

Paradoxes gustatifs

L'environnement des arômes ou des molécules sapides modifie la perception que nous en avons.

Un verre de vinaigre, imbuvable, devient supportable si l'on ajoute une grande quantité de sucre. Pourtant l'acidité mesurée par la concentration en ions hydrogène ne change pas. Pourquoi la sensation acide est-elle alors affaiblie ? Parce que la perception des saveurs dépend de l'environnement des récepteurs gustatifs. Les mêmes interactions existent autour des récepteurs olfactifs. Au Centre INRA de Nantes, Chantal Castelain et ses collègues cherchent à identifier ces synergies afin de poser les bases d'une aromatisation rationnelle des produits alimentaires.

La plupart des aliments sont composés à la fois d'eau et de matières grasses, insolubles dans l'eau ; selon leur composition chimique, les arômes se répartissent différemment dans ces phases. Puis, quand les aliments sont mis en bouche, les molécules aromatiques ou sapides atteignent les récepteurs gustatifs après avoir diffusé dans la salive (solution aqueuse) et dans les phases de type huile des membranes cellulaires, où se trouvent les récepteurs gustatifs. Simultanément ils passent en phase vapeur, dans l'air contenu dans la bouche, d'où ils migrent vers les récepteurs olfactifs, logés aussi, comme les récepteurs gustatifs, dans des phases de type huile. Autrement dit, on ne peut maîtriser l'aromatisation des produits alimentaires que si l'on comprend les diffusions de molécules entre des phases liquides, de type eau ou huile, et des phases gazeuses.

Afin d'analyser ces migrations, les biochimistes nantais ont construit un dispositif où une huile neutre est en contact avec de l'eau, et où l'on peut mesurer la répartition des arômes entre quatre compartiments : dans de l'eau, dans de l'huile, dans l'air qui surmonte l'eau, et dans l'air qui surmonte l'huile (voir la figure). Ils dissolvent les arômes soit dans l'eau, soit dans l'huile, et ils mesurent la concentration dans les trois autres compartiments. Selon les conditions expérimentales, les molécules

aromatiques suivent des trajectoires différentes : quand on les dissout initialement dans l'huile, par exemple, elles passent dans l'air qui surmonte l'huile en même temps qu'elles diffusent dans l'eau et qu'elles passent de l'eau à l'air qui surmonte l'eau.

Plusieurs mélanges de molécules aromatiques ont été testés : d'esters, ou d'aldéhydes, ou d'alcools ou de cétones.

Qu'observe-t-on ?

Les transferts sont plus rapides de l'huile vers l'eau que

Dispositif utilisé pour tester le transfert de molécules aromatiques entre plusieurs phases. On mesure la concentration de ces molécules dans l'air qui surmonte l'huile (allonge latérale) ou l'eau (tube central).

de l'eau vers l'huile pour les esters et pour les cétones, et plus rapides de l'eau vers l'huile que de l'huile vers l'eau pour les alcools et les aldéhydes.

De tels résultats sont paradoxaux : puisque les alcools, par exemple, sont souvent solubles dans l'eau, on pourrait penser qu'ils migreraient difficilement vers l'huile ; de ce fait, le transfert, prévoyait-on, devait être plus lent de l'eau vers l'huile que de l'huile vers l'eau. Pourquoi l'expérimentation a-t-elle contredit cette intuition ? Parce que l'on mesure non seulement le transfert d'une phase liquide dans l'autre, mais aussi parce que les arômes diffusent ensuite dans

l'air qui surmonte les phases liquides ; or, si un composé est peu soluble dans l'huile, il aura tendance à quitter rapidement l'huile, pour atteindre la phase supérieure. Autrement dit, le transfert d'une phase liquide à la phase gazeuse qui le surmonte est plus rapide que le transfert entre deux phases liquides.

Pour mieux maîtriser l'aromatisation des produits alimentaires, ces études doivent être complétées par une exploration des effets des molécules aromatiques sur les récepteurs du nez, après traversée de la couche de mucus qui tapisse ces récepteurs et dissolution dans les phases hydrophobes des membranes cellulaires.

Aussi les chercheurs nantais étudient-ils aujourd'hui la perception des arômes au-dessus des phases eau et huile. Ayant dissous une même molécule aromatique dans deux liquides – de l'huile et de l'eau – en concentrations telles qu'un détecteur mesure la même pression partielle de la molécule aromatique au-dessus des deux liquides, ils ont analysé les perceptions de personnes qui respiraient l'air au-dessus des deux liquides.

Paradoxalement le nez humain perçoit parfois une différence. Pour certaines molécules, le nez donne une indication très proche de celle des détecteurs (par exemple, pour le linalol, à odeur de lavande ou de bergamote, selon les concentrations), mais aucune loi générale n'a été dégagée, puisque, pour d'autres arômes, la perception est différente : par exemple, pour le 1-octène-3-ol, à l'odeur de champignon, le benzaldéhyde, à l'odeur d'amande, et l'acétophénone, à odeur de miel-cire. Manifestement la présence de vapeur d'eau peut interagir avec la perception de l'arôme.

De tels phénomènes se retrouvent probablement pour la gustation : pensons au vinaigre additionné de sucre. Ils expliquent que la texture des aliments détermine les goûts et arômes, en modifiant la durée pendant laquelle les molécules sapides ou aromatiques restent en bouche ainsi que les vitesses de diffusion de ces molécules, des aliments vers les récepteurs olfactifs ou gustatifs. Une mayonnaise trop acide le devient moins quand on la bat, parce que sa texture plus ferme ralentirait ces transferts.

Hervé THIS

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science, le 27 mars 1996, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.

Moisson de jupiters

Trois planètes de la taille de Jupiter hors du Système solaire.

Les nuits d'été sont propices à l'admiration de la voûte céleste. Les observateurs attentifs retracent les constellations : vers minuit, à la mi-juillet, la Grande Ourse est au Nord-Ouest, la Vierge se couche à l'Ouest, Pégase se lève vers l'Est. Ces régions du ciel méritent notre attention : on y a découvert les premières planètes extra-solaires en orbite autour d'étoiles analogues à la nôtre.

Une étoile entourée de planètes tourne autour du centre de masse du système : pour un observateur terrestre, elle s'approche et s'éloigne périodiquement. Lorsqu'elle s'éloigne, les raies de son spectre lumineux sont décalées vers les grandes longueurs d'onde, par effet Doppler (comme la sirène d'une ambulance qui s'éloigne semble plus grave) ; lorsqu'elle se rapproche, les raies sont décalées vers les courtes longueurs d'onde. Ces variations de longueur d'onde des raies permettent de calculer la vitesse de l'étoile sur son orbite. Comme on connaît la masse de l'étoile, qui dépend de sa luminosité, les lois de Kepler indiquent, sans équivoque, les masses des planètes et leur distance à l'étoile.

Par cette méthode, trois corps ont été découverts en orbite autour de trois

étoiles de même masse que le Soleil : le premier, de la masse de Jupiter, à 0,05 unité astronomique de 51 de Pégase (l'unité astronomique est la distance moyenne de la Terre au Soleil), le second, de 2,8 fois la masse de Jupiter, à 2 unités astronomiques de 47 de la Grande Ourse et le troisième, de 6,4 fois la masse de Jupiter, à 0,5 unité astronomique de 70 de la Vierge. Dans le Système solaire, Jupiter est à 5 unités astronomiques du Soleil.

Quelle est la nature de ces corps ? Les planètes du Système solaire sont issues de l'agrégation de poussières en orbite au sein d'un disque protoplanétaire. Même les planètes géantes gazeuses ont un noyau solide. Le noyau de Jupiter, environ deux fois plus gros que la Terre, a attiré, par gravitation, l'hydrogène qui compose aujourd'hui 90 pour cent de la planète.

Une planète peut aussi se former par effondrement d'un nuage de gaz, comme une étoile. L'évolution d'un nuage de gaz qui s'effondre dépend de sa masse. Si cette masse dépasse 80 fois celle de Jupiter, les gaz comprimés au centre sont suffisamment chauffés pour que la réaction de fusion de l'hydrogène en hélium démarre : une

étoile analogue au Soleil se forme. Si la masse du nuage est comprise entre 13 et 80 fois celle de Jupiter, seule la réaction de destruction du deutérium en protons et en neutrons s'enclenche : l'étoile reste une naine brune. Enfin, si la masse est inférieure à 13 fois celle de Jupiter, aucune réaction n'est possible : la boule de gaz est alors nommée planète. Lors de la formation de l'étoile, le nuage de gaz peut se couper en deux, et donner naissance à un système d'étoiles doubles, ou à une étoile accompagnée d'une naine brune ou d'une planète.

GAZ OU POUSSIÈRES ?

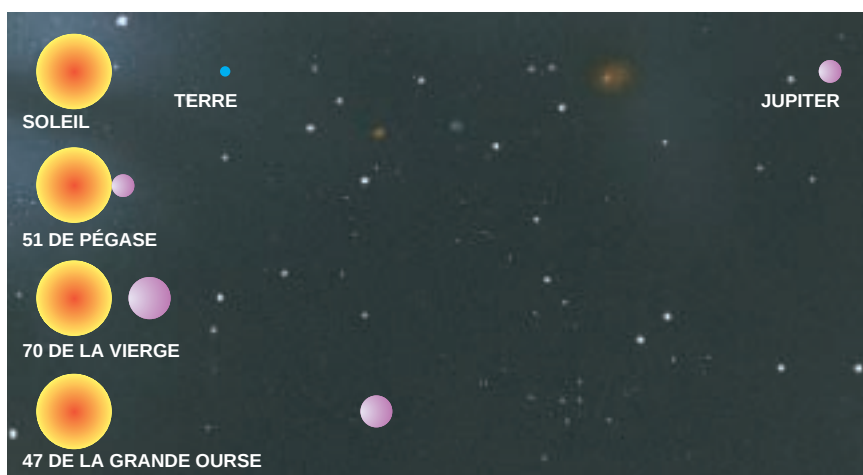
Les paramètres orbitaux mesurés par les astronomes permettent parfois de trancher entre les deux scénarios de formation. L'orbite de la planète qui gravite autour de 70 de la Vierge est une ellipse très excentrée. La formation à partir d'un disque protoplanétaire est donc peu probable : au sein d'un tel disque, les collisions aléatoires que subissent les poussières situées sur des orbites elliptiques transforment celles-ci en orbites circulaires (notons que l'orbite de Mercure, qui n'est pas circulaire, est une exception expliquée par l'attraction gravitationnelle des autres planètes du Système solaire). Si d'autres planètes perturbaient l'orbite de celle observée autour de 70 de la Vierge, elles seraient très massives et on les aurait observées aussi.

La découverte de ces premières planètes, et d'autres qui suivront bientôt, permettra de mieux comprendre la formation et la structure du Système solaire. On n'avait jusqu'à présent aucun point de comparaison sûr : la présence de planètes n'est que soupçonnée autour de β -Pictoris, une étoile semblable au Soleil, et l'histoire du système planétaire en orbite autour du pulsar 1257+12, une étoile à neutrons, est très différente de la nôtre.

En outre, si les planètes de 51 de Pégase, 70 de la Vierge ou 57 de la Grande Ourse se sont formées à partir d'un disque protoplanétaire, on peut spéculer sur l'existence de satellites de la taille de la Terre, constitués majoritairement de roches. Ces satellites pourraient-ils abriter la vie ? La température de surface du compagnon de 70 de la Vierge serait de 80 degrés, compatible avec la présence d'eau liquide. Les astronomes se mobilisent pour explorer plus avant ces nouveaux mondes. Le CNRS a décidé de constituer un regroupement national sur ce thème.

Jean SCHNEIDER

CNRS, Observatoire de Paris



Pour la première fois, des planètes ont été découvertes autour d'étoiles analogues au Soleil : 51 de Pégase, 70 de la Vierge et 47 de la Grande Ourse. La masse de ces planètes est comprise entre 1 et 6,4 fois la masse de Jupiter (les étoiles ne sont pas à l'échelle).

Le sens des mots

La statistique de la distance entre deux apparitions du même mot permet de distinguer deux catégories de mots.

Tous les mots de cette phrase n'ont pas la même importance pour sa compréhension. Pour s'en persuader, il suffit de la relire en supprimant soit les huit mots *Tous, les, de, cette, n, ont, la, sa*, soit un seul des trois mots *phrase, importance* ou *compréhension*. Dans le premier cas, la phrase est encore compréhensible, dans le second, plus du tout. Certains mots organisent la syntaxe de la phrase : ce sont les mots que nous nommons «mots grammaticaux». D'autres servent plutôt à exprimer le sens, ce sont les «mots pleins». Nous présentons ici une méthode permettant de distinguer ces populations de mots selon la distance en mots séparant deux occurrences d'un même mot. La base de données utilisée est composée de deux années d'articles du quotidien *Le Monde*, soit environ 40 millions de mots.

Imaginons un texte où un mot *M* est réparti au hasard : en chaque position, la probabilité de trouver le mot *M* est indépendante de la nature des mots qui le précèdent. La loi de probabilité de la distance séparant deux apparitions de *M* est appelée, dans ce qui suit, loi de distribution aléatoire. Réciproquement, si la loi de distribution d'un mot est la loi de distribution aléatoire, la probabilité de le rencontrer en une position ne dépend pas des mots qui l'entourent.

En examinant la loi de distribution du mot *de*, on constate qu'excepté pour des petites distances (jusqu'à six mots), cette loi est très proche de la loi aléatoire : on rencontre le mot *de* dans un texte comme s'il y était réparti aléatoirement. En se fixant un seuil arbitraire de «ressemblance» par rapport à une distribution totalement aléatoire, nous pouvons établir une liste de mots qui ont ce comportement : par exemple, les prépositions, *de, par*, les pronoms, *en, il*, les déterminants, *la, les*, les formes conjuguées des verbes *mettre, faire*, qui sont des verbes support de la langue (verbes auxiliaires utilisés dans la nominalisation), les adverbes *probablement* et

relativement. Autrement dit, les mots grammaticaux ont une distribution quasi aléatoire. Le choix du seuil de vraisemblance est arbitraire, mais un mot ayant généralement plusieurs significations, la loi calculée est une moyenne sur ses différentes significations.

Pour les mots que nous ne savons classer dans l'une ou l'autre des catégories, la méthode fera un choix qui dépendra du seuil. Plus la tolérance sera faible, plus les mots trouvés seront «purement grammaticaux». Par exemple, le verbe *mettre* est un mot plein dans les phrases où il exprime le déplacement d'un objet, mais c'est un mot grammatical lorsqu'il est utilisé comme verbe support (comme dans *mettre dans l'embarras*).

Ce critère, qui permet de distinguer les mots grammaticaux n'est pas un critère de fréquence : certains termes fréquents comme *France* n'ont pas une distribution aléatoire. L'écart de ces distributions à la loi aléatoire pour les petites distances est de nature syntaxique : trouver deux occurrences successives du mot *de* est très peu probable, alors que, pour une distribution aléatoire, cette probabilité serait supérieure à celle de trouver deux occurrences séparées par un autre mot. De surcroît, la signature d'un mot (c'est-à-dire l'allure de la loi de probabilité) est relativement stable par

changement de corpus : dans des corpus aussi variés qu'une traduction de la Bible et un quotidien, la signature du mot *de* est semblable. La signature des mots grammaticaux ne dépend pas du contenu sémantique des textes, mais du style de l'auteur.

LES MOTS PLEINS

En revanche, on constate que la distribution des mots pleins (qui intuitivement semblent être «porteurs de sens») n'est pas aléatoire : la présence de certains mots dans une partie du texte dépend des autres mots de cette partie. Cette dépendance entre les différents termes est associée au contexte. Dans un article traitant de politique, il est plus probable de trouver des mots comme *ministre* ou *gouvernement*, que dans un article traitant de sport. Réciproquement, un article contenant le mot *gouvernement* traite plus probablement de politique que de sport. Ces deux remarques entraînent que, dans un article contenant le mot *gouvernement*, il est plus probable qu'ailleurs de trouver le mot *ministre*. On dit alors que le mot *gouvernement* a un effet de contexte positif sur le mot *ministre*, et le mot *match* a un effet de contexte négatif sur le mot *ministre*. Nous avons quantifié cet effet de contexte, en comparant la loi de distribution d'un mot dans un contexte donné, avec la loi de distribution aléatoire qu'il aurait s'il était à comportement grammatical.

Les perspectives ouvertes par ces études sont au moins triples. La première est l'étude de méthodes de compression de texte (ou d'index) performantes, fondées sur la finesse de la description de la loi de distribution des mots. La deuxième est l'élaboration de catégories sémantiques autour d'un mot, par l'examen des effets de contexte. À terme, on pourrait lever l'ambiguïté sur le sens des mots en étudiant leurs contextes, ce qui pourrait être appliqué à la traduction automatique. Par exemple, pour le mot *jeu*, nous avons, d'une manière totalement automatisée, obtenu trois ensembles de mots appartenant à trois champs sémantiques distincts : le contexte sportif, le contexte théâtral, le contexte musical et nous avons aussi obtenu une liste d'expressions contenant le mot *jeu* employé dans n'importe quel contexte. Enfin, on pourrait caractériser un auteur par les signatures, dans son œuvre, des mots à comportements grammaticaux.

Jean SENELLART – LADL, Paris

	PC	PS	RPR	UDF	écologie	spectacle
Barre	0,65	1,29	3,78	4,13	1,89	-1,55
Chirac	-0,08	0,86	5,97	3,64	1,49	-0,65
Cresson	-0,37	1,49	0,32	0,19	1,12	-1,30
Lalonde	0,28	2,77	1,19	1,66	9,43	-0,19
Marchais	2,51	2,09	2,34	1,23	5,02	-4,32
Mitterrand	-1,18	0,64	1,09	0,73	0,56	-1,22

Ces valeurs mesurent la probabilité de trouver une mention d'un personnage politique (*colonne*) dans un bloc de 100 mots autour de la mention d'un parti politique ou d'un autre mot (*ligne*). Plus la valeur est élevée, plus l'effet de contexte est important. La valeur maximale pour un personnage politique s'obtient généralement pour son propre parti, sauf pour le mot *Mitterrand* qui présente un comportement plus grammatical. Le mot *spectacle* à un effet de contexte négatif pour toutes les mentions de personnages politiques.