

# Deux exemples de coopération entre économistes et ingénieurs du Cemagref

ARTICLE

JEAN-PHILIPPE TERREAUX

L'objectif de cet article est de montrer à partir de deux exemples quels sont les intérêts d'une collaboration au sein de l'établissement de recherche appliquée qu'est le Cemagref, entre les ingénieurs et les économistes.

En effet, même dans un organisme de recherche appliquée, l'économie ne peut plus se réduire au classique calcul de fin de projet, à savoir à un simple calcul de rentabilité, voire à une étude de marché faite à l'aval d'une innovation, travail réalisé avec d'autres scientifiques de l'établissement. L'économie est désormais capable de créer sa place en tant que discipline à part entière dans un tel organisme. D'ailleurs, dans un futur proche, l'économie travaillant de conserve avec d'autres secteurs scientifiques pourrait être à l'origine d'avancées significatives pour l'amélioration du bien-être de la société.

La ressource en eau, qui sera une des contraintes fortes au développement de nombreuses sociétés au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, constitue un exemple frappant d'un domaine dans lequel économistes et ingénieurs travaillent désormais ensemble. En effet, un consensus se dégage sur le fait que l'amélioration du bien-être de tous passera à l'avenir par une meilleure allocation de ce bien, et non plus tellement par la création de nouveaux équipements (barrages, canaux, etc.), comme ce fut le cas dans le passé. C'est l'objet même de l'économie, nous le verrons, de créer et de mettre en œuvre des outils pour résoudre ce type de problème.

Les risques naturels sont un autre champ d'application dans lequel l'économie a désormais un rôle de premier plan à jouer, que ce soit ou non en synergie avec l'ingénierie. Deux grandes questions y sont d'actualité : en premier lieu, quel budget est à consacrer à la prévention des risques naturels, et à budget donné, quelles sont les allocations efficaces des ressources ? En second lieu, quels sont les différents mécanismes d'assurances et leurs effets sur les décisions publiques et privées ?

Ce travail ne repose que sur l'examen de deux exemples, et il serait bien sûr risqué de généraliser ce qui est décrit ici, bien que d'autres collaborations entre économistes et ingénieurs auraient pu être étudiées : par exemple les travaux relatifs aux pollutions agricoles diffuses, aux déchets ménagers ou plus généralement aux équipements publics. Les recherches actuelles dans les deux domaines que sont l'économie et les sciences de l'ingénieur sont suffisamment fructueuses et foisonnantes, pour que les interactions entre les deux domaines, elles-aussi, connaissent des évolutions rapides.

## Économie et hydraulique

Le premier exemple de travaux concerne la gestion de l'eau d'irrigation pour laquelle on cherche à prolonger les principes standards de gestion de cette ressource,

dans le cas où il existe des retards entre les actions de l'homme et une partie de leurs effets sur l'état du système. Ce problème intéresse les ingénieurs qui conçoivent les outils de régulation des canaux. Pour eux l'objectif est d'atteindre un certain débit à différents points du canal. Le retard, par exemple entre l'ouverture d'une vanne et son effet sur le débit à l'aval, dû à la lenteur de l'écoulement de l'eau, peut créer des phénomènes de battements (ouverture et fermeture saccadées des vannes) susceptibles d'endommager ces installations. De plus, les ingénieurs recherchent des commandes dites robustes, c'est-à-dire qu'elles ne doivent pas trop dépendre des incertitudes qui subsistent nécessairement sur le modèle (en général linéaire) du procédé qu'il contrôle, ou des incertitudes sur le comportement des actionneurs et des capteurs (Litrico, 1999).

Les problèmes de retard intéressent aussi les économistes qui travaillent sur la ressource en eau. Par exemple, les décisions de pompage dans une nappe souterraine permettent une valorisation immédiate de l'eau, mais ont des effets à long terme sur la nappe, et certains de ces effets n'apparaissent qu'après un certain laps de temps. La gestion des nappes d'eau souterraines est largement reconnue (voir par exemple Seckler et al., 1999) comme un des défis les plus importants à relever pour de nombreux pays, notamment les plus peuplés de la planète (Chine, Inde, Pakistan, mais aussi Mexique et pratiquement tous les pays

Jean-Philippe Terreaux  
UMR Lameta  
et Cemagref,  
Montpellier

jean-philippe.terreaux@cemagref.fr

### Abstract – Two examples of economist and engineer cooperation

We analyse the cooperative aspects of two projects carried out by economists and engineers within an applied research institute Cemagref. The first one involves both the research field and mathematical tools, the second one only the research field. In the case of water resource management, hydraulicians and economists are all concerned with the issue of time delay between the control variables and some of their effects on the state variables. One of the important current issues for the economists is to determine when the optimal exploitation of a renewable resource is sustainable, and in particular to work on the problem of the fall of the ground-water table in many of the most populated countries of the world. For hydraulicians time delay is a major concern when designing robust and stable control systems for irrigation canals. Both work for a better use of water resource in irrigation systems. The second research field consists of natural hazard management, a field for which economists still lack a comprehensive corpus of results. This makes a pluridisciplinary approach more difficult to implement. The undoubted benefit that society as a whole would reap from a greater cooperation between engineers and economists, and its potential contribution to the improvement of economics and engineering, should encourage further pluridisciplinary projects.

du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord). Les modèles des économistes se forment toutefois différemment de ceux des ingénieurs, car pour les premiers l'objectif est de maximiser la valeur actualisée des bénéfices futurs, alors que pour les seconds il s'agit de « s'approcher » au mieux d'un objectif prédéfini, le plus souvent formalisé comme une « fonction d'objectif ».

Les points communs concernent la mise en œuvre d'outils mathématiques permettant de résoudre ces difficultés : en effet la présence d'un retard dans la dynamique ne permet pas d'utiliser simplement les résultats obtenus à partir des hypothèses markoviennes classiques (à savoir que le futur de la trajectoire optimale ne dépend que de l'état présent du système et non pas des états antérieurs : dans le cas de la présence de retards, des effets à long terme peuvent n'être pas encore apparus). Alors les outils traditionnels du contrôle optimal, qu'ils soient déterministes ou encore stochastiques, ne permettent plus de trouver la solution recherchée. On a ainsi pu montrer sur un exemple simple qu'une politique optimale, bien que durable, peut conduire à un régime cyclique dans le cas de la présence de retards, ce qui signifie que la stabilité ou la constance des contrôles ne sont pas nécessairement à rechercher dans ce cadre plus large. Cela oblige à redéfinir les notions de durabilité et de viabilité.

Les collaborations s'effectuent en conséquence à deux niveaux : d'une part l'application concerne dans les deux cas les systèmes irrigués ; d'autre part, les outils développés sur le plan mathématique sont suffisamment voisins pour que des synergies puissent être trouvées<sup>1</sup>. Une expression mathématique commune des problèmes traités est même possible.

Mais il est clair que l'on n'obtiendra pas, dans un premier temps tout au moins, une sorte d'outil intégrant à la fois l'économie et l'hydraulique : les pas de temps considérés sont trop différents pour la plupart des problèmes abordés (de l'ordre d'une journée en hydraulique, d'une année en économie).

Cela n'empêche pas de rechercher des terrains d'application communs, les économistes travaillant alors sur la gestion « stratégique », c'est-à-dire à long terme, de la ressource, et les hydrauliciens sur la gestion « tactique ».

## Économie et risques naturels

Les collaborations entre économistes et ingénieurs spécialistes des risques naturels sont elles aussi riches d'enseignement. Dans un premier temps, l'économiste n'était sollicité qu'en tant que conseiller pour aider à choisir entre différentes options techniques que l'ingénieur est à même de réaliser, éventuellement pour évaluer les coûts de protection/prévention ou les coûts des dommages (*ex-ante* ou *ex-post*).

L'idée sous-jacente des ingénieurs était en fait que l'économiste dispose de méthodes polyvalentes qu'il suffit d'appliquer aux problèmes rencontrés, par exemple la définition de mesures de protection contre les risques d'inondation en plaine ou à proximité de torrents. En fait, la théorie économique se nourrit pour une grande part des difficultés rencontrées dans ses différents domaines d'application (*encadré 1*). Dans le cadre des risques naturels, beaucoup de résultats restent encore à obtenir. En effet, une des particularités de ces risques est qu'en général, ils correspondent

### Encadré 1. Pourquoi s'intéresser à une économie théorique ?

La réponse essentielle est apportée par Allais (1989) : « Sans théorie, la connaissance reste inéluctablement confuse, et un amoncellement de faits ne constitue qu'un ensemble chaotique et inévitablement incompréhensible. » On complètera cette motivation première par quelques exemples de l'utilité sociale d'un développement de la science économique (Varian, 1993 ; Krugman, 1996) :

- Un empirisme naïf (au sens où il n'y a pas de théorie sous-jacente) peut simplement décrire ce qui est arrivé par le passé. C'est seulement la théorie, c'est-à-dire le modèle sous-jacent qui nous permet d'extrapoler.
- La théorie économique nous indique quels sont les paramètres essentiels à la prise de décision et comment les mesurer. La théorie permet d'améliorer notre discernement, notre compréhension des phénomènes observés, même si elle repose sur des hypothèses très simplificatrices. Elle permet de décrire les facteurs essentiels qui conduisent à tel ou tel état. La théorie peut se substituer dans certains cas aux données, en aidant à discerner l'essentiel, dans la richesse du monde réel.
- Bien entendu la réciproque est parfois vraie et les données peuvent se substituer à la théorie, ou plus souvent l'illustrer. Cela nécessite toutefois d'avoir l'appareillage indispensable pour interpréter les données (statistiques et économétriques en particulier).
- La théorie permet de créer des liens entre des problèmes apparemment disparates, ou inversement de séparer des problèmes apparemment similaires.
- Elle conduit à des méthodes de résolution de problèmes, en particulier pour les plus complexes d'entre eux. On peut citer l'organisation des marchés (cf. la théorie des enchères), ou lorsqu'il n'y a pas de marché, les problèmes créés par les différentes méthodes d'allocation et aussi d'évaluation des biens.
- La théorie économique nous permet de mieux mesurer les bénéfices et les coûts des choix possibles ou réalisés.
- Ainsi la construction de modèles même simples permet d'éviter de tomber dans des raisonnements encore plus simplistes, ignorant par exemple les notions d'équilibre ou fondés sur des analogies abusives. De plus, comme l'indique Krugman (1996) de simples modèles permettent de suggérer des solutions efficaces, surtout lorsque la réalité ainsi décrite paraît étonnamment complexe.

Enfin, la théorie permet aux uns de construire sur le travail des autres, et elle conduit à la mise en cohérence avec d'autres sciences, source de synergies.

<sup>1</sup> Les travaux sont réalisés par des chercheurs montpelliérains travaillant sur l'irrigation (en économie et en hydraulique) au Cemagref, ainsi que des économistes de l'UMR Lameta et des mathématiciens de l'Inra-biométrie et de l'université de Montpellier-II. À terme, cet ensemble devrait se renforcer de spécialistes de la théorie de la viabilité ainsi que de chercheurs de l'Inria.

à des phénomènes de faible probabilité (en général seulement, car en particulier il existe des communes qui font presque chaque année une déclaration de catastrophe naturelle, mais à la lecture de ce qui suit on comprend vite pourquoi), mais aux conséquences importantes, voire dramatiques, lorsque des vies humaines sont en cause. Aussi les méthodes classiques de gestion des risques, dont l'essentiel a été développé dans d'autres cadres, ne peuvent s'appliquer simplement.

De plus, la difficulté d'intégrer dans les décisions, d'une part les risques encourus par les personnes, et, d'autre part, les problèmes éthiques que cela soulève, reste essentielle. Comment sont perçus les risques de ce type par les agents ? Comment peuvent intervenir les assurances ? etc<sup>2</sup>. De plus, surviennent souvent des problèmes de définition de l'échelle à laquelle on doit comptabiliser coûts et bénéfices. Par exemple, la

reconstruction d'une zone détruite peut accroître les activités d'une zone adjacente. Le résultat attendu dépend ainsi étroitement de la définition de l'agent économique considéré. Il nécessite aussi de bien définir les fins poursuivies par ces agents en tant que tels, ainsi que les effets d'agrégations des objectifs des sous-ensembles qui les composent (Mongin, 1994). Ces questions constituent souvent un préalable à toute analyse économique suffisamment fine pour apporter des réponses pertinentes.

Enfin, le système d'assurance des risques naturels actuellement en vigueur en France est un cas unique à notre connaissance dans la communauté internationale, pour les particuliers (paiement d'une « surprime » sur les contrats d'assurance des immeubles et des véhicules, non modulée en fonction du risque encouru, assurance obligatoire qui ne peut être complétée par des

## Encadré 2. La rationalité des agents économiques

C'est un des postulats (avec sur un autre plan, le concept d'équilibre) sur lequel reposent la quasi-totalité des résultats en économie. Comme il est souvent remis en cause, et indirectement tout raisonnement en économie, partant tout apport possible des économistes aux ingénieurs, il est nécessaire de tenter de décrire ce qu'il représente.

L'hypothèse de rationalité indique simplement que les choix des agents peuvent s'interpréter comme la solution d'un problème d'optimisation. Cela ne veut pas dire que les agents résolvent en toute conscience un problème d'optimisation, éventuellement stochastique ! Leur action n'est pas nécessairement la conséquence de longues, ou mêmes courtes, réflexions. Elle peut être la suite de routines, de traditions, de processus d'apprentissage etc. (Börgers, 1996). Tout ce qui importe est que leur action soit effectivement optimale, ou maximale en un sens à définir (voir à ce sujet Sen, 1997). De même que les exemples bien connus de la forme de bulles de savon ou de la disposition de feuilles sur les arbres peuvent être interprétés comme la solution de problème d'optimisation, on n'en déduit pas un processus de réflexion intense chez ces objets. Mais si toutes les bulles de savon « maximisent » la même fonction, il ne peut pas en être dit autant de tous les agents économiques.

On citera sur ce point M. Petit (1981) : « Depuis que les agronomes existent en tant que tels, c'est-à-dire depuis le siècle dernier, ils se sont comportés en missionnaires dans les campagnes du progrès scientifique considéré d'ailleurs comme synonyme de progrès tout court [...]. Or l'hypothèse de rationalité implique que les agriculteurs "ont de bonnes raisons de faire ce qu'ils font". Comprendre ces raisons devient alors la première tâche de qui veut aider les agriculteurs. » Weber (1922) désignait par « rationalité instrumentale » cette notion de sens commun : un individu fait un choix naturel s'il conforme les moyens dont il dispose à ses fins ou à ses objectifs. Cette rationalité instrumentale s'oppose non seulement aux types non-rationnels (« affectifs », « traditionnels »), mais aussi à la rationalité « en valeur » (Mongin, 1994) qui consiste à conformer son action à des normes indépendantes de considérations d'opportunité. On définit aussi la « rationalité cognitive » comme l'adéquation des croyances ou des représentations aux informations disponibles. Elle peut être différente de la rationalité instrumentale, mais pas nécessairement, surtout dans le cas de modèles qui intègrent les coûts d'acquisition des informations.

En conséquence, le travail empirique ne nous permet pas d'avoir un jugement définitif sur la rationalité ou non des agents économiques, mais il nous dira s'il est aisé ou non de décrire les hypothèses de comportement des agents. C'est ainsi que la théorie du risque s'est bâtie en premier lieu sur le critère d'espérance de gain (cf. B. Pascal), puis sur le critère d'espérance d'utilité (cf. Bernouilli, 1738, résolvant ainsi le paradoxe de Saint-Petersbourg) dont l'axiomatisation est attribuée à von Neuman et Morgenstern (1944) et ensuite sur des critères plus complexes (utilité dépendant des rangs suite à l'interprétation du paradoxe d'Allais (1953).

Ce sont finalement les caractéristiques de la fonction d'utilité qui permettront à cette hypothèse de rationalité d'avoir des implications pratiques. Quelle est l'objectivité d'un tel concept, de sa mesure ? Comment peut-on l'apprécier ? Walras (rééd. 1987, voir Meidinger, 1994) écrivait : « Je me permettrais de rendre nos contradicteurs mathématiciens attentifs à la gravité de cette question de la mesure des quantités physico-mathématiques elles-mêmes, telles que les forces, les énergies, les attractions, les masses, etc. Un des maîtres de la science moderne [i.e. Henri Poincaré], après avoir cité et critiqué les essais de définition de la masse par Newton, par Thomson et Tait, de la force par Lagrange, par Kirchhoff, conclut que : les masses sont des coefficients qu'il est commode d'introduire dans les calculs. À la bonne heure ! Voilà qui est parlé net et qui m'encourage à me demander si tous ces concepts, ceux de masse et de force aussi bien que ceux d'utilités et de raretés ne seraient pas tout simplement des noms donnés à des causes hypothétiques qu'il serait indispensable et légitime de faire figurer dans les calculs en vue de les rattacher à leurs effets. » Enfin on peut se demander à quoi nous mèneraient d'autres hypothèses, au delà de leur caractère simpliste ou attractif. Seraient-elles plus efficaces pour guider les choix publics ? Ces autres hypothèses ne conduiraient-elles pas à l'élaboration de modèles encore plus réducteurs ?

<sup>2</sup> Bien d'autres questions ont été mises en évidence par les travaux menés au Cemagref sur les risques torrentiels et sur les risques d'inondation : voir par exemple Rouzit, 1999.

assurances complémentaires). Ce système pose des problèmes dont sont conscients à la fois un bon nombre d'assurés (prime trop élevée pour ceux qui sont soumis à un risque faible, et sentiment de trop faible protection pour ceux qui sont plus exposés au risque), et les assureurs et réassureurs (accusés d'amasser un trésor de guerre<sup>3</sup>, mais ce dernier pourrait se révéler insuffisant en cas de catastrophe majeure, obligeant l'État à intervenir). Et surtout un effet « d'aléa moral » extrêmement fort est constaté, puisque ce système incite les entreprises et les particuliers à s'installer dans des zones à risque (on peut penser aux lits majeurs des rivières) : ces zones, quoique généralement bien localisées par rapport aux agglomérations, étaient généralement restées non exploitées à cause des risques encourus, ces derniers étant désormais couverts par les assurances avec une prime relativement dérisoire.

Ce domaine de l'assurance des risques naturels est actuellement un domaine de recherche actif, notamment sur les modes de répartition des indemnités potentielles par le biais de marchés financiers qui seraient créés dans ce but. Il est clair que ce travail « d'ingénierie financière » est en synergie avec celui des « ingénieurs aménagistes ».

Ne laissons pas croire non plus qu'il y aurait d'un côté une économie « générale », voire ou plus précisément une économie des risques, et de l'autre côté une économie des risques naturels bien spécifique. De telles difficultés d'application de résultats généraux se rencontrent aussi en économie de l'environnement, en économie forestière, etc. En fait chaque domaine d'application est caractérisé par quelques traits majeurs, chacun en général déjà abordé par des collègues d'autres spécialités, mais dont l'assemblage unique est caractéristique du domaine étudié.

Ainsi la représentation du comportement des agents par la maximisation d'une fonction d'utilité trouve ici ses limites (encadré 2). La théorie de l'utilité dépendant des rangs semble alors une meilleure approche : les gains et les pertes sont transformés par une fonction d'utilité, et les probabilités de réalisation des événements sont elles aussi transformées par une fonction indépendante : ainsi des risques faibles aux conséquences importantes peuvent être intégrés dans les décisions comme s'ils avaient une probabilité de réalisation beaucoup plus forte.

Mais il faudrait réaliser certains développements théoriques pour donner à cette approche son caractère opérationnel. Et ce sont de tels développements qui sont parfois source d'incompréhensions de la part d'ingénieurs pour qui construire une digue contre les inondations ne présente pas de difficultés plus grandes que la construction de barrages pour l'irrigation, et qui en attendaient autant des économistes, à savoir que ces derniers étaient aptes à leur fournir des outils immédiatement opérationnels.

Pourtant, des développements théoriques ont déjà permis de mieux comprendre les raisons de phénomènes couramment observés. Ainsi il est possible d'expliquer simplement<sup>4</sup> pourquoi de manière assez générale, les mesures structurelles de prévention contre les risques naturels (construction de digues, modifications de cours d'eau, etc.) conduisent dans de nombreux cas à augmenter l'espérance mathématique du coût des

dommages, ce qui d'ailleurs incite à réaliser encore plus de protections, finalement illusoire. Cela a été observé tant en France qu'à l'étranger, et notamment aux États-Unis. L'intérêt d'une telle approche, d'économie théorique standard, est qu'elle conduit à mettre en évidence les solutions à apporter à ce type de problème.

Au total, la collaboration entre économistes et ingénieurs se conçoit plutôt ici comme un processus séquentiel où les résultats (output) de l'un sont utilisés comme données (input) de l'autre (articulation sous forme de « boîtes noires imbriquées »). Contrairement à l'exemple précédent sur les variables à retard, il ne peut s'agir de travaux méthodologiques menés de concert.

De plus différents aspects juridiques sont souvent un obstacle majeur à la mise en œuvre de solutions qui paraissent bonnes sur le plan de la société dans son ensemble. Comment peut-on par exemple augmenter le risque encouru par un bien, pour diminuer celui qui menace d'autres biens, même si ces derniers ont plus de valeur (pour d'autres personnes ou pour la société) ? Comment calculer en cas d'acceptation (ou d'expropriation) une juste indemnité ? Etc. Ce qui signifie que d'autres collaborations sont souvent indispensables, de même que des considérations sociales ou culturelles sont indispensables à la mise en œuvre de mesures de protection.

## Perspectives

D'autres exemples de collaborations entre économistes et ingénieurs au Cemagref auraient pu être choisis : par exemple sur le plan méthodologique, les uns et les autres ont souvent à résoudre des problèmes d'optimisation non convexe. Les analyses de ces problèmes et les méthodes de résolution numériques sont souvent communes à ces deux disciplines. De même on aurait pu choisir à titre d'illustration de ces collaborations d'autres thèmes de travail, concernant par exemple l'environnement, l'agroalimentaire ou encore la qualité de l'eau potable.

### Résumé

Nous décrivons ici deux exemples de coopération entre économistes et ingénieurs au sein d'un organisme de recherche appliquée\*. Dans le premier cas, la collaboration porte à la fois sur l'objet des recherches et les outils mis en œuvre, et, dans le second cas, sur l'objet seulement. Nous montrons incidemment tout l'intérêt du renforcement de l'approche de certains problèmes sous un angle économique qui dépasse largement le classique calcul de fin de projet. Sur le plan social, les résultats de telles coopérations montrent qu'il serait souhaitable de renforcer ce type de travaux pluridisciplinaires, hors de toutes considérations institutionnelles ou de recherche de financements. Ainsi, ces deux exemples, traitant de la gestion de l'eau d'irrigation et des risques naturels, montrent que les sciences économiques, d'une part, et les sciences de l'ingénieur, d'autre part, engagent des bénéfices réciproques.

\* En l'occurrence, le Cemagref.

**Mots clés :** Économie, ingénierie, irrigation, risques naturels

<sup>3</sup> Ce texte a été écrit peu de temps avant les grandes inondations du Sud-Ouest, la marée noire et les deux tempêtes de fin 1999.

<sup>4</sup> Voir Terreaux et Bouzil, 2000, Risques naturels, la spirale protection - aménagement, mimeo, 2000.

Les travaux en économie théorique ont pu paraître, pendant un certain temps, « ésotériques » à ceux qui comprenaient mal les objectifs recherchés, les moyens mis en œuvre et la nature des hypothèses émises. Maintenant que ce stade est en partie dépassé, ne serait-ce que grâce aux premières applications de ces recherches qui se sont révélées considérables (que ce soit dans les domaines de la finance, de la macroéconomie, de la gestion des risques...), il semble inéluctable que les collaborations entre économistes, d'une part et ingénieurs, d'autre part, soient amenées à se renforcer à l'avenir. La pression sociale incitera aussi à des travaux menés de concert, les travaux d'aménagement réalisés sans réflexions approfondies sur leurs coûts et bénéfices ou sur leurs conséquences économiques, s'étant souvent révélés peu efficaces (que ce soit pour la gestion de l'eau, ou pour la protection contre certains risques naturels, pour reprendre les deux exemples étudiés ici). La prise en compte des avancées réciproques des différentes sciences sera éventuellement l'occasion de voir naître une véritable interdisciplinarité, qui ne serait plus motivée par les seules questions d'organisation ou de financement de la recherche, mais qui répondrait aux exigences même du travail de recherche et de mise en forme des éléments de connaissance.

## Remerciements

Je remercie tout particulièrement M. Madjid Bouzit, du Cemagref, pour ses nombreuses remarques qui ont permis de bien améliorer la présentation de cet article.

## BIBLIOGRAPHIE

- Allais M., 1953. Le comportement de l'homme rationnel devant le risque. *Econometrica*, 21, 503-546.
- Allais M., 1989. La philosophie de ma vie. *Revue d'économie politique*, 1, 28-54.
- Bernoulli D., 1738. *Specimen theoriae novae de mensura sortis*. *Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*, 5, 175-192.
- Börger T., 1996. On the relevance of learning and evolution to economic theory, mimeo. Department of economics, University College London, 15 pp.
- Bouzit M., 1999. Évaluation économique de la prévention des risques naturels, l'analyse coûts-bénéfices, rapport d'étape. Cemagref, Montpellier, 40 pp.
- Friedman M., 1985. My evolution as an economist, in : Breit W., Spencer R.W., (Eds), *Lives of the laureates*, MIT Press, Cambridge, 3e édition, 79-94.
- Krugman P., 1996. *Development, geography, and economic theory*. The MIT Press, Cambridge, Mass, 117 pp.
- Litrico X., 1999. Modélisation, identification et commande robuste de systèmes hydrauliques à surface libre. Thèse de doctorat, ENGREF, Montpellier, 204 pp.
- Meidinger C., 1994. *Science économique : questions de méthode*. Vuibert économie, Paris, 280 pp.
- Mongin P., 1994. *Épistémologie de l'économie*. Université catholique de Louvain, CORE reprint 1124, 5 pp.
- von Neuman J., O. Morgenstern, 1944. *Theory of games and economic behavior*. Princeton University Press, Princeton.
- Petit M., 1981. *Théorie de la décision et comportement adaptatif des agriculteurs*. Journées INRA-ENSAA-INPSA, INRA Dijon.
- Seckler D., R. Barker, Amarasinghe U., 1999. Water scarcity in the twenty-first century. *Water resource development*, 15, 1-2, 29-42.
- Sen A., 1997. Maximization and the act of choice. *Econometrica*, 65, 4, 745-779.
- Varian H.R., 1993. What use is Economic Theory, mimeo. University of Michigan, 12 pp.
- Walras L., 1987. *Économie et mécanique*. In : Walras L., *Mélanges d'économie politique et sociale, œuvres complètes*, Economica, Paris, 330-341.
- Weber M., 1922 (trad. de 1965). *Essais sur la théorie de la science*, Plon, Paris.