



Développement, optimisation et utilisation d'un simulateur de mastication "bouche artificielle"

Patrick P. Mielle, Christian Salles, Jacques J. Maratray, Patrick Gorria, Jean-Jacques Liodenot, Joël Liaboeuf, Ralph Seulin, Elisabeth Guichard

► To cite this version:

Patrick P. Mielle, Christian Salles, Jacques J. Maratray, Patrick Gorria, Jean-Jacques Liodenot, et al.. Développement, optimisation et utilisation d'un simulateur de mastication "bouche artificielle". uB Sciences, 2009, 4, pp.80-86. hal-02664067

HAL Id: hal-02664067

<https://hal.inrae.fr/hal-02664067v1>

Submitted on 31 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DÉVELOPPEMENT, OPTIMISATION ET UTILISATION D'UN SIMULATEUR DE MASTICATION "BOUCHE ARTIFICIELLE"

» PATRICK MIELLE ¹,
» CHRISTIAN SALLES ¹,
» JACQUES MARATRAY ¹,
» PATRICK GORRIA ²,
» JEAN-JACQUES LIODENOT ²,
» JOËL LIABOEUF ²,
» RALPH SEULIN ²,
» ELISABETH GUICHARD ¹

¹ INRA -AgroSup Dijon
Université de Bourgogne
UMR 1129 FLAVIC, 17 rue Sully,
21065 Dijon, France,
www2.dijon.inra.fr/flavic
² Plateform'3D, I.U.T Le Creusot,
12 rue de la fonderie,
71200 Le Creusot, France
www.plateform3d.com

Contact :
Patrick.Mielle@dijon.inra.fr,
+33 3 80 69 30 86

Résumé :
» DELPHINE GOSSET

UNE BOUCHE ARTIFICIELLE

Pour faciliter l'élaboration de nouveaux aliments en limitant l'expérimentation sur l'homme, l'UMR-FLAVIC développe un simulateur de mastication capable de tester leur arôme et leur saveur.

La mastication des aliments libère des substances qui stimulent les récepteurs du goût présents sur langue tandis que des substances volatiles rejoignent le nez via l'arrière de la bouche. Le terme de *flaveur* désigne la combinaison de ces sensations gustatives et olfactives. La *flaveur* perçue dépend de nombreux paramètres : la texture des aliments, la façon dont ils sont mastiqués, la morphologie de la bouche... L'étude de ces sensations chez l'homme pose de nombreux problèmes techniques : les mesures sont difficiles à reproduire, il y a des variations d'un individu à l'autre, les molécules contenues dans l'haleine font interférence, etc. C'est pourquoi l'UMR - FLAVIC a conçu une bouche artificielle capable de reproduire la mastication humaine, en partenariat avec la Plateform'3D du Creusot.

L'appareil dispose de mâchoires équipées de vraies dents. La mâchoire inférieure est mobile, tout comme la langue. L'ensemble est géré par un logiciel. On peut programmer la direction et la puissance des mouvements, ou encore le débit de salive artificielle, de façon à reproduire les données observées chez l'homme. Ce simulateur enregistre de nombreux paramètres comme les débits des gaz et des liquides ou la température de l'aliment. Il prend en compte les variations de la texture du bol alimentaire au cours de la mastication pour ajuster la force des mouvements. Les tests, réalisés avec des échantillons de chocolat, de fromage, ou de cacahuètes, sont concluants : la déstructuration est semblable à celle obtenue dans une bouche humaine. En configurant le logiciel et en changeant les profils de dentition on peut imiter plusieurs personnes différentes.

Chez l'homme, la détection des arômes a lieu au moment où l'air respiré est expulsé. Dans le masticateur, le système de prélèvement des gaz présents en bouche reproduit ce phénomène. Une vanne de forme particulière utilise le jeu des pressions à l'intérieur et à l'extérieur de la bouche. L'identification des molécules odorantes libérées se fait en direct grâce à des dispositifs classiques du type « nez électronique » ou spectromètre de masse.

Pour les saveurs, on recherche les substances dissoutes dans la salive artificielle. Un robot prélève régulièrement des volumes très faibles de cette salive pour ne pas perturber l'équilibre solide / liquide du bol alimentaire. Ensuite, un traitement physique suivi d'une analyse chimique donnent les quantités respectives des composés libérés à différents stades de la mastication. Pour des raisons d'encombrement restreint, les prélèvements gazeux et liquides se font actuellement séparément, grâce à deux têtes interchangeables sur la machine.

INTRODUCTION

Les recherches conduites à l'UMR-FLAVIC visent à comprendre la perception sensorielle des aliments par des données de leur composition et de leur structure. Les recherches menées au sein de l'UMR-FLAVIC visent à comprendre les mécanismes biochimiques et physiques qui régissent la libération de substances actives en bouche lors de la mastication de l'aliment en prenant en compte la physiologie orale des individus et la composition et la texture de l'aliment et du bol alimentaire pendant la déstructuration de l'aliment en bouche.

Les phénomènes de libération de composés de la saveur et la perception temporelle pendant la consommation d'aliments sont modulés par le comportement physiologique de l'individu (mastication et salivation en particulier) qui dépend de la structure et de la composition de l'aliment. De nombreuses études sur la libération de composés volatils en bouche ont été menées *in vivo* en analysant les effluves nasales des individus par connexion directe à un spectromètre de masse à ionisation à pression atmosphérique, permettant ainsi une analyse en temps réel. Cependant, de nombreuses limitations ont été rapportées :

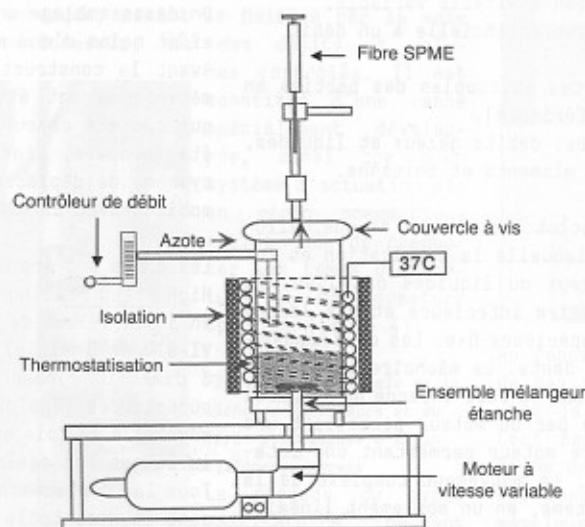
- variabilité importante entre les panélistes,
- faible répétabilité des mesures, faible cadence d'expérimentation due à la fatigue des panélistes,
- volume d'air expiré très important, entraînant une dilution des arômes,
- niveau très important de substances interférentes dues à l'haleine, aux composés de dégradation des métabolites...
- problèmes d'acceptabilité, en fonction des préférences alimentaires personnelles (beurre, ail, oignon) ou quand le niveau d'aromatisation est trop important,
- en accord avec la législation et la déontologie, les limitations sur l'expérimentation humaine sont très strictes, par ex. pour les médicaments.

En raison des limitations précitées, il était nécessaire de développer un prototype avec pour but le remplacement des expérimentations *in vivo* par leur équivalent totalement instrumentalisé *in vitro*.

Plusieurs machines plus ou moins rudimen-

taires simulant la déstructuration d'un aliment ont déjà été décrites (un exemple est fourni en figure 1)[2 - 4]. Cependant, elles reproduisent de manière trop peu fidèle la mastication humaine et ne possèdent qu'une partie des principales fonctionnalités d'une bouche humaine. Les principales limitations de ces systèmes étaient : une représentation déformée des rapports entre la phase solide (aliment en bouche), la phase liquide (la salive) et la phase gazeuse (mouthspace contenant les arômes libérés) par rapport à la situation *in-vivo*, des volumes de phase très différents, un processus complexe de la mastication réduit soit à une simple agitation créant essentiellement du cisaillement, soit une simple compression, par des parties ayant une géométrie fort différente des mâchoires humaines, l'utilisation de matériaux non inerte chimiquement envers les composés d'arôme. De plus, les composés d'arôme sont en général piégés sur des polymères, ce qui ne permet qu'une analyse globale des composés libérés pendant le processus ou bien nécessite de nombreuses extractions le cas de prélèvements ponctuels qui sont ensuite analysés chacun par chromatographie en phase gazeuse, ce qui demande un temps d'analyse important pour l'ensemble des prélèvements effectués pour obtenir une cinétique de libération (une dizaine de points au moins). En tout cas, ces systèmes excluent une analyse en ligne et en temps réel et aucun d'entre eux ne permet l'analyse directe des composés non volatils responsables de saveurs par prélèvement de salive.

Fig. 1 : Exemple de masticateurs présents dans la littérature [Deibler et al., J. Agric. Food Chem., 2001, 49, 1386-1393]



En ce qui concerne les systèmes de détection, des systèmes plus spécifiques pour l'évaluation du croustillant ont également été développés. Le « Sensor head Artificial Senses » [S-sence, Université de Linköping et Applied Autonomous Sensor System, Université d'Örebro, Suède] est dédié à l'évaluation du croustillant de céréales pour petit déjeuner et de chips comprend un système de vision par caméra et auditif par microphone, la déstructuration de l'aliment étant obtenue par l'action d'un simple vérin. Le « Crisp-meter » [Nestec, Suisse], également conçu pour l'évaluation du croustillant, mesure en plus de certains paramètres physiques, des paramètres acoustiques comme l'amplitude, le nombre de pics, leur durée, leur fréquence et la dimension fractale.

Pour expliquer l'influence des différents paramètres oraux dans la perception de la saveur, et en particulier pour étudier les relations entre structure, texture de la matrice alimentaire, libération de molécules actives et perception des qualités organoleptiques de l'aliment, il devenait indispensable de mimer de manière bien plus fidèle la mastication humaine en conditions réelles, en se rapprochant au mieux des différents paramètres de physiologie orale mis en jeu lors de la mastication d'un aliment donné et mesurés au cours d'expérimentations *in vivo*. Un nouvel appareil que nous avons appelé « simulateur de mastication » a donc été développé.

Le développement a été fait en partenariat entre l'UMR-FLAVIC de Dijon et la Plateform'3D du Creusot, depuis 2003, fédérant ainsi des compétences pluridisciplinaires en physique (CFAO, modélisation, usinage

de précision, profilométrie, automatisme...), en chimie (caractérisation de l'inertie des matériaux, analyse des arômes et des composés sapides...) ainsi qu'en physiologie (activité des muscles faciaux, mesure des efforts développés, composition de la salive...).

DESCRIPTION DU SYSTÈME

La version actuelle est présentée en figure 2, en couplage avec un spectromètre de masse APCI-MS.

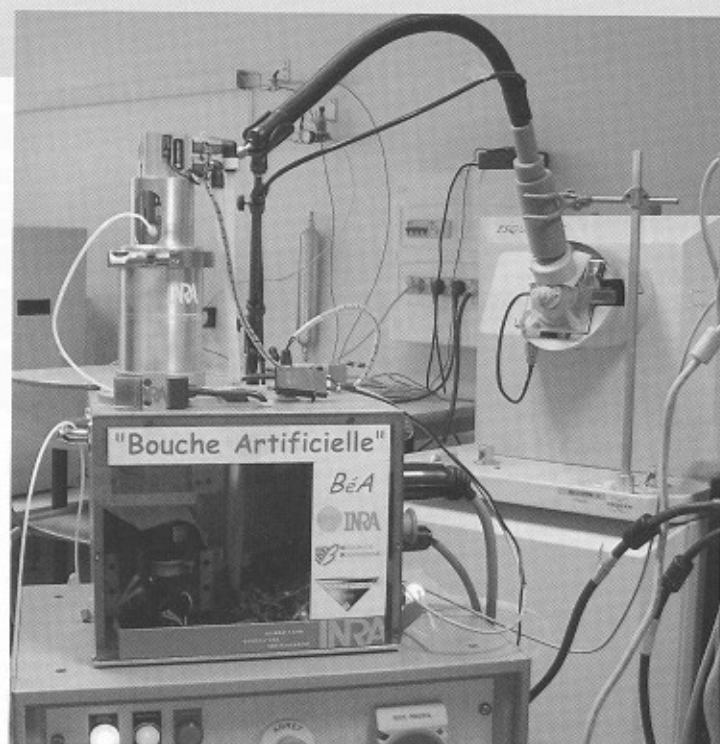


Fig. 2 : Couplage de la "Bouche Artificielle" avec un spectromètre de masse APCI-MS

Les spécifications pour le développement de l'appareil étaient les suivantes:

- compression et cisaillement appliqués de manière indépendante sur l'aliment,
- mâchoires équipées de vraies dents,
- présence d'une langue,
- inertie des matériaux en contact avec l'aliment envers les composés d'arôme,
- respect des rapports entre les phases solides, liquides et gazeuses,
- étanchéité totale sans avoir recours à des joints, à de la colle, à des lubrifiants ou des produits étanchéifiants (éviter des réponses parasites ou des effets mémoire),
- mesures en-ligne pour la libération des arômes (composés volatils) et sapides (en phase liquide),
- forces importantes et mastication à vitesse variable,
- introduction en continu de salive artificielle à un débit variable,
- contrôle des déplacements, forces et couples des parties en mouvement (langue et mâchoire inférieure),
- contrôle des volume, température, débits gazeux et liquides, utilisation universelle pour les aliments et boissons.

La partie mécanique du système inclut les moteurs et une cellule contrôlée thermiquement dans laquelle la mastication et les prélèvements d'échantillons, gazeux ou liquides ont lieu. La cellule active comprend une mâchoire inférieure et une langue mobiles, ainsi qu'une mâchoire supérieure fixe. Les deux mâchoires circulaires sont équipées de dents. La mâchoire inférieure translate sur un axe vertical contre la face interne de la paroi externe de la cellule, actionnée par un moteur permettant une translation verticale et un autre moteur permettant une rotation (effet de meule des dents). Le mouvement complexe de la langue est simplifié, dans ce système, en un mouvement linéaire

d'un piston concentrique dont l'extrémité est conique. Il est actionné par un troisième moteur et se déplace en translation à l'intérieur de la mâchoire inférieure. La partie supérieure est composée d'un second cylindre comportant les motifs de dents (moliares) qui ont été gravées dans la matière. Le haut du palais comporte le système de prélèvement gazeux. Les dents gravées sur les mâchoires inférieure et supérieure ont été faites en scannant une réelle molaire humaine. Le motif a été dupliqué sur la couronne supérieure et inférieure (15 dents sur chacun). Elles sont disposées sur les deux couronnes de telle manière qu'il y ait une bonne complémentarité entre deux dents de chaque maxillaire lorsqu'ils entrent en contact.

Le système comprend aussi une armoire électronique et un ordinateur pour le contrôle de chaque paramètre. Les moteurs sont commandés par une carte 4 axes "intelligente". La précision de la mesure du déplacement linéaire est de $1.44 \mu\text{m}$, et de 0.00164° pour la rotation des dents. Un logiciel développé sous Labview (National Instruments) par nos soins permet la programmation indépendante de chaque paramètre à partir de données obtenues *in vivo* comme la vitesse et la position de la langue et de la mâchoire inférieure, l'angle de cisaillement pour la mâchoire inférieure, les forces de compression, le nombre et la durée des cycles, la température, le flux d'entrée de salive délivré par une pompe seringue, le flux d'entrée de gaz et le fonctionnement de la vanne permettant l'échantillonnage de gaz. Ainsi, il est possible de reproduire sur le masticateur, grâce à une programmation adéquate, les variations des forces et couples développés *in vivo* pendant la mastication d'un aliment donné. En effet, celles-ci varient en fonction de l'évolution des caractéristiques texturales du produit au cours de sa déstructuration en bouche.

L'étanchéité entre les pièces en mouvement est assurée à la fois pour les gaz et les liquides grâce à un jeu très réduit obtenu par un usinage de haute précision des matériaux (tolérance opérationnelle d'usinage et défauts de géométrie dans la gamme du micron). Les matériaux susceptibles d'être usinés et polis miroir ont subi une sélection rigoureuse pour l'évaluation de leur inertie. Le polyetherethercétone (PEEK) s'est montré le plus inerte vis-à-vis des composés d'arôme et possédait une dureté suffisante pour être usiné. L'étape de nettoyage et de décontamination a été prise en compte dès le début de l'étude. Un désassemblage complet de la cellule de mastication prend en effet moins d'une minute.

Avant la construction du système complet, toutes les parties mécaniques ont été divisées en sous-ensembles fonctionnels, qui ont été chacun validés après optimisation. L'étanchéité a été éprouvée, ainsi que l'usure due au rodage des pièces. Le système de déplacement a été dimensionné et relié aux parties mobiles avec un minimum de pertes.

Les dents ont été usinées sur un centre d'usinage 5 axes [Ultra High Speed milling machine Huron KX8] à partir de numérisations en 3 dimensions de dents humaines antagonistes (scanner Minolta VI-910 et logiciel Polygon Editing Tools), et modélisation en 3 dimensions pour les dentitions antagonistes inférieures et supérieures [RapidForm 2004 et Catia V5] (figure 3). Elles sont mobiles à la fois en translation et en rotation. Le mouvement de la langue est également contrôlé en translation et en force. Tous les déplacements, mouvements angulaires, forces et couples sont sous contrôle logiciel.

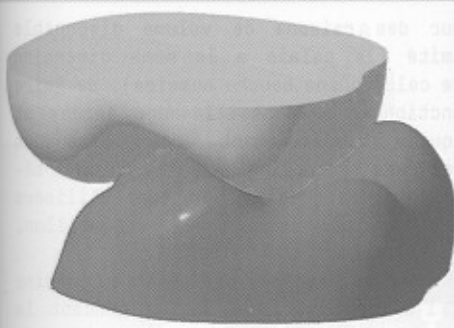
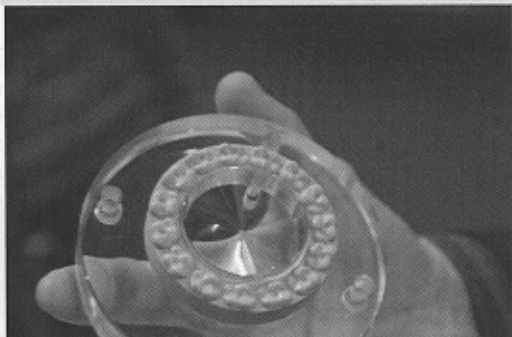


Fig. 3 : Modélisation des dents antagonistes (à gauche) et mâchoire supérieure usinée (à droite). La salive artificielle est introduite en continu, avec un débit suivant un profil programmable.

Pour paramétrer l'appareil, les données obtenues *in vivo* sont très utiles. Le flux salivaire et l'efficacité masticatoire peuvent être facilement mesurés. L'efficacité masticatoire est basée sur une distribution de taille de particules pour un nombre donné de coup de dents lors de la mastication d'un aliment ou polymère solide et friable. Les enregistrements électromyographiques sont aussi très informatifs. Ils consistent à enregistrer les contractions des muscles temporaux et masséters et permettent d'avoir accès à l'amplitude de contraction qui peut être reliée à la force exercée si ces mesures ont été étalonnées sur les forces mesurées par des capteurs miniaturisés, le nombre et la durée des contractions, la durée totale de mastication, l'intervalle entre deux contractions... L'utilisation d'un capteur de mouvement 3D donne également des informations complémentaires comme par exemple le déplacement du maxillaire inférieur sur l'axe horizontal (angle de cisaillement) et les temps de déglutition.

Les données enregistrées sont d'une part d'ordre physique :

- Déplacements linéaires et forces pour la langue, les mâchoires et les dents, déplacements linéaire, angulaire et couple pour la mâchoire inférieure,
 - Volume du bol alimentaire, débits des gaz et liquides, température de l'aliment,
- et d'autre part d'ordre chimiques :
- Concentration des composés d'arôme au cours du temps,
 - Composition de la salive extraite au cours du temps (concentration des composés sapides).



Seule l'automatisation de la déglutition du bol alimentaire n'a pas été actuellement implémentée, mais devrait l'être dans la prochaine version.

ECHANTILLONNAGE GAZEUX

La salive artificielle, ainsi que le gaz vecteur sont introduits dans la cellule active "bouche" à des débits variables (respectivement 0 à 5 g/min. et 10 à 50 ml/min.).

La quantité de bol alimentaire (aliment + salive) est donc variable au cours d'une expérimentation.

Si l'on veut conserver constant le volume du headspace [volume gazeux libre au dessus de l'échantillon, dans lequel se libèrent les arômes], le logiciel doit recalculer à chaque instant les courses de tous les actuators. Dans ce cas seulement, on aura une concentration dans la phase gazeuse qui sera le reflet exact de la concentration des arômes libérés, et ce quelle que soit l'étape du cycle masticatoire.

Un système d'échantillonnage gazeux est embarqué, mimant le flairage par la voie rétronasale, par des débits et volumes contrôlés. Il est constitué d'une vanne spécialement développée, ainsi que d'un système d'actuation par un vérin pneumatique rapide, afin de respecter les temps d'ouverture et de fermeture spécifiés (figure 4).

Fig. 4 : Vue latérale de la mâchoire supérieure et du vérin pneumatique d'échantillonnage gazeux

La période du cycle masticatoire pendant

laquelle l'actuation peut avoir lieu est très critique. En effet, elle doit être autorisée seulement quand les dents ou la langue ne sont pas en position haute (figure 6). Ceci afin d'éviter que le bol alimentaire ne puisse pénétrer dans le système d'échantillonnage et venir le contaminer.

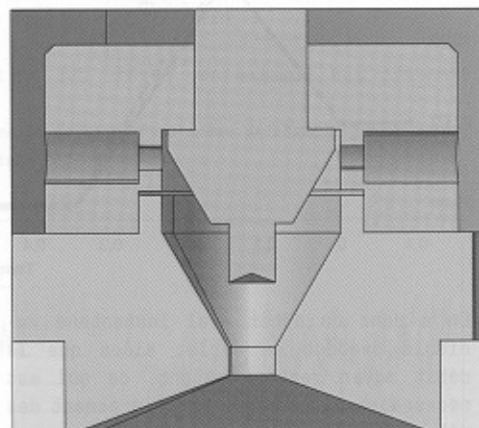
Habituellement, les systèmes d'échantillonnage gazeux en ligne sont très complexes, comportant des vannes à trois ou quatre voies. Ces vannes sont fragiles et difficilement décontaminables.

Nous avons développé un système nouveau qui, bien que d'apparence simple, a nécessité de nombreux calculs et tests de validation afin de vérifier son efficacité et sa résistance au colmatage.

Le fonctionnement est basé sur une soupape de forme spéciale, inversée par rapport à une soupape classique. L'ensemble fixe et mobile est réalisé en matériau plastique spécial, usinable avec un état de surface poli miroir et inerte envers les composés d'arômes. Cet ensemble ne comporte lui aussi ni joint ni lubrifiant dans la partie au contact de l'échantillon, afin de rester totalement inerte et facilement nettoyable. L'étanchéité dans ces conditions est obtenue par un usinage d'une précision inférieure au micron (figure 5).

Fig. 5 : Vue en coupe de la vanne d'échantillonnage gazeux

Légende : jaune, mâchoire supérieure ; rose, palais ; saumon, soupape ; vert, chambre de mélange.

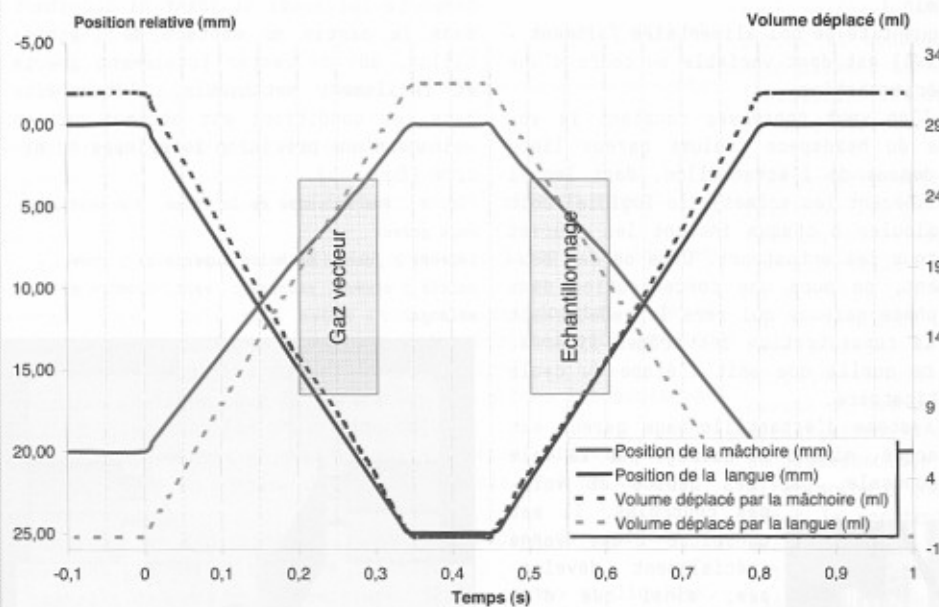


Au repos, la vanne est fermée et le flux de gaz vecteur passe directement à travers la partie supérieure de la vanne. Ceci permet d'obtenir entre autres une ligne de base sur le détecteur. Le débit est contrôlé par un contrôleur de débit massique, piloté par le logiciel.



Au moment de l'échantillonnage, la vanne s'ouvre très rapidement (temps de réponse d'environ 50 ms). Le gaz vecteur a toujours tendance à suivre le trajet le plus simple, c'est-à-dire celui utilisé au repos. Mais lors de l'ouverture, les vitesses relatives de la mâchoire et de la langue, contrôlées en mode vecteur par la carte moteurs, vont être modifiées pendant une courte période, entraînant une surpression dans la cellule. Le débit d'arrivée étant conservé constant, cette surpression va augmenter le débit aval pendant la période d'accélération. Pendant l'opposition de phase de la mâchoire et de la langue, la soupape va également s'ouvrir dans les mêmes conditions, mais à ce moment les vitesses relatives vont entraîner une dépression dans la cellule. Cette dépression va diminuer le débit aval pendant la période d'accélération (figure 6).

Fig. 6 : Fenêtre d'autorisation d'ouverture de la soupape



On a donc un débit aval instantané variable pendant un cycle, alors que le débit moyen reste constant, ce qui est nécessaire pour un bon fonctionnement des détecteurs.

Le volume mort de la chambre de mélange, simulant la cavité nasale, va lisser les variations de débit et produire un débit aval vers l'analyseur constant, quasiment sans à-coups, mais en imitant l'analyse breath-by-breath humaine [détection synchrone des arômes expulsés durant la res-

piration].

Toutes les parties et tubes du circuit d'échantillonnage sont chauffées pour éviter toute condensation des composés volatils.

Cette partie échantillonnage gazeux permet la détection en-ligne. Pour les premières expérimentations nous avons à notre disposition un VOCmeter standard d'AppliedSensor (Reutlingen, Allemagne), Application Specific Sensor System "Nez électronique" (basé sur 4 capteurs à oxydes métalliques MOS et 8 capteurs micro gravimétriques QMB). Le système a été également relié avec succès à deux spectromètre de masse, de principes de fonctionnement différents, mais fonctionnant tous deux avec une source à pression atmosphérique. Ceci permet l'introduction d'un débit gazeux important en continu dans la source sans risquer de casser le vide.

ÉCHANTILLONNAGE LIQUIDE

La partie échantillonnage liquide vient seulement d'être achevée. Un volume très faible de salive doit être prélevé, afin de ne pas déséquilibrer le rapport entre phase solide et liquide du bol alimentaire.

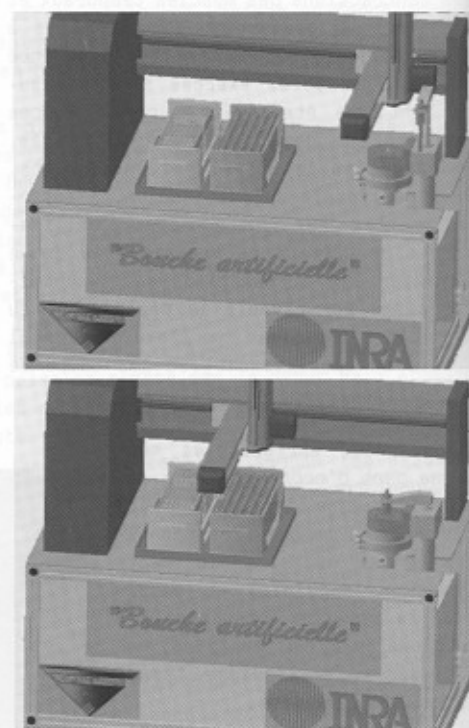
Il n'a pas été possible jusqu'à présent,

pour des raisons de volume disponible limité [le palais a la même dimension que celui d'une bouche humaine], de faire fonctionner l'échantillonnage gazeux et liquide simultanément. Nous disposons donc dans la version actuelle de deux têtes interchangeables, qui sont utilisées à tour de rôle sur le même échantillon, dans les mêmes conditions.

Les composés sapides diffusent en continu de l'aliment vers la salive pendant la phase de mastication. Cependant, le prélèvement a lieu actuellement de manière discrète. [le prélèvement de la phase liquide à l'aide d'un cône de pipette est effectué quand le masticateur est en mode pause]. Cette opération est réalisée de manière complètement automatique, par un robot échantillonneur 3 axes. Le robot vient ensuite reposer le cône dans un réceptacle, et se prépare pour le prochain échantillon (figure 7).

La phase d'absorption de l'échantillon dure moins d'une seconde.

Fig. 7 : Vue DAO du robot et de la tête liquide ; à gauche en position prélèvement ; à droite après le prélèvement



Dès que le cône est extrait du masticateur, un bras mobile sur 2 axes vient refermer l'orifice d'échantillonnage à l'aide d'une pince calibrée, afin d'assurer l'étanchéité à la reprise du cycle (figure 8).

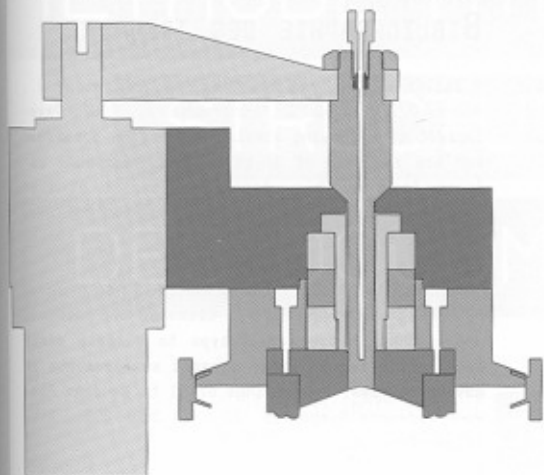


Fig. 8 : Vue en coupe de la tête de prélèvement liquide, avec la pigne d'étanchéité en place.

Les échantillons sont ensuite traités physiquement, par exemple par filtrage ou centrifugation, puis analysés sur une chaîne HPLC.

Il est également possible d'effectuer les dosages à l'aide de microcapteurs chimiques en phase liquide, en fonction des analytes à suivre.

QUELQUES APPLICATIONS

La déstructuration d'aliments avec notre simulateur de mastication doit être proche de celle observée dans la bouche humaine. C'est le cas pour les essais sur des échantillons de chocolat et de fromage.

Des essais de validation ont été également conduits sur des échantillons d'aliments fractionnables comme les cacahuètes. Nous avons pu démontrer qu'il est possible d'imiter plusieurs humains en modifiant les paramètres appliqués. On peut constater qu'en appliquant un effort maximal de 34 daN, et en utilisant un cisaillement d'1/8 de dent (effet meule), la distance entre les mâchoires diminue au cours du cycle de mastication. Ceci correspond à la modification de la distribution des particules de cacahuètes lors de leur déstructuration.

On peut constater visuellement cet effet, et ajuster les paramètres masticatoires afin de reproduire fidèlement une bouche humaine avec l'appareil [figure 9].

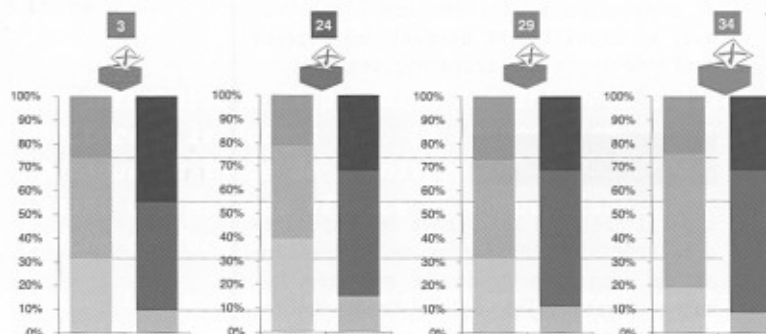
Fig. 9 : Déstructuration de cacahuètes [à gauche, échantillon humain séché et à droite "Bouche Artificielle"]



Nous avons comparé la distribution des particules sur des cacahuètes par bouche humaine et avec l'appareil [figure 10]. Les paramètres de la machine ont été ajustés pour mimer la déstructuration produite en bouche par le panéliste 3 (sujet féminin). La force exercée sur les mâchoires a été réglée de 24 à 34 daN. Le nombre de cycles masticatoires a été de 4, puis 8, ce qui correspond à deux profils de mastication humaine. Le cisaillement (effet meule) a été réglé sur 1/8 de dent.

Fig. 10 : Déstructuration de cacahuètes [à gauche, échantillon humain du panéliste 3 ; à droite, "Bouche Artificielle"]

[Distribution de la taille des particules après mastication : clair : > 4 mm ; moyen : entre 2 et 4 mm ; foncé : < 2 mm ; en orange : après 4 cycles masticatoires ; en bleu : après 8 cycles masticatoires]

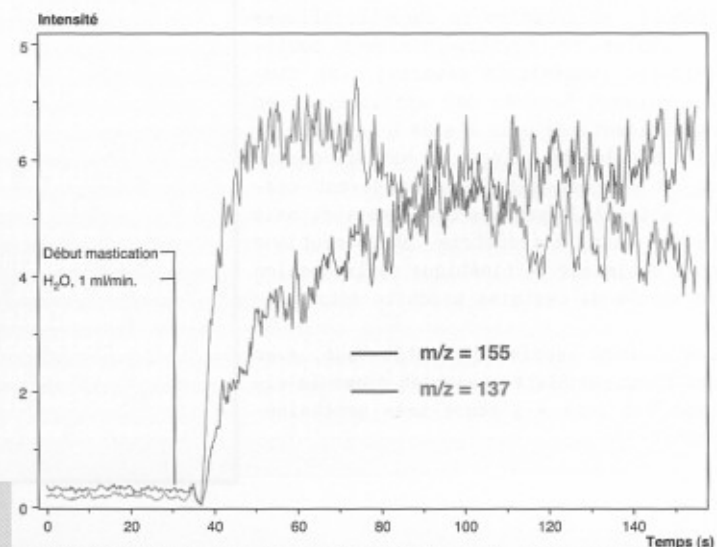


Le diamètre des cacahuètes varie de 9 à 11 mm à l'origine. On peut constater que, comme prévu, la taille des particules diminue avec le nombre de cycles masticatoires, aussi bien pour la bouche humaine que pour l'appareil. La force exercée sur les mâchoires influence le degré de dégradation. On obtient une déstructuration comparable à celle fournie par le panéliste 3 en appliquant 29 daN pour 4 cycles masticatoires, et plus de 34 daN pour 8 cycles masticatoires.

Nous envisageons l'utilisation de la vision artificielle en 2D, puis en 3D afin d'évaluer la distribution des particules sur des aliments durs comme la cacahuète, puis sur des aliments plus déformables comme les fromages et le pain.

Concernant la libération des arômes, un exemple est présenté en figure 11.

Fig. 11 : Libération temporelle de composés d'arôme de chewing-gum in vitro, avec couplage à un détecteur APCI-MS



Sur des échantillons de tablettes de chewing-gum aromatisé à la menthe, nous avons mis en évidence une différence dans la cinétique de libération de deux composants de cet arôme de menthe.

On peut tout aussi bien faire varier n'importe lequel des paramètres, soit de l'échantillon pendant sa fabrication ou son stockage, soit pour un même échantillon les paramètres masticatoires (force, nombre de cycles, vitesse...). Une mastication *in vitro* dure environ le même temps que la mastication humaine du même produit (ici environ 2 minutes, avec un cisaillement de quelques degrés, conforme à une mastication classique).

CONCLUSIONS

L'outil présenté ici permet de reproduire avec précision les forces de compression et de cisaillement de la mâchoire humaine responsables de la fragmentation des aliments en bouche au cours du temps et de suivre en ligne la libération de composés de la flaveur de produits alimentaires avec des résultats comparables à ceux obtenus *in vivo* dans des conditions similaires. Différents types de populations peuvent être étudiés dans la mesure où différents profils de dentition correspondant aux dentitions humaines peuvent être aisément usinés et remplacés dans l'appareil.

Ce prototype est un outil essentiel pour identifier les principaux phénomènes physiologiques ou physiques expliquant la déstructuration des aliments en bouche et la libération des composés de la flaveur, et pour mener des études de modélisation de la libération de ces composés dans le but de proposer des nouveaux aliments formulés en fonction de caractéristiques texturales et physico-chimiques particulières (ingénierie reverse). Ces études peuvent trouver des applications en agroalimentaire pour l'aide à la formulation d'aliments allégés en matière grasse ou en sel par exemple mais devant rester acceptable pour le consommateur, mais aussi dans l'industrie pharmaceutique pour optimiser la cinétique de libération en bouche de certains produits actifs.

Une seconde version du masticateur, avec des fonctionnalités avancées comme la vision, va être à l'étude très prochainement.

REMERCIEMENTS

Ce développement a été supporté financièrement par l'INRA et le Conseil Régional de Bourgogne. Il est labellisé par le pôle de compétitivité Innovation Goût, Nutrition, Santé VITAGORA.

BIBLIOGRAPHIE DES TRAVAUX

- Salles C., Tarrega A., Mielle P., Maratray J., Gorria P., Liaboeuf J., Lidenot J.-J., 2007, Development of a chewing simulator for food breakdown and the analysis of *in-vitro* flavor compound release in a mouth environment, *Journal of Food Engineering*, Vol. 82, Issue 2, September 2007, pp 189-198.
- Salles C., Mielle P., Le Quééré J.-L., Renaud R., Maratray J., Gorria P., Liaboeuf J., Lidenot J.-J., 2005, A novel prototype to closely mimic mastication for *in vitro* dynamic measurements of flavour release, *Proceedings of 11th Weucman Flavour Research Symposium*, 21 - 24 June 2005, Roskilde, Denmark.
- Mielle P., Renaud R., Gorria P., Lidenot J.-J., Liaboeuf J., Salles C., Guichard E., 2005, An "Artificial Mouth" as a novel sampling device for E-Nose, E-Tongue and API-MS, 11th International Symposium Olfaction & Electronic Noses, April 13 - 15 2005, Barcelona, Spain.
- Mielle P., 2008, Flavour Assessment: Sensors and Sensory Techniques, 25th meeting of the Intelligent Sensing Programme, October 22 nd 2008, London, United Kingdom.
- Maratray J., Mielle P., 2007, B6A., la bouche artificielle. *Le Cahier des Techniques de l'INRA*, Vol. (60): pp 37-44.
- Mielle P., 2007, la "Bouche Artificielle", neuvièmes Rencontres Électroniques du CNRS, 4 - 8 mai 2007, Dijon, France.
- Mielle P., Maratray J., 2008, Couplage d'un simulateur de mastication "Bouche Artificielle" avec les analyseurs en phase gazeuse et liquide, 10^{èmes} Journées de la Mesure et de la Métrologie, 6-9 octobre 2008, Biarritz.
- Mielle P., Renaud R., 2006, Une nouvelle méthode pour l'échantillonnage des arômes en ligne développée pour un simulateur de mastication "Bouche Artificielle", 9^{èmes} Journées de la Mesure et de la Métrologie, 9-12 octobre 2006, Balaruc-les-Bains.