la chimie du goût

publié le 08.02.18 |par loïc briand

le sens du goût permet d'évaluer la qualité des aliments dans notre bouche. la connaissance des mécanismes de perception des molécules sapides a fortement progressé durant ces vingt dernières années. à l'heure actuelle, nous savons comment est perçue toute l'étendue de l'espace chimique associé aux différentes saveurs grâce aux détecteurs gustatifs qui sont maintenant connus. il est un lieu commun de dire que « des goûts et des couleurs, on ne discute pas ». des analyses génétiques ont révélé que nos gènes pouvaient être à l'origine de variabilités interindividuelles et de l'incapacité de certains d'entre nous à percevoir certaines saveurs.

1. introduction

le goût est un sens chimique qui nous permet d'évaluer le contenu nutritif des aliments. ce sens est essentiel à la survie de la plupart des animaux. la détection des molécules sucrées et des acides aminés permet d'identifier et de choisir des aliments riches en énergie ou en protéines. la perception de ces molécules est à l'origine de saveurs agréables et ces composés sont en général appétants[1]. à l'inverse, la perception de l'amertume est en général désagréable ou aversive[2]. la détection de l'amer permet d'identifier des composés toxiques, par exemple certains alcaloïdes végétaux, parmi lesquels se trouvent des poisons mortels. détecter le goût salé est de première importance pour maintenir l'équilibre électrolytique de notre organisme. en effet, notre corps perd constamment des ions sodium na^+ lors de processus excrétoires et sécrétoires (urine et transpiration principalement). c'est pour ces raisons que nous sommes attirés et que nous aimons le sel (chlorure de sodium, nacl). quant au goût acide, il nous permet d'évaluer la maturité des fruits ou la présence d'une contamination microbienne dans un aliment. ce goût nous permet aussi de protéger notre corps contre une consommation d'acides à trop forte concentration qui pourraient endommager notre dentition ou notre appareil digestif.

2. qu'est-ce-que le « goût » ? il faut distinguer la gustation et l'olfaction

lorsque nous dégustons un bon plat, tous nos sens sont en éveil. l'odorat est stimulé par les bonnes odeurs de cuisson, la vue par les aliments sur l'assiette et le vin dans le verre, l'ouïe par le croustillant ou le craquant des aliments, le toucher par leur texture en bouche, et bien entendu le goût. le goût au sens commun du terme regroupe en réalité l'olfaction et la gustation. en effet, lors de la prise d'un aliment en bouche, les molécules sapides[3] se solubilisent dans la salive et stimulent les bourgeons du goût situés dans les papilles de la langue (voir figure 6) : la sensation perçue est appelée saveur. quant aux molécules odorantes, qui sont volatiles, elles remontent vers la cavité nasale par l'arrière du voile du palais pour aller stimuler notre système olfactif. on

parle alors de stimulation olfactive par la voie rétro-nasale. ce qui nous donne l'arôme . on devrait alors parler de flaveur[4], terme regroupant l'ensemble des sensations perçues par les voies olfactives et gustatives, à savoir l'arôme et la saveur (figure 1).

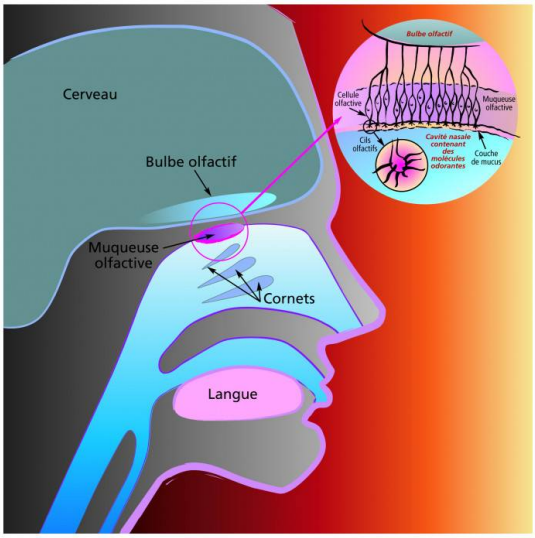


figure 1 - organes de l'olfaction deux voies permettent aux molécules odorantes de stimuler la muqueuse olfactive : le voie directe et la voie rétro-nasale

auteur(s)/autrice(s) : institut du goût

à ces sensations olfactives et gustatives s'ajoutent d'autres sensations (perception de la texture, température, ou du caractère piquant ou frais), dites trigéminales[5] parce qu'elles sont véhiculées par un nerf spécialisé appelé nerf trijumeau (figure 2).

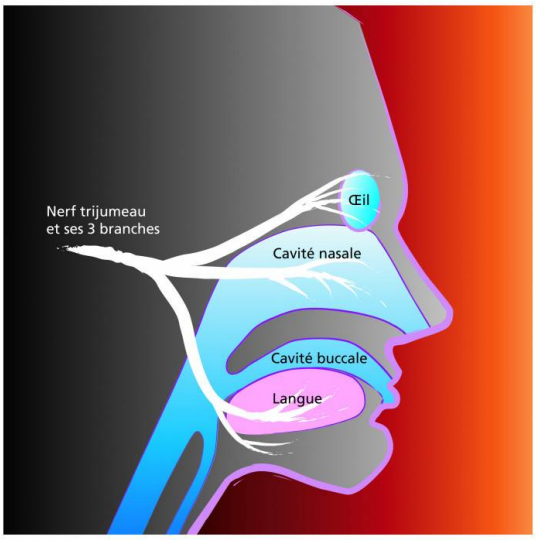


figure 2 - représentation schématique du nerf trijumeau

auteur(s)/autrice(s) : institut du goût

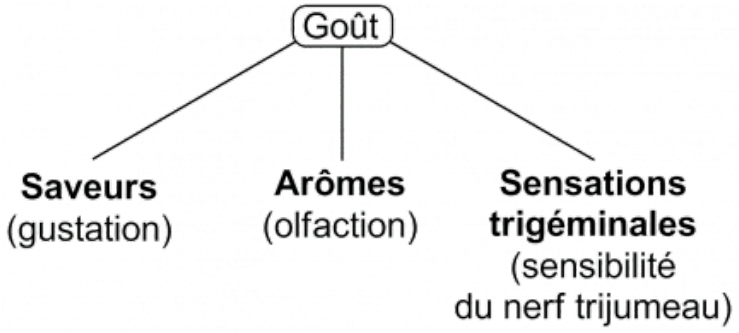


figure 3 - sensations impliquées dans la perception du goût d'un aliment

auteur(s)/autrice(s) : loïc briand

le rôle de l'odorat dans la perception des aliments en bouche est souvent sous-estimé. chacun de nous prend conscience de son importance lors d'un simple rhume. le mucus produit en abondance recouvre la muqueuse olfactive et empêche les molécules odorantes de stimuler notre odorat, supprimant alors une des composantes essentielles de la flaveur qui est l'odeur. nous pensons perdre le « *goût* » des aliments alors que nous ne percevons en réalité que la saveur. la gustation correspond donc *stricto sensu*, uniquement aux sensations perçues par les papilles gustatives de la langue, alors que le goût regroupe des sensations gustatives, olfactives et trigéminales.

l'être humain comme la plupart des animaux est capable de percevoir et de distinguer cinq saveurs primaires différentes qualifiées également de fondamentales : le sucré, l'acide, l'amer et le salé et une cinquième saveur, moins connue du grand public, appelée saveur *umami* (figure 4).

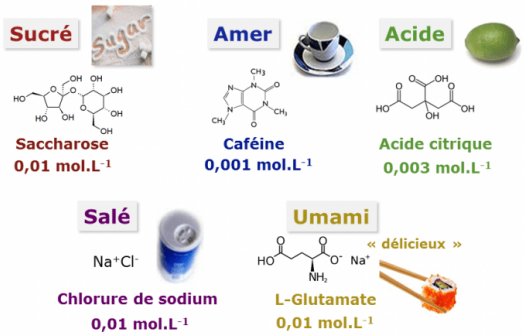


figure 4 - les 5 saveurs primaires et quelques exemples de composés les générant le seuil de détection par l'être humain est indiqué.

auteur(s)/autrice(s) : loïc briand

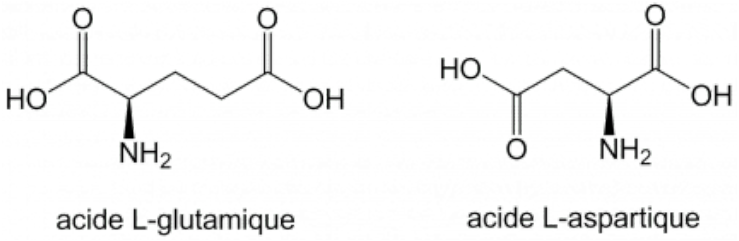


figure 5 - structures de l'acide l-glutamique et de l'acide l-aspartique

auteur(s)/autrice(s) : loïc briand

proposé en 1908 par kikunae ikeda alors professeur l'université impériale de tokyo, le terme « umami » provient d'un mot japonais qui signifie littéralement « délicieux ». cette saveur est principalement générée dans notre alimentation par deux des 20 acides aminés qui composent les protéines, l'acide l-glutamique (ou l'ion l-glutamate, sous forme de sel de sodium) et l'acide l-aspartique.

en réalité, nous savons tous que le goût est un sens bien plus complexe qui ne se résume pas à la combinaison de cinq saveurs. d'autres, telles que le goût piquant

(moutarde, piment, poivre) ou frais (menthe), le goût métallique (causé par le zinc ou le fer), et l'astringence (sensation de resserrement des papilles causée par les noix fraîches, le kaki ou un vin rouge riche en polyphénols), sont aussi importantes et ne rentrent pas dans cette classification. a ces sensations, il faut ajouter le goût du gras qui fait débat actuellement sur le fait qu'il puisse constituer la sixième saveur primaire.

3. comment détecte-t-on les saveurs ?

3.1. les papilles

les molécules gustatives sont perçues par les cellules sensorielles des bourgeons gustatifs localisés dans les papilles sur la langue et le voile du palais principalement (figure 6).

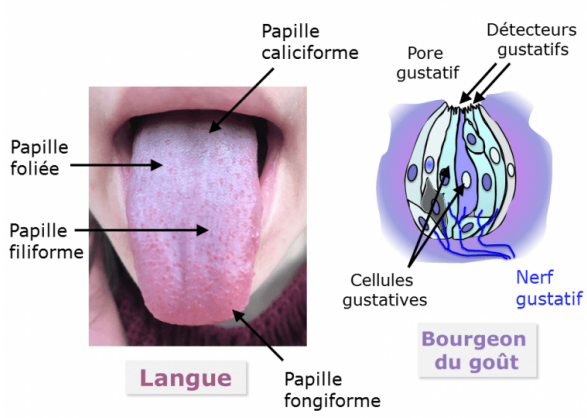


figure 6 - la langue et un bourgeon du goût
les cellules gustatives qui présentent les détecteurs du goût sont assemblées dans des petites structures sphériques appelées bourgeons du goût, qui sont regroupées dans des papilles gustatives situées sur la langue.

auteur(s)/autrice(s) : loïc briand

les papilles présentent une morphologie différente selon leur localisation sur la langue qui est à l'origine de leur nom. le nombre des papilles varie de 500 à 5 000 selon les individus et leur concentration est maximale à l'extrémité de la langue. les papilles contiennent plusieurs bourgeons du goût qui constituent de petits amas sphériques composés de 50 à 100 cellules. les molécules sapides présentes dans les aliments se dissolvent dans la salive et stimulent les cellules gustatives situées dans les bourgeons du goût *via* l'activation de détecteurs gustatifs présents à leur surface. le signal résultant de l'activation des cellules gustatives est transmis aux neurones situés à leur base qui le propagent vers plusieurs relais du cerveau jusqu'au cortex cérébral où a lieu la perception consciente de la saveur.

3.2. la carte des saveurs : une idée fausse

la carte des saveurs qui voudrait que les papilles sensibles aux différentes saveurs soient réparties dans différentes zones sur la langue est fausse (figure 7).

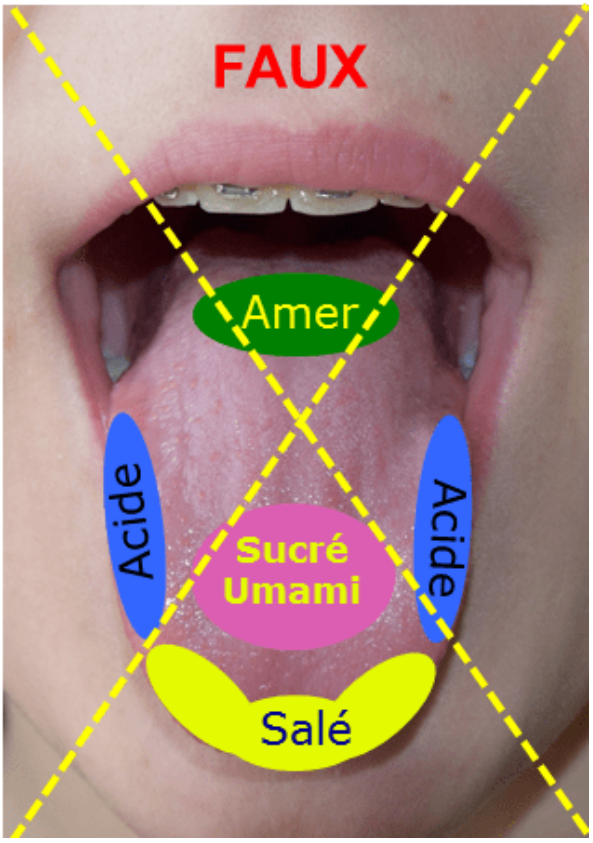


figure 7 - la carte des saveurs est une idée fausse qui s'est répandue depuis plus de soixante-dix ans

auteur(s)/autrice(s) : loïc briand

cette idée fausse provient d'une erreur de traduction et d'interprétation en 1942 par un scientifique américain d'une étude allemande conduite en 1901, qui avait montré des différences de sensibilité de la langue à différentes saveurs. il faut retenir que les différences de sensibilité, bien qu'elles existent, sont faibles voire à peine perceptibles. cette idée fausse, largement répandue, pourtant très facile à démystifier, n'a été remise en cause scientifiquement que tardivement, au milieu des années 1970.

4. les molécules sapides et leur détecteurs

4.1. perception de la saveur amère

4.1.1. diversité chimique des molécules amères

la capacité à percevoir et éviter les molécules amères relève d'un mécanisme ancestral qui vise à nous protéger contre l'ingestion d'aliments toxiques. c'est pour cette raison que les molécules amères sont le plus souvent aversives. il existe un grand nombre de molécules amères qui sont chimiquement très diverses (figure 8) parmi lesquelles des peptides, des acides aminés, des sels (kcl), des édulcorants[6] (comme la saccharine ou le stévioside) et de nombreux alcaloïdes dont certains sont des poisons violents (la strychnine, par exemple). il faut noter cependant qu'il n'y a pas de lien évident entre l'amertume et la toxicité d'un composé : certaines molécules à saveur amère, loin d'être toxiques, peuvent avoir des vertus bénéfiques pour notre santé.

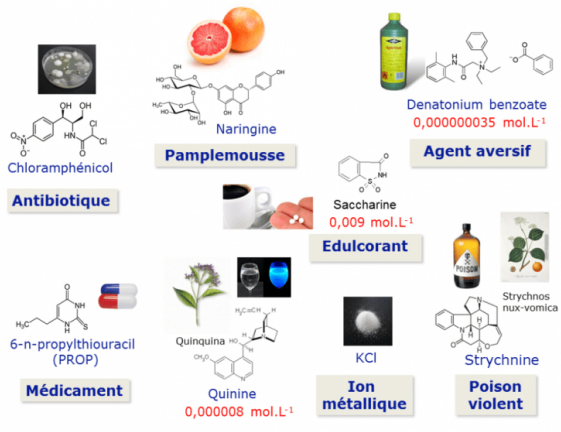


figure 8 - la grande diversité chimique des molécules amères qui ont des origines variées la quinine est une molécule amère qui est très fluorescente lorsqu'elle est soumise à un rayonnement ultraviolet. le seuil de détection de l'amertume par l'être humain est indiqué en rouge.

auteur(s)/autrice(s) : loïc briand

les molécules amères que l'on trouve dans la nature ont principalement une origine végétale mais elles peuvent aussi être produites par des champignons ou des micro-organismes (par exemple, le chloramphénicol, antibiotique isolé pour la première fois dans une culture de bactéries *streptomyces venezuelae*, a un goût amer). de nombreuses molécules de synthèse ont un goût amer très puissant. c'est le cas du benzoate de dénatonium qui est détecté à un seuil de détection très faible (0,000000035 $mol.l^{-1}$). ce composé non toxique est utilisé dans des cosmétiques, alcools à usage domestique ou des engrais comme agent dénaturant ou aversif pour éviter l'ingestion de ces produits.

toutefois, de nombreux composés amers peuvent aussi être appréciés dans notre alimentation, comme ceux à l'origine de la légère amertume du chocolat, de la roquette ou de certaines boissons à base d'extraits de plantes.

4.1.2. les récepteurs de la saveur amère

les molécules amères sont détectées par une famille de récepteurs appelés tas2r pour « *taste receptor, type 2* ». ces récepteurs de nature protéique sont localisés dans la membrane de certaines cellules gustatives des bourgeons du goût. l'être humain possède 25 types de récepteurs à l'amer (figure 9).

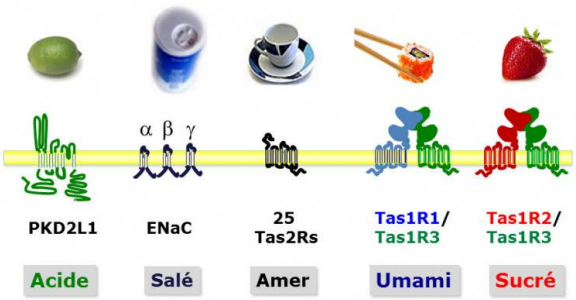


figure 9 - détecteurs gustatifs des cinq saveurs fondamentales certains sont des canaux ioniques, d'autres des récepteurs situés dans la membrane des cellules gustatives, couplés à des protéines g, protéines permettant le transfert d'informations à l'intérieur d'une cellule.

auteur(s)/autrice(s) : loïc briand

des études génétiques ont montré une bonne corrélation entre le nombre de récepteurs tas2r chez un animal et l'importance des végétaux dans son régime alimentaire. ainsi, le lapin possède 28 récepteurs aux molécules amères alors que le chat en présente uniquement 7 car il est exclusivement carnivore. il a donc moins de risque de s'empoisonner par une alimentation riche en végétaux. des tests de fonctionnalité ont montré que les récepteurs tas2r humains peuvent détecter les molécules amères à de très faibles concentrations en accord avec notre capacité à détecter certains composés amers en quantité infime. c'est cette forte sensibilité à la saveur amère qui fait que de nombreux édulcorants comme le stévioside (édulcorant naturel originaire de la plante stévia, voir figure 10) ou la saccharine (édulcorant de synthèse) possèdent un arrière-goût amer désagréable qui limite leur utilisation en agro-alimentaire.

4.2. perception de la saveur sucrée : molécules au goût sucré et récepteur

les molécules capables de générer un goût sucré chez l'homme sont aussi très diverses chimiquement (figure 10), bien que le nombre de composés sucrés soit relativement limité.

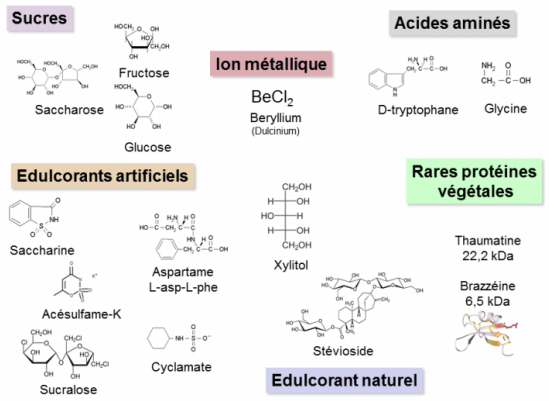


figure 10 - grande diversité chimique des molécules sucrées
certaines protéines rares possèdent un goût sucré très intense.

auteur(s)/autrice(s) : loïc briand

parmi les composés sucrés, on trouve bien entendu les sucres naturels (saccharose, fructose et glucose), mais aussi d'autres composés très différents chimiquement tels que certains acides aminés (glycine), des polyols (sorbitol, xylitol), ou certains éléments tels que le plomb ou le béryllium (au départ nommé glucinium, du grec γλύκύς (*glykys*), doux). les édulcorants artificiels ou naturels, utilisés dans l'industrie agroalimentaire, sont aussi très divers chimiquement. on peut y trouver des peptides modifiés (aspartame), des sucres halogénés (sucralose), des glycosides (stévia), des sulfamates (saccharine) ou de rares protéines végétales sucrées (thaumatine et brazzéine, par exemple). de façon surprenante, pour percevoir la grande diversité chimique des molécules sucrées, nous sommes équipés d'un récepteur au goût sucré unique (figure 9). ce récepteur, de nature protéique, est constitué de sous-unités appelées tas1r2 et tas1r3 qui s'assemblent dans la membrane de certaines cellules gustatives pour former un récepteur unique appelé tas1r2/tas1r3.

4.3. perception de la saveur umami : des molécules au récepteur

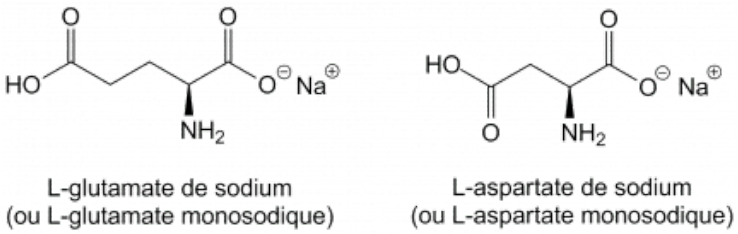


figure 11 - structures du l-glutamate de sodium et du l-aspartate de sodium, composés générant une saveur umami

auteur(s)/autrice(s) : loïc briand

il est maintenant bien établi que la saveur umami est l'une des cinq saveurs primaires. le rôle physiologique de cette saveur est d'identifier la présence d'aliments riches en protéines (via l'ion glutamate ou l'ion aspartate libres ou libérés lors de la protéolyse[7]), comme le bouillon de cuisine, la viande, le poisson, les tomates, les algues, les fruits de mer et certains fromages comme le parmesan, par exemple. bien que de nombreuses molécules puissent générer un goût umami chez l'être humain, la sensation umami est une des plus difficiles à décrire. elle est aussi une des saveurs les plus complexes, du fait principalement de la rareté des composés qui possèdent un goût umami pur. le l-glutamate de sodium est le composé de référence pour cette saveur, bien qu'il possède un goût salé lié à la présence de l'ion sodium. un autre acide aminé, l'acide aspartique (figure 11) est aussi capable de générer un goût umami. il faut souligner qu'on trouve une quantité relativement importante de l'ion l-glutamate dans le lait humain, montrant ainsi que la saveur umami est une des premières saveurs à laquelle nous sommes exposés.

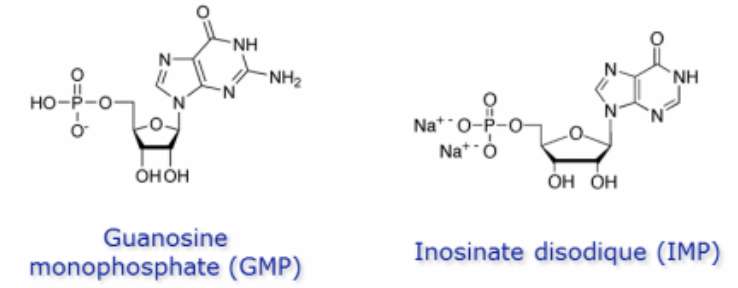


figure 12 - molécules du type 5'-ribonucléotide générant une saveur umami

auteur(s)/autrice(s) : loïc briand

l'ion glutamate est par ailleurs couramment utilisé dans l'industrie agro-alimentaire pour renforcer les autres saveurs (rôle d'exhausteur de goût), sous forme de glutamate monosodique. la saveur umami a une caractéristique particulière : le phénomène de synergie. en effet, deux molécules du type 5'-ribonucléotide, l'inosine-5'-monophosphate (imp) et le guanosine-5'-monophosphate (gmp), dérivés d'adn que l'on trouve dans certains aliments et dans des extraits de levure, génèrent un goût umami et sont en plus capables de renforcer la saveur du l-glutamate (figure 12).

le récepteur à la saveur umami est formé de l'assemblage des sous-unités tas1r1 et tas1r3 qui forme le récepteur tas1r1/tas1r3 (figure 9) capable à lui seul de détecter l'ensemble les composés générant la saveur umami.

4.4. perception de la saveur salée

le goût salé rencontré dans notre alimentation est principalement dû à l'ion sodium, qui peut provenir des sels chlorure de sodium nacl (sel de table), bromure de sodium nabr,

sulfate de sodium na_2so_4, acétate de sodium ch_3coona. si de nombreux autres composés comme les sels de calcium ($cacl_2$), de lithium ($licl_2$), d'ammonium (nh_4cl) ou de potassium (kcl, kno_3) ont une saveur salée, l'ion sodium est le seul ion à générer une saveur salée agréable. une consommation excessive d'ions sodium pouvant conduire à des maladies cardio-vasculaires, il est recommandé d'en limiter l'apport. une possibilité consiste à suivre un régime pauvre en sel, une autre serait l'utilisation d'un substitut du chlorure de sodium nacl pour générer la saveur salée. le chlorure de potassium (kcl) serait un bon candidat s'il n'était pas à l'origine d'un arrière-goût amer prononcé, qui limite son utilisation comme substitut du chlorure de sodium.

une des spécificités du goût salé par rapport aux autres saveurs est que la concentration de sel entraîne chez nous deux comportements opposés : nous sommes attirés par des faibles concentrations de sel alors que nous rejetons un aliment trop riche en sel. ceci a suggéré aux scientifiques la présence de deux types de détecteurs du goût salé. l'un d'entre eux, de nature protéique, a été identifié récemment dans la membrane de certaines cellules gustatives (figure 9). il s'agit du canal ionique enac (epithelial sodium channel).

4.5. perception de la saveur acide

la perception de l'acidité est quant à elle directement liée à la détection des protons (h^+). cette saveur signale la présence d'acides pouvant être dangereux pour notre corps : elle permet notamment d'éviter la consommation de fruits non mûrs ou d'aliments contaminés par des micro-organismes qui produisent des acides lors de la fermentation. de nombreux acides tels que les acides acétique, chlorhydrique, citrique, sulfurique, lactique, malique, tartrique sont à l'origine d'un goût acide (figure 13).

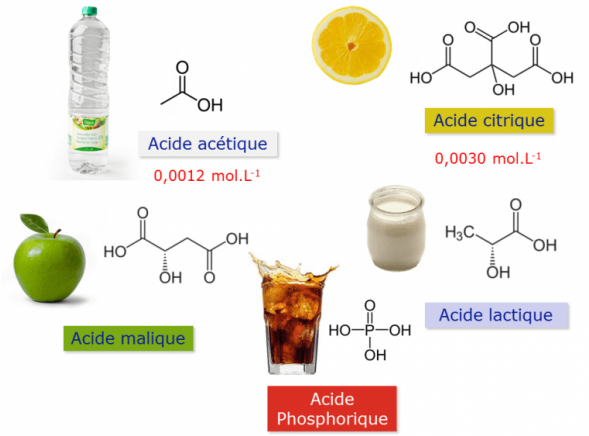


figure 13 - quelques exemples de molécules responsables de l'acidité de certains aliments le seuil de détection par l'être humain est indiqué en rouge.

auteur(s)/autrice(s) : loïc briand

ces acides sont présents dans de nombreuses boissons (vinaigres, colas) ou aliments acides, en particulier certains fruits comme les pommes, les ananas et les citrus, par exemple. certains de ces acides, comme l'acide malique ou l'acide citrique, sont produits par des végétaux (fruits…) tandis que d'autres sont produits par des micro-organismes (acide lactique, acide acétique) lors de la fermentation. l'acide phosphorique utilisé dans les colas est, quant à lui, d'origine synthétique. en 2018, l'identité du détecteur de la saveur acide a été révélé. il s'agit d'un canal membranaire appelé otopretin1 (otop1) exprimé dans les bourgeons du goût. le canal otop1 a été montré comme étant le détecteur de l'acidité en bouche (figure 9).

5. pourquoi la menthe procure-t-elle une sensation de fraîcheur et le piment une sensation de brûlure sur la langue ?

les sensations de fraîcheur de la menthe et de brûlure du piment sont détectées par le système trigéminal. des détecteurs sensibles à la température sont présents sur les terminaisons de ce nerf dans l'épithélium de la langue. le menthol, un composé chimique présent dans la menthe, active un canal ionique (trpm8) qui est responsable de la détection du froid (figure 14).

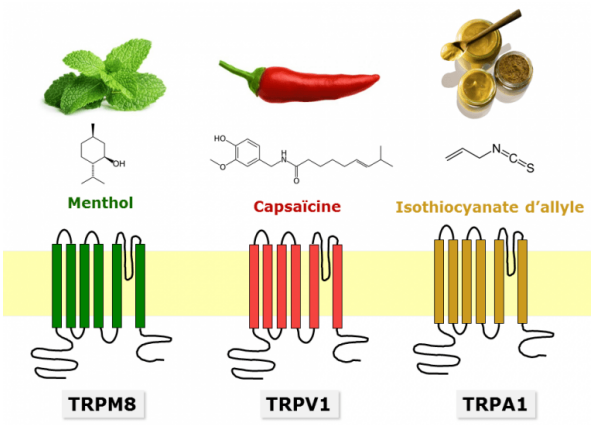


figure 14 - exemples de molécules piquantes ou capables de générer une sensation de fraîcheur ces molécules activent différents canaux ioniques situés dans la membrane des fibres sensitives du système nerveux périphérique impliquées dans la détection de la température.

auteur(s)/autrice(s) : loïc briand

une molécule présente dans le piment, la capsaïcine, active quant-à-elle un canal ionique de la même famille (trpv1) sensible à la chaleur, d'où la sensation de brûlure. les molécules piquantes de la moutarde, du wasabi, des radis, du poivre ou certaines herbes comme le thym sont aussi perçues par des détecteurs sensibles à la température. dans le cas de la moutarde, la molécule responsable du caractère piquant (isothiocyanate d'allyle) est perçue par le canal trpa1.

6. tous égaux en goût ou prédispositions génétiques?

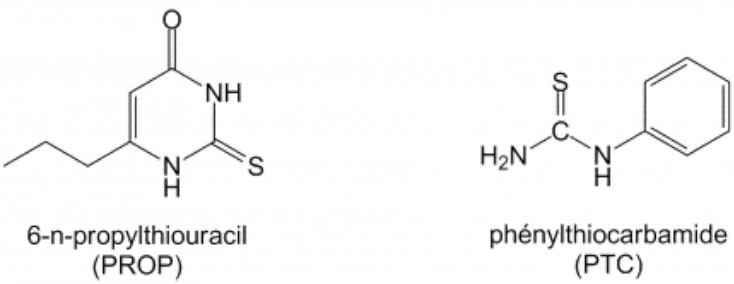


figure 15 - structures du 6-n-thiouracil et du phénylthiocarbamide

auteur(s)/autrice(s) : loïc briand

il est connu depuis longtemps que la perception du goût varie énormément d'un individu à un autre mais aussi d'une population à une autre. ainsi, des études sensorielles ont montré des différences de seuil de perception très importantes parmi les sujets

humains. des études génétiques ont montré que certaines pertes de la sensibilité gustative (agueusie[8]) pour certains composés pouvaient résulter d'un polymorphisme génétique[9] d'un récepteur gustatif. un des meilleurs exemples est la perception du 6-*n*-propylthiouracil (prop) et du phénylthiocarbamide (ptc) (figure 15).

des composés amers proches chimiquement du ptc (composés de type thio-urée) présents chez certaines plantes crucifères (choux, brocoli et choux de bruxelles, notamment) ne sont pas perçus par une grande proportion de la population.

la différence de perception gustative du prop/ptc a été identifiée, dès les années 1940 comme étant un caractère héréditaire. en 2003, il a été montré qu'un gène codant un des 25 récepteurs au goût amer (tas2r38) était à l'origine de l'agueusie au prop/ptc. ces travaux ont de plus révélé une différence de répartition de ces allèles selon les populations. environ 50% des européens sont insensibles au ptc contre 30% des asiatiques et seulement 1,4% des indiens papago d'amazonie. ce type de variations génétiques peut avoir un impact sur nos préférences et notre régime alimentaire. ainsi il été proposé récemment que la consommation plus importante de certains choux chez les collégiens pouvait être corrélée à une insensibilité gustative au prop/ptc liés au polymorphisme génétique du récepteur tas2r38 à l'amertume.

7. conclusion

le sens du goût est un système de détection chimique qui permet de percevoir l'extrême diversité chimique des molécules sapides. la connaissance des mécanismes moléculaires de la perception des molécules gustatives a fortement progressé lors des deux dernières décennies. les principaux détecteurs impliqués dans la gustation ont été identifiés chez l'être humain et diverses espèces animales. néanmoins, étant donné le nombre de récepteurs gustatifs, la corrélation directe entre la saveur d'un composé et sa structure chimique n'est pas possible. des analyses génétiques ont révélé que des différences de patrimoine génétique peuvent au moins en partie expliquer nos différences de perception gustative et expliquer certains de nos choix alimentaires. par ailleurs, l'identification de ces récepteurs a ouvert la voie à des approches de biotechnologie permettant la découverte de nouvelles molécules intéressantes pour leur capacité à masquer certaines saveurs ou au contraire à se comporter comme des exhausteurs de goût.

8. références bibliographiques

- briand, l. (2016). la physiologie du goût. textes et documents pour la classe (1102), 52-56.
- chéron, j.-b., golebiowski, j., antonczak, s., briand, l., fiorucci, s. (2016). ces molécules qui éveillent nos papilles. actualité chimique, 416, 11-18.
- briand, l., salles, c. (2016). taste perception and integration. flavor: from food to behaviors, wellbeing and health. part two - perception of flavor compounds (p. 130-143). woodhead publishing in food science, technology and nutrition, 299. gbr : elsevier ltd.
- briand, l. (2017). la physiologie de la perception gustative. pratiques en nutrition, 13 (49), 10-13.

- laffitte, a., neiers, f., briand, l. (2017). characterization of taste compounds: chemical structures and sensory properties. flavour: from food to perception (p. 154-191). chichester, west sussex, usa: john wiley & sons, inc.
- delompré t., salles c., briand l. (2020). saveur amère : de la molécule au comportement. potentiels de la science pour une agriculture durable (p1-22). publication de l'académie d'agriculture de france.

CRÉDITS

AUTEUR(S)/AUTRICE(S)

loïc briand

loïc briand est directeur de recherche à institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (inrae). après avoir passé 10 ans sur le centre de recherche inrae de jouy-en-josas, il a rejoint en 2007 le centre des sciences du goût et de l'alimentation (csga) à dijon pour diriger une équipe appelée « goût et olfaction : de la molécule au comportement ». ses activités de recherche portent principalement sur l'étude des récepteurs gustatifs et olfactifs et de leurs mécanismes d'activation par les molécules aromatiques dans une perspective de recherche à la fois fondamentale et appliquée.

MISE EN LIGNE

claire vilain

responsable éditoriale de culturesciences-chimie

notes

1. appétant : qui est attractif au niveau gustatif.
2. aversif, aversive : qui est repoussant ou à l'origine de dégoût.
3. sapide : qui a du goût.
4. flaveur : ensemble des sensations combinées du goût et de l'odorat.
5. perceptions trigéminales : perceptions gustatives véhiculées par le nerf trijumeau qui donnent des informations mécaniques, thermiques et chimiques (piquant, brûlant, astringent ou rafraîchissant).
6. edulcorant : molécule qui n'est pas une sucre naturel et qui possède un goût sucré.
7. protéolyse : hydrolyse des protéines sous l'action de certaines enzymes qui conduit à des peptides ou des acides aminés.
8. agueusie : incapacité à percevoir une ou toutes les saveurs.
9. polymorphisme génétique : diversité génétique liée à différentes formes d'un gène.