



La mastication

HERVÉ THIS

Comprenant comment nous mâchons, nous concevrons différemment les plats.

Kellog – oui, celui des petits déjeuners – préconisait une hygiène de vie fondée sur la mastication approfondie : «*Masticate, masticate.*» Son idée n'était pourtant qu'un avatar d'une vieille tradition orientale, qui voulait que chaque bouchée de riz (complet) soit mâchée cent fois. Une fois, dix fois, cent fois... mais, au fait, pourquoi mastiquons-nous ? Bien sûr, la mastication divise les aliments, formant des bouchées si petites que, lubrifiées par la salive, elles descendent facilement dans le système digestif. Toutefois Jons Prinz et Peter Lucas, à l'Institut odontologique de Londres, ont identifié une autre fonction : sans le savoir, nous mâchons jusqu'à ce que les fragments alimentaires soient liés par la salive en une bouchée compacte, que nous avalons en minimisant le risque que de petites particules fassent une fausse route, vers le canal respiratoire. À chaque aliment correspondrait ainsi un nombre optimal de mouvements masticatoires.

En affirmant que «les animaux se repaissent, l'homme mange», Jean-Anthelme Brillat-Savarin voulait oblitérer notre composante animale, celle-là même qui dérangeait les Précieuses : elles mirent les mousses à la mode, parce que ces dernières leur évitaient «le mouvement disgracieux de la mastication». Pourtant, un bon croustillant ! Un gluant ! Un craquant ! Pour profiter de l'éventail que nous offre l'univers culinaire, acceptons notre humaine condition et tournons nos particularités physiologiques à l'avantage de la gourmandise.

La mastication divise les aliments en morceaux de diamètre inférieur à celui du pharynx. Toutefois nous poursuivons la division bien au-delà de cette limite : notre organisme de mammifère, qui dépense beaucoup d'énergie, utilise la mastication pour diviser les aliments et augmenter la surface totale, accessible aux enzymes digestives ; indirectement la mastication accélère l'assimilation.

J. Prinz et P. Lucas ont créé un modèle de la mastication pour savoir comment la salivation assurait la cohérence des particules formées, au cours de la mastication. Leur modèle recense les diverses forces qui s'exercent sur les particules alimentaires : des adhérences entre particules et des adhérences des particules

aux surfaces buccales ; ces forces dépendent de la sécrétion de salive et de la quantité de jus exprimée par la mastication.

Lors des mouvements de la bouche, les petits morceaux sont moins divisés que les gros. D'autre part, quand un fragment est divisé, il l'est en un nombre de morceaux qui dépend des caractéristiques mécaniques de l'aliment. Pour simplifier la modélisation, les deux physiologistes britanniques ont supposé que chaque particule était divisée en particules sphériques et ils ont calculé la force de tension superficielle totale.

Enfin les deux chercheurs ont admis que les particules s'agglomèrent quand la force d'adhérence des fragments, dans une bouchée, est supérieure à la force d'adhérence des fragments à la paroi de la bouche. À l'aide d'un ordinateur qui calculait numériquement les diverses forces et en utilisant des valeurs des divers paramètres tirées d'études de physiologie humaine, ils ont alors déterminé la cohésion des bouchées sur 150 cycles masticatoires et pour deux aliments aux comportements très différents : des carottes crues, qui se brisent très lentement, et des noix du Brésil, qui se divisent bien plus rapidement.

Le calcul a montré que la cohésion des bouchées, initialement faible, augmente rapidement, devient maximale

après une vingtaine de cycles, puis diminue quand les particules sont de plus en plus divisées.

Comment tester le modèle proposé ? Les cohérences calculées ont été comparées à des cohérences mesurées sur des bouchées qui ont été recrachées après avoir été mâchées : l'accord entre la théorie et la pratique est assez bon, mais les nombres de cycles masticatoires effectivement effectués sont un peu supérieurs aux nombres calculés, sans doute parce que nous ne sommes pas seulement des machines à absorber de la nourriture : «Le Créateur, en obligeant l'homme à manger pour vivre, l'y invite par l'appétit, et l'en récompense par le plaisir» ; ayant du plaisir à manger, nous prolongeons ce plaisir en mastiquant plus que les simples besoins de la cohésion des fragments.

MODÈLE ET CUISINE

Que déduire enfin du modèle, en pratique culinaire ? Que les caractéristiques des aliments peuvent déclencher ou réduire la mastication, au choix. Tout d'abord, on observera que l'ajout de composés qui fluidifient la salive (les tanins, par exemple) ou l'augmentation de la concentration en liquides exprimables par les dents, en réduisant la cohérence, devraient allonger la mastication : le mangeur profitera davantage du plat qu'il consomme. Est-ce pour cette raison que les gourmands boivent du vin (qui contient des tanins) avec les mets ?

À l'inverse, des épaississants devraient accélérer l'absorption : c'est gênant pour l'industrie qui en utilise dans les produits allégés, notamment, car une moindre mastication s'accompagne d'une moindre libération de molécules aromatiques et savoureuses. Plus généralement, l'hypothèse d'une détection automatique, par l'organisme, de la cohérence idéale des bouchées, donne des idées au cuisinier qui jongle avec le collant, le gluant, le sec, l'absorbant...



Répartition des fragments d'aliments au début (en haut) et à la fin de la mastication d'un aliment (en bas).

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science le 27 avril 1997, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.



Les choix sociaux

CHRISTIAN WALTER

Comment transformer au mieux les préférences individuelles en choix collectifs ? Hélas, on sait qu'il n'existe pas de système de vote qui soit juste !

Comment décider de ce qui sera le mieux pour la collectivité, en présence d'intérêts divergents ? Un exemple paradoxal et archétypique est l'élection d'un homme politique représentatif des préférences individuelles de chacun. C'est un exemple intéressant, du fait que les procédures de vote sont aisément formalisables par les mathématiques.

Prenons le cas où 60 votants ont à choisir entre trois candidats *A*, *B*, et *C*. Pour 23 d'entre eux, le classement est $A > C > B$. Pour 19 d'entre eux, le classement est $B > C > A$. Pour 16 d'entre eux, le classement est $C > B > A$. Pour les deux restants, le classement est $C > A > B$. Aucun votant n'a choisi les ordres de préférence $A > B > C$ ou $B > A > C$ (voir la figure ci-dessous). Quel est le choix social optimal ?

Avec le mode de scrutin uninominal majoritaire à un tour, le candidat *A* est retenu, recueillant 23 voix (*B* obtient 19 voix, *C* obtient 18 voix). Si l'on choisit un mode de scrutin avec majorité relative à deux tours, en conservant les deux meilleurs candidats du premier tour et en introduisant donc un ballottage entre eux, les deux hommes politiques qui ont obtenu le plus de voix sont *A* et *B* : le second tour opposera donc *A* à *B*. Les 23 et les 19 électeurs qui ont voté pour les candidats *A* et *B* confirment leur vote. Comment vont se répartir les voix attribuées à *C* ? Seize voix de *C* vont se reporter sur *B*, et 2 seulement sur *A*. Au final, *B* recueille 35 voix, tandis que *A* ne séduit que 25 électeurs : *A* est battu face à *B*. Imaginons à présent que les deux partis *B* et *C* soient politiquement proches, et que *B* se désiste en faveur de *C* (présentant en *C* un meilleur candidat pour battre *A*). Les 23 et 18 électeurs qui ont voté pour *A* et *C* confirment leur vote. Le report des 19 voix de *B* se fait intégralement sur *C*, qui totalise 37 voix. Autrement dit, lorsqu'il y a un ballottage par introduction d'un deuxième tour, *A* perd à la fois devant *B* et devant *C*. Celui qui arrive en tête du premier tour des élections est battu dans toutes les configurations quand le scrutin introduit un second tour. La règle d'agrégation n'est pas cohérente avec les préférences individuelles.

En 1785, Condorcet imagina une règle d'agrégation qui conserverait la cohérence des préférences individuelles. On compte le nombre de cas où un candidat gagne contre un autre : le gagnant est celui qui est en tête dans ce classement. En appliquant cette règle à l'exemple précédent, *C* est gagnant. Mais il existe des situations (*en rouge sur la figure*) où *A* gagne contre *B*, *B* contre *C*, et *C* contre *A* : c'est le paradoxe de Condorcet. Pour résoudre ce paradoxe, Condorcet a proposé de rompre la chaîne $A > B > C > A$ sur le ballottage le plus serré. Si l'écart des voix entre *A* et *B* est le plus faible, alors on supprime $A > B$, et *B* devient le gagnant.

Généralisant le paradoxe de Condorcet, le prix Nobel d'économie Kenneth Arrow a montré que la transitivité individuelle ne peut être agrégée simplement, comme l'illustre le paradoxe de Condorcet. Il n'existe pas de règle de choix social cohérente avec les règles des préférences individuelles. Bien plus, la généralisation des résultats d'Arrow par Wilson, en 1972, a fait apparaître qu'il n'existe pas de procédure de vote réaliste qui soit non manipulable !

$A > B > C$	$A > C > B$	$B > A > C$	$B > C > A$	$C > A > B$	$C > B > A$
0	23	0	19	2	16
9	10	10	12	12	7

Scrutin uninominal à un tour :
A a 23 voix, B 19 voix, C 18 voix ;
A est élu.

Scrutin à deux tours où les deux premiers du premier tour participent au second tour :
A a 23 + 2 = 25 voix et B 19 + 16 = 35 voix ;
B est élu.

B se désiste au premier tour pour C :
A a 23 voix et C 19 + 2 + 16 = 37 voix ;
C est élu.

Classement par duel :
B bat A par 19 + 16 = 35 contre 23 + 2 = 25 voix,
C bat A par 19 + 16 + 2 = 39 contre 23 voix,
C bat B par 23 + 18 = 41 voix contre 19 voix ;
C, qui gagne deux duels, est élu.

Classement par duel :
A bat B par 9 + 10 + 12 = 31 contre 10 + 12 + 7 = 29,
B bat C par 9 + 10 + 12 = 31 contre 10 + 12 + 7 = 29,
C bat A par 12 + 12 + 7 = 31 contre 9 + 10 + 10.
Aucune décision n'est possible...

La situation se complique encore lorsque, dans un système d'élections, il existe des seuils de déclenchement de type «tout ou rien», appelés «seuils critiques». La nature abonde en phénomènes de ce type (tas de sable, avalanches...), et la physique du désordre a développé des outils adaptés à ces changements brutaux. Un physicien du CNRS, Serge Galam, les a appliqués aux élections et a étudié le comportement des systèmes électifs en présence de seuils critiques. Par exemple, dans le système communiste hongrois d'avant la chute du mur, à cinq ou six tours successifs, le seuil critique se situait autour de 76 pour cent des voix. Cela signifie que 75 pour cent d'opposition donnaient zéro pour cent de changement, et cela démocratiquement, tandis que, avec 2 pour cent de plus, à 77 pour cent, il y avait 100 pour cent de changement. Ce système à seuil critique élevé a permis de maintenir le parti communiste hongrois au pouvoir pendant plus de 50 ans, mais il en a également assuré la disparition quasi immédiate, dès lors que le seuil critique était franchi. Plus le nombre de niveaux successifs d'agrégation des votes est grand, et plus cela renforce le mécanisme précédent. Au tennis aussi, celui qui gagne la partie n'est pas toujours celui qui a gagné le plus de points. Avec dix niveaux d'agrégation successifs, 77 pour cent des effectifs de la population ne sont pas représentés. Les systèmes à «grands électeurs» (comme les élections présidentielles aux États-Unis ou les élections sénatoriales en France) présentent ce mécanisme d'éviction.

Mécanismes de basculements rares mais brutaux dans les élections à seuils, manipulabilité des procédures de vote majoritaire, absence de procédures réalistes non manipulables... le passage des préférences individuelles aux choix collectifs est un casse-tête politique. Pas pour les mathématiciens éconômistes, qui connaissent aujourd'hui avec précision les arcanes des procédures d'agrégation sociale. Mais sont-ils écoutés ?

