

Dispositif compatible avec l'IRM pour stimuler les sens chimiques chez l'homme et capturer les retours sujet

Abdlatif Benmoussa¹

Sylvie Clerjon¹

Jean-Marie Bonny¹

CORRESPONDANCE

abdlatif.benmoussa@inrae.fr

RÉSUMÉ

L'IRMf (Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle) est une technique qui permet de visualiser l'activité cérébrale lors de tâches exécutées par un sujet allongé dans l'imageur. La stratégie consiste à détecter les centres cérébraux qui sont activés par cette stimulation à partir d'une séquence d'images du cerveau. Pour mener ces expériences, un stimulateur des sens chimiques compatible avec l'environnement magnétique intense des IRM (Imageurs par Résonance Magnétique) a été développé au sein de notre équipe. Cet article décrit la réalisation de ce stimulateur, la fabrication de son embout par lequel transite les différentes solutions liquides, le choix adopté pour délivrer les différentes solutions et comment tout cet ensemble est commandé afin d'être synchronisé avec les tâches demandées au sujet. Une partie de l'article traite de la validation métrologique du stimulateur. Enfin, l'article partage un savoir-faire dans la création de paradigme mettant en œuvre notre stimulateur dans le cadre du projet de recherche PleasIn (métaprogramme Did'It : Diet Impact and determinants - interactions and transitions), dont l'objectif était de comprendre l'effet du choix sur le plaisir (on parle plutôt de valeur subjective) induit par la consommation de boissons palatables (agréables au goût).

MOTS-CLÉS

RMN ; IRMf ; stimulateur olfacto-gustatif ; paradigme ; sens chimiques

1. INRAE, UR QuaPA, AgroResonance Facility, 63122, Saint Genes Champanelle, France

MRI-compatible device for stimulating chemical senses in humans and capturing subject feedback

Abdlatif Benmoussa¹

Sylvie Clerjon¹

Jean-Marie Bonny¹

CORRESPONDENCE

abdlatif.benmoussa@inrae.fr

ABSTRACT

fMRI (functional magnetic resonance imaging) is a method that allows brain activity to be visualized while a subject lies in the scanner performing tasks. The strategy consists of detecting the brain regions that are activated by this stimulation from a sequence of images of the brain. To conduct these original experiments, our team developed a chemical sense stimulator compatible with the intense magnetic environment of MRI (Magnetic Resonance Imaging) scanners. This article describes the design of this stimulator, the manufacture of the stimulator tip through which the various liquid solutions flow, the choice made for delivering the different solutions, and how the whole system is controlled so that it is synchronized with the tasks requested of the subject. Part of the article deals with the metrological validation of the stimulator. Finally, the article shares expertise in the creation of a paradigm implementing our stimulator as part of the PleasIn research project PleasIn (Métaprogram DID'IT: Diet Impact and determinants – interactions and transitions), whose objective was to understand the effect of choice on pleasure (or rather subjective value) induced by the consumption of pleasant-tasting beverages.

KEYWORDS

NMR; fMRI; olfactory-gustatory stimulator; paradigm; chemical senses

1. INRAE, UR QuaPA, AgroResonance Facility, 63122, Saint Genes Champanelle, France

Introduction

L'imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf) est une méthode expérimentale qui permet de suivre, dans le temps et dans l'ensemble du cerveau, les variations d'activité cérébrale provoquées par un enchaînement de tâches, appelé paradigme, chez le sujet humain allongé dans l'imageur. Pour des raisons de facilité, la grande majorité de ces tâches sont fondées sur des stimulations visuelles ou auditives. Toutefois, lorsqu'il s'agit d'étudier l'alimentation, il est pertinent d'utiliser des tâches reposant sur la stimulation des sens chimiques; cela nécessite donc de délivrer une solution alimentaire liquide en bouche.

La plateforme AgroResonance d'INRAE s'intéresse aux tâches constituées de stimulations olfacto-gustatives car elles permettent d'étudier des mécanismes en lien avec l'alimentation dans des conditions naturelles, c'est-à-dire en utilisant des aliments palatables comme des boissons issues de la grande distribution dans notre cas, plutôt qu'en montrant des images d'aliments.

À l'occasion de la thèse de Juliana Iranpour visant à étudier le codage de l'intensité salée, notre équipe a développé un stimulateur des sens chimiques compatible avec l'environnement magnétique des IRM (Imageurs par Résonance Magnétique).

Le cahier des charges prévoyait que cet équipement soit :

1. Capable de délivrer précisément et de manière reproductible plusieurs boissons, en goutte à goutte, sur la langue du sujet placé dans l'IRM (stimulateur).
2. Capable de récupérer les retours sujets (note hédonique, réponse aux questionnaires, etc.) (capteurs).
3. Pilotable par le logiciel E-Prime®, publié par Psychology Software Tools.
4. Compatible IRM.

L'originalité de ce dispositif réside dans l'assemblage d'équipements commerciaux ou faits maison pour former une solution intégrée, et économique, qui couvre la plupart des besoins de ce type d'expérimentations. En effet, le coût d'un stimulateur dans le commerce est très onéreux (plus de 20 000 €) et ne répond pas complètement à nos besoins (vendu sans embout, nombre de canaux limité). Le Centre Hospitalier et Universitaire (CHU) de Clermont-Ferrand a mis à notre disposition un Imageur par Résonance Magnétique Nucléaire (IRM) corps entier à 3 Tesla pour réaliser les expériences IRMf. L'environnement des IRM se caractérise par la présence d'un champ magnétique et électromagnétique intense. La difficulté était donc de développer des dispositifs comprenant pièces mécaniques, actionneurs et capteurs, qui puissent être placés dans l'IRM pendant toute la durée de l'examen, sans être affectés par le champ magnétique et sans perturber l'acquisition des images.

Cet article décrit la réalisation du stimulateur à moindre coût et sa validation métrologique, comment l'ensemble stimulateur et capteurs est orchestrée par le paradigme et un exemple d'application dans le cadre du projet de recherche PleasIn (métaprogramme DID'IT : Diet Impact and determinants – interactions and transitions).

Conception du stimulateur

Un stimulateur se compose de 2 parties : l'embout dans lequel transite les solutions liquides et l'appareillage qui délivre ces solutions sur commande et les achemine jusqu'à l'embout.

L'embout est une pièce mécanique vers laquelle les différentes solutions convergent pour, au final, s'écouler en goutte à goutte dans la bouche du sujet. Cet embout doit se fixer sur l'antenne radiofréquence (RF), un élément indispensable à l'acquisition d'IRM cérébrales et dont la géométrie est grossièrement un cylindre entourant la tête du sujet. Le choix a été de s'inspirer de l'embout utilisé par le laboratoire de John B. Pierce de l'université de Yale (USA) et décrit par Veldhuizen *et al.* (2007), mais non disponible commercialement.

Les paradigmes d'IRMf nécessitent de délivrer plusieurs stimulations gustatives (suivies éventuellement d'un rinçage à l'eau) avec un débit et un volume prédéfinis. Des pousse-seringues programmables Aladdin AL1000-220 de WPI ont été utilisés pour délivrer précisément et à plusieurs reprises le volume requis. De surcroît, ces pousse-seringues sont faciles à interfacer avec le logiciel E-Prime® et jusqu'à 100 pousse-seringues montés en cascade peuvent être contrôlés via une seule liaison série grâce à leur adresse unique (00 à 99). Les pousse-seringues peuvent être programmés informatiquement à l'aide d'une syntaxe relativement simple. Chaque pousse-seringue peut contenir plusieurs programmes en mémoire pour délivrer à façon une solution. Un programme est appelé en indexant la zone mémoire où il a été enregistré. Puisque notre collecteur possède 10 canaux, 10 pousse-seringues peuvent-être utilisés.

Réalisation de l'embout

Dans notre cas, l'embout a été conçu pour pouvoir délivrer des stimuli de 10 boissons différentes. Les plans de l'embout sont disponibles dans la forge logicielle <https://forge.inrae.fr/abdlatif.benmoussa/mri-gustometer>. Comme le montre la figure 1, cette pièce est composée de 2 éléments : le collecteur en couleur magenta et le diffuseur en bleu. Le joint torique permet au diffuseur de s'emmancher et de se détacher facilement du collecteur pour être nettoyé entre chaque sujet.

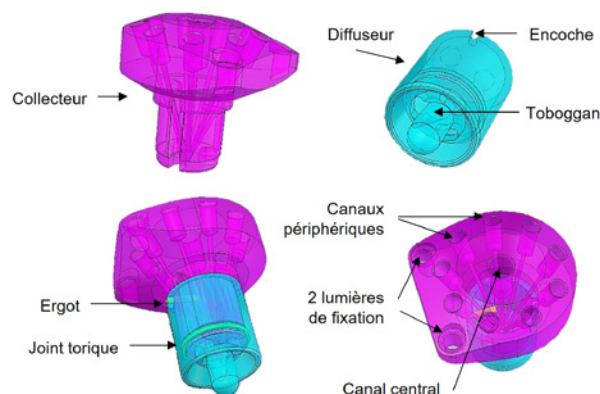


Figure 1. Vues 3D de l'embout du stimulateur

Cette pièce a été réalisée en polytétrafluoroéthylène (PTFE) car cette matière est dite alimentaire et chimiquement inerte. Au-dessus du collecteur, 10 raccords mâles cannelés en polypropylène d'un diamètre interne de 1,6 mm ont été vissés pour connecter des tubulures par lesquelles sont acheminées les différentes boissons. Dans le collecteur, les boissons empruntent un canal indépendant de 1 mm de diamètre, avant de glisser sur le toboggan du diffuseur et de tomber sous la forme de gouttes sur la langue du participant. Un ergot solidaire du collecteur permet de verrouiller le diffuseur sur une position unique grâce à son encoche de telle sorte que le toboggan soit toujours orienté vers l'intérieur de la bouche, ainsi la solution glisse naturellement sur la langue. Au dos du collecteur, nous avons 2 lumières dans lesquelles sont vissées 2 colonnes qui permettent de fixer l'embout à l'antenne RF. L'embout vient ainsi se positionner juste au-dessus de la bouche du participant.

Un support spécial a été réalisé pour fixer l'embout du stimulateur sur l'antenne RF et le positionner au-dessus de la bouche du participant comme illustré par la figure 2. Cette installation est rendue possible à l'aide de la chape existante au-dessus de l'antenne RF. C'est dans cette chape que ce nouveau support glisse pour positionner aussi bien les lunettes vidéo que l'embout du stimulateur.

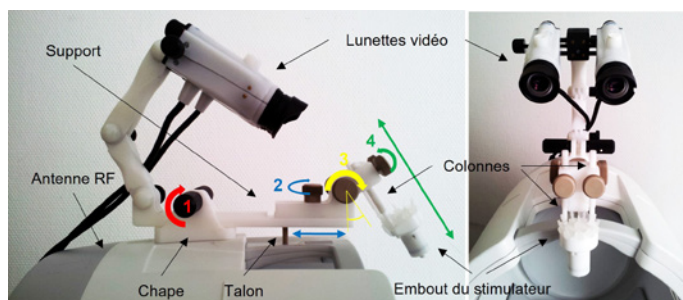


Figure 2. Support de fixation de l'embout du stimulateur sur l'antenne RF

Caractérisation du stimulateur

La caractérisation de la partie « Stimulateur » composée de l'ensemble pousse-seringue/tuyaux/collecteur a été réalisée sur un banc d'essai développé à cette occasion, elle a porté sur le respect de 2 points essentiels ; la quantité de liquide délivrée et le timing des stimulations (respect temporel des infusions de boissons). La figure 4 présente le banc d'essai qui comprend le stimulateur et les divers instruments de mesure mis en œuvre pour mesurer ces caractéristiques d'intérêts dans les conditions expérimentales. Le but est de garantir la reproductibilité des quantités de liquide délivrées et d'évaluer le timing des stimulations dans une même session qui correspond au passage d'un sujet dans l'imageur.

Pour le premier point, la quantité de liquide (de l'eau) délivrée à chaque stimulation a simplement été pesée. L'eau écoulée au travers de l'embout est collectée dans un gobelet en plastique posé sur la balance et pesée de manière automatique. Finalement, un jeu de données comprenant la date et l'heure de début de l'acquisition, les valeurs numériques du signal représentatif de l'écoulement des gouttes d'eau, et les pesées avant et après infusion est sauvegardé sur l'ordinateur à chaque stimulation.

Pour le second point, un capteur optique infrarouge (IR) a été utilisé pour détecter la présence des gouttes à l'extrémité de l'embout. Le capteur a été réalisé au laboratoire pour être sensible au passage

Grâce aux différentes molettes de réglage, numérotées de 1 à 4, la position de l'embout est facilement ajustable pour régler l'écoulement des stimuli au-dessus de la langue du sujet et s'adapter aisément à la morphologie du participant.

Mise en œuvre des pousse-seringues

Des seringues en verre de Poulten & Graf GmbH ont été choisies pour équiper nos pousse-seringues programmables (figure 3) car le verre est inerte et n'altère donc pas les solutions alimentaires. Ces seringues sont aussi faciles à nettoyer. La plus grande contenance disponible a été choisie (50 mL) pour pouvoir répéter les stimuli le nombre de fois requis par notre paradigme d'IRMf. Les pousse-seringues ne pouvant être utilisés en présence d'un champ magnétique intense (> 5 gauss), ils ont été placés à l'extérieur de la salle d'IRM. C'est pourquoi, chaque solution doit être acheminée jusqu'à l'imageur à l'aide de tuyaux alimentaires (Tygon B-44-3 de Saint-Gobain). Ils ont un diamètre interne de 2,4 mm, un diamètre externe de 5,5 mm et ils mesurent chacun 9 m de long pour atteindre l'embout du stimulateur fixé sur l'antenne RF. Ces tubulures sont branchées en amont sur la terminaison Luer Lock des pousse-seringues et en aval sur les raccords mâles cannelés qui ont été vissés sur l'embout du stimulateur.



Figure 3. Mise en œuvre des pousse-seringues de notre stimulateur

des gouttes d'eau au bout du stimulateur. Il se présente sous la forme d'une bague dans laquelle sont positionnées une diode et un phototransistor infrarouge de telle manière que le faisceau lumineux se focalise sur la pente du toboggan, là où s'écoule la goutte d'eau avant d'être réfléchi pour exciter le phototransistor. Ainsi, le passage de la goutte d'eau module l'intensité du faisceau. En l'absence de goutte le signal est nul et au contraire plus la goutte intercepte le faisceau lumineux, plus le signal réfléchi augmente. La modulation d'amplitude a été utilisée pour alimenter notre capteur afin de s'affranchir des perturbations lumineuses environnantes, en particulier l'éclairage du laboratoire. Après démodulation et amplification, la maquette électronique fournit un signal électrique image de l'évolution de la goutte d'eau. Cette maquette fournit également le signal électrique de synchronisation construit en combinant les sorties « Pump Motor Operating » de nos 4 pousse-seringues. Dès l'activation des pousse-seringues, soit à chaque stimulation, ce signal passe de 0 à 5 Volts déclenchant ainsi la numérisation et l'enregistrement de 6 000 points sur une période de 12 secondes du signal issu de notre capteur infrarouge par la carte d'acquisition NI-USB 6008. Dans ce cadre, notre stimulateur a été alimenté par 4 pousse-seringues (PS-00 à PS-03) et a été piloté par un ordinateur sur lequel un paradigme de validation délivre les solutions via l'embout à contrôler.

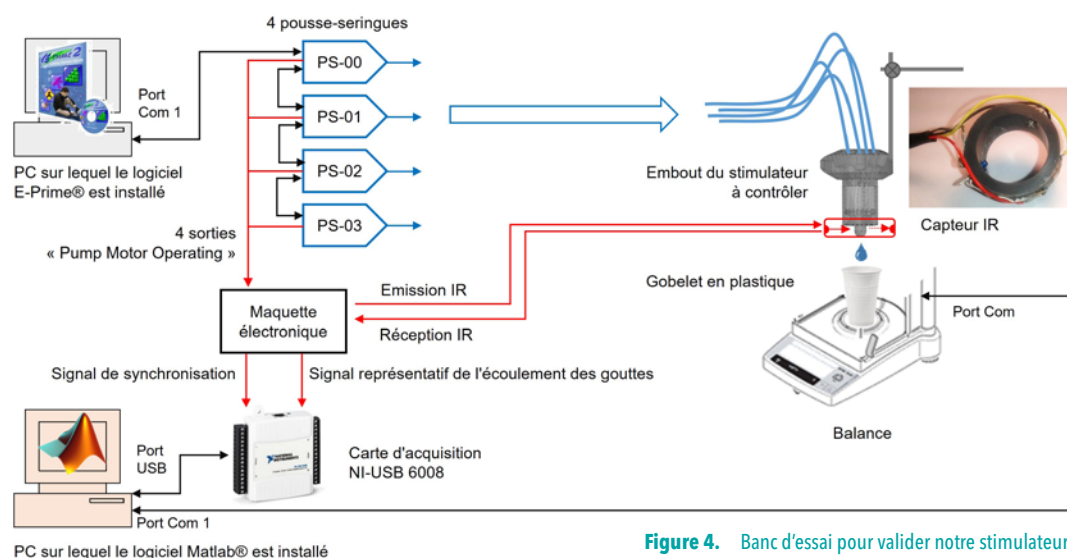


Figure 4. Banc d'essai pour valider notre stimulateur

Pour évaluer notre stimulateur en conditions réalistes, un paradigme basique a été développé sous E-Prime® ; il consiste à délivrer de façon aléatoire une solution (de l'eau) provenant d'un des 4 pousse-seringues (figure 5). Ce paradigme se compose de 4 tâches :

1. *Ready* avertit le sujet de l'arrivée de la boisson par affichage d'une goutte d'eau durant 3 secondes dans les lunettes vidéo,
2. *Drink* durant laquelle la solution s'écoule ; le sujet en est averti par affichage de 3 gouttes d'eau durant 9 secondes,
3. *Swallow* demande au sujet par affichage d'une langue durant 6 secondes de déglutir la solution,
4. *Wait* invite par affichage d'une croix le sujet à faire une pause de 6 secondes.

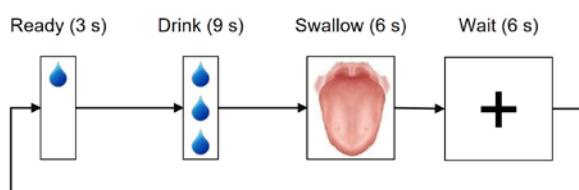


Figure 5. Paradigme permettant de caractériser notre stimulateur

Ce motif est répété 84 fois, le pousse-seringue PS-00 est activé 48 fois et les autres 12 fois chacun. Le pousse-seringue PS-00 correspond à la solution de rinçage, en général le plus sollicité dans un examen d'IRMf, tandis que les 3 autres correspondent aux stimuli. Cette session (84 répétitions) dure 33 minutes et 36 secondes. Elle a été répétée 3 fois (S1, S2 et S3) le même jour. Au préalable, les pousse-seringues ont été initialisés manuellement selon le manuel utilisateur pour délivrer 1 ml d'eau en 9 secondes. Le paradigme a été conçu de manière à déclencher le pousse-seringue choisi aléatoirement dès la disparition de l'image de la goutte (tâche *Ready*). La figure 6 illustre l'allure des signaux, issus du capteur infrarouge, obtenus lors des essais réalisés avec notre stimulateur. Ces tracés correspondent au premier stimulus délivré par le pousse-seringue PS-02 lors des sessions 1, 2 et 3. Notre capteur fournit une intensité de signal maximale en présence d'une goutte d'eau, plus elle grossit, plus le signal tend vers un maximum (1,5 Volt dans le cas de l'eau). Ces tracés mettent en évidence : 1) la présence d'un retard sur l'arrivée de la première goutte, 2) des gouttes résiduelles qui

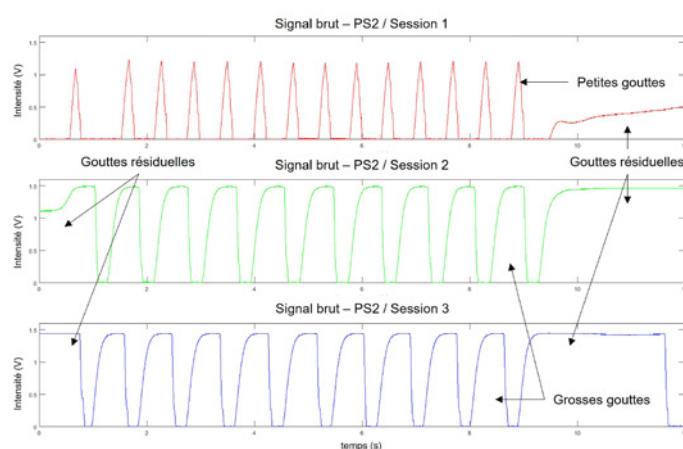


Figure 6. Signaux enregistrés représentatifs de l'écoulement des stimuli délivrés par le pousse-seringue 2 lors de 3 sessions réalisées à des moments différents

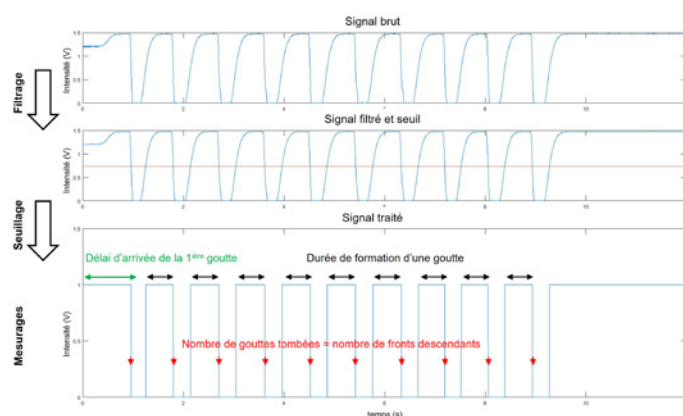


Figure 7. Traitement du signal pour extraire les caractéristiques d'intérêt

ne tombent pas à la fin de l'infusion et qui restent suspendues sur le toboggan jusqu'au début de l'infusion suivante, 3) un nombre de goutte différent suivant les répétitions et 4) une variabilité du volume des gouttes quand elles se détachent de l'embout (autrement dit, une variabilité de la durée de formation des gouttes). Ces jeux de données ont été traités pour compter le nombre de gouttes écoulées, déterminer la durée de formation des gouttes et mesurer le temps d'arrivée de la première goutte (figure 7).

Les figures 8.a, 8.b et 8.c illustrent les statistiques descriptives effectuées sur les mesures issues des tracés et sur les pesées relevées pour nos 4 pousse-seringues (12 stimulations durant 9 secondes pour les seringues 01 à 03 et 48 pour la seringue 00) durant les 3 sessions. Il apparaît que le nombre de gouttes est plutôt stable dans une même session alors qu'il y a une différence intersession : environ 15 gouttes pour la session 1 et environ 10 gouttes pour les sessions 2 et 3. La durée de formation d'une goutte d'eau est stable dans chaque session alors qu'il y a une différence intersession, elle est plus longue dans les sessions 2 et 3 car il y a moins de gouttes

mais leur volume est plus important. Le délai d'arrivée de la première goutte avoisine la seconde dans les 3 sessions, cependant la variabilité est plus élevée dans les sessions 2 et 3. Quant à la quantité totale délivrée, elle est stable et reproductible.

L'analyse des données métrologiques a permis de mettre en évidence un décalage temporel entre le déclenchement du pousse-seringue, qui coïncide avec le début de la tâche *Drink* et l'arrivée de la première goutte dans la bouche du participant. Tout comme les gouttes résiduelles, ce décalage est dû à la durée de formation des gouttes avant d'atteindre la taille critique causant sa chute.

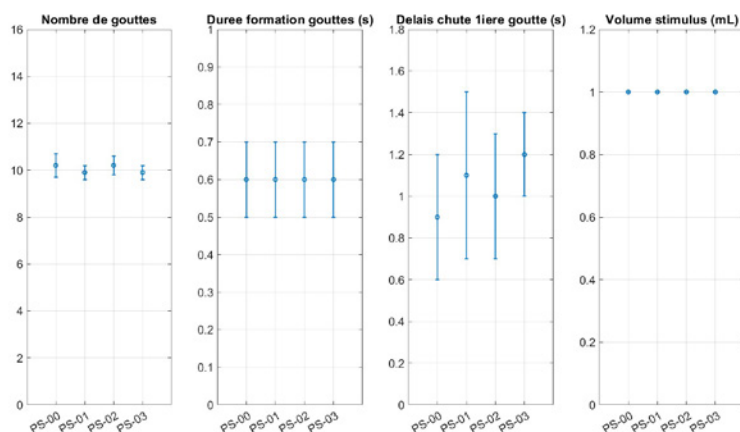


Figure 8.a. Statistiques sur les caractéristiques de notre stimulateur pour la session 1

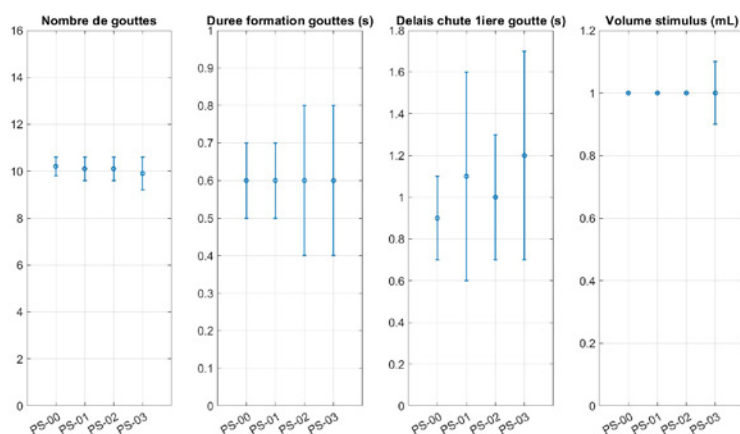


Figure 8.b. Statistiques sur les caractéristiques de notre stimulateur pour la session 2

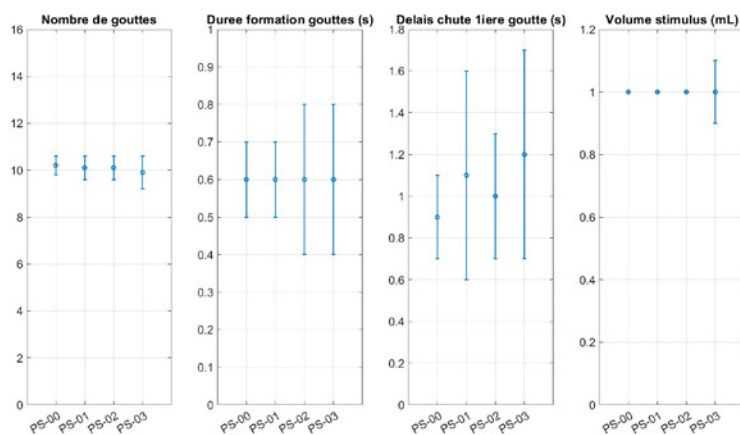


Figure 8.c. Statistiques sur les caractéristiques de notre stimulateur pour la session 3

La taille des gouttes, liées directement à leur nombre, varie d'une session à une autre. L'hypothèse la plus probable est la position de l'embout, selon son angle d'inclinaison les gouttes tombent plus ou moins lentement, deviennent plus ou moins grosses et sont plus ou moins nombreuses. Cette position dépend donc de la morphologie du participant et devrait être la même quelle que soit sa session.

Cette analyse a aussi permis de déterminer la reproductibilité sur la masse du stimulus délivré, 1 ml $\pm$ 0,5 % avec un niveau de confiance de 95 %. Par ailleurs, ces essais ont montré l'apparition de bulles d'air dans les tubulures venant de l'embout du stimulateur. Ce retour d'air a été compensé en poussant en continu à un débit très faible, autour de 1 ml/h, pendant l'inactivité des pousse-seringues. En pratique, en plaçant l'embout du stimulateur juste au-dessus de la langue du participant et en lui indiquant d'attendre d'avoir la quantité totale en bouche avant de déglutir, la solution est consommée de la première à la dernière goutte. Finalement, notre stimulateur délivre bien des solutions de manière reproductible dans une même session conformément au cahier des charges.

Pilotage global : paradigme, stimulateur et acquisitions IRMf

Après avoir validé notre stimulateur, tous les équipements nécessaires aux expérimentations d'IRMf ont été assemblés. La plupart ont été mis à notre disposition par le CHU de Clermont-Ferrand :

- Un ordinateur (HP Z800) sur lequel est installé le logiciel E-Prime®
- Une paire de lunettes de NordicNeuroLab dans laquelle défilent les instructions visuelles générées par le paradigme à suivre par le sujet,
- Un boîtier de contrôle Lumina LP-400 de Cedrus® pour synchroniser le paradigme avec les acquisitions RMN,
- Et enfin une souris optique 904-SCRL de Curent Design® pour interagir avec le paradigme (retour sujet).

C'est le logiciel E-Prime® qui commande ces différents dispositifs dans le temps. Cet assemblage constitue notre dispositif, un programme a été développé pour initialiser les pousse-seringues et le paradigme écrit sous E-Prime® a été paramétré pour synchroniser le paradigme

et l'activation des pousse-seringues. La figure 9 présente une vue d'ensemble de la mise en œuvre de notre dispositif.

Les armoires électroniques de l'imageur 3 Tesla ont été configurées pour générer une impulsion électrique au démarrage de la séquence d'IRMf (trigger). Cette impulsion est la référence temporelle de l'ensemble de notre système. Elle arrive au boîtier de contrôle Lumina LP-400 déclenchant aussitôt le déroulement du paradigme. Ainsi la séquence IRMf et le paradigme sont synchronisés. Dans l'imageur, le participant est allongé, la tête placée dans l'antenne RF sur laquelle est fixée la paire de lunettes vidéo dans laquelle défilent les consignes et l'embout du stimulateur par où transitent les boissons. Le participant a sous la main une souris optique qui peut être utilisée par exemple, pour évaluer le stimulus consommé ou son état de satiété. Le pilotage des pousse-seringues est contrôlé par le paradigme via la liaison série (Port COM 1). Les vannes 3-voies permettent de remplir les tubulures de solutions et de chasser les bulles d'air.

Les paradigmes sont conçus sous le logiciel de conception d'expériences E-Studio® de la suite E-Prime®. Les tâches principales sont :

- De présenter des informations (textes, images) aux participants au travers des lunettes vidéo,
- D'ordonner le démarrage des pousse-seringues pour délivrer une solution,
- De recueillir les réponses du sujet à l'aide de la souris optique,
- D'enregistrer les données d'intérêt : le couple date-durée de chaque présentation des stimuli, aussi appelées onsets.

Le déroulement temporel de ces tâches doit être strictement contrôlé et synchronisé avec les acquisitions IRM et le déclenchement des pousse-seringues. Le logiciel E-Studio® reste relativement limité dans son utilisation de base. Par contre pour une utilisation avancée, un niveau avancé en programmation dans le langage E-Basic® (proche de Visual Basic) propre à E-Prime® est requis. C'est le cas notamment pour les fonctionnalités suivantes : créer une Echelle Visuelle Analogique (EVA), choisir une image parmi d'autres, piloter les pousse-seringues de manière synchrone avec une tâche etc. La qualité de la conception du paradigme est cruciale, elle garantit la fiabilité des expériences par IRMf. Les points clés à retenir sont l'initialisation automatisée des pousse-seringues et la synchronisation entre le paradigme et les pousse-seringues.

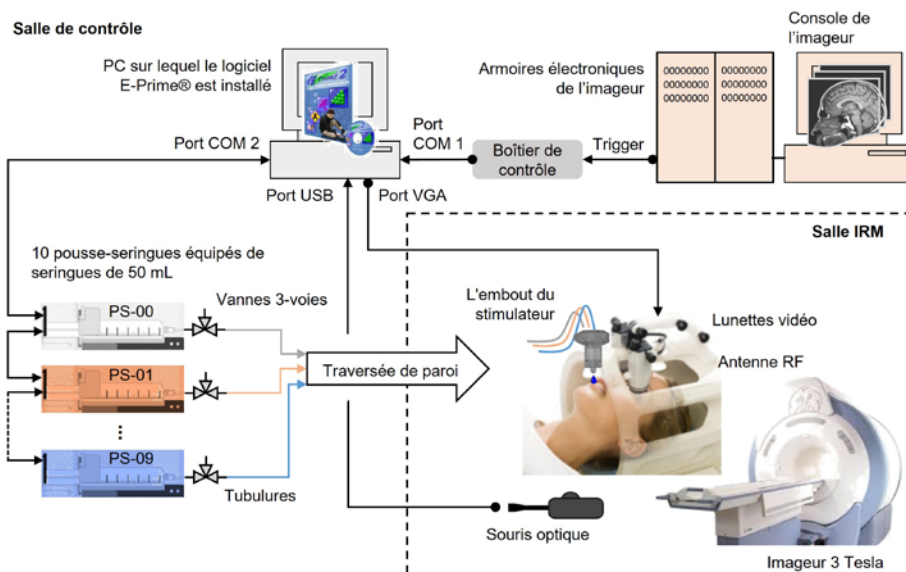


Figure 9. Mise en œuvre de notre dispositif

L'initialisation informatique des pousse-seringues

L'initialisation des pousse-seringues consiste à leur assigner le diamètre de la seringue utilisée, de remettre à zéro le compteur de volume dispensé et d'écrire les programmes dans la zone mémoire. Cette opération est à exécuter avant chaque examen d'IRMf. Pour faciliter cette tâche, l'initialisation des pousse-seringues a été informatisée sous E-Prime® (bien que ça ne soit pas un paradigme) autour de l'objet «List» illustré par la figure 10 et offre l'avantage de rendre compte de leur bon fonctionnement en un coup d'œil sur le rapport généré sur l'écran de l'ordinateur. Pour couvrir les besoins de la plupart des paradigmes d'IRMf, 3 programmes ont été implémentés dans la mémoire des pousse-seringues, aux index mémoires 1, 5 et 9. Le premier dédié à la stimulation, le second dédié au rinçage de la bouche et le dernier compense le retour d'air observé dans la phase de validation du stimulateur. Pour chacun de ces programmes, il est possible de fixer les débits en modifiant les valeurs dans la colonne «Debit» de l'objet «ListFonction». Les programmes enregistrés dans chaque pousse-seringue consistent à émettre un signal sonore qui indique le bon démarrage du pousse-seringue sollicité («BEP»), à infuser selon les arguments suivants : débit («RAT720MM ou RAT01MH»), volume («VOL01 ou VOL00»), et direction («DIRINF»), à émettre à nouveau un signal sonore («BEP») qui marque la fin de l'infusion et à s'arrêter («STP»).

Summary
10 Samples (1 cycle x 10 samples/cycle)
1 Cycle equals 10 samples
Sequential Selection

Scrutation de la liste de façon séquentielle pour générer les instructions et les envoyer à chaque PS via le port série

ID	Weight	Nested	Procedure	Fonction	Description	Debit	Unit	Volume	Direction
1			Programme qui délivre la boisson	ProfFonct	BEP	Sound short beep			
2				ProfFonct	RAT	Pumping rate 720ml/h 1ml ou 12 ml/min	12	MM	1
3				ProfFonct	BEP	Sound short beep			
4				ProfFonct	STP	Stop			
5			Programme qui rince	ProfFonct	BEP	Sound short beep			
6				ProfFonct	RAT	Pumping rate 720ml/h 1ml ou 12 ml/min	12	MM	1
7				ProfFonct	BEP	Sound short beep			
8				ProfFonct	STP	Stop			
9			Programme qui compense le retour d'air	ProfFonct	RAT	Pumping rate 10ml/h à l'infini	1	MM	0
10				ProfFonct	STP	Stop			

Figure 10. Initialisation automatique des pousse-seringues

Ajout d'une tâche qui s'exécute dès la fin de la slide "ReadyStim" qui précède l'écoulement de la boisson

Envoie sur le port série d'une chaîne de caractère

Indexation sur la liste de choix importée (en tableau)

AdressPS	3	8	6
Boisson	Auchan Pur Jus Pomme	Superfruits Myrtille Raisin	Oasis Fraise Banane
Image	ImageC	ImageA	ImageB

ProgBoisson est une constante prédéfinie qui contient l'index mémoire où se trouve le programme qui délivre la boisson

Utilisation des crochets pour accéder de façon dynamique aux variables du cycle actuel de la VcList ci-dessus
[AdressPS]RUN[ProgBoisson][CR]
Exemple : si imageC a été sélectionnée alors la chaîne de caractère 08RUN01vIn est envoyée pour délivrer la boisson N°3 (Auchan Pur Jus Pomme)

Figure 11. Paramétrage dynamique pour synchroniser la stimulation et la tâche invitant le sujet volontaire à recevoir la boisson

Mise en œuvre du dispositif dans le cadre du projet PleasIn

Le projet PleasIn s'intéressait au comportement alimentaire ; il découlait du métaprogramme Dit'It porté par INRAE impliquant 9 départements de recherche et 37 unités de recherche dont la nôtre. L'objectif était d'étudier l'effet du choix sur la valeur subjective lors de la consommation de boissons palatables. L'hypothèse de travail était que le plaisir associé augmente en présence de choix, comparé à la situation où la même boisson était imposée. Dans ce contexte, un paradigme a été développé pour délivrer de manière équilibrée des boissons en situation de choix ou de non-choix. Le paradigme est composé de 2 blocs de tâches : le bloc choix et le bloc non-choix (figure 12). Au cours de ces blocs, le participant appréhende via des visuels dans les lunettes vidéo la situation de choix ou de non-choix, puis il est invité à consommer une boisson

choisie (bloc choix) ou imposée (bloc non-choix). Il est ensuite averti de l'arrivée du stimulus avant son écoulement. Pour évaluer au mieux la valeur subjective associée à la boisson reçue, le participant évalue le stimulus au moyen d'une EVA. Pour cette évaluation, le sujet déplace un curseur à l'aide de la souris le long d'un segment horizontal dont les extrémités correspondent aux notes minimale et maximale. Le participant déglutit et reçoit ensuite de l'eau pour se rincer la bouche. Au total, le participant reçoit 45 stimuli dans chaque mode. Durant tout le déroulement du paradigme, une série d'image 3D du cerveau est enregistrée par l'IRM en continu. La création de ce paradigme est d'une grande complexité, en particulier l'EVA et la sélection interactive de la boisson représentée par une image, elles ne seront pas expliquées dans cet article, en revanche, les lecteurs les plus curieux pourront toujours s'inspirer du paradigme partagé dans la forge logicielle <https://forge.inrae.fr/abdlatif.benmoussa/mri-gustometer>.

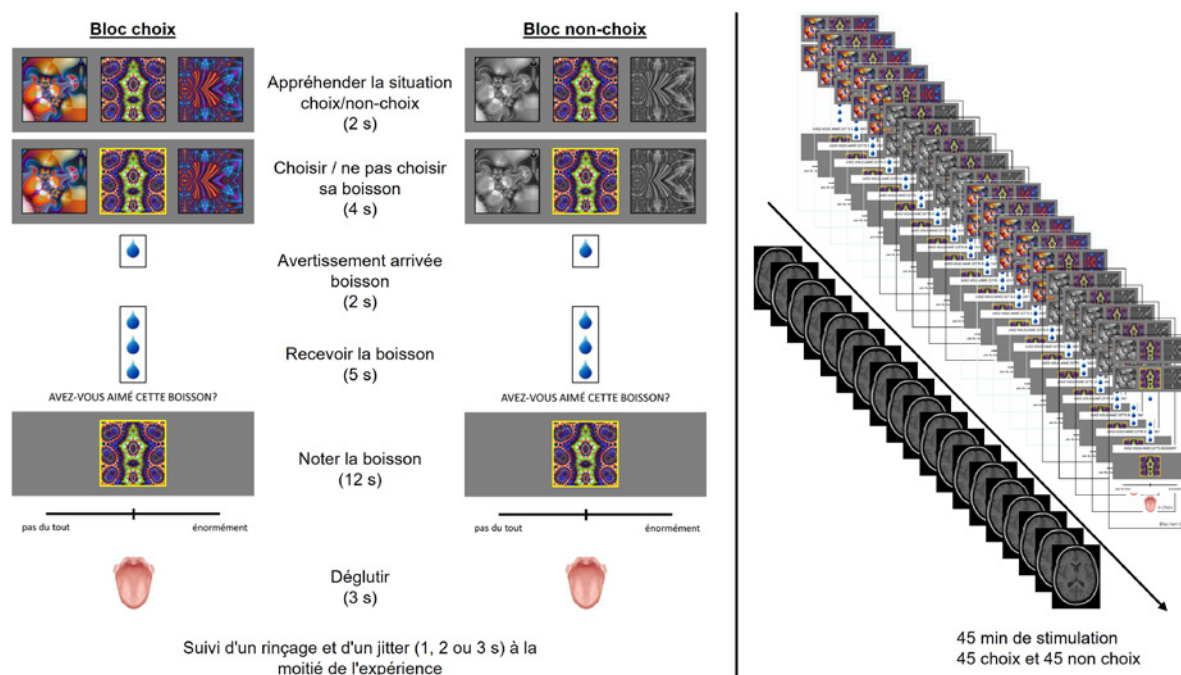


Figure 12. Paradigme pour stimuler le sujet volontaire en situation de Choix et de Non-choix (à gauche) et enregistrement des images 3D du cerveau en parallèle (à droite)

Conclusion

Un dispositif compatible avec l'IRM pour stimuler les sens chimiques chez l'homme et capturer les retours sujet a été développé et validé par notre équipe au sein de la plateforme AgroRésonance d'INRAE. Cet article montre qu'il est possible de fabriquer la partie « stimulateur » à 10 canaux du dispositif pour un coût d'environ 10 000 € contre plus de 20 000 € dans le commerce. Notre dispositif combine les actuateurs dont le stimulateur et des capteurs compatible IRM. Il a été interfacé avec l'IRM du CHU et il est pilotable par E-Prime®. Les plans pour réaliser l'embout et les fichiers E-prime® sont disponibles dans la forge logicielle <https://forge.inrae.fr/abdlatif.benmoussa/mri-gustometer>.

Cet équipement a déjà fonctionné sur 3 projets : le premier visant à étudier le codage de l'intensité salée (Iranpour, 2014), le second à étudier l'effet de l'anticipation sur la valeur subjective (Davidenko, 2015) et le dernier présenté dans cet article (projet PleasIn) dans lequel plus de 60 sujets volontaires ont participé. Plusieurs articles scientifiques ont été publiés sur ces 3 projets. L'ensemble du dispositif constitue un outil original, indispensable à la réalisation d'expériences d'IRMf dans lesquelles le sujet doit être soumis à une stimulation par un aliment liquide. ■

Références

Veldhuizen, M. G., Bender, G., Constable, R. T., & Small, D. M. (2007). Trying to Detect Taste in a Tasteless Solution : Modulation of Early Gustatory Cortex by Attention to Taste. *Chemical Senses*, 32(6), 569-581. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjm025>

Iranpour, J. (2014). *Analyse cérébrale fonctionnelle de stimuli olfacto-gustatifs alimentaires : aliments modèles et intensité salée* [thèse de doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand]. Thèses.fr. <https://theses.fr/s104204>

Davidenko, O. (2015). *Influence of expectations on experienced pleasure from food* [thèse de doctorat, Université AgroParisTech].



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.