

Enjeux énergétiques de la cuisson et de la congélation des pains. Etude de cas liés aux procédés industriels dans le cas du projet européen EU-FRESHBAKE.

Alain LE-BAIL^{*(1)}, Tzvetelin DESSEV⁽²⁾, Antoine PINSON⁽¹⁾, Jérémy LAUNAY⁽¹⁾, Vanessa JURY⁽¹⁾, Ruben ZUNIGA⁽¹⁾, Tiphaine LUCAS⁽³⁾, Thomas PARK⁽⁴⁾ & Martin PITROFF⁽⁵⁾

¹ ENITIAA – GEPEA – UMR CNRS 6144, BP 82225, F-44322 NANTES Cedex 3 – France

² University of Food Technologies – Dpt. by Technology of grain, fodder, bread and confectionery products - 26 Maritza blvd., Plovdiv 4000, Bulgaria

³ Cemagref, UR TERE, F-35044 Rennes, -Univ.européenne de Bretagne, F-35000 Rennes

⁴ TTZ-EIBT, Am Lunedeich 12, 27572 Bremerhaven Germany

⁵ MIWE, 97450 Arnstein, Germany

* (auteur correspondant : alain.lebail@enitiaa-nantes.fr)

Keywords: Bread, freezing, nutrition, energy, process, bakeoff technology, Europe

Résumé - Cet article présente des résultats obtenus dans le cadre du projet européen “EU-FRESHBAKE” (FP6) sur l’énergie dans le cadre du procédé de cuisson du pain. Ce procédé est un des plus consommateur d’énergie. Différents résultats sont présentés et mettent en évidence que environ 15-20% de l’énergie sert à cuire la pâte et 20% à former la croûte. Des résultats liés à la congélation du pain sont également présentés. Web : <http://eu-freshbake.eu/eufreshbake/index.php>

1. Introduction

Les techniques de cuisson des aliments visent à la fois à stabiliser les aliments sur le plan microbiologique (conservation) mais également à cuire les aliments. La Figure 1 met en évidence la demande d’énergie relative à différents procédés de stabilisation. La cuisson du pain est en fait comparable à un séchage et ce procédé demande beaucoup plus d’énergie que les procédés conventionnels avec environ 5 MJ/kg de pain [1, 2] en comparaison par exemple avec l’appertisation comme indiqué sur la Figure 1.

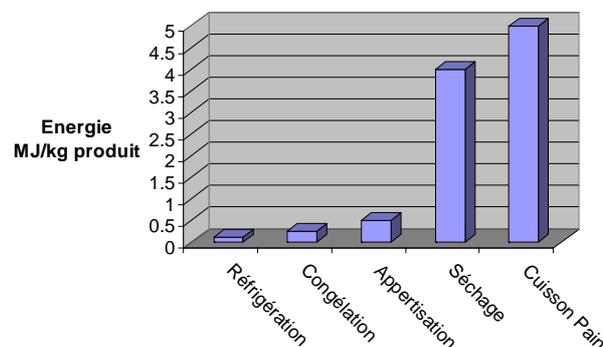


Figure 1

Comparaison de l’énergie pour différents procédés de stabilisation des aliments.[1, 2]

Les valeurs d'énergie nécessaire à la cuisson du pain disponibles dans la littérature présentent une variabilité importante qui dépend du type de four utilisé (« batch » ou continu), de l'énergie utilisée, La Figure 2 ci-dessous regroupe quelques données issues de la littérature et de données confidentielles ; la valeur moyenne obtenue (3,5 MJ/kg) se rapproche de la valeur proposée par [2]. La dispersion des valeurs disponibles met en évidence l'impact de la source d'énergie et également la variabilité liée à la méthodologie mise en œuvre.

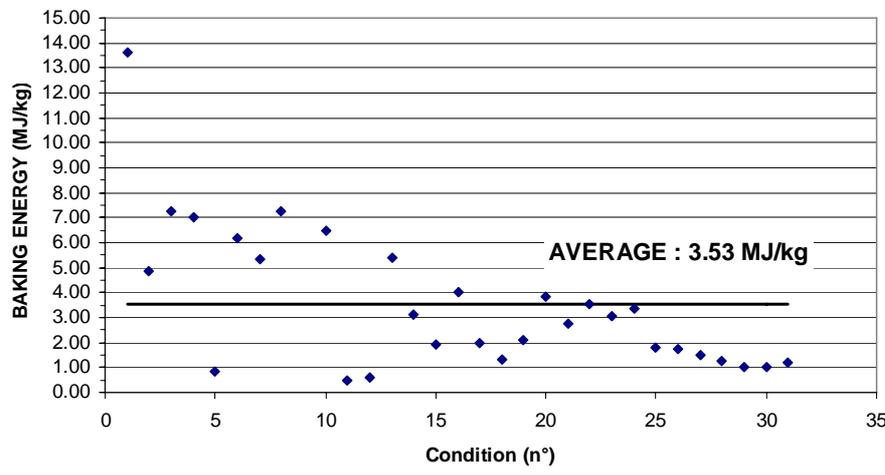


Figure 2

Energie pour la cuisson du pain.

Les données proviennent de différentes sources (ouvrages, articles, données confidentielles).

L'écart important de consommation d'énergie entre la cuisson du pain et les autres procédés s'explique par différents aspects spécifiques au procédé de cuisson du pain. On observe que en moyenne, seulement 10 à 20% de cette énergie est nécessaire pour le réchauffement de la pâte et pour assurer sa cuisson. Environ un quart de l'énergie est liée au séchage de la surface du pain (formation de la croûte). Le phénomène de séchage superficiel nécessaire à la formation de la croûte met en jeu la valeur élevée de la chaleur latente de vaporisation de l'eau. Lorsque la teneur en eau des produits devient faible (typiquement moins de 20 % de teneur en eau environ), la chaleur de désorption doit être prise en compte ce qui accroît le besoin thermique pour le séchage de surface. Ce séchage nécessite une cuisson dans un four à haute température (classiquement entre 180 et 250 °C selon les cas). Cela induit des pertes importantes vers l'ambiance (paroi, ouverture de porte). En second lieu, le procédé de cuisson du pain commence au moment de l'enfournement par un « coup de buée » qui consiste à injecter dans le four une quantité importante de vapeur. Cette vapeur joue un rôle très important sur le volume final du pain. Elle va se condenser sur la surface du pâton (pâte fermentée) ce qui permettra la plastification de la peau du pâton et son expansion en début de cuisson. En effet, l'apport thermique externe induit un échauffement et donc une augmentation de la pression dans les alvéoles gazeuses présentes dans la pâte fermentées. En complément, la vaporisation de l'eau, du CO₂ et de composés alcooliques piégés dans la phase liquide de la pâte lors de la fermentation du pain contribuent à cette phase d'expansion. Dans le cas de procédés industriels, les pains sont parfois précuits (cuisson partielle) puis congelés. La cuisson finale permet alors de former la croûte. Ce genre de procédé demande encore plus d'énergie puisqu'il y a une double cuisson. Il apparaît donc important de développer des procédés innovants de cuisson moins demandeurs d'énergie. L'objectif de cet article est de présenter quelques résultats obtenus dans le cadre du projet européen EU-FRESHBAKE qui vise à étudier les procédés de boulangerie industriels faisant appel à la

conservation par le froid. On parle alors des procédés de cuisson différée ou encore « Bake off Technology » en anglais.

2. Matériels et méthodes

La mesure de l'énergie nécessaire à la cuisson des pains a été réalisée avec un wattmètre (500 impulsions pour 1 kWh - VM14 96 - Carlo Gavazzi, Lainate, Italy). Les références exactes des équipements de cuisson et de congélation mis en œuvre ne sont pas données par soucis de confidentialité. Les pains ont été réalisés avec une farine de type 55. La recette comportait pour 100 g de farine (humidité 14%) 58g d'eau, 3 g de levure compressée, 1,8 g de sel et 1 g d'améliorant. Les mesures de l'enthalpie du produit (pain) a été réalisé par calorimétrie (Waters Instrument - Q100). Un balayage a été réalisé de – 60 °C à 70 °C afin de déterminer la quantité d'eau congelable par intégration du pic de fusion de l'eau congelée dans l'échantillon. L'enthalpie du pain a été calculée sur tableur à partir de modèles classiques tels que présentés par [3] en considérant séparément la croûte et la mie de pain qui sont deux matériaux très différents de par leur teneur en eau. Un rapport de masse croûte sur mie de 0,2 a été utilisé pour les calculs. La température de la mie en cours de cuisson se stabilise à 98 °C. La température de la croûte a été considérée comme étant la température moyenne entre la température du four et la température de la mie. La différence d'enthalpie entre le début et la fin du procédé a permis d'établir l'énergie nécessaire pour assurer la cuisson du produit.

3. Energie consommée par un four de type « sole »

La mesure de l'énergie nécessaire à la cuisson des pains a été réalisée dans un four électrique « sole » de surface 0,96 m² (1,2 m x 0,8 m). Les pains (masse de pâte 70 g à 80 g) étaient déposés sur des plateaux en aluminium de masse moyenne 630 g. Trois taux de remplissage du four ont été mis en œuvre (15, 30 et 48 pains soit un taux d'occupation de environ 1/3, 2/3 et 1/1). Le préchauffage du four a été étudié mais n'est pas présenté dans les résultats. Deux modes de cuisson ont été comparés : « conventionnel » et « précuit », ce dernier mode correspondant au pain précuit mis en œuvre dans le cas des technologies de cuisson différées.

	CONVENTIONNEL (CONV)	PRECUIT (PC)
TEMPERATURE (°C)	230 °C - 20 min	190 °C - 4 min puis 165 °C - 13 min
COUP DE VAPEUR	500 ml	200 ml

Table 1
Conditions de cuisson utilisées pour les essais

La

Figure 3 présente la consommation d'énergie pour les deux technologies en fonction du taux de remplissage du four (masse de pâte en abscisse). On observe que l'énergie consommée évolue dans une fourchette large. A titre de comparaison, l'énergie est calculée par rapport à la masse de pâte et par rapport à la masse de pain. Compte tenu de l'évaporation importante du pain en cours de cuisson (20 % en conventionnel, 8% en précuit), la masse considérée induit un artefact important. A Noter que pour les deux procédés, l'énergie a été évaluée à partir de l'énergie totale consommée en cuisson puis en réchauffage du four avant de pouvoir lancer une nouvelle fournée. Dans le cas du pain précuit, le four consomme 1/3 de l'énergie pendant la cuisson et 2/3 pendant la phase de remise en température. Deux cas extrêmes sont comparés dans les Figure 4 et Figure 5 (four plein – conventionnel et four peu chargé – précuit) mettant en évidence la répartition de la demande d'énergie. Dans les deux

cas, le coup de buée représente une énergie très importante (env. 25%). L'énergie liée à l'évaporation est importante pour le conventionnel à cause d'une perte en eau bien plus importante que pour le précuit. Le poste « DIVERS » représente l'énergie perdue au chargement et déchargement (ouverture porte four), les pertes aux parois et également les pertes liées à l'ouverture de la cheminée d'aération qui a été ouverte 4 minutes après le début de la cuisson dans les deux cas. En fermant cette cheminée 4 minutes avant la fin de la cuisson, l'énergie totale consommée était inférieure de 15 %, la différence se répartissant entre le poste « divers » et le poste « évaporation ».

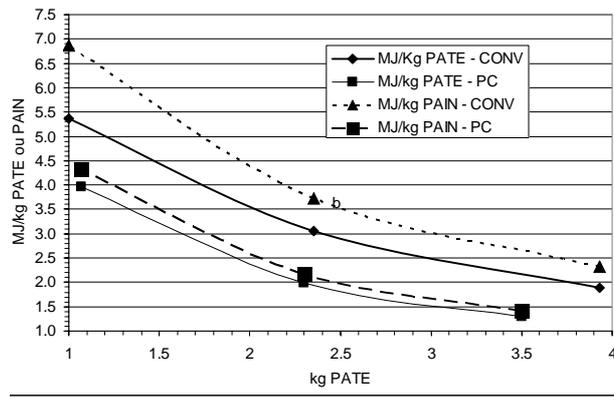


Figure 3

Exemple de répartition de l'énergie dans le cas d'une cuisson de pain dans un four à sole (surface 0,96 m²)

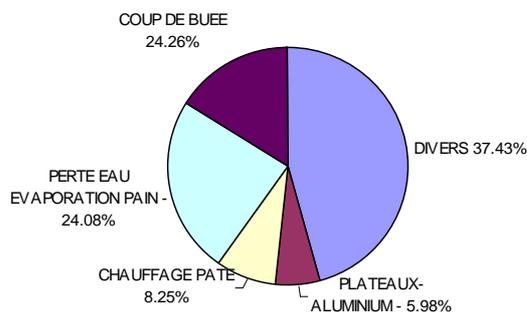


Figure 4

Cuisson « conventionnelle » – 48 pains (plein)
Répartition de la demande d'énergie.

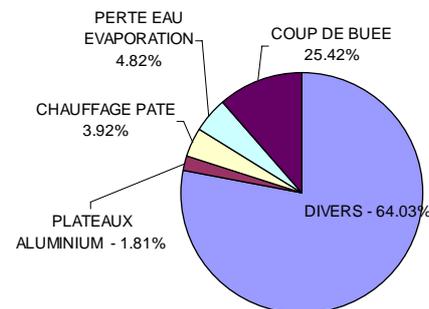


Figure 5

Cas d'une cuisson « précuit »
15 pains (1/3 plein)
Répartition de la demande d'énergie

4. Energie nécessaire à la congélation de pains précuits

La mesure de l'énergie nécessaire à la congélation de pain précuits a été réalisée dans une cellule de congélation récente fonctionnant avec un fluide frigorigène de type 404 a. Le volume intérieur de la cellule est de 1,5 m³. Un taux d'occupation d'environ 100 % était utilisé avec une masse de pâte de 13 kg pour chaque essai (180 pains précuits de 70 g). Les pains précuits ont été congelés jusqu'à atteindre une température correspondant à la congélation de 80 % de l'eau congelable (valeur moyenne sur le produit). Ce critère est retenu par l'institut international du froid comme critère de fin de congélation [3]. Le rapport croute sur mie était de 0,44 (base humide) ce qui correspondait à une température de fin de congélation de - 14,8 °C (80 % de l'eau congelable congelée). La puissance consommée par les ventilateurs (1,5 kW) et les pertes aux parois ont été estimées à partir des données du constructeur L'énergie liée aux supports (plateaux et chariot) a été évaluée à partir des

températures initiales et finales et des chaleurs spécifiques des matériaux utilisés (aluminium et acier inoxydable). Le bilan a été réalisé en comparant la puissance frigorifique disponible qui était égale au produit de la puissance électrique consommée par le coefficient de performance (COP). Les pertes non identifiées correspondent aux écarts entre COP réel et COP pris en compte ainsi qu'aux incertitudes et approximations faites lors des calculs. Le COP indiqué par le constructeur provient de données techniques théoriques ; dans la pratique, il a fallu ajuster le COP pour obtenir des pertes non expliquées (divers) correspondant à environ 10 % du total de l'énergie frigorifique disponible. Le COP effectivement observé après cet ajustement était de 1,11 et 0,83 à une consigne de -20 °C et -30 °C respectivement.

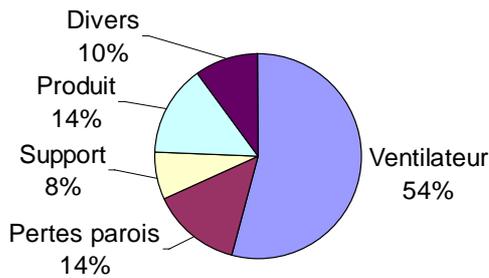


Figure 6

Congélation à -20 °C . Répartition de l'énergie frigorifique nette pour la congélation de pains précuits (taux remplissage 100 % - 13 kg de pâte). Température initiale = 30 °C
Température finale = $-14,8\text{ °C}$

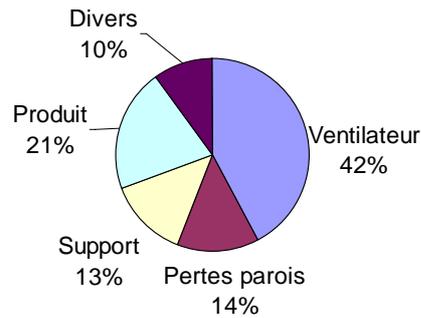


Figure 7

Congélation à -30 °C . Répartition de l'énergie frigorifique nette pour la congélation de pains précuits (taux remplissage 100 % - 13 kg de pâte). Température initiale = 30 °C
Température finale = $-14,8\text{ °C}$

Un exemple est proposé dans la Figure 6 dans le cas d'une congélation à -20 °C . Les produits (pains + chariot et supports) ont été mis dans le congélateur après pré cuisson puis stabilisation à 30 °C . On observe qu'environ 14 % de l'énergie frigorifique disponible est effectivement utilisée pour refroidir et congeler les produits. Les ventilateurs consomment une énergie importante (54 %). Dans un essai similaire mais avec une température de consigne de -30 °C (Figure 7), l'énergie liée au ventilateur passe de 54 % à 42 % à cause d'un temps de congélation plus court. La Figure 8 met en évidence l'effet de la température du produit sur le temps de congélation. On observe sur la Figure 9 que la température finale de congélation à un effet important sur l'énergie électrique consommée qui est 30 % moins élevée lorsqu'on passe d'une consigne de -20 °C à -30 °C alors que le temps de congélation est réduit de 80% (température finale produit -15 °C).

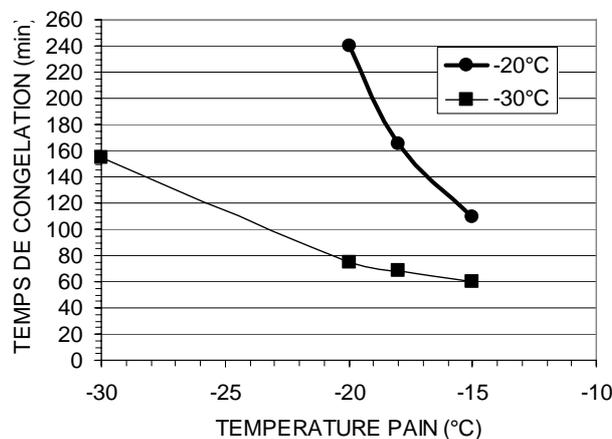


Figure 8

Temps de congélation en fonction de la température des pains et de la consigne congélateur (-20 °C /-30 °C).

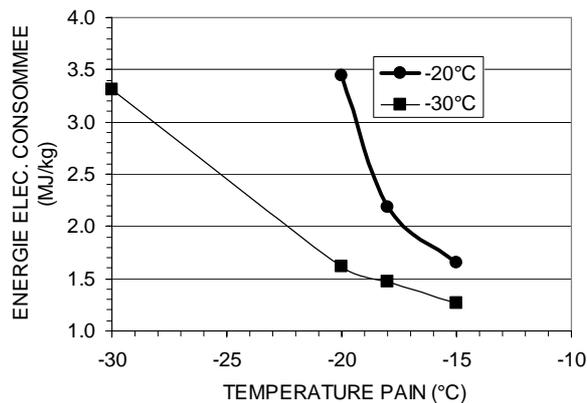


Figure 9

Temps de congélation en fonction de la température de sortie des pains et de la température de consigne du congélateur (-20 °C ou -30 °C).

6. Conclusion.

La cuisson et la congélation des pains sont des procédés qui demandent beaucoup d'énergie. Il apparaît que le type d'énergie, le taux de remplissage des équipements et la méthodologie mises en œuvre peuvent introduire des écarts très importants. Nos résultats ont mis en évidence un facteur 4 entre un pain cuit de manière conventionnelle dans un four plein au tiers en comparaison avec un pain précuit cuit dans un four plein. (5,4 MJ/kg contre 1,3 MJ / kg). De même, la masse de référence (pâte avant cuisson ou pain cuit) peut introduire un artefact important. Les mêmes observations s'appliquent à la congélation. On retient par exemple qu'entre une congélation à -20°C et -30 °C la demande d'énergie est réduite de 30 % grâce à une congélation plus rapide. L'ensemble de ces données seront consignées dans un guide de bonne pratique pour les technologies de cuisson différée.

Références

1. P.J. Fellows, *Food Processing Technology Principles and Practice*. 1996, Woodhead Publishing: Cambridge. p. Chap. 1:54-58 and Chap. 15:314-327.
2. A. Dinçer, ed. *Heat transfer in food cooling applications*. 1997, Taylor & Francis,: New York USA.
3. Alain Le-Bail, et al., *Evaluation of the mean ice ration as a function of temperature in an heterogenous food; application to the determination of the target temperature at the end of freezing*. Int. J. of Ref., 2008. **31**(5 - August 2008): p. 816-821.

Remerciements:

This study has been carried out with financial support from the Commission of the European Communities, FP6, Thematic Area "Food quality and safety", FOOD-2006-36302 EU-FRESH BAKE. It does not necessarily reflect its views and in no way anticipates the Commission's future policy in this area. Tzvetelin DESSEV is a post doc co-funded by the region Pays de Loire and EU-FRESHBAKE. A. PINSON & J. LAUNAY are trainees from Université de Bretagne Sud – Lorient (MSc Energétique – April – June 2008). Remerciements à Luc GUIHARD et Christophe COUEDEL pour le support technique indispensable à ces essais.