

Fluides turbulents

Grâce aux simulations numériques, les physiciens expliquent mieux les mélanges dans un fluide turbulent.

Un fluide est turbulent dès qu'il se déplace d'une façon à la fois tumultueuse et tourbillonnante. À l'écoulement turbulent, on oppose l'écoulement laminaire, où le fluide s'écoule, tel un empilement de lames qui coulissent les unes sur les autres. Les deux types d'écoulements se mêlent dans les fluides turbulents. Nous avons simulé sur ordinateur ce phénomène, nommé intermittence, afin d'en percer les mystères. L'intermittence se produit quand des particules sont transportées au sein d'un fluide turbulent. Le transport du plancton dans la mer, celui des molécules de gaz dans l'atmosphère ou encore des pigments dans un solvant en sont des exemples. Ainsi, nous avons simulé un écoulement fortement turbulent, puis étudié par une méthode statistique l'évolution des figures formées par des groupes de particules. Nos calculs mettent en évidence que la forme de certaines figures persiste dans le temps, malgré l'agitation due à la turbulence.

Notre objectif était de caractériser les effets de la turbulence sur les variations de concentrations. Nous avons produit un mélange turbulent en injectant de l'encre à débit constant sur le côté d'un réservoir où de l'eau s'écoulait de façon turbulente, à vitesse moyenne constante ; le débit était choisi pour qu'une quantité constante d'encre soit toujours contenue dans le réservoir. Dans un liquide au repos, le phénomène de diffusion fait évoluer la concentration en encre en tout point du volume vers la valeur moyenne. Dans un écoulement turbulent, l'agitation devrait *a priori*, rédui-

re plus efficacement les écarts de concentration. Il n'en est rien. Des «plateaux de concentration» se forment ou les variations de concentration sont faibles (le mélange s'est fait de façon efficace). Ces plateaux sont séparés par des «falaises de concentrations», des zones où sur de courtes distances, la variation de concentration est notable. Tandis que les «falaises» sont rares, les «plateaux» sont fréquents. Leur coexistence est une manifestation de l'intermittence, c'est-à-dire de la façon dont, au sein du liquide, le régime laminaire (où les variations de concentrations sont faibles) alterne avec le régime turbulent (les variations de concentrations y sont élevées).

Comment mettre de l'ordre dans ce chaos apparent? En mécanique des fluides, les écoulements turbulents sont décrits par les équations de Navier-Stokes. Bien qu'elles datent du XIX^e siècle, les physiciens ne savent pas résoudre que dans quelques cas très simples d'écoulements pas ou peu turbulents ; dans tous les autres cas, ils ignorent même si elles ont des solutions.

Parce que les mélanges turbulents sont très chaotiques, nous avons recouru à une approche statistique : nous nous sommes intéressés à l'évolution dans le temps de «grappes de points». Un ensemble de telles grappes de points évolue très vite au sein du mélange turbulent. Les propriétés statistiques des différentes figures formées par ces grappes sont caractérisées par leurs «fonctions de corrélation». La fonction de corrélation d'une figure est égale au produit des concentrations en chacun de ses points ; elle donne la probabilité d'observer cette figure à un instant donné. Après avoir reproduit sur ordinateur un mélange turbulent, nous nous sommes servis de ce milieu virtuel pour étudier l'évolution temporelle des fonctions de corrélation des concentrations. Nous avons été surpris d'en trouver qui sont invariantes dans le temps!

Cette découverte prouve que dans le milieu turbulent, certaines figures persistent. On montre que la valeur de la fonction de corrélation d'un groupe de points est proportionnelle au temps que met ce groupe de particules à atteindre une taille comparable à celle du réservoir, en d'autres termes à se disperser dans tout le volume disponible. Les fonctions de corrélation de concentrations invariantes dans le temps désignent donc les groupes de points qui persistent un certain temps. Elles fournissent un précieux outil d'étude de la dynamique des structures d'un mélange turbulent, et du phénomène de l'intermittence.

Massimo VERGASSOLA
et Antonio CELANI, CNRS

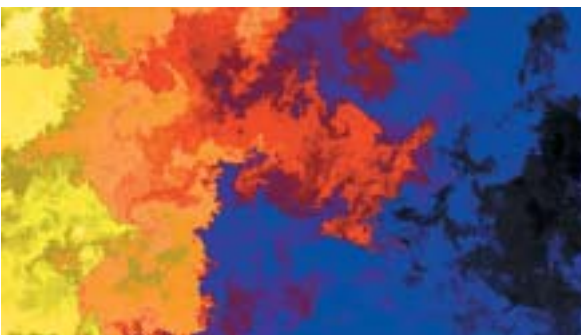
L'amélioration de la chaîne alimentaire

Si les veaux, les vaches et les cochons mangeaient du lin, l'homme devrait être en meilleure santé.

Dans le Midi, on dénombre moins de maladies cardio-vasculaires, de diabète et de certains cancers. C'est sans doute en partie grâce au régime alimentaire. Doit-on, pour autant, généraliser la cuisine provençale? Persuadés que les habitudes alimentaires de leur région sont indéracinables, plusieurs nutritionnistes bretons cherchent à améliorer la chaîne alimentaire traditionnelle. Bernard Schmitt, qui dirige le service de diabétologie, d'endocrinologie et de nutrition de l'Hôpital de Lorient et Philippe Legrand de l'INRA de Rennes ont enrichi de lin l'alimentation de certains animaux. Le lin est un oléagineux riche en un «acide gras indispensable», l'acide alpha linoléique. Ces acides gras doivent être présents en quantité suffisante dans la nourriture parce que l'organisme ne les synthétise pas. On a ainsi constaté que la concentration en acide alpha linoléique dans le sang augmente chez les personnes nourries avec la viande, le lait ou les œufs issus des animaux élevés au lin.

Le «régime méditerranéen» comprend beaucoup de fruits et de légumes, peu de viande, du poisson et de l'huile d'olive ; il assure une prise quotidienne équilibrée d'acides gras indispensables. Il existe deux familles de ces acides gras : celle des acides oméga-6 issus de l'acide linoléique ; celle des acides oméga-3, dérivés de l'acide alpha linoléique. Ce sont des acides insaturés qui réagissent facilement et interviennent dans de nombreuses réactions métaboliques : les acides gras oméga-6 et oméga-3 sont notamment les précurseurs d'hormones qui interviennent dans la coagulation du sang, l'immunité ou encore le cycle hormonal de la femme. Ils représentent aussi une bonne part des acides gras qui constituent les membranes cellulaires. Or, la qualité de ces membranes est vitale.

Au cours des années 1990, les nutritionnistes ont établi que l'efficacité métabolique des acides gras indispensables est maximale quand le rapport des apports en acides oméga-6 sur ceux d'acides oméga-3 avoisine cinq dans l'alimentation. Ce rapport, conseillé par



Dans un mélange turbulent, de larges domaines se forment, où la concentration est constante (les domaines en couleur). Ils sont séparés par de sauts de concentration, des «falaises» (les frontières entre ces domaines).



les autorités sanitaires françaises et internationales est précisément celui qu'assure le régime méditerranéen. En revanche, dans l'alimentation de la population française, la valeur moyenne de ce rapport est le plus souvent supérieure à 15, car le maïs, le soja et le tournesol de l'alimentation animale contiennent beaucoup d'acide linoléique.

Afin d'augmenter la proportion d'acides oméga-3 dans l'alimentation animale, les agronomes de l'INRA ont convaincu plusieurs éleveurs bretons de nourrir leurs animaux avec un supplément de cinq pour cent de graines de lin. Pierre Weill, de la société Valorex à Combourtille, a mis au point un procédé d'extrusion des graines de lin qui en facilite la digestion. Après quelques mois, les agronomes ont établi que la viande, le lait et les œufs produits contenaient plus d'acides gras insaturés oméga-3 que des produits témoins. Ainsi, le rapport des acides oméga-6 sur les acides oméga-3 est abaissé de 54 pour cent dans le beur-

re, de 60 pour cent dans les viandes et de 86 pour cent dans les œufs.

Les nutritionnistes ont ensuite recruté 75 familles qu'ils ont réparties en deux groupes : un «groupe témoin» et un «groupe d'essai». Pendant les trois mois de l'expérience, chacun des deux groupes a reçu une alimentation strictement identique, sauf que l'un d'entre eux recevait sans le savoir les protéines issues de la «filière lin». Des dosages des concentrations en acides gras ont été régulièrement effectués : les concentrations en acides gras oméga-3 doublent en 15 jours dans le sérum des volontaires nourris par les produits de la «filière lin».

La concentration en acide alpha linoléique augmente de 110 pour cent ; dans les membranes des hématies, la concentration en acides gras oméga-3 augmente de 10 pour cent tandis que les acides gras oméga-6 diminuent d'autant. Or, la concentration en acides gras dans les membranes des globules rouges reflète celle des membranes de toutes les cellules. La valeur du rapport entre les apports d'acides oméga-6 et les apports d'acides oméga-3 des personnes qui bénéficient d'une alimentation enrichie en lin, donc en acide gras alpha linoléique, a baissé pendant l'étude de 14,7 à 10,4. Elle se rapproche de la valeur conférée par le régime méditerranéen. Il reste à vérifier que les personnes nourries avec les protéines de la «filière lin» auront moins de maladies cardio-vasculaires!

L'odorat des fœtus

Dans l'utérus, le fœtus apprend à reconnaître les odeurs, notamment celle des aliments que consomme sa mère.

Les preuves d'une communication entre la mère et l'enfant qu'elle porte se multiplient. Les échanges s'établissent très tôt au cours de la grossesse : Benoist Schaal, Luc Marlier et Robert Soussignan du CNRS, au Centre des sciences et du goût, à Dijon, ont montré que la communication olfactive est déjà établie avant la naissance.

On sait que, chez divers animaux, tels le rat, le lapin et le mouton, l'introduction de substances odorantes dans le liquide amniotique de la mère par infusion directe ou par ingestion, influe sur la perception de ce stimulus par l'animal nouveau-né. Ces expériences sur des mammifères non primates ont montré que les stimulations chiomi-

sensorielles font partie de l'expérience spontanée des fœtus. Comment montrer que cet «apprentissage olfactif prénatal» existe aussi chez l'homme?

B. Schaal et ses collègues ont mis à profit l'odeur prononcée et caractéristique de l'anis. À la clinique Sainte-Anne, à Strasbourg, ils ont comparé les réactions



Quand on fait respirer à un nouveau-né de quelques heures une odeur d'anis, il fait une moue de dégoût (il fronce le nez), sauf si sa mère a mangé des bonbons à l'anis avant l'accouchement.