

Économie anti-pollution : quelques aspects généraux

Alain Haurie

Volume 48, numéro 2, juillet–septembre 1972

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1003710ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/1003710ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

HEC Montréal

ISSN

0001-771X (imprimé)

1710-3991 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Haurie, A. (1972). Économie anti-pollution : quelques aspects généraux. *L'Actualité économique*, 48(2), 308–325. <https://doi.org/10.7202/1003710ar>

Économie anti-pollution: quelques aspects généraux*

Introduction

D'une façon générale nous définirons la pollution comme une dégradation de « la qualité de la vie » due à un stock ou à un flux de substances physiques¹. Cette définition ne prétend pas cerner l'ensemble du phénomène de pollution mais veut simplement traduire le fait que, les structures économiques actuelles n'en permettant pas l'auto-régulation, des stocks ou des flux nuisibles s'accumulent ou s'amplifient.

D'une façon plus particulière nous considérerons ici le phénomène de pollution comme une manifestation de l'interdépendance de l'écosystème, constitué de l'ensemble des processus caractéristiques de la vie, et du système économique de production et de consommation. Nous adopterons ainsi un point de vue cybernétique pour définir un certain cadre de pensée en vue de l'établissement de politiques régionales de contrôle de la pollution.

Après avoir présenté les aspects cybernétiques et économiques généraux du phénomène de pollution nous présenterons quelques modèles, très agrégés, de croissance économique avec contrôle de la pollution puis nous exposerons les différentes façons d'adapter les

* Cet article est en partie tiré d'une communication faite à la conférence annuelle des Écoles de Commerce (Université McGill, juin 1972). L'auteur tient à remercier MM. J. Harvey et H. Kurazawa pour leur collaboration.

1. E. Keeler et alii [9] font remarquer que bien souvent la même substance physique peut avoir une utilité sociale marginale positive sous forme de stock et par contre une utilité marginale négative sous forme de flux (ou vice versa : par exemple la D.D.T.) — Les nombres entre crochets renvoient à la bibliographie.

techniques d'input-output de Leontief à la modélisation de ces phénomènes.

Dans cette étude nous resterons donc à un niveau macroéconomique, laissant pour une étude ultérieure les modèles d'analyse des activités de dépollution au niveau microéconomique (dépollution d'une rivière par exemple).

I — CYBERNÉTIQUE, ÉCONOMIQUE ET POLLUTION

Les unités de production et de consommation prélèvent de la matière et des sources d'énergie dans l'environnement et lui renvoient la même quantité de matière, après transformation, et une grande partie de l'énergie. Les exemples qui suivent montrent l'ampleur que prendrait le phénomène de pollution si les taux actuels de croissance se maintenaient.

(i) La production d'énergie provient actuellement surtout de la combustion de mazout. Si ces modes de conversion continuent à être utilisés avec le taux de croissance actuel de 4 p.c. par an, on peut évaluer que dans 250 ans on émettra sous forme de chaleur autant d'énergie que celle du flux solaire absorbé (la température moyenne en mars à Montréal sera alors de 122° F!)².

(ii) En 1966, on estimait qu'aux États-Unis environ un tiers du débit total de tous les cours d'eau était prélevé et que les eaux polluées déchargées représentaient le cinquième de ce débit total. On estimait, toujours par projection des taux de croissance, qu'en l'an 2,000 les quatre cinquièmes du débit total seraient prélevés et que deux tiers de ce débit consisteraient en eaux polluées déchargées³.

(iii) L'État de Californie a adopté des mesures extrêmement strictes sous forme de standards de pollution atmosphérique par les automobiles. Cependant on prévoit que dans la région de San Francisco, après une courte période d'amélioration, la concentration urbaine redonnera une croissance explosive à la pollution atmosphérique à partir de 1990⁴.

2. D'après A.V. Kneese dans « Background for the Economic Analysis of Environmental Pollution » [10].

3. « Waste Management and Control », N.R.C. (1966).

4. R.W. Burton, « On Affecting the Long-Term Air Quality in San Francisco Bay Area » [3].

Ces exemples ne sont que des illustrations de phénomènes d'instabilité. Il est clair qu'il y aura rupture du système avant d'avoir atteint ces extrémités.

1) Activités économiques et écosystème

Les quelques exemples donnés dans le paragraphe précédent illustrent les comportements fondamentalement différents de l'écosystème, c'est-à-dire de cet ensemble de cycles chimiques, biologiques et physiques étroitement couplés caractérisant la vie, et du système économique de production et de consommation. Le système économique est aussi constitué d'un ensemble de processus cycliques interdépendants mais à la différence de l'écosystème il a une tendance endogène à accroître ses niveaux d'activité. À l'échelle de l'histoire de l'humanité on peut considérer que l'écosystème était en régime stationnaire cependant que le système économique est en régime transitoire, caractérisé en particulier par une hausse constante de la production *per capita*. Or, le système économique est couplé à l'écosystème puisque les ressources primaires sont prélevées dans l'environnement et y sont retournées après transformation par les activités de production et de consommation. D'autre part, le système économique permet à un sous-système de l'écosystème, que nous pourrions appeler « l'homme », de se soustraire à certains effets autorégulateurs. La croissance de la population en est une manifestation ⁵.

Du fait de ce couplage le comportement stationnaire de l'écosystème est affecté par le comportement transitoire du système économique. C'est cette modification du comportement que nous qualifions de dégradation de la qualité de la vie, quand elle est perçue comme une nuisance. Cette interaction des deux systèmes peut conduire à plusieurs situations.

On peut avoir ainsi un système globalement instable. La seule issue est alors une rupture violente dans un avenir relativement proche ⁶.

5. Les effets d'autorégulation dans les croissances de populations animales peuvent être illustrés par les modèles dynamiques de lutte pour la vie développés par V. Volterra mettant en relation les proies et les prédateurs dans un système fermé.

6. Des collaborateurs de J. Forrester [13], appliquant un modèle de simulation de type « dynamique industrielle », prévoient que si l'on maintient le niveau de croissance économique le milieu du 21^{ème} siècle assistera à la plus formidable catastrophe écologique de l'histoire du monde.

On peut avoir aussi une simple modification de régime stationnaire pour l'écosystème, cependant que les phénomènes d'épuisement des ressources naturelles induiraient des effets régulateurs stabilisants dans le système économique ; mais le régime stationnaire ainsi atteint pourrait être caractérisé par un haut niveau de nuisance et une inefficacité économique.

Enfin on peut essayer de mieux comprendre les interactions entre ces deux systèmes et chercher à inclure dans le système économique des organes de régulation permettant d'atteindre un régime stationnaire satisfaisant. C'est évidemment ce dernier comportement qui nous intéresse.

2) *La pollution vue comme un effet externe*

La pollution est un cas typique d'effet externe. Elle est souvent un effet néfaste de certaines activités économiques mais qui n'est pas directement perçu par les agents contrôlant cette activité. C'est le cas de la pollution d'une rivière par quelques industries et c'est un exemple classique de déséconomie externe. La pollution peut aussi avoir une cause différente ; il s'agira de ce que l'on pourrait appeler un « cas de congestion »⁷. Considérons la pollution atmosphérique due à la circulation automobile. Les pollueurs sont directement affectés par les effets néfastes de leur activité, cependant, chaque agent individuellement contribue de façon infinitésimale à la dégradation du bien public, étant conscient de l'inefficacité d'un contrôle individuel de la pollution si la plupart des autres agents n'en font pas autant. La situation est alors semblable au phénomène de congestion d'une autoroute. On peut ensuite rencontrer des cas intermédiaires entre ces extrêmes (pollution d'une rivière par les égouts d'une municipalité, etc.). Dans tous les cas, que l'on parle d'effet externe ou de congestion, la cause première du phénomène est l'absence d'un mécanisme autorégulateur. D'un point de vue économique abstrait il est relativement facile d'imaginer de tels mécanismes : on se débarrasse d'un effet externe en le rendant « interne » par une modification de l'activité, d'autre part, le mécanisme des prix permet théoriquement la coordination d'un grand nombre d'agents « infinitésimaux ». Mais le problème est extrêmement con-

7. J. Rothenberg a considéré cette distinction dans [15].

cret. Plusieurs cas⁸ ont été construits pour faire apparaître l'indescriptible imbroglio que constitue une rivière polluée par trois villes et une usine à la limite de la rentabilité fournissant des emplois aux habitants d'une des trois villes, quand il y a, au surplus, un parc provincial le long de cette rivière et une frontière interprovinciale (ou d'un autre État) qui coupe le tout. On ne distingue plus du tout le meilleur moyen de rendre internes les effets externes ! D'autre part, la définition d'un prix en l'absence de marché n'est pas chose simple.

La structure de ces phénomènes d'interdépendance peut être saisie dans des modèles de type « systèmes ». C'est en amalgamant des approches cybernétique et économique que l'on peut espérer réaliser des progrès dans l'établissement de modes de protection de l'environnement qui soient rationnels et efficaces.

3) *Le contrôle par les prix*

Schématiquement on peut voir tout le phénomène de pollution lié au fait que l'on ne paie pas la possibilité de décharger nos résidus dans l'air, les rivières, la mer, etc. Or le principe de conservation des masses nous assure que toute matière tirée de l'environnement y retournera sous une forme ou sous une autre.

L'écosystème ne reçoit qu'un flux exogène notable, l'énergie solaire. Tous les autres flux sont endogènes. Nous sommes à bord d'un « vaisseau spatial ». Il s'agit donc de retourner dans l'environnement la matière que l'on y a prélevée sous la forme la moins nocive. Récemment on a mentionné des travaux⁹ portant sur la possibilité de taxer la matière retirée de l'environnement à partir du coût social de la forme la plus nuisible sous laquelle cette matière peut être rendue à l'environnement. Cette taxe est remboursée totalement si le dernier utilisateur restitue cette matière sous une forme inoffensive, sinon on peut définir toute une échelle de remboursements. Un tel système est extrêmement attrayant puisqu'il est basé sur une décentralisation totale des activités de contrôle de la pollution.

On objectera évidemment que le calcul du coût social de la pollution est une utopie. W. Baumol a montré cependant [2] que

8. Citons en particulier celui qui est proposé par R. Dorfmann et alii [6].

9. E.S. Mills cité par R. Solow dans [16].

dans le cas de pollutions sévères, l'utilisation d'un système de prix adaptatifs pour amener les pollueurs à satisfaire globalement à des contraintes sur la pollution émise, peut être la solution la moins coûteuse dans l'ensemble même si ces prix ne reflètent pas le coût social de la pollution. La base de son argumentation est la suivante.

Considérons deux usines $u = 1, 2$ dont les productions respectives y_u sont accompagnées d'un niveau de pollution émise z_u . Cette production dépend de trois facteurs ¹⁰ et est décrite par la fonction implicite :

$$f_u(x_{1u}, x_{2u}, x_{3u}, y_u, z_u) = 0$$

où x_{iu} est la quantité de facteurs i utilisée par l'usine u . On décide de maintenir un niveau total de pollution fixé :

$$k^* = z_1 + z_2$$

et pour chaque usine un niveau de production y_u^* fixé. Soit p_i le prix du facteur i . La gestion optimale du système constitué de ces deux usines revient alors au problème d'optimisation suivant :

$$\text{Min} \sum_{u=1}^2 (p_1 x_{1u} + p_2 x_{2u} + p_3 x_{3u})$$

sous les contraintes :

$$z_1 + z_2 = k^*$$

$$f_u(x_{1u}, x_{2u}, x_{3u}, y_u^*, z_u) = 0, u = 1, 2.$$

Les conditions nécessaires d'optimalité vont s'écrire :

$$\lambda_u \frac{\partial f_u}{\partial z_u} + \lambda^* = 0 \quad u = 1, 2$$

$$p_i + \lambda_u \frac{\partial f_u}{\partial x_{iu}} = 0 \quad u = 1, 2 ; i = 1, 2, 3$$

où les λ_u sont des multiplicateurs de Lagrange associés aux contraintes de production et λ^* le multiplicateur de Lagrange associé à la contrainte de pollution.

10. Pour fixer les idées appelons x_{1u} : main-d'œuvre, x_{2u} : capital « sale », x_{3u} : capital « propre ».

Implicitement nous avons supposé une gestion centralisée pour ces deux usines. Si chaque usine est gérée indépendamment il suffit de taxer la pollution émise au taux fixe

$$t = \lambda^*$$

pour que chaque entreprise minimisant son coût total :

$$c_u = t z_u + \sum_{i=1}^s p_i x_{iu} \quad u = 1, 2$$

on retrouve les mêmes conditions nécessaires que précédemment et donc un optimum global. Il s'agit donc d'un exemple élémentaire de décentralisation des décisions par les prix.

II — SYSTÈME GLOBAL DE CONTRÔLE DE LA POLLUTION

Considérons maintenant le problème de la planification, au niveau de l'État, des activités de contrôle de la pollution. Les modèles de planification macro-économique ont déjà largement bénéficié d'une approche cybernétique. Qu'il s'agisse de modèles néo-classiques de croissance optimale ou de modèles d'input — output de Leontief, il est possible d'y inclure, après de légères modifications, le phénomène de pollution, et de définir ainsi des politiques efficaces globalement. Nous présenterons dans cette deuxième section, les idées principales des modèles de contrôle optimal de la pollution. La troisième section sera consacrée aux principes d'une analyse input — output adaptée à l'étude des phénomènes de dégradation de l'environnement.

1) *Un modèle de croissance économique avec contrôle de la pollution (d'après E. Keeler et alii [9])*

Considérons une économie très agrégée avec un seul type de capital. Pour une quantité de main-d'œuvre donnée la production y est décrite par une fonction concave du stock de capital.

$$Y = f(K)$$

La pollution est ici considérée comme un stock dont le taux d'accumulation dépend directement du niveau de production Y . On peut observer que dans de nombreux cas il y a une élimination

naturelle de certains types de pollution, soit v ce taux d'élimination naturelle. On peut réduire l'accumulation de pollution par des activités de contrôle. Si on suppose des rendements constants, une unité de Y utilisée pour contrôler la pollution va réduire la pollution de d unités.

On voit donc que la production Y peut être utilisée à trois fins :

— la consommation :

$$C = \alpha Y \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

— les dépenses de contrôle de la pollution :

$$D = \beta Y \quad 0 \leq \beta \leq 1, \alpha + \beta \leq 1$$

— et la formation de nouveau capital :

$$N = (1 - \alpha - \beta) Y$$

Ce capital se déprécie à un taux μ .

La dynamique du système économique et de son environnement est alors décrite par les deux équations différentielles suivantes :

$$\begin{array}{l} \text{accumulation} \\ \text{du capital} \end{array} \quad \dot{K} = (1 - \alpha - \beta) \cdot f(K) - \mu K$$

$$\begin{array}{l} \text{accumulation} \\ \text{de la pollution} \end{array} \quad \dot{P} = (1 - \beta d) \cdot f(K) - v P$$

Dans la terminologie des automaticiens, K et P sont les variables d'état du système et α , β les variables de commande.

La comparaison des différentes politiques se fait alors en évaluant à chaque instant le bien-être de la société à l'aide d'une fonction d'utilité :

$$u(C, P)$$

croissante en C et $(-P)$ et concave. Le bien-être total sur une période de planification T est indiqué par l'intégrale :

$$W = \int_0^T u(C, P) e^{-rt} dt$$

où r est un taux d'actualisation psychologique appliqué au flux d'utilité. On peut alors chercher à définir des politiques de consommation et de contrôle de la pollution rendant W maximal.

Ce modèle extrêmement simple peut être résumé par les points suivants :

- la pollution peut être vue comme un processus d'accumulation contrôlable ;
- la production peut servir à trois fins : l'investissement, le contrôle de la pollution, la consommation ;
- pour réaliser des arbitrages entre ces trois utilisations de la production dans un contexte intertemporel on définit un critère de bien-être tenant compte à la fois de la consommation et de la pollution.

2) *Un modèle à deux secteurs (d'après A. Hawrie et Y Rabeau [7])*

Le modèle précédent souffre d'un défaut important en ne considérant pas de bien de capital utilisable uniquement pour contrôler la pollution. En effet, la plupart des investissements faits pour lutter contre la pollution sont irréversibles. On modifie simplement le modèle en considérant deux productions :

$$Y = f_1(K_1)$$

$$Z = f_2(K_2)$$

où Y est un bien économique général, Z l'output d'une activité de dépollution et K_1 et K_2 les stocks de capital distincts, disponibles dans chaque secteur.

L'émission de pollution est une fonction :

$$G(Y, Z)$$

croissante, en Y , décroissante en Z .

Les équations d'état du système dynamique considéré sont alors :

accumulation de capital 1 $\dot{K}_1 = u_1 f_1(K_1) - \mu K_1$

accumulation de capital 2 $\dot{K}_2 = u_2 f_2(K_2) - \mu K_2$

accumulation de pollution $\dot{P} = G(Y, Z) - \nu P$

où les variables de commande sont :

$0 \leq u_1 \leq 1$: proportion de Y investie dans le secteur de production économique générale

$0 \leq u_2 \leq 1, u_1 + u_2 \leq 1$: proportion de Y investie dans le secteur de production de l'activité de dépollution.

Pour analyser les politiques d'investissement et de consommation nous considérons un critère de bien-être pour la société défini de la façon suivante :

$$W_{\lambda_0} = \int_0^T [\lambda_0 C - (1 - \lambda_0) P^2] e^{-rt} dt$$

où $0 < \lambda_0 < 1$ est une pondération relative de la consommation $C = (1 - u_1 - u_2) Y$ par rapport aux nuisances dues à la pollution et repérées par $-P^2$.

Le choix d'un tel critère peut se justifier par les considérations suivantes : Soit en $t = 0$ l'état initial de l'économie :

$$K_1^0, K_2^0, P^0$$

et soit $u^* = (u_1^*, u_2^*) : t \rightarrow u^*(t)$ une politique d'investissement optimale relative au critère W_{λ_0} .

Considérons les deux critères :

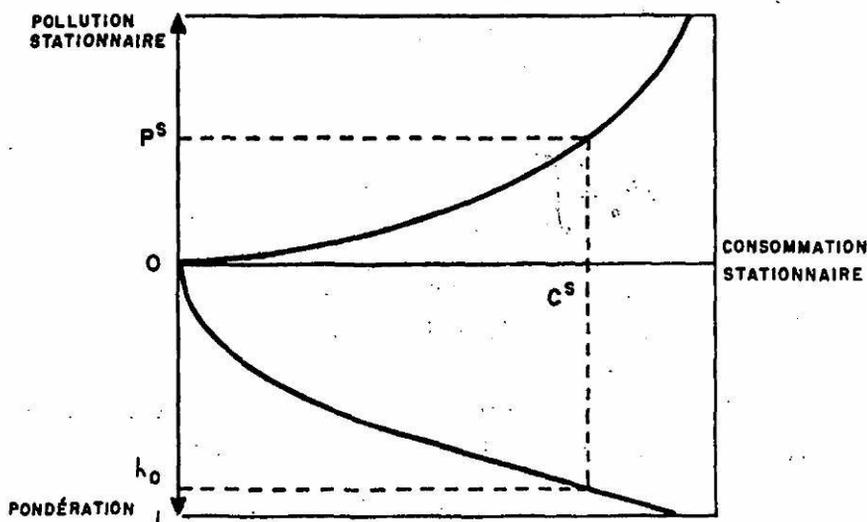
$$J_1 = \int_0^T C e^{rt} dt, \text{ prenant pour } u^* \text{ la valeur } J_1^*$$

$$J_2 = \int_0^T P^2 e^{rt} dt, \text{ prenant pour } u^* \text{ la valeur } J_2^*$$

il est évident alors qu'il n'existe pas de politique u augmentant J_1 par rapport à J_1^* sans augmenter aussi J_2 par rapport à J_2^* . u^* est donc une politique Pareto-optimale par rapport au critère vectoriel (J_1, J_2) .

Le choix du paramètre de pondération λ_0 revient donc au choix d'un équilibre parétien dans la famille des équilibres possibles. Ce choix sera grandement facilité si, quand on fait tendre T vers l'infini,

l'état de l'économie tend à devenir stationnaire. Cela veut dire qu'à long terme le système se stabilise en maintenant constants les niveaux de consommation et de pollution. Si à chaque λ_0 est associé un régime asymptotique stationnaire on peut tracer des diagrammes du type suivant :



la courbe supérieure représente l'ensemble des couples (P^s, C^s) de valeurs stationnaires pour la pollution et la consommation atteintes sur les chemins optimaux associés aux différentes valeurs de λ_0 représentées sur la courbe inférieure.

Sur un tel cas de figure le choix de λ_0 s'interprète comme celui du régime stationnaire (P^s, C^s) . Cela permet évidemment la discussion. Une fois λ_0 choisi on résout le problème transitoire en optimisant W_{λ_0} .¹¹

Dans les conditions d'optimalité intertemporelle apparaissent des multiplicateurs de Lagrange dynamiques permettant la décentralisation des décisions de contrôle de la pollution par l'établissement d'une taxe.

11. Pour plus de détails sur cette approche, et en particulier pour des calculs numériques illustrant ces concepts, nous renvoyons le lecteur à la référence [8].

III — LES MODÈLES LINÉAIRES ET LE CONTRÔLE DE LA POLLUTION

1) *La conservation de la matière*

Les activités de production-consommation et l'accumulation de pollution sont liées. Les modèles présentés dans les deux premières parties traduisent ce phénomène sans analyser vraiment la cause de ce lien. R.V. Ayres et A.V. Kneese¹² ont proposé un modèle linéaire traduisant le principe de conservation de la matière.

Une des idées maîtresses est la suivante. La théorie économique traditionnelle ne s'intéresse réellement qu'aux services associés à certains biens matériels ; les expressions « consommation finale de carburant, de fer, de ciment... » prêtent à confusion en faisant comme si ces biens étaient réduits à néant par le processus de consommation ; or il n'en est rien puisque la matière se conserve. Ainsi, les objets matériels sont échangés en tenant compte des préférences des agents économiques pour les services qui y sont attachés sans prendre en considération les résidus matériels qui vont être générateurs d'un flux de nuisances. Dès lors les effets externes ne sont pas des anomalies mais sont parties intégrantes et normales des phénomènes de production et de consommation.

Il s'agit donc d'incorporer ces effets externes dans le tableau économique.

« To elaborate on these points, we find it useful initially to view environmental pollution and its control as a materials balance problem for the entire economy¹³ ».

M ressources de base (vecteur r) sont réparties entre N secteurs dont les produits (vecteur X) font l'objet d'une demande finale (vecteur Y). La structure linéaire de l'économie est décrite par les équations :

$$r = aX \quad \text{où } a = [a_{ij}] \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, M \\ j = 1, \dots, N \end{array}$$

$$Y = [I - C]X \quad \text{où } C = [C_{jk}] \quad \begin{array}{l} j = 1, \dots, N \\ k = 1, \dots, N \end{array}$$

les composantes de X sont des quantités physiques ; l'équilibre matériel ne pourra se manifester dans ce modèle que si les coefficients

12. Dans leur article intitulé : « Production, Consumption and Externalities » [1].

13. Ayres et Kneese, *op. cit.*

C_{jk} tiennent compte de tous les échanges matériels y compris les résidus.

Les auteurs considèrent à cette fin deux secteurs supplémentaires :

- le secteur de l'environnement ;
- le secteur de consommation finale.

Les flux matériels du secteur de l'environnement vers les secteurs productifs traditionnels correspondent à la fourniture des ressources telles que matière première, combustible, etc. Ils sont en équilibre avec les flux matériels des autres secteurs vers le secteur de l'environnement qui correspondent aux émissions de déchets et résidus.

Les flux matériels des secteurs de production vers le secteur de consommation finale sont en équilibre avec les flux matériels recyclés et les flux de déchets qui constituent les flux du secteur de consommation finale vers les secteurs productifs et le secteur de l'environnement.

Pour être plus spécifique appelons X_0 la « sortie » du secteur de l'environnement et X_j celle du secteur de consommation finale. On aura :

$$X_j = \sum_{i=1}^N Y_i.$$

Considérons alors les coefficients techniques :

C_{jj} tel que $Y_j = C_{jj}X_j$; $j = 1, \dots, N$

C_{ji} tel que $C_{ji}X_i$ soit le flux de matières recyclées et utilisées comme « entrée » dans le secteur productif j ; $j = 1, \dots, N$

C_{j0} tel que $C_{j0}X_0$ soit le flux de déchets vers le secteur de l'environnement provenant de la consommation.

C_{j0} tel que $C_{j0}X_0$ soit le flux de déchets vers le secteur de l'environnement et provenant du secteur productif j ; $j = 1, \dots, N$.

C_{0j} tel que $C_{0j}X_j = \left(\sum_{i=1}^L a_{ij}^m \right) X_j$.

ÉCONOMIE ANTI-POLLUTION

a_{ij}^m dénote le coefficient technique d'utilisation des ressources de base « matérielles » i ($i = 1, \dots, L ; L \leq M$).

On peut alors fermer « physiquement » le modèle par les équations :

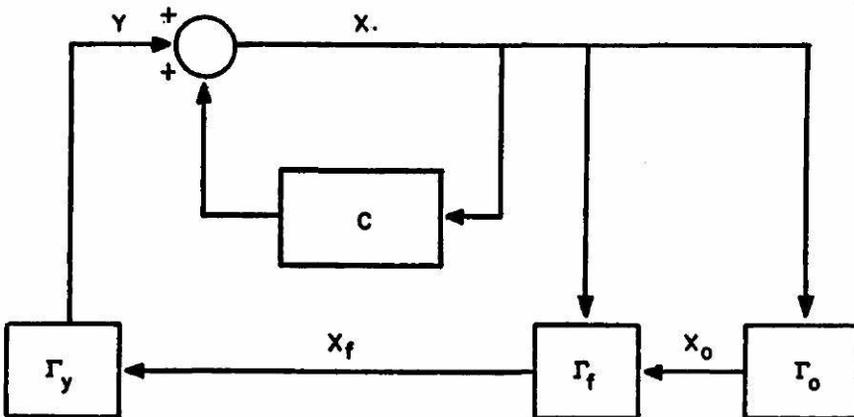
$$\sum_{j=1}^N C_{oj} X_j = \sum_{j=1}^N C_{jo} X_o + C_{fo} X_o$$

Somme des flux de matière première
Somme des déchets

$$\sum_{j=1}^N C_{jf} X_j = \sum_{j=1}^N C_{jj} X_j + C_{fo} X_o$$

Somme des biens consommés
Somme des matières recyclées
Résidus

Tout le système peut être représenté par un schéma fonctionnel (*block diagram*) de la façon suivante :



où les matrices Γ_o , Γ_f et Γ_v sont définies par :

$$\Gamma_o = \frac{1}{\sum_{j=1}^N C_{j0} + C_{f0}} [C_{o1}, \dots, C_{oN}]$$

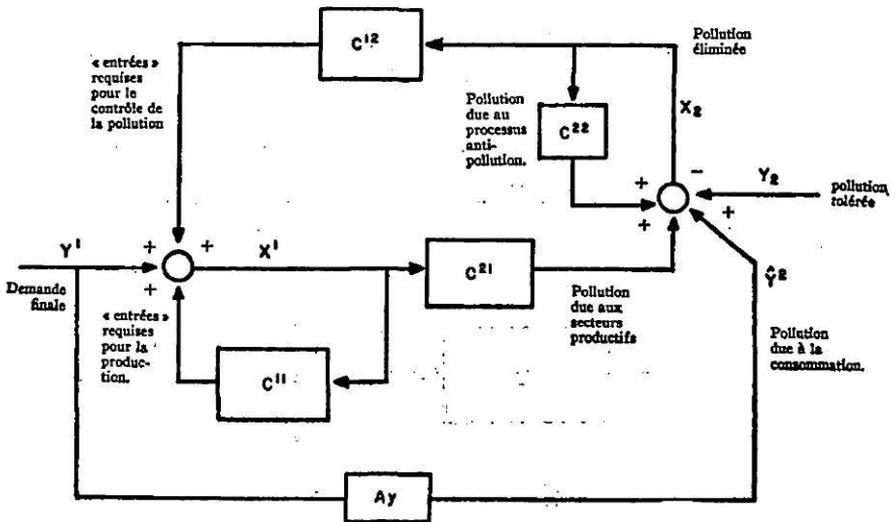
$$\Gamma_f = \frac{1}{\sum_{j=1}^N C_{jf}} [C_{f0}, C_{f1}, \dots, C_{fN}]$$

$$\Gamma_v = \begin{bmatrix} C_{1f} \\ \vdots \\ C_{Nf} \end{bmatrix}$$

On voit ainsi comment se réalise la fermeture du système.

2) *Le contrôle de la pollution dans un modèle industriel de Leontief*

L'approche input-output de Leontief peut être facilement adaptée¹⁴ pour analyser les plans de contrôle de la pollution.



14. Cette adaptation semble populaire et prometteuse ; elle a été en particulier proposée par W. Leontief [18] et J.H. Cumberland [15].

On suppose qu'il y a proportionnalité entre pollution et production. On considère alors deux catégories de secteurs : les secteurs productifs (sortie X^1) et les secteurs de dépollution (sortie X^2).

De même façon on distingue entre la demande finale de biens (Y^1) et la livraison finale de polluants qui est tolérée (Y^2). L'équation matricielle du modèle est alors :

$$\begin{bmatrix} Y^1 \\ Y^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I - C^{11} & -C^{12} \\ C^{21} & C^{22} - I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^1 \\ X^2 \end{bmatrix}$$

et elle s'interprète très simplement sur un schéma fonctionnel ¹⁵. Pour ce diagramme, on considère aussi la possibilité d'avoir une pollution associée à la consommation finale :

$$\hat{Y}^2 = C^v Y^1.$$

On doit alors remplacer Y^2 par $Y^2 - \hat{Y}^2$ dans l'équation précédente.

L'analyse typique des modèles de Leontief peut alors être développée.

CONCLUSION

A.V. Kneese écrivait récemment [10] :

« We are particularly in need of operational analytical methods (and associated data) that can take account of broader systems of externality type interdependencies than those that have typically been discussed in the economic literature... The general orientation of these efforts is to view de various aspects of the natural environment-as multiple purpose-multiple user natural assets, owned in common, which can be managed through some collective choice mechanism if they are to be developed, used, and conserved efficiently. »

Dans cette revue des aspects analytiques du problème de contrôle de la pollution nous avons développé trois thèmes principaux :
— Le contrôle par les prix est, en général, doué d'une certaine « optimalité ».

15. Ce diagramme a été construit par K. Chen [4].

- Les relations intertemporelles entre consommation, production et accumulation de pollution peuvent être prises en compte dans des modèles de planification.
- Un modèle linéaire d'équilibre multisectoriel peut donner une image des relations d'interdépendance entre les secteurs de production, de consommation et de l'environnement.

Évidemment ces trois thèmes se complètent. L'outil d'analyse idéal ne serait-il pas un modèle d'optimisation d'un système dynamique multisectoriel où les principes de dualité détermineraient des politiques de décentralisation des décisions par les prix ?

Il semble que les obstacles majeurs à la construction d'un tel modèle proviennent du manque de données ou d'une mauvaise connaissance des phénomènes géophysiques et ne sont pas d'ordre méthodologique. C'est, en un sens, réconfortant.

Alain HAURIE,
École des Hautes Études commerciales (Montréal)

BIBLIOGRAPHIE

- [1] AYRES, R.V., KNEESE, A.V., « Production, Consumption and Externalities », *The American Economic Review*, juin 1969, pp. 282-297.
- [2] BAUMOL, W.J., OATES, W.E., « The Use of Standards and Prices for Protection of the Environment », *Swedish Journal of Economics*, 1971, pp. 42-54.
- [3] BURTON, R.W., « On Affecting the Long-Term on Quality in the San Francisco Bay Area », *I.E.E.E. Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. SMC 1, n° 4, oct. 1971, pp. 307-313.
- [4] CHEN, K., *Environmental Effects of Techno-Economic Systems: A System Engineering Interpretation of the Input-Output Approach*, I.E.E.E., 1971 Conference on Decision and Control, Proceedings Paper, pp. 281-282.
- [5] CUMBERLAND, J.H., « Un modèle concernant les relations économiques de l'environnement », X^{ème} colloque international de l'Association des Sciences Régionales de Langue française, Créteil, 31 mai 1971, non publié.
- [6] DORFMAN, R., JACOBY, H.D., « A Model of Public Decisions Illustrated by a Water Pollution Policy Problem », in R.H. Haveman et J. Margolis, *Public Expenditures and Policy Analysis*, Markham, 1970, 8, p. 976.
- [7] HAURIE, A., RABEAU, Y., « Un modèle macroéconomique de contrôle de la pollution », École H.E.C., Service de Mathématiques. Rapport de recherche n° 4, sept. 1971.

ÉCONOMIE ANTI-POLLUTION

- [8] HAURIE, A., POLIS, M., YANSOUNI, P., « On Optimal Pollution and Consumption Control in a Macroeconomic System », École H.E.C., Service de Mathématiques, rapport de recherche n° 7, mai 1972.
- [9] KEELER, E., SPENCE, M., ZECKHAUSER, R., « The Optimal Control of Pollution », *Journal of Economic Theory*, 4, 1971, pp. 19-34.
- [10] KNEESE, A.V., « Background for the Economic Analysis of Environmental Pollution », *Swedish Journal of Economics*, 1971, pp. 1-24.
- [11] KNEESE, A.V., « Environmental Pollution : Economics and Policy », *The American Economic Review Papers and Proceedings of the Eighty-third Annual Meeting of the American Economic Association*, mai 1971, pp. 153-166.
- [12] LEONTIEF, W., « Environmental Repercussions and the Economic Structure : An Input-Output Approach », *The Review of Economics and Statistics*, vol. LII, n° 3, 1970, pp. 262-271.
- [13] MEADOWS, D.L., *The Limits to Growth*, Universe Books 381, Park Avenue, N.Y.C. 10016.
- [14] NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Washington), *Waste Management and Control*.
- [15] ROTHENBERG, J.K., « The Economics of Congestion and Pollution : an Integrated View », *The American Economic Review*, sept. 1970, p. 114.
- [16] SOLOW, R.M., « The Economist's Approach to Pollution and its Control », *Science*, 6 août 1971.