

Bé. A., la bouche artificielle

Jacques Maratray¹, Patrick Mielle

Résumé : *Nous avons réalisé une bouche artificielle mimant au plus près la mastication humaine en donnant la possibilité d'étudier l'évolution de la texture de l'aliment et de suivre des paramètres chimiques en continu. Des modèles de bouches artificielles existent mais elles ne possèdent qu'une partie des fonctionnalités qui nous intéressent. Nous décrivons ici ce prototype de bouche artificielle sous ses aspects mécaniques, électroniques et informatiques, conçu en collaboration avec la Plateform 3D² du Creusot.*

Mots clés : bouche, mastication, arôme, texture, pilotage



Figure 1 : Vue globale de la bouche artificielle (Photo P. Mielle)

Introduction

Pourquoi développer une bouche artificielle ? La bouche, avec la langue et la muqueuse olfactive, est le siège de la perception de la flaveur qui est l'ensemble des perceptions ressenties lors de la mastication (saveur, arômes). La saveur est perçue par la langue, les arômes sont perçus par la muqueuse olfactive et les paramètres physiques comme la texture, la température, la sensation de gras sont perçus par la bouche.

¹ INRA, UMR FLAVIC - 17 rue Sully 21065 Dijon - ☎ 03 80 69 30 87 Jacques.Maratray@dijon.inra.fr

² Plateform 3D : IUT 12 rue de la Fonderie 71200 Le Creusot - <http://www.plateform3D.com>

Lorsque l'on introduit un aliment dans la bouche celui-ci est coupé par les incisives, cisailé par les prémolaires et écrasé par les prémolaires et les molaires. La langue ramène l'aliment sur les mâchoires et la salive délaie le bol alimentaire en favorisant la perception du goût. Ce processus de mastication va influencer la perception de la flaveur qui va dépendre principalement des mouvements de la bouche, de la déstructuration des aliments, de la composition de la salive, de paramètres physiologiques propres à l'individu et de l'état de sa denture.

Il est possible d'analyser les différents paramètres de la mastication par analyse sensorielle et d'étudier la libération des arômes en bouche par le technique « Nose space » pour réaliser des comparaisons avec l'analyse sensorielle. On se heurte alors rapidement à une disparité des résultats entre individus liée aux différences masticatoires et à l'état général de ces individus (fatigue, appétit, état dentaire...) Si l'on ajoute à cela les préférences alimentaires, certaines études souffrent alors d'une très forte variabilité et elles sont difficilement exploitables.

L'idée est de réaliser une bouche artificielle mimant au plus près la mastication humaine en donnant la possibilité d'étudier l'évolution de la texture de l'aliment et de suivre des paramètres chimiques en continu.

Des modèles de bouches artificielles existent mais elles ne possèdent qu'une partie des fonctionnalités qui nous intéresse.

1. Les spécifications

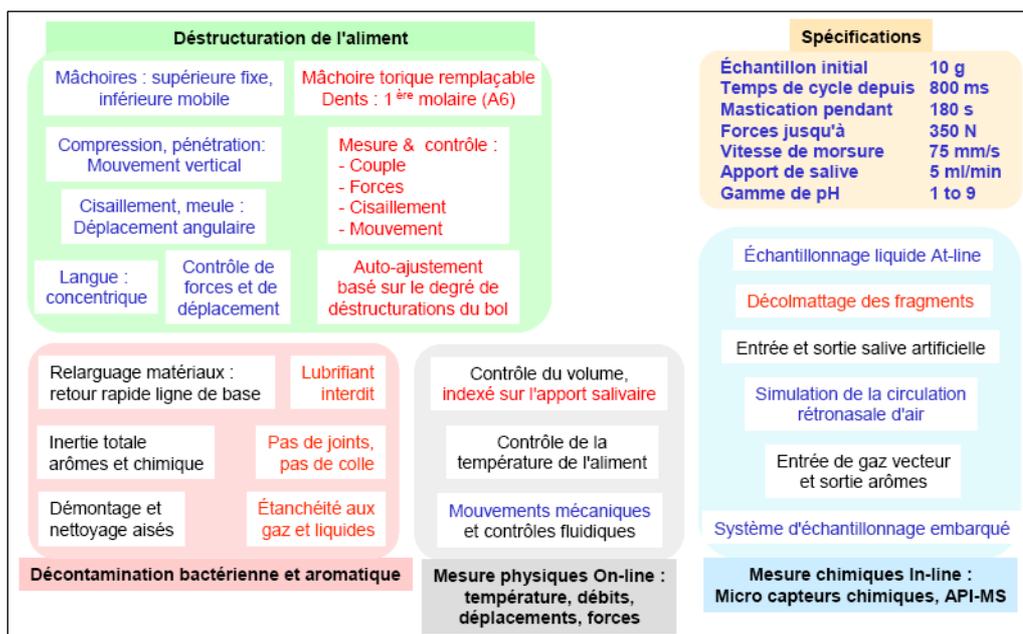


Figure 2 : Spécifications du prototype de la bouche artificielle.

L'ensemble des contraintes pour la réalisation de la bouche est résumé dans la **figure 2**. Concernant la déstructuration de l'aliment, nous nous sommes approchés au plus près de la mastication humaine compte tenu des difficultés à reproduire certains mouvements, celui de la langue en particulier. Les données de certaines des ces spécifications sont issues de

mesures obtenues en électromyographie³. Les points critiques quant à la réalisation mécanique sont l'utilisation d'un matériau inerte envers les arômes et l'absolue nécessité d'être étanche aux gaz et aux liquides tout en s'abstenant d'utiliser des joints, de la colle et des lubrifiants.

Il est à prévoir également un système d'entrée et de sortie de gaz vecteur pour étudier la libération des arômes.

2. La conception mécanique

En suivant ces spécifications, il existe dans la bouche artificielle deux mouvements principaux, celui des mâchoires qui à l'aide des dents va déstructurer le produit et celui de la langue qui va ramener l'aliment sur les dents. Cet ensemble est représenté en coupe **figure 3**. Ils sont complétés par l'ajout de salive qui comme dans la bouche humaine, délaie le bol alimentaire et favorise la perception du goût.

Le mouvement des mâchoires, le plus simple à reproduire, est réalisé par deux couronnes équipées de dents de type première prémolaire « A6 », la supérieure étant fixe, l'autre étant mobile en translation et en rotation. La langue est représentée par un cylindre ayant la partie supérieure conique afin d'entrer au contact du palais qui a une forme s'adaptant à la langue avec un angle tel que les aliments peuvent fluer sur les bords afin de revenir sur les dents. L'effet de meule des molaires sera reproduit en faisant pivoter la mâchoire inférieure.

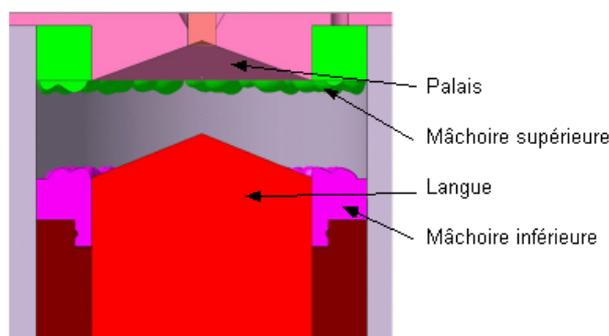


Figure 3 : Schéma fonctionnel de la bouche (conception K. Loudenot)

Cette réalisation a été effectuée par la plate-forme 3D du Creusot. Si elle est simple dans l'énoncé des différents mouvements elle a toutefois fait appel à des techniques de pointe, CFAO (conception et fabrication assistée par ordinateur) pour la conception des différents éléments de la bouche, scanner 3D pour la modélisation des dents, usinage à grande vitesse... Pour respecter les contraintes mécaniques et chimiques, nous avons choisi le peek (polyétheréthercétone) comme matériau pour les pièces en contact avec l'aliment ; il s'agit d'un polymère offrant des caractéristiques compatibles avec les spécifications.

³ L'électromyographie, c'est l'enregistrement des tensions électriques qui permet d'étudier le système nerveux périphérique, les muscles et la jonction neuromusculaire (contact entre le neurone et le muscle). Il s'agit d'un enregistrement des tensions électriques qui accompagnent l'activité musculaire.

3. Les effecteurs

Les différents mouvements de la bouche sont réalisés au moyen de moteurs à courant continu et à démarrage instantané commandés par une carte 4 axes National Instruments. Un moteur est affecté à chaque mouvement, mâchoire, langue et rotation de la mâchoire inférieure (**figure 4**). La force exercée par les différents moteurs est estimée par l'intermédiaire de la mesure de leur consommation de courant à l'aide de capteurs à effet Hall. La position des moteurs et donc des différents éléments constituant la bouche est donnée par des codeurs incrémentaux montés en bout d'axe de chaque moteur. Compte tenu de la résolution du codeur, de la réduction des moteurs et des dispositifs d'entraînement, la précision de position est de $1.44\mu\text{m}$ pour les déplacements linéaires et de 0.00164° pour les déplacements angulaires. La régulation de température est réalisée au moyen d'un système de circulation d'eau thermostatée, la mesure de température étant assurée par une sonde platine pt100. La précision désirée pour cette mesure étant de 0.5°C , cet ensemble permet aisément de l'atteindre. Un débitmètre régulateur massique assure la régulation de débit du gaz vecteur. L'arrivée et la sortie des gaz sont implémentées dans la partie supérieure à l'aide d'une vanne usinée pour cette application.

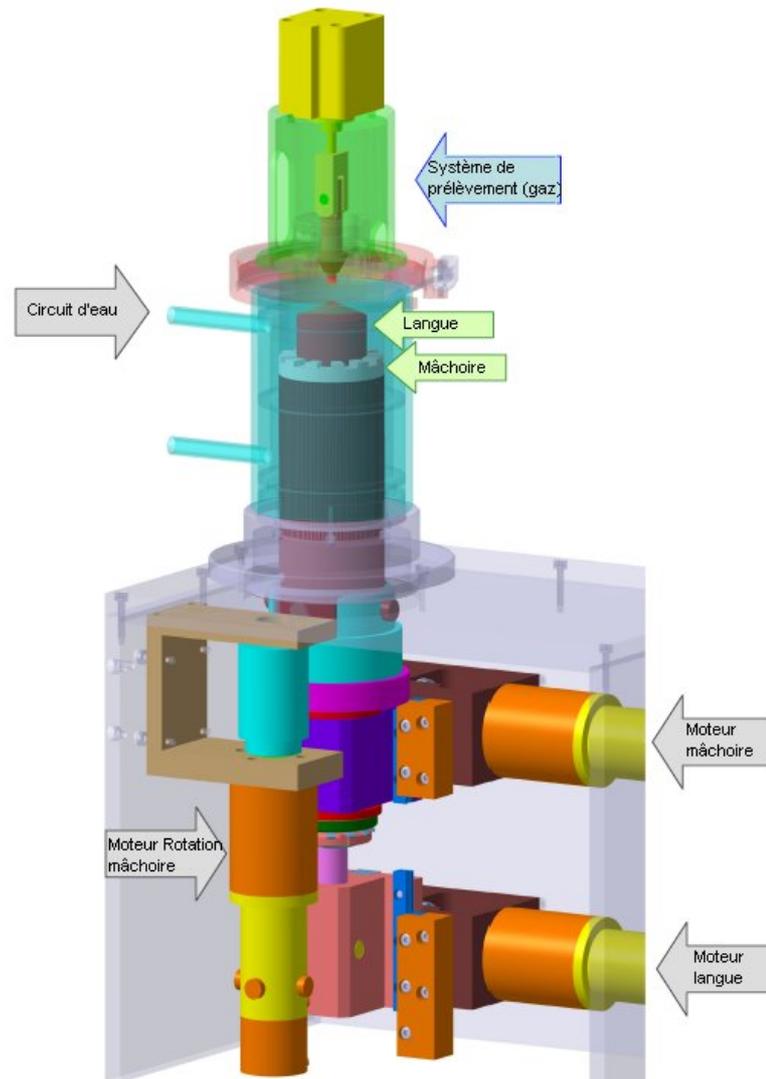


Figure 4 : *Vue CAO de la bouche (conception K. Loudenot)*

4. Le pilotage

Le pilotage de l'ensemble est réalisé sous LabView et utilise un ensemble de Vi fourni avec la carte 4 axes qui nous permettent de travailler en mode axe simple ou vecteur lorsque les mouvements de la langue et de la mâchoire doivent être simultanés et synchronisés. Outre la carte 4 axes une seconde carte plus classique permet de réaliser les commandes digitales et certaines entrée/sorties analogiques.

Cette interface (**figure 5**) permet de réaliser les différentes étapes de la mastication de façon sécurisée avec de nombreux paramètres de réglages suivant l'aliment à étudier.

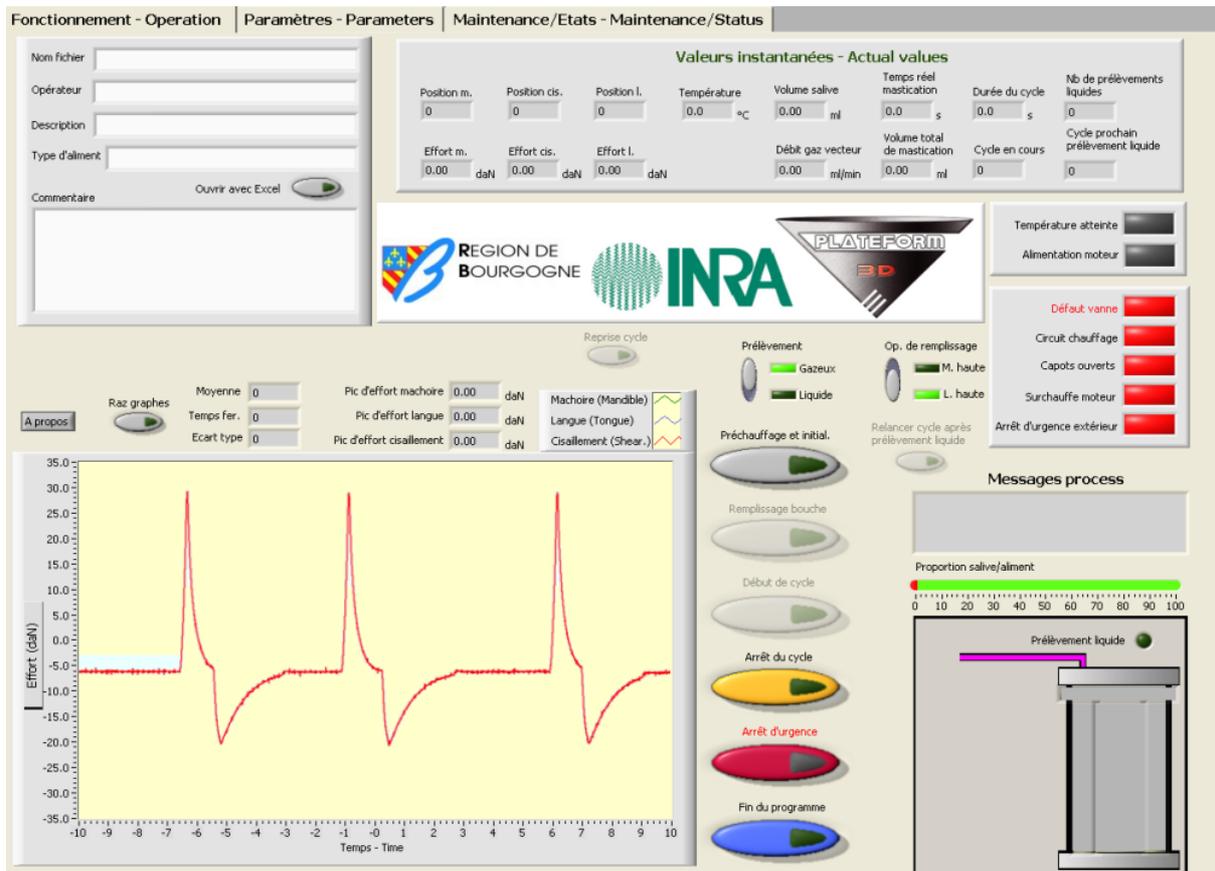


Figure 5 : Interface de commande

5. Quelques résultats

Les premiers essais, après la validation du fonctionnement qui a provoqué des petites modifications, ont porté sur l'efficacité masticatoire en utilisant divers aliments comme le chocolat (**figure 6**) ou les cacahuètes (**figure 7**) et ont donné des résultats tout à fait probants.



Figure 6 : Déstructuration du chocolat (photo P.Mielle)

Des comparatifs ont été réalisés entre la mastication humaine et la bouche artificielle en utilisant des cacahuètes et on a constaté une similitude entre les deux mastications. Cette similitude est observable tout au long des cycles de mastication.

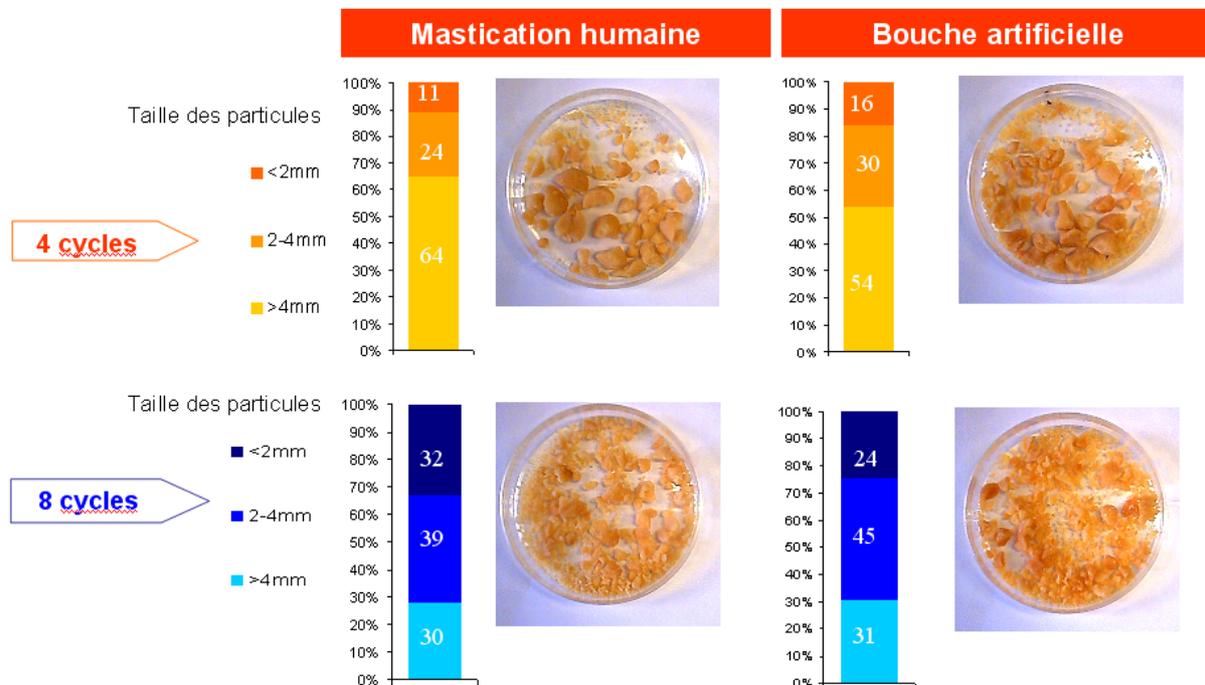


Figure 7 : Comparaison de déstructuration de cacahuètes (document A. Tarrega)

Conclusion

Nous avons réalisé un appareil utilisable avec quasiment tous les types d'aliments et qui reproduit fidèlement la mastication humaine. Même si la bouche n'a pas encore été totalement validée en ce qui concerne le suivi de la libération des arômes, on sait déjà que le flux de gaz vecteur est possible et que ce gaz pourra être envoyé vers un spectromètre de masse ou vers des capteurs chimiques pendant la phase de développement. Il permettra de maîtriser la formulation des aliments et même d'étudier des molécules qui pourraient être nocives pour l'homme en particulier dans le développement de nouveaux médicaments.

Bibliographie

- Buettner A., Beer A., Hanni C., Settles M., Schieberle P (2002) Physiological and analytical studies on flavor perception dynamics as induced by the eating and swallowing process. *Food Quality and Preference*, 13, 497-504.
- Hodgson M, Linforth R. S. T., Taylor A. J (2003) Simultaneous real-time measurements of mastication, swallowing, nasal airflow, and aroma release. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 5052-5057.
- Jensen K. D., Beck H. C., Jeppesen L, Norrelykke M. R, Hansen A. M (2003) A new system for dynamic measurements of flavour release: A combined artificial mouth and membrane inlet mass spectrometer. *In* J. L. Le Quéré & P. X. Etievant (Eds.), *Flavour research at the dawn of the twenty-first century* (pp 228-231). Lavoisier, Paris.
- Linforth R. S. T, Savary I, Pattenden B, Taylor A. J. (1994) Volatile compounds found in expired air during eating of fresh tomatoes and in the headspace above tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 65, 241-247.
- Peyron M-A, Mishellany A, Woda A. (2004) Particle size distribution of food boluses after mastication of six natural foods. *Journal of Dental Research*, 83, 578-582.
- Pionnier E, Chabanet C, Mioche L, Taylor A. J, Le Quéré J. L, Salles C (2004) In vivo nonvolatile release during eating of a model cheese: relationships with oral parameters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 565-571.
- Roberts D. D, Acree T. E. (1995) Simulation of retronasal aroma using a modified headspace technique: investigating the effects of saliva, temperature, shearing, and oil on flavor release. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 2179-2186.
- Taylor A. J, Linforth R. S. T. (2003) Direct mass spectrometry of complex volatile and non-volatile flavour mixtures. *International Journal of Mass Spectrometry*, 223-224, 179-191.
- Yven C, Culioli J., Mioche L. (2005) Meat bolus properties in relation with meat texture and chewing context. *Meat Science*, 70, 365-371.
- Yven C, Bonnet L, Cormier D, Monier S, Mioche L (2006) Impaired mastication modifies the dynamics of bolus formation. *European Journal of Oral Sciences*, 114, 184-190.



Plateform 3D. IUT 12 rue de la Fonderie 71200 Le Creusot
Consultez le site <http://www.plateform3D.com>

