

**TITRE DU PROJET : Rôle de l'expérience dans la construction de la flaveur et la mise en place du renforcement de la saveur par l'arôme: études méthodologiques, sensorielles, et en EEG.**

**1) Renseignements administratifs sur la direction de thèse (1 page maximum) :**

Directeur de thèse HDR :  
Nom : Thomas-Danguin  
Prénom : Thierry

Co-directeur de thèse éventuel :  
Nom : Sinding  
Prénom : Charlotte

**2) Descriptif du projet de thèse (devra inclure les rubriques suivantes) :**

- nom et label de l'unité de recherche (ainsi que l'équipe interne s'il y a lieu)

CSGA, Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation

équipe : Flaveur, Food Oral Processing et Perception

- localisation

INRAE - CSGA

17 rue Sully, 21000, Dijon

- nom du directeur de thèse et du co-directeur s'il y a lieu

Thierry Thomas-Danguin (directeur de thèse)

Charlotte Sinding (co-directrice)

- adresse courriel du contact scientifique

[charlotte.sinding@inrae.fr](mailto:charlotte.sinding@inrae.fr)

- description du projet (2 pages maximum)

**1. Contexte du projet**

La perception de la flaveur est décisive lors de nos choix alimentaires. Elle est notre représentation mentale de l'aliment provenant de l'intégration à minima de l'arôme (odeur) et de la saveur (goût) d'un aliment. La perception de la flaveur (ex: glace à la vanille) est la représentation mentale unifiée de l'aliment qui découle de l'intégration neuronale de l'arôme (ex: vanille) et de la saveur (ex: sucré). La perception d'une qualité unifiée, la flaveur, pour l'ensemble de l'aliment, est en fait priorisée par notre cerveau aux détriments des perceptions initiales de l'arôme et de la saveur. Il est ainsi difficile d'identifier l'odorat comme participant à la perception du « goût » de l'aliment. L'intégration de l'arôme et de la saveur donne lieu à un phénomène intéressant; l'arôme initialement uniquement odorant peut être perçu avec une composante gustative (Sinding et al., 2022). Ce phénomène est défini comme le renforcement de la saveur par l'arôme. La vanille, par exemple, est souvent perçue comme sucrée, bien qu'elle ne stimule aucunement les récepteurs gustatifs. Il semblerait que les zones gustatives cérébrales puissent être activées par des zones olfactives ou bien des zones intégratives de la flaveur (Seo et al., 2013; Seubert et al., 2015) par des processus de types top-down. Cependant, peu d'étude ont montré l'organisation en termes de communication entre les zones du réseau de la flaveur. Par ailleurs, nous ne connaissons pas les mécanismes intégratifs qui permettent l'unification de l'arôme et de la saveur sous forme de flaveur. Nous supposons que ces processus ont lieu tout au long de la vie par le biais de l'expérience répétée d'une saveur avec un arôme.

Comme toutes les représentations mentales, la construction de la représentation de l'aliment à partir de nos sens chimiques est individuelle. Elle dépend, principalement, des expériences alimentaires

de chacun. Nous supposons qu'une personne qui dégustera plus fréquemment la vanille dans des aliments sucrés construira une intégration plus forte entre l'odeur de vanille (arôme) et la saveur sucrée de l'aliment. Une étude a montré qu'une seule exposition entre un odorant non familier et du sucre suffisait à induire une intégration arôme-saveur, de sorte que l'arôme est ensuite perçu comme sucré (Prescott et al., 2004). Cet apprentissage semble être implicite et résistant à l'interférence (Stevenson et al., 2000). Cependant, une étude visant à reproduire ces associations n'a pas été concluante (Fondberg et al., 2021). D'autres études sont donc nécessaires pour répondre à la question des origines de la flaveur.

Les modèles d'apprentissage olfacto-gustatif sont difficiles à mettre en œuvre, car les paramètres critiques de la phase d'exposition (temps d'exposition, répétitions, phase de consolidation) ne sont pas bien connus. Par conséquent, nous aimerions consacrer un projet de doctorat à cette recherche fondamentale dans le domaine de la perception multisensorielle des sens chimiques. Pour cela, nous emploierons deux approches, une approche descriptive en évaluation sensorielle, et une approche EEG nous permettant de mettre en évidence les effets supposés d'apprentissage associatifs de type top-down permettant le renforcement de la saveur par l'arôme. Les méthodes d'évaluation sensorielle nous permettront de mesurer subjectivement les mécanismes d'association goût odeur sur un panel de sujet naïfs. Cela apportera des informations sur le nombre d'expositions nécessaires pour créer une intégration saveur-arôme permettant le renforcement de la saveur par l'arôme et éventuellement sur la persistance de ces nouvelles associations. La méthode d'EEG permettra de compléter efficacement l'évaluation sensorielle en mettant en évidence les mécanismes cérébraux à la base de ces intégrations cross-sensorielles. L'EEG permet en effet de capter l'activité cérébrale de groupes de neurones qui répondent instantanément (quelques dizaines de millisecondes) aux stimulations et par conséquent d'évaluer le déroulement temporel du traitement cérébral de l'information olfacto-gustative.

## 2. Objectifs et Gantt du projet

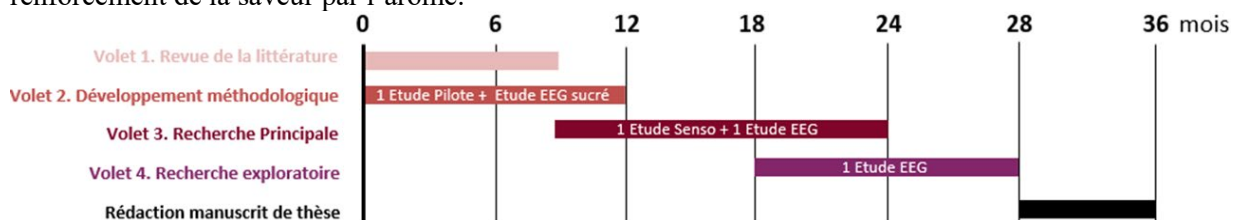
La question de recherche principale sera d'étudier le rôle de l'expérience dans la construction de la flaveur et dans la mise en place du renforcement de la saveur par l'arôme. Le projet sera structuré en volets comprenant des études sensorielles et d'électroencéphalographie.

**Volet 1** – Revue de la littérature : Effets de l'expérience sur l'intégration saveur-arôme et le phénomène de renforcement de la saveur par l'arôme.

**Volet 2** – Développement méthodologique : Synchronisation des perceptions olfacto-gustatives permettant un fort renforcement du goût par l'arôme pour améliorer la qualité du signal EEG et faciliter leur interprétation. Ce volet donnera lieu notamment à des développements en termes de construction d'un design de stimulation approprié et de traitement du signal par une combinaison de différentes méthodes et outils d'analyse EEG.

**Volet 3** – Recherche principale : Etude des effets de l'expérience sur la formation de la flaveur et les mécanismes cérébraux associés. Notre objectif est d'étudier les processus cérébraux qui sous-tendent l'intégration du goût et de l'odeur après une/des expositions à un arôme neutre en goût et une saveur et le potentiel effet de renforcement par des approches psychophysiques et d'EEG.

**Volet 4** – Recherche exploratoire : Etude de l'organisation du réseau de la flaveur. Bien que l'EEG fournisse peu d'information spatiale sur les zones à la base des différentes composantes cérébrales traitant l'information, il existe des techniques permettant d'extraire les sources émettrices des composantes cérébrales et de comprendre leur organisation. Notre objectif est donc de mettre en évidence l'organisation, en termes de connectivité, des structures cérébrales qui interviennent dans le renforcement de la saveur par l'arôme.



## 3. stratégies et méthodes mises en œuvre

Le volet 2 correspond à un volet développement méthodologique primordial pour optimiser l'efficacité des méthodes de stimulation et par conséquent la pertinence et la qualité du signal d'EEG recueilli. Nous étudierons un certain nombre de paramètres qui permettraient de resynchroniser les perceptions gustatives et olfactives pour obtenir un signal EEG comprenant les composantes et donc de maximiser la perception multisensorielle pour en étudier les effets combinatoires. Plusieurs stratégies pourront être mises en œuvre, notamment l'étude, à l'aide de protocole d'analyse sensorielle, des paramètres de

respiration qui permettraient de réduire les délais de perception olfactive par voie rétronasale pour l'automatisation des stimulations (Ni et al., 2015) ou encore la mise en œuvre de protocoles et de méthodes de correction du signal EEG (algorithmes de reconstruction de signal AAR & ICA) qui permettent d'exploiter des données bruitées par des artefacts musculaires liés à la déglutition.

Dans le volet 3, nous répliquerons une étude fondatrice de l'apprentissage arôme-saveur (Prescott et al., 2004). Cette étude montre qu'une seule exposition entre un arôme non associé à une saveur et une saveur primaire (sucré ou acide) suffit à conférer une composante gustative à l'arôme. Cela semble montrer que les systèmes olfactif, gustatif étendus au réseau de la flaveur sont extrêmement plastiques. Nous chercherons ici à étendre cette découverte intrigante pour voir si cette association permet d'induire un renforcement de la saveur par l'arôme (étude sensorielle). Nous souhaitons également étudier les corrélats cérébraux qui sous-tendent ces intégrations rapides entre les sens (étude EEG), avec des enregistrements avant et après l'exposition conjointe arôme-saveur.

Le volet 4 représente une partie exploratoire destinée à l'étude fonctionnelle du réseau de la flaveur. Il s'agira d'étudier plus en avant l'intégration hiérarchique et temporelle multimodale (arôme-saveur) à l'aide de méthodes de connectivité fonctionnelle et effective basées sur la localisation de sources en EEG. Ces méthodes permettent respectivement d'étudier la synchronisation entre deux régions d'intérêt au niveau cortical et de déterminer l'influence (l'antériorité et la directionnalité) d'une zone sur une autre (Cao et al., 2021; Miljevic et al., 2022). En étudiant la synchronisation de différentes zones impliquées dans le réseau de la flaveur et la temporalité de ces activités, il est possible de comprendre comment plusieurs zones intègrent les informations olfacto-gustatives dans des processus top-down ou bottom-up et de mieux comprendre le dialogue entre les cortex olfactifs et gustatifs primaires et les zones de second ordre.

#### **4. résultats attendus**

Ce projet de thèse donnera lieu à des résultats scientifiques fondateurs pour mieux comprendre les interactions entre nos sens chimiques permettant le choix d'aliments intéressants d'un point de vue nutritionnel. En effet, nous souhaitons comprendre comment la synesthésie entre nos sens olfactifs et gustatif peut être mis en place au cours de la vie par des expériences d'exposition en laboratoire, selon des protocoles qui ont déjà fait leur preuve, mais n'ont jamais été répliqués. L'ajout d'une approche EEG permettra de comprendre les mécanismes neuronaux permettant la mise en place du renforcement de la saveur par un arôme. Enfin, les études de connectivité en EEG permettront de comprendre l'organisation du réseau de la flaveur et de mettre en évidence le dialogue entre les systèmes olfactifs et gustatifs dans le cerveau. Enfin, la partie méthodologique du projet permettra le développement de méthodologies standardisées pour l'acquisition et le traitement du signal EEG recueilli lors de stimulations des sens chimiques.

## Références

- Cao, J., Zhao, Y., Shan, X., Wei, H., Guo, Y., Chen, L., Erkoyuncu, J.A., Sarrigiannis, P.G., 2021. Brain functional and effective connectivity based on electroencephalography recordings: A review. *Hum Brain Mapp* 43, 860–879. <https://doi.org/10.1002/hbm.25683>
- Fondberg, R., Lundström, J.N., Seubert, J., 2021. Odor-taste interactions in food perception: Exposure protocol shows no effects of associative learning. *Chemical Senses* 46. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjab003>
- Miljevic, A., Bailey, N.W., Vila-Rodriguez, F., Herring, S.E., Fitzgerald, P.B., 2022. Electroencephalographic Connectivity: A Fundamental Guide and Checklist for Optimal Study Design and Evaluation. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging* 7, 546–554. <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2021.10.017>
- Ni, R., Michalski, M.H., Brown, E., Doan, N., Zinter, J., Ouellette, N.T., Shepherd, G.M., 2015. Optimal directional volatile transport in retronasal olfaction. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112, 14700–14704. <https://doi.org/10.1073/pnas.1511495112>
- Prescott, J., Johnstone, V., Francis, J., 2004. Odor-taste interactions: effects of attentional strategies during exposure. *Chemical senses* 29, 331–40. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjh036>
- Seo, H.-S., Iannilli, E., Hummel, C., Okazaki, Y., Buschhüter, D., Gerber, J., Krammer, G.E., van Lengerich, B., Hummel, T., 2013. A salty-congruent odor enhances saltiness: functional magnetic resonance imaging study. *Human brain mapping* 34, 62–76. <https://doi.org/10.1002/hbm.21414>
- Seubert, J., Ohla, K., Yokomukai, Y., Kellermann, T., Lundström, J.N., 2015. Superadditive opercular activation to food flavor is mediated by enhanced temporal and limbic coupling. *Human Brain Mapping* 36, 1662–1676. <https://doi.org/10.1002/hbm.22728>
- Sinding, C., Saint-Eve, A., Thomas-Danguin, T., 2022. Multimodal sensory interactions, in: Guichard, E., Salles, C. (Eds.), *Flavor: From Food to Behaviors, Wellbeing and Health*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Cambridge, United States, pp. 205–231. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89903-1.00001-3>
- Stevenson, R.J., Boakes, R.A., Wilson, J.P., 2000. Counter-conditioning Following Human Odor–Taste and Color–Taste Learning. *Learning and Motivation* 31, 114–127. <https://doi.org/10.1006/lmot.1999.1044>

### - Financement du projet – partie Recherche (montants acquis, type de contrat)

#### AAP obtenus :

-Projet ANR AROMA (09.2021 - 08.2026, 261 680 euros, dont il reste 46 000 euros, PI C. Sinding)

-Projet AromaTaste (09.2023 - 12.2027, 50 000 euros, dont il reste 13 000 euros, PI C. Sinding)

#### AAP à venir :

-Dépôt projet preuve de concept Carnot Qualiment INRAE (2025 ou 2026, 20 000 €)

-Dépôt projet région (2026-2027, 10 000€)

-Dépôt projet ANS INRAE (2024-2026, 30 000€)

### - connaissances et compétences requises

- M2 en neurosciences humaines, ou en évaluation sensorielle humaine
- L'expérience en chimiosensorialité est un plus
- Une expérience avec l'EEG (acquisition et/ou analyse Matlab, Python, R) est un plus
- Bonnes capacités d'écriture scientifique
- Bonnes capacités d'organisation, rigueur et sens des responsabilités
- Capacité à travailler en équipe et à apprendre en autonomie tout en étant guidé par les encadrants

- Contact facile et rassurant auprès des participant.e.s à l'étude (la pratique courante du Français est nécessaire)

### **Résumé en français et anglais (limité chacun à 1800 caractères)**

La perception de la saveur est notre représentation mentale d'un aliment provenant de l'intégration à minima de l'arôme (odeur) et de la saveur (goût) de cet aliment, et est décisive lors de nos choix alimentaires. L'intégration de l'arôme et de la saveur donne lieu à un phénomène intéressant; l'arôme initialement uniquement odorant peut-être perçu avec une composante gustative. Ce phénomène est défini comme le renforcement de la saveur par l'arôme. Comme toutes les représentations mentales, la construction de la représentation de l'aliment à partir de nos sens chimiques est individuelle et dépend, principalement, des expériences alimentaires de chacun. Ainsi, une étude a montré qu'une seule exposition entre un odorant non familier et du sucre suffisait à induire une intégration arôme-saveur, de sorte que l'arôme est ensuite perçu comme sucré. Cet apprentissage semble être implicite et résistant à l'extinction et à l'interférence. Cependant, les essais visant à reproduire ces associations n'ont pas été concluants, et donc d'autres études sont nécessaires pour comprendre comment notre cerveau crée la saveur. Ce projet de doctorat vise donc à étudier les effets d'expérience sur la formation de la saveur et vise à étudier les processus cérébraux qui sous-tendent l'intégration du goût et de l'odeur ainsi que le potentiel effet de renforcement après une/des expositions à un arôme neutre (non associé à un goût) et une saveur. Pour cela, nous emploierons deux approches, une approche en évaluation sensorielle, et une approche par électroencéphalographie (EEG) nous permettant de mettre en évidence les effets supposés d'apprentissage associatifs de type top-down menant au renforcement de la saveur par l'arôme. De manière générale, le projet de thèse a pour but de comprendre plus en profondeur comment les structures cérébrales impliquées dans le réseau de la saveur communiquent dans le temps pour former cette perception multisensorielle à l'aide de différentes méthodes de d'analyse fréquentielle, de potentiels évoqués et de connectivité cérébrale en EEG.

Flavour perception is a mental representation of food, resulting from the integration of aroma (smell) and taste, and is decisive in our food choices. The integration of aroma and taste leads to an interesting phenomenon: the aroma, initially only odorous, can then be perceived with a gustatory component. This phenomenon is defined as the Odor-Induced Taste Enhancement (OITE). Like all mental representations, the construction of food representations from our chemical senses is individual and depends on people's eating experiences. For example, one study showed that a single exposure to an unfamiliar odorant associated with sugar was strong enough to induce aroma-taste integration so that the aroma is then perceived as sweet. This learning seems to be implicit and resistant to interferences and extinction. However, attempts to reproduce these associations have been inconclusive, and further investigations are needed to understand how our brains create flavour perceptions. This PhD project aims to study the effects of experience over flavour formation and aims to investigate the brain processes underlying the integration of taste and aroma and the potential enhancing effect following exposure(s) to a neutral aroma (not initially associated with a taste) and a taste. To this end, we will use different approaches; a sensory evaluation approach, and an electroencephalographic (EEG) approach to highlight top-down associative learning effect underlying OITE effects. Overall, by using different methods of frequency analyses, ERPs and brain connectivity, the global aim of the project will be to understand more in-depth how the brain structures involved in the flavour network communicate over time to build this multisensory perception.

### **Préciser le domaine de compétence dans la liste ci-dessous (2 choix possibles maximum – ne pas modifier les intitulés : ils sont imposés par certains sites web) :**

Biologie  
Psychologie, neurosciences

### **Mots clés :**

Perception, apprentissage, goût, odeur, cerveau