

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.

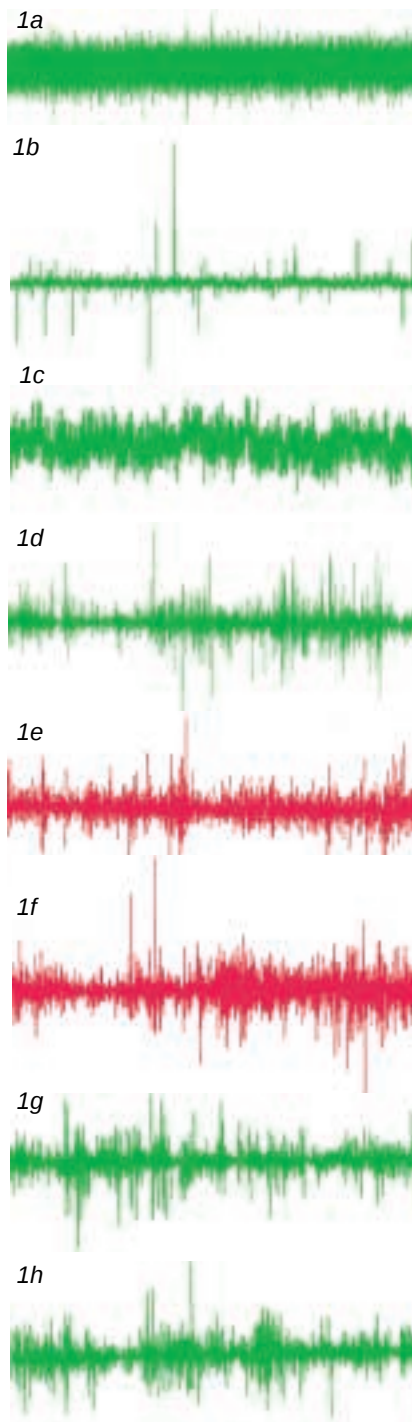
Regardons les diagrammes ci-contre. Certains sont des chroniques de changements successifs d'un prix coté en Bourse, d'autres sont des simulations réalisées à partir de modèles : l'objet des simulations est de saisir au moins une parcelle de la réalité des cours de bourse afin de l'analyser.

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