



Le handicap de la diversité

JACQUES HOURDRY • CLAUDE CAUSSANEL

Préserveons les sciences naturelles, sciences de demain.

Zoologistes, botanistes, paléontologues se plaignent des restrictions de leurs crédits de recherche et du délabrement de leurs disciplines. Réclamations corporatistes ? Sans doute pas : c'est un fait que l'on ne trouve plus de successeurs pour remplacer les systématiciens ou les spécialistes des divers groupes animaux ou végétaux. Ainsi, pour le secteur de l'entomologie seulement, aucun spécialiste en activité ne connaît plus la systématique du groupe des drosophiles, qui sont pourtant l'animal de choix de la biologie moléculaire ; de même, il n'existe plus qu'un seul spécialiste au monde de certains groupes d'araignées et d'acariens.

Les sciences naturelles n'ont pas la faveur des bailleurs de crédits de recherche, qui considèrent que les activités de classification, prétendument antiques et poussiéreuses, devraient laisser la place à une biologie moléculaire brillante et universelle. Cependant la connaissance des organismes, de leur physiologie, de leurs relations avec les biotopes, ne pourrait-elle renforcer les apports déjà fascinants de cette biologie moléculaire ?

De surcroît, les films animaliers passant en salle (comme *Microcosmos*) ou programmés par la télévision font invariablement de superbes audiences, prouvant que le public est intéressé par la diversité de la vie qui nous entoure. Les crédits attribués à ces recherches ne sont pas à la mesure de leur succès !

Les services d'aménagement du territoire font de plus en plus appel à des naturalistes, afin d'harmoniser activités économiques et ressources naturelles. Les agronomes ont besoin de spécialistes des faunes et flores sauvages, afin de protéger ou d'améliorer les faunes et flores domestiques. Un rendement accru des plantes vivrières, par exemple, suppose une connaissance approfondie de la biologie des espèces «souches» et des paramètres physico-chimiques de leurs milieux de vie. Des étudiants

seront-ils encore formés à ces travaux dans les institutions universitaires ?

Apparemment pas. Pourtant notre pays peut-il sacrifier des compétences indispensables, mais devenues si rares ? Quand on devra parer rapidement aux attaques d'un groupe d'insectes ou lutter contre des algues envahissantes, pourra-t-on attendre d'avoir formé de nouveaux spécialistes de groupes hélas négligés ? Plus généralement, des activités de recherche peuvent-elles être sacrifiées sur l'autel des modes ? La biologie moléculaire doit-elle évincer les botanique et zoologie classiques pour se développer ? Les sciences naturelles ne doivent-elles pas vivre, pour assurer la poursuite des progrès de la biologie moléculaire ?

DIVERSITÉ ET UNITÉ

Les sciences naturelles sont des préoccupations de toujours. L'animal, par exemple, fut tour à tour source de nourriture, de décorations, motif de culte, objet de crainte, d'émerveillement... Sous l'impulsion des Réaumur, Buffon, Lamarck ou Linné, les premières classifications apparurent, et, bientôt, l'invention du microscope montra que la diversité macroscopique s'accompagnait d'une remarquable unité à l'échelle cellulaire. Les avancées méthodologiques amenèrent aussi l'avènement de la génétique, et prolongèrent l'unité dégagée jusqu'au niveau moléculaire. Comme Janus, la zoologie et la botanique sont bifaces : elles séduisent par leur diversité et par leur unité.

Aujourd'hui les aspects unitaires font oublier que le monde vivant est également varié ; la zoologie et la botanique risquent de s'affaiblir dangereusement, et de perdre leur âme. Malgré les avancées moléculaires, le patrimoine naturel est un trésor dont nous n'avons pas fini d'évaluer les structures et les composants, loin s'en faut. L'exploration de ce patrimoine a permis d'établir des classifications dites naturelles, de construire des arbres phylétiques, mais

que d'espèces nous échappent encore, pas seulement dans les contrées reculées d'Amazonie, mais aussi dans la litière de la forêt de Fontainebleau ! Les techniques actuelles, de plus en plus sensibles et spécifiques, devraient progressivement améliorer nos connaissances des organismes, pour ce qui concerne les plans d'organisation, les événements cellulaires, et conduire à une meilleure compréhension des mécanismes évolutifs. Il pourrait en résulter des retombées d'ordre médical et pharmacologique : les recherches sur les venins, par exemple, ont éclairé le fonctionnement des synapses inter-neuronales dans le cerveau ; les études des peptides et alcaloïdes cutanés de grenouilles vénéneuses d'Amérique ont fourni de nouveaux analgésiques et antibiotiques. On pourrait multiplier les exemples ; les espoirs sont immenses.

Signalons enfin que cette diversité biologique qui caractérise notre planète est actuellement en danger. Certes, l'extinction fait partie intégrante de l'évolution : toutes les espèces que la Terre a portées ou porte aujourd'hui se sont éteintes ou s'éteindront, mais nous accélérons le processus et menaçons les grands équilibres de la biosphère par manque de respect des mécanismes régulateurs.

Les naturalistes doivent intervenir : pouvons-nous demeurer silencieux face aux pollutions dues au plomb ou au mercure, sur les côtes, quand on sait que les moules consommées concentrent les métaux ? Ne devons-nous pas avertir le pays de la surexploitation des populations de poissons dans les océans, et des graves problèmes de renouvellement que cela posera ?

Jacques HOURDRY est professeur à l'Université Paris Sud. Claude CAUSSANEL est directeur du Laboratoire d'entomologie et professeur au Muséum national d'histoire naturelle de Paris.



La machine des frères Carissan

FRANÇOIS MORAIN

À la recherche des machines qui décomposaient les grands nombres en facteurs premiers.

Pourquoi est-il facile de multiplier deux nombres entiers et si ardu de trouver deux entiers dont le produit est donné ? Le problème de la factorisation occupe les mathématiciens depuis longtemps ; dès le XIX^e siècle, ils ont cherché à construire des machines facilitant les calculs répétitifs et fastidieux de la factorisation.

Dans certaines branches de la théorie des nombres, les calculs peuvent être assez aisément automatisés. C'est le cas des cribles. Le plus connu d'entre eux est le crible d'Ératosthène, qui permet de trouver tous les nombres premiers dans un intervalle donné (on écrit tous les nombres de 0 à 100, par exemple ; on élimine ensuite tous les multiples de 2, puis tous les multiples de 3, puis de 5, etc ; après avoir passé tous les nombres «au crible», on ne conserve ainsi que 2, 3, 5, 7, 11, 13, etc. qui sont premiers). Une extension de cette notion de crible permet de résoudre les équations en nombres entiers du type $N = x^2 - y^2$: c'est le cas de la méthode de Fermat (voir l'encadré). La méthode est efficace quand

les diviseurs ont des valeurs voisines et elle est adaptable à des dispositifs mécaniques.

Le mathématicien anglais Frederick Lawrence semble avoir été le premier à préconiser la construction d'un crible pour factoriser des entiers, en 1896. Bien qu'il ait écrit comment fabriquer une telle machine, elle ne vit pas le jour. L'idée de Lawrence fut oubliée jusqu'en 1910, quand André Gérardin publia une traduction française de son article dans sa revue de «mathématiques amusantes», *Sphinx-Ceïpe*. Cet article semble avoir inspiré à l'ingénieur Maurice Kraitchik, l'idée de construire un prototype d'une telle machine, en 1912.

Pierre Carissan, professeur de mathématiques est aussi rédacteur à la revue *Sphinx-Ceïpe*, et il s'intéresse à la fabrication d'une telle machine. Après avoir occupé différents postes de professeur de mathématiques, il est nommé, en 1914, au Collège Dumont-d'Urville, près de Caen. Certains de ses proches le considèrent comme un «original fini».

Son frère, Eugène Olivier, entre à l'École spéciale militaire, en 1900. En

1912, les deux frères construisent une machine à factoriser les grands nombres, mais ni leur prototype, ni celui de Kraitchik ne donne de résultats intéressants. Eugène entreprend la fabrication d'un nouveau prototype en 1913, mais le projet est interrompu par la guerre.

Héroïque, il est blessé trois fois durant la guerre (en juillet 1915, il refuse même d'être évacué et continue à se battre). Après la guerre, il est nommé professeur à l'École militaire de Saint-Maixent, et reprend la construction de la machine, dite machine à congruences. Elle sera achevée en 1919 par la maison *Château Frères*, spécialisée dans la fabrication d'instruments scientifiques. Elle permettra la résolution de plusieurs problèmes de la théorie des nombres.

Eugène Carissan meurt en 1925 sans avoir eu le temps de faire exécuter les modifications qu'il jugeait nécessaires. Il voulait notamment entraîner la machine par un petit moteur électrique et non plus à la main. Aucune modification n'est entreprise, et la machine disparaît.

À LA RECHERCHE DE LA MACHINE DE CARISSAN

Avec mes collègues Jeffrey Shallit, à l'Université canadienne de Waterloo et Hugh Williams, à l'Université du Manitoba, nous apprenons l'existence de la machine des frères Carissan à l'automne 1989. Sherlock Holmes des mathématiques, nous cherchons la machine dans toute la France : nous enquêtons pour retrouver la maison *Château Frères*, et visitons les musées techniques français. La première piste aboutit rapidement à une impasse : la maison *Château Frères* n'existe plus. Les pistes du Conservatoire national des arts et métiers, de l'École normale supérieure, de l'Institut Henri Poincaré ou encore de la Bibliothèque nationale échouent.

Après une année de recherches infructueuses, J. Shallit décide d'employer les grands moyens : avec l'aide de Jean-Paul Allouche, de l'unité CNRS URA 410, il écrit à tous les Carissan de

La factorisation de 611

Supposons que l'on veuille factoriser 611. S'il existe deux nombres x et y tels que $611 = x^2 - y^2$, on peut alors factoriser la différence :

$$611 = x^2 - y^2 = (x - y)(x + y)$$

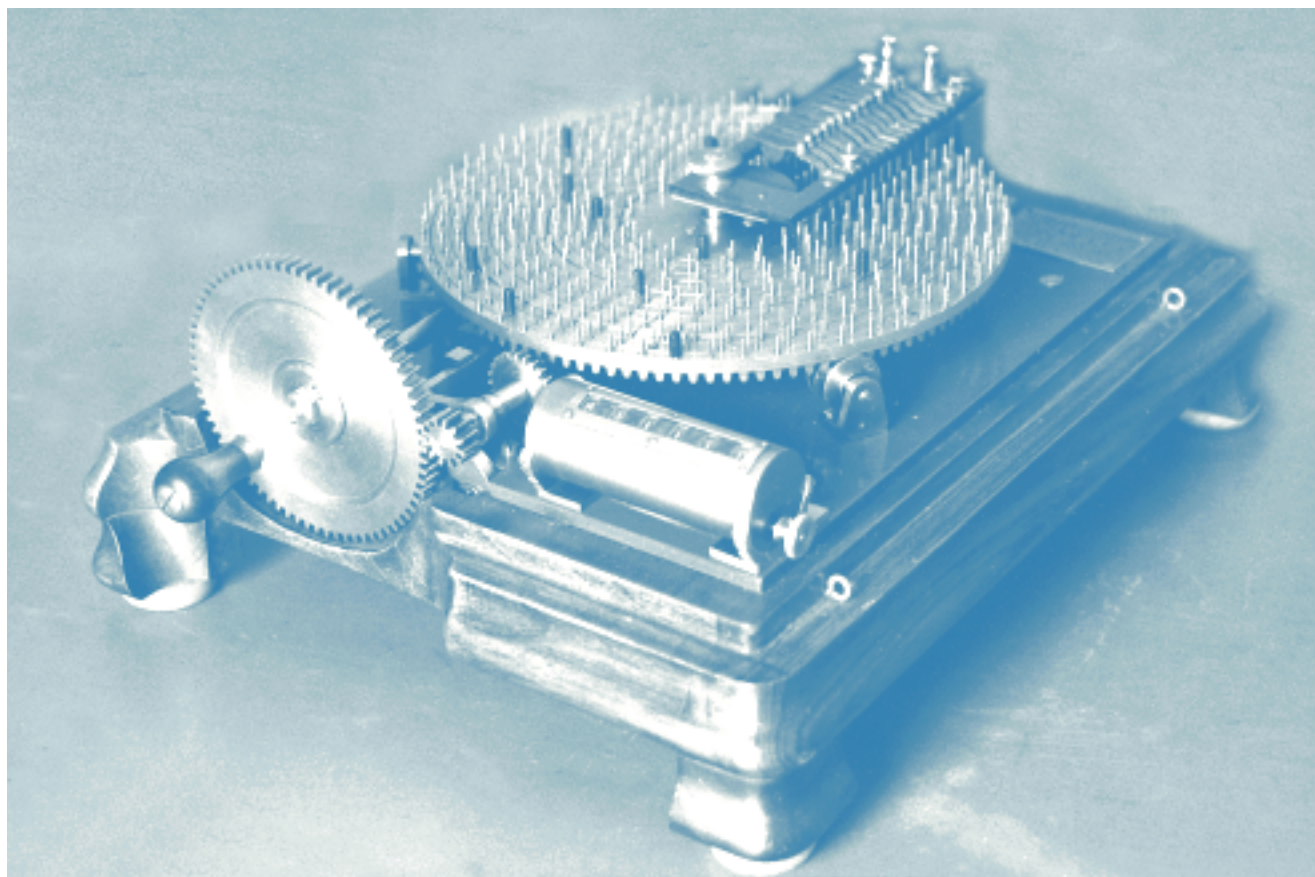
Pour trouver x et y , on fait varier x et on cherche à quelles conditions $x^2 - 611$ est un carré parfait. Pour que cette expression soit un carré, il faut que $x^2 - 611$ soit positif, de sorte que l'on commence la recherche à partir du nombre immédiatement supérieur à la racine carrée de 611, soit 25.

On essaye alors les nombres 26, 27, 28, etc. jusqu'à trouver une valeur de x pour laquelle $x^2 - 611$ est le carré d'un entier. Pour $x = 30$, on obtient :

$$x^2 - 611 = 289 = 17^2 ; \text{ on en déduit que } 611 = 30^2 - 17^2 = (30 - 17)(30 + 17) = 13 \times 47.$$

On limite le nombre d'essais en rassemblant les conditions que doit remplir $x^2 - 611$ pour être un carré parfait. Ainsi, le carré d'un entier, en base 10, doit nécessairement se terminer par 0, 1, 4, 5, 6, ou 9.

Quand on essaye $x = 27$, on obtient $x^2 - 611 = 118$ qui, terminé par un 8, n'est pas un carré parfait : 27 n'est pas acceptable. Les frères Carissan ont généralisé la méthode : leur machine, permettait de trouver les carrés parfaits, égaux à $x^2 - N$, où N est le nombre à factoriser (voir la figure de la page suivante).



Hugh Williams

La machine à congruences des frères Carissan. Une manivelle fait tourner la roue dentée qui entraîne d'une part un compteur et d'autre part 14 couronnes de laiton, chacune avançant d'un picot à l'autre pour la rotation d'une dent de pignon (le compteur avance d'une unité à chaque rotation d'une dent). Avant de tourner la roue, toutes les couronnes sont en position «0». À chaque couronne est associé un nombre (19, 21, 23, 26, 29, 31, 34, 37, 41, 43, 47, 53, 55 et 59) matérialisé par autant de picots. Soit N le nombre à factoriser. On utilise la relation $N = x^2 - y^2$ et l'on cherche les conditions que doit remplir x pour

que y^2 soit un carré parfait. Si des valeurs permises de x sont 1, 7, 8, 13, 14 et 20 modulo 21, on place un capuchon métallique sur les picots n° 1, 7, 8, etc. de la couronne 21. De même pour les autres couronnes utilisées. On tourne la manivelle et quand les capuchons métalliques (les plots noirs) des différentes couronnes sont alignés, un contact électrique s'établit sous la barrette métallique, et un signal retentit. Le nombre indiqué sur le cadran a alors des chances d'être un carré parfait. La machine factorise des nombres de treize chiffres en moins de 18 minutes, tâche qui demanderait plusieurs jours à la main.

France et de Navarre pour leur demander s'ils connaissent la machine que nous recherchons. Au cours de l'été 1991, les 85 Carissan référencés sur notre liste reçoivent une lettre, où on leur demande tous les renseignements possibles sur cette machine et sur ses inventeurs.

Les premières réponses ne tardent pas à arriver, mais elles sont toutes décevantes. Enfin, nous recevons un appel téléphonique d'une des filles d'Eugène Carissan : la machine existe toujours et elle est entreposée près de Bordeaux. Apparemment, la machine est restée en possession de la famille jusque vers 1940, quand Jean Dubois, astronome et ami de la famille Carissan, la fit transférer à l'Observatoire de Floirac, près de Bordeaux. Elle y a été entreposée jusqu'en 1992.

Elle fonctionne parfaitement bien. La famille de l'inventeur, étonnée de voir trois chercheurs remuer ciel et terre pour retrouver la machine due au génie paternel a donné la machine au Conservatoire national des arts et métiers, où elle est désormais installée.

Avons-nous achevé – avec les honneurs – notre carrière de détectives ? Non, car il existe d'autres machines, notamment celle d'Édouard Lucas. On doit à ce mathématicien français les premières méthodes permettant de montrer de façon rigoureuse la primalité des entiers. Son résultat le plus connu est le test qu'il a établi pour prouver la primalité des nombres de Mersenne, c'est-à-dire des nombres que l'on peut écrire sous la forme $M_n = 2^n - 1$. Aujourd'hui, les programmes utilisés de par le monde pour trouver le plus grand nombre premier utilisent tous le test de Lucas (les mathématiciens trouvent régulièrement un nouveau « plus grand nombre premier » : le plus récent est $M_{2976221} = 2^{2976221} - 1$, composé de 895 932 chiffres).

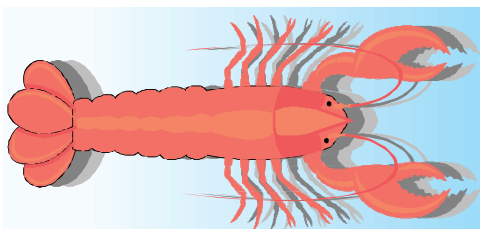
Lucas aurait utilisé son théorème pour prouver, à la main, la primalité de M_{127} , un nombre de 39 chiffres en base 10. Cela aurait représenté quelque 300 heures de travail. En fait, pour tester la primalité des nombres de Mersenne, Lucas s'est servi d'un échiquier inspiré des métiers à tis-

ser qui le fascinaient : il faisait glisser les lignes de chiffres à la façon dont le peigne tasse la laine sur le métier. Il y travaillait en base 2 : les 1 étaient représentés par des pions et les 0 par des cases vides.

En 1887, il écrivit qu'Henri Genaille, ingénieur aux Chemins de fer français et lui construisaient une machine mécanique pour tester la primalité des nombres de Mersenne (un « piano arithmétique »). Ils ont aussi collaboré à l'invention de plusieurs dispositifs de calcul, dont beaucoup sont au Musée du Conservatoire national des arts et métiers.

Malheureusement, Lucas est mort accidentellement, quelques semaines après cet article, à l'issue d'un banquet, et l'on a perdu la trace de la machine construite par Genaille et Lucas. Peut-être dort-elle dans quelque grenier ?

François MORAIN, ingénieur de l'armement, enseigne l'informatique à l'École Polytechnique.



Incertitude, ô mes délices,
Vers toi nous nous en allons,
Comme s'en vont les écrevisses,
À reculons, à reculons.

Guillaume Apollinaire

La grande peur de l'inconnu

CHRISTIAN WALTER

La peur de perdre, plutôt que l'espérance de gains, détermine le comportement des individus.

Comment se décide-t-on face à une alternative ? En théorie micro-économique, on suppose que les individus classent «rationnellement» leurs préférences en fonction de valeurs monétaires des différentes possibilités. Ainsi devant des éventualités dont ils connaissent les probabilités, ils choisiraient, indifférents aux risques, en fonction de l'espérance mathématique de gain (la somme des valeurs des différents gains possibles multipliés par leur probabilité). Penser ainsi ne tient pas compte de la psychologie des acteurs.

R. Shiller, de Yale, reprenant les travaux issus des arguments avancés par Maurice Allais, montre que les individus n'ont pas ce comportement calculatoire «rationnel». La rationalité doit inclure les motivations de l'individu. Ces travaux amènent à réviser certaines hypothèses de base utilisées dans les axiomatisations des comportements individuels. L'altération vient de la «peur de l'inconnu» ou de la «peur de perdre».

Le paradoxe d'Allais, que nous allons examiner, montre que les individus en situation de choix financiers préfèrent la sécurité quand ils se trouvent au voisinage de la certitude.

Examinons comment l'ordre des préférences des individus (dans ce cas entre deux perspectives aléatoires) est modi-

fié par la proximité de la certitude. Supposons que vous ayez à choisir entre les deux situations suivantes. Situation A : certitude de recevoir 1 million (espérance mathématique 1), ou situation B : 10 chances sur 100 de gagner 5 millions, 89 chances sur 100 de gagner 1 million, une chance sur 100 de ne rien gagner (espérance mathématique 1,39). Que choisissez vous ? Une majorité d'individus préfèrent l'hypothèse A bien que son espérance mathématique soit plus faible que celle de B.

Allons plus loin : vous devez choisir entre deux nouvelles options. Situation C : 11 chances sur 100 de gagner 1 million, 89 chances sur 100 de ne rien gagner (espérance mathématique égale à 0,11), ou situation D : 10 chances sur 100 de gagner 5 millions, 90 chances sur 100 de ne rien gagner (espérance mathématique : 0,5). Quelle option préférez-vous ? Dans cette alternative, la majorité préfère D à C).

Rationnellement, elle a tort ! B est à A ce que D est à C. En effet, dans le choix A/B, comme dans le choix C/D, on passe d'une situation à l'autre par la même opération de diminution de 11 chances pour le gain de 1 million, en répartissant ces 11 chances de la même manière, soit 10 pour le gain de 5 millions, et une seule

pour le cas «gain nul». La variation de l'espérance mathématique entre A et B et entre C et D est la même, égale à 0,39.

Préfère-t-on disposer de ce stock de 11 chances sur le seul gain intermédiaire de un million, ou bien préfère-t-on les répartir en 10 pour le gain maximum et une pour un risque de ne rien gagner ? La préférence de A sur B doit conduire à la préférence de C sur D et inversement. Or ce n'est pas le cas : les individus préfèrent A à B, mais préfèrent D à C. Il y a modification de l'ordre des préférences. Le second choix indique que les individus acceptent le déplacement des 11 chances, le premier indique exactement le contraire. Les préférences sont donc modifiées par la proximité de l'état certain A. C'est le paradoxe d'Allais, d'où découle la règle explicative, «la préférence pour la sécurité au voisinage de la certitude».

Tout se passe comme si les individus imaginaient que l'incertain contient le pire et que le pire adviendra, comme si l'inconnu était pour notre psychologie, chargé de l'inquiétude maximale, de l'angoisse la plus forte.

La situation est encore compliquée par l'existence de seuils monétaires psychologiques personnels qui donnent à une même valeur nominale des valeurs psychologiques différentes. Ainsi, le remplacement d'un million de francs par 100 francs, ou par 100 millions de francs, va changer les réponses des mêmes individus, dans le sens d'une angoisse croissante à la pensée de perdre une somme plus importante. Les études montrent qu'à l'approche d'un seuil psychologique de référence, la peur de perdre prédomine, tandis que l'éloignement de ce seuil produit, au contraire, une désensibilisation affective devant les gains ou les pertes.

Peur de l'inconnu, peur de perdre... Et si c'était la peur, plutôt que la rationalité, qui déterminait les comportements économiques individuels ?

LE PARADOXE DE MAURICE ALLAIS

	SITUATION A	SITUATION B	SITUATION C	SITUATION D
5 MILLIONS		10 CHANCES SUR 100	10 CHANCES SUR 100	10 CHANCES SUR 100
1 MILLION	CERTITUDE	89 CHANCES SUR 100	11 CHANCES SUR 100	90 CHANCES SUR 100
GAIN NUL		1 CHANCE SUR 100	1 CHANCE SUR 100	10 CHANCES SUR 100

	CHOIX ?
5 MILLIONS	10 CHANCES
1 MILLION	11 CHANCES
GAIN NUL	1 CHANCE

Le comportement des individus est modifié par la présence proche de la sécurité. La proximité de cette certitude modifie l'ordre des préférences en inversant le choix «rationnel». Les gens préfèrent A à B et, par conséquent, devraient préférer D à C, puisque, dans les deux cas, on distribue de la même façon 11 chances sur 100. Or C est préféré à D.



Culture scientifique et efficacité

PIERRE CASTILLON

L'ingénieur moderne assemble, au cours de son travail, différents savoirs orchestrés autour d'une compétence de base.

En quelques dizaines d'années, l'ingénieur est devenu réaliste et pluraliste. Réaliste parce qu'il intègre les coûts de sa recherche dans son évaluation de l'intérêt de son projet et que la pression de la rentabilité l'oblige à interroger tous les matins son miroir sur la valorisation de son travail. Nous le regrettons tous, mais la concurrence mondiale a réduit le coin de ciel bleu scientifique que l'ingénieur pouvait explorer il y a encore quelques années. Il n'y a plus de savants Cosinus dans nos laboratoires de recherches : ils ont pris...la tangente !

Pluraliste parce qu'il est un assembleur de techniques : l'ingénieur est aujourd'hui maître d'œuvre et aussi maître d'ouvrage. Cette nécessité est apparue avec la généralisation d'un outil informatique indispensable à la modélisation des phénomènes et au perfectionnement des procédés. Après l'informatique, l'ingénieur a appris à amalgamer d'autres disciplines. Ainsi, en prospection pétrolière, l'ingénieur associe les techniques optiques, les programmes informatiques de traitement d'image, la géologie et la géochimie, et des connaissances de mécanique ; le pharmacien utilise les mêmes techniques, en substituant la chimie fine et la physiologie à la géologie. La diminution des méga-gisements de pétrole et la nécessité d'optimisation des principes actifs imposent une recherche plus fine et à cette fin, des associations de compétence. D'où la constitution d'équipes pluridisciplinaires. Là aussi, plus de savant Cosinus travaillant isolé dans le silence de son officine.

Les considérations environnementales, les contraintes de sécurité, la pression des consommateurs amplifient les exigences dont il faut tenir compte en amont du développement. La culture de l'ingénieur s'est élargie.

Bel et bon. Nécessité fait loi. J'ai toutefois une certaine nostalgie des

spécialistes chevronnés de naguère. D'autant que je reste persuadé que la compétence initiale de base dans un domaine bien maîtrisé est une nécessité initiale pour l'efficacité du travail de l'ingénieur. La réalité reste d'exploration difficile et sans connaissance fine initiale, il n'est pas de bonnes réalisations.

La pluri-orientation vient avec l'expérience et il me semble désolant de voir certains ingénieurs papillonner trop jeunes et se disperser dans des orientations multiples. S'il est bon de connaître un minimum de gestion, cette connaissance peut être acquise plus tard dans le cours de leur carrière. L'industrie désire des ingénieurs immédiatement opérationnels et cette efficacité repose initialement sur des bases scientifiques et techniques solides.

Même l'informatique, indispensable, est devenue la langue d'Ésope. Les possibilités documentaires qu'elle procure ne remplacent pas les connaissances de base. Socrate s'inquiétait déjà de la prolifération de textes écrits ; cette prolifération incitait, selon lui, à la paresse intellectuelle et à la non-mémorisation : «L'écrit est un orphelin dont le père ne peut reporter» écrivait-il.

La découverte, ou plus modestement la résolution d'un problème, résulte d'une alchimie cérébrale encore mal connue, mais qui est le fruit d'une combinaison personnelle des connaissances. Savoir que la documentation existe n'est pas suffisant. À cet égard, je suis dubitatif quant à l'efficacité de l'implantation d'*Internet* trop tôt dans le cursus scolaire, universitaire ou même dans l'entreprise. *Internet* est, pour l'industrie, un formidable atout si l'utilisateur maîtrise la technique et si son niveau de connaissance lui permet d'en tirer parti.

En une phrase, la pluridisciplinarité apparaît au cours de la carrière par des spécialisations successives où l'exigence de rigueur et de savoir-faire est préservée. Mon souhait en tant qu'industriel est que ces exigences soit maintenues dans l'enseignement universitaire et dans les écoles d'ingénieur.

Bien entendu, il nous faut insister sur les qualités de flexibilité, de créativité et d'innovation auxquelles ne prépare pas un savoir mémorisé : il faut privilégier les études permettant l'expérimentation, les remises en cause, les parcours d'obstacles. Citons là-dessus un ministre de l'Éducation nationale :

«Les délégués des différents ministères se sont trouvés d'accord sur tous les points essentiels : développement du côté expérimental de l'enseignement des sciences, la mécanique, la physique, la chimie ; suppression de toutes les questions qui n'ont pas un caractère scientifique élevé, ou qui ne comportent aucune application importante.»

De qui est ce texte, qui a des connotations actuelles ? De Paul Appell. Et il date de... 1904.

Confrontés à la mise au point de procédés et de produits, souvent même à leur prospection sur les marchés internationaux, les ingénieurs doivent assortir leurs capacités créatives d'un rôle d'interface avec les scientifiques de la recherche publique et universitaire, permettant d'assurer une valorisation efficace des avancées de la science. Il faut en citant encore Appell, «... que chacun travaille à développer sa compréhension, sa volonté, son initiative...»

Pierre CASTILLON est Directeur de recherche, technologie, environnement du groupe Elf Aquitaine.



Dérivés d'aïoli

HERVÉ THIS

De délicieuses émulsions faites à partir de n'importe quel végétal, viande ou poisson.

Partons de l'aïoli, le vrai, celui qu'on fait, en Provence, en pilant de l'ail auquel on ajoute de l'huile d'olive, sans addition de jaune d'œuf. C'est une émulsion, c'est-à-dire une dispersion de gouttelettes d'huile dans l'eau de l'ail.

Pourquoi cette sauce est-elle stable (relativement), alors que le mélange d'huile et d'eau se sépare ? Parce que l'ail apporte des molécules dites tensioactives qui enrobent les gouttelettes d'huile et préviennent leur fusion. L'aïoli est une sauce apparentée à la mayonnaise, où les molécules de lécithines, provenant du jaune d'œuf, sont tensioactives.

Éloignons-nous de la recette traditionnelle pour inventer nos premières variations : l'échalote, qui appartient à la même famille végétale que l'ail, contient-il également des molécules tensioactives qui nous permettraient de faire de l'«échalotoli» ? Et de l'«oignoli» à partir d'oignons ? La réponse expérimentale est concluante : il suffit de pilonner l'échalote ou l'oignon avec de l'huile pour obtenir ces nouvelles émulsions. Au pire doit-on ajouter un peu d'eau, afin de faciliter la réalisation (dans certaines recettes d'aïoli, on conseille, ainsi, d'ajouter un morceau de pain trempé dans du lait). Restera ensuite à imaginer des plats où l'on utilisera ces deux nouvelles sauces. Aux Chefs de jouer...

D'autres végétaux que les liliacées contiennent-ils également des tensioactifs ? Les cuisinières et cuisiniers savent que la moutarde permet, quand on s'y prend bien, de réaliser des vinaigrettes émulsionnées : la moutarde, aussi, contient des molécules tensioactives utiles à la stabilisation des émulsions. Mais dans les autres végétaux ?

Toutes les cellules, qu'elles soient végétales ou animales, contiennent des compartiments limités par des membranes : ces dernières sont composées de molécules de phospholipide, avec une queue lipidique, insoluble dans l'eau, et une partie soluble dans l'eau. Dans les cellules vivantes, ces molécules de phospholipides forment des doubles couches, parce que les queues hydrophobes se regroupent, tandis que leurs têtes hydrophiles sont au contact de l'eau, dans les

divers compartiments cellulaires. Ces molécules abondent et ce sont de bons tensioactifs. Pourrait-on les utiliser pour monter une émulsion ?

Pilons, par exemple, une courgette, en ajoutant de l'huile goutte à goutte : nous obtenons une sauce épaisse que, par analogie, nous nommerons «courgettoli». Puis, passons du règne végétal au règne animal : les cellules animales contiennent aussi des membranes. Pilons un cube de viande bœuf en ajoutant de l'huile : nous obtenons du «boeufoli». Ainsi, de n'importe quel végétal ou animal, nous savons que nous pouvons faire une sauce

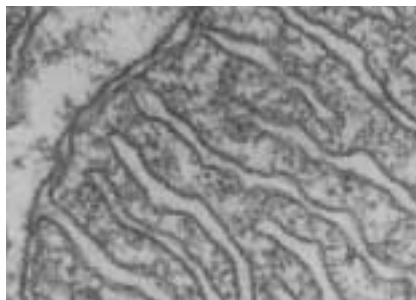
de bien savoureuse. En revanche, les molécules de protéines contribuent à la stabilité des diverses sauces que nous pouvons confectionner à partir de viande, de poisson ou de végétaux.

Des émulsions, passons maintenant à des systèmes physiques analogues : les mousses, composées de bulles d'air dispersées dans un liquide ou dans un solide. Il y a quelques mois, nous avons considéré dans cette rubrique une mousse de chocolat, le «Chocolat Chantilly», que l'on obtient par fouettage d'une émulsion de chocolat. Pourrait-on généraliser le procédé ?

La proposition, ce mois-ci, est l'utilisation du fromage, qui contient une grande quantité de matière grasse et des molécules tensioactives, les caséines, qui servent à disperser les gouttelettes de matière grasse du lait dans celui-ci. Pour obtenir une mousse de fromage, confectionnons d'abord une émulsion de fromage, en chauffant une casserole où nous aurons placé de l'eau et du fromage, par exemple des crottins de Chavignol. Agitons doucement : nous obtenons une sauce lisse et épaisse, que le microscope révèle composée de gouttelettes dispersées dans l'eau (pour avoir un goût plus relevé, nous pouvons remplacer l'eau par du vinaigre concentré par ébullition) : par analogie avec la sauce béarnaise, nous nommerons cette préparation «béarnaise de fromage».

Pour obtenir la mousse souhaitée, reprenons le procédé qui permet de passer de crème (une émulsion de matière grasse du lait dans l'eau) à une crème fouettée : on refroidit en fouettant. Ici, on met la casserole au congélateur pendant une dizaine de minutes, puis on fouette vigoureusement : on obtient alors un «Crottin de Chavignol Chantilly». L'essai a été également réussi à partir de Roquefort, qui a donné du Roquefort Chantilly.

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science le 25 janvier 1997, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.



Les cellules végétales ou animales sont pleines de membranes, composées de molécules tensioactives (en haut, les membranes d'une mitochondrie, organe de respiration des cellules). Ces molécules se disposent de sorte que les parties insolubles dans l'eau ne soient pas au contact de l'eau (en bas).

émulsionnée, pour peu que nous libérions les molécules de phospholipides, en les pilonnant, par exemple, avec de l'huile (nous devrons ajouter un peu d'eau, en début de préparation, quand les ingrédients choisis en contiennent trop peu).

Notons que les molécules de phospholipides ne sont pas les seules molécules tensioactives des cellules végétales ou animales : les protéines, également, ont souvent de bonnes propriétés émulsifiantes. La preuve : un blanc d'œuf fouetté avec de l'huile forme une émulsion remarquablement stable... mais d'une piètre saveur : le blanc d'œuf et l'huile n'ont rien