



**HAL**  
open science

## Modulation de la perception du goût salé par reformulation de matrices alimentaires

Christian Salles, Thierry Thomas-Danguin, Elisabeth Guichard

### ► To cite this version:

Christian Salles, Thierry Thomas-Danguin, Elisabeth Guichard. Modulation de la perception du goût salé par reformulation de matrices alimentaires. *Innovations Agronomiques*, 2014, 36, pp.111-124. 10.17180/d6ma-sg87 . hal-02630025

**HAL Id: hal-02630025**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02630025v1>**

Submitted on 27 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

## Modulation de la perception du goût salé par reformulation de matrices alimentaires

Salles C.<sup>1,2,3</sup>, Thomas-Danguin T.<sup>1,2,3</sup>, Guichard E.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> CNRS, UMR6265 Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, F-21000 Dijon

<sup>2</sup> INRA, UMR1324 Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, F-21000 Dijon

<sup>3</sup> Université de Bourgogne, UMR Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, F-21000 Dijon

Correspondance : christian.salles@dijon.inra.fr

### Résumé

La consommation excessive de sel participe au développement des maladies cardiovasculaires. C'est pourquoi les autorités sanitaires ont émis des recommandations visant à diminuer la teneur en sel des aliments. Toutefois, la réduction du taux de sel dans les aliments entraîne une forte diminution de leur appréciation et de leur acceptabilité par les consommateurs. Pour tenter de remédier à cette difficulté, des études visant à compenser la diminution de la perception de la saveur salée dans les aliments à teneur réduite en sel ont été réalisées. Les résultats obtenus ont mis en évidence la potentialité de certains arômes à rehausser la saveur salée dans des milieux aqueux et des matrices alimentaires solides plus complexes. Cependant, dans le cas d'aliments solides, le renforcement de la saveur salée est dépendant de la texture. Cette stratégie a été combinée avec succès à deux autres stratégies de renforcement de la saveur salée : (i) des mélanges ternaires odeur-acide-salé, l'acidité renforce la perception salée de manière additionnelle avec les odeurs liées au salé; (ii) la combinaison d'arômes renforçant le goût salé et la distribution hétérogène des stimuli a permis de renforcer la saveur salée de manière très significative (~35%) sans perte d'acceptabilité.

**Mots-clés** : sel, arôme, interaction perceptive, distribution, combinaison de stratégies

### Abstract: Modulation of saltiness perception by reformulation of food matrices

The excessive intake of salt contributes to the development of cardiovascular diseases. This is the reason why health authorities made recommendations in order to lower the salt content in foods. However, this salt reduction in foods leads to an important loss of their appreciation and acceptability by the consumers. To overcome this difficulty, studies aimed to compensate a lower saltiness perception in low-salt foods were realized. The obtained results highlighted the potentiality of some aromas to enhance saltiness perception in aqueous and more complex solid food matrices media. However, in the case of solid foods, this enhancement is dependent on texture. This strategy was then successfully combined to other saltiness perception enhancement strategies: (i) in odorant-sour-salty ternary mixtures the sourness additively enhances saltiness perception with the salt-related odours; (ii) the combination of saltiness enhancement by aroma and the heterogeneous distribution of the stimuli allowed significantly enhancing saltiness perception (~35%) without loss of acceptability.

**Keywords**: salt, aroma, perceptual interaction, distribution, strategies combination

### Introduction

La surconsommation de sel est devenue un enjeu de santé publique dans le cadre de la lutte contre les maladies cardiovasculaires, l'hypertension et le cancer (Strazzullo *et al.*, 2009). Dans les pays

développés, approximativement 75% de la prise journalière de sel provient des aliments ayant subi un processus de transformation. Aussi, la réduction du taux de sel dans les aliments était un des dix objectifs spécifiques du PNNS2 (2006-2010) et reste un objectif nutritionnel du PNNS3 (2011-2015), lequel vise une consommation moyenne de sel de 8 g/jour chez l'homme adulte et 6,5 g/jour chez la femme adulte et les enfants. Les recommandations internationales vont également dans ce sens (USDA, 2011; WHO, 2007). Le sel (chlorure de sodium), avec d'autres ingrédients comme la matière grasse et le sucre sont indispensables, dans une certaine proportion, à une alimentation équilibrée. Il a un rôle multifonctionnel dans les aliments, en participant à leur structure, à leurs propriétés mécaniques et à leurs propriétés organoleptiques (Kilcast et Angus, 2007). De plus, il est garant d'une sécurité microbiologique satisfaisante (Taormina, 2011). Une diminution notable de ces ingrédients va donc modifier les propriétés fonctionnelles des aliments mais va également diminuer leur acceptabilité par le consommateur dans la mesure où ces ingrédients sont aussi largement impliqués dans les propriétés sensorielles des aliments.

En ce qui concerne la qualité organoleptique des aliments, le sel est responsable de la perception salée et de plus il agit sur la flaveur globale et la structure de l'aliment. La composition, la structure de l'aliment conditionnent la libération des composés d'arôme et de saveur, dans la mesure où elles ont un impact sur la disponibilité de ces molécules d'intérêt biologique (Boisard *et al.*, 2013 ; Boisard *et al.*, 2014 ; Laverjat *et al.*, 2009). La composition de la matrice alimentaire influence, en effet, de façon importante les cinétiques de libération des composés de la flaveur du fait des interactions entre les stimuli gustatifs et olfactifs, et les composants de la matrice, en particulier matière grasse, glucides, protéines et eau (Guichard, 2002). Par ailleurs, la perception globale de la flaveur est un phénomène intégratif multimodal, impliquant non seulement la perception due à la présence individuelle de chaque composé d'arôme ou de saveur dans l'aliment, mais prenant aussi en compte les interactions entre ces différents sens (Small et Prescott, 2005 ; Thomas-Danguin, 2009).

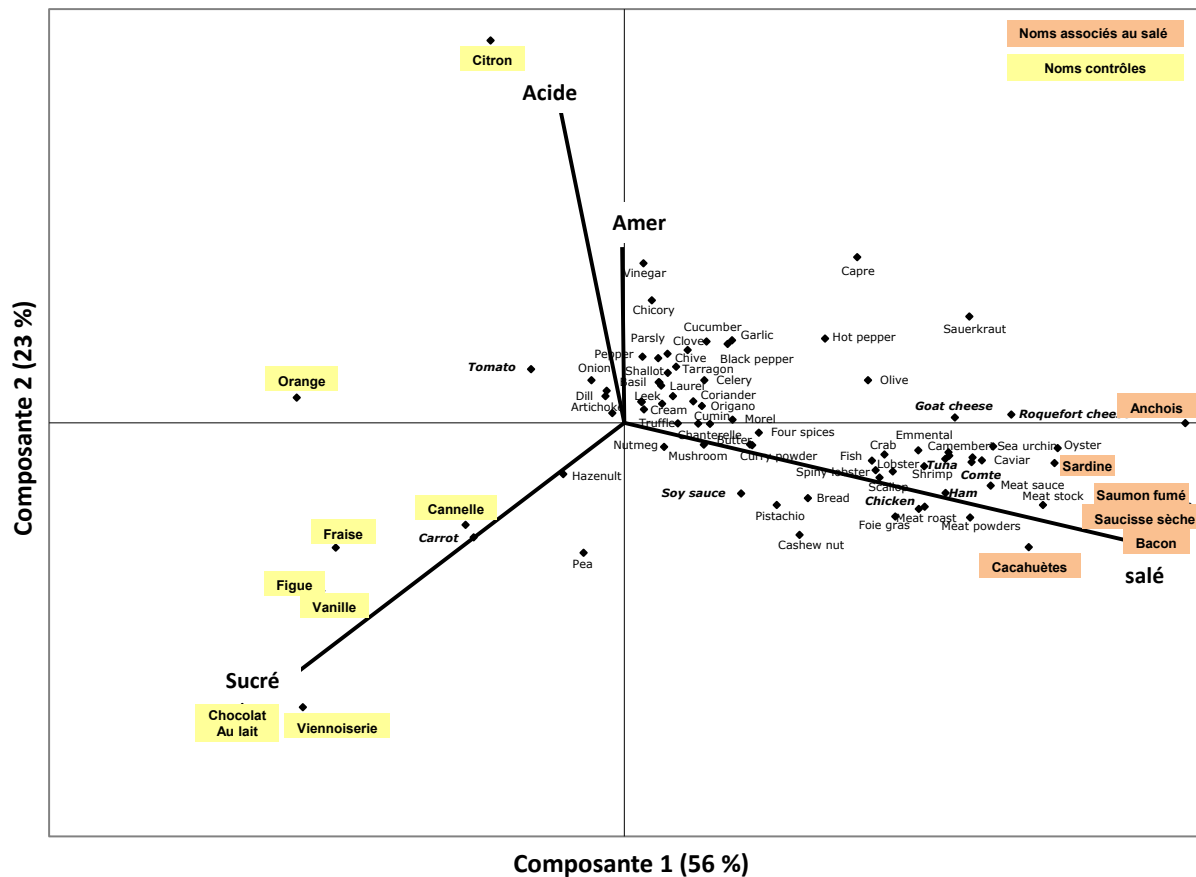
De plus, dans le cas de produits alimentaires subissant une fermentation et/ou une maturation au cours de leur fabrication, le sel peut avoir une incidence sur le développement des microorganismes et donc sur la qualité du produit final (Kilcast et Angus, 2007). En effet, il joue un rôle important dans la régulation de la croissance microbienne et des activités biochimiques par la réduction de l'activité de l'eau. Dans la fabrication des fromages, par exemple, il complète aussi l'égouttage et permet la formation d'une croûte, il a un impact sur les équilibres minéraux et le pouvoir tampon, et il a un effet sur les caractéristiques organoleptiques (Guinee et O'Kennedy, 2007 ; Guinee et Fox, 1993).

Aussi, une réduction de la teneur en sel peut conduire à une perte d'acceptabilité globale de l'aliment par le consommateur ayant pour conséquence un impact économique négatif. En effet, plusieurs études ont montré qu'une réduction de la teneur en sel des aliments est systématiquement associée à une forte diminution de leur appréciation et de leur acceptabilité par les consommateurs. Pour tenter de remédier à cette difficulté, différentes stratégies ont été explorées comme par exemple la substitution partielle du sodium par du potassium (Toldra et Barat, 2009 ; Toldra et Barat, 2012), la diminution progressive de la quantité de chlorure de sodium dans les aliments jusqu'à une dose cible (Girgis *et al.*, 2003) ou encore en jouant sur l'hétérogénéité de la distribution du sel dans l'aliment (Busch *et al.*, 2009 ; Mosca *et al.*, 2013). Cependant, d'autres stratégies de compensation de la diminution de cette perception salée dans les aliments à teneur réduite en sel pourraient intéresser l'industrie agro-alimentaire, comme le renforcement de la saveur salée par des arômes et leur combinaison à d'autres stratégies permettant d'accroître ce renforcement. L'objet de ce texte est de présenter les résultats obtenus sur l'exploration de cette stratégie novatrice.

# 1. Renforcement de la perception du salé par la perception d'arômes

## 1.1 Dans un milieu aqueux

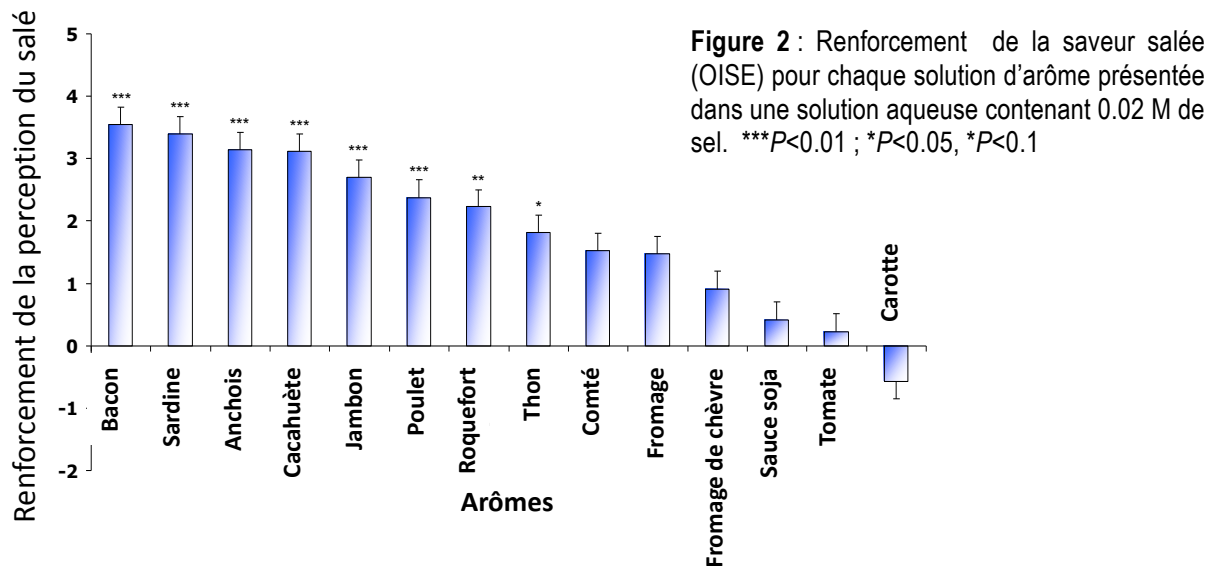
Le renforcement de l'intensité salée par d'autres stimuli a été étudié dans un premier temps dans un milieu aqueux simple, avec l'objectif de tester l'hypothèse selon laquelle certains arômes pourraient renforcer la saveur salée (Lawrence *et al.*, 2009). Des odeurs peuvent évoquer le goût salé par simple imagination d'un objet alimentaire induite par le nom d'un aliment. En effet, une étude portant sur 86 noms d'aliments et basée sur l'évaluation du profil de saveurs d'attente pour chacun des aliments (càd les saveurs imaginées) a été réalisée avec 81 consommateurs. Les résultats sont reportés sur la Figure 1 et montrent clairement des variations entre les noms d'aliments proposés. Cette étude a permis de sélectionner des aliments associés au goût salé et des aliments contrôles non-associés au goût salé.



**Figure 1** : Analyse en composantes principales des données d'intensité de saveur (amertume, acidité, salé et sucré) enregistrées pour 86 noms d'aliments avec 81 consommateurs

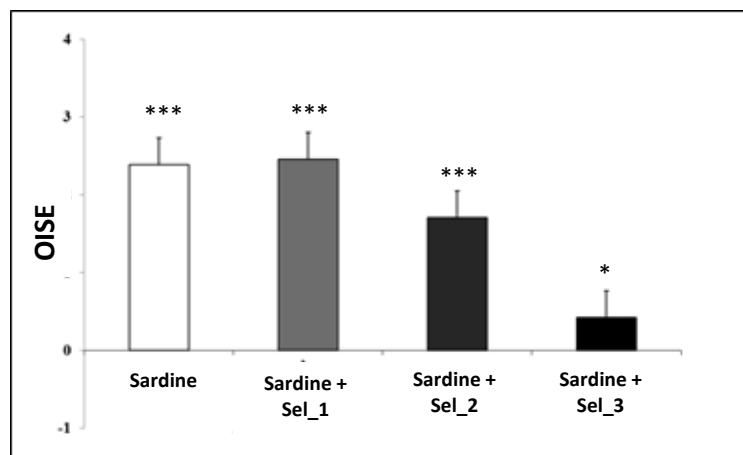
Par la suite des compositions aromatiques rappelant les aliments sélectionnés ont été utilisées dans des solutions aromatiques contenant une faible quantité de sel. Ces solutions ont été goûtées par 59 consommateurs qui avaient pour tâche d'évaluer l'intensité de différentes saveurs, dont la saveur salée. Les résultats obtenus montrent clairement que certains arômes possèdent une dimension salée alors que d'autres non. De plus, ces « arômes salés » ont la capacité de renforcer significativement la saveur salée de solutions contenant de faibles quantités de sel. Le phénomène perceptif à la base de ce renforcement est nommé en anglais « Odor-Induced Saltiness Enhancement » (OISE) et repose sur l'intégration des signaux sensoriels gustatifs et olfactifs en une représentation combinée appelée « Flaveur » (Figure 2). Par exemple, les arômes « anchois » et « bacon » dont les noms évoquaient fortement le goût salé ont l'OISE le plus important lorsqu'ils sont évalués en solution faiblement saline. Par contre, les arômes « carotte » et « tomate » dont les noms évoquaient le sucré ne renforcent pas

significativement la saveur salée, malgré une intensité d'odeur proche. Dans le cas de l'arôme « carotte », l'OISE significativement négatif s'explique par un effet masquant du goût sucré induit sur la dimension salée.



Ainsi, des notes aromatiques évoquant des aliments salés pour les consommateurs ont permis de renforcer l'intensité de la saveur salée de solutions aqueuses ou de matrices alimentaires contenant une faible dose de sel. Ces arômes, neutres d'un point de vue nutritionnel, possèdent donc clairement une dimension salée qui permet de renforcer cette saveur sans utiliser de chlorure de sodium.

Ce phénomène de renforcement de la saveur salée par des arômes congruents dépend de l'intensité de la saveur salée elle-même c'est-à-dire de la teneur en sel du milieu (Figure 3). En effet, il est observable uniquement à faible concentration de sel et disparaît à forte concentration (Nasri *et al.*, 2011). En ce qui concerne la concentration en arôme, les effets sont moins clairs.



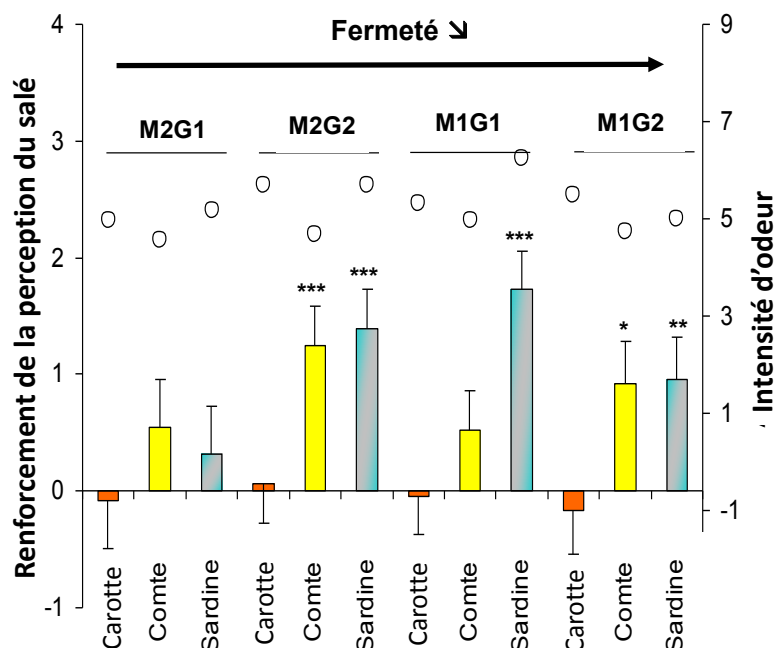
### 1.2 Dans une matrice alimentaire

L'objectif de cette étude était de voir si le phénomène de renforcement de la saveur salée par des arômes évoquant cette saveur, observé dans un milieu simple légèrement salé, pouvait être également observé dans un milieu plus complexe comme une matrice solide alimentaire. Cette étude a donc porté

sur une matrice lipoprotéique (modèle fromager) variant sur deux niveaux de matières sèches et deux niveaux de matières grasses (Lawrence *et al.*, 2011). Ces quatre produits avaient une texture différente, plus ou moins dure, en fonction de la composition. Trois arômes ont été utilisés : un arôme évoquant le salé et congruent avec l'aliment (comté), un arôme évoquant le salé mais non congruent avec l'aliment (sardine), et un arôme n'évoquant pas le salé et non congruent avec l'aliment (carotte). La présence des arômes « comté » et « sardine » dans les matrices lipoprotéiques a conduit à un renforcement important de la perception du salé tandis que cet effet n'est pas observé avec l'arôme « carotte » (Figure 4). Par contre, cet effet est dépendant de la composition et de la texture du produit.

Pour les arômes « Comté » et « sardine », un renforcement important de la perception du salé est observé pour les produits contenant le niveau de matière grasse le plus élevé. Ce phénomène de renforcement n'est pas observé avec les produits comportant le taux le plus bas de matières grasses, sauf dans le cas de l'arôme sardine pour le produit comportant les taux les plus bas en matières sèches et grasses. De plus, aucun effet n'a été observé sur les produits dont la texture est la plus dure. En ce qui concerne l'appréciation des produits, il n'y a pas de différence entre les produits aromatisés à la sardine et au comté mais ils sont plus appréciés que ceux aromatisés à la carotte. Sur la base de ces résultats, il semble que la congruence entre l'arôme et le produit ne soit pas un facteur déterminant pour le renforcement car l'arôme « sardine » qui est moins congruent que l'arôme « comté » pour ce type de produit (modèle fromager) induit un renforcement du salé plus important. Comme observé avec les solutions faiblement salines, le renforcement de la perception du salé n'est pas observé avec les matrices lipoprotéiques contenant un taux de sel élevé.

Le renforcement de la perception du goût salé par des arômes est un phénomène basé sur les interactions cognitives entre perception d'odeur et de saveur. Il dépend de la mémoire associative et des expériences antérieures que le sujet a eues avec les aliments. L'effet de renforcement est fonction de la concentration en sel, donc de l'intensité du goût salé, et de la composition de l'aliment. Ces facteurs peuvent donc moduler également l'intensité de la perception du sel et donc, potentiellement, moduler les interactions perceptives avec les arômes.

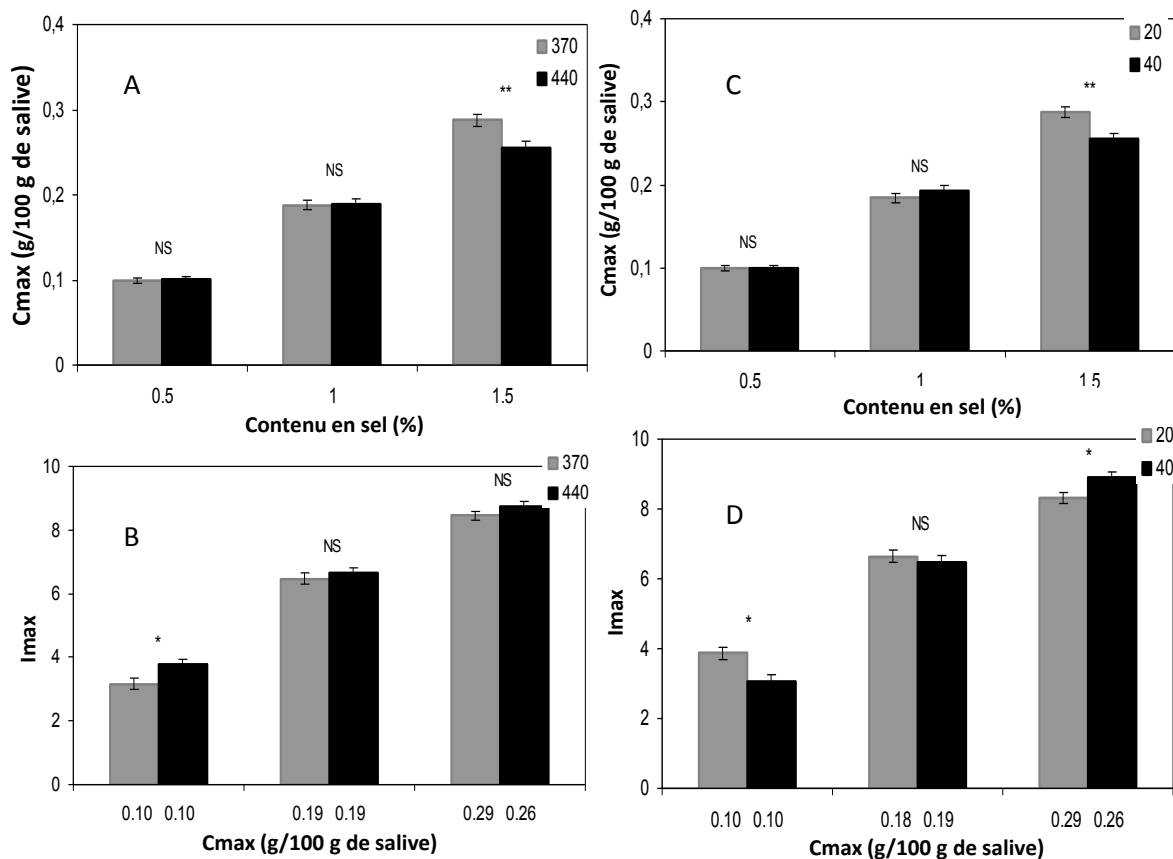


**Figure 4 :** Renforcement de la saveur salée pour les arômes « sardine », « comté » et « carotte » dans des matrices lipoprotéiques solides. M : matière sèche ; G : matière grasse ;

1 et 2 désignent les niveaux bas et élevés, respectivement. Les cercles représentent la moyenne de l'intensité de l'arôme pour chaque produit. \*\*\* $P < 0.001$  ; \* $P < 0.05$

La perception de la texture et des saveurs de matrices lipoprotéiques solides est affectée par les variations de niveaux de sel, extrait sec et matière grasse. Les modifications de composition affectent aussi la libération du sodium en bouche et la perception temporelle du goût salé mais ces effets varient en fonction du niveau de sel. La teneur en eau influence plutôt la quantité de sel libéré tandis que la perception du sel est influencée par le taux de matière grasse (Lawrence *et al.*, 2012a ; Lawrence *et al.*,

2012b) (Figure 5). Sur d'autres types de fromages modèles variant en proportion lipide/protéine, avec et sans sel ajouté, une diminution du rapport lipide/protéine augmente la dureté des modèles fromagers et leur résistance mécanique. L'ajout de sel conduit à des modèles fromagers moins fermes, ce qui peut s'expliquer par des tailles plus importantes de gouttelettes lipidiques. La mobilité des ions sodium (évaluée par Résonance Magnétique Nucléaire) est plus importante dans les fromages modèles avec sel ajouté qui ont une texture moins ferme que les versions sans sel ajouté, et des gouttelettes lipidiques plus grosses (Boisard *et al.*, 2013). Pour une même teneur en sel des fromages, une diminution du rapport lipide/protéine conduit à une diminution de la mobilité des ions sodium qui se traduit par une diminution de la quantité de sodium libéré dans la salive et une diminution de la perception salée.



**Figure 5 :** Influence de la composition d'une matrice lipoprotéique sur la libération de sel en bouche et la perception du salé. Variation de la matière sèche (g/kg) ; A : libération du sel ; B : perception du salé. Variation de la matière grasse (%) ; C : libération du sel ; D : perception du salé. Cmax : concentration maximale de sodium mesurée dans la salive lors de la consommation du produit. Imax : intensité de perception salée maximale lors de la consommation du produit. \*\* $P < 0.01$  ; \* $P < 0.05$  ; NS : non significatif

## 2. Combinaison du renforcement de la perception du salé par des arômes avec d'autres stratégies

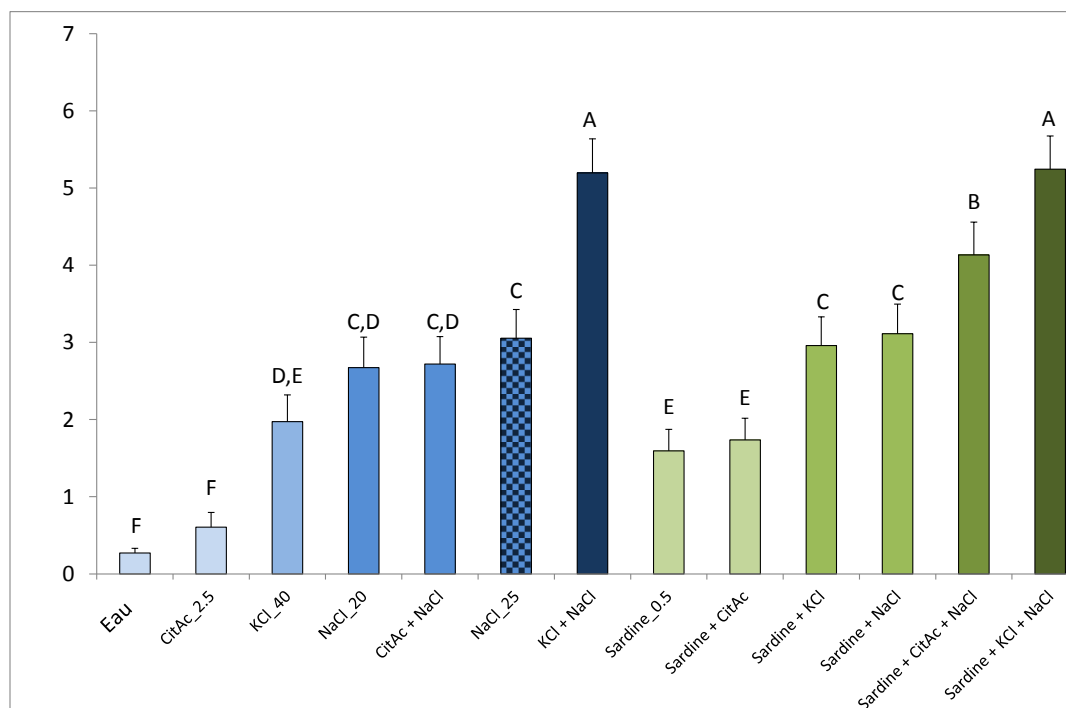
### 2.1 Combinaison avec la perception du goût acide

Les effets de renforcement de la saveur salée par les arômes (OISE) en fonction de la complexité chimiosensorielle du milieu ont été explorés. Sur le plan expérimental, des panels de consommateurs, composés d'une soixantaine de personnes, ont goûté, en laboratoire, différentes solutions aromatiques contenant un arôme renforçant la saveur salée (sardine) mais également des saveurs salées (NaCl et/ou KCl) et/ou acides (acide citrique) (Nasri *et al.*, 2013). Ces consommateurs avaient pour tâche

d'évaluer l'intensité de différents saveurs, dont la saveur salée, dans chacune des solutions proposées. Les résultats ont clairement montré que l'arôme utilisé évoquant la sardine renforce la saveur salée, ce qui confirme les résultats obtenus dans les études antérieures.

Une synergie nette entre la saveur salée et la saveur acide, mais uniquement en présence de l'arôme renforçateur a été observée. En effet, dans cette situation, l'augmentation de la saveur salée est très significativement supérieure à 25% en comparaison d'une situation contrôle (Figure 6).

Perception salée



**Figure 6 :** Moyennes de perception salée de solutions aqueuses contenant divers composés sapides (NaCl 20mM, KCl 40mM, acide citrique 2.5mM (CitAc) ou des mélanges KCl+NaCl et CitAc+NaCl) sans arôme (barres bleues) ou avec ajout d'un arôme de sardine à 0.5 g/l (barres vertes). Solution de référence contenant 25% de sel en plus (barre quadrillée). Des lettres identiques indiquent qu'il n'y a pas de différence significative pour la perception salée au seuil de 5%

## 2.2 Combinaison avec une distribution hétérogène de stimuli

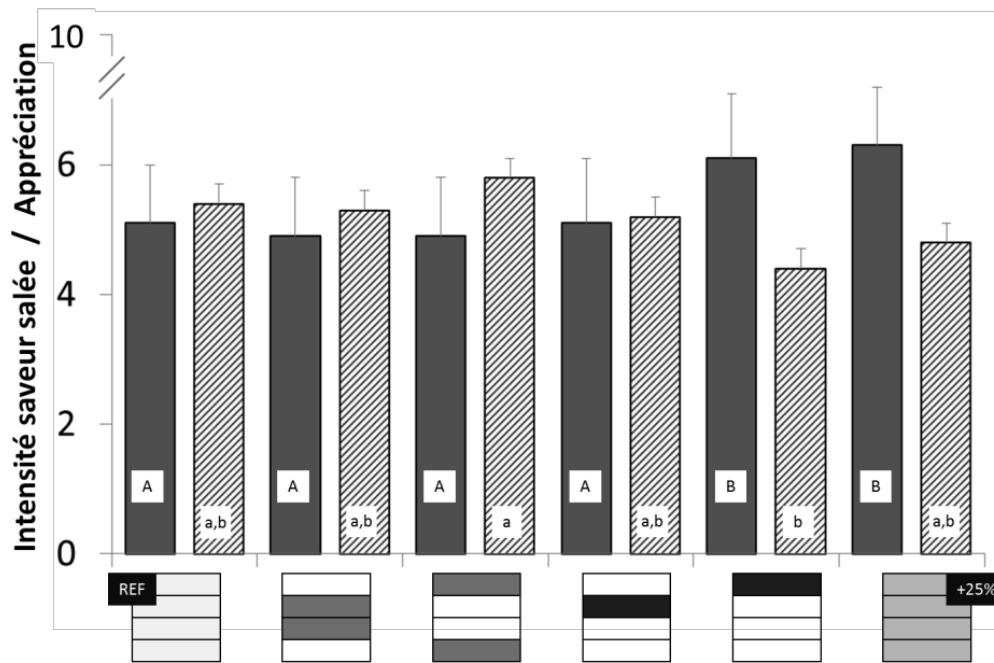
Cette stratégie est basée sur des modifications de la nature et de la dose des stimuli ou sur des modifications de la structure et de la composition de la matrice alimentaire. Elle consiste d'une part à utiliser une distribution hétérogène du sel dans l'aliment (Emorine *et al.*, 2013) et d'autre part à combiner cette approche avec l'utilisation d'arômes renforçateurs de la saveur salée au travers d'interactions arôme-saveur qui prennent place lors de l'intégration multisensorielle.

Cette approche a montré qu'une distribution hétérogène du sel permet de renforcer significativement la saveur salée dans une matrice alimentaire complexe à base de crème; ce renforcement est accentué si un arôme jambon, associé à la saveur salée, est ajouté à cette matrice alimentaire.

Sur le plan expérimental, des panels d'environ 80-100 consommateurs ont dégusté, en laboratoire, des échantillons de cette matrice alimentaire complexe structurée en 4 couches superposées dont seule la teneur en sel était variable. Plusieurs variantes de cet aliment, reposant sur différentes combinaisons des couches mais avec une quantité globale de sel strictement identique, étaient soumises à l'évaluation par les consommateurs. Deux échantillons contrôles, avec une distribution homogène en sel leur étaient également présentés ; l'un de ces échantillons avait une concentration globale en sel supérieur de 25% à



celle de tous les autres échantillons. Les résultats de notation de l'intensité de la saveur salée pour les différentes variantes (Figure 7) ont mis en évidence que parmi les combinaisons testées, celle présentant l'hétérogénéité la plus importante avec le sel concentré dans une des couches externes du produit était perçue comme significativement plus salée que les autres variantes contenant pourtant la même quantité globale de sel. Dans ce cas l'intensité salée n'est pas différentes de celle d'un produit contenant 25% de sel en plus mais réparti de manière homogène dans le produit.



**Figure 7** : Intensité de la saveur salée (barres grises) et niveau d'appréciation (barres hachurées) en fonction de l'hétérogénéité de la distribution du sel dans une matrice alimentaire à base de crème formée de 4 couches (symboles en abscisses où l'intensité de gris reflète la concentration en sel dans les couches). Le produit REF a une distribution homogène en sel et le produit +25% a une distribution homogène en sel avec un contenu global supérieur de 25% par rapport aux autres produits. Les lettres illustrent les différences significatives entre les moyennes : deux lettres différentes indiquent une différence significative ( $p < 0.05$ ). Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne

Dans une seconde partie de l'étude, cette stratégie de répartition hétérogène du sel a été combinée avec l'ajout dans les produits d'un arôme jambon associé à la saveur salée. Les résultats de notation de l'intensité de la saveur salée montrent que cet arôme jambon tend à renforcer la saveur salée quelle que soit la distribution du sel.

En revanche l'hétérogénéité de la distribution de l'arôme jambon n'a que peu d'influence sur la perception du sel. La combinaison des deux stratégies a permis d'obtenir un renforcement de la perception salée pouvant compenser une réduction du taux de sel de l'ordre de 35% pour ce type de produit alimentaire.

Dans les deux études, des consommateurs ont été interrogés vis-à-vis de leur appréciation des différentes variantes des produits. Les résultats ont montré que les produits dont la distribution des stimuli est hétérogène sont d'une manière générale bien acceptés par les consommateurs. Cette appréciation semble également être augmentée en présence d'un arôme associé au sel.

Ces travaux montrent que l'hétérogénéité de la distribution de sel avec un contraste important peut être utilisée efficacement pour renforcer significativement la saveur salée, permettant ainsi de réduire la teneur en sel dans les aliments. Cette stratégie peut être avantageusement combinée à celle utilisant

des arômes renforçateurs pour diminuer de façon plus importante la teneur en sel dans les aliments en gardant une bonne acceptabilité par le consommateur. Ces résultats pourront être directement utilisés par l'industrie pour la reformulation d'aliments composites à teneur réduite en sel.

## Perspectives

Ces travaux confirment la potentialité de certains arômes à rehausser la saveur salée, notamment dans des conditions de complexité chimiosensorielle (mélange de saveurs), ce qui est le cas général des aliments. Ces découvertes ouvrent la voie à l'utilisation de ces « arômes salés » pour compenser la diminution du taux de sel dans les aliments réels. C'est pourquoi, les investigations se poursuivent pour évaluer l'impact renforçateur des arômes sur la saveur salée dans des modèles alimentaires plus complexes et des aliments réels. Par ailleurs, la compensation inter-sensorielle mise en évidence dans ces études pourrait être étendue à d'autres composés à impact sensoriel dont il est souhaitable de réduire la teneur dans les aliments (ex : sucre, matière grasse). L'utilisation de tels renforçateurs pourrait être combinée à une optimisation de la composition de la matrice alimentaire conduisant à une intensité de perception salée maximale.

## Références bibliographiques

- Boisard L., Andriot I., Arnould C., Achilleos C., Salles C., Guichard E., 2013. Structure and composition of model cheeses influence sodium NMR mobility, kinetics of sodium release and sodium partition coefficients. *Food Chemistry* 136(2), 1070-1077.
- Boisard L., Tournier C., Semon E., Noirot E., Guichard E., Salles C., 2014. Salt and fat contents influence the microstructure of model cheeses, chewing/swallowing and in vivo aroma release. *Flavour and Fragrance Journal* 29(2), 95-106.
- Busch J., Tournier C., Knoop J.E., Kooyman G., Smit G., 2009. Temporal Contrast of Salt Delivery in Mouth Increases Salt Perception. *Chemical Senses* 34(4), 341-348.
- Emorine M., Septier C., Thomas-Danguin T., Salles C., 2013. Heterogeneous salt distribution in hot snacks enhances saltiness without loss of acceptability. *Food Research International* 51(2), 641-647.
- Girgis S., Neal B., Prescott J., Prendergast J., Dumbrell S., Turner C., Woodward M., 2003. A one-quarter reduction in the salt content of bread can be made without detection. *European Journal of Clinical Nutrition* 57(4), 616-620.
- Guichard E., 2002. Interactions between flavor compounds and food ingredients and their influence on flavor perception. *Food Reviews International* 18(1), 49-70.
- Guinee T.P., O'Kennedy B.T., 2007. Reducing salt in cheese and dairy spreads. In : D. Kilcast, F. Angus (eds), *Reducing salt in foods: Practical strategies*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, pp. 316 – 357.
- Guinee T.P., Fox P.F., 1993. Salt in cheese: physical, chemical and biological aspects. *Cheese: chemistry, physics and microbiology. General aspects. vol.I*. Chapman & Hall ed. London (England): Chapman & Hall. 601 p.
- Kilcast D., Angus F., 2007. *Reducing salt in foods: Practical strategies*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.
- Lauverjat C., Deleris I., Trelea C.I., Salles C., Souchon I., 2009. Salt and aroma compound release in model cheeses in relation to their mobility. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(21), 9878-9887.
- Lawrence G., Buchin S., Achilleos C., Bérodiér F., Septier C., Courcoux P., Salles C., 2012a. In vivo sodium release and saltiness perception in solid lipoprotein matrices. 1. Effect of composition and texture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60(21), 5287–5298.

- 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. *International Dairy Journal* 21(2), 103-110.
- 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 Quality and Preference* 20(3), 241-248.
- Lawrence G., Septier C., Achilleos C., Courcoux P., Salles C., 2012b. In vivo sodium release and saltiness perception in solid lipoprotein matrices. 2. Impact of oral parameters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60(21), 5299–5306.
- Mosca A.C., Bult J.H.F., Stieger M., 2013. Effect of spatial distribution of tastants on taste intensity, fluctuation of taste intensity and consumer preference of (semi-)solid food products. *Food Quality and Preference* 28(1), 182-187.
- Nasri N., Béno 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 Quality and Preference* 22(7), 678-682.
- Nasri N., Septier C., Béno N., Salles C., Thomas-Danguin T., 2013. Enhancing salty taste through odour-taste-taste interactions: Influence of odour intensity and salty tastants' nature. *Food Quality and Preference* 28(1), 134-140.
- World Health Organization, 2007. Reducing Salt Intake in Populations: Report of a WHO Forum and Technical Meeting. Services WDP, Geneva, Switzerland.
- Programme National Nutrition Santé 2 (2006-2010). Ministère de la santé et des solidarités. <http://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/plan.pdf>
- Programme National Nutrition Santé 3 (2011-2015). Ministère du travail, de l'emploi et de la santé. [http://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/PNNS\\_2011-2015.pdf](http://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/PNNS_2011-2015.pdf)
- Small D.M., Prescott J., 2005. Odor/taste integration and the perception of flavor. *Experimental Brain Research* 166(3-4), 345-357.
- Strazzullo P., D'Elia L., Kandala N.-B., Cappuccio F.P., 2009. Salt intake, stroke, and cardiovascular disease: meta-analysis of prospective studies. *British Medical Journal* 339, b4567-b4576.
- Taormina P.J., 2011. Implications of Salt and Sodium Reduction on Microbial Food Safety (vol 50, pg 209, 2010). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 51(5), 477-477.
- Thomas-Danguin T., 2009. Flavor. In: M.D. Binder, N. Hirokawa, U. Windhorst (Eds). *Encyclopedia of Neuroscience*. Springer-Verlag GmbH, Berlin Heidelberg, Germany.
- Toldra F., Barat J.M., 2009. Recent patents for sodium reduction in foods. *Recent patents on food, nutrition and agriculture* 1(1), 80-86.
- Toldra F., Barat J.M., 2012. Strategies for salt reduction in foods. *Recent patents on food, nutrition & agriculture* 4(1), 19-25.
- United State Department of Agriculture, 2011. Report of the Dietary Guidelines Advisory Committee on the Dietary Guidelines for Americans. USA.