

Anglais appelaient un *quasy stellar object*, un quasar, dont l'essentiel de l'énergie est émise dans les longueurs d'onde radiométriques.

Des théories, des scénarios s'échafaudent pour expliquer la nature de ce nouvel être stellaire. La meilleure explication du moteur des quasars, c'est un immense trou noir, un Gargantua qui mange la matière qu'il attire. Ces quasars sont jeunes parce qu'ils sont loin, et que plus on regarde loin, plus on regarde dans le passé, la vitesse de la lumière étant limitée à 300 000 kilomètres par seconde ; certains quasars sont à neuf milliards d'années-lumière. Nous avons des nouvelles qui datent de neuf milliards d'années. Comment est cet objet aujourd'hui ? Nous le saurons dans neuf milliards d'années.



LES ANNEAUX DES PLANÈTES

La structure et la physique des anneaux autour des planètes sont des problèmes ouverts qui datent de Galilée, le premier à avoir vu les anneaux de Saturne. La loi de Kepler énonce qu'un objet tourne d'autant plus vite autour d'un corps central qu'il est plus proche ; l'objet éloigné tourne moins vite. La partie interne d'un petit objet irrégulier dans un anneau tournant plus vite que la partie externe, cet objet s'étale et redonne un anneau bien circulaire. L'extraordinaire inattendu est qu'il y ait des arcs de matière autour de Neptune. J'ai eu la chance de les découvrir en 1984 avec William Hubbard, et cette découverte a été confirmée par les observations de la sonde spatiale *Viking*. Ces arcs sont fort intéressants : ils sont peut-être le siège de processus de confinement qui ont joué un rôle important dans la formation des planètes. Soit ces arcs sont instables et, telles les vagues au bord du rivage, ils sont détruits et recréés sans arrêt, mais comment et pourquoi ? Soit ils sont stables, ce que nous ne savons pas encore expliquer.

Nous avons inventé des accélérateurs de particules de plus en plus puissants ; hélas, le jour se pointe où les États n'auront plus assez d'argent pour les construire. Les crédits pour l'accélérateur américain a été coupé et le superaccélérateur qui sera en place au CERN, à Genève, en 2005 n'aura peut-être pas de successeur immédiat.

2. Les arcs des anneaux de Neptune, découverts en 1984. On distingue à droite, de bas en haut, les arcs nommés Liberté, Égalité, Fraternité. Certains astronomes avaient prédits qu'en raison des perturbations du satellite Triton, il ne pouvait pas y avoir d'anneaux autour de Neptune. Tous les astronomes pensaient que des arcs seraient rapidement détruits. Comprendre leur formation et leur stabilité est une des tâches prioritaires des astronomes.

Le futur de la physique est l'astrophysique, et une nouvelle discipline vient de naître : la physique des astroparticules. La compréhension de la physique subatomique passe par les messages du ciel, les rayons cosmiques qui nous arrivent gratuitement. Il n'est donc pas toujours nécessaire de construire des accélérateurs, là où des détecteurs d'astroparticules appropriés suffiraient.

En même temps, nous espérons découvrir le mécanisme de production d'énergie de ces sources extrêmement puissantes. Il faut continuer l'inventaire du magasin astronomie. Une des difficultés est d'intéresser le contribuable et ses élus pour une discipline qui n'est pas enseignée à l'école.

LES PULSARS

Un autre inattendu total fut la découverte des pulsars. Jocelyne Bell, étudiante en stage, découvre un petit parasite dans un signal. Son patron de stage n'y croit guère. Jocelyne insiste, et le parasite continue à se manifester. Les astrophysiciens de Cambridge sont émus, certains pensent à des signaux envoyés par des petits hommes verts : les extraterrestres nous téléphonent-ils ? On a très

vite compris que la source du signal était une étoile à neutrons en rotation rapide, et que son rayonnement balayait la Terre comme le faisceau d'un phare balaie les flots. Hélas pour la morale, les deux patrons de Jocelyne ont eu le prix Nobel, et la jeune fille n'a pas obtenu de poste immédiatement. Toutefois, l'humanité se souviendra que c'est Jocelyne Bell, étudiante très consciencieuse, qui a fait une découverte fondamentale. Beaucoup d'astronomes l'envient.

Les trous noirs n'ont pas grand-chose d'inattendu, du moment où vous comprenez la loi de Newton. Pour un objet de masse et de rayon donnés, il y a une vitesse d'évasion : elle est de 11 kilomètres par seconde pour la Terre. Pour un rayon très petit et une masse très grosse, cette vitesse de libération atteint la vitesse de la lumière. Donc un trou noir ne laisse rien échapper, même pas la lumière ; en revanche, il avale tout ce qui passe à sa portée.

Laplace savait cela, et dans sa deuxième édition du *Système du monde*, il imagine ces trous noirs. C'était pendant la Révolution française ; quand la réaction revient au pouvoir, ce passage hardi est supprimé.

La grande difficulté est d'observer ces objets invisibles. On voit les disques d'accrétion de la matière en train de tomber, on voit les trous noirs en train de manger et l'on voit les plats qu'on leur apporte, mais on ne voit pas le convive. Actuellement, les présomptions d'existence sont tout de même assez fortes.

Finalement, rares sont les objets que l'on a imaginés avant de les observer ; plus rares encore ceux qui sont prévus, comme les trous noirs, et que l'on n'a pas vus. Et la plupart des êtres astronomiques sont imprévus : Uranie, muse de l'astronomie, ne dévoile que lentement ses attraits.

André BRAHIC est professeur à l'Université de Paris VII-Denis Diderot et astrophysicien à l'Observatoire de Paris et au CEA Saclay.

Ce texte est une transcription par la revue du débat enregistré, avec Émile Noël, au Palais de la Découverte. Ce débat sera diffusé sur France Culture, le 10 septembre 1997, à 9h05.

Vers des ingénieurs entrepreneurs

JEAN-CLAUDE LEHMANN

L'ingénieur moderne doit se préoccuper de marchés pour créer des emplois.



En cette fin de siècle, il est patent que les techniques évoluent plus vite en France que l'enseignement. L'échelle de temps d'une évolution technique importante est de l'ordre de dix ans, parfois beaucoup moins. Cette accélération de l'histoire a un corollaire : les entreprises demandent aux ingénieurs de créer la vague des innovations plutôt que la suivre.

Ainsi le métier de l'ingénieur moderne ne consiste plus seulement à perfectionner des produits existants afin d'améliorer leurs performances et de les fabriquer à moindre coût. Les entreprises les plus dynamiques, grandes ou petites, souhaitent que leurs ingénieurs retrouvent le goût d'entreprendre, comme à l'époque où des Gustave Eiffel, des Fulgence Bienvenüe, des Georges Claude, portés par leur imagination technique, imposaient leur dynamique, allant même souvent jusqu'à créer leur propre entreprise. Plus proche de nous, un Bernard Maitenaz a su développer *Essilor*, à partir d'un remarquable exploit technique, la lentille à focale progressive.

Les grandes écoles françaises forment de bons professionnels, le plus souvent de bons gestionnaires, mais forment-elles des entrepreneurs ? S'il est souhaitable que, dans un premier emploi, un ingénieur « apprenne le métier » en faisant tourner une usine ou en améliorant les techniques, cette solide formation théorique (à l'école), puis pratique (dans l'entreprise) doit être le socle sur lequel asseoir ensuite son essor créateur. Hélas, cet « épaulé-jeté » n'est pas souvent la marque des ingénieurs français. Bons techniciens, bons gestionnaires, il leur manque le plus souvent la volonté de faire bouger leur entreprise ou, mieux encore, d'en créer une eux-mêmes. Les ingénieurs français seraient-ils mieux formés à supprimer des emplois qu'à en créer ? Quelle école d'ingénieurs, en

France, peut se comparer, toutes proportions gardées, à un Institut de technologie du Massachusetts, qui vient de publier le résultat d'une enquête estimant à plus de un million le nombre d'emplois existant dans des entreprises créées par d'anciens élèves ?

Comment faire passer la culture d'entreprendre dans la formation de nos ingénieurs ? On devra probablement commencer l'action très tôt, dès l'enseignement secondaire, où les connaissances de base doivent s'accompagner d'un apprentissage de l'initiative personnelle. Plus tard, les élèves ingénieurs devraient être mieux à même de mesurer ce qu'une véritable carrière d'entrepreneur, quel que soit le sens exact que l'on accorde à ce terme, peut leur apporter d'enrichissement et de satisfaction personnels. Cet apprentissage devrait notamment donner aux ingénieurs le goût de s'intéresser au marché : c'est là où le marché peut se développer, là où il manifeste de nouvelles demandes, là où naissent également de nouveaux marchés, que se trouvent les possibilités de croissance interne des entreprises (par opposition à la croissance géographique ou par acquisition), de création de valeur pour les actionnaires et de créations d'entreprises nouvelles ; c'est là où de nouveaux emplois peuvent être créés... et c'est là que le goût de l'ingénieur-entrepreneur peut trouver le mieux à s'exprimer.

Comment expliquer que notre pays soit en grande partie passé à côté des extraordinaires dynamiques de création d'emplois qu'ont été les marchés de la communication, de l'informatique, des biotechnologies... alors que les idées et les techniques étaient présentes en France ? Les structures de financement, le rôle de l'État, les contraintes administratives et fiscales ont certainement joué un rôle, mais, avant tout, c'est

la volonté d'entreprendre de nos ingénieurs qui manquait ; c'est d'elle que l'on doit attendre une évolution de la situation.

S'il fallait illustrer cette dynamique par l'exemple d'un grand groupe, comme *Saint-Gobain*, et pour se limiter à l'un de ses métiers, celui du verre pour le vitrage des bâtiments et des automobiles, on peut dire que la technique de base, dite du verre flotté (*float glass*), si elle est de plus en plus complexe et perfectionnée, a tendance à se banaliser. C'est donc en regardant vers le marché que l'on trouvera des opportunités pour enrichir ce métier, le développer et créer plus de valeur ajoutée, et donc d'emplois. Vitrages à transparence variable, protections solaires et thermiques variables, vitrages autonettoyants, répartissant la lumière dans l'intérieur des bâtiments... Voilà autant d'idées nouvelles qui offrent aux ingénieurs à la fois des défis techniques et des marchés à développer et à conquérir.

Les ingénieurs de demain ne devront pas être simplement des ingénieurs gestionnaires. Il faut retrouver le moule de fabrication des ingénieurs-entrepreneurs.

Jean-Claude LEHMANN est directeur de la recherche du Groupe Saint-Gobain.

À l'occasion de son Forum de l'anticipation, le Conservatoire national des arts et métiers organise dix carrefours « emploi-formation » pour aider ses futurs élèves à définir leur projet de formation en fonction des besoins de compétence des entreprises : EDF (16 septembre), Saint-Gobain (17 septembre), La Poste (18 septembre), Axa (19 septembre), Ministère de la défense (22 septembre), Air liquide (23 septembre), Renault (25 septembre), Accor (26 septembre), Elf (29 septembre), Thomson (1^{er} octobre). Entrée libre de 14 heures à 17 heures (renseignements au 01 40 27 29 16).

Les nombres-indices

CHRISTIAN WALTER

Combien faut-il utiliser de nombres pour caractériser l'économie ?

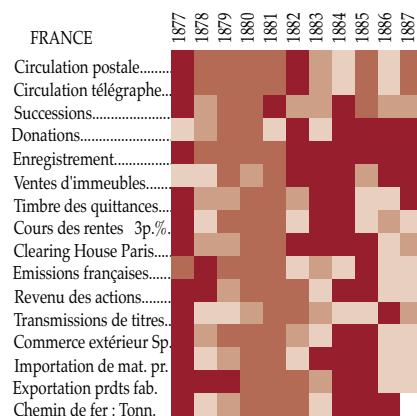
Indice des prix de détail, du coût de la construction, de la production industrielle, taux de chômage, indices du commerce extérieur, des prix à la production, taux d'inflation... Le monde contemporain croule sous les indices économiques. Pas un jour ne passe sans qu'un institut de conjoncture n'annonce des résultats pour telle ou telle branche de l'économie. Nous sommes auscultés par des appareils statistiques qui nous renvoient de nous-mêmes un reflet exprimé par des nombres-indices. Nous avons si bien pris l'habitude de penser la réalité économique et sociale à partir de ces nombres-indices, qu'ils semblent aujourd'hui naturels. Mais ont-ils un sens ? Représentent-ils bien la réalité économique de notre vie quotidienne, ou ne sont-ils que des fictions commodes, mais fausses, qui remplacent l'économie réelle par une économie stylisée ? Que faut-il en penser : objets invisibles mais pertinents, ou illusions statistiques ?

Ces nombres-indices ne datent pas d'aujourd'hui, ni même du xx^e siècle. Par exemple, en 1707, le moine britannique William Fleetwood entreprend de réactualiser un montant de cinq livres qu'il trouve dans un document de 1450 ; il est amené à calculer un taux de conversion. En 1738, M. Dutot, caissier de la *Compagnie des Indes*, a l'idée de comparer les revenus de Louis XII et de Louis XV. Plus généralement, au $xviii^e$ siècle, des nombres-indices des biens élémentaires constituent une première forme d'indice de prix.

Au xix^e siècle, on se préoccupe davantage du problème du calcul des moyennes et du choix des pondérations. C'est seulement en 1837 qu'apparaît l'usage de la moyenne arithmétique pondérée, et en 1863 celui de la moyenne géométrique, appliquée à la mise en évidence de la dépréciation de la monnaie-or. Enfin, en 1864 et 1874, les économistes allemands M. Laspeyre et M. Paasche introduisent une pondération des prix élémentaires par les quantités de la période de base (pour Laspeyre), et par les quantités de la période courante (pour Paasche).

Les baromètres commerciaux, destinés à prévoir les évolutions de la vie des affaires apparaissent alors. En 1888, *L'Essai de météorologie économique et sociale* de l'administrateur et statisticien français, directeur des Monnaies et médailles et chef du Bureau de statistique au ministère des Finances, Alfred de Foville, présente le programme des nombres-indices à partir de l'usage des baromètres : «Vous savez tous ce que sont les appareils enregistreurs. Eh bien, Messieurs, j'ai cherché à faire, dans l'ordre économique, quelque chose d'analogue. J'ai cherché, en construisant ce tableau à figurer d'une manière aussi vraie, aussi simple, et aussi parlante que possible, les fluctuations de l'activité économique de notre pays depuis un certain nombre d'années». Les baromètres simples n'utilisant qu'un seul indicateur se multiplient alors jusqu'en 1914, pour être ensuite remplacés par les baromètres multiples, au début du xx^e siècle.

Cet usage des baromètres suscite de nombreux problèmes. En 1925, l'ingénieur économiste français François Divisia compare la variation des prix entre



Extrait du baromètre à bandes colorées d'Alfred de Foville (1888). La météorologie économique et sociale du xix^e siècle utilise les nombres-indices comme signaux de la conjoncture économique. Les couleurs traduisent la santé du secteur, évaluée avec des indices sectoriels.

deux dates, mesurée par un indice, à un problème de dilatation des longueurs sous l'action de la température. La question de la dispersion des prix dans l'indice fait l'objet d'âpres controverses. Comme aussi la question de savoir s'il faut d'abord mesurer, même sans théorie économique sous-jacente, ou bien s'il faut attendre de la théorie économique des définitions d'objets pertinents à mesurer. En 1943, Alfred Sauvy écrit que l'on peut «rejeter définitivement, comme articles de musée, les vieux baromètres de la conjoncture, utilisés entre les deux guerres».

DES RÉSUMÉS D'ACTIVITÉ

Finalement, on en arrive aux indicateurs économiques et commerciaux encore en usage aujourd'hui. La conjoncture s'institutionnalise et les comptabilités nationales fournissent des agrégats de plus en plus divers. Le système d'information statistique mis en place entre 1950 et 1970 reconstruit la réalité sociale en favorisant, au moins techniquement, le développement de politiques économiques inspirées de John Keynes : l'État ne peut intervenir qu'en se fondant sur des nombres-indices.

Les nombres-indices transforment de l'individuel en collectif ; on veut faire de l'un avec du multiple. Mais avec quel prisme ? Selon quelles normes d'agrégation ? Toutes ces questions restent d'actualité. Bien plus, le système de totalisation sociale par la statistique qui paraissait solidement établi vers la fin des années 1970, se craquelle. Chaque nombre-indice peut aujourd'hui être contesté et remplacé par un autre nombre issu d'une agrégation différente des données.

Quant à la question de l'un et du multiple, remarquons qu'elle reprend certaines catégories conceptuelles apparues lors de la querelle entre nominalistes (individualistes) et réalistes (holistes). Le principe d'économie des moyens nommé «rasoir d'Occam» (Guillaume d'Occam fut une des figures médiévales de cette querelle) énonce «qu'il ne faut pas multiplier les entités abstraites sans nécessité». La prolifération des nombres-indices en finance, pour accompagner le développement des fonds de pension, prend plutôt le chemin inverse. Pour le bien de tous ?

On rapporte que Keynes faisait plus confiance à son intuition qu'aux chiffres fournis par les statisticiens : quand le chiffre ne lui convenait pas, il le modifiait. Quand il lui convenait, il disait «Tiens, vous avez trouvé le bon chiffre» ! Cette pratique excessive ne traduit-elle pas une défiance devant la raison statistique ? Finalement, les nombres-indices sont-ils serviteurs ou maîtres de l'homme ?