

QUESTION AUX EXPERTS

Pourquoi l'IRM est-elle si bruyante ?

Le bruit résulte des vibrations des bobines conductrices servant à localiser l'origine des signaux IRM émis.

Cyril POUPON



Si vous avez déjà passé un examen par IRM, vous avez entendu, quand vous étiez allongé dans l'appareil, une série de claquements. Cessons sont graves pour une IRM anatomique, destinée à visualiser une partie du corps, et aigus pour une IRM fonctionnelle, qui visualise l'activité du cerveau. D'où provient ce bruit ?

L'IRM (imagerie par résonance magnétique) exploite les propriétés magnétiques des noyaux d'hydrogène de l'eau contenue dans les tissus biologiques. Au cours d'un examen, l'organe à explorer est plongé dans un champ magnétique intense (1,5 à 3 teslas, soit plus de 100 000 fois celui de la Terre). Ce champ magnétique statique (constant dans le temps) est créé à l'aide d'un électro-aimant, constitué d'une bobine de conducteur électrique plongée dans de l'hélium liquide. Ce bain, à une température de 4,2 kelvins (4,2 degrés au-dessus du zéro absolu), rend le matériau supraconducteur, c'est-à-dire annule sa résistance électrique (ce qui permet au courant, très intense, de circuler sans perte).

Les tissus mous contiennent une quantité importante d'eau (jusqu'à 80 % dans le cerveau), dont les molécules se comportent comme de petits aimants, nommés spins. Ceux-ci s'orientent dans la direction du champ magnétique statique lorsqu'ils sont placés au centre de l'électro-aimant. À leur état d'équilibre, les spins tournent autour de l'axe du champ (mouvement dit de précession) à une fréquence proportionnelle à

l'amplitude de ce dernier. Grâce à une antenne placée autour de l'organe exploré, on émet alors une onde radio de même fréquence, qui agit sur les spins. Ceux-ci entrent en résonance avec l'onde radio (d'où le nom de cette modalité d'imagerie), ce qui se traduit par un basculement du spin par rapport au plan perpendiculaire au champ magnétique ; quand le spin revient à sa position initiale, il émet une onde électromagnétique, captée par une antenne réceptrice.

Les propriétés magnétiques des tissus contenant l'eau perturbent les spins et influent sur l'amplitude du signal recueilli, ce qui crée le contraste dans les images d'IRM. Dans le cas de l'IRM fonctionnelle classique, les propriétés magnétiques du sang varient quand il apporte de l'oxygène aux aires cérébrales qui s'activent, d'où une modification du signal.

Des bobines secouées

Pour localiser le point d'émission du signal, on utilise trois bobines dites de gradient de champ magnétique, alignées le long d'axes différents. Ces bobines font varier localement le champ magnétique, de sorte que la fréquence de précession et l'orientation des spins deviennent spécifiques de leur position. La fréquence de l'onde émise par un spin est alors caractéristique de la localisation de ce dernier. En pratique, l'antenne reçoit un mélange des signaux émis par tous les points. Par un traitement informatique reposant sur une analyse dite de Fourier,

on décompose le signal en ses éléments de différentes fréquences, ce qui permet de reconstituer une image de l'organe exploré.

Les bobines de gradient sont alimentées par des courants électriques alternatifs de plusieurs centaines d'ampères, qui ne durent que quelques millisecondes. Le champ magnétique statique agit sur ces courants et engendre des forces mécaniques radiales (dites forces de Laplace), faisant vibrer les bobines. Ainsi, à chaque fois qu'une image est prise, il se produit un train de vibrations qui émet un claquement sonore, dont la fréquence est égale à celle des vibrations. Le bruit est plus aigu pour une IRM fonctionnelle car il faut faire varier les courants plus vite pour acquérir de nombreuses images et suivre l'évolution de l'activité cérébrale, d'où des vibrations de plus haute fréquence.

C'est donc le processus de lecture tridimensionnelle du signal qui crée du bruit. À trois teslas, ce bruit peut atteindre 125 décibels, équivalant à l'intensité perçue lors d'un concert de rock. Des protections acoustiques, tels des bouchons d'oreille ou des casques, s'imposent alors. Ces protections sont conçues pour ramener le niveau de bruit en deçà de 99 décibels, maximum autorisé par l'administration sanitaire américaine (la Food & Drug Administration, ou FDA). ■

Cyril POUPON est directeur de l'Unité d'imagerie par résonance magnétique nucléaire et de spectroscopie (UNIRS) du centre NeuroSpin du CEA à Gif-sur-Yvette.

Dans l'**inter**êt de la science

mathieu
vidard

la tête au carré
14:05-15:00



**france
inter**venez
franceinter.fr

SCIENCE & GASTRONOMIE

Le sel et sa perception

Des mets ayant la même quantité de sel procurent des sensations de salé différentes, selon leur structure.

Hervé THIS



© Jean-Michel Thiriet

Saler ? Le sel est devenu si commun que l'État ne juge plus nécessaire de percevoir la gabelle et d'envoyer les contrebandiers aux galères. Cuisinières et cuisiniers essaient seulement de doser le sel de telle façon que le plat ait du goût, mais sans excès de saveur salée.

Un mets non salé est en effet fade, et l'ajout de sel augmente le goût. La dissolution du chlorure de sodium dans un liquide conduit à l'hydratation des ions chlorure et des ions sodium, ce qui chasse de l'aliment les solutés les moins solubles dans la solution aqueuse ; or les composés odorants sont souvent de ce type. C'est ainsi que le sel fait ressortir le goût d'un potage de légumes, par exemple.

Toutefois les autorités sanitaires préconisent de réduire la quantité de sel que nous consommons (entre 8 et 12 grammes par jour) : se dresse devant nous le spectre de l'hypertension et de toutes les maladies associées. Et comme 80 % du sel que nous absorbons provient de nos aliments, les agences de santé prônent des efforts de recherche pour identifier des techniques culinaires qui réduiraient l'ajout de sel.

Si les particuliers sont démunis, les industriels ont cherché des méthodes et ils ont compris, par exemple, que des systèmes gélifiés à plusieurs couches peuvent conserver une saveur sucrée alors que certaines couches sont sans sucre. Cette découverte a été transposée au sel dans le pain : dans certains systèmes, une répartition intelligente du sel compense une réduction qui atteint presque 30 % ! À l'Inra de Dijon, en 2013,

Marion Emorine, Chantal Septier, Thierry Thomas-Danguin et Christian Salles ont mesuré un effet analogue pour des biscuits à deux couches, montrant de surcroît qu'une forte différence de concentration dans les deux couches augmente la perception du sel.

Le même type d'effet s'observe dans des potages où sont dispersés des morceaux de poulet, mais les scientifiques qui avaient fait l'étude avaient omis de considérer l'effet de la taille des morceaux. Mes collègues dijonnais ont récemment montré que, pour des flans, la taille des morceaux de jambon dispersés dans le gel influe sur la perception du salé, à quantité de sel constante.

En réalité, les récentes analyses sensorielles donnent lieu à deux résultats. Le premier concerne l'ajout de morceaux de jambon : la perception du salé augmente avec l'ajout de jambon, même quand il est peu salé. On soupçonne que cet effet résulte notamment de l'association mentale du goût de jambon avec la saveur salée, par des consommateurs français habitués à cette association. Par ailleurs, la comparaison de flans contenant du jambon broyé, ou des particules de jambon de 0,6 gramme, ou des particules de 2,5 grammes, a montré que l'intensité salée augmente dans cet ordre : pas de jambon, grosses particules, petites particules, jambon broyé – que la quantité totale de sel soit globalement faible (1,8 gramme par kilogramme) ou forte (3 grammes par kilogramme).

Un tel effet corrobore des études sur des fromages effectuées en 2001 par Erwan Engel et ses collègues, de l'Inra de Dijon. Ils

avaient alors comparé des fromages entiers, du fromage râpé et du fromage reconstitué à partir de matière grasse de fromage, d'un extrait de fromage dans l'eau et de protéines de fromage obtenues après broyage dans l'eau et centrifugation. La perception du sel était augmentée par la division. Pourquoi ? Dans le cas du fromage, la libération facilitée des ions minéraux semble être la cause, et cette explication pourrait être reprise pour le jambon.

Si l'on comprend mieux que l'on peut réduire la quantité de sel, il reste que le cuisinier doit fixer la quantité totale à utiliser, face à des convives ayant des préférences différentes. Comment faire ce choix ? Interrogé, le cuisinier français Pierre Gagnaire répond que le bon est le beau à manger et que la question est artistique et non technique. Il ne viendrait à l'idée de personne de demander à Mozart d'ajouter des violons dans une pièce d'orchestre ; de même, le mets doit être une composition, et le sel n'est pas un curseur, comme le croient ceux qui s'arrêtent à l'aspect technique de la cuisine. ■



Hervé THIS, physico-chimiste, est directeur du Centre international de gastronomie moléculaire AgroParisTech-Inra et directeur scientifique de la Fondation Science & culture alimentaire (Académie des sciences).



Retrouvez la rubrique
Science & gastronomie sur
www.pourlascience.fr

■ MATHÉMATIQUES

Le mystère des nombres

Marcus du Sautoy

Héloïse d'Ormesson, 2014
[363 pages, 23 euros].

L'auteur, un mathématicien britannique connu pour son œuvre de vulgarisation, « rentre en lui-même » pour déterminer comment il comprend les faits mathématiques. Les domaines qu'il expose sont compréhensibles sans grand bagage mathématique, car Marcus du Sautoy les présente de manière conviviale, « benoîtement » pourrions-nous dire : l'exemple numérique précède le cas général qui en découle presque naturellement.

Cette méthode d'exposition montre la genèse du théorème et permet d'en saisir la portée. Ainsi l'exemple du petit théorème de Fermat est un chef-d'œuvre de clarté, alors que dans les livres habituels le théorème est parachuté, un « don de Dieu » où toute explication originelle est absente : après une formulation concise et absconse, le lecteur est immédiatement confronté à l'utilisation. Cette initiation est ardue et peu didactique.

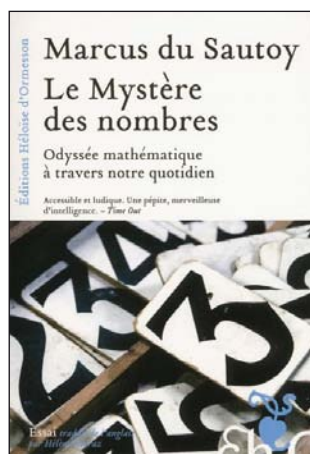
Paranthèse : ce mot « didactique » est aujourd'hui presque une

insulte dans la bouche des petits marquis de la pensée pédagogique dogmatique. Ils proclament que la transmission de la connaissance ne les intéresse pas en regard de la nécessaire « autonomie » de la pensée qu'il faut inculquer aux lecteurs. Comme si la réflexion et l'invention ne se fondaient pas sur le savoir... Bref une ânerie, qui s'est souvent propagée par le passé et se perpétue malheureusement aujourd'hui. Fin de la parenthèse.

Les exposés de Marcus du Sautoy allient avec bonheur réflexions arithmétiques et visualisations géométriques, ce qui fortifie la compréhension. La lecture de ce livre est un voyage initiatique dans le grenier cérébral de l'auteur où les faits anciens sont observés d'un œil nouveau. J'ai été étonné et ravi par le procédé inventé par Watts pour faire des billes métalliques, où on lâche une goutte de métal en fusion du haut d'une tour pour que sa chute la rende sphérique. On aimerait en savoir plus, car les gouttes de pluie ne sont pas sphériques, mais Marcus du Sautoy n'a ici que la possibilité de nous donner le goût des choses, et doit nous laisser approfondir les sujets qui nous intéressent.

Ainsi, Marcus du Sautoy maîtrise l'échange philosophiquement mystérieux entre les qualités intrinsèques des nombres et leurs associations extrinsèques, improbables et étonnamment fertiles. Les Mayas associaient un Dieu à la position des nombres, les Pythagoriciens leur associaient des propriétés secrètes, saint Augustin contraignait Dieu à se plier aux caractéristiques des nombres, Marcus du Sautoy en dévoile les prodigieux usages. Pas de magie, une vibrante excitation des neurones.

Philippe Boulanger



■ HISTOIRE DES SCIENCES

Sur la nature du feu aux siècles classiques

Robert Locqueneux

L'Harmattan, 2014
[262 pages, 27 euros].

Le « phlogistique » est un cas classique de l'histoire des sciences. Ce terme fait référence à une substance imaginée par les chimistes du XVII^e siècle pour expliquer la combustion, et dont l'existence a été remise en cause par le grand Antoine Lavoisier à la fin du XVIII^e siècle.

L'idée était que tous les matériaux inflammables contiendraient du phlogistique qui se dégagerait en brûlant ; plus ils en contiendraient, plus ils brûleraient. Le phlogistique était ainsi la matière du feu fixée dans un corps et s'en dégageant lors de la combustion. Mais, en montrant que la combustion nécessite la présence d'oxygène, le savant français aurait réfuté cette théorie et fondé la chimie moderne.

Dans ses grandes lignes, cette vision n'est pas fausse. Dans le détail, la situation est plus complexe, comme on peut le découvrir dans ce livre de l'historien des sciences Robert Locqueneux, qui effectue un tour d'horizon des théories sur le feu, du XVII^e siècle jusqu'au début du XIX^e siècle.

La notion de masse se trouve au cœur de cette histoire de changement de théorie. Si du phlogistique se dégage lors d'une combustion, le corps brûlé devrait être plus léger. Or ce n'est pas ce que Lavoisier constate. Après analyse, il arrive à la conclusion qu'un corps brûlé augmente sa masse « exactement dans la proportion de la quantité d'air détruit ou décomposé ».

Cela conduit Lavoisier à rejeter la théorie du phlogistique. Il n'en maintient pas moins que,

lors d'une combustion, il y a dégagement d'une matière du feu, qu'il désigne par le terme de calorique. Mais cette dernière est, cette fois, un « fluide très subtil, très élastique, qui environne de toutes parts la planète que nous habitons, [et] qui pénètre avec plus ou moins de facilité les corps qui la composent ».

Lavoisier réfute donc bien la théorie du phlogistique, mais



il continue à donner du crédit à l'idée qu'il existe une substance à la base des phénomènes de combustion. Il faudra attendre la seconde moitié du XIX^e siècle pour qu'une interprétation cinématique de la chaleur finisse par s'imposer. Si la « révolution » de Lavoisier marque ainsi une rupture avec les conceptions qui la précèdent, elle se caractérise aussi par de fortes continuités.

En tout cas, en présentant de très nombreux extraits de sources historiques, cet ouvrage permet de mieux comprendre comment on est passé, pour ce qui concerne le feu, des conceptions du XVII^e siècle, héritées de l'Antiquité, à la théorie du phlogistique, puis aux idées de Lavoisier.

Thomas Lepeltier

Philosophe des sciences, Oxford