
**APPROCHE MULTIDISCIPLINAIRE COMBINANT L'IMAGERIE PAR
RÉSONANCE MAGNETIQUE ^{23}Na , LA LIBÉRATION *IN-VITRO* DE SODIUM
ET L'ÉVALUATION SENSORIELLE POUR ÉTUDIER
LES INTERACTIONS SEL-ALIMENTS ET OPTIMISER L'UTILISATION
DU SEL DE TABLE PAR LES CONSOMMATEURS**

Thèse de Raphael **MONOD**¹

Analysée par Sylvie **ISSANCHOU**²

Directeur de thèse : Thierry **THOMAS-DANGUIN**, UMR Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation (CSGA), Dijon

Codirecteur de thèse : Sylvie **CLERJON**, UR Qualité des Produits Animaux, (QuaPA), Saint-Genès-Champagnelle

En France, comme dans de nombreux pays, la consommation de sodium est excessive par rapport aux recommandations de l'OMS. Les apports de sodium proviennent du sel (NaCl) contenu dans les aliments commerciaux et de l'utilisation de sel à domicile lors des préparations alimentaires et/ou lors des ajouts dans l'assiette (sel discrétionnaire). Ces dernières années, l'industrie agroalimentaire a réduit les teneurs en chlorure de sodium dans de nombreux aliments, mais la question de la réduction du sel discrétionnaire a été peu étudiée. C'est dans ce contexte que se situait cette thèse, qui faisait partie du projet Sal&Mieux, financé par l'Agence Nationale de la Recherche. L'objet de cette thèse, qui était de proposer des **leviers pour réduire cette consommation de sel discrétionnaire**, était donc pertinent et original.

Plus précisément, les objectifs de la thèse étaient de mieux comprendre les interactions entre le NaCl et différentes matrices alimentaires, comment le NaCl était libéré en bouche lors de la mastication et finalement comment cela affectait la perception de la saveur salée.

Pour atteindre ces objectifs, l'auteur a réalisé un travail expérimental considérable, basé sur des approches relevant de plusieurs disciplines : différentes méthodes analytiques pour le dosage du NaCl, sa distribution et sa mobilité dans les aliments étudiés et différentes méthodes sensorielles pour évaluer la perception de la saveur salée par des consommateurs. Concernant les méthodes analytiques, il faut souligner que l'auteur a mis en œuvre des méthodes sophistiquées, la RMN et de l'imagerie RMN du ^{23}Na , et qu'il a dû, pour cela, aller au sein de la plateforme Agrorésonance de l'UR Qualité des Produits Animaux. Il faut

¹ Thèse de doctorat de l'Université Bourgogne Franche-Comté, préparée au Centre des Sciences et du Goût et de l'Alimentation et à la plateforme Agrorésonance – UR Qualité des Produits Animaux, Ecole doctorale n°554, Environnement santé, et soutenue à Dijon le 26 novembre 2024.

² Membre de l'Académie d'agriculture de France, section 8 « Alimentation humaine ».

également souligner qu'il a réalisé un séjour doctoral en Afrique du Sud pour une de ses études. Cette diversité des approches utilisées et ces mobilités géographiques attestent indéniablement d'une grande capacité d'adaptation de l'auteur.

Un des défis autour de la réduction de la consommation de NaCl est de maintenir un niveau d'intensité salée suffisant pour garantir l'acceptabilité de l'aliment.

Après avoir présenté une figure issue d'un article présentant toutes les stratégies possibles permettant de réduire la consommation de NaCl, tout en maintenant autant que possible la perception salée et/ou l'acceptabilité, l'auteur mentionne qu'il va s'intéresser à celles pouvant être mises en œuvre au niveau domestique. L'auteur se base ensuite sur les données de la littérature pour choisir les différentes approches de salage à étudier. Un premier élément est que la perception de la saveur salée dépend du taux de sodium libre dans la salive et que la libération de sodium dépend de la composition de l'aliment, de la structure de la matrice alimentaire et du comportement masticatoire. L'auteur n'a pas étudié les effets de différences interindividuelles de comportement masticatoire sur la libération du sodium et la perception de la saveur salée, mais a choisi de focaliser son travail sur les paramètres liés à l'aliment et à la méthode de salage. L'auteur a toutefois étudié l'effet de la mastication sur la dynamise de libération du sodium en utilisant un simulateur de bouche. Un important élément de connaissance sur lequel les choix méthodologiques de salage se sont basés, et sur lequel ont été construites les hypothèses de la thèse, est qu'une distribution hétérogène de NaCl induit une perception de l'intensité salée plus élevée qu'une distribution homogène. Un autre élément est que la taille des cristaux de sel peut influencer la perception de l'intensité salée.

Ainsi, l'auteur a comparé une méthode de salage lors de la cuisson dans l'eau et une méthode de salage après la cuisson, en versant du sel sur l'aliment comme s'il était dans l'assiette. Pour ce salage après cuisson, trois types de sel ont été utilisés, à savoir, le sel micronisé, le sel fin et la fleur de sel (classé par ordre croissant de taille de cristaux).

Une hypothèse étant que le NaCl interagirait différemment selon les matrices alimentaires, l'auteur en a utilisé trois au cours de son travail : les carottes, les pâtes et le poulet. Ces aliments ont été choisis car ils sont largement et fréquemment consommés, en particulier en France, et pour leur diversité en termes de composition, de teneur en eau, et de structure (homogène pour les pâtes et le poulet, hétérogène pour les carottes). Pour d'évidentes raisons de contrainte temporelle, toutes les expérimentations n'ont pas pu être conduites sur ces trois aliments et l'auteur a choisi de concentrer ses efforts sur la carotte.

Dans son chapitre bibliographique, l'auteur présente également des résultats d'une autre approche permettant de réduire la teneur en NaCl sans diminuer la perception d'intensité salée. Cette approche est basée sur un phénomène d'intégration entre la perception gustative et la perception olfactive. Ainsi, des arômes congruents avec la saveur salée peuvent renforcer la perception d'intensité salée et compenser, au moins en partie, une réduction de la teneur de NaCl. Ainsi, dans deux expériences, l'auteur a étudié non seulement les différentes méthodes de salage, mais également l'effet d'ajout de différents arômes. On peut regretter que, dans le chapitre bibliographique, cette notion de congruence ne soit pas explicitée, de même que les critères de choix des arômes utilisés dans les deux expériences sur le poulet (le romarin, la bacon fumé et l'ail fumé). C'est d'autant plus surprenant qu'une des hypothèses du travail est que des herbes ou épices « bien sélectionnées » peuvent augmenter la

perception de la saveur salée. En effet, on parle d'un arôme congruent avec une saveur lorsque des individus ont eu des expériences sensorielles préalables dans lesquelles un stimulus olfactif donné était associé à un stimulus gustatif donné. Ce n'est que dans la discussion des résultats des deux expériences portant sur le poulet que cette notion d'association est mentionnée, sans toutefois être davantage expliquée.

L'auteur termine son introduction par la présentation de sept hypothèses spécifiques, dont une ne sera pas testée au cours de la thèse. Il présente ensuite les sept études constituant le travail expérimental réalisé et quelles études ont permis de tester quelles hypothèses. Même si toutes les hypothèses n'ont pas été testées dans toutes les études et sur les trois aliments, le travail expérimental réalisé est considérable.

Les méthodes expérimentales sont décrites avec soin dans le chapitre 2, et aussi dans le chapitre 3 du manuscrit. Les résultats sont présentés dans le chapitre 4 et un tableau présente les conclusions pour chacun des aliments.

Les résultats mettent en évidence **l'importance de l'hétérogénéité de la répartition du sodium dans l'augmentation de la perception de la saveur salée**. Cette plus grande hétérogénéité est obtenue avec le salage après cuisson avec le sel fin, mais plus encore avec la fleur de sel. Les études de libération du sodium au cours de la mastication avec le simulateur montrent une plus grande variabilité de libération du sodium quand la fleur de sel est ajoutée après cuisson par rapport à un salage lors de la cuisson.

La comparaison des résultats sensoriels et des dosages de sodium permet de conclure à une **réduction possible de la teneur en sodium tout en maintenant un niveau d'intensité salée jugé satisfaisant**. Les effets d'augmentation de l'intensité salée avec le salage à l'assiette avec le sel fin ou la fleur de sel sont plus importants pour les pâtes que pour les carottes et le poulet, ce qui peut s'expliquer par le goût plus neutre des pâtes. Concernant les arômes, l'effet d'augmentation de la saveur salée est obtenu avec les deux arômes fumés qui sont généralement les plus associés à des aliments salés. En appliquant les réductions d'ajout de NaCl aux trois aliments étudiés, l'auteur précise qu'une réduction totale de 881 mg de NaCl par portion servie pourrait être possible, sans affecter la perception de la saveur salée par rapport aux attentes, et que cette réduction même si elle reste modeste, représenterait 18 % de l'apport maximal quotidien en sel recommandé par l'OMS fixé à 5 g/jour.

Ces résultats amènent l'auteur à recommander de saler après cuisson juste avant consommation. L'auteur mentionne, à juste titre, que ceci est contraire aux recommandations actuelles consistant à ne pas mettre de salière à table. Il souligne qu'il y a effectivement un risque à ce que les consommateurs ajoutent trop de sel. Il suggère donc de limiter l'ajout de sel durant la cuisson, de goûter avant de saler dans l'assiette et, si besoin, d'utiliser de la fleur de sel ou des aromates pour augmenter la saveur salée. On voit donc là que des études complémentaires seraient nécessaires pour voir comment modifier les habitudes des consommateurs. De plus, l'auteur ne mentionne pas le fait que la fleur de sel est plus coûteuse que le sel fin.

De façon très honnête, l'auteur mentionne également les limites de son travail. Ainsi, il souligne que pour contourner la faible sensibilité de la RMN au sodium, les niveaux de NaCl ont été doublés pour les études de RMN et d'IRM par rapport au niveau habituel utilisé pour l'analyse

sensorielle et les expériences de mastication *in vitro*. Il indique également que les résultats obtenus ne seraient certainement pas transposables à des produits liquides tels que des soupes ou même semi-liquides tels que des purées. Il indique aussi n'avoir étudié qu'un seul mode de cuisson et qu'il serait intéressant d'étudier une cuisson à la poêle. Ceci serait particulièrement pertinent pour la viande ; la cuisson d'aiguillette de poulet dans un bouillon n'étant certainement pas le mode de cuisson le plus courant.

L'auteur présente quelques perspectives d'élargissement de son travail. Il mentionne en particulier le fait qu'il serait nécessaire d'étudier la dynamique temporelle de la libération du sodium en bouche avec une approche *in vivo*. Bien que cela ne soit pas indiqué, il serait également intéressant de suivre l'évolution de la perception de la saveur salée au cours de la mastication, sur la façon dont se construit la perception globale de l'intensité salée en fonction de cette perception temporelle et le lien avec l'appréciation de l'aliment. L'auteur propose également d'aller plus loin en utilisant l'imagerie cérébrale temporelle (Électroencéphalographie, EEG) pour mettre en évidence les mécanismes neurobiologiques sous-jacents à la perception du sel, et en particulier à sa dynamique.

Ce travail de thèse, original par son sujet et par son approche pluridisciplinaire, qui a donné lieu à un article sur les méthodes utilisées pour les expérimentations sur les carottes et trois articles scientifiques sur les résultats, mérite largement d'être mis en valeur sur le Site et dans le Mensuel de l'Académie d'agriculture de France.