

Pou.Pâ. : dispositif automatique de mesure de la pousse de pâtons de farine

Frédéric Mabille¹
Denis Cassan²

CORRESPONDANCE

frederic.mabille@inrae.fr

RÉSUMÉ

Le processus de fermentation de la pâte à pain est essentiel pour garantir une texture aérée et une mie légère. Afin de maîtriser cet aspect crucial de la panification, nous avons développé un dispositif innovant, appelé Pou.Pâ, capable de mesurer précisément le gonflement d'une pâte tout au long du processus de fermentation. Le principe de ce dispositif est similaire aux mesureurs maison : quatre échantillons sont placés dans des piluliers équipés de cibles et installés sous un boîtier pour mesurer, à l'aide de capteurs de position, le déplacement dû au gonflement des pâtons. Les valeurs sont affichées sur un écran LCD et archivées sur une carte SD. Le système enregistre la température et les hauteurs des quatre cibles de chaque session de fermentation, permettant aux boulanger de comparer et quantifier leurs processus au fil du temps. Ce dispositif se distingue par sa simplicité de fabrication et d'utilisation, offrant une solution efficace pour évaluer l'effet des différents constituants du pâton. Par ailleurs, nous avons choisi de ne pas breveter cet outil mais, dans une démarche participative, d'offrir à chacun la possibilité de fabriquer son propre Pou.Pâ. en s'appuyant sur le réseau français des FabLabs.

MOTS-CLÉS

fermentation ; panification ; levain ; Arduino

1. INRAE, Institut Agro, SPO, Université Montpellier, 34000, Montpellier, France

2. INRAE, Institut Agro, IATE, Université Montpellier, 34000, Montpellier, France

Pou.Pâ.: automatic device for measuring dough proofing

Frédéric Mabille¹
Denis Cassan²

CORRESPONDENCE

frédéric.mabille@inrae.fr

ABSTRACT

The bread dough fermentation process is essential for achieving an airy texture and a light crumb. To master this crucial aspect of breadmaking, we have developed an innovative device called Pou.Pâ., capable of precisely measuring dough expansion throughout fermentation. The principle of this device is similar to homemade measuring systems: four samples are placed in small containers fitted with targets and installed under a measurement box that uses position sensors to detect the displacement caused by the rising dough. The values are displayed on an LCD screen and stored on an SD card. The system records both the temperature and the height of the four targets during each fermentation session, allowing bakers to compare and quantify their processes over time. This device stands out for its simplicity of manufacture and use, providing an efficient solution for evaluating the effects of different dough components. Moreover, the decision was made not to patent this tool but, in a participatory approach, to allow anyone to build their own Pou.Pâ. by relying on the French FabLab network.

KEYWORDS

fermentation; breadmaking; sourdough; Arduino

1. INRAE, Institut Agro, SPO, Université Montpellier, 34000, Montpellier, France
2. INRAE, Institut Agro, IATE, Université Montpellier, 34000, Montpellier, France

Introduction

À l'origine, le mot « pâte » vient du latin *pasta*, lui-même emprunté au grec ancien *παστα* (gruau d'orge). Il désigne de la farine détrempée et pétrie pour faire du pain, puis, par extension, « quelque autre chose de semblable bonne à manger ». La pousse d'une pâte à pain est le développement de cette pâte sous l'action de levain ou de levure. Le CO_2 libéré durant la fermentation se trouve piégé dans le réseau de gluten, ce qui fait gonfler la pâte et augmenter son volume. De nombreuses méthodes de caractérisation de la pâte sont possibles. Le dispositif présenté dans cet article permet la mesure automatique du gonflement de la pâte sous l'action de la fermentation. Cette analyse n'est pas nouvelle : elle se pratique régulièrement dans les fournirs de diverses manières. En collaboration avec Tripette et Renaud, R. Calvel conçoit en 1964 les mesureurs de pousse. La méthode « maison » consiste à utiliser un verre dans lequel on dépose une quantité fixée de pâte. La hauteur initiale est repérée par une marque ou un élastique. On mesure, ensuite, régulièrement, le gonflement de la pâte avec une règle graduée (Figure 1). Ce dispositif a été repris par la société Chopin avec un verre gradué, mesureur de pousse (Roussel *et al.*, 2020) (Figure 2). Il est constitué d'une éprouvette graduée de 1 à 7, de 0,2 en 0,2 mm, conforme à la norme NF V03-716¹ :



Figure 1. Mesureur de pousse maison



Figure 2. Mesureur de pousse Chopin



Figure 3. Rhéo F4

D'autres dispositifs plus complets réalisent, entre autres, la mesure de la pousse de la pâte. En particulier le Rhéo F4 de la société Chopin (version améliorée du rhéofermentomètre) permet une étude complète de l'aptitude fermentaire des farines en mesurant la production de CO_2 , le volume, la perméabilité et la tolérance des pâtes au cours de la fermentation (Figure 3). Mais ce dispositif reste réservé aux laboratoires de recherche.

Un suivi par analyse d'images peut aussi être envisagé pour évaluer la taille ainsi que la forme des pâtons. Différents auteurs proposent le suivi de la fermentation soit en pâton libre (Romano *et al.*, 2007) soit en moule (Bai & Zhou, 2006). Ces techniques de suivi peuvent être utilisées en complément de notre dispositif pour l'analyse et l'interprétation du comportement des pâtons.

Dans le cadre des rencontres du projet participatif CO3-Levain, la communauté des paysans boulanger, des artisans boulanger, des formateurs en boulangerie, des artistes et des scientifiques a élaboré le cahier des charges d'un dispositif expérimental destiné au suivi de la pousse des pâtons durant la fermentation. Nous avons ainsi développé un mesureur automatique de POUsse Pâton, baptisé Pou.Pâ., capable de mesurer précisément le gonflement de la

pâte à pain tout au long du processus fermentaire. Lors des ateliers participatifs, les discussions autour de la conception et de l'usage du Pou.Pâ. ont fait émerger une prise de conscience collective, invitant à considérer la fermentation comme un processus naturel dépassant sa seule dimension technique.

Le principe de Pou.Pâ. est similaire aux mesureurs maison : quatre pâtons de 30 à 50 g sont placés dans quatre réceptacles cylindriques. Un plateau est posé sur chaque pâton. Les échantillons sont ensuite positionnés sous le boîtier qui mesure la hauteur relative des cibles à partir de la hauteur initiale. La masse de pâte et le diamètre des piluliers étant connu, il est possible de déterminer le volume ainsi que la masse volumique apparente. Les valeurs sont affichées sur un écran LCD, pour informer l'opérateur et archivées sur une carte SD. Le système enregistre les données de chaque session de fermentation, permettant aux boulanger de comparer et de quantifier leurs processus au fil du temps.

Ce dispositif, présenté ici, se distingue par sa simplicité de fabrication et d'utilisation, offrant une solution efficace pour suivre la fermentation de pâtons. Il est, de plus, évolutif : nous avons choisi de ne pas le breveter, mais, dans une démarche participative, d'offrir la possibilité à chacun de réaliser lui-même son Pou.Pâ., en s'appuyant sur le réseau français des FabLabs.

Principe du dispositif Pou.Pâ.

Le dispositif est basé sur l'utilisation d'une carte Arduino Uno et de quatre capteurs de déplacement, associés à quelques composants électroniques pour mesurer et comparer, de façon indépendante, la pousse de quatre pâtons de farine disposés dans leur pilulier. L'ensemble est placé dans un boîtier dessiné spécialement pour protéger les composants et permettre un positionnement facile des échantillons. Enfin, les valeurs de pousse étant stockées sur une carte SD, nous proposons un programme en Python pour analyser les données des expériences.

Le dispositif a été pensé pour être accessible et relativement facile à réaliser à un coût modéré. La partie électronique utilise des connectiques plug-and-play et des composants classiques faciles à se procurer ; le boîtier peut être réalisé en divers matériaux à partir de plans disponibles sur simple demande aux auteurs. Pour répondre à l'ensemble des objectifs du cahier des charges, la carte Arduino a été sélectionnée pour son évolutivité et les nombreux capteurs et modules disponibles.

1. NF V03-716 (2015). Farines de blé tendre (*Triticum aestivum L.*) - Essai de panification de type pain courant français. AFNOR.

Montage électronique et pilotage de la carte

Sur la figure 4, le module Base Grove (3) est emboité sur le module Lecteur carte SD (2), lui-même emboité sur la carte Arduino Uno (1). L'emploi de quatre capteurs de distance (4) utilisant le protocole I2C requiert un module de gestion de type Hub I2C Grove à 8 ports (7), connecté directement au port I2C de la base Grove (3)(g). Les quatre capteurs de distance (4) permettent de mesurer précisément les distances dans une plage de 30 à 1 000 mm, grâce à des impulsions infrarouges. Ils sont connectés sur les broches I2C1 à I2C4 du hub (7), le numéro de la broche correspondant au numéro du capteur. Un écran LCD (6) permet de suivre l'activation et la désactivation des capteurs ainsi que les valeurs mesurées. Il s'agit d'un écran, utilisant le bus I2C, connecté à la broche I2C7 de la Base Grove (3)(d). Le suivi de la température est assuré par un capteur de température (9) connecté au port analogique A2 (3)(a). Enfin, quatre paires de boutons (5) permettent de contrôler l'activation et la désactivation de chacun des capteurs ; ils sont positionnés sur les ports digitaux de la Base Grove (3) D2, D4, D6 et D8 (b)(c)(e)(f). L'ensemble est alimenté soit par un transformateur soit par une batterie externe de 12 Volts. Les figures 5 et 6 montrent le dispositif vu depuis l'intérieur du boîtier.

Un programme de commande est ensuite téléversé dans la carte. Ce programme est disponible auprès des auteurs, et peut être modifié librement par les utilisateurs. La programmation de la carte Arduino est réalisée à l'aide de l'interface classique et le logiciel correspondant est présenté sur la figure 7. Le programme nécessite quelques bibliothèques spécifiques pour optimiser le fonctionnement des composants.

La mise sous tension active le dispositif, le capteur de température commence à enregistrer une valeur toutes les minutes sur la carte SD, dans un nouveau fichier. Dès qu'un expérimentateur place un pâton sous un capteur, il peut lancer la mesure à l'aide du bouton vert associé ; une valeur moyenne du capteur de position est alors enregistrée toutes les minutes sur la carte SD. Une pression sur le bouton rouge suspend définitivement l'acquisition du capteur associé. Lorsque les quatre capteurs ont été suspendus, le programme s'arrête.

Il est possible de réaliser plusieurs séries sans ôter la carte SD : il suffit de déconnecter et de reconnecter l'alimentation, le nom du fichier, lié au numéro du boîtier, étant incrémenté automatiquement. Une fois l'expérimentation terminée, l'ensemble des données est disponible sur un fichier texte non encodé.

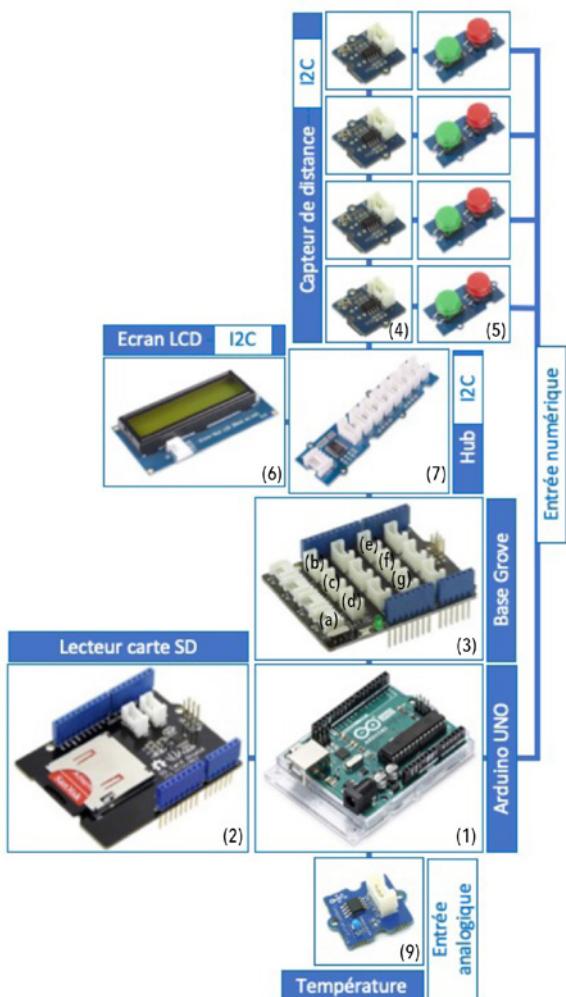


Figure 4. Architecture Arduino

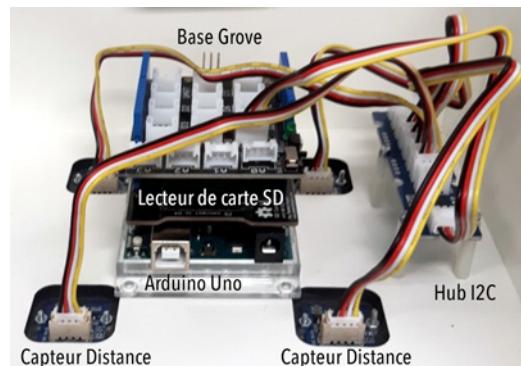


Figure 5. Carte Arduino, lecteur SD, Base Shield Grove, Hub I2C, et quatre capteurs de position

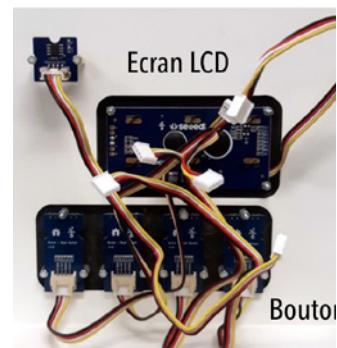


Figure 6. Écran LCD, Capteur de température et Dual button (vue depuis l'intérieur du boîtier)

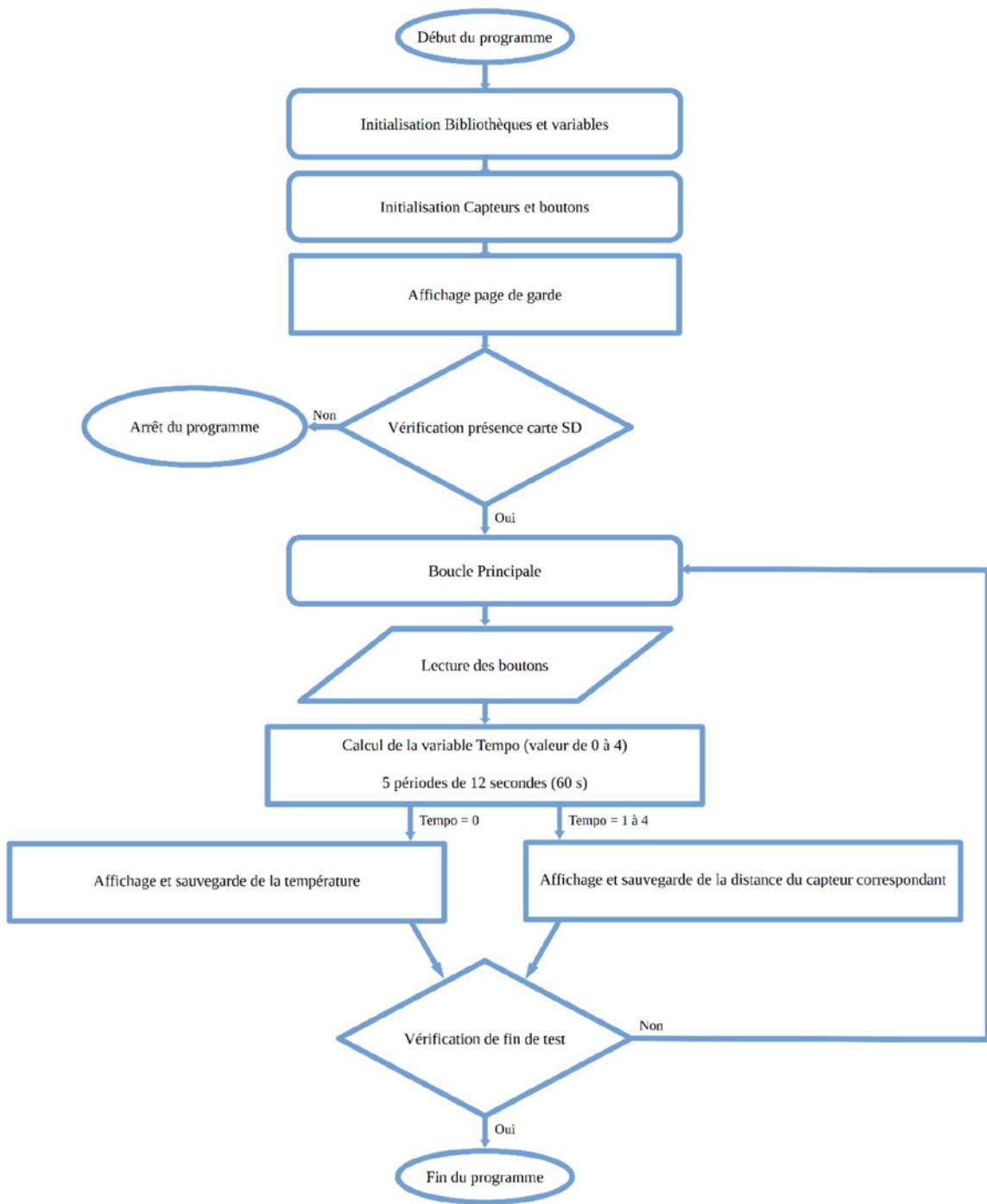


Figure 7. Logigramme pour microcontrôleur Arduino

Réalisation du boîtier

Pour la protection des composants mais aussi pour le confort d'utilisation, un boîtier adapté a été réalisé (Figure 8). La version proposée est composée de sept pièces : cinq pour la base et deux pour le couvercle. Mais de nombreuses autres configurations sont possibles. Il est néanmoins important de bien positionner les capteurs et de fixer l'ensemble des composants au boîtier. Les plans ont été réalisés sur le logiciel de dessin technique gratuit OnShape, et mis à disposition sous le nom Pou.Pâ., pour tout utilisateur qui en ferait la demande. Les plans peuvent être utilisés pour réaliser le boîtier en impression 3D, en découpe laser ou en tout autre mode d'usinage. Le boîtier fini mesure 210 mm de large par 200 mm de profondeur sur une hauteur de 310 mm. Les faces centrales et supérieures sont conçues pour permettre la fixation des composants,

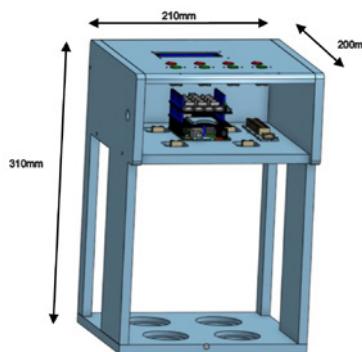


Figure 8. Boîtier Pou.Pâ. complet

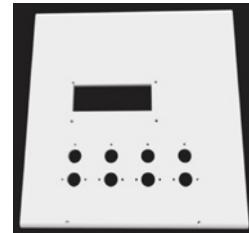


Figure 9. Face supérieure du boîtier Pou.Pâ.

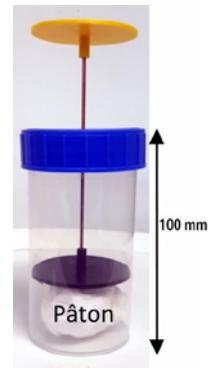


Figure 10. Contrôle de la pousse du pâton

Étalonnage et calibration des capteurs de distance

Le choix des capteurs de position VCSEL (diode laser à cavité verticale émettant par la surface) permet une résolution (1 mm) sur un intervalle de mesure (30 à 1 000 mm) adapté à notre dispositif. L'émetteur de 940 nm du VL53L0X est totalement invisible à l'œil humain ; couplé à des filtres infrarouges physiques internes, il permet des distances plus longues et une plus grande immunité à la lumière ambiante. Le capteur décrit dans la documentation sur le site www.st.com, reste sensible à la luminosité, à la température ainsi qu'à la couleur du point mesuré. Pour s'affranchir de la température, tous les tests seront réalisés à 25 °C, température idéale pour le développement fermentaire d'un pâton (chambre de

les autres plaques ne servant qu'à la structure, l'étanchéité et le positionnement des pâtons. La face supérieure (Figure 9) accueille les quatre boutons doubles ainsi que l'écran LCD. La face centrale sert de support à la carte Arduino, au Hub ainsi qu'à l'ensemble des capteurs. L'utilisation de boulons M2, d'écrous et d'entretoise permet leur fixation.

Les pâtons sont placés dans un verre cylindrique muni d'un couvercle (Figure 10), qui mesure 50 mm de diamètre par 100 mm de haut. Les cibles ont un diamètre de 48 mm. Il est possible de remplacer le verre par un simple pilulier de dimension comparable. Le couvercle est percé en son centre pour permettre le passage d'une tige de 115 mm, joignant le plateau positionné sur le pâton et le plateau référent pour le capteur de distance. Les deux plateaux sont identiques et peuvent être imprimés en PLA, ou plus raisonnablement en ABS.

pousse). Les plateaux servant de cible au capteur sont imprimés en ABS gris clair. La conversion des tensions mesurées par les capteurs, sont traitées par le programme téléversé sur la carte Arduino et, en particulier, par la bibliothèque «VL53L0X.h». L'effet de la luminosité ambiante a été mesuré au laboratoire en comparant un cycle de mesure réalisé en lumière ambiante et un autre dans l'obscurité (Figure 11). Les distances imposées ont été réalisées à l'aide d'un Instron simple colonne 35SC (résolution inférieure à 1 micron).

Ces essais montrent une excellente répétabilité du capteur. Toutefois, une erreur de justesse est observée pour la mesure à 90 mm réalisée de nuit. L'outil fournit uniquement la hauteur du pâton avec une incertitude élargie inférieure à 2 mm. Pour obtenir des résultats reproductibles, l'utilisateur doit impérativement maintenir des conditions de mesure identiques.

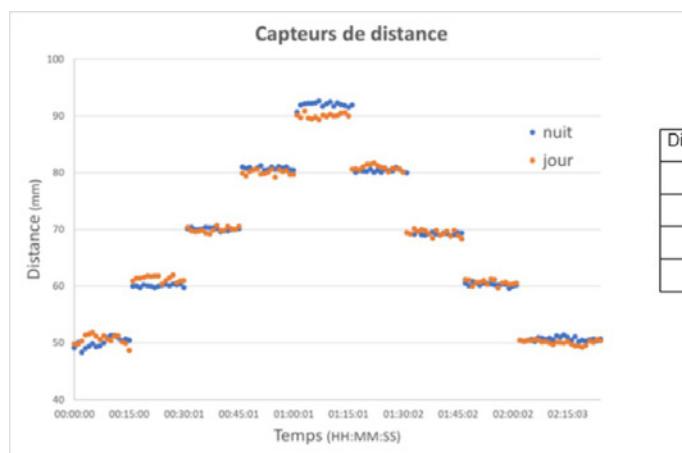


Figure 11. Fonctionnement du VL53L0X sous deux luminosités

Exploitation des résultats d'analyse et archivage

Le dispositif a été développé dans un objectif de collecte d'informations pour les utilisateurs. La valorisation des résultats des analyses a donc été conçue pour que les boulanger et les chercheurs puissent comparer leurs résultats en fonction des conditions expérimentales retenues. Le fichier de données, composé d'un time code, des quatre hauteurs et de la température, peut être ouvert et analysé sous un tableur, ou en utilisant le programme Python développé pour le Pou.Pâ.. Il permet le tracé des courbes de gonflement de la pâte et fournit la valeur de la pousse maximale en mm, ainsi que la vitesse en mm/min (pente entre 25 % et 75 % de la pousse maximale). La prolongation sur plusieurs heures du test permet de déterminer le temps d'effondrement de la pâte, mais aussi de réaliser des essais de pousse lente à plus faible température.

Le dispositif Pou.Pâ. a été conçu pour permettre son utilisation avec différents types de farines (blé, sorgho, seigle, légumineuses...), de levains (blé, seigle, sorgho, orge, ...), d'additifs (beurre, céréales, œufs...), d'hydratation, de recettes et d'opérateurs. Son utilisation peut être envisagée soit pour la première fermentation soit pour la seconde.

Le tracé de la figure 12 correspond à un test réalisé dans une boulangerie Montpelliéraise par l'analyse automatique du programme Python. À partir des données brutes stockées sur la carte SD, ce programme trace les courbes de pousse des capteurs individuellement (Capteurs 1 à 4), de la température mesurée au cours de l'essai (graphique température) ainsi que des quatre mesures de pousse superposées pour faciliter la comparaison. La fermentation a été réalisée avec la même recette en variant les agents de pousse : une levure boulangère (Capteur 1), un levain de sorgho (Capteur 2), et un levain de blé (Capteur 3). Le Capteur 4 n'a pas été utilisé. Les trois pâtons sont constitués au final d'un mélange de 70 % de farine de blé tendre et de 30 % de farine de sorgho,

ajusté en fonction de la composition du levain. La quantité de pâton généralement utilisée est de 30 g, mais il est rapidement apparu que, pour cette expérience, 50 g serait plus adapté. De nombreux paramètres expérimentaux sont à prendre en compte pour interpréter de façon rigoureuse ces courbes. Par exemple, le choix a été fait de prendre une masse égale de pâton, mais il aurait été aussi possible de prendre un volume équivalent. Pour le test présenté ici, cela ne fait aucune différence : la composition des pâtons étant quasiment équivalente. Mais s'il s'agit de comparer des pâtons à teneur en eau variable, la question mériterait réflexion.

Ce test a été réalisé sur une durée de 1 200 min soit 20 heures. On observe, sur les trois tracés, une diminution de la hauteur des capteurs entre 1 000 et 1 200 minutes, due à un dégazage des pâtons. Comme on peut le constater sur le tracé (Figure 12), la température dans le fournil varie au cours de la journée, aucune chambre de pousse n'étant disponible le jour de l'expérience. Néanmoins, la température demeure dans une gamme optimale pour le développement de la fermentation.

La comparaison des trois courbes montre clairement que le pâton avec levain de sorgho (0,32 mm/min) s'est développé plus rapidement que les deux autres (0,17 et 0,12 mm/min). Toutefois, il faut rester rigoureux dans l'analyse, et tenir compte du fait que les trois fabrications ont été réalisées successivement, et que les températures des ingrédients ont été calculées pour une mise au four simultanée des pains. Les activités des levains ou de la levure ne sont donc pas rigoureusement comparables. Par contre, le gonflement du pâton au levain de sorgho (51 mm) reste supérieur à celui des deux autres pâtons (41 et 45 mm).

Le dispositif Pou.Pâ. est adapté à la caractérisation de l'étape de fermentation. Il permet de calculer la vitesse et l'augmentation de volume. Il peut aussi être utilisé pour étudier l'influence, sur le gonflement du pâton, des ingrédients (type de farine, levure ou levain, eau...), du pétrissage (mécanique, manuel, durée), de la température, du fournil, du boulanger.

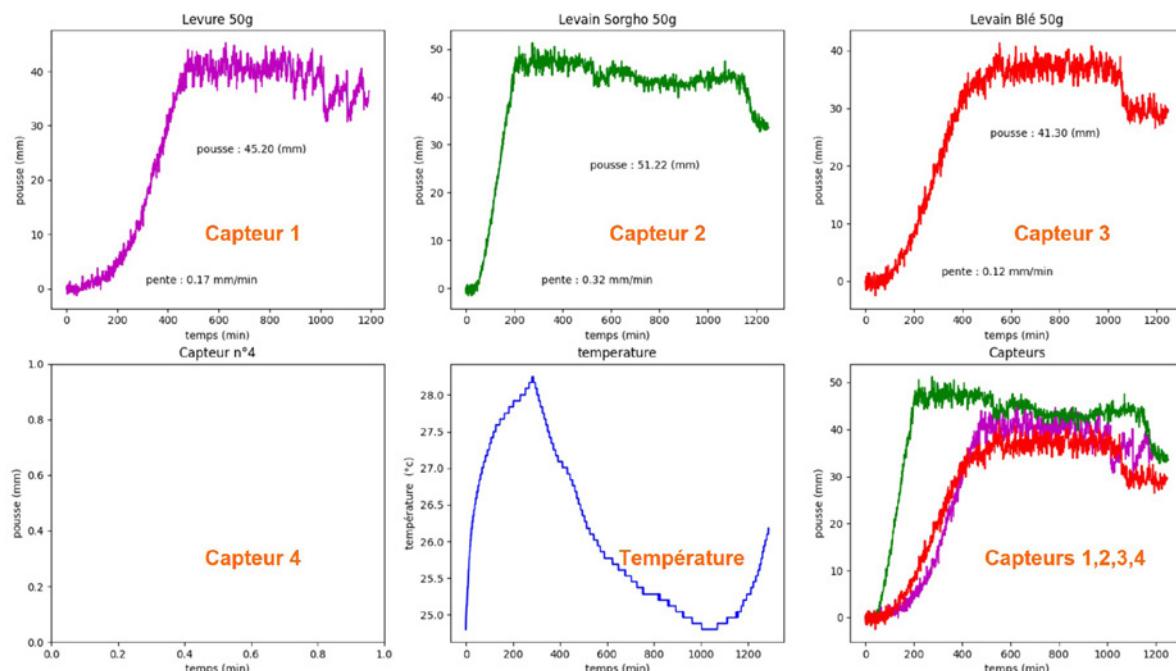


Figure 12. Résultat de l'essai pousse du pâton à base de farine et de sorgho, analysé avec le programme Python affichant automatiquement les données des quatre capteurs, la température et un graphique comparatif

Les fabrications de pains et produits de boulangerie au levain, à faible intrants, s'inscrivent dans des systèmes alimentaires plus durables par le maintien d'une diversité de blé, de pratiques boulangères, d'une diversité microbienne et d'une diversité de saveurs (Gänzle & Zheng, 2018; Michel *et al.*, 2023; Mietton *et al.*, 2022; Pétel *et al.*, 2016; Von Gastrow, 2021). Pou.Pâ. facilite le partage des savoirs académiques et professionnels sur la boulangerie au levain, tout en permettant d'explorer collectivement de nouvelles connaissances sur la biodiversité microbienne des filières de panification au levain.

Conclusion

La diversité des partenaires du projet CO3-Levain a permis l'émergence de Pou.Pâ. La démarche Low-Tech du cahier des charges a été respectée, ce dispositif de mesure de pousse étant un appareillage utile, accessible et durable. Les plans du boîtier, le montage électrique, la liste des composants, les programmes (Arduino et Python) sont fournis sur demande pour les acteurs de la boulangerie et de la recherche.

Le Pou.Pâ. peut être considéré comme le lien entre les participants aux projets participatifs, qu'ils soient artisans-boulanger,

paysans-transformateurs, formateurs, chercheurs. Il constitue le seul objet technologique du projet permettant d'étudier les interactions entre les différents constituants de la pâte fermentée et le savoir-faire du boulanger.

Par ailleurs, l'utilisation d'un dispositif Arduino autorise l'évolution du Pou.Pâ. par l'ajout de modules supplémentaires : connexion wifi, mesure du Ph, détecteur de CO₂, ... L'environnement du Pou.Pâ. peut aussi être amélioré par la réalisation d'une enceinte thermo régulée, permettant un contrôle strict de la température et de la luminosité lors de l'essai.

D'ores et déjà, le Pou.Pâ. a commencé ses voyages avec des séjours dans les centres de formation (compagnons du devoir, Nîmes), dans les lycées professionnels (lycée hôtelier Georges Frêche, Montpellier), dans les fournils des paysans boulanger (Morlac, Saint-Ménoix), dans les boulangeries artisanales (Daveloza Montpellier, le pain levain Azillanet) dans les centres de recherche (UMR SPO Montpellier, UMR IATE Montpellier, Université Libanaise Beyrouth). Le Pou.Pâ. est également ouvert à de nouveaux voyages et se tient disponible pour séjourner dans d'autres fournils, boulangeries, centres de formation ou laboratoires de recherche ; il suffit pour cela de contacter les auteurs. ■

Références

- Bai, X., & Zhou, W. (2006). Study of the bread oven rise by online image analysis. *Asia-Pacific Journal Of Chemical Engineering*, 1(1 2), 104 109. <https://doi.org/10.1002/apj.11>
- Gänzle, M. G., & Zheng, J. (2018). Lifestyles of sourdough lactobacilli – Do they matter for microbial ecology and bread quality? *International Journal Of Food Microbiology*, 302, 15 23. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.08.019>
- Michel, E., Masson, E., Bubbendorf, S., Lapicque, L., Nidelet, T., Segond, D., Guézenec, S., Marlin, T., Devillers, H., Rué, O., Onno, B., Legrand, J., & Sicard, D. (2023). Artisanal and farmer bread making practices differently shape fungal species community composition in French sourdoughs. *Peer Community Journal*, 3. <https://doi.org/10.24072/pcjournal.237>
- Mietton, L., Samson, M., Marlin, T., Godet, T., Nolleau, V., Guezenec, S., Segond, D., Nidelet, T., Desclaux, D., & Sicard, D. (2022). Impact of Leavening Agent and Wheat Variety on Bread Organoleptic and Nutritional Quality. *Microorganisms*, 10(7), 1416. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10071416>
- Pétel, C., Onno, B., & Prost, C. (2016). 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>
- Romano, A., Toraldo, G., Cavella, S., & Masi, P. (2007). Description of leavening of bread dough with mathematical modelling. *Journal Of Food Engineering*, 83(2), 142 148. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.02.014>
- Roussel, P., Onno, B., Michel, E., & Sicard, D. (2020). *La panification au levain naturel: Glossaire des savoirs*. Quae.
- Von Gastrow, L. (2021). *Dynamique des communautés microbiennes de produits fermentés entretenus par « back-slopping », une démarche de recherche participative*. [Thèse de doctorat, Université de Montpellier]. <https://theses.hal.science/tel-03558219/>

Voir plus ...

Mietton, L. (2022). *Influence de la mouture et des pratiques de fermentation sur la biodiversité microbienne et la qualité du pain*. [Thèse de doctorat, SupAgro]. <https://theses.hal.science/tel-04222787v1>

Mietton, L., Mata-Orozco, J., Guezenec, S., Marlin, T., Samson, M., Canaguier, E., Godet, T., Nolleau, V., Segond, D., Cassan, D., Baylet, M., Bedouelle, P., Bonnel, L., Bouquin, H., Christin, G., Courteau, M., Doucoure, M., Hazard, V., Kober, T., ... Sicard, D. (2023). Minimal influence of milling technique in contrast to sourdough on the nutritional and organoleptic quality of bread. *Food Microbiology*, 118, 104426. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2023.104426>



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-SA). <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « NOV'AE », la date de sa publication et son URL.