

dustrie ; la radiothérapie a commencé à utiliser de nouvelles sources de rayonnement, tel le radiocobalt. On obtint des indicateurs radioactifs de tous les éléments chimiques, ce qui favorisa l'essor de la biologie, de la pharmacologie et des méthodes de diagnostic médical. Frédéric et Irène Joliot-Curie reçurent le prix Nobel de chimie de 1935 pour leur découverte de la radioactivité artificielle.

Après leur découverte, les deux chercheurs se voient confier diverses fonctions et responsabilités. Frédéric devient professeur au Collège de France et prend la direction de deux laboratoires. En 1936, Irène entre avec deux autres femmes dans le gouvernement de Front populaire de Léon Blum (alors que les femmes n'ont pas encore le droit de vote !). Elle devient, de juin à septembre, le premier sous-secrétaire d'État à la Recherche scientifique ; à l'automne, elle démissionne, passant, comme il était convenu, le flambeau à Jean Perrin, pour reprendre ses activités de recherche et d'enseignement. En 1937, elle devient maître de conférences, puis professeur à la Faculté des sciences de l'Université de Paris.

À QUELQUES PAS DE LA FISSION

À la suite de la découverte de Frédéric et Irène Joliot-Curie, Enrico Fermi et son équipe, à Rome, découvrent un grand nombre de radioéléments artificiels en bombardant tous les éléments chimiques connus avec des neutrons (lesquels, étant neutres, pénètrent facilement dans les noyaux, même lourds). Ce faisant, ils observent dans l'uranium, le plus lourd des éléments, plusieurs activités nouvelles qu'ils attribuent à des éléments qui n'existent pas dans la nature et qu'ils nomment transuraniens. À Berlin, Lise Meitner, Otto Hahn et Fritz Strassmann reprennent cette étude et identifient neuf nouveaux transuraniens.

En 1937, Irène Joliot-Curie et le physicien yougoslave Paul Savitch bombardent de l'uranium avec des neutrons et identifient un nouveau radioélément (le $R_{3,5h}$) en suivant son rayonnement à travers un écran de cuivre épais ; sa période est égale à 3,5 heures, et ses



Irène Joliot-Curie, dans son laboratoire de chimie, en 1946.

propriétés ressemblent à celles des terres rares. Ils se demandent s'il ne s'agit pas d'un isotope de l'actinium, mais tel ne paraît pas être le cas ; serait-ce un transuraniens de plus ? Ils écrivent, en juillet 1938 : « Dans l'ensemble, les propriétés de $R_{3,5h}$ sont celles du lanthane, dont il semble jusqu'ici qu'on ne puisse le séparer que par fractionnement. » Sans le savoir, ils sont très près de la vérité.

En lisant leur publication, Strassmann et Hahn se demandent si $R_{3,5h}$ n'est pas mélangé avec un isotope du radium. Les deux chimistes allemands reprennent leurs séparations chimiques pour rechercher du radium dans l'uranium irradié par les neutrons. Ils croient mettre en évidence plusieurs isotopes du radium ; mais, en vérifiant rigoureusement leurs résultats, ils découvrent, en décembre 1938, qu'il s'agit d'un élément beaucoup plus léger, le baryum, se désintégrant en lanthane. Ils montrent ainsi qu'un neutron peut casser un noyau d'uranium en deux noyaux plus petits. C'est la découverte de la fission. Ainsi, Irène Joliot-Curie avait bien observé du lanthane, mais des traces d'yttrium, de même période que le lanthane, perturbaient les résultats.

À partir des années 1930 et jusqu'à la fin de sa vie, Irène est victime d'attaques de tuberculose qui l'obligent à plusieurs séjours en sanatorium. Après la mort de Marie Curie, elle devient membre permanent du conseil de la Fondation Curie (aujourd'hui l'Institut Curie). De 1946

à 1951, elle est l'un des commissaires à l'Énergie atomique, auprès du haut-commissaire Frédéric Joliot, et est chargée plus particulièrement de suivre les questions de prospection géologique et de matières premières.

En 1946 également, à la suite d'André Debièvre, elle devient professeur titulaire de la chaire de physique générale et radioactivité de la Faculté des sciences de Paris et directrice du laboratoire Curie de l'Institut du radium. Dès 1942, elle avait plaidé pour une extension de l'université vers la vallée de Chevreuse. Au début des années 1950, elle découvre, à Orsay, un site approprié à la réalisation d'un complexe de laboratoires qui sera à l'origine de l'Université Paris-Sud. Elle obtient les crédits nécessaires à la construction et à l'équi-

pement d'un laboratoire de physique nucléaire, où sera transféré l'essentiel des activités du laboratoire Curie et du laboratoire de Frédéric Joliot du Collège de France.

Irène Joliot-Curie meurt à Paris, le 17 mars 1956, d'une leucémie subaiguë consécutive à ses travaux et à l'exposition aux rayons X subie pendant la guerre de 1914-1918. Des obsèques nationales sont décrétées.

Profondément imprégnée d'un idéal laïque et républicain, elle est souvent intervenue pour les droits des femmes, pour le progrès social, contre le fascisme, puis contre la course aux armements nucléaires. A maintes reprises au cours de sa vie, elle a souligné l'importance de la recherche fondamentale et de l'enseignement des sciences pour tous.

À l'initiative de l'Association Curie et Joliot-Curie, un hommage a été rendu à Irène Joliot-Curie à l'occasion du centième anniversaire de sa naissance. Cette cérémonie s'est déroulée à l'Institut Curie, à Paris, le mardi 25 novembre, sous le haut patronage et avec la participation de Claude Allègre, ministre de l'Éducation nationale, de la recherche et de la technologie. Georges Charpak a évoqué l'œuvre scientifique d'Irène Joliot-Curie.

Pierre RADVANYI, directeur de recherche émérite au CNRS, au Laboratoire national Saturne, à Saclay, est le secrétaire général de l'Association Curie et Joliot-Curie



Les fractales et la Bourse

BENOIT MANDELBROT

Comment modéliser les fluctuations de la Bourse par une transformation géométrique très simple.

Regardons les diagrammes ci-contre. Certains sont des chroniques de changements successifs d'un prix coté en Bourse, d'autres sont des simulations réalisées à partir de modèles : l'objet des simulations est de saisir au moins une parcelle de la réalité des cours de bourse afin de l'analyser.

Une telle analyse intéresse l'économiste, qui cherche à comprendre la nature des marchés, l'assureur, qui cherche à diminuer les risques, et le spéculateur, qui cherche à mettre les risques à son service. Pour atteindre ces buts, une condition reste incontournable : il faut décrire la réalité. Or on ne connaît que ce que l'on sait imiter, ce qui explique les grands investissements de la société dans la recherche de modèles performants.

Les mots précédents ne suscitent aucune controverse, mais l'appel aux images n'est pas typique des sciences dites «dures», ni de celles qui aspirent à le devenir. L'idéal classique est de tout réduire à l'analyse mathématique et à la mesure d'un petit nombre de paramètres caractéristiques. Pour les buts de cette chronique, tout au contraire, l'œil est un instrument indispensable qui mérite qu'on lui redonne son importance, tout au moins dans les premiers stades des théories. Cette foi dans les vertus de l'apparence a prouvé sa richesse et son efficacité : l'étude des fractales a été prolongée et appliquée dans tous les domaines scientifiques. Dans le cas des bourses, la même vision suggère que, pour juger de la valeur d'un modèle, il est bon d'examiner attentivement les courbes qu'il produit.

Les images représentant (ou imitant) les prix eux-mêmes ne disent pas grand-chose, et nul ne doute que les images puissent tromper. Mais on peut de même être trompé par les mots et même par les formules statistiques lorsqu'on les applique là où elles ne sont pas appropriées.

Le hasard n'est pas unique et se présente sous trois formes distinctes au moins. Le hasard usuel, celui des tirages

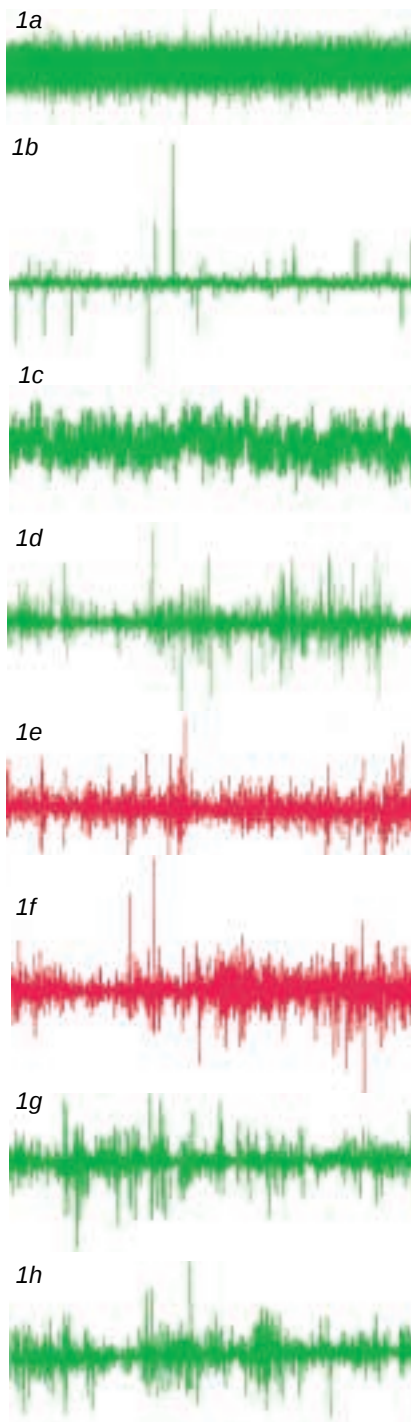
à pile ou face, est «bénin», tandis que tout suggère que la Bourse est soumise à une forme «sauvage» de hasard. La différence notable entre ces types de hasard est que nombre des outils statistiques actuels ne sont applicables qu'au hasard bénin. Donc, sans laisser le dernier mot à l'œil (ne serait-ce justement que parce qu'il ne s'exprime pas verbalement), le visuel est indispensable. Or, parmi les courbes ci-contre, l'œil distingue immédiatement des structures plus ou moins simples et d'autres qui sont incontestablement compliquées. Nous allons les examiner dans un premier temps, puis révéler leur source.

La structure la plus simple est représentée sur le diagramme 1a où les variations se maintiennent dans une bande «normale» très étroite, un serpent, et tout petit bout de cette chronique est presque pareil à tout autre petit bout. Tout cela correspondrait à une «volatilité», c'est-à-dire à une amplitude des fluctuations constante dans le temps.

Quant aux diagrammes les plus compliqués, certains représentent des données réelles, d'autres des simulations obtenues avec mon nouveau modèle, dit multifractal, que nous décrirons plus loin. Dans les unes et les autres, on identifie deux caractéristiques des cours des bourses : il est des jours noirs où un prix dégringole de façon instantanée ou presque, correspondant à un changement «hors toute norme», et une alternance (très irrégulière) de périodes de faible volatilité et d'autres qualifiées par les boursiers de «turbulentes».

Considérons maintenant les diagrammes simples. Dans 1b, il y a bien des pics, plus intenses même que dans les diagrammes les plus compliqués. Mais ces pics sont isolés, et il reste un «serpent» de volatilité plus ou moins constante comme dans le diagramme 1a. Quant au diagramme 1c, il ne présente pas de pics, mais le fond monte et descend de façon apparemment cyclique.

En conclusion provisoire, le diagramme le plus simple et les diagrammes



simples se limitent nécessairement à illustrer des modèles partiels de la réalité.

MODÈLES ET RÉALITÉ

Révétons leurs sources. Le modèle (1a) a été proposé par Louis Bachelier en 1900 ; fondé sur l'idée que les prix suivent des « promenades aléatoires », il a conduit à ce qui allait devenir le mouvement brownien. Il s'agit là du prototype même du hasard bénin, illustré par les écarts par rapport à la moyenne caractéristique d'un tirage à pile ou face. Si ce modèle avait été réaliste, la Bourse n'aurait pas été profondément plus compliquée à étudier que les gaz en équilibre.

Continuons. Le diagramme (1b) illustre un premier modèle, que je proposai en 1963, fondé sur les processus stables (ce qui allait devenir le « vol de Lévy »). Le diagramme (1c) illustre un deuxième modèle, que je proposai en 1965, fondé sur le mouvement brownien fractionnaire. Chacun de ces deux modèles incorpore une des deux formes distinctes de hasard sauvage, à savoir l'« effet Noé » (événements catastrophiques isolés) et l'« effet Joseph » (alternances de vaches grasses et de vaches maigres). Utilisant ces termes, les diagrammes qualifiés de « compliqués », ont la vertu de combiner ces deux effets.

La provenance des diagrammes compliqués n'est pas évidente, même pour l'œil ! Dans ce mélange, les données réelles sont les actions IBM, 1e et le taux de change du dollar en deutschmarks 1f ; les simulations 1d, 1g et 1h concernent mon modèle actuel, qui introduit les multifractales et englobe les précédents.

Le modèle brownien, 1a, sans qu'on l'ait cherché, et, à dessein, les modèles 1b et 1c possèdent la propriété essentielle d'être fractals, plus précisément auto-affines. Ce terme signifie que, du point de vue statistique, tout petit morceau de chronique est identique à tout grand morceau dont la taille aurait été convenablement diminuée. Or, les défaillances de ces modèles étant patentées, ils ont déjà subi des « retouches » qui sont de toutes sortes, mais ont pour caractéristique commune de détruire la fractalité.

Il est bien vrai que la fractalité se heurte presque toujours à des limitations variées, telles que des coupures internes et externes. Cependant, l'auto-affinité n'est pas une idée arbitraire ; c'est, au contraire, l'expression mathématique d'une idée très répandue, qui appartient même au folklore des marchés, à savoir que l'examen de la forme d'un zigzag boursier ne suffit pas à elle seule pour deviner si les variations représentées sont prises d'heure en heure, de jour en jour ou de minute en minute... Par conséquent, pour ne pas perdre la caractéristique fondamentale de

l'auto-affinité, il est bon que les retouches n'interviennent qu'en dernière extrémité. Le modèle multifractal fait d'emblée mieux que les retouches les plus tentantes, tout en préservant une fractalité généralisée.

Le meilleur moyen de montrer la nature de cette « reprise à la base » fractale est d'en donner des « cartons », mot entendu dans le sens d'esquisse ou de caricature, un peu comme on parle de carton de

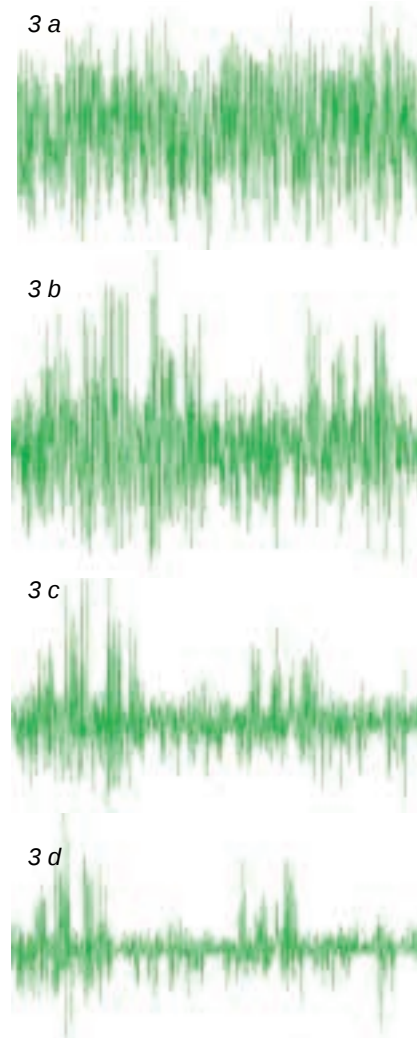
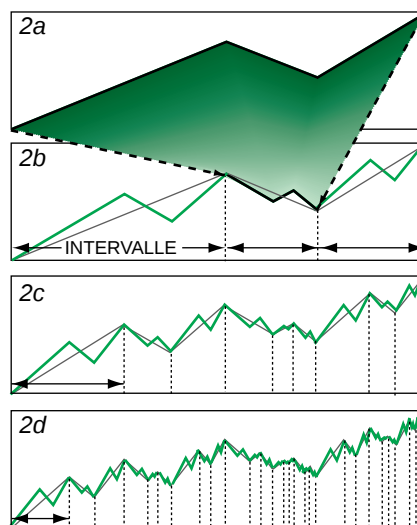
tapisserie. Dans leur principe, ces cartons sont semblables au carton des côtes d'une île qu'est devenue la célèbre courbe en flocon de neige de von Koch. Avant que la géométrie fractale n'en fasse un outil de la science, ladite courbe a joué deux rôles successifs, celui de contre-exemple et celui de jeu mathématique.

Décrivons ces cartons représentés sur la figure 2 : on part d'un rectangle que traverse un « générateur », une ligne brisée continue qui constitue le graphe d'une fonction partant d'en bas à gauche, et procédant en haut à droite sans reculer dans le sens horizontal, tout en pouvant osciller dans le sens vertical (2a). Puis chacun des trois intervalles du générateur est remplacé par le générateur tout entier, qui aura été resserré en accordéon pour avoir la même étendue que cet intervalle. L'interpolation se poursuit (2b, 2c, 2d) sans fin.

Les propriétés du résultat final dépendent de la forme du générateur et peuvent prendre des formes d'une étonnante variété. Par exemple, les diagrammes de la figure 3 exhibent une volatilité d'abord constante, puis de plus en plus variable.

Au-delà des cartons, je propose de représenter la variation des prix comme étant un mouvement brownien (ou brownien fractionnaire) modifié de telle façon que sa variable « temps » ne soit pas le temps d'horloge, mais en soit une fonction multifractale qualifiée de temps boursier.

Il existe déjà des résultats sur le modèle multifractal qui confirment par les mathématiques ce que l'œil nous avait appris. Mais ces résultats sont en quantité insuffisante. En attendant qu'ils se multiplient, la première tâche sera d'atteler le modèle avec la méthode de Monte Carlo pour aider à l'évaluation des risques de portefeuille. Le modèle brownien, pour lequel une belle théorie mathématique existe, est imprudent, car il prédit des risques très faibles. Le modèle 1b prédit des risques beaucoup plus grands, mais il ne tient pas compte de la concentration des grands changements et dans beaucoup de cas exagère leurs valeurs. Le modèle du temps multifractal corrige d'emblée ces deux défauts. Son exploration ne fait que commencer et, s'il ne prétend pas dire le dernier mot, il paraît plein de promesses.



Benoit MANDELBROT est *Abraham Robinson Professor of Mathematical Sciences* à l'Université de Yale.

Deux ouvrages qu'il vient de faire paraître développent les idées de cette chronique : *Fractales, hasard et finance*, chez Flammarion, et *Fractals and Scaling in Finance : Discontinuity, Concentration, Risk*, chez Springer.

Chaud devant

HERVÉ THIS

Pourquoi les aliments piquants brûlent la bouche.



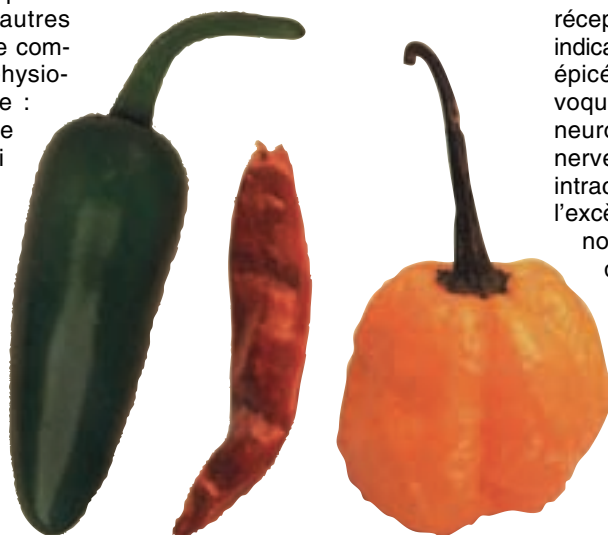
AKG Photo

Comment créer un plat parfaitement savoureux ? Le cuisinier peut naturellement imaginer des variations de recettes anciennes, afin d'assembler des ingrédients dont l'association a été validée au cours de l'histoire, mais ne gagnerait-il pas à se souvenir que les molécules qu'il réunit doivent stimuler harmonieusement la gustation, l'olfaction, ainsi que les capteurs thermiques, mécaniques ou du piquant ?

La mise en application de cette idée manque toutefois de bases précises. On sait que l'acidité ou l'amertume sont combattues par le sucré, ou que le salé facilite la perception des autres saveurs, par exemple, mais une compréhension moléculaire de la physiologie du goût manque encore : pourquoi le piment met-il la bouche en feu, par exemple ? pourquoi les consommateurs réguliers de piments supportent-ils des doses intolérables aux novices ? pourquoi aimons-nous manger des produits qui nous endolorissent ? David Julius et ses collègues de l'Université de San Francisco éclairent ces questions en étudiant le récepteur de la capsaïcine, la principale molécule piquante du piment.

Une avancée importante de la physiologie humaine avait été, il y a quelques décennies, l'exploration des effets de la morphine sur le cerveau, et l'identification de récepteurs de la morphine et de ses dérivés. Si l'organisme contenait de tels récepteurs, il devait exister dans le corps des molécules analogues à la morphine. La prévision était exacte : on découvrit bientôt des opioïdes endogènes, ainsi que le système de régulation qui supprime la douleur. De même, raisonnèrent D. Julius et ses collègues, si notre espèce consomme des aliments qui contiennent des molécules piquantes, et qui activent ainsi les voies de la douleur, c'est sans doute que l'évolution a doté notre organisme de récepteurs qui sont activés par ces molécules... et surtout par des molécules endogènes qui interviennent probablement dans les mécanismes de la douleur.

Comment identifier ces récepteurs ? Les biologistes ont isolé les ARN messagers présents dans les neurones qui détectent le piquant dans la bouche et construit un groupe de molécules d'ADN correspondantes ; puis ils ont introduit ces ADN dans diverses cultures de cellules pour observer les liaisons de la capsaïcine avec les protéines produites par l'ADN inséré. Ils ont finalement identifié l'ADN qui code le récepteur, nommé VR1, de la capsaïcine. L'introduction de cet ADN dans des œufs de grenouille a fourni des cultures de cellules dont la membrane contenait le récepteur.



Le piquant des piments est décrit par des unités Scoville : les piments guajillos (à gauche) ont un piquant de 3 000 unités Scoville, tandis que les piments de Cayenne (au centre) ont un piquant de l'ordre de 40 000 ; le piquant des piments habaneros (à droite) atteint jusqu'à 300 000 unités Scoville. Les unités Scoville sont proportionnelles à la concentration en une molécule nommée capsaïcine.

Les biologistes ont alors analysé que VR1 est un canal membranaire, c'est-à-dire une protéine qui règle le passage d'ions (surtout des ions calcium), entre l'extérieur et l'intérieur des cellules. Il est composé de quatre sous-unités, et sa liaison à la capsaïcine provoque son ouverture.

En quoi ces études aident-elles la gastronomie ? Des études psychophysiologiques anciennes avaient conduit à la mise au point d'une sorte d'échelle de Richter du piquant : l'échelle du docteur Wilbur Scoville. Les enre-

gistements électrophysiologiques des cellules de grenouille dotées du récepteur VR1 démontrent la validité de ce classement : la réaction des cellules et, sans doute aussi, la réponse cérébrale, sont proportionnelles à la concentration en capsaïcine.

D'autre part, D. Julius et ses collègues ont montré que la capsaïcine, soluble dans les graisses, peut se lier au canal, à l'intérieur ou à l'extérieur des neurones. Son affinité pour les graisses explique pourquoi l'eau n'éteint pas les incendies de la bouche, tandis que l'absorption de pain est plus efficace.

Troisièmement l'exposition des récepteurs à la capsaïcine a donné des indications sur l'accoutumance aux mets épicés. L'ouverture du canal VR1 provoque l'afflux d'ions calcium dans les neurones, qui émettent une impulsion nerveuse quand le potentiel électrique intracellulaire atteint un seuil. Toutefois l'excès d'ions calcium intracellulaire est nocif : les œufs de grenouille dotés du récepteur VR1 meurent après quelques heures d'une exposition continue à la capsaïcine, sans doute parce que l'afflux d'ions calcium est excessif.

La perte de sensibilité des amateurs d'épices, qui semble résulter de la mort des fibres sensorielles, expliquerait l'effet paradoxal de la capsaïcine dans le traitement des névropathies virales ou diabétiques, ainsi que dans la polyarthrite rhumatoïde : tuant les neurones de la douleur, la capsaïcine provoquerait une analgésie.

Enfin les biologistes ont mesuré que des augmentations rapides de températures provoquent, dans le récepteur VR1, des courants d'ions analogues aux courants provoqués par la capsaïcine : le canal VR1 est un capteur simultanément chimique et thermique... et voilà pourquoi la consommation de plats pimentés met la bouche en feu.

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science le 31 décembre 1997, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.

JEU-CONCOURS N° 42

PIERRE TOUGNE

Jeu d'allumettes

Nombreux sont les jeux qui se jouent avec des allumettes. Le plus connu est certainement le «Jeu de Marienbad» qu'Alain Resnais montre dans son film *L'année dernière à Marienbad*. Son analyse, un classique des jeux mathématiques, n'est pas des plus faciles. Ce mois-ci, je vous propose d'étudier un jeu du même type. On forme un tas d'un nombre impair d'allumettes et deux joueurs, à tour de rôle, en extraie une ou deux allumettes, jusqu'à épuisement du tas. Le gagnant est celui qui a retiré un nombre impair d'allumettes. La règle garantit l'existence d'un gagnant, car la somme des allumettes retirées par chaque joueur étant un nombre impair, un des deux joueurs en aura retiré néces-

sairement un nombre impair tandis que l'autre en aura retiré un nombre pair. Pour un tas de 19 allumettes, qui, du premier ou du second joueur, en admettant que les deux joueurs jouent parfaitement, gagnera la partie et avec quelle stratégie? Plus généralement, selon le nombre impair N d'allumettes du tas initial, quel sera le joueur gagnant, celui qui commence ou l'autre?

Envoyez vos réponses aux questions sur carte postale à *Pour la Science*, 8, rue Férou, 75006 Paris. Parmi les réponses exactes reçues pendant le mois de décembre 1997, dix gagnants tirés au sort recevront un livre.

RÉPONSE AU JEU-CONCOURS N° 40

N'ayant pas précisé la forme des réponses aux questions, les lecteurs se sont partagés en deux groupes selon le type de réponse qu'ils considéraient comme autorisée. Dans le premier groupe, qui ne considère que les réponses oui ou non (ou éventuellement une direction), le nombre de questions à poser est au maximum de quatre selon le principe suivant : on pose aux trois autochtones une même question, dont la réponse est évidente, comme par exemple : «est-ce que $2 + 2 = 4$?». Sur les trois réponses, on en aura toujours deux identiques, car le menteur répondra non, celui qui dit la vérité oui et le fantasque oui ou non selon son humeur. Ainsi l'autochtone qui donne une réponse différente des deux autres sera soit le menteur, soit celui qui dit la vérité. Maintenant on demande à cet autochtone : «Quelle est la route de Paris?». S'il a répondu précédemment oui, on suit son indication, s'il a répondu non, on prend l'autre route.

Remarquez que si l'on a la chance d'avoir la même réponse à la première question pour les deux premiers autochtones, il n'est pas besoin de la poser au troisième, car on connaît la réponse et l'on passe directement à la deuxième question, donc au total trois questions. Pour le deuxième groupe, on admet en

plus des réponses du premier groupe, l'absence de réponse pour le menteur ou celui qui dit la vérité à une question à laquelle il ne sait pas répondre tandis que le fantasque répondra toujours. Dans ce cas, il faut trois questions maximum selon le schéma suivant : on désigne par A , B et C les trois autochtones et l'on pose les deux questions suivantes à A : «Si je demande à B la route de Paris, quelle sera sa réponse?». «Si je demande à C la route de Paris, quelle sera sa réponse?». S'il n'y a qu'une seule réponse, A est soit le menteur, soit celui qui dit la vérité et la route de Paris sera le contraire de celle indiquée. Enfin, si l'on a deux réponses, c'est parce que A est le fantasque et on pose à B la question : «Si je demande à C la route de Paris, quelle sera sa réponse?» et la route de Paris sera l'opposée de celle indiquée. Remarquez que dans deux cas sur trois, on connaîtra la bonne route en seulement deux questions.

Enfin, je ne résiste pas à vous indiquer la solution humoristique sans question d'un fidèle lecteur de la rubrique : [J'annonce aux autochtones une nouvelle du genre «il n'y a pas une seule goutte de vin à Rome, mais il coule à flots à Paris»] et il me suffira de prendre la même route que celle qu'ils emprunteront tous les trois!



John Foley

L'innovation et le paradigme industriel

ALAIN ETCHEGOYEN

La création d'emplois passe aussi par l'innovation appliquée au secteur des services.

Dès qu'il s'agit de développer ou favoriser l'innovation, les acteurs économiques français raisonnent, depuis 25 ans, selon un paradigme industriel. L'innovation serait toujours l'aboutissement d'un courant qui prendrait sa source dans la recherche fondamentale, s'écoulerait dans le développement, pour déboucher sur des brevets et des innovations industrielles. D'où l'étude toujours renouvelée de l'efficacité de chaque maillon de la filière innovation : comptabilité des brevets, calcul des innovations issues des formations universitaires, comparaison des performances des grandes écoles

Sans doute, faut-il perfectionner cette filière de production d'innovations en améliorant chaque maillon, l'X, Centrale, les grandes universités et les grands groupes industriels... Mais cette manière exclusive de raisonner nuit à l'avènement d'innovations économiquement importantes.

Au début des années 1980, Michel Crozier avait déjà souligné que les possibilités du secteur service étaient inversement proportionnelles à la considération dont il jouissait dans les milieux économiques et politiques. Parallèlement d'autres voix avaient critiqué l'identification par Jacques Attali des professions de service aux «coiffeurs» où il ne pouvait y avoir de gains de productivité. Les temps et les hommes ont changé, mais le modèle industriel reste présent.

Or des entreprises françaises très performantes comme les grands groupes de distribution, comme Sodexo, Decaux ou Nouvelles Frontières s'intègrent mal à nos représentations classiques des processus d'innovation. D'ailleurs, ceux qui les dirigent, les ont créées ou développées, ne sont issus ni des grandes écoles d'ingénieurs ni des universités les plus reconnues en matière de recherche. Dans la philosophie spontanée des scientifiques et des industriels, le secteur des services échapperait à toute maîtrise en amont de ses opérations et il s'y trouverait moins de matière grise.

Il est dangereux de raisonner ainsi : la différence principale entre l'industrie et

les services porte sur la manière de considérer l'innovation. Dans l'industrie, la relation entre la production et le client est médiatrice et indirecte, tandis que dans les services elle est immédiate et directe. Autrement dit, les processus d'innovation sont pilotés différemment : la recherche en amont du service ne jouit pas de l'autonomie dont elle dispose dans l'industrie. On y recense moins de tâtonnements, moins d'essais et erreurs, moins de chantiers avortés, car la sanction est beaucoup plus rapide.

Il est désormais décisif que le client «innovation» de la recherche scientifique perde son identité industrielle pour s'élargir à l'ensemble des secteurs. N'est-il pas regrettable, par exemple, qu'un grand groupe de distribution français soit contraint de rechercher outre-Atlantique les opérateurs susceptibles de l'aider pour développer des systèmes d'information ou d'automatisation ? Les filières de la recherche appliquée française refusent, par manque de souplesse, qu'une entreprise de distribution ait son mot à dire en matière d'innovation. Or les entreprises de services ont plus que jamais besoin de machines, de logiciels, de processus spécifiques qui incorporent une grande quantité de matière grise.

La caractéristique principale de l'innovation dans les services découle directement de la relation prestataire/client. Ce qui constitue l'essence même de l'activité de service – la relation du coiffeur et du coiffé, du restaurateur et du restauré, du voyageur et du touriste – permet de distinguer l'innovation dans le *back office* de l'innovation dans le *front office*, l'innovation invisible et l'innovation visible. La première n'est pas très différente de l'innovation industrielle : en matière de gestion, d'organisation, de systèmes d'information, de nombreuses innovations sont communes. Mais les relations entre le *front office* et le *back office* sont beaucoup plus directes et cruciales. Quand le système Socrate (*back office*) connaît des ratés, c'est tout le *front office* qui en est affecté et le client de la SNCF proteste.

L'industrie n'a pas cette rapidité de réaction imposée par le client. Mais c'est pour cette même raison que l'innovation est la clef du secteur des services.

Si l'on veut donc réfléchir sur les conditions de l'innovation dans l'économie, tous les éléments de la recherche et de la technologie devraient s'ouvrir à des partenaires qui ne leur sont pas naturels. L'ANVAR avait décidé d'élargir ses compétences au secteur des services, mais le modèle industriel est resté prégnant. Bien que chacun sache le rôle croissant des services pour l'emploi dans une économie moderne, l'innovation technologique ne se met pas encore au service de ses clients potentiels comme s'il fallait une sorte de révolution culturelle.

L'exemple des recherches actuellement menées dans le multimédia est particulièrement intéressant. La réussite des innovations dépend à la fois d'une technologie de pointe, de contenus appropriés et d'un bon placement sur le marché. Quand on ne tient pas ces trois éléments, tout projet est voué à l'échec. La perfection n'est pas de mise si elle déséquilibre ce triumvirat : si la volonté de perfection retarde l'introduction d'un nouveau produit sur le marché, un autre, plus bricolé, moins parfait, prendra le dessus en imposant ses normes.

L'innovation dans les services enseigne, plus que toute autre, l'impératif du client et l'importance du marché. Une relation plus étroite entre la recherche et le secteur des services serait efficace économiquement, mais aussi pédagogiquement : elle permettrait d'ancrer toujours plus le souci du client dans un pays où, malgré tous les efforts accomplis, la mesure de la qualité reste souvent plus la perfection dans la réalisation d'un cahier des charges que la satisfaction des clients sur un marché.

Alain ETCHEGOYEN est professeur de philosophie et conseiller d'entreprises.