



**HAL**  
open science

## Stratégies permettant de compenser les pertes organoleptiques associées à la reformulation des aliments dans un objectif nutritionnel

Thierry Thomas-Danguin, Charlotte Sinding, Elisabeth Guichard

### ► To cite this version:

Thierry Thomas-Danguin, Charlotte Sinding, Elisabeth Guichard. Stratégies permettant de compenser les pertes organoleptiques associées à la reformulation des aliments dans un objectif nutritionnel. *Innovations Agronomiques*, 2019, 78 (2019), pp.27-40. 10.15454/c26a-xx41 . hal-02624067

**HAL Id: hal-02624067**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02624067v1>**

Submitted on 26 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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

## Stratégies permettant de compenser les pertes organoleptiques associées à la reformulation des aliments dans un objectif nutritionnel

Thomas-Danguin T.<sup>1</sup>, Sinding C.<sup>1</sup>, Guichard E.<sup>1</sup>, Salles C.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, INRA, CNRS, AgroSup Dijon, Université Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon

Correspondance : [Thierry.thomas-danguin@inra.fr](mailto:Thierry.thomas-danguin@inra.fr)

### Résumé

La nécessité de disposer d'une offre alimentaire qui permette aux consommateurs de suivre les recommandations nutritionnelles des organisations de santé publique est toujours aussi pressante. Pour cela il est nécessaire de développer des stratégies permettant de compenser les pertes organoleptiques associées à la réduction des teneurs en matières grasses et en sel et/ou sucre. Plusieurs stratégies sont déjà mises en œuvre et/ou encore à l'étude. Notre laboratoire concentre ses travaux sur les stratégies s'appuyant sur les interactions multimodales, notamment entre les saveurs et les arômes. Dans cet article, nous présentons des études récentes qui nous ont permis de démontrer que certains arômes ont la capacité de renforcer la perception des saveurs salée et sucrée, mais aussi la perception de la matière grasse. Nous avons développé des méthodologies permettant de sélectionner, parmi les arômes naturellement présents dans un aliment, ceux qui sont associés à ces saveurs ; puis de tester ceux qui ont la capacité de compenser des réductions en gras, sel ou sucre pouvant aller jusqu'à 30%. Des réductions plus importantes peuvent être compensées sensoriellement en combinant cette stratégie avec d'autres stratégies comme la substitution partielle ou la distribution optimisée des composés gustatifs.

**Mots-clés** : Saveur, Arôme, Flaveur, Interactions multimodales, Renforcement inter-sensoriel

### Abstract : Strategies to counterbalance sensory losses associated with food reformulation targeting nutritional quality improvement

The need for food supply that helps consumers to follow nutritional recommendations of public health organizations is still pressing. Therefore, it is required to develop strategies to compensate sensory losses associated with the decrease in the levels of fat and salt and/or sugar. Several strategies are already implemented and/or are still under study within research projects. Our laboratory focuses on strategies that aim leveraging multisensory interactions such as aroma-taste interactions. In this paper, we present recent studies that have allowed us to show that certain aromas can enhance the perception of salty and sweet taste, and the perception of fat content. We have developed methodologies which help selecting the aromas, naturally present in a food, that are associated to these tastes; then to test those aromas that have the ability to compensate for reductions in fat, salt or sugar up to 30%. Higher reductions can be targeted by combining this aroma-based strategy with others such as the partial substitution or the distribution optimisation of flavor-active compounds.

**Keywords**: Taste, Aroma, Flavor, Multisensory interactions, Odor-induced taste enhancement

## 1. Introduction

### 1.1 Recommandations concernant l'apport en gras/sel/sucre

L'adoption d'un régime alimentaire sain tout au long de la vie contribue à prévenir toutes les formes de malnutrition, ainsi qu'un grand nombre de maladies et pathologies non transmissibles parmi lesquelles le diabète, les cardiopathies, les accidents vasculaires cérébraux et le cancer. Une mauvaise alimentation et le manque d'exercice physique sont les principaux risques pour la santé à l'échelle mondiale.

L'organisation mondiale de la santé (OMS) propose des recommandations relatives à la limitation de la consommation en graisses, sucre et sel (WHO, 2018). Selon l'OMS, les graisses ne devraient pas dépasser 30 % de l'apport énergétique total tout en privilégiant les graisses insaturées par rapport aux graisses saturées et aux acides gras *trans*. Les apports en sucres libres devraient se limiter à moins de 10 % des apports énergétiques totaux et l'organisation préconise dans ces dernières recommandations d'aller encore plus loin et de passer en dessous de 5 % des apports énergétiques totaux. La consommation de sel devrait être à moins de 5 g par jour pour prévenir l'hypertension et réduire le risque de cardiopathies et d'accidents vasculaires cérébraux dans la population adulte. Les États Membres de l'OMS se sont entendus pour fixer un objectif de réduction de 30 % de la consommation de sel au niveau de la population d'ici 2025.

Si ces recommandations sont très claires, leur mise en pratique est en réalité très compliquée tant sur le plan industriel, pour développer une offre alimentaire qui permette d'atteindre ces objectifs tout en conservant l'appréciation des produits, que sur le plan des habitudes de consommation et de préparation des repas à domicile, qu'il n'est pas simple de faire évoluer (Trieu *et al.*, 2017).

### 1.2 Rôle polyfonctionnel des ingrédients cibles, notamment aspects sensoriels

La matière grasse, le sel et le sucre sont des ingrédients multifonctionnels essentiels de l'aliment élaboré ou non ; ils sont bien souvent garants de la qualité finale du produit à consommer. Ces ingrédients interviennent par exemple dans les processus de conservation, ils influencent la structure des aliments et leurs propriétés mécaniques. Enfin, ils ont un rôle central dans les propriétés sensorielles, notamment de saveur et de texture. En cela, ils interviennent très fortement dans l'appréciation des produits et donc dans leur consommation à long terme.

Par exemple, il a été récemment rapporté que la réduction de la teneur en sel dans le pain a un impact négatif sur les préférences des consommateurs (Rødbotten *et al.*, 2015). Cette étude a montré que des consommateurs de 5 pays européens, modérément favorables à la réduction de la teneur en sel de ce produit, apprécient moins le pain réduit en sel que le pain standard. Autre exemple pour le sucre, une étude menée au Royaume Uni (Markey *et al.*, 2015) a montré que si la consommation régulière de produits reformulés à teneur réduite en sucre entraîne effectivement une diminution de l'ingestion de sucres simples, pour autant, ces produits restent moins appréciés que les produits standards pour une grande partie des consommateurs. En effet, en condition de test à l'aveugle, parmi les 5 aliments couramment utilisés au Royaume Uni et testés dans cette étude (haricots blancs cuisinés, confiture de fraise, chocolat au lait, boisson cola, jus cranberry-framboise), tous les produits à teneur réduite en sucre sont significativement moins appréciés que les standards, à l'exception de la confiture de fraise pour 45% des consommateurs.

Ces exemples soutiennent l'idée générale que si la réduction des teneurs en gras, sel et sucre des aliments constitue bien une stratégie efficace sur le plan nutritionnel en revanche les produits ainsi reformulés présentent souvent des propriétés organoleptiques moins appréciées par les consommateurs avec des conséquences sur les choix alimentaires.

En conséquence, une question de recherche de premier plan demeure, à savoir, comment réduire les teneurs en gras, sel et/ou sucre dans les aliments tout en maintenant leurs propriétés sensorielles à un niveau acceptable pour les consommateurs. Par niveau acceptable, on entend ici un niveau, le plus réduit possible, qui n'entraîne pas un report des choix vers des produits à teneurs plus élevées et qui permette ainsi une consommation durable des produits reformulés.

### 1.3 Les approches de l'équipe FFOPP au CSGA

Au Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation à Dijon, l'équipe FFOPP (Flavour, Food Oral Processing & Perception) s'intéresse aux différents mécanismes physiques, physiologiques et cognitifs à l'origine de la formation de la représentation mentale des aliments chez l'homme, prenant en compte la composition et la structure de l'aliment, la formation du bol alimentaire, la physiologie orale, les interactions moléculaires impliquant les molécules de la flaveur en bouche et les interactions multimodales intervenant au niveau du système nerveux central. Sur la base de cette expertise transdisciplinaire, nous avons développé depuis plusieurs années une thématique de recherche sur le développement et l'étude de stratégies permettant de maintenir la flaveur des aliments réduits en matière grasse et/ou sel et/ou sucre. L'équipe FFOPP a notamment coordonné plusieurs projets nationaux et internationaux sur cette thématique.

Le projet Européen TeRiFiQ<sup>1</sup> avait pour objectif de développer des réductions binaires en sodium-gras et sucre-gras dans des aliments parmi les plus fréquemment consommés en Europe tout en conservant leurs qualités nutritionnelles, leur niveau de sécurité, et leur accessibilité pour l'industriel et le consommateur (Salles *et al.*, 2017). Dans le projet Qualigras-Phy<sup>2</sup> l'objectif était d'explorer les mécanismes impliqués dans les différentes composantes du goût du gras, que ce soit au niveau olfactif, gustatif et/ou tactile. Les études ont notamment porté sur l'évaluation de l'impact de la structure de la matrice sur la libération des molécules de la flaveur en bouche en prenant en compte les acteurs biologiques de la sphère orale et sur l'évaluation du poids respectif des composantes gustative et olfactive dans la perception globale du gras, et ceci afin de définir des leviers innovants pour moduler la perception du gras (Schoumacker *et al.*, 2017). Enfin, le projet FlavoDrinks<sup>3</sup> a permis de tester l'hypothèse selon laquelle les interactions multimodales entre les arômes et la saveur sucrée pouvaient constituer une piste intéressante pour compenser des réductions de la teneur en sucre dans des jus de fruits en maintenant leur appréciation (Barba *et al.*, 2018). Au final, ces principaux projets ont permis d'étudier différentes stratégies innovantes de compensation sensorielle de la réduction de la teneur en gras/sel/sucre qui sont présentées ci-après.

## 2. Stratégie basée sur les interactions multimodales

### 2.1 Les interactions multimodales et la flaveur des aliments

La sensorialité dans le domaine alimentaire repose sur tous les sens et notamment les sens chimiques à savoir l'olfaction, la gustation et sensibilité trigéminal chimique, mais aussi la sensibilité trigéminal tactile et thermique, la vision et l'audition. Ces informations sensorielles convergent au niveau du système nerveux central et donnent lieu à une intégration qui contribue à la formation de l'image sensorielle de l'aliment dégusté (Small et Prescott, 2005). Dans le cas des sens chimiques, bien que les

---

<sup>1</sup> TeRiFiQ (2012-2015) : Combining Technologies to achieve significant binary Reductions in sodium, Fat and Sugar content in everyday foods whilst optimising their nutritional Quality ; <http://terifiq.fr/>

<sup>2</sup> Qualigras-Phy (2012-2015) : Déterminants de la variabilité interindividuelle de la perception du gras chez l'Homme, financé par l'institut Carnot Qualiment® ; <https://www.qualiment.fr/>

<sup>3</sup> FlavoDrinks (2015-2017) : Sensory guided-multidimensional chromatography: impact of aroma on flavor perception in fruit juices and soft drinks, soutenu par une bourse post-doctorale Individual Fellowship Marie Sklodowska-Curie Actions du programme Européen Horizon2020.

stimuli soient chimiquement différents, de même que les récepteurs, et que les cortex primaires (olfactif et gustatif) soient anatomiquement séparés, plusieurs observations en évaluation sensorielle appuient la convergence olfacto-gustative. La première observation concerne la localisation erronée des sensations perçues qui bien souvent sont identifiées comme émanant seulement de la cavité orale alors que les récepteurs de l'olfaction sont situés dans les fosses nasales. La deuxième observation concerne la description que chacun peut faire d'une odeur alimentaire qui comporte bien souvent des qualificatifs de saveur (ex. l'odeur de fraise est souvent qualifiée de « sucré »). Ces observations démontrent que le cerveau va encoder de manière conjointe des informations associées à la présence du stimulus complexe qu'est l'aliment localisé dans la bouche, mais dont les éléments chimiques vont être détectés par des systèmes sensoriels physiologiquement distincts. La conception actuelle de ce phénomène par les scientifiques les a amenés à considérer un percept global pour ces sensations intimement liées et intégrées. Ce percept est la flaveur (Thomas-Danguin, 2009). La flaveur est donc définie comme le percept associé à l'intégration multimodale des informations portées par les composés odorants, les composés sapides et les composés trigéminaux présents dans un aliment. La flaveur confère à l'aliment une grande partie de son identité et de sa typicité et contribue ainsi largement à son appréciation (Prescott, 2015) ; elle peut être influencée par d'autres informations sensorielles telles que la texture, les sons ou les caractéristiques visuelles telle que la couleur (Spence, 2013).

Du fait des processus d'intégration multimodaux sous-tendant la construction de la flaveur, des interactions perceptives multimodales peuvent entraîner des modulations des différentes dimensions impliquées dans la flaveur (Delwiche, 2004). Ainsi, plusieurs études ont rapporté des influences de la présence d'une saveur sur l'intensité de la perception d'un arôme ou encore du renforcement de la perception d'une saveur en lien avec la présence d'un arôme (Thomas-Danguin *et al.*, 2016).

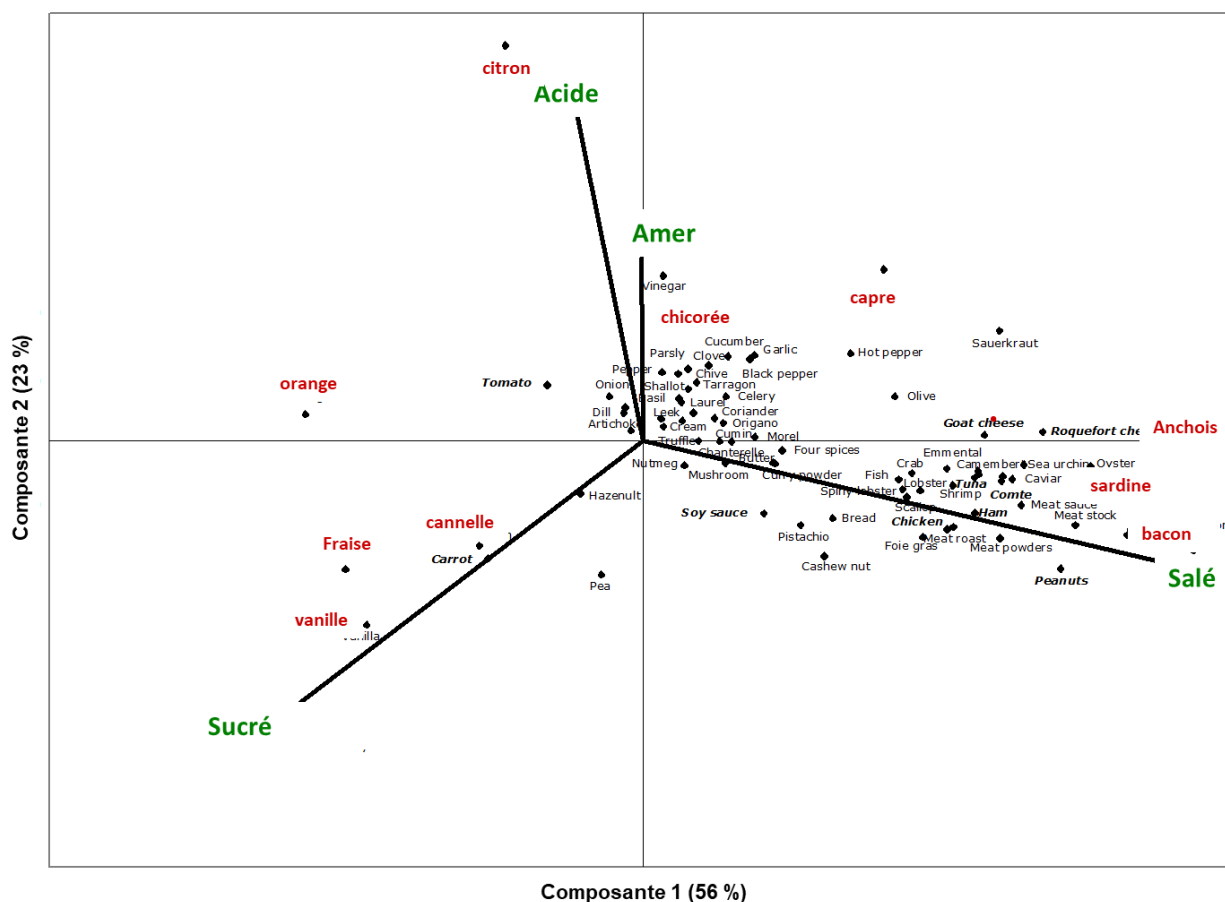
Les interactions perceptives entre arômes et saveurs ont été étudiées par différents groupes dans le monde au cours de ces quarante dernières années. Les études sensorielles ont montré que pour que l'interaction entre un arôme et une saveur soit effective, il faut que l'arôme soit congruent avec la saveur (Dalton *et al.*, 2000). Il a été démontré que cette congruence résulte d'un mécanisme cognitif lié à l'apprentissage associatif qui se déroule lors de la consommation des aliments dans lesquels les saveurs et les arômes sont associés (Stevenson *et al.*, 1995 ; Valentin *et al.*, 2006) comme par exemple l'arôme de fraise associé à la saveur sucrée dans le fruit mais aussi dans tous les aliments aromatisés à la fraise (Djordjevic *et al.*, 2004).

Des arômes peuvent ainsi évoquer des saveurs et cette association peut être évaluée par le simple fait d'imaginer un aliment comme par exemple la fraise (Djordjevic *et al.*, 2004). Nous avons ainsi pu identifier quelles saveurs sont associées à des arômes en réalisant une expérience dans laquelle nous avons demandé à un panel de 81 consommateurs d'estimer l'intensité de quatre saveurs (sucré, salé, acide, amer) pour 86 aliments sur la simple base de leur noms (Lawrence *et al.*, 2009). Les résultats, résumés dans la Figure 1 sont étonnamment consensuels entre les consommateurs. Certains aliments sont estimés comme étant principalement acide (citron), sucré (fraise, vanille), salé (bacon, sardine, anchois) et dans une moindre mesure amer (chicorée). D'autres aliments semblent avoir plusieurs dimensions sapides comme l'orange (sucré et acide) ou les câpres (salé et acide). Sur la base de ces résultats, nous avons émis l'hypothèse selon laquelle les arômes typiques de ces aliments pouvaient renforcer les saveurs qui leur sont associées (Thomas-Danguin *et al.*, 2019).

## 2.2 Utilisation des arômes pour compenser la réduction de sel et matière grasse

Dans le but de vérifier l'hypothèse ci-dessus, nous avons développé une expérience systématique dans le cadre du projet Européen TeRiFiQ. Dans cette expérience, un arôme (sardine) très associé à la saveur salée et un autre (beurre) très associé à la perception du gras et identifié dans le cadre du projet QualiGras-Phy ont été ajoutés à une base fromagère modèle. Pour cette base fromagère, nous avons

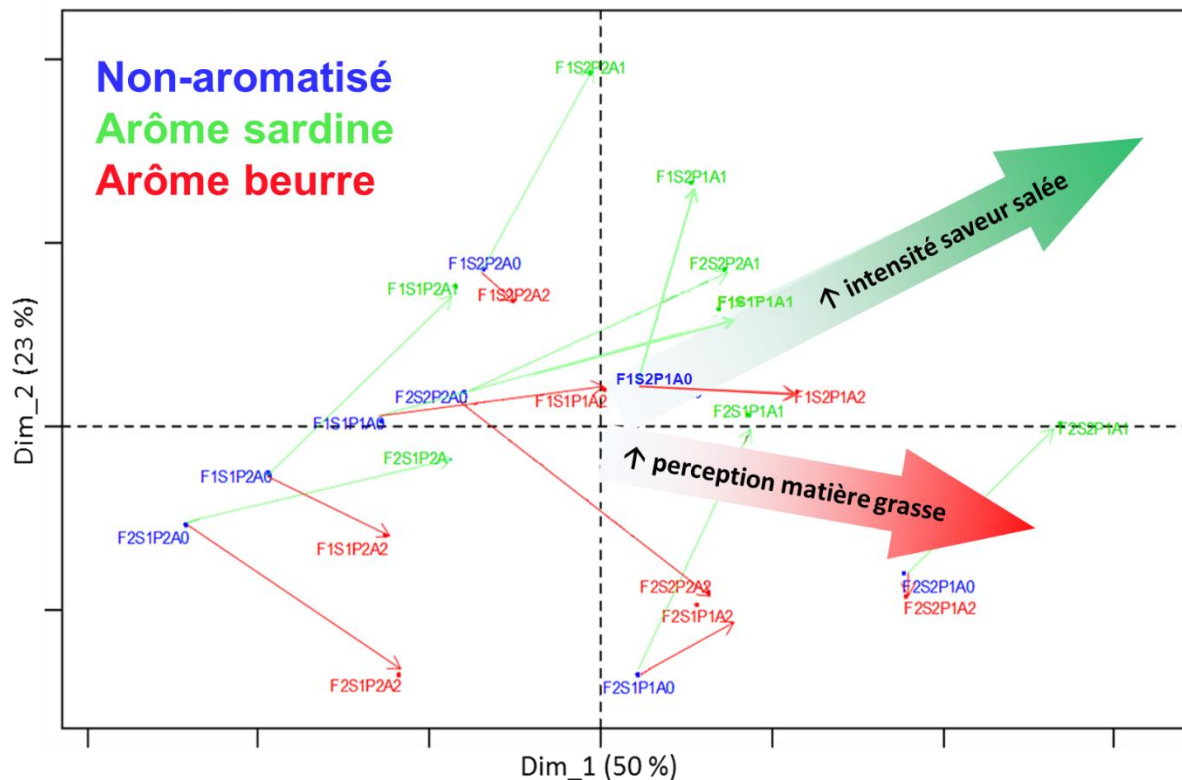
fait varier la teneur en sel ( $S1 < S2$ ), la teneur en matière grasse ( $F1 < F2$ ) et la fermeté, sur la base du pH à l'emprésurage ( $P1 < P2$ ) (Syarifuddin *et al.*, 2016). La combinaison de ces facteurs a permis de développer 8 variantes de base fromagère qui ont été aromatisées avec l'arôme sardine, ou l'arôme beurre ou qui n'ont pas été aromatisées.



**Figure 1** : Analyse en composantes principales des données d'intensité de saveur (sucré, salé, acide, amer) estimées par 81 consommateurs pour 86 noms d'aliments (adaptée de Lawrence *et al.*, 2009).

Les 24 échantillons résultant de ce plan d'expérience complet ont été dégustés par un panel de 31 consommateurs qui ont évalué, pour chaque échantillon l'intensité des descripteurs de saveur (salé, sucré, acide, amer), l'intensité aromatique globale, l'intensité de différents descripteurs de texture (élasticité, humidité, fermeté, fondant, granuleux) et l'intensité de la perception du contenu en matière grasse. Une partie des résultats est résumée dans la Figure 2 qui résulte d'une analyse factorielle multiple. Pour simplifier, nous avons représenté sur la Figure 2 tous les échantillons, mais seulement 2 descripteurs sensoriels (intensité salé et perception du contenu en matière grasse). On peut constater que les échantillons qui sont aromatisés avec l'arôme sardine associé au salé sont tous perçus comme étant plus salés, alors que les échantillons aromatisés avec l'arôme beurre sont perçus comme ayant une teneur en matière grasse plus élevée. Ces résultats confirment ainsi que des arômes associés spécifiquement à une saveur, ou à une dimension sensorielle complexe telle que le gras, ont la possibilité de renforcer la perception de la saveur ou de la dimension sensorielle complexe à laquelle ils sont associés. Cette expérience montre également que selon la composition de l'aliment (teneur en sel ou matière grasse), l'effet renforçateur est plus ou moins marqué, suggérant une modulation complexe des interactions multimodales saveur-arôme (Nasri *et al.*, 2011). De plus, selon la texture du produit et notamment la fermeté (effet du pH), les effets de renforcement des saveurs par les arômes sont également modulés, ce qui suggère soit des effets combinés de la texture perçue sur les interactions

multimodales, soit des effets physicochimiques, comme une modification de la dynamique de libération des composés odorants et sapides et/ou de la quantité totale libérée (Lawrence *et al.*, 2011).



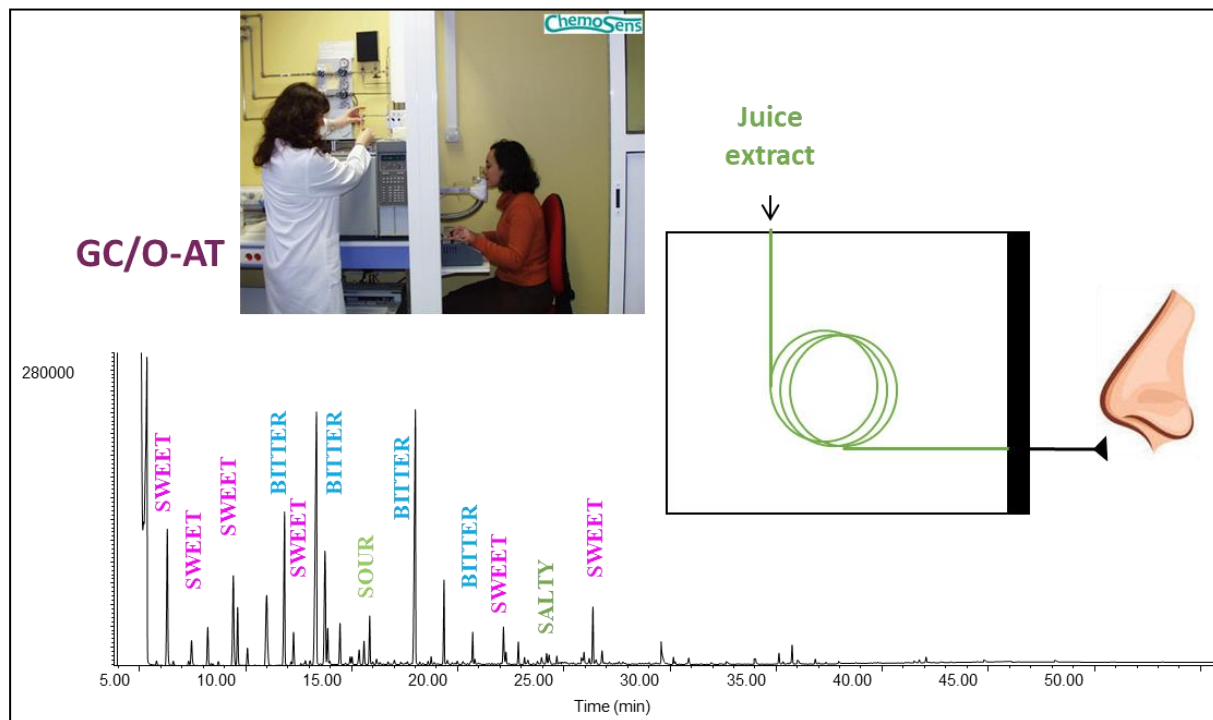
**Figure 2** : Analyse factorielle multiple des données d'évaluation de l'intensité des saveurs, de l'arôme global, de descripteurs de texture et de la perception du contenu en matière grasse 8 variantes d'une base fromagère modèle variant en teneur en matière grasse (F1 < F2), teneur en sel (S1 < S2) et fermeté sur la base du pH à l'emprésurage (P1 < P2). Ces 8 variantes de base fromagère ont été aromatisées avec l'arôme sardine associé au sel (A1), ou avec de l'arôme beurre associé au gras (A2) ou n'ont pas été aromatisées (A0) (adaptée de Syarifuddin *et al.*, 2016).

### 2.3 Utilisation des arômes pour compenser la réduction de sucre

En suivant la même hypothèse, nous avons mis en place une expérience visant à évaluer le potentiel renforçateur des arômes vis-à-vis de la saveur sucrée afin de vérifier si des arômes peuvent compenser sensoriellement une réduction de la teneur en sucre dans les aliments.

Dans le projet FlavoDrinks, nous avons tout d'abord cherché quels composés odorants présents dans des jus de fruits étaient susceptibles d'être associés à la saveur sucrée. Pour effectuer ce screening, nous avons développé une nouvelle méthode d'analyse chimique de la flaveur guidée par la perception sensorielle. Cette méthode baptisée GC/O-AT pour Gas Chromatography / Olfactometry – Associated Taste (Barba *et al.*, 2018) est dérivée de la méthode classique de GC/O (Gas Chromatography / Olfactométrie, Blanquet *et al.*, 2017) dans laquelle un extrait des composés volatils d'un aliment est injecté dans un chromatographe en phase gazeuse afin de séparer les différentes molécules qu'il contient. Ces molécules sont envoyées vers un détecteur (ionisation de flamme ou un spectromètre de masse) et simultanément vers un nez humain au niveau du port olfactif de ce type de dispositif (Figure 3). En général, un panel d'une quinzaine de juges entraînés participe à ces expériences de GC/O et doit indiquer la présence d'une odeur en fonction du temps et qualifier ces odeurs avec des descripteurs odorants (rose, cassis, grillé...). Les données recueillies sont traitées à l'échelle du panel pour fournir un aromagramme qui permet de repérer, parmi les composés volatils de l'extrait, ceux qui sont odorants et de leur attribuer des descripteurs d'odeur.

Dans la méthode GC/O-AT, les panélistes se trouvent dans un contexte similaire à la GC/O, c'est-à-dire qu'ils doivent sentir les odorants qui sont élués en sortie de colonne chromatographique au niveau du port olfactif. Cependant, pour qualifier les odeurs qu'ils détectent, les panélistes doivent utiliser, un descripteur de saveur tel que sucré, acide, salé, amer. On obtient ainsi un « aromagramme » de saveurs associées (Figure 3) qui permet de repérer les odorants qui sont fortement associés à une saveur donnée.



**Figure 3** : GC/O-AT : Gas Chromatography / Olfactometry – Associated Taste, photographie du dispositif au laboratoire, schéma de principe et exemple d'aromagramme de saveurs associées.

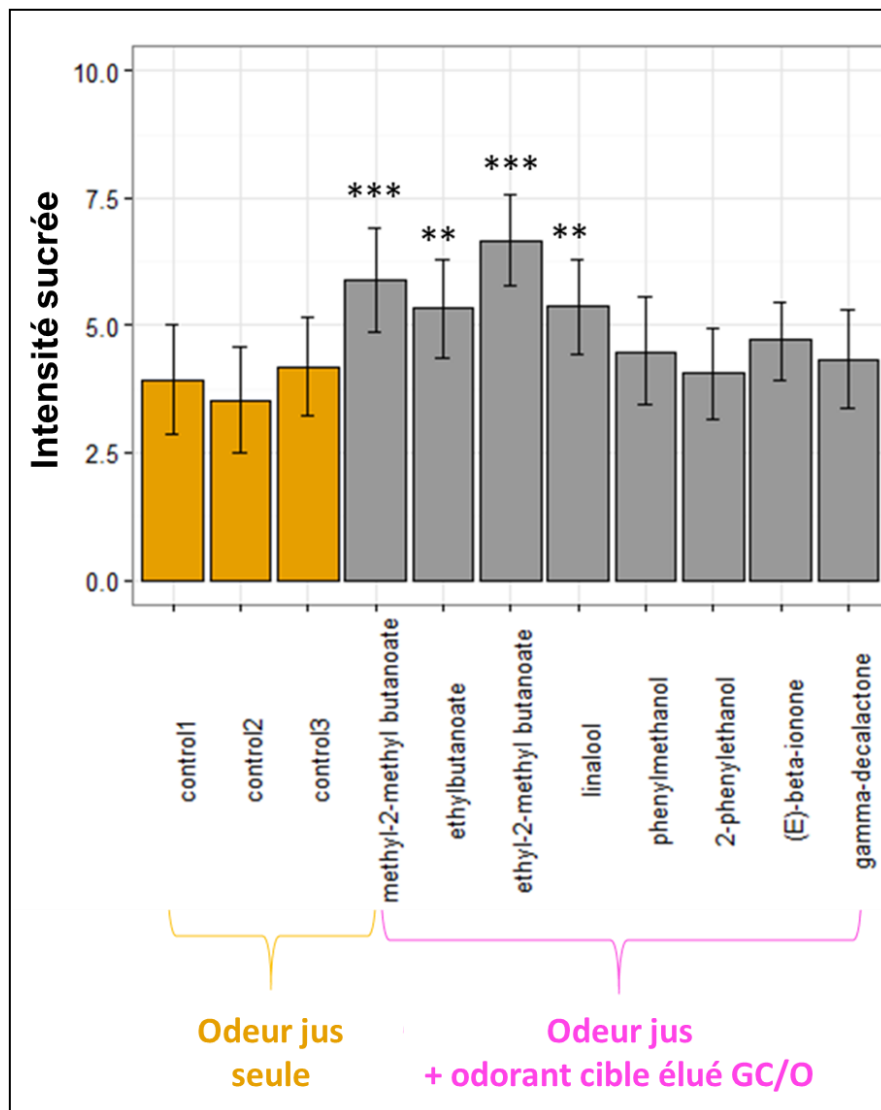
Dans le projet FlavoDrinks, nous avons utilisé cette méthode pour repérer les composés odorants, naturellement présents dans un jus de fruit (multifruits) qui sont associés à la saveur sucrée. Nous avons ainsi pu identifier 13 composés odorants associés principalement à la saveur sucrée (Barba *et al.*, 2018).

Dans la suite de cette expérience, nous avons vérifié la potentialité des arômes identifiés par GC/O-AT à renforcer la dimension sucrée perçue pour l'odeur de jus de fruit. Pour effectuer ce screening, nous avons eu recours à la méthode Olfactoscan (Burseg et de Jong, 2009 ; Thomsen *et al.*, 2017) implantée au niveau de la plateforme ChemoSens du CSGA. Cet appareillage repose sur le couplage fonctionnel d'un olfactomètre à dilution dynamique multicanaux délivrant des pulses d'odeur de jus de fruit à différents niveaux d'intensité avec un appareil de GC/O. L'Olfactoscan permet de réaliser une recombinaison d'odeurs en ligne au cours de la chromatographie. Dans notre étude, ce dispositif a permis d'évaluer l'impact de chaque molécule éluée à la sortie de la GC/O dans le contexte de l'odeur de jus de fruit. L'objectif était de repérer les molécules qui permettaient d'augmenter significativement la perception sucrée de l'odeur de jus de fruit. Un panel de 12 juges entraînés a participé à l'expérience et devait noter l'intensité sucrée des différents stimuli olfactifs délivrés par l'olfactoscan. Ces stimuli pouvaient être soit l'odeur de jus de fruit seule (contrôle) soit l'odeur de jus de fruit délivrée par l'olfactomètre combinée à un composé odorant présent de l'extrait de jus et élué en GC/O. Les résultats sont reportés sur la Figure 4 sous la forme d'un diagramme en barres présentant l'intensité sucrée moyenne sur le panel pour chaque stimulus. Une comparaison de la moyenne de l'intensité sucrée de chaque échantillon cible avec la moyenne de l'intensité sucrée obtenue pour les contrôles a permis de



repérer 4 composés odorants capables de renforcer significativement la perception sucrée de l'odeur de jus de fruit (Barba *et al.*, 2018).

Afin de vérifier si ces 4 composés odorants ont effectivement la capacité de renforcer la perception sucrée d'un jus de fruit à teneur réduite en sucre, nous avons réalisé une expérience d'évaluation sensorielle dans laquelle un panel de 76 consommateurs devait comparer l'intensité sucrée d'un jus de fruit réduit en sucre de 30% et ce même jus dans lequel un composé odorant cible avait été ajouté à faible concentration. Les résultats de ce test de comparaison ont montré qu'un composé odorant, l'ethyl-2-methyl butanoate, est capable de renforcer de manière significative la perception sucrée du jus (Barba *et al.*, 2018).



**Figure 4 :** Valeurs moyennes d'intensité de la perception sucrée pour des stimuli odorants délivrés par la méthode Olfactoscan. control : odeur de jus de fruit ; composés odorants : odeur de jus de fruit + un des composés odorants. Les barres d'erreur représentent les intervalles de confiance à 90% ; les étoiles reflètent la significativité des différences entre les moyennes des stimuli cibles avec les contrôles (\*\*\*:  $p < 0.001$  ; \*\*:  $p < 0.01$ ) (adaptée de Barba *et al.*, 2018).

Au final l'ensemble de ce projet a permis d'identifier une dizaine de composés odorants associés à la saveur sucrée parmi les 80 molécules odorantes identifiées dans le jus de fruit étudié. Parmi ces molécules, un ester naturellement présent dans le jus de fruit, permet de maintenir l'intensité de la saveur sucrée de ce jus dont la teneur en sucre avait été réduite de 30% et cela, sans ajout d'édulcorant.

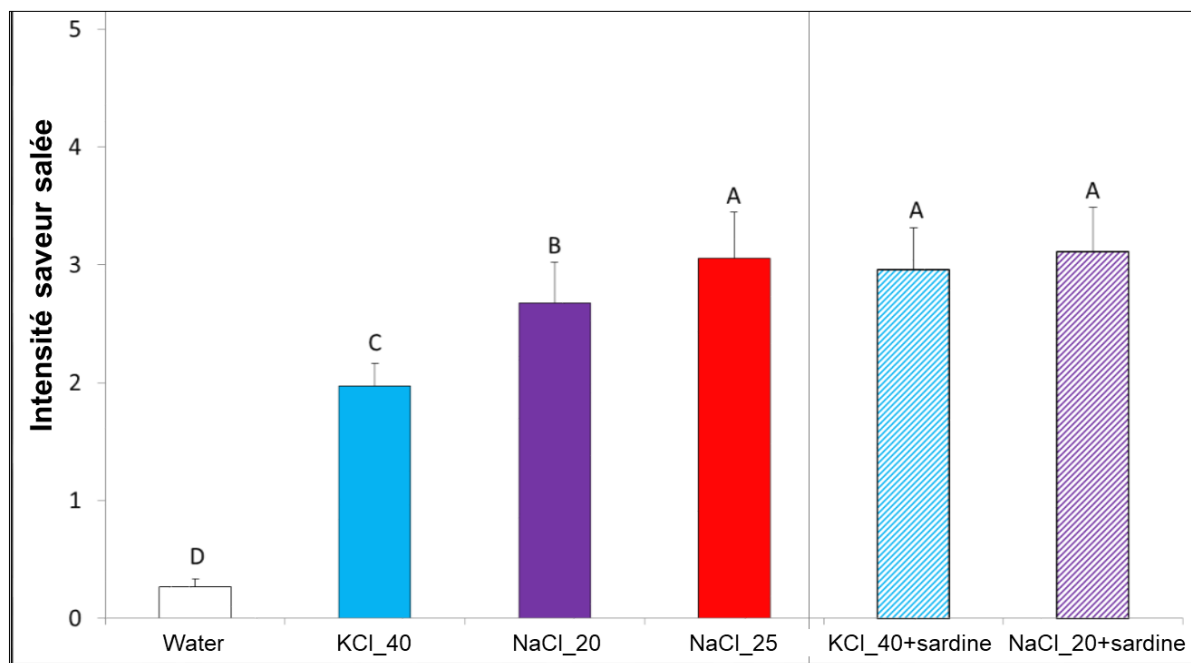
### 3. Stratégies combinées

L'utilisation des arômes semble être une voie intéressante pour compenser les pertes organoleptiques associées à la reformulation des aliments à teneur réduite en gras et/ou sel ou sucre. L'idée de combiner plusieurs stratégies de réduction peut permettre d'envisager des réductions plus importantes.

#### 3.1 Combinaison des stratégies de substitution et des arômes

Le chlorure de potassium (KCl) est le seul substitut de qualité alimentaire qui peut être utilisé pour remplacer totalement ou partiellement le chlorure de sodium (NaCl). Cependant, le KCl génère une saveur salée moins intense que le NaCl et, de plus, confère une sensation d'amertume désagréable et ceci dès les faibles concentrations. Ainsi, sauf sur prescription médicale, le KCl n'est pas utilisé comme substitut total dans les sels de table commerciaux « réduits en sodium », mais il est souvent associé au NaCl à hauteur de 50%.

Nous avons réalisé une étude permettant d'évaluer la stratégie de combinaison de substitution du NaCl par du KCl et de l'utilisation d'arômes associés au salé (Nasri *et al.*, 2013). Un panel de 61 consommateurs est venu au laboratoire pour évaluer l'intensité de la saveur salée d'échantillons contenant de l'eau éventuellement additionnée de KCl ou NaCl et d'un arôme de sardine capable de renforcer la saveur salée (Lawrence *et al.*, 2009 ; Nasri *et al.*, 2013). Une partie des résultats de cette étude est représentée dans la Figure 5. Les échantillons testés sont l'eau d'Evian qui constitue la base initiale dans laquelle a été ajouté du KCl (40 mM soit 2,98 g/l) ou du NaCl (20 mM soit 1,17 g/l). Un arôme de sardine a été ajouté à ces solutions et enfin une solution contenant 25% de NaCl en plus (soit à 25 mM  $\approx$  1,46 g/l) a été utilisée comme référence supérieure de l'intensité salée. Les données montrent que, comme attendu, la solution de NaCl à 20 mM est perçue plus salée que la solution de KCl à 40 mM, mais moins salée que la solution de NaCl à 25 mM.



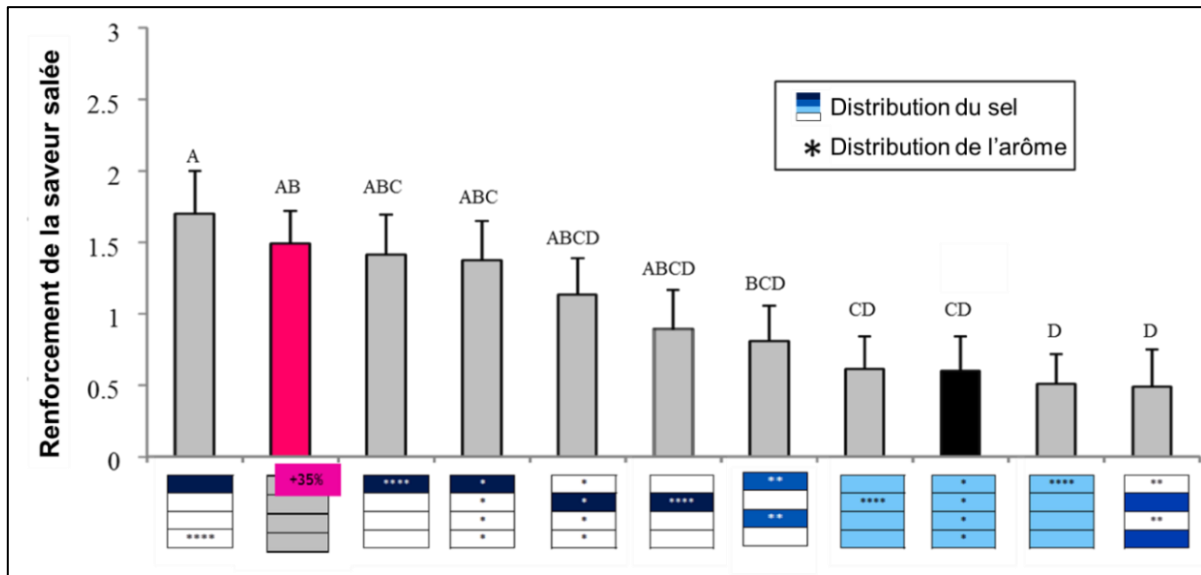
**Figure 5** : Valeurs moyennes d'intensité de la saveur salée pour des échantillons aqueux : eau d'Evian (Water), KCl\_40 (KCl 40 mM), NaCl\_20 (NaCl 20mM), NaCl\_25 (NaCl 25 mM), KCl\_40+sardine (KCl 40mM + arôme sardine), NaCl\_20+sardine (NaCl 20mM + arôme sardine). Les barres d'erreur représentent l'erreur type de la moyenne ; les lettres différentes indiquent des différences significatives entre les moyennes ( $p = 0.05$ ), (adaptée de Nasri *et al.*, 2013).

Pour les solutions contenant l'arôme de sardine, il apparaît que l'ajout de l'arôme entraîne une augmentation de l'intensité de la saveur salée en comparaison des solutions sans arôme ajouté, ce qui montre une nouvelle fois l'effet renforçateur de l'arôme par le mécanisme d'intégration multimodale. Dans le cas de la solution contenant du NaCl (20 mM), le renforcement de la perception salée induit par l'arôme est significatif (comparaison de NaCl\_20+sardine avec NaCl\_20) et permet d'obtenir une perception salée équivalente à celle obtenue avec une augmentation de la quantité de sel de 25% (pas de différence significative entre NaCl\_20+sardine et NaCl\_25). Dans le cas du KCl le renforcement de la saveur salée induit par l'arôme est encore plus important puisque l'intensité de la perception salée augmente de plus de 50% pour atteindre un niveau équivalent à celui de la solution contenant 25 mM de NaCl (pas de différence significative entre KCl\_40+sardine et NaCl\_25). Ces résultats laissent donc penser que la combinaison de la stratégie de substitution du NaCl par du KCl avec l'utilisation d'arômes associés au sel pourrait permettre de réduire jusqu'à 100% de la teneur en sodium tout en diminuant la quantité de KCl utilisée ce qui pourrait ainsi limiter l'apparition des arrière-goûts liés au potassium.

### 3.2 Combinaison des stratégies de répartition hétérogène et des arômes

Plusieurs études ont montré qu'une répartition hétérogène du sucre (Holm *et al.*, 2009) ou du sel (Noort *et al.*, 2010) dans un aliment conduit à une perception plus intense de la saveur sucrée ou salée comparativement à une répartition homogène d'une quantité totale identique d'agent sapide. Nous avons testé cette stratégie dans une étude réalisée avec des aliments réels de type mini-quiches (Emorine *et al.*, 2013) et en la combinant avec l'utilisation d'arômes associés au sel (Emorine *et al.*, 2015). Pour cela nous avons élaboré des mini-quiches structurées en 4 couches superposées dont la teneur en sel et la teneur en un arôme jambon (associé au salé) était variable. Douze variantes de cet aliment ont été réalisées en assemblant différemment les couches et en faisant varier la teneur en sel et en arôme dans chaque couche (voir Figure 6). Toutes les variantes avaient globalement la même quantité de sel et d'arôme sauf deux références : l'une non aromatisée et l'autre non aromatisée mais contenant 35% de sel en plus que toutes les autres variantes. Les 12 échantillons ont été dégustés par un panel de 82 consommateurs qui devaient évaluer l'intensité de la saveur salée des échantillons.

La Figure 6 présente les résultats du renforcement de la perception salée pour les échantillons ayant une répartition hétérogène du sel et/ou de l'arôme jambon comparativement à un échantillon de référence non-aromatisé avec la même quantité totale de sel répartie de manière homogène. Ces résultats montrent tout d'abord que chaque stratégie, à savoir la répartition hétérogène du sel ou l'ajout d'un arôme jambon permet d'augmenter significativement la perception salée des mini-quiches par rapport à un échantillon non-aromatisé et ayant la même quantité de sel réparti de manière homogène. De plus, on peut constater que les échantillons pour lesquels le sel est concentré dans une seule couche sont ceux qui montrent le plus de renforcement de la perception salée. Enfin les échantillons dont le sel et l'arôme jambon sont concentrés dans une couche sont les deux échantillons les plus salés. La situation la plus favorable est celle dans laquelle l'arôme et le sel se trouvent concentrés dans des couches différentes et externes. Pour cet échantillon, le renforcement est plus élevé que celui généré par l'augmentation de 35% de la teneur en sel. Ces résultats indiquent donc que dans un aliment réel, l'utilisation combinée d'une stratégie de répartition hétérogène du sel et d'une stratégie reposant sur l'utilisation d'un arôme associé au sel peut permettre de compenser la perte sensorielle au moins équivalente à une réduction de 35% de la teneur globale en sel.



**Figure 6 :** Valeurs moyennes de renforcement de la saveur salée pour différents échantillons ayant une répartition hétérogène du sel et/ou de l'arôme jambon comparativement à un échantillon de référence non-aromatisé avec la même quantité totale de sel répartie de manière homogène. La barre de couleur noire représente l'échantillon ayant une répartition homogène en sel et en arôme reflétant ainsi le renforcement induit uniquement par la présence de l'arôme ; la barre de couleur rose représente l'échantillon contenant 35% de sel en plus (réparti de manière homogène). Les barres d'erreur représentent l'erreur type de la moyenne ; les lettres différentes indiquent des différences significatives entre les moyennes ( $p = 0.05$ ), (adaptée de Emorine *et al.*, 2015).

## Conclusions

Les travaux présentés dans cet article illustrent de manière non-exhaustive les différentes stratégies qui peuvent être mises en place pour compenser les pertes organoleptiques associées à la reformulation des aliments dans un objectif nutritionnel, notamment lié à la réduction des teneurs en sel ou sucre et/ou matière grasse.

L'approche reposant sur les interactions sensorielles multimodales est intéressante car une possibilité d'application est de choisir les matières premières en fonction de leur composition en molécules odorantes et sapides naturellement présentes (exemple des fruits de différentes provenances et de différentes variétés) et ainsi éviter le recours à des additifs. Toutefois les contraintes en terme de sélection des matières premières et/ou de procédés peuvent représenter des verrous à cette approche. Une autre possibilité est d'avoir recours à une aromatisation externe, plus facile à mettre en œuvre, qui peut permettre de conférer des spécificités identitaires à l'aliment ou bien permettre de répondre à des impératifs économiques (faible coût) tout en gardant une acceptabilité importante pour des produits reformulés sous contraintes nutritionnelles (plus favorable à la santé) et/ou environnementales (matières premières et procédés avec faible impact environnemental).

La combinaison de différentes stratégies, telle que la substitution totale ou partielle d'ingrédients ou l'hétérogénéité de la distribution des stimuli et l'approche utilisant les arômes, peut permettre d'envisager des niveaux de réduction importants tout en gardant le niveau d'acceptabilité des produits reformulés. Néanmoins, les mécanismes sous-jacents aux effets sensoriels observés sont encore largement méconnus et plusieurs questions restent aujourd'hui sans réponse : quelle est la durabilité et l'aspect universel des phénomènes d'interactions multimodales ? Quelles sont leurs bases neurales au niveau cérébral ? Quelle est l'importance des aspects temporels de la perception dans les phénomènes

de renforcement ? Ces questions nécessitent des investigations complémentaires et les réponses pourraient permettre d'optimiser et de mieux prédire les effets observés jusqu'ici afin de proposer des recommandations pour la (re)formulation des aliments sous contraintes multiples avec l'objectif de maintenir leur acceptabilité par les consommateurs.

### Références bibliographiques

- Barba C., Beno N., Guichard E., Thomas-Danguin T., 2018. Selecting odorant compounds to enhance sweet flavor perception by gas chromatography/olfactometry-associated taste (GC/O-AT). *Food Chem.*, 257: 172-181. Doi : 10.1016/j.foodchem.2018.02.152
- Blanquet J., Le Fur Y., Ballester J., 2017. Computerized delimitation of odorant areas in gas-chromatography-olfactometry by kernel density estimation: Data processing on French white wines. *Chemom. Intell. Lab. Syst.*, 167: 29-35. Doi: 10.1016/j.chemolab.2017.05.015
- Burseg K., de Jong C., 2009. Application of the Olfactoscan Method To Study the Ability of Saturated Aldehydes in Masking the Odor of Methional. *J. Agric. Food Chem.*, 57: 9086-9090. Doi: 10.1021/jf9016866
- Dalton P., Doolittle N., Nagata H., Breslin P.A.S., 2000. The merging of the senses: integration of subthreshold taste and smell. *Nat. Neurosci.*, 3: 431-432. Doi: 10.1038/74797
- Delwiche J., 2004. The impact of perceptual interactions on perceived flavor. *Food Qual. Prefer.*, 15: 137-146. Doi : 10.1016/S0950-3293(03)00041-7
- Djordjevic J., Zatorre R.J., Jones-Gotman M., 2004. Effects of perceived and imagined odors on taste detection. *Chem. Senses*, 29: 199-208. Doi: 10.1093/chemse/bjh022
- Emorine M., Septier C., Andriot I., Martin C., Salles C., Thomas-Danguin T., 2015. Combined heterogeneous distribution of salt and aroma in food enhances salt perception. *Food Funct.*, 6: 1449-1459. Doi: 10.1039/C4FO01067A
- Emorine M., Septier C., Thomas-Danguin T., Salles C., 2013. Heterogeneous salt distribution in hot snacks enhances saltiness without loss of acceptability. *Food Res. Int.*, 51: 641-647. Doi: 10.1016/j.foodres.2013.01.006
- Holm K., Wendin K., Hermansson A.M., 2009. Sweetness and texture perceptions in structured gelatin gels with embedded sugar rich domains. *Food Hydrocoll.*, 23: 2388-2393. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2009.06.016
- Lawrence G., Salles C., Palicki O., Septier C., Busch J., Thomas-Danguin T., 2011. Using cross-modal interactions to counterbalance salt reduction in solid foods. *Int. Dairy J.*, 21 : 103-110, Doi:10.1016/j.idairyj.2010.09.005
- Lawrence G., Salles C., Septier C., Busch J., Thomas-Danguin T., 2009. Odour-taste interactions: A way to enhance saltiness in low-salt content solutions. *Food Qual. Prefer.*, 20: 241-248, Doi:10.1016/j.foodqual.2008.10.004
- Markey O., Lovegrove J.A., Methven L., 2015. Sensory profiles and consumer acceptability of a range of sugar-reduced products on the UK market. *Food Res. Int.*, 72: 133-139. Doi: 10.1016/j.foodres.2015.03.012
- Nasri N., Beno N., Septier C., Salles C., Thomas-Danguin T., 2011. Cross-modal interactions between taste and smell: Odour-induced saltiness enhancement depends on salt level. *Food Qual. Prefer.*, 22: 678-682. Doi : 10.1016/j.foodqual.2011.05.001
- Nasri N., Septier C., Beno N., Salles C., Thomas-Danguin T., 2013. Enhancing salty taste through odour-taste-taste interactions: Influence of odour intensity and salty tastants' nature. *Food Qual. Prefer.*, 28: 134-140. Doi: 10.1016/j.foodqual.2012.07.004
- Noort M.W.J., Bult J.H.F., Stieger M., Hamer R.J., 2010. Saltiness enhancement in bread by inhomogeneous spatial distribution of sodium chloride. *J. Cereal Sci.*, 52: 378-386. Doi: 10.1016/j.jcs.2010.06.018

- Prescott J., 2015. Multisensory processes in flavour perception and their influence on food choice. *Curr. Opin. Food Sci.*, 3: 47-52. Doi: 10.1016/j.cofs.2015.02.007
- Rødbotten M., Tomic O., Holtekjølen A.K., Grini I.S., Lea P., Granli B.S., Grimsby S., Sahlstrøm S., 2015. Barley bread with normal and low content of salt; sensory profile and consumer preference in five European countries. *J. Cereal Sci.*, 64: 176-182. Doi: 10.1016/j.jcs.2015.05.001
- Salles C., Kerjean J.R., Veiseth-Kent E., Stieger M., Wilde P., Cotillon C., 2017. The TeRiFiQ project: Combining technologies to achieve significant binary reductions in sodium, fat and sugar content in everyday foods whilst optimising their nutritional quality. *Nutr. Bull.*, 42: 361-368. Doi: 10.1111/nbu.12297
- Schoumacker R., Martin C., Thomas-Danguin T., Guichard E., Le Quéré J.L., Labouré H., 2017. Fat perception in cottage cheese: The contribution of aroma and tasting temperature. *Food Qual. Prefer.*, 56: 241-246. Doi: 10.1016/j.foodqual.2016.04.003
- Small D.M., Prescott J., 2005. Odor/taste integration and the perception of flavor. *Exp. Brain Res.*, 166: 345-57. Doi: 10.1007/s00221-005-2376-9
- Spence C., 2013. Multisensory flavour perception. *Curr. Biol.*, 23: R365-9. Doi: 10.1016/j.cub.2013.01.028
- Stevenson R.J., Prescott J., Boakes R.A., 1995. The acquisition of taste properties by odors. *Learn. Motiv.*, 26: 433-455. Doi: 10.1016/S0023-9690(05)80006-2
- Syarifuddin A., Septier C., Salles C., Thomas-Danguin T., 2016. Reducing salt and fat while maintaining taste: An approach on a model food system. *Food Qual. Prefer.*, 48: 59-69. Doi: 10.1016/j.foodqual.2015.08.009
- Thomas-Danguin T., 2009. Flavor. In: *Encyclopedia of Neuroscience*. (Eds. Binder M.D., Hirokawa N., Windhorst U.) Springer-Verlag, pp. 1580-1582. Doi: 10.1007/978-3-540-29678-2\_1772
- Thomas-Danguin T., Guichard E., Salles C., 2019. Cross-modal interactions as a strategy to enhance salty taste and to maintain liking of low-salt food: a review. *Food Funct.*, 10: 5269-5281. Doi: 10.1039/c8fo02006j
- Thomas-Danguin T., Sinding C., Tournier C., Saint-Eve A., 2016. Multimodal interactions. In: *Flavor From Food to Behaviors, Wellbeing and Health* (Eds. Etiévant P., Guichard E., Salles C., Voilley A.) Woodhead Publishing, Elsevier Ltd., pp. 121-141, Doi: 10.1016/B978-0-08-100295-7.00006-2
- Thomsen M., Dosne T., Beno N., Chabanet C., Guichard E., Thomas-Danguin T., 2017. Combination of odour-stimulation tools and surface response methodology for odour recombination studies. *Flavour Fragr. J.*, 32: 196-206. Doi: 10.1002/ffj.3376
- Trieu K., McMahon E., Santos J.A., Bauman A., Jolly K-A., Bolam B., Webster J., 2017. Review of behaviour change interventions to reduce population salt intake. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 14: 17. Doi: 10.1186/s12966-017-0467-1
- Valentin D., Chrea C., Nguyen D.H., 2006. Taste-odour interaction in sweet taste perception. In: *Optimising sweet taste in foods* (Ed. Spillane W.J.) Woodhead Publishing Limited, pp. 66-84. Doi: 10.1533/9781845691646.1.66
- WHO, 2018. Alimentation Saine, <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

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 « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL ou DOI).