



HAL
open science

Mesures de protection contre les risques naturels et coûts des dommages

Jean-Philippe Terreaux, M. Bouzit

► **To cite this version:**

Jean-Philippe Terreaux, M. Bouzit. Mesures de protection contre les risques naturels et coûts des dommages. 2001. hal-02833998

HAL Id: hal-02833998

<https://hal.inrae.fr/hal-02833998>

Preprint submitted on 7 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LAMETA

Laboratoire Montpellierain
d'Economie Théorique et Appliquée
UMR 5474

« Mesures de protection contre les risques
naturels et coûts des dommages »

Jean-Phillipe TERREAUX et Madjid BOUZIT

DT n°2001-05

INRA ESR/MONTPELLIER



1030998



Mesures de protection contre les risques naturels et coûts des dommages

Jean-Philippe TERREAUX et Madjid BOUZIT
UMR Lameta - Cemagref, Montpellier

De nombreuses observations ont permis de constater que la mise en oeuvre de mesures de protection (barrages, modifications de cours d'eau...) contre les risques naturels conduit dans de nombreux cas à augmenter l'espérance mathématique du coût des dommages, ce qui incite à réaliser encore plus de protections, finalement illusoires. On montre ici que sous des hypothèses simples de rationalité des agents économiques, ce phénomène est général, et contrairement au message habituellement délivré dans la littérature, il ne s'agit pas simplement d'une surestimation du degré de protection, mais, même en information parfaite, d'un comportement totalement rationnel. Pour stopper cette spirale, on préconise d'appliquer réellement des mesures réglementaires d'accompagnement.

When protection increases the losses

Numerous observations show that the implementation of structural measures (dams, watercourses remodeling) against natural hazards may increase the expected mean of the cost of damages. This in turn entails more protection measures, which finally prove to be deceiving.

Our purpose here is to show that under very simple hypothesis this is a general outcome of the rationality of economic agents, and, contrary to the usual explanations given in the existing literature, it does not stem from an over-evaluation of the level of protection, that is to say from wrong information.

The method lies in a standard economic model, in which agents maximize expected gain in a free-market economy. Structural actions lead then to an increase of investments, but so extensive, even with a perfect knowledge of the remaining risks, that the expected losses, instead of being decreased, are increased.

In order to break the spiral structural measures - investments, we recommend, on top of a good information delivered to concerned agents, to effectively apply regulations limiting investments, regulations which should therefore accompany the structural actions.

Ce travail a été réalisé hors de tout programme de recherche. Aussi le Cemagref ne saurait ni infirmer, ni confirmer les idées émises dans cet article, qui sont de la seule responsabilité de leurs auteurs

Disclaimer: This work was released out of any research program. Therefore Cemagref declines all responsibility of any idea explicitly or implicitly presented in this paper.

1. Motivations

L'expérience montre que des investissements structurels (barrages, endiguements, modifications du lit des cours d'eau, filets par-avalanches, digues de dérivation etc) destinés à protéger les personnes et les biens contre les risques naturels (inondations, avalanches etc.) sont en général corrélés avec une augmentation du coût des dommages dus à ces mêmes risques.

Il est clair que cette corrélation pourrait être simplement le résultat d'une cause commune, et ne recéler aucune relation de cause à effet: par exemple les dégâts constatés pourraient n'être que la conséquence d'événements extrêmement rares, aux dommages catastrophiques, dommages qui de toute façon auraient été subis sans la mise en place de ces mesures de protection.

Mais de nombreux auteurs ont déjà observé que les mesures structurelles de protection conduisent souvent à un faux sentiment de sécurité (les événements de durée de retour moyen, qui d'une part servaient de mise en garde répétée, d'autre part dissuadaient de réaliser certains aménagements, ne sont plus constatés) et les zones ainsi "protégées" sont finalement bâties, aménagées ou "valorisées", ce qui au total augmente les dégâts en cas d'événement suffisamment rare pour déborder les mesures de protection.

L'idée que nous défendons dans cet article, est qu'outre ce problème de sous-estimation des risques, un comportement totalement rationnel des agents peut les conduire, même s'ils ont des informations parfaites sur les risques encourus, à accroître les investissements dans les zones protégées de manière telle qu'au total l'espérance mathématique des dégâts soit augmentée. C'est à dire que sur des hypothèses très simples et réalistes, dans le cadre d'une économie décentralisée, ou dirigée mais avec des réglementations malléables, cela conduit à des dégâts plus importants que si aucune mesure de protection structurelle n'avait été prise.

Outre une meilleure compréhension de la dynamique d'occupation du territoire, et des causes de l'augmentation des dégâts dûs aux risques naturels, cela montre qu'en plus de la mise en place de mesures structurelles pour protéger l'existant, une bonne information des agents économiques est certes nécessaire, mais n'est pas toujours suffisante pour diminuer les dégâts: On défend ici l'idée d'associer dans ce cas à toute mesure structurelle, des mesures réglementaires (réellement appliquées) permettant de limiter le développement des zones protégées.

On donne ainsi des arguments supplémentaires pour le renforcement de la politique mise en oeuvre actuellement en France par le Ministère de l'Environnement.

2. Limites des mesures structurelles

En France, après plusieurs décennies passées à réaliser de grands ouvrages de protection, il est apparu que le risque zéro ne pouvait être atteint par ce type de mesures, que souvent, ces ouvrages ne faisaient que transférer les dommages dans d'autres zones (par exemple transfert à l'aval ou à l'amont du risque d'inondation, l'ouvrage étant alors un facteur aggravant), que le prix de telles mesures, pour une durée de vie limitée, était dissuasif, et, on l'a vu, qu'ils procuraient un faux sentiment de sécurité.

L'augmentation des dommages des risques naturels suite à des aménagements structurels dits de protection avait d'ailleurs été observée depuis longtemps dans d'autres cadres: Par exemple Shaeffer et alii (1976) avaient constaté à cette date qu'aux USA les deux tiers des pertes dues aux inondations étaient dues à des événements qui débordaient les mesures de protection, et d'autres événements, par exemple les crues du Mississipi à Jackson en 1979 (voir Platt, 1982) ont confirmé ces premières observations concernant les crues.

Burby (1998) montre comment les lits majeurs protégés ont pu être le lieu d'un développement économique important, d'autant plus qu'une infrastructure routière a pu facilement y être installée. Les exemples sont nombreux, que ce soit aux USA (voir par exemple NRC, 1995) ou ailleurs dans le monde. En France, les inondations de l'automne 1999 dans le sud-ouest ont montré de plus que c'est sur ces routes que la majorité des personnes ont péri.

En France toujours, Ledoux (1995) indique que des villes comme Mâcon ou Chalon sur Saône se sont développées depuis la fin des années 50 deux fois plus vite en zone inondable que dans le reste du territoire. Des phénomènes comparables ont été observés à Tours ou Orléans le long de la Loire (Salomon, 1996). L'augmentation de la richesse de ces zones entraîne une demande plus forte en structures de protection (digues ou barrages). On entre alors dans une spirale de d'aménagements nouveaux et de protections rendues nécessaires par ces mêmes aménagements. Ce mécanisme de la spirale s'est trouvé vérifié lors des crues de 1981-1982 le long de la Garonne, de la Saône et de l'Il (A. Jacq, 1987), et par exemple en 1993-1994 le long du Rhône (Ledoux, 1995).

On notera bien que si ces exemples ne concernent que les inondations de plaine, il en est de même de tous les risques contre lesquels des mesures structurelles de protection peuvent être mises en oeuvre: par exemple les écoulements torrentiels d'eau, de boue ou de neige (avalanches), ou encore les raz de marées.

La plupart des auteurs s'accordent pour indiquer que le moteur

principal de cette spirale est le faux sentiment de sécurité procuré par ces aménagements (Ledoux, 1995; Burby, 1998; NRC, 1995; Salomon, 1996). Nous voulons présenter une seconde explication possible, ce qui signifie que cette spirale ne peut être arrêtée systématiquement par une meilleure information des agents économiques (ménages, responsables d'entreprise, aménageurs etc.). Même en information parfaite, cette spirale peut rester alimentée.

3. Le modèle

Soit x l'intensité d'un événement potentiellement destructeur, $x \in \mathfrak{R}$, x sera par exemple le débit d'une rivière,

soit $F(x)$ la distribution des probabilités de x , pour une année,

soit $f(x) = F'(x)$,

soit I le montant des investissements réalisés dans la zone concernée, par exemple les montants consacrés à l'aménagement d'une zone artisanale dans un lit majeur potentiellement inondé.

On suppose que pour $x > x_0$, sans mesure de protection structurelle, la zone est inondée.

Suite à l'aménagement structurel, l'événement pour être destructeur, doit être d'intensité $x > x_1 > x_0$.

La politique optimale d'aménagement de la zone constructible est décrite par le montant des investissements réalisés dans la zone, déterminé par la maximisation de l'espérance de gain.

On suppose que l'investissement réalisé dans la zone considérée est essentiellement limité par l'existence du risque naturel. Si l'on note $g(I)$ le revenu annuel retiré de l'investissement I , alors on peut supposer $g(I)$ croissante, concave, dans la partie de la courbe qui nous intéresse. Les sommes investies sont alors déterminées par la

maximisation de l'espérance de revenu annuel (le coût d'opportunité du capital est pris en compte dans g).

C'est à dire que sans mesure structurelle I est déterminé par

$$\text{Max}_I \left(g(I) - aI \int_{x_0}^{\infty} f(x) dx \right)$$

avec a le coût des dégâts par unité investie, ou le taux d'endommagement, dans le cas où l'événement destructeur a lieu. On peut supposer que a ne dépend pas de x dans ce modèle simple. Sa solution est

$$I^0 = g'^{-1} \left(a \int_{x_0}^{\infty} f(x) dx \right)$$

Avec l'aménagement structurel, il suffit de remplacer x_0 par x_1 dans les deux formules précédentes, ce qui conduit à:

$$I^1 = g'^{-1} \left(a \int_{x_1}^{\infty} f(x) dx \right)$$

Notons bien ici que ce raisonnement n'est valable que lorsque l'aménagement ne fait pas disparaître totalement le risque, c'est à dire lorsque $\int_{x_1}^{\infty} f(x) dx \neq 0$. Sinon on sort du cadre de ce modèle puisque l'on se limite au cas où g est strictement croissante ($g'^{-1}(0)$ n'est en conséquence pas défini, et si $\int_{x_1}^{\infty} f(x) dx = 0$, I^1 n'est pas défini non plus).

De la concavité de g , et de $g'(I^0) > g'(I^1)$, on déduit:

$$I^0 < I^1$$

L'espérance mathématique du coût des dégâts est alors, selon que l'on mette en oeuvre ou non les mesures structurelles:

$$aI^0 \int_{x_0}^{\infty} f(x)dx \leq aI^1 \int_{x_1}^{\infty} f(x)dx,$$

ou encore:

$$ag'^{-1} \left(a \int_{x_0}^{\infty} f(x)dx \right) \cdot \int_{x_0}^{\infty} f(x)dx \leq ag'^{-1} \left(a \int_{x_1}^{\infty} f(x)dx \right) \cdot \int_{x_1}^{\infty} f(x)dx$$

Si l'on note $X_0 = \int_{x_0}^{\infty} f(x)dx$ et $X_1 = \int_{x_1}^{\infty} f(x)dx$

cette expression devient

$$ag'^{-1}(aX_0) \cdot X_0 \leq ag'^{-1}(aX_1) \cdot X_1$$

avec $X_0 > X_1$

Le sens de l'inégalité est indéterminé sans autre précision sur g . Ce qui signifie que l'on peut trouver des fonctions g conduisant à une augmentation ou au contraire à une diminution des dégâts moyens, par la mise en oeuvre de mesures structurelles.

Nous donnons ci-dessous deux exemples d'expression analytique de de fonctions g qui semblent réalistes conduisent effectivement à une augmentation de l'espérance des dommages.

En conclusion, la mise en place de mesures structurelles peut effectivement augmenter l'espérance mathématique du coût des dégâts. Ce sera en particulier le cas si $g'^{-1}(aX)X$ est une fonction de X décroissante.

Remarquons que $g'^{-1}(aX) \cdot X$ est une fonction de X décroissante si et seulement si $g'^{-1}(aX)$ décroît plus vite que $1/X$, soit si et seulement si $g'^{-1}(X)$ décroît plus vite que a/X .

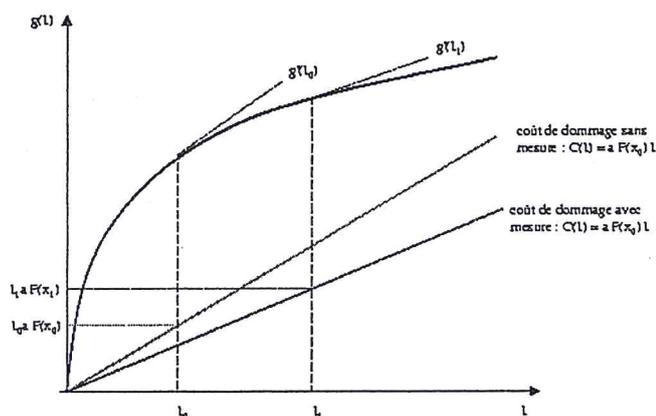


Figure 1: La mise en place de mesures structurelles peut conduire à une augmentation de l'espérance mathématique des dommages, comme c'est le cas pour cette figure: les montants optimaux d'investissement dans la zone non - protégée ou protégée sont déterminés par la pente de la courbe du revenu annuel retiré de l'investissement, qui doit être à l'optimum respectivement de aX_0 ou de aX_1 . Au total, sur ce graphique $aI_1X_1 > aI_0X_0$, et les dommages sont en moyenne accrus par les mesures structurelles.

Exemple 1: fonction g puissance

Nous utilisons ici une fonction $g(I)$ représentant le revenu annuel retiré d'un investissement I de type fonction puissance à savoir:

$$g(I) = I^\beta, \text{ avec } 0 < \beta < 1$$

Alors $J = g'(I) = \beta I^{\beta-1}$ et $I = g'^{-1}(J) = \left(\frac{J}{\beta}\right)^{\frac{1}{\beta-1}}$,

d'où

$$Jg'^{-1}(aJ) = \left(\frac{a}{\beta}\right)^{\frac{1}{\beta-1}} J^{\frac{\beta}{\beta-1}}$$

ce qui est bien une fonction décroissante de J . La mise en place de mesures structurelles augmente alors l'espérance mathématique des dégâts.

Exemple 2: fonction g exponentielle

Prenons ici une fonction exponentielle présentant des propriétés de croissance et de concavité, par exemple

$$g(I) = b - \left(\frac{1}{\alpha}\right) e^{-\alpha I}, \text{ avec } \alpha > 0 \text{ et } b > 0$$

alors $J = g'(I) = e^{-\alpha I}$ et $I = g'^{-1}(J) = -\frac{1}{\alpha} \ln(J)$

d'où

$$Jg'^{-1}(aJ) = -\frac{1}{\alpha} J \ln(aJ)$$

qui est bien aussi une fonction décroissante de J . On observe alors les mêmes conséquences.

4. Conclusion et remarques

On n'a pas tenu compte ici de l'aversion au risque. Or il est clair que les mesures structurelles mises en place pour se protéger des risques naturels augmentent, dans notre cadre de travail, l'écart type des dégâts constatés chaque année: En effet elles conduisent à un plus grand nombre d'années sans aucun dégât, et, on l'a vu, à des dégâts plus rares, mais aux conséquences plus élevées. Tenir compte de l'aversion au risque conduit alors à renforcer notre conclusion.

Surtout on n'a pas tenu compte du facteur humain, et des risques accrus encourus par la population, comme cela a été souvent constaté en particulier en France (construction de lycées, de facultés, de centres commerciaux ... dans les zones ainsi protégées).

Faut-il alors s'abstenir de mettre en place ce type de mesures structurelles: la réponse que l'on peut donner est oui, excepté si l'on est sûr d'une part de pouvoir donner une information convenable à toutes les personnes concernées sur les nouvelles caractéristiques du risque encouru, et aussi d'autre part de pouvoir limiter les investissements (aménagement, constructions) réalisés dans les zones ainsi protégées.

Ces limitations peuvent être de nature réglementaire (par exemple inscription en zone rouge dans un plan d'exposition aux risques), mais ce n'est pas suffisant, car ce qui va être important est que de tels plans soient réellement appliqués, et non pas modifiés à la première demande d'installation d'une entreprise ou d'un équipement public.

A l'avenir, ce n'est pas tant le calcul des m^3 de béton à mettre en oeuvre qui devrait préoccuper les ingénieurs, mais surtout la manière de verrouiller un tel système.

5. Références

Burby R.J., 1998, Cooperating with nature: Confronting natural hazards with land-use planning for sustainable communities, Joseph Henry Press, Washington D.C., 368 p.

Jacq A., 1987, La protection contre les crues: Quarante ans de politique de l'eau en France, Economica, Paris.

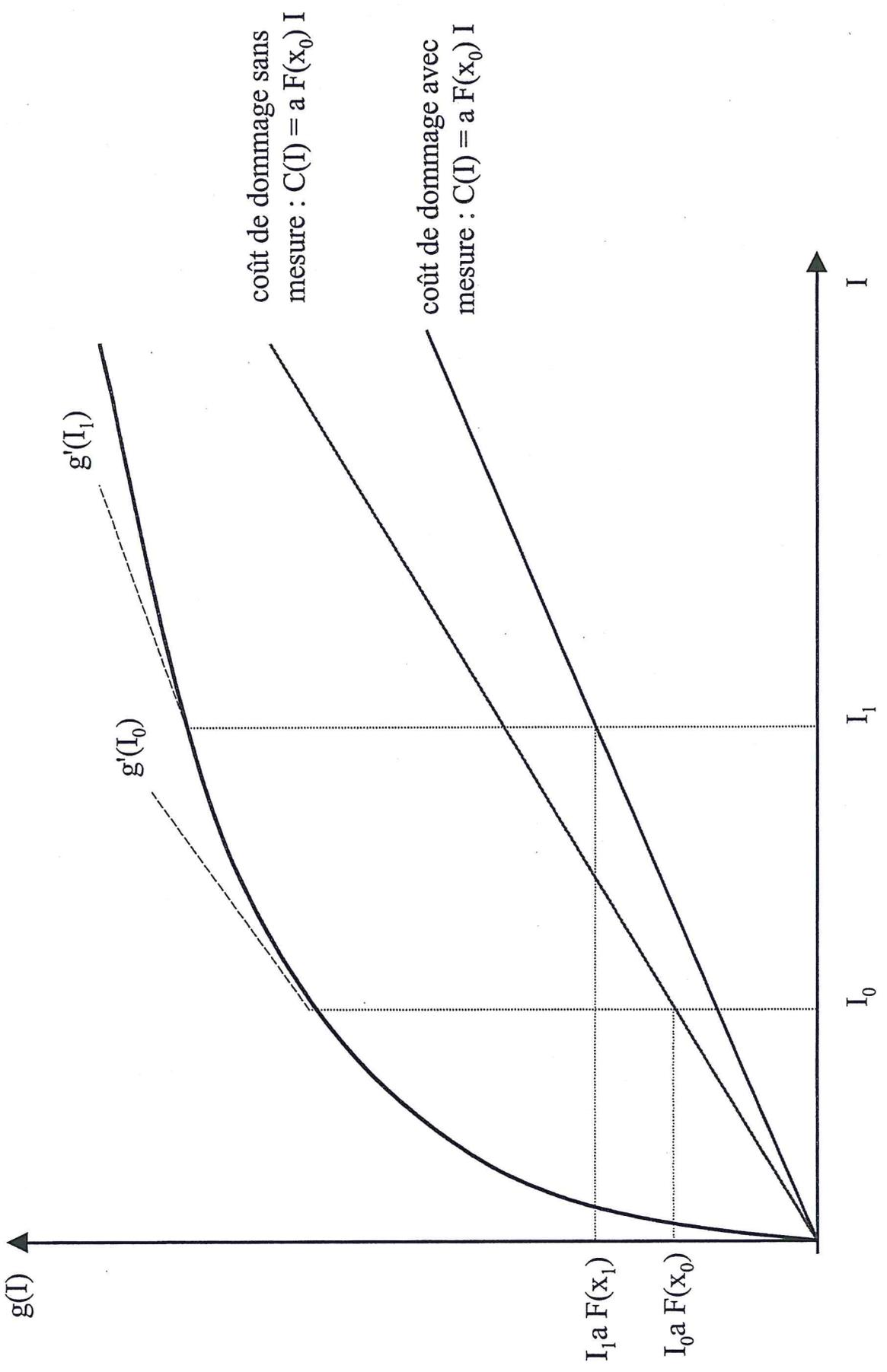
Ledoux B., 1995, Les catastrophes naturelles en France, Ed. Payot, 453 p.

NRC - National Research Council, 1995, Flood risk management and the American River Basin: an evaluation, National Academy Press, 256 p.

Platt R.H., 1982, The Jackson flood in 1979: a public policy disaster, Journal of the American planning association, Portland, OR, 48, 219-231.

Salomon J.N., 1996, L'homme face aux crues et aux inondations, Presses Universitaires de Bordeaux, Scieteren, 136 p.

Shaeffer J.R. et al., 1976, Flood hazard mitigation through safe land use practices, Kiefer and Associates, Chicago.



Documents de travail déjà parus

1997

- DT n°1997-01 : Thierry BLAYAC et Daniel SERRA,
« Tarifs publics et redistribution spatiale. Une application aux transports ferroviaires. »
- DT n°1997-02 : Valérie CLEMENT, Daniel SERRA et Emmanuel SOL,
« Egalitarisme et responsabilités : un test expérimental d'une théorie récente de la justice. »
- DT n°1997-03 : Ayman ACHOUCH,
« La recherche des cycles économiques dans les prix des métaux par l'analyse dynamique à plusieurs facteurs. »
- DT n°1997-04 : Sandrine MICHEL,
« Néoclassiques et régulationnistes : nouveaux apports sur la contribution de l'éducation à la croissance. »

1998

- DT n°1998-01 : Thierry BLAYAC et Anne CAUSSE,
« Valeurs du temps de transport : l'apport de la modélisation micro-économétrique du choix modl. »

1999

- DT n°1999-01 : Valérie CLEMENT,
« Ethique sociale et 'expérimentations'. »

2000

- DT n°2000-01 : Stéphane AYMARD et Daniel SERRA,
« Les jeux expérimentaux : un tour d'horizon des résultats récents. »
- DT n°2000-02 : Stéphane AYMARD et Daniel SERRA,
« Dynamique Optimization and Backward Induction : An Experimental Study. »

- DT n°2001-01 : Jean-Phillipe TERREAUX,
« La Graufesenque : éléments d'explication de l'expansion et du déclin des activités. »
- DT n°2001-02 : Olivier DARNE, Vivien GUIRAUD et Michel TERRAZA,
« Comparison of Standard and Fractional Seasonal Unit Root Tests : A Study of Power and Forecasting. »
- DT n°2001-03 : Marielle MONTEILS,
« Evaluation empirique du modèle de croissance endogène de Lucas. »
- DT n°2001-04 : Catherine KYRTSOU, Walter LABYS et Michel TERRAZA,
« Testing for Nonlinearity in Metal Prices : Deterministic Chaos or Stochasticity ? . »
- DT n°2001-05 : Jean-Phillipe TERREAUX et Madjid BOUZIT,
« Mesures de protection contre les risques naturels et coûts des dommages. »
- DT n°2001-06 : Catherine KYRTSOU et Michel TERRAZA,
« Is-it possible to study chaotic and ARCH behaviour jointly ? Application of a noisy Mackey-Glass equation with heteroskedasticity errors to the Paris Stock Exchange returns series. »
- DT n°2001-07 : Olivier DARNE, Javier LITAGO et Michel TERRAZA,
« Tests de racines unitaires saisonnières pour des données journalières. »
- DT n°2001-08 : Thierry VIGNOLO,
« Reputation by Imitation : An Evolutionary Interpretation of the Chain-Store Game. »

Contacts :

Directeur de la Publication : Claude DIEBOLT, claude.diebolt@lameta.univ-montp1.fr

Assistante de la Publication : Amélie CHARLES, charles@lameta.univ-montp1.fr

