ANALYSE DE THÈSE

DIMINUER LA TEMPÉRATURE DE CUISSON DES PAINS PLATS DOUBLE COUCHE

Thèse de Safia **BEDRE-DINE**[1]

Analysée par Gilles **TRYSTRAM**[2]

Directeur de thèse : Tiphaine **LUCAS,** Chercheur, INRAE, UR OPAALE RENNES
Co-directeur(s) de thèse David **GRENIER,** Chercheur, INRAE, UR OPAALE RENNES

Le mémoire proposé par Safia BEDRE-DINE aborde la cuisson des produits céréaliers, et notamment le cas des pains plats double couche qui a fait l'objet de peu de travaux de recherche. Le défi est intéressant, car ce type de pain est complexe, résultant d'une double couche cuite séparée en fin de cuisson. Comprendre comment les mécanismes permettent l'obtention de ce pain singulier est en soi un défi. Il l'est d'autant plus que l'objectif est d'innover en matière de procédé. Il s'agit donc, dans ce travail ; à la fois de comprendre la cuisson de ce pain plat, d'analyser et de comparer des technologies variées pour en optimiser l'usage. Un objectif pertinent est également de savoir obtenir ce type de pain dans des conditions répétables, avec des qualités optimales, exprimée par la couleur, la texture et la conservation notamment.

L'approche est classiquement fondée sur une analyse bibliographique assez large, intéressante en tant que telle, mais les résultats sont surtout intéressants autour de trois approches complémentaires. Une approche expérimentale ayant mis en œuvre plusieurs manières d'apporter un flux de chaleur au produit, une approche de métrologie et d'instrumentation pour obtenir des données interprétables, et qui permettent de caractériser et quantifier les mécanismes, et enfin l'utilisation d'une modélisation complémentaire des expérimentations.,

Du point de vue de l'interprétation des mécanismes, la question centrale est celle de la porosité initiale, supposée initialement fermée, qui du fait des transferts thermiques et massiques va s'ouvrir, permettre ou non le développement et contribuer à créer la double couche du pain. Les travaux démontrent que le moteur de l'expansion, au sein de cette porosité, est

[1] Thèse préparée au sein de l'école doctorale Doctoral school n° 600 Ecology, Geosciences, Agronomy, Food sciences Specialization: Food Process Engineering. Thèse réalisée dans l'UR Process Optimisation in food, agriculture and the environment (OPAALE), INRAE). Thèse présentée et soutenue à l'Institut Agro Rennes Angers le 13/12/ 2024.

[2] Membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France, Section 8, « Alimentation ».

Copyright Académie d'agriculture de France, 2025.

essentiellement dû à la vapeur d'eau. Le gaz carbonique est en effet évacué dès le début du procédé, avec donc une contribution négligeable. Ce moteur thermodynamique est amplifié par l'évapo-condensation - la vapeur d'eau libérée par le changement d'état en surface d'un pore induit par le flux thermique, se condense sur une paroi froide de ce pore, puis migre dans la phase continue et ainsi de suite. Cette hypothèse, longtemps discutée en cuisson des produits céréaliers, apparait bien interprétée dans ce travail, notamment soutenue par des simulations d'un modèle de transfert dédié.

Outre un moteur d'expansion lié à la phase gazeuse au sein du produit, les forces résistantes sont bien caractérisées. Les fuites avant tout des gaz apparaissent faibles et maîtrisables par des étapes du procédé : apport de vapeur d'eau en début de cuisson notamment. La résistance en propre de la pâte, sa viscosité, la pelletisation de l'amidon présent sont bien caractérisées avec quelques apports intéressants en termes de méthode de caractérisation instrumentale.

L'instrumentation développée est très variée. Des mesures de températures des deux couches sont proposées, ce qui est difficile à réaliser. Mais surtout la caractérisation de la perméabilité aux gaz est abordée par le transfert d'approches utilisées pour les emballages. C'est original et les résultats sont très intéressants. La micro-stucture de l'amidon est suivie par une approche échantillonnée et les interprétations sont également assez riches. Des mesures plus classiques de couleur, de conservation sont aussi mises en œuvre. L'ensemble est riche et bien venu.

Le travail a une dimension relative aux procédés. Plusieurs manières d'apporter l'énergie thermique sont utilisées autour d'une référence de cuisson à l'air chaud (300°C) dans un four classique. L'importance des flux de contact entre la sole et le pain est très bien mise en évidence dans l'opération. Ces flux sont limités par des phénomènes de rétraction de la pâte (pertes d'eau) en cours de cuisson et des contraintes induites, qui réduisent la surface de contact pain sole, et des phénomènes de caléfactions créatrices de poches limitant les transferts de chaleur. Une exploration de cuisson à températures plus faibles montre qu'en deçà d'une température critique, la séparation des deux couches ne se fait pas. En complément, injection de vapeur d'eau et utilisation du vide partiel sont mises en œuvre. L'approche d'injection de vapeur est assez classique et semble fonctionner comme dans la cuisson du pain classique.

Cependant le travail en cuisson sous vide est original et intéressant. Il est démontré qu'il est possible d'atteindre des températures de réaction, notamment liée à l'amidon, modifiée par la pression, induisant des réactions dans des dynamiques différentes, donc influençant le produit fini. Il semble d'ailleurs que ce mode de cuisson donnerait une conservation plus longue avec moindre rancissement du pain.

Soutien de toute la réflexion, alimenté soit par des données expérimentales, soit par des données issues de simulation, les équilibres et déséquilibres d'eau au sein des phases et des deux couches de produits sont une des bases du raisonnement proposé. Ainsi, selon les apports thermiques, il est possible d'obtenir deux couches en équilibre ou non de teneur en

Copyright Académie d'agriculture de France, 2025.

eau. Ceci pilote, avec la nature des flux d'énergie, la transition d'un pain simple couche à un pain double couche.

Une conséquence intéressante du travail est de proposer suffisamment de données et d'interprétation pour permettre une mise en œuvre d'une cuisson « sûre » des pains plats à double couche pour des réalisations artisanales ou industrielles. La forme de complétude du travail proposée est, de ce point de vue, à souligner. En tant que tel, le travail apporte donc des innovations applicatives pour le pain plat, notamment au travers des contraintes de réduction des températures ou l'utilisation du vide partiel. Il y a aussi un potentiel de réflexions et de conception plus large autour des usages du vide partiel en cuisson qui, certes, est un cadre connu, mais peu pour les produits céréaliers cuits. Un des intérêts de cette thèse est d'ouvrir des voies fondées par des données et des simulations numériques pour proposer des innovations à l'échelle industrielle comme artisanale.

C'est donc un travail riche, très informatif, avec des interprétations utiles pour la maitrise de la cuisson du pain plat que cette thèse offre. La rigueur de l'approche, et le sens critique que la discussion propose, sont importants à souligner.

Les résultats originaux de cette thèse s'inscrivent pleinement dans le champ d'intérêt de l'Académie d'agriculture de France et justifie sa valorisation par sa présentation sur le Site et dans le Mensuel de l'Académie.

Copyright Académie d'agriculture de France, 2025.