

averti le Musée de Millau, lequel organisa l'extraction en bonne et due forme du reste du squelette. C'est alors que la famille du découvreur se lança dans une action en justice afin de récupérer la moitié du fossile, conformément à la loi française sur les trésors, auquel elle assimilait le plésiosaure.

Le tribunal jugea qu'il ne s'agissait pas d'un trésor (qui, selon la loi, doit être trouvé de façon fortuite, ce qui n'était pas le cas), mais ordonna que les os trouvés par le découvreur lui soient rendus (on peut se demander à quoi ils peuvent bien lui servir ; le musée, lui, peut aisément les remplacer par des moulages), le reste appartenant à la commune où le fossile avait été trouvé – et qui a décidé de le déposer au Musée de Millau. Ce jugement de Salomon illustre à merveille les difficultés juridiques qui peuvent s'élever en France au sujet de fossiles.

L'IRE DES PROFESSIONNELS EST-ELLE JUSTIFIÉE ?

La solution passe-t-elle pour autant par des restrictions au droit de collecter des fossiles ? C'est ce que prônent certains paléontologues : ils souhaiteraient que seuls les chercheurs professionnels y soient autorisés. Ce point de vue est quelque peu simpliste. Il est normal que les sites de grande importance scientifique soient exploités selon des méthodes bien définies afin d'en tirer toute l'information possible, et soient « réservés » aux professionnels ; en revanche, sur de nombreux gisements fossilifères, le ramassage des fossiles par le

plus grand nombre possible de collectionneurs, qu'ils soient amateurs ou professionnels, est au contraire souhaitable. C'est le cas, par exemple, de falaises côtières soumises à une érosion intense, ou de carrières en exploitation. Dans de tels cas, la « durée de vie » d'un fossile après qu'il est mis au jour est très limitée, et comme il est matériellement impossible aux paléontologues professionnels d'exercer une surveillance constante sur de tels sites, l'action du plus grand nombre est souhaitable.

Reste ensuite à persuader les amateurs que la place la plus souhaitable pour un fossile intéressant n'est pas nécessairement la cheminée de leur salon, ou même les tiroirs de leur collection. Il peuvent être persuadés que leur activité se trouvera valorisée si leurs découvertes peuvent faire l'objet d'études scientifiques et être préservées pour la postérité dans une institution officielle.

Reste aussi aux paléontologues professionnels à ne pas considérer systématiquement les amateurs comme des pillards et des concurrents, et à établir avec eux des relations de confiance réciproque. L'expérience montre que la coopération est souvent possible.

Quel statut réserver aux professionnels qui s'adonnent au commerce des fossiles ? Grande est la tentation de condamner sans appel leurs pratiques. Les mesures restrictives préconisées imposent... une certaine mesure. Comme nous l'avons vu, beaucoup de musées, s'ils en ont les moyens, achètent des fossiles à des marchands, et il serait pour le moins hypocrite pour les chercheurs de ces institutions de fulminer contre un commerce qu'ils encouragent par leurs achats.

D'un point de vue purement scientifique, si un fossile intéressant se trouve sur le marché, il est certainement plus satisfaisant qu'il soit acheté par une institution reconnue, qui le mettra à la disposition des cher-

cheurs, que par un collectionneur privé. Il faut savoir aussi que dans certaines régions du monde, comme le Nord-Est du Brésil ou le Sud marocain, la récolte et la vente des fossiles constituent une activité économique non négligeable pour des populations dont les ressources sont maigres. Nombre de fossiles d'un très grand intérêt scientifique provenant de ces endroits ne sont accessibles aux spécialistes que par voie commerciale.

On peut le regretter, tonner contre, mais la diabolisation est-elle efficace ? Tant qu'il existera un marché pour les fossiles, leur commerce continuera. Et ce qui était valable au début du siècle peut l'être encore dans certains cas : il peut être plus simple, et même plus économique de se procurer certains fossiles auprès d'un commerçant sérieux et compétent que de monter soi-même une expédition lourde et difficile. Ce n'est pas pour autant, bien sûr, que les paléontologues doivent renoncer à aller eux-mêmes sur le terrain. Les commerçants peuvent dans certains cas jouer le rôle d'avant-garde, et attirer l'attention des professionnels sur de nouveaux gisements qui pourront ensuite faire l'objet de missions scientifiques.

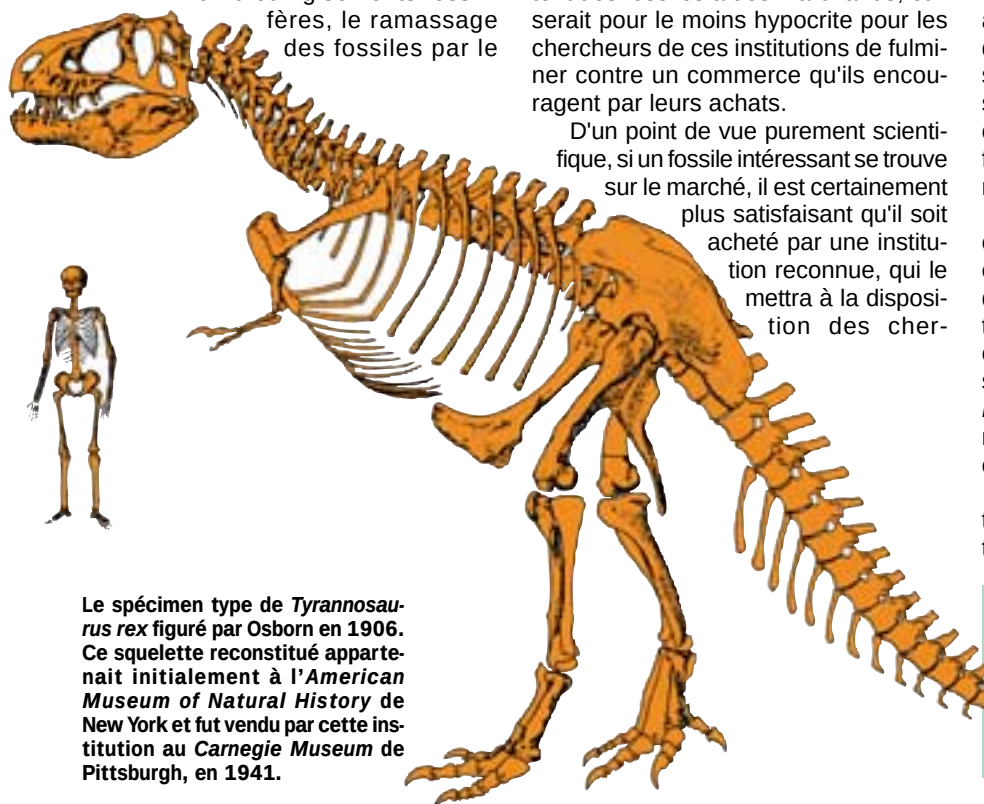
Une telle coopération est illustrée par l'exemple récent du plus ancien proboscidiien connu, *Phosphatherium escuilliei*, cet « éléphant » primitif de la taille d'un chien provenant de gisements de phosphates marocains vieux de quelque 55 millions d'années, et dont le premier et le deuxième spécimens furent trouvés chez un marchand lors d'une bourse aux fossiles. Il ne s'agit pas de sombrer dans l'angélisme : certains marchands ne se préoccupent guère des progrès de la science, mais l'expérience montre que la coopération entre paléontologues professionnels et collectionneurs commerciaux responsables profite aux deux parties.

Les chercheurs officiels ne peuvent être partout, la Terre est vaste, et, lorsque cela est possible, la coopération ne peut qu'être préférable à la confrontation. La triste histoire du tyrannosaure Sue est un exemple de ce qu'il ne faut pas faire : s'il était resté entre les mains du *Black Hills Institute*, peut-être les professionnels auraient-ils aujourd'hui moins de soucis quant à son destin...

« Monsieur de Tyranno, vraiment nous tyrannise... » pressentait Edmond Rostand, il y a tout juste un siècle.

Archimède, l'émission franco-allemande de vulgarisation scientifique d'ARTE présente l'histoire de *La malédiction du tyrannosaure* le mardi 3 juin à 20 heures.

Le spécimen type de *Tyrannosaurus rex* figuré par Osborn en 1906. Ce squelette reconstitué appartenait initialement à l'*American Museum of Natural History* de New York et fut vendu par cette institution au *Carnegie Museum* de Pittsburgh, en 1941.



Les flambées boursières...

CHRISTIAN WALTER

... sont parfois dues à des événements rares de l'économie réelle, aux fortes conséquences.

Alire la presse, «La finance flambe», «L'économie réelle disparaît sous la sphère financière», «La bulle financière devient dangereuse», «Une gigantesque bulle spéculative, éloignée des réalités économiques...» ; les commentaires alarmistes pleuvent lors des grandes variations boursières, qu'il s'agisse de ruptures, d'envolées brutales des cotations, d'amples mouvements de hausse ou de baisse apparemment incontrôlés. Le président de la Réserve fédérale américaine, Alan Greenspan, abonde dans ce sens lorsqu'il décrit «l'exubérance irrationnelle» des marchés boursiers, exubérance qui risque «d'affecter l'économie réelle». Comment analyser ces démesures apparentes ?

Démasure par rapport à quoi ? Une «bulle» est une différence entre un prix théorique, reflétant la valeur «fondamentale» du bien économique, et le prix de marché. Il y a bulle quand l'importance de l'écart incite à penser que l'évolution des prix du marché n'est pas justifiée par un changement des fondamentaux.

À l'opposé, de grandes variations peuvent résulter de chocs affectant l'économie «réelle» ou d'anticipations des

opérateurs sur les conséquences de ces chocs, même si ces chocs sont des événements très peu probables. Quand ils ne se produisent pas, la menace qu'ils représentaient est oubliée, et la spéculation apparaît sans cause.

LA RARETÉ CRÉE LES DÉRÈGLEMENTS

Ainsi peut-on réanalyser la crise financière célèbre, celle de la «folie des tulipes» (*tulipmania*) qui eut lieu en Hollande entre 1634 et 1637 ; le grand mouvement continu de hausse des cours qui a précédé la chute a longtemps été considéré comme l'archétype de la bulle spéculative. L'économiste et prix Nobel Samuelson n'évoquait-il pas en 1967 «l'autoréalisation d'un monde purement financier issu des rêves d'un groupe mal identifié». Or, l'analyse historique a montré depuis que la valeur fondamentale de la tulipe était affectée.

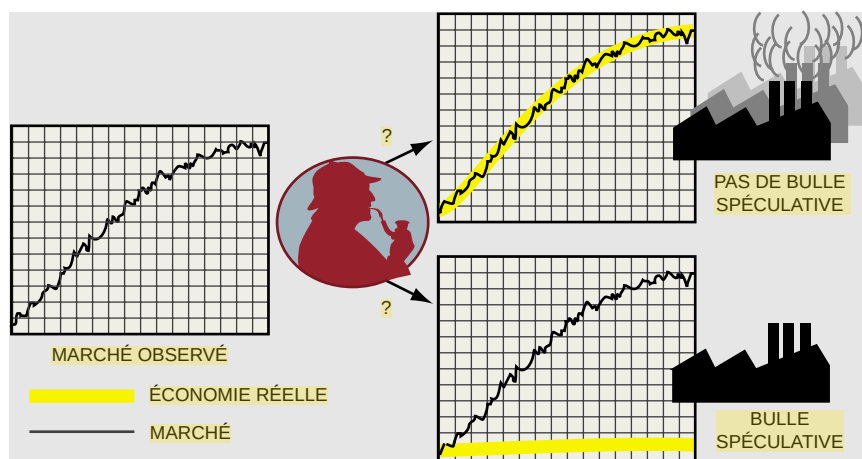
Un exemple plus proche est celui des grandes fluctuations du peso mexicain en 1976. Des opérateurs ont vendu massivement pour anticiper une dévaluation possible du peso, dont la probabilité était faible, mais qui aurait eu de fortes

conséquences. La dévaluation n'a pas eu lieu, ce qui est la règle pour les événements de faible probabilité. Toutefois, ces anticipations ont, par effet autoréalisateur, engendré de fortes variations de cours. Depuis, le «cas du peso» désigne des perturbations du marché résultant d'événements très peu probables, mais aux conséquences graves. Autres exemples, la fermeture du détroit d'Ormuz pendant la guerre Iran-Irak ou, plus récemment, des risques de catastrophes naturelles (tremblement de terre au Japon) ou artificielles à effets importants sur l'environnement (accident de centrale nucléaire ou naufrage de pétrolier géant, obligeant les assureurs à payer de fortes indemnités) ; dans ces situations, les intervenants sur le marché sont plus sensibles à l'événement de petite probabilité mais de grande conséquence, qu'aux autres possibilités de l'économie réelle. La «masse» de cet événement attire toutes les anticipations des opérateurs, conduisant alors à de fortes fluctuations. Chaque intervenant achète ou vend en fonction d'une valeur très différente de la valeur fondamentale initiale.

Si l'événement pressenti n'a pas eu lieu, on sera tenté de diagnostiquer, après-coup, l'existence d'une bulle spéculative, car les données de l'économie réelle ne justifieront pas *ex post* les évolutions financières. En fait, il y a bien eu modification probable de la valeur fondamentale du titre et il n'y a donc pas de bulle. Les intervenants n'ont fait que traduire dans les cours les changements possibles de valeur fondamentale. C'est la très petite probabilité d'une grande modification de la valeur fondamentale de l'objet économique réel qui produit les grandes fluctuations financières du marché.

Lorsqu'on observe de grandes fluctuations des marchés, les opérateurs s'interrogent : est-ce une déviation non justifiée du prix de la valeur fondamentale ou une agrégation dans les prix d'une modification des fondamentaux. C'est seulement dans la première situation qu'il sera possible de parler de bulle. Dans la seconde, une information nouvelle a été incorporée dans les cours, et le marché a bien fonctionné. Une bonne modélisation des fondamentaux, incluant les événements réels rares, est un travail préliminaire indispensable si l'on veut à raison qualifier de «bulle» une hausse (ou une baisse) apparemment incontrôlée des cours. Après avoir estimé la valeur fondamentale de l'objet économique réel, on sera en mesure de choisir entre un marché efficace ou une bulle financière.

Les grandes variations boursières ne seraient-elles que le reflet financier des événements rares de l'économie réelle ?



L'observateur qui constate une forte hausse des cours, s'interroge : y a-t-il modification des données de l'économie réelle ou mouvements spéculatifs ? Il y a emballement boursier sans bulle si la valeur fondamentale est affectée par un événement rare de l'économie réelle.

La téléolfaction

HERVÉ THIS

À quand cette nouvelle forme de télécommunication ?

Souvenons-nous de l'essor de la musique, il y a un peu plus d'un siècle quand tous ceux qui disposaient d'un téléphone purent apprécier les virtuosités des grands interprètes. À l'époque, la transmission d'images semblait utopique, mais moins de 20 ans s'écoulèrent avant que P. Nipkow, en Allemagne, parvienne à transmettre des sensations visuelles : cette fois, les bénéficiaires furent les adeptes de Polymnie, Terpsichore, Erato, Melpomène et Thalie.

Quels royaumes de la transmission restent à conquérir ? La transmission de sensations tactiles est en passe d'être maîtrisée, grâce à des gants munis de cristaux piézoélectriques qui enregistrent ou qui exercent des pressions. Mais les odeurs ? Les saveurs ? Le retard de la téléolfaction et de la télégustation navre les gourmands.

Les sensations olfactives ou gustatives naissent de la liaison de molécules aromatiques ou sapides à des cellules réceptrices du nez et de la bouche. Pour transmettre de telles sensations à distance, on imagine deux possibilités. Soit on analyse l'activité électrique du cerveau engendrée par ces sensations, on transmet ces analyses à distance, et l'on stimule le cerveau du receveur à l'aide d'électrodes : c'est ainsi qu'André Holley et Anne-Marie Mouly, à l'Université de Lyon, ont obtenu des conditionnements de rats en excitant leur bulbe olfactif.

Soit on analyse les mélanges de molécules odorantes ou sapides comme on le fait pour les couleurs, en les rapportant à des stimuli arbitraires de base ; puis, à la réception, on mélange les molécules de base pour reproduire les sensations initiales.

Les capteurs d'arômes, parfois surnommés « nez artificiels », pourraient être des composants utiles pour la mise au point, encore lointaine, de tels systèmes. Nés des besoins de l'industrie agro-alimentaire, ces capteurs assurent déjà, dans quelques usines, l'évaluation objective des composés volatils émanant des produits. Il en existe plusieurs types.

LES NEZ ARTIFICIELS

À la Station INRA de Theix, Jean-Louis Berdagué et ses collègues ont mis au point un système de spectrométrie de masse qui analyse l'ensemble des composés volatils des échantillons. Les échantillons sont décomposés thermiquement sur une cupule chauffante ; les molécules de la fumée, fragmentées et ionisées, passent dans un spectromètre de masse : des champs électriques ou magnétiques dévient ces fragments électriquement chargés d'une quantité proportionnelle à leur masse et à leur charge électrique. Dans leur analyseur, les chercheurs de Theix obtiennent une signature du produit testé. Les résultats sont significatifs : d'après les signatures, l'analyseur retrouve

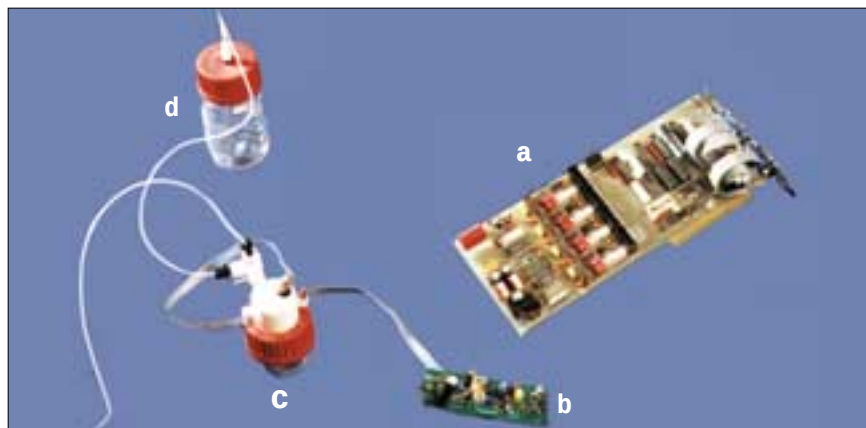
l'origine d'une huître venant des côtes de France (quel gastronome parviendrait au même résultat ?).

L'autre méthode est l'utilisation de semiconducteurs dopés sur lesquels viennent s'adsorber les composés volatils : la résistance électrique du semiconducteur dopé diminue avec l'adsorption momentanée et réversible des composés volatils. Comment utiliser de tels détecteurs ? Au Laboratoire INRA de Dijon, Patrick Mielle et ses collègues étudient des détecteurs composés d'un substrat céramique, chauffé par une résistance et sur lequel est déposé un semiconducteur, tel l'oxyde d'étain, dopé par des oxydes de zinc, de fer, de nickel ou de cobalt. Selon le dopage, les capteurs réagissent différemment aux molécules adsorbées : le passage d'un mélange de composés volatils sur ces réseaux de capteurs engendre une signature, qui est traitée informatiquement.

L'emploi de ces réseaux reste toutefois difficile. Tout d'abord, comme les signaux des divers capteurs évoluent lentement au cours du temps, les chercheurs dijonnais ont mis au point une cellule de transfert rapide des échantillons pour l'étalonnage et pour la caractérisation des capteurs, avant leur utilisation en réseau. D'autre part, on a observé que les capteurs réagissent très différemment selon la température : cette particularité, qui doit être maîtrisée lors des étalonnages, est un avantage, parce que des mesures effectuées à plusieurs températures permettent d'obtenir des réactions différentes d'un même capteur ; on multiplie ainsi, artificiellement, le nombre de capteurs utilisés.

Enfin, comme l'enregistrement des signaux et la reconnaissance des signatures des divers mélanges imposent un traitement numérique lourd, qui limite le nombre de capteurs à moins d'une dizaine, P. Mielle et ses collègues ont proposé d'enregistrer les signaux à divers instants après l'injection des échantillons dans la cellule de mesure : le nombre de points expérimentaux est multiplié d'autant.

Aujourd'hui les cellules de mesure récupèrent 80 pour cent des molécules en phase gazeuse, et les réseaux testés, composés de six capteurs, qui font des mesures à quatre températures, caractérisent des mélanges de composés volatils en une dizaine de secondes : les performances du nez humain ne sont plus inaccessibles.



L'ensemble du matériel pour une analyse automatique des odeurs : une carte électronique d'acquisition des données (a), une carte qui porte les capteurs (b), une cellule de mesure (c) et une cellule à échantillon (d).

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science le 1^{er} juillet 1997, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.