

## La mesure en science économique

Henri Duprat

### Introduction : vers une métrologie économique ?

Le fait même de parler de prospective de la mesure en science économique risque d'étonner nombre d'économistes, habitués à ne voir dans la métrologie qu'une affaire d'ingénieurs ou de physiciens.

La théorie économique semble en effet ignorer le rôle institutionnel des instruments de mesure dans la pratique des échanges. Ce rôle est pourtant plus ancien encore que celui de la monnaie, et son importance ne fait qu'augmenter dans l'industrie moderne, avec le développement de l'innovation technologique, les grandeurs de mesure constituant un langage commun à la recherche et l'industrie.

Certes, il existe en économie théorique des travaux sur la mesure. Mais leur but ayant été de définir une mesure de la valeur, ils sont longtemps restés sans résultats pratiques, la notion « d'utilité » se réduisant, selon l'école néoclassique, à des ordres de préférence subjectifs. Ce n'est que depuis quelques années qu'a été entreprise l'élaboration d'une théorie générale du mesurage, portant sur l'ensemble des disciplines scientifiques.

Or des faits nouveaux interviennent : le développement du contrôle des fabrications industrielles et l'informatisation des transactions commerciales. Le contrôle de fabrication fait de l'instrumentation de mesure un facteur de production industrielle dont l'importance justifie un calcul économique. Ce calcul fait déjà partie de la pratique courante des ingénieurs et ne peut manquer de susciter une réflexion théorique. Il montre en effet qu'il est possible de définir une unité de mesure de la réduction d'incertitude et par suite de fonder une théorie économique de la mesure. L'informatisation des transactions introduit dans la pratique économique des capteurs spécifiques de la mesure des flux de valeurs. En modifiant profondément le volume et les possibilités de traitement des données de base sur l'activité des entreprises, elle devrait permettre d'importants progrès dans la pertinence et le détail de l'information statistique et de l'analyse économique.

De tels développements laissent prévoir une collaboration entre économistes et métrologistes et font espérer l'apparition d'une métrologie économique, qui fait actuellement défaut. L'apport à l'économie théorique de la métrologie, science des grandeurs et des erreurs de mesure, devrait porter sur deux des fondements de la micro-économie : d'une part, sur l'espace de représentation des biens et des échanges et, d'autre part, sur la prise en compte de l'incertitude.

### L'état de l'art : économie et métrologie, deux sciences qui s'ignorent

#### *La mesure et la pratique économique*

« Garantir la loyauté des transactions »,... tel est, depuis des siècles, le rôle économique de la mesure [GIACOMO, 1983]. Le recours à celle-ci a en effet pour but de réduire une incertitude fondamentale, devenue classique en théorie des jeux, affectant la relation entre

l'acheteur et le vendeur : l'acheteur risque soit d'accepter une offre trompeuse, soit, par méfiance, d'en refuser une avantageuse [BOUZITAT, 1989].

Mais il existe deux sortes de transactions :

- les unes portent sur des biens dont la nature reste la même au cours du temps et dont la qualité est supposée assurée par des garanties corporatives ou des normes réglementaires,
- les autres sont celles sur devis, où la nature du bien demandé n'est définie de façon précise qu'au cours de la transaction elle-même, sous la forme d'un cahier de charges, spécifiant les caractéristiques attendues ; il en est de même de l'achat sur catalogue de biens complexes, répondant à un même besoin, mais différents par leurs performances et leurs prix.

Dans le premier cas, la mesure porte seulement sur les quantités échangées ; c'est le domaine traditionnel de l'inspection des « poids et mesures ». C'est aussi l'objet de l'analyse classique de l'offre et de la demande par les économistes, en termes de prix et de quantités.

Dans le second cas, « l'honnêteté de la transaction » implique le respect du cahier de charges, ou des performances annoncées. La mesure intervient alors pour le contrôle de la qualité du bien fourni, c'est-à-dire la conformité de ses caractéristiques aux spécifications demandées, aux tolérances près. Le cahier de charges doit donc spécifier à la fois les caractéristiques demandées et les tolérances acceptées [DUPRAT, 1987].

Les transactions sur devis, ou sur catalogue, ont des conséquences majeures à la fois en métrologie et en économie. Elles ont en effet pour corollaire le développement de l'instrumentation de mesure nécessaire au contrôle de grandeurs de plus en plus nombreuses, assorties de tolérances de plus en plus rigoureuses.

Elles impliquent d'autre part un calcul économique spécifique, qui consiste à déterminer les caractéristiques des composants et des procédés permettant d'obtenir au moindre coût les caractéristiques attendues du produit final. Ce calcul, appliqué depuis des siècles à la construction d'ouvrages et qualifié par Bélidor de « chef-d'oeuvre de l'ingénieur », est devenu la pratique courante des ingénieurs d'étude et des acheteurs industriels, dans la conception de produits et l'analyse de la valeur [VERIN, 1993]. Associant des grandeurs économiques (les prix) et des grandeurs physiques (les caractéristiques des biens), il repose sur l'existence, explicite ou non, d'une valeur d'usage calculable [DUPRAT, 1990b].

Or cette notion, encore contestée par plus d'un économiste, reste dépourvue de la formulation théorique nécessaire à une analyse économique pertinente des formes modernes de la concurrence.

### *La mesure et la théorie économique*

Malgré les rapports étroits et anciens entre les poids et mesures et les monnaies, et le fait que le terme « d'étalon » se retrouve dans le vocabulaire monétaire, les économistes semblent s'être peu intéressés à la métrologie, du moins sous son aspect, peut-être trop trivial, de détermination de valeurs comme produits de quantités par des prix. Sur plus de cent mille références d'articles ou d'ouvrages d'économie théorique recensées de 1969 à 1989 par l'American Economic Association, aucune n'utilise le mot-clé « metrology », qui est cependant de plus en plus fréquent dans la presse d'actualités industrielles.

Pourtant la « métrologie » de Paucton, en 1780, comme d'ailleurs, dès 1585, l'arithmétique de Simon Stevin, traitait des « poids, mesures et monnaies ». Au siècle dernier, diverses tentatives furent faites pour soumettre l'utilité au calcul, ou appliquer à l'économie l'analyse dimensionnelle introduite en physique par Fourier.

Mais depuis 1890, les problèmes métrologiques ne furent plus guère étudiés que par des

mathématiciens et des physiciens. C'est ainsi que l'édition de 1987 du « New Palgrave Dictionary of Economics » reprend l'article sur les dimensions des grandeurs économiques écrit par P.H. Wickstead pour l'édition de 1894. La notion d'utilité avait alors été critiquée comme trop subjective pour permettre une mesure cardinale de la valeur, et l'école néoclassique s'est orientée, à partir de Marshall, vers une théorie de la demande reposant sur des éléments psychologiques difficilement observables : les ordres de préférence des consommateurs [DEBREU, 1966]. La notion d'utilité reparut en 1954, avec Savage, dans la théorie des choix, mais/sous la forme d'utilité attendue, associée à des probabilités subjectives et restant par conséquent non directement mesurable [SAVAGE, 1954] [FISHBURN, 1982].

Les premiers modèles théoriques élaborés à partir des ordres de préférence ou des utilités attendues ont conduit, à ta même époque, à de fâcheux paradoxes : ARROW a démontré l'impossibilité générale de construire une échelle de préférences collectives conforme aux préférences individuelles, et Allais l'existence de désaccords entre les hypothèses du « choix rationnel » et les comportements réels des agents économiques [ARROW, 1951] [ALLAIS, 1953]. Pour surmonter ces difficultés, une réflexion sur les problèmes de mesure a été entreprise depuis une vingtaine d'années, par des probabilistes comme Suppes et Luce, puis Narens, d'abord limitée aux sciences humaines, puis étendue à l'ensemble des sciences [NARENS, 1985] [SUPPES, 1981].

Une théorie générale du mesurage est donc en cours d'élaboration, appuyée sur une axiomatique rigoureuse. Elle devrait permettre de mieux décrire les étapes de la genèse des grandeurs de mesure, telles qu'elles s'observent en physique : description qualitative des phénomènes, indicateurs quantitatifs empiriques, lois empiriques, rattachement des lois empiriques au corpus théorique déjà constitué [MOLES, 1957] [DUPRAT, 1986]. Il serait dès lors possible de situer la science économique parmi les autres sciences, par le statut propre de ses grandeurs de mesure, et de formuler en termes métrologiques d'importants problèmes économiques actuels, tels que ceux posés par la mesure elle-même, par l'innovation et par l'information.

### *Des questions sans réponse*

L'existence en économie de fréquents recours empiriques à la mesure, en l'absence d'une réflexion métrologique capable d'éclairer la pratique, pose de multiples questions qui restent le plus souvent sans réponses. Certaines d'entre elles portent sur la définition même des grandeurs économiques, d'autres sur les erreurs de mesure qui les affectent.

En premier lieu, les valeurs sont observables lors des transactions. Leur expression monétaire comme produit d'une quantité par un prix suppose un préalable métrologique : le choix de l'unité de grandeur permettant de mesurer la quantité échangée et d'en définir le prix unitaire. De multiples difficultés pratiques en résultent : le choix d'unités pertinentes est parfois difficile dans le cas de biens matériels, et peut devenir impossible dans celui de biens non matériels ou de services [DUPRAT, 1988]. Certes les transactions restent possibles, mais c'est leur montant qui est négocié, au lieu de leur volume et d'un prix unitaire : les évaluations macro-économiques ultérieures de l'inflation et de la croissance en sont affectées, au risque d'erreurs de politique économique [RICHMAN, 1993].

En second lieu, l'expression monétaire des valeurs rend, sous certaines conditions, celles-ci additives et permet le recours aux procédures comptables, au niveau des entreprises d'abord, puis à celui des statistiques et des comptes de la nation. La rigueur arithmétique de ces procédures peut alors faire oublier l'existence des erreurs de mesure initiales : Borel, puis Bachelard ont fait remarquer que l'évaluation au centime près du prix d'un terrain à Paris, juridiquement nécessaire, exigerait la mesure de ses dimensions avec une exactitude irréalisable [BACHELARD, 1928]. Alors que dans la pratique scientifique et technique tout résultat de mesure est assorti d'une marge d'erreur et toute cote d'une tolérance, en économie l'exactitude comptable des valeurs dissimule leur approximation réelle [DUPRAT, 1986]. Le fait est tacitement admis dans la pratique industrielle et commerciale, mais il risque d'être négligé s'agissant d'information économique et sociale ou de comptabilité nationale [ARKHIPOFF, 1992].

On rencontre donc en science économique des difficultés métrologiques, qui rendent souhaitables des contacts plus fréquents entre chercheurs des deux disciplines. L'occasion devrait en être donnée par les travaux que justifie l'urgence actuelle de problèmes économiques nouveaux, et notamment celui posé par le rôle de la mesure ; ces travaux seront facilités par le développement de l'informatique.

## De nouveaux problèmes économiques

### *L'économie de la mesure*

Comment évaluer l'importance de la mesure dans l'économie ? Certains ont cité dans ce but le chiffre d'affaires de l'industrie des instruments de mesure. Or c'est là un indicateur du coût de la mesure pour l'économie, et non de sa valeur d'usage.

Il existe pourtant dans la pratique industrielle une forme spécifique de calcul économique, où sont mis en balance les avantages et les coûts d'un système de mesure, et qui peut être généralisée : c'est le contrôle de fabrication. Un exemple simple peut être trouvé dans le cas d'un contrôle destructif, impliquant un jugement sur échantillon.

L'acceptation ou le rejet d'un lot de pièces, comme conformes ou non aux spécifications contractuelles, à la suite du contrôle d'un échantillon, impliquent un double risque d'erreur :

- le risque d'acceptation d'un lot comme conforme alors qu'il est en réalité défectueux (risque  $\beta$  de l'acheteur),
- le risque de rejet d'un lot comme défectueux alors qu'il est en réalité conforme aux spécifications (risque  $\alpha$  du vendeur).

Aux risques  $\alpha$  et  $\beta$  correspondent des pertes évaluables, réparties entre le vendeur et l'acheteur selon des modalités contractuelles : indemnisation de l'utilisation d'articles défectueux ou remplacement de ceux-ci, coût de production des lots mis au rebut.

Or ces risques résultent des aléas d'échantillonnage et sont fonction du nombre d'unités contrôlées. Une augmentation de ce nombre réduit l'incertitude qui affecte les résultats du contrôle et, par suite, permet une diminution de la perte totale probable. Cette diminution mesure la valeur d'usage de l'information supplémentaire, à comparer au coût de l'extension du contrôle, ce qui permet de déterminer une taille optimale de l'échantillon [PAU, 1978].

Un résultat analogue peut être obtenu sans difficulté dans le cas plus général d'un contrôle de qualité comportant le recours à des instruments de mesure. L'information supplémentaire est alors obtenue grâce à l'utilisation d'instruments plus précis.

Il existe donc bien dans la pratique, depuis nombre d'années, un calcul économique où interviennent un coût et une valeur d'usage de l'information de mesure. Mais le rôle de l'instrumentation de mesure prend une importance nouvelle avec le développement de l'innovation technologique.

### *L'économie de l'innovation*

L'innovation est devenue l'un des principaux moyens de la concurrence entre les firmes, et fait l'objet d'un savoir-faire empirique en progrès rapide, hérité, nous l'avons dit, de l'ancienne pratique du devis par les ingénieurs.

La mise au point d'un bien nouveau consiste en effet, d'une part, à définir, grâce à l'étude de marché, les performances que la clientèle attend du produit proposé, ainsi que le prix qu'elle consentira pour les obtenir, et, d'autre part, à choisir, grâce à l'analyse de la valeur, les composants ou les procédés qui assureront au produit ses performances, au moindre coût. L'innovation de procédé relève évidemment d'une même démarche [DUPRAT, 1972],

Le rôle, devenu majeur, de l'innovation technologique, au sens de l'application systématique des possibilités nouvelles apportées par le progrès scientifique, donne à la mesure une importance accrue, en aggravant l'incertitude des transactions et en élevant le niveau scientifique du calcul du devis. La technologie, par l'évolution rapide des performances des produits, révèle la présence de deux problèmes distincts, souvent confondus lorsqu'on parle de « qualité des produits » : le niveau des performances demandées par l'acheteur et le respect par le vendeur des performances annoncées [DUPRAT, 1987].

Un double calcul, à la fois technique et économique, est donc nécessaire : il faut déterminer, pour l'ensemble des équipements, matériaux et façonnages utilisés, non seulement les spécifications, mais encore les tolérances à respecter pour obtenir au moindre coût les caractéristiques du produit final répondant aux exigences du client.

L'extension des contrôles à l'ensemble du processus de fabrication, par la multiplication des capteurs qui en résulte, fait désormais de l'information de mesure un facteur de production, à soumettre à un calcul économique. Or les méthodes d'un tel calcul sont encore mal définies.

### *L'économie de l'information*

Pour la plupart des économistes, la mesure n'est qu'un cas particulier du problème posé par l'information dans le monde moderne : la prise en compte du rôle croissant de celle-ci rend nécessaire sa propre mesure.

Une telle mesure a été proposée par Shannon, Von Neumann et Wiener dès 1947, sous une forme identique, au signe près, à l'entropie des physiciens [WIENER, 1948]. Le succès de la théorie de l'information s'est alors traduit par de multiples utilisations de l'entropie dans des domaines divers, sans qu'une synthèse claire en ait encore assuré la rigueur.

Pour les statisticiens, et pour nombre d'économistes, l'entropie est une caractéristique d'une distribution de probabilités, utilisable, comme d'autres, telles que la quantité d'information introduite par Fisher dès 1925, pour optimiser un algorithme d'estimation ou pour comparer des répartitions.

Pour les ingénieurs des télécommunications et les informaticiens, l'entropie reste surtout une mesure de l'encombrement en ligne d'un message, qui ne comporte pas d'indication sur sa signification, mais permet d'optimiser le débit d'une ligne ou une procédure de codage.

D'autres chercheurs, enfin, ont entrepris, avec des succès divers, d'utiliser l'entropie pour décrire des processus biologiques ou des phénomènes sociaux.

La difficulté majeure reste, semble-t-il, de savoir ce que mesure au juste l'entropie: Brillouin avait proposé, dès 1956, de l'interpréter comme mesure de l'incertitude. Mais il avait insisté sur le fait que nous définissons l'information indépendamment de la « connaissance », à laquelle nous ne pouvons attribuer de valeur « numérique » [BRILLOUIN, 1959].

Il existe cependant un type d'information qui fait exception à cette règle : les résultats de mesure. Le fait que la métrologie soit la science, à la fois, des grandeurs et des erreurs de mesure a pour conséquence l'existence de règles limitant aux seuls chiffres « significatifs » l'énoncé d'un résultat numérique, dans la pratique quotidienne des chercheurs et des ingénieurs [MULLER, 1979] [GIACOMO, 1983]. La longueur du « message » devient alors un indicateur de son exactitude. Dans le cas d'un résultat de mesure, l'entropie permet ainsi de mesurer l'incertitude qui, en entourant ce résultat, limite sa valeur de connaissance.

Cette possibilité avait été suggérée par Gabor et MacKay dès 1949 [MAC KAY, 1950], puis confirmée par Brillouin et d'autres physiciens français [VALLEE, 1955] ; elle a été utilisée par les métrologistes russes depuis une vingtaine d'années [KIRPATOVSII, 1974].

Dans le cas de la mesure d'une grandeur physique, l'usage, en métrologie, est en effet de caractériser l'incertitude d'un résultat par l'indication d'un écart-type, et d'admettre que la distribution des erreurs possibles obéit à une loi de Gauss. Or l'entropie d'une variable normale, de moyenne nulle et d'écart-type  $\sigma$ , est :

$$H = L \sigma + L(2\pi e)/2$$

Kirpatovskii a ainsi introduit les notions de « m-entropie » et de « m-information ». La m-information mI est la réduction d'incertitude apportée par une nouvelle mesure plus précise de la même grandeur G :

$$mI = mH_1 - mH_2 = \log_{10} (\sigma_1 / \sigma_2)$$

Le recours au logarithme décimal permet de retrouver les notions familières « d'ordre de grandeur » et de « chiffres significatifs ». En effet, on a :

$$mI = 1 \text{ lorsque } \sigma_2 = \sigma_1/10 \text{ et} \\ \log_{10} (G / \sigma_2) = \log_{10} (G / \sigma_1) + 1$$

Le problème initial de l'économie de la mesure s'est donc révélé inséparable de celui, plus vaste, de l'économie de l'innovation, mais il apparaît en revanche, distinct de celui de l'information en général, la connaissance apportée par la mesure ayant pour caractère spécifique d'être une connaissance mesurable, dont l'analyse économique devient possible.

### *Des solutions métrologiques*

Science des erreurs, la métrologie fournit donc, grâce à la notion d'entropie de mesure, une échelle générale permettant de décrire et de comparer le niveau et les progrès d'exactitude de la connaissance des grandeurs physiques, ainsi que les performances des instruments. Cet apport est le corollaire de son rôle, en tant que science des grandeurs, dans les formes de calcul économique les plus avancées mises en pratique en matière d'innovation industrielle, dans le champ d'application des sciences exactes.

L'espace de référence nécessaire à la représentation du choix des productions et à celle des transactions est en effet celui des caractéristiques techniques qui décrivent dans le détail les produits et les procédés. Ces caractéristiques sont de plus en plus souvent des grandeurs de mesure, soit encore empiriques, soit déjà reliées par des lois connues au noyau central des systèmes d'unités [DUPRAT, 1972]. La notion d'espace des caractéristiques commence seulement à être acceptée en théorie économique, grâce à Lancaster, alors qu'elle est depuis longtemps familière aux ingénieurs [BARFOD, 1936] [LANCASTER, 1966]. Or cette notion conditionne la formalisation de la valeur d'usage [DUPRAT, 1990 a].

Les savoirs scientifiques et les savoir-faire techniques déterminent des systèmes de relations au sein de cet espace, délimitant les possibilités pratiques de production, dont le choix obéit à des gradients de valeur : minimisation de coût sous contraintes de performances ou maximisation de performances sous contraintes de coût.

La structure de ces systèmes intervient à la fois dans le calcul, de proche en proche, à chaque étape du processus de production, des caractéristiques initiales en fonction des caractéristiques finales, et dans celui des tolérances correspondantes, compte-tenu, cette fois, du coût des garanties associées à ces tolérances. Elle donne naissance au graphe d'ordonnement de la production, mais aussi à « l'arbre de défaillances », qui permet le choix des points de contrôle des tolérances au sein du système de production.

La même démarche intellectuelle, faisant davantage appel à l'intuition qu'à la routine mathématique, s'applique lors de ce calcul des tolérances et dans la recherche scientifique : il s'agit en effet, d'une part, d'identifier les causes possibles de malfaçon au sein d'un procédé industriel, et d'autre part, d'identifier des variables encore cachées dans la description d'un phénomène [MULLER, 1979] [SUPPES, 1981]. Dans les deux cas, l'objet de l'analyse est une incertitude à réduire.

La métrologie intervient donc sous sa double forme de science des grandeurs et de science des erreurs de mesure, en tant que référentiel commun à l'industrie et la recherche : ce sont les mêmes grandeurs de mesure qui servent, en laboratoire, à observer un phénomène et à en établir les lois, et, en usine, à en contrôler l'utilisation ou à en limiter les effets [DUPRAT, 1972]. Ce rôle de la métrologie est d'une grande importance, à la fois théorique et pratique, en raison du fait nouveau que constitue l'informatique : les progrès de celle-ci permettent en effet d'en prévoir de multiples applications.

## Voies de recherche en métrologie économique

### *La mutation informatique*

Le développement de l'informatique a introduit dans la conservation et le traitement de l'information une mutation analogue à celles provoquées par l'invention de l'écriture et par celle de l'imprimerie : de même qu'il était devenu possible de fixer la parole et de la répéter à volonté, puis d'obtenir, grâce à une matrice unique, de nombreuses copies d'un manuscrit, de même toute information, numérique ou textuelle, une fois entrée en machine, peut être stockée, réutilisée, comparée à d'autres et diffusée presque sans limite [DUPRAT, 1991],

On peut dès maintenant prévoir deux conséquences :

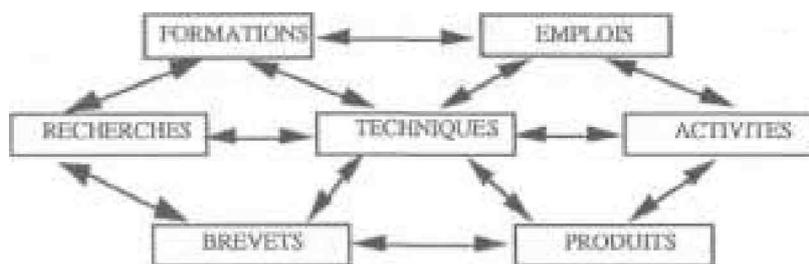
- un accroissement massif du volume de l'information disponible en ligne et de la possibilité matérielle de la traiter,
- l'apparition d'un nouveau goulot d'étranglement, dû au manque de moyens, conceptuels et logiciels, de faire face à cette « inflation » documentaire.

Ces deux phénomènes prennent une importance particulière au sein du « système d'information technologique », dans le champ des sciences exactes et de leurs applications, champ qui est celui de la mesure. L'imbrication étroite de celle-ci et de l'informatique devrait ainsi conduire à de rapides développements dans deux voies :

- dans la pratique économique, grâce à de nouveaux instruments d'observation, d'analyse et de prévision, en matière de recherche scientifique, d'innovation industrielle et d'activité commerciale,
- dans la théorie économique, par un renouvellement de ses concepts et de ses méthodes, portant, d'une part, sur la spécificité des grandeurs et, d'autre part, sur les causes et les formes de l'incertitude en économie.

### *Le système d'information technologique*

Transformation de progrès scientifiques en innovations industrielles, la technologie est un fait de communication plus encore que d'échange. Elle met en jeu un réseau spécifique d'information, qui relie le savoir scientifique et technique à la pratique industrielle et commerciale, et dont la figure 1 donne une image simplifiée [DUPRAT, 1972].



(Les flèches représentent des flux d'information)

Figure 1 : Le système d'information technologique.

La prévision et l'évaluation technologiques, la politique de la recherche et le choix des stratégies industrielles exigent une connaissance détaillée et une analyse méthodique de ce système d'information technologique, siège des interactions entre les sciences et les techniques, d'une part, et les procédés ou les produits offerts sur le marché, d'autre part. Née des sous-produits de l'informatique documentaire, la scientométrie s'est efforcée d'y parvenir par des méthodes « lexicales » : graphes de citations ou d'associations de mots [GARFIELD, 1979]. Les résultats sont restés jusqu'ici limités par divers obstacles, matériels ou méthodologiques :

- le coût de la saisie informatique des données, souvent réduites encore à des références bibliographiques,
- la diversité des langues nationales et des vocabulaires spécialisés,
- le caractère qualitatif des données, et notamment l'absence de dimensions économiques, faute de prise en compte de l'information industrielle et commerciale.

Ces obstacles sont appelés à disparaître :

- une part rapidement croissante de l'information primaire, aussi bien scientifique et technique qu'industrielle et commerciale, devient accessible, soit par serveur, soit sur disquette ou disque compact,
- de nouveaux logiciels de traitement des données deviennent réalisables, grâce au rôle des grandeurs de mesure, tandis que la théorie des erreurs de mesure permet d'introduire dans le calcul économique une mesure de la réduction d'incertitude.

Les possibilités nouvelles qui en résultent pour les choix stratégiques des entreprises, comme pour ceux des administrations de tutelle, dépendent de la nature des informations disponibles.

### *De nouveaux outils de stratégie industrielle*

Dans les entreprises, la pratique industrielle et commerciale devrait être modifiée à brève échéance, grâce à l'archivage des données sur les caractéristiques des produits, données captées lors du contrôle de qualité, d'une part, et enregistrées lors des transactions, d'autre part. Ce double archivage, irréalisable en général jusqu'ici, permettra d'associer étroitement à la conception et à la fabrication des produits une information technique détaillée issue du service après-vente. L'aptitude à en tirer parti jouera certainement à l'avenir un rôle essentiel dans la concurrence entre firmes.

De tels « gisements de données » seront tenus pour confidentiels par les entreprises, et d'un accès difficile pour les responsables de la politique économique. En contre-partie, ils ne suffiront pas pour permettre à chaque entreprise de se situer parmi ses concurrentes ; d'autres informations sont nécessaires, pour étendre au changement technologique les fonctions de veille qualitative et de « cadrage » quantitatif, nécessaires à des fins de stratégie industrielle et commerciale, et remplies, en principe, jusqu'ici par les statistiques industrielles et la comptabilité nationale.

Cette fonction nouvelle de veille technologique est surtout assurée, actuellement, par l'information apportée par les dépôts de brevets, notamment à l'aide des méthodes lexicales déjà évoquées. Le repérage dans un même espace de référence, grâce au langage commun des grandeurs de mesure, des lois physiques, des procédés techniques et des produits industriels devrait conduire, dans le champ des sciences exactes et de leurs applications, au développement d'une « heuristique appliquée », permettant d'identifier des thèmes de recherche situés en amont d'une pratique industrielle donnée, ou des possibilités d'application d'un résultat de recherche. De telles procédures semblent déjà utilisées dans certains systèmes-experts.

### *De nouveaux instruments de politique économique*

D'autre part, l'existence d'une mesure de l'information de mesure a d'importantes conséquences en économie : elle permet de définir une « valeur de connaissance » d'un résultat scientifique. On peut en attendre le perfectionnement des méthodes d'évaluation des conséquences économiques d'un résultat de recherche, et le développement d'une économétrie de la recherche et de la technologie [DUPRAT, 1990a].

Elle devrait en effet permettre une description, en termes physiques et en valeur, des progrès scientifiques et techniques, sous la forme de séries retraçant :

- les réductions successives d'incertitude dans la connaissance de constantes physiques et leur coût,
- les gains d'exactitude des instruments de mesure et leur prix,
- les gains de performances et les réductions de tolérances, dans l'industrie, et leur coût.

La Figure 2 montre, à titre d'exemple, les progrès de la connaissance de quatre constantes universelles, de 1929 à 1987. La figure 3 retrace l'évolution, en francs actuels, du coût de la précision des balances de laboratoire depuis le début du siècle.

La constitution de bases de données rassemblant de telles séries a déjà commencé dans certains bureaux d'études, afin d'évaluer la « valeur technologique » de travaux de laboratoire. Ces bases de données seront à brève échéance des atouts stratégiques en politique scientifique et industrielle, pour les nations comme pour les entreprises [AYRES, 1969] [TRIPLETT, 1985], Elles sont notamment nécessaires au suivi à prix constants des dépenses de recherche et à l'insertion de la technologie dans les statistiques industrielles et la comptabilité nationale [DUPRAT, 1990b].

L'élaboration des séries rétrospectives nécessaires à toute prévision se heurte malheureusement à de grandes difficultés. S'il est relativement facile de retracer les progrès dans la connaissance des constantes physiques, du moins depuis un siècle, grâce aux publications et aux appareils qui ont été conservés, les indications sur les coûts de la recherche ne sont que fragmentaires. En matière industrielle, il est le plus souvent impossible de reconstituer des séries longues sur les caractéristiques techniques et les prix des procédés et des produits, faute d'un archivage suffisant, jusqu'ici, de l'information industrielle et commerciale : catalogues et tarifs sont rarement conservés dans les entreprises, et les archives de celles-ci disparaissent en cas d'absorption ou de faillite.

La collecte des données de base est donc un travail de longue haleine, dont l'utilité ne peut apparaître qu'à terme. Le handicap des entreprises ou des nations qui l'auront commencé trop tard risque d'être définitif.

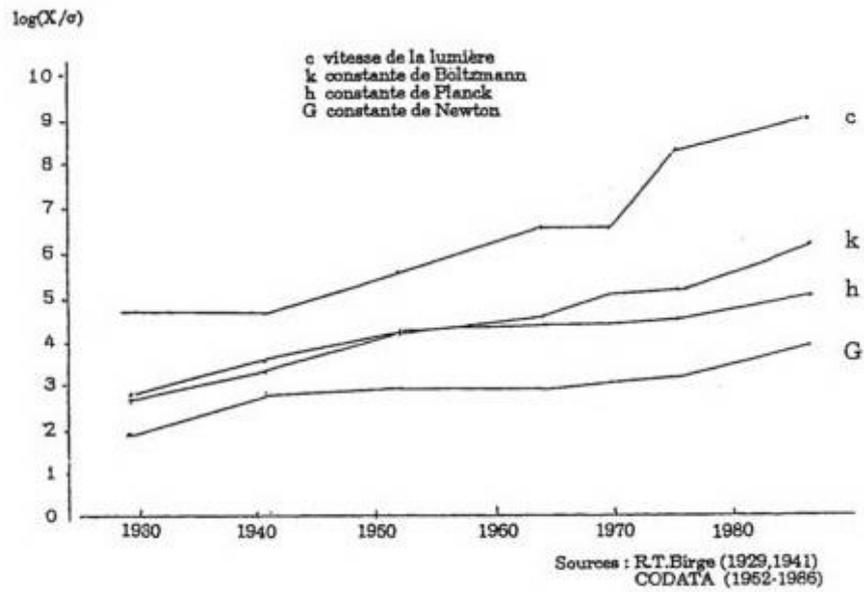


Figure 2 : Progrès dans la connaissance des constantes universelles.

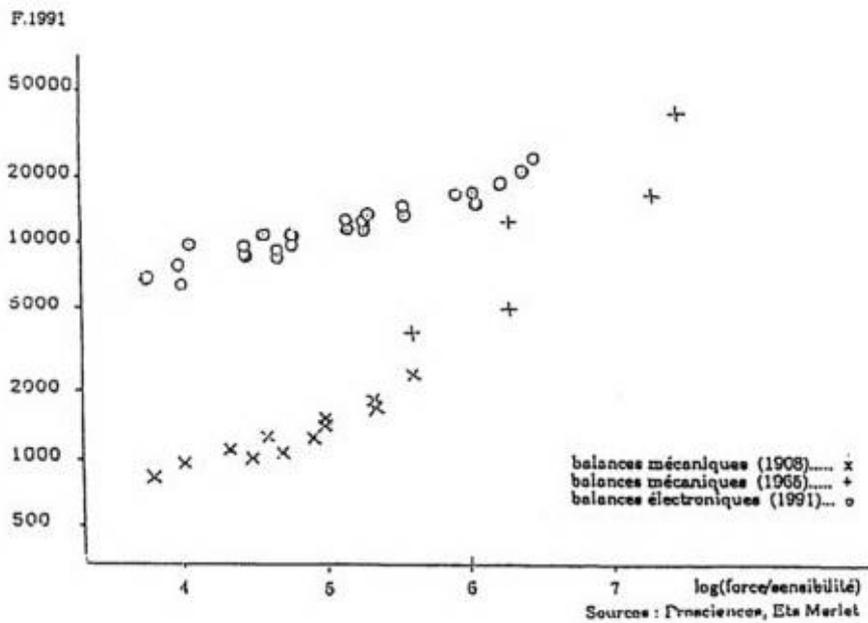


Figure 3 : Coût de la précision des balances de laboratoire.

## *Des grandeurs spécifiques : monnaies, prix, valeurs*

Dès son origine, la métrologie fut, on le sait, économique, et traita de monnaie, en même temps que de poids et mesures. La science économique, elle, traite des valeurs. Mais celles-ci apparaissent dans la pratique des transactions, faits générateurs de l'activité économique, sous la forme de produits de quantités par des prix, associant ainsi à des grandeurs physiques diverses, une même « unité de compte » monétaire : c'est la condition de l'additivité des valeurs et de l'existence des écritures comptables.

Il existe donc trois sortes de grandeurs spécifiques de l'économie : les monnaies, les prix et les valeurs. La monnaie servant d'étalon fondamental, les prix jouent le rôle de grandeurs expérimentales, à l'interface que constitue le « voile de la monnaie » entre les quantités physiques et les valeurs économiques.

Dans les sciences exactes, la dynamique métrologique traduit le progrès dans la connaissance des lois physiques par des mesures sans cesse plus nombreuses, plus précises et plus cohérentes. De même, la dynamique économique, par la différenciation des produits et la segmentation des marchés, fait apparaître les grandeurs nouvelles que sont les prix des biens et services nouveaux. Le phénomène dont la « loi » définit la grandeur nouvelle est le mécanisme même de formation des prix sur le marché spécifique concerné par le bien nouveau. Le prix de celui-ci est alors une fonction empiriquement observable de ses caractéristiques, qui sont, pour la plupart, des grandeurs physiques [DUPRAT, 1987],

Les valeurs monétaires sont ensuite des grandeurs dérivées, construites de proche en proche, à partir des transactions de base, au travers des opérations financières et des procédures comptables, sans qu'elles puissent, en toute rigueur, s'exprimer en termes de prix et de quantités. Il en est de même, a fortiori, des valeurs agrégées de la comptabilité nationale. L'erreur est cependant fréquente de raisonner sur le Produit National Brut comme s'il s'agissait d'un « produit » [DUPRAT, 1986].

Or seules les grandeurs agrégées ont pu jusqu'ici faire l'objet de l'observation statistique et de l'analyse économétrique. L'informatisation des transactions, au sein des entreprises, ouvre un champ nouveau à la science économique, par un changement d'échelle de l'observation. Ce changement d'échelle permet d'établir un parallèle entre grandeurs physiques et grandeurs économiques et d'examiner le statut des erreurs de mesure en économie.

## *Les formes de l'incertitude en économie*

La notion d'erreur de mesure devient, en économie, celle d'incertitude affectant la connaissance des valeurs prises en compte dans les choix des agents. Quelles sont donc les formes et les conséquences de cette incertitude ?

Nous avons l'expérience directe du niveau macroscopique en physique et du « niveau quantique » en économie. En physique, le niveau quantique est celui où les images familières deviennent trompeuses : ondes et corpuscules, modèle « planétaire » de l'atome, etc. A l'inverse, en économie, ce sont les quantités globales que leur abstraction rend étrangères à l'intuition et à l'expérience.

Cela signifie que les seules bases solides de la connaissance en économie proviennent de l'étude des comportements micro-économiques. Le modèle de la théorie classique repose sur le postulat d'un « homo oeconomicus » rigoureusement rationnel et parfaitement informé, qui correspond par hypothèse au comportement typique, tout comportement atypique étant assimilé à une erreur. Une « main invisible » assurerait alors la convergence de l'ensemble vers un équilibre unique et stable [DEBREU, 1966]. Or la réalité est très différente de ce modèle formel de petits écarts aléatoires indépendants, centrés sur une valeur unique. L'incertitude rencontrée lors des transactions est d'une extrême généralité, engendrant un foisonnement d'alternatives. Le choix économique implique, en effet, un arbitrage entre l'utilité espérée et la gravité du risque,

toutes deux perçues de façon approximative [SUPPES, 1981]. Les avis diffèrent sur ce qu'est un choix « satisfaisant », selon la diversité des caractères, de l'expérience et des situations [SIMON, 1982]. Dans la pratique économique coexistent la peur et le goût du risque, la confiance et la méfiance, l'entente et le conflit, l'invention et l'imitation, le monopole et la concurrence, etc.

De plus, l'incertitude s'accroît avec le niveau d'agrégation : à mesure que ce niveau s'élève, les agrégats dont traite la science économique deviennent moins homogènes, donc moins pertinents et moins intelligibles, quelle que soit leur précision comptable [DUPRAT, 1987]. La connaissance de l'économiste est ainsi moins exacte que celle du commerçant, tandis que celle du physicien l'est plus que celle de l'industriel. Enfin, toute prévision peut, aussi bien, provoquer sa propre réalisation que son propre démenti : le statisticien ne peut compter sur « les grands nombres » que si les erreurs sont indépendantes, et la mise en évidence d'une « loi » économique est un événement nouveau qui modifie le contexte du comportement des agents et remet en cause la loi elle-même [MOLES, 1990].

Il existe donc probablement en économie un « chaos » intrinsèque, assez analogue à celui découvert en météorologie et dans quelques autres domaines [MANDELROT, 1973]. La prévision économique ne paraît possible que lorsque l'inertie des choses et la lenteur des changements introduisent des constantes de temps suffisantes : le temps qu'il faut pour laisser pousser un arbre, apprendre un métier, rembourser une dette, constituer une clientèle, etc. Il se forme alors des équilibres locaux et temporaires au sein d'un monde qui change.

## Conclusion : les enjeux de la métrologie économique et la responsabilité des économistes

On observe donc bien entre l'économie et la métrologie de multiples points de rencontre, qui se trouvent correspondre à des problèmes majeurs du monde moderne : ceux que posent l'accélération du changement technologique et les nouvelles formes de la concurrence. Pourquoi ces deux disciplines restent-elles séparées ?

En physique, les grandeurs de mesure sont le langage de la science déjà faite, celle qui se voit de l'extérieur, parce qu'on l'enseigne ou la vulgarise, tandis que les erreurs sont l'objet de la science qui se fait, et qui n'est vécue que par les chercheurs. En économie, les grandeurs agrégées apparaissent en tant que résultats, à travers les données comptables ou l'information statistique, tandis que l'incertitude, qui affecte toute décision, n'est perceptible qu'au décideur lui-même et ne laisse pas de trace observable.

Ayant pris les sciences physiques pour modèle épistémologique et manquant parfois d'expérience pratique, les économistes ont, en majorité, sous-estimé le rôle de l'incertitude et développé une théorie économique où elle n'a pas la place qu'elle occupe dans l'économie réelle.

L'évolution rapide des pratiques industrielles nécessite donc une mutation profonde de la science économique, pour que le changement technique et l'incertitude ne soient plus traités comme des difficultés marginales de la théorie de l'équilibre général. Mais la lenteur habituelle des révolutions scientifiques fait craindre un retard croissant de la théorie sur la pratique, au bénéfice des entreprises ou des nations qui disposeront les premières des savoir-faire nécessaires à la conduite du développement.

La responsabilité des économistes, parfois tentés, comme les autres, par l'illusion d'une science achevée, semble dès lors engagée : s'il existe une « technologie » prolongeant la science économique, comment l'évaluer ? Les exemples sont rares de nations qui auraient dû leur prospérité à des progrès de la théorie économique. Les responsabilités des physiciens ou des biologistes ont déjà été mises en cause. Les économistes seront-ils épargnés ?

## Bibliographie

- ALLAIS M., 1953. « *Le comportement de l'homme rationnel devant le risque : critique des postulats et axiomes de l'école américaine* », *Econometrica* 21, 503-46.
- ARKHIPOFF O., 1992. « *Comment et pourquoi mesurer la précision de l'information économique et sociale* ». *Revue d'Économie Politique*, 102(2) : 229-48,
- ARROW K., 1951. « *Social Choice and Individual Values* ». Wiley, New-York.
- AYRES R.U., 1969, « *Technology forecasting and long-range planning* », McGraw-Hill, New-York.
- BACHELARD G., 1928. « *Essai sur la connaissance approchée* », Vrin. Paris.
- BARFOD B., 1936, cité par S. DANO (1966). « *Industrial production models* », Springer-Verlag New-York Inc, (pp. 138sq).
- BOUZTTAT J., 1989. « *Théorie des jeux* » (article), Encyclopaedia Universalis, volume IX, Paris.
- BRILLOUIN L., 1959. « *La science et la théorie de l'information* », Masson, Paris.
- DEBREU G., 1966. « *Théorie de la valeur* », (éd.fr.) Dunod, Paris.
- DUPRAT H., 1972. « *Conditions linguistiques du transfert technologique* », *Automatisme* LXVII (11) : 337-46, Dunod, Paris.
- DUPRAT H., 1986. « *Comptabilité nationale et métrologie* », Études de comptabilité nationale. Archambault E. et Arkhipoff O. éd., Economica, Paris.
- DUPRAT H., 1987. « *La métrologie, outil de gestion de la technologie* », *Qualité des informations scientifiques en gestion* (68-81). ISEOR-FNEGE, Paris.
- DUPRAT H., 1988. « *Déflateurs et technologie : le cas du prix des ordinateurs aux Etats-Unis* ». Les nouveaux aspects de la comptabilité nationale. Archambault E. et Arkhipoff O. éd., Economica, Paris
- DUPRAT H., 1990a. « *Science des mesures et mesure des sciences* », *Journal de la Société de Statistique de Paris*, 131 (2) : 79-97.
- DUPRAT H., 1990b. « *Éléments pour un compte satellite de la technologie* », *La comptabilité nationale face au défi international*. Archambault E. et Arkhipoff O. éd., Economica, Paris.
- FISHBURN P.C., 1982. « *The foundations of expected utility* », Reidel, Dordrecht
- GARFIELD E., 1979. « *Citation indexing* », John Wiley and Sons, New-York,
- GIACOMO P., 1983. « *La métrologie, langage universel* », *Culture technique*, n°9.
- GUILBAUD G.Th., 1985. « *Leçons d'à peu près* », Ch. Bourgois, Paris
- KIRPATOVSKII S.I., 1974. « *Principles of the information theory of measurements* », *Measurement Techniques* (tr. du russe). 17 (5) : 655-9.
- LANCASTER K.J., 1966. « *A new approach to consumer theory* », *Journal of Political Economy*, 74 (2) : 132-57.
- MAC KAY D.M., 1950. « *Quantal aspects of scientific information* », *Philosophical Magazine* 7 (41) : 289-311.
- MANDELBROT B., 1973. « *Formes nouvelles du hasard dans les sciences* », et alia, *Economie appliquée*, 26. 307-365.
- MOLES A.A., 1957. « *La création scientifique* ». Kister, Genève.
- MOLES A.A., 1990. « *Les sciences de l'imprécis* », Ed. du Seuil, Paris.
- MULLER J.W., 1979. « *Second thoughts on error statements* ». *Nuclear Instruments and Methods*, 163, 241-51.
- NARENS L., 1985. « *Abstract measurement theory* », Cambridge MIT Press.
- PAU L.F., 1978. « *Contrôle statistique de qualité pour l'instrumentation* », Ed. Chiron, Paris.
- RICHMAN L.S., 1993. « *Why the Economic Data mislead U.S.* ». *Fortune*, March 8.
- SAVAGE J.L., 1954. « *The Foundations of Statistics* ». John Wiley, New-York.
- SIMON H., 1982. « *Models of bounded rationality* », Cambridge M.I.T. Press.
- SUPPES R., 1981. « *Logique du probable* » (trad.fr.), Flammarion, Paris.
- TRIPLETT J., 1985. « *Measuring technological change with characteristics-space techniques* », *Technological Forecasting and Social Change*, 27 (2-3) : 283-308.
- VALLEE R., 1955. « *Remarques sur la théorie macroscopique de l'observation* ». *Actes des journées d'étude. Mesure et connaissance*. *Revue de Métrologie Pratique et Légale* (hors série).
- VERIN H., 1993. « *La gloire des ingénieurs : l'intelligence technique du XVIème au XVIIIème siècle* ». Albin Michel, Paris.
- WIENER N., 1948. « *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine* ». Hermann et cie, Paris.