): p. 373-377.

Le-bail, A., et al., *Influence of the amount of steaming during baking on the kinetic of heating and on selected quality attributes of bread*. *Journal of Food Engineering*, 2011. **105**(2): p. 379-385.

- **Co-directeur-trice de thèse (éventuellement) :** non

- **Equipe de recherche co-encadrante (JE/EA/...) :**

La thèse sera portée par David Grenier (Ingénieur de recherche ; Irstea).

Le comité de thèse sera formé de :

T. Lucas (Irstea, Rennes)

C. Rondeau (Irstea, Rennes)

C. Doursat (AgroParisTech, Paris)

D. Flick (AgroParisTech, Paris)

P. Bohuon (Montpellier SupAgro)

B. Cuq ou M-H. Morel (IATE)

5- Présentation du projet (en langue française, 2 à 3 pages)

- **Résumé du projet (15 lignes)**

Ce travail de thèse contribuera au développement d'un prototype innovant de cuisson sous vide (brevet EP2572583 A1) destinée au développement du marché de produits panifiés, à forte valeur ajoutée comme le pain sans gluten. Le cœur de la thèse sera de construire un dispositif expérimental qui permettra d'étudier le comportement d'un film de pâte à pain en cours de cuisson. Le dispositif simulera le comportement d'un film de pâte séparant deux bulles lors de la cuisson. Il permettra la détection de la rupture du film de pâte en fonction de la qualité de la pâte, de la différence de pression exercée de part et d'autre du film de pâte, de sa température et de sa teneur en eau. Il sera couplé à une caméra qui donnera accès à certains mécanismes de rupture comme la localisation de la cassure du film et sa vitesse de formation. Ce dispositif permettra de tendre vers une meilleure compréhension des mauvaises performances à l'expansion de pâtes riches en fibres, sans gluten ou fabriquées avec des farines à forte valeur nutritionnelle ou dont la teneur en protéines n'est pas optimale.

Ce dispositif permettra aussi d'alimenter en paramètres le modèle de cuisson développé depuis plusieurs années dans l'équipe en collaboration avec AgroParisTech. Des trajectoires de cuissons sous vide seront simulées de façon à optimiser texture, forme et volume des pains. L'étudiant, avec l'appui d'un technicien et d'un ingénieur, contribuera à l'équipement du four pilote en outils métrologiques pour évaluer la performance de la cuisson de produits réels.

- **Présentation détaillée du projet**

1-Contexte scientifique et socio-économique du projet

Ce travail de thèse s'inscrit dans une double logique de développement de connaissances autour du comportement mécanique des films de pâte en cours de cuisson, au travers de l'utilisation et du développement d'un modèle numérique et du développement d'un outil métrologique autour du film de pâte. Il entre dans la logique du Pacte d'Avenir pour la Bretagne (Fiche cadre 5) et dans celle du projet CPER « IAA-High-Tech Usine du futur » (développement d'une métrologie innovante, utilisation et amélioration d'un logiciel de simulation de la cuisson et conception de prototypes innovants).

Le travail collaboratif, avec l'UMR-Génial d'Agroparistech (2003-2015) et avec l'UMR GEPEA (projet européen EU-Freshbake 2006-2010 et ANR-Satin 2010-2015) à Nantes, a permis de développer à la fois un outil de simulation de cuisson de pain à la pression atmosphérique et d'identifier le vide comme levier technologique pour la cuisson des pains. Un brevet a été déposé en 2013 (EP2572583 A1), une étude de marché et un prototype réalisés. Nous sommes aujourd'hui à la fois dans une logique de transfert (recherche de partenaires) et à la fois dans une logique de développement de connaissances autour du comportement de la pâte au cours d'une cuisson sous vide pour mieux maîtriser la conduite des paramètres de cuisson. C'est pour contribuer à ce deuxième point que ce demi-financement est demandé.

Du point de vue sociétal, la thèse touche trois enjeux principaux :

- **Le développement durable**

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2015

- **Les économies d'énergie** sur une des opérations industrielles les plus consommatrice en énergie avec le séchage (la cuisson). Parce que l'expansion ne dépend plus uniquement de la température mais aussi de l'application d'un vide, le procédé de cuisson de pain sous vide permet de réduire notablement la température de cuisson des pains et, de fait, d'économiser de l'énergie (gain énergétique potentiel de l'ordre de 10-20%) ;
- **Les économies sur les matières premières utilisées (moins de déchets) lors de la fabrication de pain** ; la technologie de fabrication du pain de mie sans croûte actuelle, contraint à jeter 30% de matière, la croûte. La cuisson sous vide – vapeur permet de limiter la formation de la croûte par le contrôle de la vapeur injectée dans le four.

- **Les retombées économiques**

Des premiers essais sur le four pilote ont été réalisés pour la **société Bridor** (sur la commune de Servon-Sur-Vilaine). La société a montré un intérêt pour cette technologie qui peut l'aider à développer de nouveaux produits, notamment sans gluten. La société souhaite se placer sur ce marché en plein essor et est à la recherche de nouveaux procédés qui lui permettraient d'obtenir de beaux produits sans trop à avoir à compliquer les recettes. Le potentiel du marché sans gluten, suivant une étude de marché réalisé par une société externe à Irstea, est considérable, car pour l'instant il n'y a quasiment très peu de produits sans gluten de bonne qualité.

- **La santé**

Une **aération plus poussée pour des produits traditionnellement denses** de par leur formulation (**farine complète, intégrale ou farine sans gluten**). La cuisson sous vide peut améliorer la texture de ces produits, qui est principalement reliée au degré d'aération [11, 12]. Parce que ces produits ont une **forte valeur nutritionnelle (apport en fibres minéraux et amidons résistants)**, l'évaluation de la durabilité du procédé proposé n'en sera que meilleure.

2-Hypothèse et questions posées, identification des points de blocages scientifiques que le travail de thèse se propose de lever :

La différence de pression entre l'atmosphère du four de cuisson et les gaz situés dans les bulles de pâte à pain, conditionne directement leurs croissances en début de cuisson et par conséquent la texture et le volume des pains finalement obtenus [1-3].

L'application d'un **vide** sur la pâte **peut solliciter fortement les films** de pâte qui séparent les bulles et **qui peuvent ainsi se rompre** en début de cuisson **au détriment de la rétention des gaz et finalement de la qualité de l'expansion**. L'effet du vide sur la structure de la pâte est fortement dépendant des propriétés mécaniques de la pâte, c'est-à-dire de la capacité des bulles à pouvoir à la fois se déformer et rester intègres pour ainsi retenir les gaz qui la composent. C'est évidemment aussi le cas pour la cuisson conventionnelle ; toutefois, les études scientifiques sur ce sujet ne convergent pas vers des règles simples d'action, probablement à cause de la dualité du film [13-15, 16, 17-24].

La première raison à une bonne capacité des films de pâte à retenir les gaz est la cohérence du réseau protéique dont l'équilibre entre gluténines et gliadines permet d'avoir un bon compromis entre déformabilité et résistance du film amido-protéique. La deuxième raison à la capacité de la pâte à pouvoir retenir les gaz, serait qu'il existe un film d'eau lamellaire qui recouvrirait la surface des bulles. Suivant l'équilibre entre protéines et lipides présents à la surface de ce film d'eau lamellaire, le film (et donc la paroi séparant les deux bulles) serait plus ou moins résistant.

Aucun consensus n'existe sur l'existence d'un film d'eau susceptible de renforcer la matrice amido-protéique lors de la phase d'expansion d'un pâton de pâte à pain [15, 16, 19, 20, 24, 27-31].

Lors de la fermentation et au tout début de la cuisson, les films de pâtes peuvent se rompre à l'interface granule réseau protéique.

La maîtrise de l'ouverture des pores est un point clé dans la bonne conduite d'une cuisson et des rampes de vide qui peuvent être très différentes suivant qu'il s'agisse d'un pain de mie, d'une pâte jaune ou sans gluten suivant la validité de l'hypothèse du film d'eau.

La cuisson sous vide de différentes formulations ainsi que leur sollicitation dans un dispositif dédié, dont il est question dans ce travail de thèse, apportera un éclairage nouveau à toutes ces incompréhensions.

3-Approche méthodologique et technique envisagée :

La **première étape** du travail de thèse est d'identifier l'impact de différentes formulations (en jouant sur la proportion gluten-amidon-eau ; la nature de l'amidon (taille de granules) et du gluten), sur la conduite de cuisson sous vide. Ce travail réalisé à l'échelle du produit permet d'évaluer le comportement global de la rupture des

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2015

films sur le volume (global) des pains. L'étudiant étudiera **le couple formulation-process en deux séries d'essais pour une conduite optimale établie sur le point central en quantité de gluten, d'eau, d'amidon** ; on caractérisera le volume, la masse volumique, la teneur en eau, et procédera aussi à une analyse des défauts. Huit formules seront étudiées en deux séries d'essais. Année 1 2

La **deuxième étape** du travail est de se placer au plus proche de **l'échelle du film de pâte**, en développant un outil expérimental qui maintienne une faible épaisseur de pâte (de l'ordre de 200 à 500 micromètres d'épaisseur) entre deux chambres que l'on sollicitera avec une différence de pression (P_1/P_2), à plusieurs températures pour observer le moment où s'ouvre le film au moyen d'une mesure de différence de pression entre les chambres. Les chambres seront contrôlées en humidité des gaz, pression et température. Les formules testées à l'étape 1 seront testées ici à l'étape 2 et on essayera de comprendre les résultats de l'étape 1 au travers de la réponse à la rupture des films obtenus pour les différentes formulations. Si on venait à manquer de temps, on se concentrerait sur les formules donnant les meilleures et les plus mauvaises réponses à la cuisson sous vide. Année 1 2.

La **troisième étape** de la thèse sera d'adapter le modèle de cuisson 2D et d'explorer des conduites de cuisson pour dégager des conduites optimales. Le travail d'adaptation du modèle sera porté par l'encadrement (avec l'appui éventuellement de Master Univ Rennes en calcul scientifique, modélisation) et le travail de simulation sera porté par l'étudiant (maximisation de l'expansion). Le travail consistera d'abord en une phase d'adaptation du modèle à la physique au sous vide et l'exploration par simulation de trajectoires transfert d'énergie – pression – teneur en eau (atmosphère du four) sur la masse et le volume des pains.

Ce sujet conduit suivant cette méthodologie **ouvrira aussi des perspectives sur une modélisation multi-échelles** de l'opération de cuisson, **qui prend en compte la rupture des films à l'échelle 1-100 microns**.

4-Profil du candidat (compétences scientifiques et techniques requises) :

Le candidat doit disposer d'une formation initiale en génie des matériaux (génie chimique, génie alimentaire, ou génie thermique-mécanique). Le travail à réaliser relève davantage de compétences et de goût pour l'expérimental et la physique des transports que d'une passion exclusive de la résolution numérique de système d'équations, même si un goût pour la simulation et une connaissance de Comsol Multiphysics serait un plus. L'étudiant sera partagé entre un travail (le cœur) expérimental (70%) et un travail d'utilisation de modèle (30%).

5-Positionnement et environnement scientifique dans le contexte régional, et le cas échéant, national et international :

La thèse s'inscrit dans la thématique de l'unité TERE d'Irtsea. Au niveau régional, l'unité TERE (Technologie des équipements agroalimentaire) est le seul laboratoire qui travaille dans le domaine du génie des procédés appliqué à la transformation des produits céréaliers.

Cette thèse s'inscrit dans une dynamique de construction interrégionale sur le procédé de panification avec l'alimentation de la collaboration historique avec Oniris (Nantes – Pays-De-Loire) (réduction de la consommation énergétique des procédés de transformation des aliments, nutrition,...). Dans le contexte national elle s'inscrit dans la poursuite des collaborations développées avec Agroparitech.

Dans le contexte international la thèse s'inscrit dans la logique des travaux de modélisation multi-échelles, initiés à l'université de Cornell (à Ithaca, Etat de New York, USA) par l'encadrant de proximité, David Grenier, en alimentant la connaissance des phénomènes de rupture à l'échelle des constituants de la pâte et préparant une modélisation multi-échelles du phénomène de rupture des films de pâte.

6-Pertinence du projet au regard du DIS de rattachement (et/ou du DIS secondaire). Si « projet blanc », préciser les raisons de ce choix :

La thèse s'inscrit directement dans le cadre du DIS 2c « Usine agro-alimentaire du futur » et elle participe à la mise en œuvre du projet « IAA-High-Tech Usine du futur » du **CPER**. En effet la thèse touche aux trois volets du projet :

- Métrologie, instrumentation, capteurs : avec le développement du dispositif de sollicitation du film de pâte original (éventuellement brevetable en fin de thèse) ;
- Technologique : avec le développement et l'utilisation du prototype de four sous-vide ;
- Modélisation et simulation : avec l'adaptation et l'utilisation du modèle numérique de cuisson en condition de cuisson sous vide.

Dans le cadre du **pacte d'avenir** la thèse concerne deux des objectifs de la fiche cadre 5 ; Permettre le

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2015

développement de valeur ajoutée et Améliorer l'adéquation des produits aux attentes du marché.

7-*Autres informations utiles (projet relevant des Objets d'excellence -OBEX-, projet inscrit dans le cadre des « Projets réservés » régionaux, dont « Projets émergents de recherche »...)* :

La thèse est en cohérence avec le thème « construction durable des aliments de demain » retenu dans le projet d'IDEX. Plus spécifiquement, la thèse intervient à l'interface entre la modélisation, la qualité organoleptique et la valeur nutritionnelle de produits transformés.

6- Projet de thèse en cotutelle internationale

- **S'agit-il d'un projet de thèse en cotutelle internationale (oui/non) :** non

- **Si oui, préciser l'établissement pressenti (et le pays de rattachement) :**

- **En cas de projet en cotutelle internationale, préciser -si vous en avez connaissance- l'organisation du calendrier des périodes de séjour :**

NB : Est entendue comme « thèse en cotutelle internationale », la situation où le doctorant partage son temps de thèse de manière égale, entre un établissement breton bénéficiaire, qui le rémunère pendant les périodes de thèse effectuées sur le territoire régional (18 mois sur 36 mois), et un établissement étranger, qui s'engage également à rémunérer le doctorant dans le cadre de son séjour à l'étranger, soit durant 18 mois -a minima-. (Voir article 6.4 du Dispositif ARED 2015).

7- Financement du projet de thèse

- **Part de l'enveloppe financière régionale affectée au projet (part exprimée en ETP) :**

- Financement Région 100 %
 Financement Région 50 % (Préconisé)

- **En cas de financement à 50 %, le cofinancement est-il déjà identifié (oui/non) :** oui

- **Si oui, préciser la nature du cofinancement (ANR, Partenaire privé, Ademe, etc.) :** demi-bourse Irstea

- ⑨ Ce document est à renvoyer pour le **23 mars au plus tard** à votre référente au service SDENSU de la Région Bretagne : caroline.mevel@region-bretagne.fr

Allocations de recherche doctorale (ARED)
Fiche projet 2015
Bibliographie

1. Shah, P., et al., *Proving of bread dough: modelling the growth of individual bubbles*. Transactions of the Institution of Chemical Engineers, 1998. **76**(C): p. 73-79.
2. Hailemariam, L., M. Okos, and O. Campanella, *A mathematical model for the isothermal growth of bubbles in wheat dough*. Journal of Food Engineering, 2007. **82**(4): p. 466-477.
3. Lucas, T., et al., *Modeling of bread baking with a new, multi-scale formulation of evaporation-condensation-diffusion and evidence of compression in the outskirts of the crumb*. Journal of Food Engineering, 2014(0).
4. Hayman, A., R.C. Hosney, and J.M. Faubion, *Effect of pressure (crust formation) on bread crumb grain development*. Cereal Chemistry, 1998. **75**(5): p. 581-584.
5. Zhang, L., et al., *Effects of crust constraints on bread expansion and CO₂ release*. Journal of Food Engineering, 2007. **80**(4): p. 1302-1311.
6. Abdelrahman, (1993), Composite dough product and a process for producing same
7. Acknin, C., (2002), Apparatus and method for baking bread using a partial vacuum, USA, 20020071894.
8. Rassing, H., M. Rassing, and T. Durance, *Modeling the mechanisms of dough puffing during vacuum microwave drying using the finite element method*. Journal of Food Engineering, 2007. **82**(4): p. 498-508.
9. Tippmann, E. and D. Studebaker, (1995), Subatmospheric pressure cooking device, USA, WO 1995004445 A1, EP 0717917 B1.
10. Ovadia, D., (1994), Dielectric heating while pressurized, USA, US 07/972,468.
11. Gibson, L.J., et al., *The Mechanics of Two-Dimensional Cellular Materials*. Proceedings of the Royal Society of London Series a-Mathematical Physical and Engineering Sciences, 1982. **382**(1782): p. 25-42.
12. Attenburrow, G.E., et al., *The fracture behaviour of starch and gluten in the glassy state*. Journal of Cereal Science, 1992. **16**(1): p. 1-12.
13. Della Valle, G., et al., *Basic knowledge models for the design of bread texture*. Trends in Food Science & Technology, 2014. **36**(1): p. 5-14.
14. Gan, Z., et al., *The microstructure and gas retention of bread dough*. Journal of Cereal Science, 1990. **12**(1): p. 15-24.
15. Sroan, B.S. and F. MacRitchie, *Mechanism of gas cell stabilization in breadmaking. II. The secondary liquid lamellae*. Journal of Cereal Science, 2009. **49**(1): p. 41-46.
16. Sroan, B.S., S.R. Bean, and F. MacRitchie, *Mechanism of gas cell stabilization in bread making. I. The primary gluten-starch matrix*. Journal of Cereal Science, 2009. **49**(1): p. 32-40.
17. Vanvliet, T., et al., *Strain-hardening of dough as a requirement for gas retention*. Journal of Texture Studies, 1992. **23**(4): p. 439-460.
18. Kokelaar, J.J., T. vanVliet, and A. Prins, *Strain hardening properties and extensibility of flour and gluten doughs in relation to breadmaking performance*. Journal of Cereal Science, 1996. **24**(3): p. 199-214.
19. van Vliet, T., *Strain hardening as an indicator of bread-making performance: A review with discussion*. Journal of Cereal Science, 2008. **48**(1): p. 1-9.
20. van Vliet, T. and R.J. Hamer, *Letter to the Editor*. Journal of Cereal Science, 2007. **46**(1): p. 98-99.
21. Macritchie, F., *LIQUID-PHASE OF DOUGH AND ITS ROLE IN BAKING*. Cereal Chemistry, 1976. **53**(3): p. 318-326.
22. Macritchie, F., *INFLUENCE OF INTERFACIAL PRESSURE ON RATE PROCESSES*. Journal of Colloid and Interface Science, 1976. **57**(2): p. 393-395.
23. MacRitchie, F., *Evaluation of contributions from wheat protein fractions to dough mixing and breadmaking*. Journal of Cereal Science, 1987. **6**(3): p. 259-268.
24. MacRitchie, F., *Theories of glutenin/dough systems*. Journal of Cereal Science, 2014(0).
25. Gan, Z., P.R. Ellis, and J.D. Schofield, *Gas Cell Stabilisation and Gas Retention in Wheat Bread Dough*. Journal of Cereal Science, 1995. **21**(3): p. 215-230.
26. Mills, E.N.C., et al., *Bubble formation and stabilization in bread dough*. Food and Bioproducts Processing, 2003. **81**(C3): p. 189-193.
27. Don, C., et al., *Glutenin macropolymer: a gel formed by glutenin particles*. Journal of Cereal Science, 2003. **37**(1): p. 1-7.
28. Don, C., et al., *Understanding the link between GMP and dough: from glutenin particles in flour towards developed dough*. Journal of Cereal Science, 2003. **38**(2): p. 157-165.
29. Don, C., et al., *The effect of mixing on glutenin particle properties: aggregation factors that affect gluten function in dough*. Journal of Cereal Science, 2005. **41**(1): p. 69-83.
30. Don, C., et al., *HMW-GS affect the properties of glutenin particles in GMP and thus flour quality*. Journal of Cereal Science, 2006. **44**(2): p. 127-136.
31. Rosell, C.M., et al., *Thermomechanically Induced Protein Aggregation and Starch Structural Changes in Wheat Flour Dough*. Cereal Chemistry, 2013. **90**(2): p. 89-100.
32. Amend, T. and H.D. Belitz, *THE FORMATION OF DOUGH AND GLUTEN - A STUDY BY SCANNING ELECTRON-MICROSCOPY*. Zeitschrift Fur Lebensmittel-Untersuchung Und-Forschung, 1990. **190**(5): p. 401-409.
33. Amend, T. and H.-D. Belitz, *Gluten formation studied by the transmission electron microscope*. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 1990. **191**(3): p. 184-193.