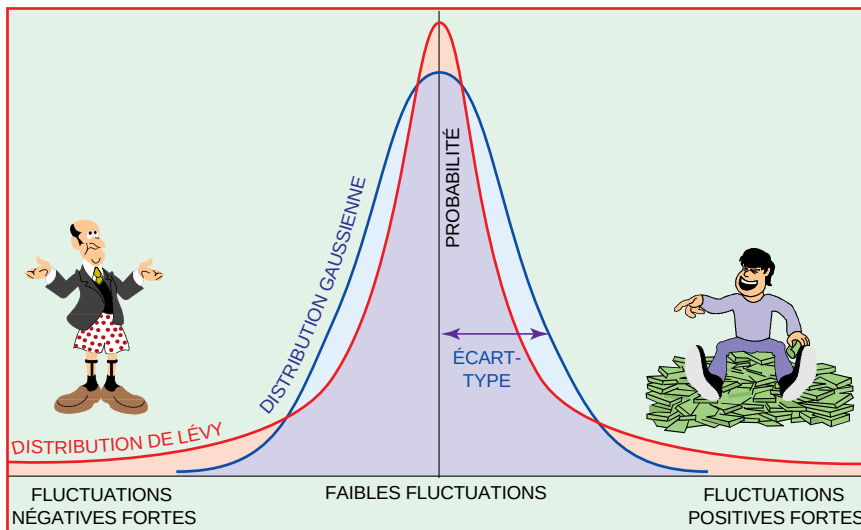




3. Les amplitudes des fluctuations boursières en fonction de leurs fréquences sont mieux représentées par une distribution à queue étirée et à flancs maigres, comme la distribution de Lévy, que par une distribution de Gauss. Une plus grande probabilité des fortes variations rend mieux compte des krachs et des bulles spéculatives. On explique ces grandes fluctuations par le comportement mimétique des opérateurs boursiers ou par l'effet d'une nouvelle importante comme par exemple l'annonce de la réunification allemande.

Observons avec plus de précision les variations des cours, en utilisant l'indice de la bourse des actions américaines, le *Standard & Poor 500* (SP 500). On calcule la variabilité mensuelle des actions sur une période totale de 70 ans : cette rentabilité mensuelle moyenne est de 0,81 pour cent et la volatilité mensuelle de 5,82 pour cent si l'on aligne au mieux les valeurs mesurées sur une courbe de Gauss. Cela veut dire que le SP 500 peut fluctuer entre 0,81 pour cent $\pm$ 5,82 pour cent dans les deux tiers des cas (intervalle de confiance à 66 pour cent). La baisse maximale observée durant cette période est de -35,28 pour cent sur un mois, soit l'équivalent de six écarts-types. Avec une loi normale, la probabilité qu'une baisse mensuelle des cours soit de cette ampleur est égale à un milliardième ! Cela signifie qu'il faudrait attendre 83 millions d'années pour qu'un tel événement se reproduise !

En utilisant une loi stable de Lévy, l'ajustement des paramètres de cette loi au SP 500 donne une probabilité de 0,002, soit une durée de retour d'environ 40 ans. On voit que l'évaluation des krachs avec des lois larges est bien plus réaliste qu'avec des lois de Gauss.

Hélas cette connaissance de la fréquence de survenance des krachs ne dit rien sur la date du prochain. Il faut donc utiliser une autre approche pour répondre à cette question.

L'exemple des tremblements de terre vient à l'esprit. Une rupture sismique s'apparente à l'existence d'un point critique précédé d'émissions acoustiques, les «grincements des failles»,

signature de cette détérioration progressive : le système s'organise vers la rupture. Pourrait-on mettre en évidence en Bourse des équivalents de grincements de failles, préludes à des secousses plus fortes ?

Le remplacement de la loi normale, s'il ne prévoit pas la date du prochain krach, renseigne malgré tout sur la dynamique du marché boursier. Les queues de distribution décrites par des lois de Pareto-Lévy seraient la trace de phénomènes appelés «critiques auto-organisés» qui régiraient les comportements des opérateurs en interaction.

MODÉLISATION ET PRÉVISIBILITÉ

On essaye de relier un type de comportement à une forme de distribution. Ce faisant, on a redécouvert, depuis une dizaine d'années, les analyses de Keynes sur le mimétisme des opérateurs en situation d'incertitude. En effet, les paniques boursières comme les euphories résultent de processus cumulatifs de baisse ou de hausse des cours. Ces mouvements sont souvent autoréalisateurs.

On relie alors les phénomènes critiques auto-organisés, conduisant aux lois de puissance en physique, et les anticipations autoréférentielles, conduisant aux lois de puissance en finance (krachs et bulles spéculatives).

Les modèles de comportement des opérateurs traitent de l'impact des croyances des agents sur le fonctionnement du système global. Dans les modèles à anticipations rationnelles, on

suppose que les individus prennent leurs décisions de façon autonome, sans interaction.

Aujourd'hui, on imagine plutôt que, dans certaines situations d'incertitude, l'individu n'est plus sûr de son système de prévision personnel, et ce d'autant moins que le climat est incertain. Le gestionnaire de fonds imite alors son voisin. Ce comportement a été observé chez les fonds de pension, dont les gestions présentent des apparences imitatives. Cela n'est pas absurde ni véritablement surprenant. Les gérants de ces fonds, ou les gérants de SICAV, doivent réaliser de bonnes performances en fonction de leurs objectifs. Les classements réguliers des performances des SICAV ou des fonds rappellent en permanence qui fait quoi. Dans l'hypothèse où un gérant n'aurait aucune visibilité sur le marché, et donc aucune confiance dans une quelconque prévision (et en tous cas pas dans la sienne), la meilleure attitude ne consisterait-elle pas à se demander : «Que fait mon voisin ? Si je l'imité et que je me trompe, nous nous tromperons ensemble». La relativité des performances sera alors une protection contre des mauvaises appréciations de gestion. On peut voir dans ce comportement mimétique une conséquence de la concurrence acharnée pour la collecte de l'épargne : l'influence des classements relatifs dans les réallocations de l'épargne entre fonds peut entraîner des pertes d'autonomie chez les gérants qui sont influencés par ceux avec qui ils communiquent.

TACHES SOLAIRES ET FEUX DE FORÊTS

Comment formaliser ce degré de croyance par l'individu en son propre jugement ? Par des modèles de contagion mimétique. Dans ce cas, les anticipations ne seraient plus rationnelles au sens classique du terme, mais autovalidantes ou imitatives. Plus la contagion augmente, plus les vagues de panique diffusent, plus le mimétisme croît et plus on resserre une tension qui se résorbe dans les krachs. Les variantes de cette approche vont des anticipations autoréalisatrices aux modèles «taches solaires».

Supposons que le marché évolue en fonction des taches solaires. On observe alors les taches du Soleil, et on agit comme si elles avaient une influence... qu'elles ont par voie de conséquence. D'autres approches utilisent des automates cellulaires : la variable étudiée est le nombre d'agents paniqués. La structure temporelle fractale de la panique apparaît nettement, comme manifestation d'un état critique auto-organisé. Des fluctuations importantes correspon-

dent à des contagions d'amas de grande taille : un grand nombre d'opérateurs est concerné. La crise est due simplement à la convergence des anticipations, et non à un événement extérieur au marché, comme une annonce d'un résultat économique. Quand une certaine valeur critique est dépassée, le système bascule. Quand le climat d'incertitude du marché devient trop grand, on arrive à des situations où chacun peut quasi simultanément prendre une position acheteuse ou vendeuse. Il y a alors une polarisation des anticipations, et on dit que le marché *percole*.

La percolation du marché s'analyse avec des modèles de type «feux de forêts». L'existence de vagues de panique laissant derrière elles des espaces vacants, les opérateurs non contaminés étant regroupés en «amas», est analogue à la diffusion des incendies en forêt.

Après un certain temps, la réalité reprend ses droits : le jour où l'on publie le résultat de l'entreprise, le marché revient à la valeur réelle de l'action. Quand la bulle éclate, le saut résultant entre la valeur réelle et la valeur anticipée est trop grand pour être calibré par loi de Gauss : cette loi n'est pas adaptée à la prise en compte des bulles et de leur éclatement.

UNIFICATION THÉORIQUE DES GRANDES ET DES PETITES FLUCTUATIONS

Benoît Mandelbrot, par ses travaux sur les variations des prix économiques et spéculatifs, a cherché à rendre compte du caractère commun des fluctuations, quelle que soit leur taille. En cela, son approche s'écartait de la théorie classique qui séparait la tendance du bruit. Les deux modèles de B. Mandelbrot (1963 et 1965) ont décrit les grandes fluctuations et les persistances spéculatives haussières ou baissières, au moyen de lois stables de Lévy et de mouvements browniens fractionnaires : les fractales, dont B. Mandelbrot a prédit l'applicabilité aux phénomènes économiques et boursiers. On peut par une formule lapidaire résumer la caractéristique du marché selon B. Mandelbrot : le marché est très calme, sauf quand il bouge beaucoup. B. Mandelbrot suggérait de passer d'une conception des marchés fondée sur l'équilibre et la rationalité, conception issue de la physique classique, à une conception qui donnerait plus d'importance à la turbulence et à l'instabilité : la physique des systèmes complexes.

Les progrès de l'informatique et l'augmentation de la disponibilité de la puissance de calcul, comme de l'ensemble des données disponibles, ont permis de

faire apparaître, grâce aux données de haute fréquence (relevé des cotations heure par heure, minute par minute) des phénomènes qui n'étaient pas observés jusqu'alors, et qui ont validé partiellement les intuitions de B. Mandelbrot : par exemple, des corrélations à longue portée ou des structures discontinues. Il n'en reste pas moins que certains phénomènes ne sont pas encore décrits : par exemple, il n'existe pas de théorie reliant les prix et les volumes de transactions. Les séries chronologiques des prix sont étudiées sans référence à la profondeur et à la liquidité du marché. N'est-ce pas réducteur pour la compréhension des bulles spéculatives ?

UNE CONTAGION LOGICIELLE ?

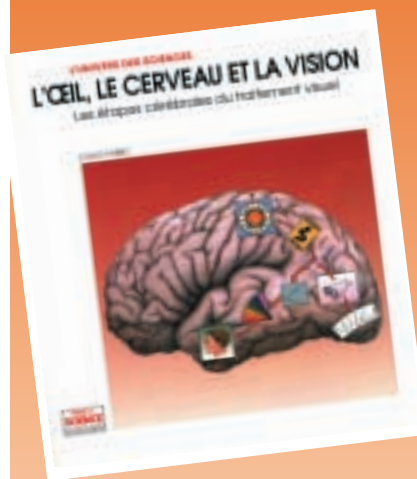
Simultanément, de la même manière que l'informatique permettait une meilleure caractérisation du comportement des marchés boursiers, se sont élevées des voix pour dire que l'informatique était aussi à l'origine des bulles spéculatives qu'elle observait mieux. Il s'agit de la question des programmes automatiques d'achat et de vente de titres, en fonction de filtres de variations données. Les stratégies automatisées ont-elles créé par «contagion logicielle» le krach de 1987 ? Nombre de tests ont porté sur des filtres d'intervention : si un cours a trop monté ou trop baissé par rapport à un niveau hypothétique, un seuil, alors le logiciel, ordonne ou déclenche l'ordre de vente ou d'achat. En fait, ces filtres ne sont pas stables, et aucun automatisme ne peut remplacer l'intuition humaine. B. Mandelbrot a montré en 1965 que les techniques des filtres, dès l'instant où des mécanismes non gaussiens régissent les marchés, étaient voués à l'échec. Aussi, le rôle de l'automatisation des ordres dans les bulles spéculatives n'est pas aussi clair que ses détracteurs le laissaient entendre.

La géométrie fractale de B. Mandelbrot représente-t-elle «l'avenir indépassable de la modernité» financière ? Question à laquelle aucun conjecturiste ou actuaire ne pourrait répondre, tant sont variées les voies actuelles en finance théorique.

Christian WALTER est actuaire au Crédit Lyonnais, membre agrégé de l'Institut des Actuaires Français et chargé de cours à l'ESSEC.

Ce texte est la retranscription du débat enregistré avec Émile Noël au Palais de la Découverte, qui sera diffusé sur France Culture le 3 juillet 1996, à 9 heures.

L'UNIVERS DES SCIENCES



L'ŒIL, LE CERVEAU ET LA VISION

L'œil est un avant-poste du cerveau : lorsque nous regardons une scène, la lumière bombarde, dans notre rétine, plus de 100 millions de cellules photoréceptrices ; celles-ci convertissent l'énergie lumineuse en signaux électriques qui sont envoyés vers les aires visuelles de notre cerveau.

240 pages – 185 F
Code 1867

**POUR LA
SCIENCE**
DIFFUSION BELIN

Bon de commande en p. 98

Turpin, chimiste... et excentrique

GEORGES BRAM • NGUYEN TRONG ANH

Inventeur d'un explosif efficace, il fut emprisonné injustement, et en perdit l'esprit.

Eugène Turpin fut un chimiste autodidacte talentueux, un écrivain prolifique autant qu'exalté et, bien malgré lui, un personnage de Jules Verne. Né à Paris, en 1848, dans une famille de petits commerçants, il travaille chez un dentiste dès la fin de ses études primaires pour gagner sa vie. Simultanément, il suit les cours du soir du Conservatoire des arts et métiers et ceux de l'Association philotechnique.

Après la guerre de 1870, il ouvre un atelier de fabrication de dentiers, puis de jouets en caoutchouc vulcanisé et découvre la chimie : les matières colorantes alors utilisées pour la teinture des jouets contiennent des sels de plomb et de mercure dont la toxicité détermine plusieurs pays, notamment l'Allemagne, à interdire l'importation des jouets de fabrication française.

Turpin met alors au point, à partir de dérivés du goudron de houille, des colorants inoffensifs, adaptés à l'industrie des jouets ; l'innocuité de ces produits est reconnue par l'Académie des sciences en 1877, et leur inventeur reçoit, pour ces travaux, la médaille d'or et de platine de la Société d'encouragement, et l'Académie des sciences lui décerne un

prix. En 1878, ses produits obtiennent un grand succès au Congrès international d'hygiène de Paris.

Puis, Turpin s'intéresse aux industries liées à l'armement, domaine particulièrement soutenu par les pouvoirs publics pendant ces années où l'on prépare la «revanche», après la défaite de 1870. En 1881, il présente un nouveau système de canon à tir rapide reculant sur son affût (contrairement aux canons précédents, le bâti supportant le canon ne bouge plus) ; son invention sera refusée par l'armée, mais son inventeur prétendra qu'elle a été le modèle de ce qui deviendra, 13 ans plus tard, le canon de 75... Nouvel exemple de récupération industrielle ou affabulation du découvreur ?

Turpin a davantage de succès dans le domaine des explosifs et des bombes. En 1881, il prépare de nouveaux mélanges explosifs, les panclastites (mélange de peroxyde d'azote ou d'acide nitrique concentrés avec un combustible liquide) et surtout, en 1885, la mélinite, c'est-à-dire de l'acide picrique, stable sous forme fondue. Il met au point un détonateur pour cet acide picrique. L'inventeur traite avec l'État, reçoit 250 000 francs et la Légion

d'honneur. La mélinite sera, durant la Première Guerre mondiale, un des explosifs les plus puissants utilisés par l'artillerie française

EN PRISON, À ÉTAMPES

En 1889, Turpin constate que son invention est proposée à une société anglaise par un capitaine d'artillerie territoriale, Triponé. L'année suivante, il dénonce cette trahison qui le spolie de ses droits dans un ouvrage intitulé : «Comment on a vendu la mélinite». Ce brûlot fait grand bruit : Triponé et deux de ses complices sont reconnus coupables de trahison, et condamnés pour avoir vendu aux Anglais un secret d'État.

Quant à Turpin, il est victime de l'atmosphère de défiance et d'espionnage qui règne alors et qui est entretenue par diverses affaires d'espionnage, où interviennent des militaires ou des employés du ministère de la Guerre. Il est poursuivi, accusé d'avoir «divulgué des secrets intéressant la défense nationale», dans son livre. Jugé à huis clos, il est condamné, en 1891, à cinq ans de prison !

Turpin est emprisonné, mais il a des défenseurs hors de sa prison, au parlement et dans la presse qui s'empare de l'affaire, généralement en défendant Turpin. Une campagne de presse en sa faveur commence au début de l'année 1893 : dans son numéro du 23 janvier, le supplément illustré du *Petit Journal* publie, sous le titre «Récompense nationale!» Turpin, les fers aux pieds dans sa prison, songeant aux exploits que l'armée française va réaliser avec sa mélinite !

Le 8 avril, à la veille de la grâce présidentielle dont bénéficie Turpin, le même journal publie en pleine page «La prison d'Étampes» où se trouve encore «M. Turpin, ce martyr». «Le Pilori»



Turpin fait la première page du supplément illustré du *Petit journal*, du 18 juin 1894.



Largement glorifié dans les journaux, Turpin l'est également sur des cartes postales. Il est présenté ici dans son laboratoire, avec pour légende : «Le célèbre inventeur de la mélinite».