

Nom du candidat : VENDRAME

Prénoms : Marina Laetitia Rose

N° **Candidat** : A BCPST – 4 3 9 1 8

Noms des auteurs

SALLMEN Dorine

TORNARE Elisa

VENDRAME Marina

Dominante BIOLOGIE

Dominante GÉOLOGIE

MIXTE

en cas de travail commun :

BANQUE AGRO-VETO - Session 2024
T.I.P.E

Maximum 8 pages (illustrations comprises), Times New Roman 12 ou Arial 10, interligne simple.

20 000 caractères maximum

IMPORTANT : *n'inscrire sur cette couverture aucune référence à l'établissement scolaire*

TITRE : Analyse des propriétés d'une pâte à modeler maison : malléabilité et conservation

RÉSUMÉ (en six lignes) :

Des pâtes à modeler naturelles, alternatives aux pâtes industrialisées, peuvent être fabriquées à partir de produits issus de matières végétales et minérales non transformées par des processus chimiques. Notre TIPE s'intéresse à l'analyse de la malléabilité et à la conservation des pâtes naturelles. Nous avons mis en évidence une malléabilité équivalente à celle d'une pâte de type industriel ainsi qu'une conservation optimale durant deux semaines au réfrigérateur. Par ailleurs, d'un point de vue microbiologique, l'ajout d'huile essentielle permet de limiter la prolifération bactérienne.

Nombre de caractères (espace compris) : 14 924

Analyse des propriétés d'une pâte à modeler maison : malléabilité et conservation

En plus d'être peu coûteuse et facile, la réalisation de pâtes à modeler maison est un moyen ludique pour l'enfant de développer des compétences mathématiques et motrices [1]. Sa fabrication utilise des ingrédients présents dans la majorité des ménages tels que la farine ou l'huile. La pâte à modeler obtenue est donc naturelle, c'est-à-dire constituée de produits provenant de matières végétales ou minérales qui n'ont pas subi de transformation chimique [2]. De plus, elle a l'avantage de ne contenir aucun conservateur artificiel ou élément toxique que l'on peut retrouver dans certaines pâtes commercialisées.

Dans quelle mesure est-il possible d'utiliser des pâtes à modeler naturelles tout en étant conservables ?

Nous avons décidé de partir d'une recette non nocive largement répandue à base de farine, d'eau, de sel, d'huile et de bicarbonate de sodium alimentaire [3].

Nos premières expériences ont eu pour but de trouver des protocoles adéquats permettant d'analyser la malléabilité de la pâte à modeler. Puis, à l'aide de ces protocoles, nous avons établi une référence pour chacune de ces propriétés avec une pâte à modeler d'une marque X, et nous avons testé la pâte. Ensuite, nous avons étudié la conservation de cette pâte à modeler d'un point de vue mécanique et microbiologique en la comparant à celle du commerce. Enfin, nous avons cherché à optimiser cette durée de conservation.

I. Matériel et méthodes concernant les propriétés mécaniques des pâtes à modeler

A. Evaluation des propriétés de la pâte à modeler

Une pâte à modeler doit être malléable, c'est-à-dire qu'elle doit pouvoir être déformée facilement de manière plastique, sans rompre tout en conservant la forme acquise [4].

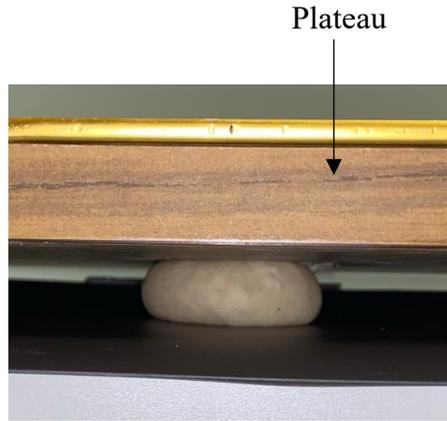
Pour évaluer les paramètres de malléabilité, nous avons mis en place deux expériences en partant d'échantillons de pâte à modeler de 30 grammes pour permettre une comparaison quantitative.

La première est utilisée communément pour connaître la texture des sols [5]. Elle consiste à observer s'il est possible de former un boudin de pâte de 14 cm de longueur et de 1,3 cm de diamètre puis de le circulariser en un anneau sans qu'il ne s'émiette ou ne se craquelle [Figure 1A].

La seconde expérience consiste à aplatir une sphère de pâte à modeler d'environ 3,4 cm de diamètre sous un plateau lourd (d'une masse de 1,5756 kg, avec des dimensions de 36,2 cm×28,2 cm×2,5 cm) sans appliquer de pression sur celui-ci [Figure 1B]. Au bout d'une minute, nous avons mesuré le diamètre du disque ainsi obtenu [Figure 1C]. Cette expérience, en soumettant la pâte à la force pressante exercée par le plateau, permet de mesurer la malléabilité par la déformation observée.



[Figure 1A] : Boudin circularisé



[Figure 1B] : vue de profil de l'aplatissement



[Figure 1C] : Sphère initiale (à gauche) et après aplatissement (à droite)

Nous avons choisi comme outil de mesure un pied à coulisse car d'une part, sa précision est meilleure qu'une règle graduée (0,01 cm de précision) et d'autre part cet outil permet de mesurer plus facilement la taille d'un objet circulaire.

B. Choix du témoin

Pour comparer les résultats de nos expériences sur les pâtes à modeler naturelles, nous avons pris comme témoin une pâte à modeler du commerce d'une marque X, que nous nommerons ainsi dans nos expériences. Nous avons considéré que les propriétés de cette pâte étaient celles attendues par les utilisateurs, puisque l'achat de cette marque est privilégié [6].

C. Recette de pâte à modeler naturelle choisie

La recette de cette pâte à modeler ne contient que des ingrédients naturels dans les proportions suivantes :

- 25 g de farine
- 12,5 g de sel
- 5 g de bicarbonate de soude
- 25 g d'eau chaude à 45 °C
- 0,5 g d'huile végétale de tournesol

Les ingrédients secs sont tout d'abord mélangés, puis l'huile et l'eau sont ajoutés et le tout est chauffé à 50 °C pendant 2 minutes.

D. Résultats de l'évaluation des propriétés mécaniques de la pâte

L'ensemble des tests a été effectué 10 fois successivement sur chacune des 6 pâtes réalisées séparément.

1. Test du boudin

Lors du test du boudin, les observations ont été similaires à celles de la marque X : il n'y a ni rupture, ni apparition de craquelures [Figure 1A].

2. Test d'aplatissement

a) Établissement des intervalles d'incertitude à 95 %

Les n échantillons (n=6 ici) de pâte à modeler ayant été soumis à la même expérience, les incertitudes ont été établies en considérant la moyenne des 10 mesures de chacune des caractéristiques.

L'intervalle de confiance à 95% des mesures des caractéristiques sur les n échantillons correspond à :

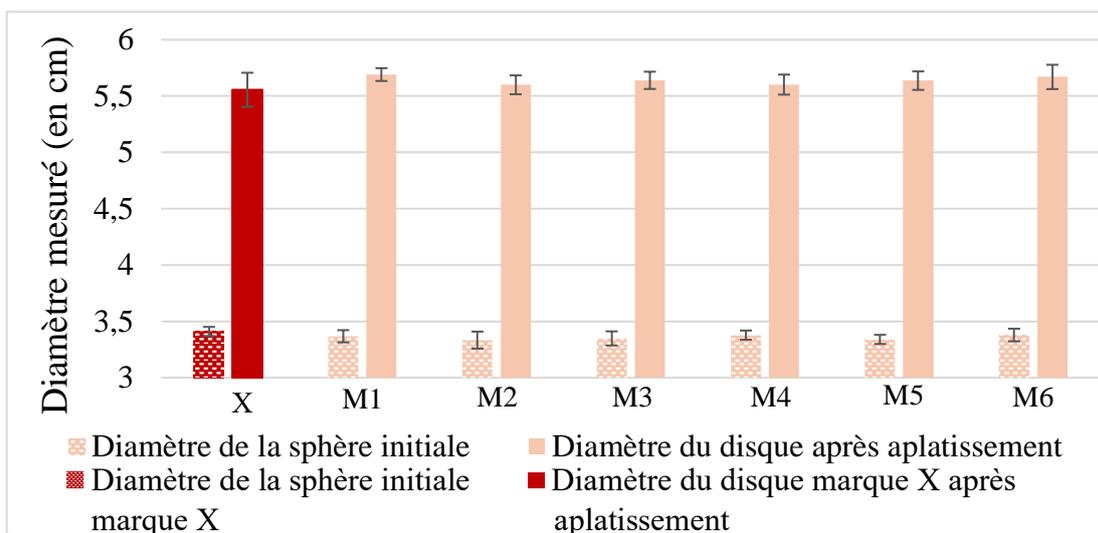
$$IC (95\%) = [\bar{X} - t_{n-1} \times \frac{S}{\sqrt{n-1}}, \bar{X} + t_{n-1} \times \frac{S}{\sqrt{n-1}}]$$

Avec :

- $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$: la moyenne des valeurs (x_i) mesurées
- t_{n-1} : le coefficient de Student
- $S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$: l'écart type

Les différences sont significatives lorsque les intervalles de confiance à 95% ne se recoupent pas.

b) Résultats



[Figure 2] : Expérience d'aplatissement : comparaison pâte X / pâte naturelle maison (notée M)

Les résultats des mesures du diamètre des sphères initiales ne sont pas significativement différents entre la pâte à modeler commercialisée et la pâte à modeler faite maison [Figure 2]. Ainsi, nous pourrions dans la suite de nos expériences comparer significativement les résultats obtenus après aplatissement et attribuer les différences observées à des différences de malléabilité entre les pâtes. Aussi, on remarque qu'en répétant la recette, nous n'observons pas de différence significative.

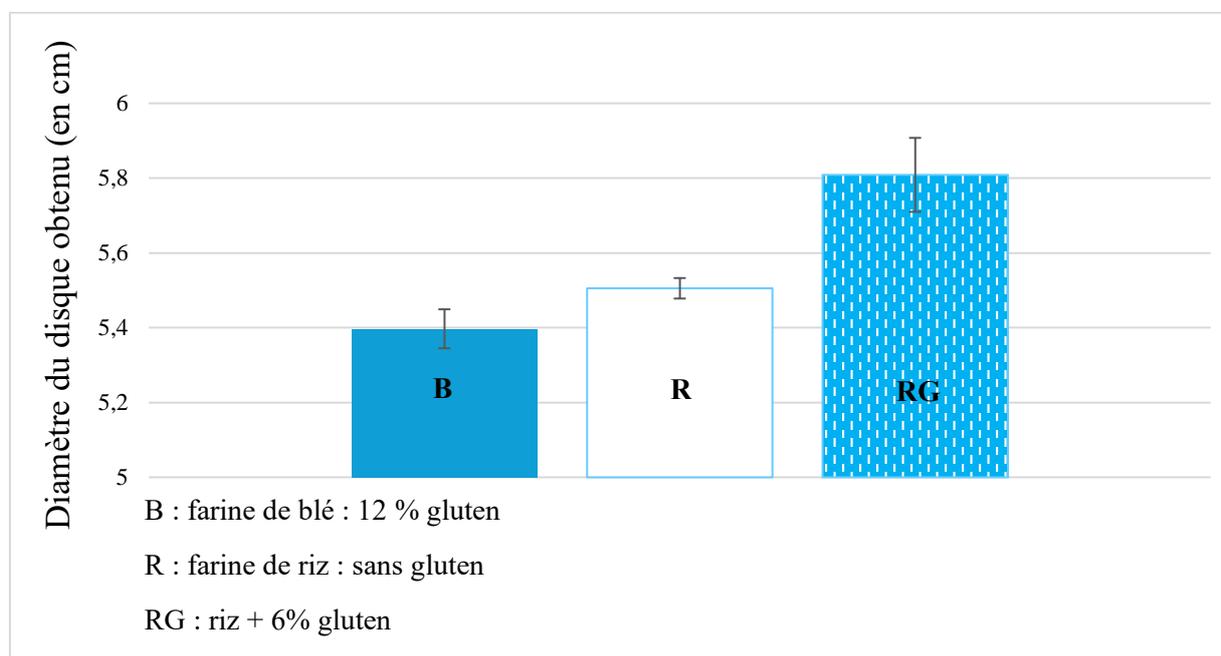
De plus, à la suite de l'aplatissement, on constate qu'il n'y a pas de différences significatives de malléabilité entre la pâte à modeler naturelle et la pâte de la marque X.

D'après nos deux expériences, cette pâte à modeler naturelle possède des propriétés de malléabilité reproductibles et proches de celles de la marque X.

c) Ajout de gluten en utilisant de la farine de riz

Nous nous sommes intéressées aux paramètres qui pourraient être responsables de la malléabilité de la pâte. Le gluten présent dans la farine de blé est un ensemble de protéines de la famille des gliadines et des gluténines, qui en présence d'eau forment un réseau [7]. La malléabilité est conférée par les sous-unités de masse moléculaire élevée (HMM) de la gluténine. Cette dernière contient des domaines riches en cystéine qui établissent des ponts disulfures, stabilisant la structure tridimensionnelle de la protéine.

Pour observer l'influence du gluten, nous avons remplacé la farine de blé utilisée dans la recette par une farine sans gluten : la farine de riz. Puis, nous avons fait varier la proportion du gluten introduit en prenant comme référence une farine de blé T45 contenant 12 % de gluten. Ainsi, pour la pâte contenant deux fois moins de gluten que la farine de blé nous avons introduit 6 g de gluten pour 94 g de farine de riz.



[Figure 3] : Test d'aplatissement selon la concentration en gluten par rapport à la farine de blé

On constate [Figure 3] que l'ajout de gluten à la farine de riz induit une hausse de la déformation. Ainsi, cela confirme que sa présence augmente la malléabilité de la pâte.

De plus, les pâtes à modeler réalisées avec de la farine de riz présentent initialement une malléabilité légèrement supérieure à celles réalisées avec de la farine de blé, alors qu'elles ne contiennent pas de gluten. Il y aurait donc d'autres paramètres qui confèreraient à la pâte à modeler sa malléabilité.

II. Evolution des propriétés mécaniques et microbiologiques des pâtes à modeler au cours du temps

A. Le choix du mode de conservation

Nous avons expérimenté différents lieux de conservation et réalisé un suivi de l'aspect sensoriel et visuel des pâtes sur 3 semaines. Les modes de conservation testés font varier :

- La température : conservation ambiante à 20°C ou réfrigérée à 6,4°C
- Le mode de protection : aucune protection, film hermétique ou bocal hermétique. Le bocal hermétique soumettait la pâte à un milieu confiné en présence d'air, et le film à un milieu confiné sans air.

	20°C			6°C		
	T = 1 semaine	T = 2 semaines	T = 3 semaines	T = 1 semaine	T = 2 semaines	T = 3 semaines
Air libre	Durcissement			Liquéfaction		
Film hermétique		Présence d'une croûte			Craquelée lors du test du boudin	
Bocal hermétique						

 Aspect correct pour les expériences  Aspect ne permettant pas la poursuite des expériences : pâte collante ou durcie

[Figure 4] : Tableau de comparaison des aspects des pâtes selon leur mode de conservation

Nous avons testé la marque X en parallèle, qui n'a montré aucune altération au cours des 3 semaines quel que soit le mode de conservation.

Au terme des 3 semaines d'expériences, seules les pâtes conservées dans des bocaux hermétiques au réfrigérateur ou à température ambiante [Figure 4] maintenaient un aspect permettant d'effectuer nos expériences. Par conséquent, la suite de nos expériences a été réalisée sur ces deux modes de conservation.

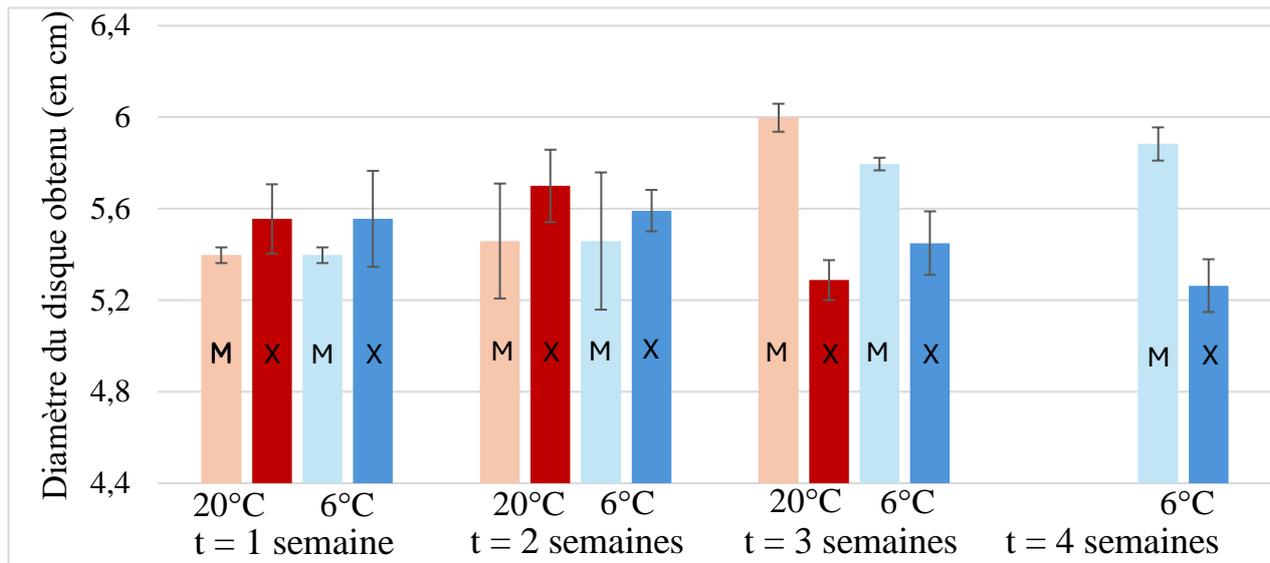
B. L'évolution au cours du temps de la pâte à modeler naturelle conservée en bocal hermétique

Nous avons quantifié deux aspects de l'évolution de la pâte à modeler. D'une part, nous nous sommes intéressées au maintien des propriétés mécaniques nécessaires à l'utilisation des pâtes à modeler. D'autre part, nous avons analysé l'aspect microbiologique des pâtes à modeler permettant de quantifier la toxicité éventuelle de ces dernières au cours du temps.

1. Evolution de la malléabilité de la pâte à modeler naturelle avec la recette initiale

Nous avons testé avec le protocole d'aplatissement l'évolution des paramètres physiques en conservant 5 pâtes à modeler dans chacun des deux milieux de conservation retenus (dans un bocal hermétique à l'air libre ou dans un bocal hermétique au réfrigérateur). Les mesures

ont été réalisées après un retour à température ambiante de la pâte. Le témoin constitue le diamètre du disque de la pâte de marque X, mesuré en parallèle chaque semaine.



[Figure 5] : Test d'aplatissement après différents temps de conservation dans un bocal hermétique à deux températures

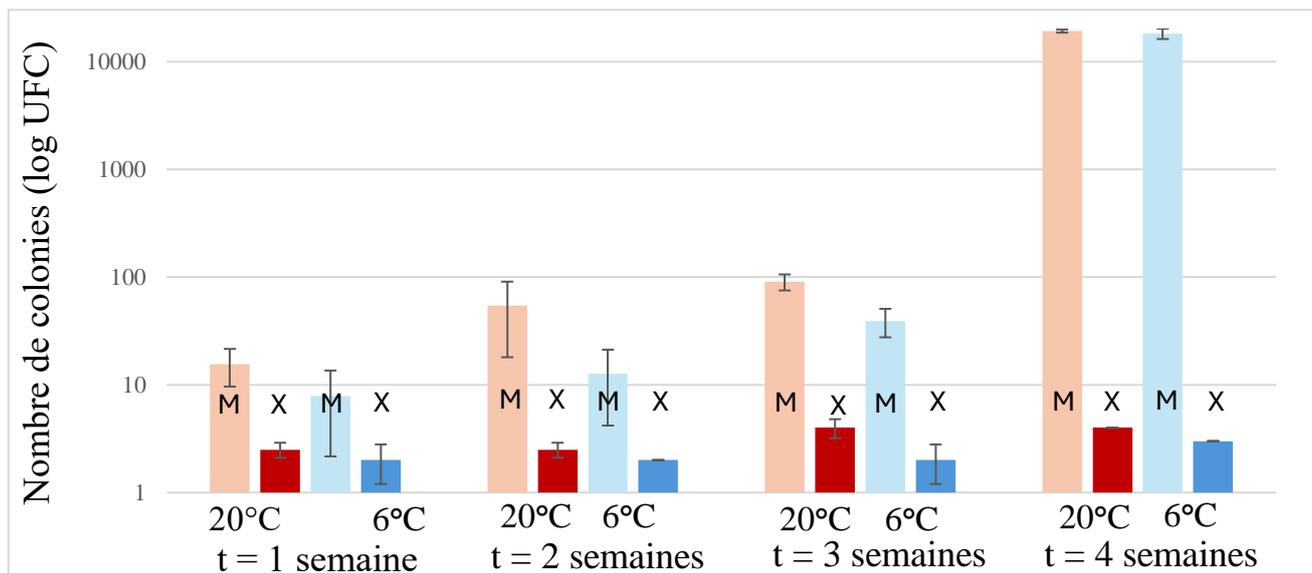
Pour les deux modes de conservation, il n'y a pas de différences significatives avec la marque X pour les deux premières semaines. Puis, à partir de la troisième semaine, le diamètre de la sphère aplatie est significativement plus élevé pour les pâtes naturelles conservées au réfrigérateur ou à température ambiante. Ainsi, la pâte à modeler naturelle devient davantage déformable.

De plus, la pâte à modeler conservée à température ambiante devient collante à partir de la quatrième semaine, ce qui empêche le bon déroulement des mesures et met en évidence une perte de ses caractéristiques mécaniques plus rapide que celle conservée au réfrigérateur. Cet aspect collant peut être dû à une contamination bactérienne qui produit des mucilages et des exopolysaccharides formant une matrice visqueuse [8].

2. Evolution microbiologique

Les pâtes à modeler subissent de multiples manipulations qui peuvent conduire à des contaminations par divers micro-organismes. Nous nous sommes donc intéressées à l'évolution du nombre de colonies dans les pâtes afin d'en estimer leur pathogénicité éventuelle pour les enfants ayant parfois tendance à l'ingérer. Afin de suivre cette évolution, nous avons élaboré un protocole permettant d'ensemencer des boîtes de culture à partir des pâtes.

1 gramme de pâte, pesé à l'aide d'une balance de précision, a été prélevé et mélangé au vortex à 9 mL d'eau physiologique jusqu'à obtention d'une suspension trouble. 100 µL ont été prélevés à l'aide d'une micropipette P200 puis déposés sur une gélose ordinaire dans une boîte de Pétri. Après ensemencement et incubation à 37°C pendant 48 h, nous avons observé les résultats suivants.



[Figure 6] : Evolution du nombre de colonies dans les pâtes à modeler

On constate [Figure 6] que la croissance bactérienne dans les pâtes à modeler naturelles est significativement supérieure à celle dans la pâte X, quelle que soit la température. Par ailleurs, cette différence s'est amplifiée au cours du temps. L'apparition de colonies peut être due à une contamination durant la fabrication de la pâte ou lors des différentes manipulations. Les bactéries peuvent ensuite utiliser les nutriments présents dans la farine pour croître et se multiplier. Ces manipulations ont également été réalisées sur la pâte X. La faible quantité de bactéries dans la pâte X s'expliquerait par la présence d'agents antimicrobiens, comme le borax [9], qui inhiberaient leur développement.

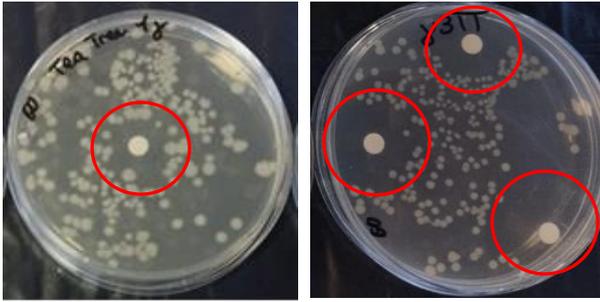
Ne pouvant pas identifier les bactéries présentes dans les boîtes de Pétri, nous ne pouvons pas conclure quant à la pathogénicité des pâtes. Cependant, au vu de la croissance bactérienne, nous pouvons émettre l'hypothèse que la consommation éventuelle des pâtes à modeler naturelles non fraîchement préparées pourrait s'avérer néfaste.

3. Influence de l'huile essentielle de Tea Tree sur la conservation

A la suite de ces constats microbiologiques défavorables lors de la conservation, nous nous sommes intéressées à l'utilisation de produits non toxiques antibactériens. Nous avons pris contact avec Gérard Piéri, docteur en pharmacie.

À l'issue de cet échange, nous avons décidé d'expérimenter l'influence de l'huile essentielle de Tea Tree, non toxique à faible quantité et non dangereuse pour la peau [10] bien que déconseillée pour les enfants. Cette huile essentielle permet à la fois d'éliminer les bactéries et d'inhiber leur développement [11]. Nous avons analysé l'influence de ce paramètre uniquement sur l'aspect microbiologique et avons négligé l'effet de quelques gouttes d'huiles essentielles sur les propriétés mécaniques de la pâte à modeler.

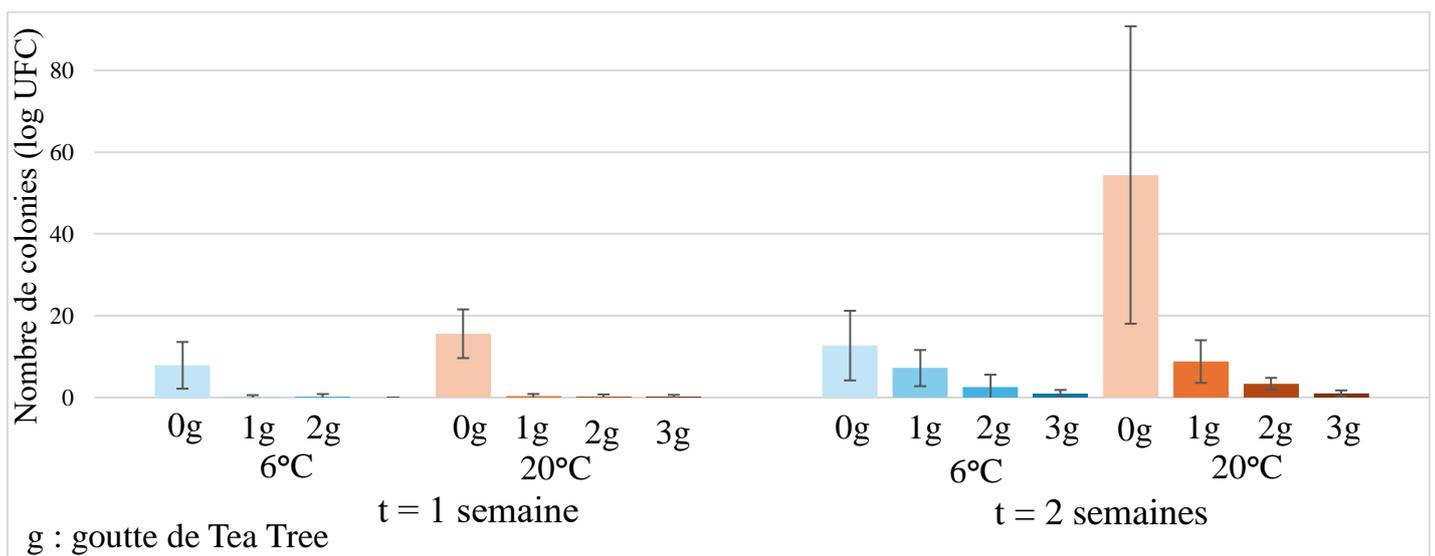
Tout d'abord, nous avons testé l'effet antimicrobien du Tea Tree sur les bactéries. Pour cela, nous avonsensemencé une boîte de Pétri avec E.coli puis réparti 1 à 3 pastilles imprégnées d'une goutte de Tea Tree.



[Figure 7] : Effet du Tea Tree sur le développement de colonies d'E.coli

On constate [Figure 7] la présence d'un halo d'inhibition autour des pastilles. Ainsi, l'huile essentielle de Tea Tree semble bien avoir une action antibactérienne sur E coli.

Puis, nous avons quantifié l'effet du Tea Tree sur les pâtes à modeler naturelles. Nous avons tout d'abord ajouté 1 à 3 gouttes de Tea Tree lors de la fabrication des pâtes. Ensuite, nous avons réalisé des ensemencements à partir d'échantillons de pâte comme présenté page 6. Nous avons à nouveau fait varier le paramètre de température afin de voir si l'action du Tea Tree en est ou non indépendante.



[Figure 8] : Impact de l'ajout d'huile essentielle de Tea Tree sur le nombre de colonies

Après une semaine, on constate [Figure 8] que le nombre de bactéries est significativement diminué dès l'ajout d'une goutte de Tea Tree.

Par ailleurs, on observe la deuxième semaine une diminution significative des colonies lors de l'ajout de 3 gouttes de Tea Tree quel que soit le mode de conservation. Le Tea Tree semble donc être efficace pour limiter la prolifération de bactéries dans la pâte à modeler maison.

CONCLUSION :

Ainsi, nos expériences nous ont permis d'analyser les propriétés d'une pâte à modeler naturelle fabriquée à partir d'ingrédients courants et sans conservateurs artificiels. Cette pâte présente une malléabilité équivalente à celle d'une pâte industrielle réalisée à partir de produits chimiques synthétiques. La conservation de cette pâte est optimale au réfrigérateur durant deux semaines. D'un point de vue microbiologique, l'addition de quelques gouttes de Tea Tree limite fortement la prolifération bactérienne.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Carrie Shrier, Purpose of playing with play dough in *Michigan State University Extension* [en ligne]. 6 janvier 2017. [consulté le 10/10/2023]. Disponible sur : https://www.canr.msu.edu/news/purpose_of_playing_with_play_dough
- [2] Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF), Cosmétiques : à la recherche du « naturel » in *Site du Ministère de l'économie, des finances et de la souveraineté industrielle et numérique* [en ligne]. 27 mai 2022. [consulté le 17/10/2024]. Disponible sur : <https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/cosmetiques-la-recherche-du-naturel>
- [3] Marion, Composition pâte à modeler maison vs industrielle : on fait le point in *Gommette et Chaussette* [en ligne]. 1^{er} août 2023. [consulté le 10/10/2023]. Disponible sur : <https://www.gommetteetchaussette.fr/composition-pate-a-modeler-maison-vs-industrielle-on-fait-le-point/>
- [4] Ronald Redwing et al, Malleability and Ductility in *Pennsylvania State College of Earth and Mineral Sciences* [en ligne]. 2023. [consulté le 17/10/2023] Disponible sur : <https://www.e-education.psu.edu/matse81/node/2107>
- [5] Parc Naturel Régional du Verdon, *Test du boudin - connaître la texture de mon sol* [en ligne]. 2021. [consulté le 17/03/2023] https://www.parcduverdon.fr/sites/default/files/pnrverdon/pdf/2021_guide-des-sols_fiche_test_boudin-web.pdf
- [6] Walsh, Tim. *Timeless Toys: Classic Toys and the Playmakers Who Created Them*. Kansas City, Andrews McMeel Publishing. 2005. p. 115–120.
- [7] Shewry, N. G. Halford, P. S. Belton et A. S. Tatham, The structure and properties of gluten: An elastic protein from wheat grain, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, volume 357, n° 1418, 2002, p. 133–142, DOI 10.1098/rstb.2001.1024
- [8] Sutherland, I. W. Biofilm exopolysaccharides : a strong and sticky framework. *Microbiology*, 1er janvier 2001, volume 147. <https://doi.org/10.1099/00221287-147-1-3>
- [9] Ineris portail substances chimiques, Borax in *Substances Ineris* [en ligne]. 13 janvier 2023. [Consulté le 13/01/2024]. Disponible sur : <https://substances.ineris.fr/substance/1303-96-4>
- [10] Hawkins, J., Hires, C., Dunne, E., & Baker, C. The relationship between lavender and tea tree essential oils and pediatric endocrine disorders : A systematic review of the literature. *Complementary Therapies In Medicine*, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2019.102288>
- [11] Carson, C. F., Hammer, K. A., & Riley, T. V. Melaleuca alternifolia (Tea Tree) Oil : a Review of Antimicrobial and Other Medicinal Properties. *Clinical Microbiology Reviews*, 2020, volume 19, 50-62. <https://doi.org/10.1128/cmr.19.1.50-62.2006>