

Comparaison internationale de l'utilisation de la main-d'oeuvre dans l'industrie : un programme linéaire

An International Comparison of the Use of Manpower in Industry: a Linear Programming Approach

Ruth Rose Parker

Volume 50, numéro 1, janvier–mars 1974

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/803032ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/803032ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

HEC Montréal

ISSN

0001-771X (imprimé)

1710-3991 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Parker, R. R. (1974). Comparaison internationale de l'utilisation de la main-d'oeuvre dans l'industrie : un programme linéaire. *L'Actualité économique*, 50(1), 47–62. <https://doi.org/10.7202/803032ar>

Résumé de l'article

This linear programming model for educational planning, by allowing for choice among techniques of production, permits the introduction of non-constant factor substitution into the production function. The model is applied to educational planning in France and treats simultaneously four kinds of educated manpower and capital in the seven major industrial sectors of an economy. Alternative techniques are drawn from seven other countries for which reasonably comparable data are available. These techniques of production define the production function and determine the demand for educated manpower and capital independently of the supply of these factors.

An initial static model maximizes GNP (holding its composition constant) subject to a fixed supply of manpower and capital. The model thus tests whether supply is the constraining factor in the choice of technique in the short run. In the case tested, it is.

In the dynamic version of the model, supply is allowed to increase by means of education (for manpower) and investment (for physical capital). Consumable GNP, that is GNP net of the cost of education and investment, is maximized. Terminal capital stock problems make it impossible to test the model directly. The problem is then broken down into two steps: the identification of the techniques (one for each industry) which permit the greatest net contribution to GNP, and the movement in time towards these "optimal" techniques. The first of these steps is solved using a dual version of the model, but the second is not attempted in this paper.

COMPARAISON INTERNATIONALE DE L'UTILISATION DE LA MAIN-D'ŒUVRE DANS L'INDUSTRIE : UN PROGRAMME LINÉAIRE

I — INTRODUCTION

Vers 1960, les économistes ont commencé à s'intéresser d'une façon systématique à la contribution de l'éducation à la croissance économique. Malgré le fait que l'on n'a jamais pu établir clairement dans quelle mesure l'éducation est une condition soit nécessaire, soit suffisante, à la croissance, divers organismes nationaux et internationaux ont tenté de développer des modèles de planification des ressources humaines, et donc du système scolaire, en fonction des besoins de l'économie.

Le but de cet article est de présenter un modèle de programmation linéaire qui essaie de résoudre le problème théorique fondamental auquel tous les autres modèles se sont heurtés : celui de l'identification de l'offre de main-d'œuvre séparément de la demande, ce qui permet de mesurer la substitution possible entre les différents facteurs de production.

Jusqu'ici, il y a eu deux approches fondamentales au problème de la relation entre l'éducation et la croissance économique : l'approche main-d'œuvre et l'approche taux de rendement.

L'approche main-d'œuvre essaie d'établir le pourcentage de chaque type de main-d'œuvre (par rapport à la main-d'œuvre totale de l'industrie) qui est nécessaire pour atteindre un certain niveau de productivité. Elle est donc basée sur l'une des deux hypothèses suivantes : ou bien aucune substitution entre les facteurs de production n'est possible, ou bien la substitution est possible mais l'interaction des forces de l'offre et de la demande amènera tous les pays à choisir la même technique de production à un même niveau de développement. Or, toutes les études ont démenti, jusqu'à maintenant, ces hypothèses¹.

1. Pour une bonne revue de la relation entre les ressources humaines d'un pays et son niveau de développement économique, voir : Mark Blaug, *An Introduction to the Economics of Education*, Allen Lane, The Penguin Press, London, 1970, chapitres 3 à 8.

L'approche taux de rendement, par contre, suppose que la productivité marginale de chaque facteur (généralement mesurée par le taux de rémunération de ce facteur) est constante et, donc, que l'élasticité de substitution est infinie. Quand cette hypothèse est appliquée à des problèmes concrets de planification, la solution à laquelle on arrive inévitablement est qu'il faudrait investir la totalité des fonds prévus pour l'éducation à un seul niveau : ce niveau prioritaire sera celui dont le rendement est le plus élevé. L'investissement aux autres niveaux d'enseignement doit alors se limiter à ce qui est nécessaire pour assurer le plus grand nombre possible d'étudiants et de professeurs au niveau prioritaire².

II — UN MODÈLE AVEC SUBSTITUTION

Le modèle qui sera présenté ici essaie de répondre à cette impasse dans laquelle les modèles de planification de main-d'œuvre sont arrivés, d'abord, en distinguant l'offre de la demande, ensuite, en permettant la substitution entre différents types de main-d'œuvre et entre main-d'œuvre et capital sans préjuger préalablement du degré ou de la direction (positive ou négative) de cette substitution.

Le modèle de base est très simple : il consiste à distinguer pour chacun des sept secteurs économiques (agriculture, industries minières, industries manufacturières, construction, utilités publiques, transport, commerce et services) un ensemble de techniques possibles. Chaque technique j est représentée par un vecteur composé de coefficients indiquant la quantité de chaque type de main-d'œuvre, ($l_{ik}^j = L_{ik}^j/Q_i^j$), et de capital ($k_i^j = K_i^j/Q_i^j$), nécessaire pour la production d'une unité de production finale (mesurée par la valeur ajoutée). Quatre types de main-d'œuvre sont distingués : avec formation primaire (p), avec formation secondaire de type professionnelle (v) (de 1 à 3 ans après la fin du primaire), avec formation secondaire complétée (s), et avec formation universitaire complétée (h). Parce qu'il s'agit de pays déjà industrialisés, l'on suppose que toutes les personnes acquièrent une formation primaire et ceci n'est pas considéré comme un investissement

2. L'auteur, qui a appliqué cette approche le plus directement, est Samuel Bowles. Voir : Samuel Bowles, « The Efficient Allocation of Resources in Education », *Quarterly Journal of Economics*, vol. 81, n° 3, 1967, pp. 189-219. Bowles est arrivé à la conclusion que tous les fonds de l'éducation dans le nord du Nigéria devraient être dirigés vers le niveau primaire. Irma Adelman et Jean Bénard ont également appliqué indirectement l'hypothèse d'une élasticité de substitution infinie et se sont heurtés au même genre de problème. Voir : Irma Adelman, « A Linear Programming Model of Educational Planning : A Case Study of Argentina », dans Irma Adelman et Erik Thorbecke (sous la direction de), *The Theory and Design of Economic Development*, Johns Hopkins Press, 1966, pp. 385-411. Voir aussi J. Bénard, « Un modèle d'affectation optimale des ressources entre l'économie et le système éducatif », *Bulletin du CEPREL*, n° 6, juillet 1966, Ecole Pratique des Hautes Etudes, VI^e section. Voir également les articles subséquents de Manuel, Rouard et Etori dans le *Bulletin*, n° 9, juin 1967.

économique. Les données sont tirées d'une variété de sources, mais principalement d'un recueil des données de recensements de 1960 fait par l'OCDE³ et d'autres publications internationales comme *l'Annuaire des Comptes Nationaux* de l'UNESCO.

Le modèle s'applique à la planification de la main-d'œuvre en France. Il compare l'utilisation de la main-d'œuvre dans ce pays à celle d'autres pays qui sont à un niveau de développement pas trop différent et pour lesquels il existe des données raisonnablement comparables : Argentine (sans désagrégation par secteur industriel). Canada, Etats-Unis, Israël, Japon, Pays-Bas, Portugal.

A. Le modèle statique

Dans le modèle statique, la fonction objective vise à maximiser le PNB compte tenu du fait que la quantité de main-d'œuvre et de capital disponible en France à un moment donné est limitée, et en gardant constante la composition par secteur industriel du PNB.

$$\text{Max } Q = \sum_i \sum_j Q_i^j \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_i \sum_j l_{ik}^j \cdot Q_i^j \leq \bar{L}_k \quad k = p, v, s, h \quad (2)$$

$$\sum_i \sum_j k_i^j \cdot Q_i^j \leq \bar{K} \quad (3)$$

$$\sum_j a_i \cdot Q_i^j - \sum_i \sum_j Q_i^j = 0 \quad i = 1, \dots, 7 \quad (4)$$

$$Q_i^j \geq 0$$

où :

l'indice i se réfère aux sept secteurs économiques ;

l'indice k se réfère aux quatre types de formation ;

l'indice j se réfère aux huit pays et donc aux différentes techniques disponibles ;

Q = le niveau global du PNB ;

$$Q = \sum_i Q_i = \sum_i \sum_j Q_i^j ;$$

$Q_i = \sum_j Q_i^j$ il représente le niveau de production globale dans le secteur i ;

3. OCDE, *Statistiques relatives à la structure de la main-d'œuvre par profession et par niveau d'éducation dans 53 pays*, Paris, 1969.

Q	représente le niveau d'activité auquel chacune des techniques est opérée ;
$l_{ik}^j = L_{ik}^j/Q_i^j$	il représente la quantité de main-d'œuvre de type k nécessaire pour produire 1,000 dollars de valeur ajoutée dans l'industrie i dans le pays j , (c'est-à-dire avec la technique j) ;
$k_i^j = K_i^j/Q_i^j$	il représente la quantité de capital nécessaire pour produire 1,000 dollars de valeur ajoutée dans l'industrie i si l'on utilise la technique j ;
\bar{L}_k	représente le stock de main-d'œuvre du type k disponible en France au moment de la vérification du modèle ;
\bar{K}	représente le stock de capital disponible.
a_i	l'équation (4) sert à assurer une certaine composition fixe du PNB et a_i représente alors l'inverse de la part de l'industrie i dans le PNB.

Le but de cet exercice statique est de savoir si la France pourrait gagner en termes de production si elle choisissait des techniques de production autres que les siennes et si elle réallouait ses ressources en main-d'œuvre et en capital différemment entre les secteurs. Puisqu'il y a des techniques pour lesquelles l'indice de productivité par travailleur, Q_i/L_i , est plus élevé qu'en France, si la France ne peut pas augmenter sa production dans ce premier exercice, nous saurons que c'est à cause des limitations de l'offre de certains types de main-d'œuvre et/ou du capital. Dans ce cas, il faut en conclure que la France est efficace dans son utilisation des ressources.

Les résultats du modèle statique démontrent qu'effectivement c'est l'offre de ressources qui est contraignante : la France ne pourrait pas augmenter son niveau de production en changeant de technique. Les valeurs des prix fictifs sont toutefois intéressantes :

	<i>en dollars</i>
Main-d'œuvre de niveau universitaire	0
Main-d'œuvre de niveau secondaire	37,218
Main-d'œuvre de niveau professionnel	3,541
Main-d'œuvre de niveau primaire	176
1,000 dollars de capital physique	0

Ces chiffres mesurent l'augmentation du PNB qui résultera d'une augmentation d'une unité de la quantité de la ressource disponible. Si la France avait un travailleur de plus avec formation de niveau secondaire, son PNB augmenterait de 37,218 dollars, mais 1,000 dollars de plus de capital ou un travailleur avec formation universitaire ne contribueront en rien.

Ces résultats ne sont pas étonnants quand on se rend compte que les deux seuls pays dans l'échantillon qui ont un niveau de productivité globale plus élevé que celui de la France sont le Canada et les Etats-Unis. Or, ces deux pays ont un système scolaire qui met beaucoup plus d'accent sur la formation de niveau secondaire (relativement au niveau universitaire) que la France⁴. Des mesures comme l'extension de la scolarité obligatoire de 14 à 16 ans⁵ et la création d'instituts universitaires de technologie au cours des années '60, ainsi que le développement rapide des taux de scolarisation en France, témoignent de l'accent mis par les responsables de l'éducation en France sur l'enseignement secondaire (technique et général) et sur l'enseignement technique post-secondaire, ce qui est compatible avec les résultats de notre modèle.

Une dernière remarque sur l'interprétation des prix fictifs : dans un modèle de programmation linéaire, les prix fictifs mesurent en quelque sorte la productivité marginale des différents facteurs. Or, on voit que dans ce cas la structure des prix fictifs est très différente de ce que pourrait être une structure de salaires pour les différents types de main-d'œuvre. Ce type de résultat est typique d'un programme linéaire qui tend à trouver certains facteurs contraignants et d'autres en surplus, donc avec prix fictifs égaux à zéro. De tels résultats doivent aussi soulever certains doutes en ce qui concerne l'utilisation des salaires comme mesure de la productivité marginale.

B. *Le modèle dynamique*

Dans un deuxième temps, l'on permet une augmentation de l'offre de main-d'œuvre et de capital physique grâce à l'apport du système scolaire dans le premier cas, et du processus d'investissement dans le deuxième. Toute une série d'équations décrivant cet investissement, ainsi que la disparition progressive du stock original de main-d'œuvre (due aux décès, aux retraits du marché du travail, etc.) et la dépréciation du capital, est ajoutée. (Vu la longueur de ces équations et leur peu d'intérêt, elles n'ont pas été explicitées ici.) La fonction objec-

4. Pour la France la composition de la main-d'œuvre pour l'économie entière était la suivante : $L_h = 3.5$ p.c. ; $L_s = 5.0$ p.c. ; $L_v = 23$ p.c. ; et $L_p = 68.5$ p.c. Ces chiffres ont été calculés en multipliant la composition par profession donnée dans le recensement de 1962 par une matrice indiquant la composition de chacune des professions par niveaux d'éducation. Cette dernière matrice fut construite à partir de données tirées d'une enquête spéciale faite en 1963. Pour les Etats-Unis, la composition de la main-d'œuvre en 1960 (tirée du recensement de 1960) était la suivante $L_h = 9.2$ p.c. ; $L_s = 37.6$ p.c. ; $L_v = 22.3$ p.c. ; et $L_p = 30.9$ p.c. Pour le Canada (recensement de 1961) la composition était : $L_h = 4.4$ p.c. ; $L_s = 22.7$ p.c. ; $L_v = 31.9$ p.c. ; et $L_p = 41$ p.c.

5. La loi pertinente, adoptée en 1959, prévoyait l'extension de la scolarité obligatoire jusqu'à 16 ans et ceci avant 1965. Subséquemment, la date d'application de cette loi a été reportée jusqu'en 1972.

tive du modèle dynamique vise la maximisation du PNB *consommable*, c'est-à-dire le PNB total moins le coût de l'investissement et le coût de l'éducation. Tous ces chiffres sont escomptés au présent à différents taux d'intérêt.

Malheureusement, l'opérationnalisation de ce modèle se heurte immédiatement au problème du traitement des stocks résiduels du capital humain et physique. La vie du capital humain dans ce modèle est de 42 à 48 ans et celle du capital physique, de 8 à 15 ans⁶. A moins d'opérer le modèle pour 25 périodes ou plus (chaque période est d'une durée de deux ans), la solution proposée est nécessairement de désinvestir. Ce modèle, qui dans sa forme la plus restreinte comporte 4 équations et 11 variables pour chaque période, et dans sa forme la plus ambitieuse comporte 11 équations et une cinquantaine de variables pour chaque période, déborde très rapidement la capacité d'un ordinateur. Pour ces raisons, nous avons développé une méthode pour résoudre le problème par le dual.

L'essentiel du problème est de trouver les techniques de production (une pour chaque secteur économique) qui, compte tenu du coût de l'investissement et de l'éducation, contribue le plus au PNB consommable. Nous appellerons ces techniques les *techniques « supérieures »*. Le reste du modèle ne sert qu'à trouver le chemin le plus court pour arriver à un état d'équilibre. Ici, « état d'équilibre » veut dire un état dans lequel l'économie n'emploie que ces techniques supérieures et le seul investissement est celui qui est nécessaire pour remplacer la main-d'œuvre et le capital physique qui s'épuise à chaque période. Nous faisons abstraction de la croissance de la population active ainsi que des changements technologiques. (Voir section III pour une discussion du problème des changements technologiques.)

C. *Le dual du modèle dynamique*

La méthode utilisée pour identifier les techniques les plus productives est de calculer, pour chaque technique, la partie de sa production

6. La vie du capital a été établie à partir de deux études spécialisées sur le sujet : Jack Faucett Associates, Inc., « Capital Stock Measures for Selected Input-Output Sectors », prepared for the Bureau of Labor Statistics, U.S. Department of Labor, novembre 1967 (polycopié). Malinvaud, Carré, Berthet et Dubois, *Sources de la croissance française au milieu du XXe siècle*, version préliminaire, chapitre III. Le stock du capital a été calculé en ajoutant la valeur de l'investissement (mesuré en dollars constants) pour les années précédant celle pour laquelle le stock a été mesuré. Le nombre d'années incluses dépendait de la vie du capital. Généralement la vie productive du capital en Europe est plus longue qu'en Amérique du Nord. Cependant, puisque le calcul de l'investissement nous a amené déjà aux années de guerre, nous avons plutôt utilisé les périodes plus courtes applicables aux États-Unis. Pour les industries minières, cette période est de 12 ans ; pour la construction, elle est de 8 ans ; pour les services elle est de 10 ans ; et pour toutes les autres industries elle est de 15 ans. Nous avons également supposé que la détérioration du capital est du type « *one-horse slay* » : l'équipement reste intact pendant la période entière de sa vie, et se détériore d'un seul coup à la fin de cette période.

qui est disponible pour les salaires des travailleurs qu'elle utilise après qu'une somme a été allouée pour payer l'amortissement et un taux de rendement sur le capital physique et sur le capital investi dans l'éducation. Cet amortissement est réparti en sommes égales, c'est-à-dire en forme d'annuités, tout le long de la vie du capital.

Dans le cas où le taux de rendement est égal à zéro, le montant disponible pour les salaires est égal au PNB consommable généré par la technique. Quand le taux de rendement sur le capital est plus grand que zéro, la partie de la production de la technique disponible pour la consommation est toujours la même sauf qu'il est redistribué vers les propriétaires du capital physique et vers les travailleurs qui ont plus d'éducation. Dans une économie en croissance, qui cumule du capital et qui change ses techniques moins capitalisées pour des techniques plus capitalisées, les revenus provenant de ce rendement sur l'ancien capital pourraient servir comme source de financement du nouvel investissement. En ce sens, il est possible que seuls les salaires, quel que soit le taux de rendement, doivent être considérés comme disponibles pour la consommation. Dans tous les cas le lecteur doit bien se rappeler la distinction entre les salaires et le PNB consommable dans l'interprétation des résultats.

Pour chaque technique et pour chaque taux de rendement possible (dix taux différents, exprimés en pourcentages, sont utilisés : $r = 0, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 20$ et 25), on calcule le « salaire de base (w_{ip}^{jr}). Ce chiffre représente le salaire qu'un travailleur avec formation primaire pourrait gagner si l'industrie i était en équilibre à long terme avec la technique j , et si le capital physique et en éducation gagnait un taux de rendement égal à r . Il représente, en quelque sorte, le niveau de vie que cette technique est capable de supporter.

En même temps que le salaire de base, on calculera le salaire de chacun des trois autres types de travailleurs. Ce salaire est égal au salaire de base plus une prime pour couvrir le coût direct (les dépenses de la société pour les institutions scolaires) et indirect (le salaire qu'aurait gagné le travailleur pendant les années qu'il était aux études) de l'éducation. Comme pour l'amortissement du capital physique, cette prime est répartie en paiements égaux, c'est-à-dire sous forme d'annuités, tout le long de la vie productive du travailleur éduqué.

Les équations ci-dessous décrivent comment l'on peut calculer ces différents salaires. D'abord, la valeur de la production obtenue par l'utilisation d'une technique est répartie entre les salaires des différents travailleurs et le coût annuel du capital :

$$Q_i^j = w_{ip}^{jr} L_{ip}^j + w_{iv}^{jr} L_{iv}^j + w_{is}^{jr} L_{is}^j + w_{ih}^{jr} L_{ih}^j + a_{ik}^r K_i^j \quad (5)$$

Le seul symbole nouveau, ici, est a_{ik}^r . Il représente un coefficient d'amortissement du capital physique au taux de rendement r et en somme

égales le long de la vie du capital. L'indice i a été ajouté parce que la vie du capital est différente selon l'industrie. On peut maintenant diviser l'équation (5) par Q_i^j pour la normaliser :

$$\$1,000 = w_{ip}^{jr} l_{ip}^j + w_{iv}^{jr} l_{iv}^j + w_{is}^{jr} l_{is}^j + w_{ih}^{jr} l_{ih}^j + a_{ik}^r k_i^j \quad (5a)$$

Les équations 6 et 8a décrivent la relation entre les salaires des différents types de travailleurs :

$$\begin{aligned} w_{iv}^{jr} &= w_{ip}^{jr} + c_v \sum_{t=1}^2 (1+r)^t / a_{48} \\ &+ w_{ip}^{jr} \sum_{t=1}^2 (1+r)^t / a_{48} \end{aligned} \quad (6)$$

Dans ce cas, c_v représente le coût direct de l'éducation de type professionnel secondaire ; a_{48} est un coefficient qui répartit le coût de cette éducation sur une période de 48 ans, c'est-à-dire la vie productive de ce type de travailleur. Le coefficient $\sum_{t=1}^2 (1+r)^t$ a pour effet de futuriser le coût, direct et indirect, de l'éducation jusqu'au début de la vie productive. Désormais, nous l'écrivons $\alpha^{(t=2)}$, et similairement pour des périodes plus longues.

$$w_{is}^{jr} = w_{ip}^{jr} + c_s \alpha^{(t=4)} / a_{46} + w_{ip}^{jr} \alpha^{(t=4)} / a_{46} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} w_{ih}^{jr} &= w_{ip}^{jr} + c_s \alpha^{(t=5 \text{ à } 8)} / a_{42} + w_{ip}^{jr} \alpha^{(t=5 \text{ à } 8)} / a_{42} \\ &+ c_h \alpha^{(t=4)} / a_{42} + w_{is}^{jr} \alpha^{(t=4)} / a_{42} \end{aligned} \quad (8)$$

Ce qui rend cette dernière équation compliquée est le fait qu'il faut calculer non seulement le coût de l'enseignement supérieur direct $c_h \alpha^{(t=4)} / a_{42}$ et indirect $w_{is}^{jr} \alpha^{(t=4)} / a_{42}$ mais aussi le coût de l'enseignement secondaire qui l'a précédé. En réarrangeant les termes et en substituant l'équation (7) dans l'équation (8), on obtient :

$$\begin{aligned} w_{ih}^{jr} &= w_{ip}^{jr} [1 + (\alpha^{(t=5 \text{ à } 8)} / a_{42}) + \alpha^{(t=4)} / a_{42} \\ &+ (\alpha^{(t=4)} / a_{42} \cdot \alpha^{(t=4)} / a_{46})] \\ &+ c_s [\alpha^{(t=5 \text{ à } 8)} / a_{42} + (\alpha^{(t=4)} / a_{42} \cdot \alpha^{(t=4)} / a_{46})] \\ &+ c_h \alpha^{(t=4)} / a_{42} \end{aligned} \quad (8a)$$

De façon similaire, il est possible d'exprimer w_{iv}^{jr} et w_{is}^{jr} comme fonction linéaire de w_{ip}^{jr} et de c_s ou c_v selon le cas. Finalement, en substituant ces équations dans l'équation (5a), on obtiendra une équation qui exprime w_{ip}^{jr} comme fonction de r , c_v , c_s , c_h , des l_{ik}^j et de k_i^j . (Les coefficients a et α ne dépendent que de r).

Pour chaque technique, les h_k^i et k_i^j sont donnés. Le coût direct de l'éducation aux trois niveaux, c_v , c_s et c_h , sont également donnés à priori. Donc, w_{ip}^{jr} ne dépendrait que de r et cette relation sera inverse : w_{ip}^{jr} diminue à mesure que r augmente. Le graphique 1 donne un exemple de cet arbitrage entre le salaire de base et le taux de rendement dans le cas de l'ensemble de l'économie, pour chacun des huit pays étudiés.

La pente de la ligne d'arbitrage dépend du degré de capitalisation de la technique : moins il y a de capital (physique ou humain), moins le taux d'intérêt affectera le coût annuel de l'investissement et, donc, le salaire de base. Il faut également noter que les courbes ne sont pas linéaires : elles ont souvent la forme d'un S ou même d'un double S. Ceci est le résultat du fait qu'il y a deux types d'investissement, ou même quatre si l'on compte les trois niveaux d'éducation et le capital physique séparément.

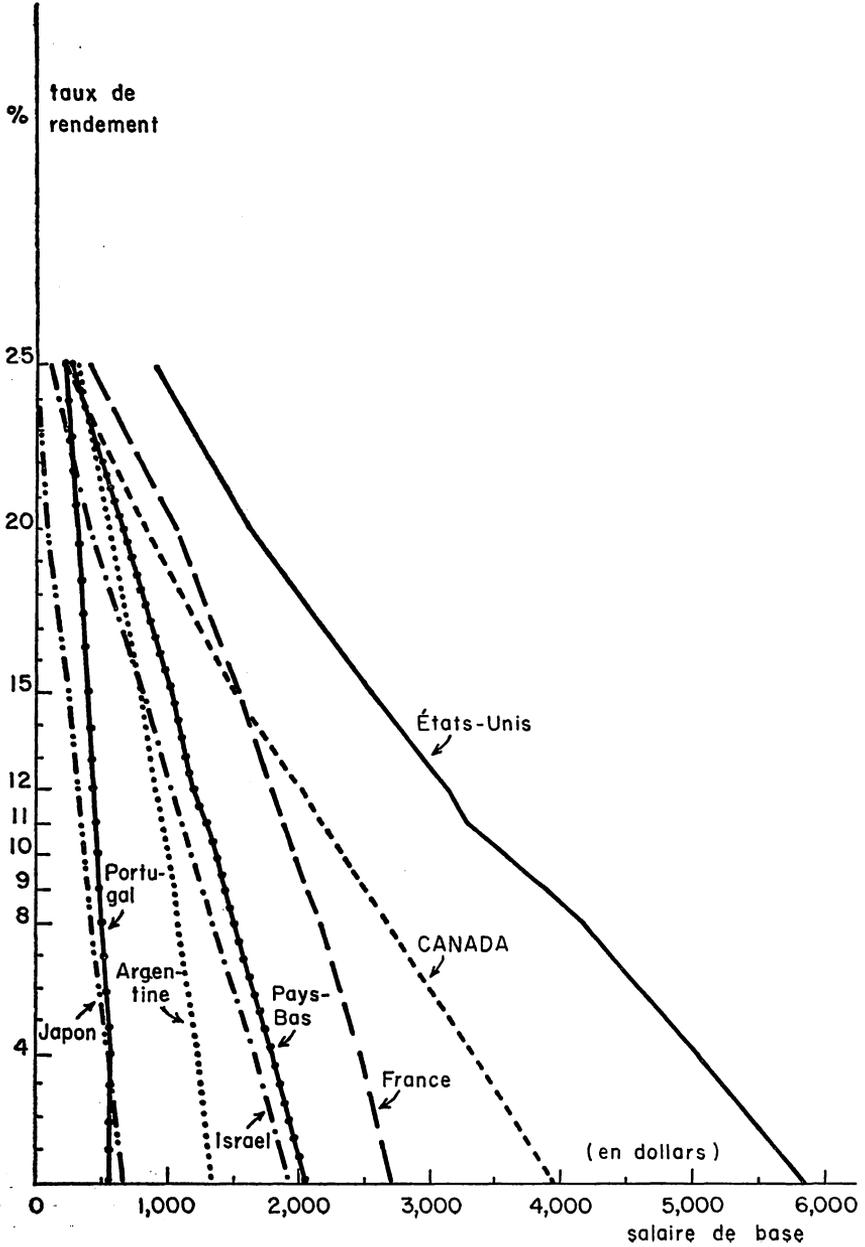
Au graphique 1, c'est la technique américaine qui domine toutes les autres, quel que soit le taux de rendement. Ceci veut dire que l'économie américaine est capable de fournir un niveau de consommation à ses travailleurs plus élevé que les autres pays à n'importe quel taux de rendement du capital. Il faut, toutefois, prendre ces résultats avec une grande réserve : ils dépendent beaucoup du taux de change utilisé (dans ce cas le taux de change officiel à l'époque), et l'on sait que le PNB converti de cette façon n'est souvent qu'une mesure très approximative de la valeur de la production d'un pays.

Dans d'autres cas, il y a un renversement de la position relative de deux pays, comme par exemple pour la France et le Canada. Pour des taux de rendement entre 0 et 15 p.c., le Canada est capable de fournir un niveau de salaire élevé, tandis qu'entre 15 et 25 p.c., c'est la France qui aura le niveau de salaire le plus élevé. Ces renversements de position indiquent en quelque sorte l'influence que le prix relatif du capital et du travail pourrait avoir sur le choix de la technique.

Il est possible de construire un graphique semblable au graphique 1 pour chacun des grands secteurs économiques étudiés. Selon ces calculs, à un taux de rendement donné le salaire des travailleurs n'est pas nécessairement le même selon le secteur économique. Inversement, à un taux de salaire donné le taux de rendement sur le capital peut différer selon l'industrie. Le tableau 1 indique pour le Canada les salaires des différents types de travailleurs dans les différentes industries quand le taux de rendement est de 10 p.c. Le graphique 2 donne les lignes d'arbitrage pour les différentes techniques canadiennes.

En dépit du caractère approximatif de ces chiffres, ils sont révélateurs. Au Canada, l'industrie qui est capable de fournir le niveau de vie le plus élevé est l'industrie minière, ce qui est peu étonnant étant donné son haut degré de capitalisation. Elle compte deux fois plus de

GRAPHIQUE 1
 ARBITRAGE SALAIRE DE BASE — TAUX DE RENDEMENT POUR HUIT PAYS
 TOTAL DES INDUSTRIES



capital par travailleur que les Etats-Unis (17,949 dollars) et Israël (20,465 dollars) et trois fois plus que la France (11,581 dollars). Même en tenant compte des différences de prix, il semble que le Canada a une industrie minière beaucoup plus capitalisée et donc plus productive que les autres pays. En effet, c'est la seule industrie pour laquelle la technique canadienne est supérieure à celle des Etats-Unis (sauf pour les taux de rendement dépassant 15% où la technique américaine devient supérieure).

L'industrie des utilités publiques (eau, gaz, électricité), ainsi que l'industrie du transport à moindre degré, utilisent aussi beaucoup de capital et, par conséquent, leurs salaires de base sont très sensibles au taux d'intérêt. Ainsi, les utilités publiques génèrent un salaire de base d'au-delà de 6,000 dollars quand le taux d'intérêt est égal à 0 mais ce salaire est négatif même à un taux de rendement aussi modeste que 8%. Puisqu'on trouve un résultat très semblable dans les six autres pays pour lesquels on a pu faire les calculs, on trouverait peu difficile de croire que ces industries bénéficient souvent de taux d'intérêt préférentiels à cause de leur caractère public. On peut dire la même chose

TABLEAU 1

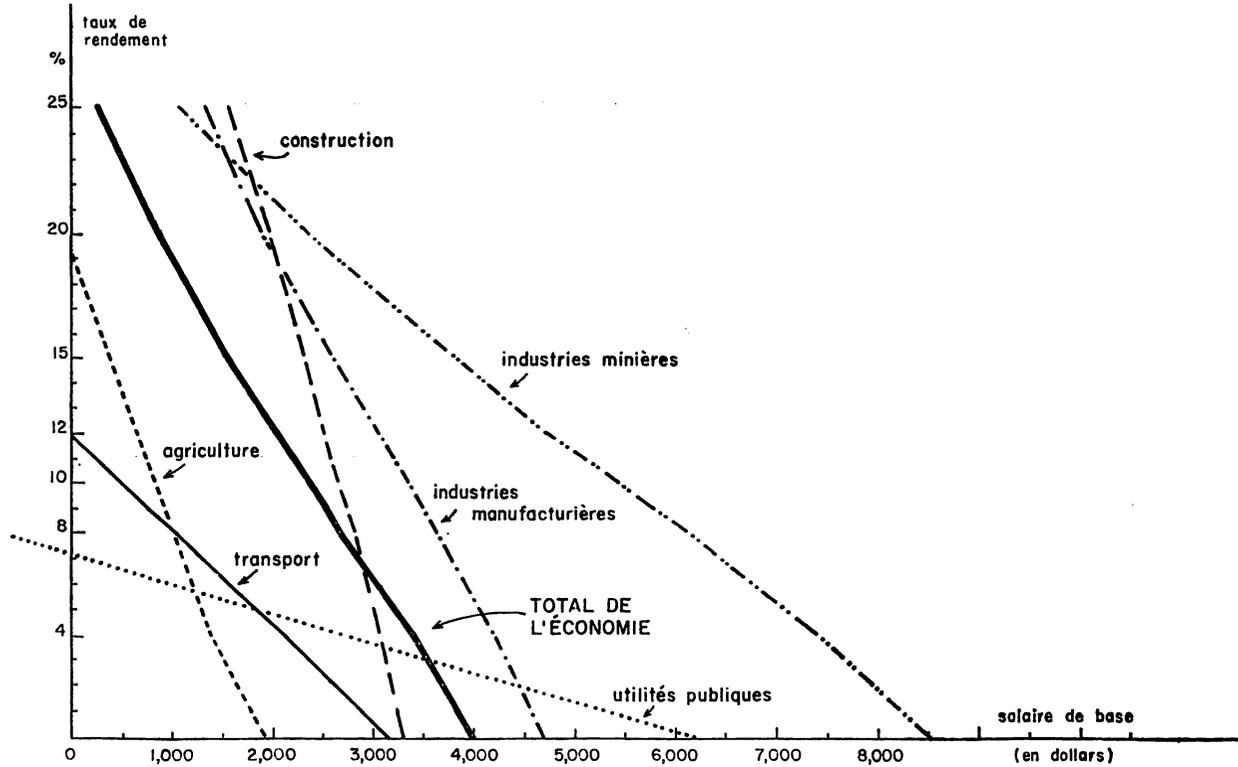
SALAIRES D'ÉQUILIBRE SELON LE NIVEAU DE FORMATION ET LE SECTEUR ÉCONOMIQUE UTILISANT LES TECHNIQUES CANADIENNES ; $r = 10\%$
(en dollars)

Secteurs	w_p	w_v	w_s	w_h	Q/L	K/L
Agriculture	844	1,137	1,488	2,982	2,490	1,148
Industries minières	5,358	6,704	8,334	14,493	11,621	34,838
Industries manufacturières	3,315	4,185	5,236	9,284	5,580	10,842
Construction	2,657	3,373	4,238	7,606	3,720	2,602
Utilités publiques	-2,192 ^a	—	—	—	15,680	139,370
Transport	516	732	990	2,145	5,925	39,462
Services et commerce ^b	—	—	—	—	—	—
Total de l'économie	2,342	2,984	3,759	6,801	5,187	16,138

NOTES : a) A cause du fort degré de capitalisation de ce secteur, le montant disponible pour les salaires est négatif quand $r = 10\%$. Ce résultat est probablement dû à une sous-estimation de la vie du capital. Il est également possible que le financement du capital soit subventionné en partie par le gouvernement.

b) La notion de productivité et la comparabilité de la valeur de la production entre pays étant particulièrement difficiles dans le cas des services et du commerce, il a supposé que la France choisira sa propre technique. Alors, les calculs pour ce secteur n'ont pas été faits, sauf pour la France.

GRAPHIQUE 2
 ARBITRAGE SALAIRE DE BASE — TAUX DE RENDEMENT SELON L'INDUSTRIE.
 CANADA, 1961



des industries de transport mais à un moindre degré. Dans les deux cas, les résultats un peu étranges sont aussi probablement dus à une sous-estimation de la vie du capital et donc à une surestimation de son coût annuel.

Le tableau 1 nous a montré la variété possible de salaires à un taux de rendement donné. Nous pouvons faire l'inverse et regarder le taux de rendement qu'une industrie peut gagner quand le salaire est donné. Puisque ce tableau est difficile à construire, nous pouvons nous référer plutôt au graphique 2. A un salaire de base de 3,000 dollars, par exemple, il y aura un taux de rendement négatif dans l'industrie agricole, un taux de rendement de 0.5% dans le transport, d'environ 4% dans les utilités publiques et la construction, de 12% dans les industries manufacturières et de 17.5% dans les industries minières. La moyenne pour l'économie totale serait d'environ 6%.

Dans l'ensemble, ces résultats pour le Canada sont typiques. Sauf dans le cas de l'industrie minière mentionnée ci-haut, et dans le cas de l'agriculture pour laquelle la technique néerlandaise est plus productive pour des taux de rendement dépassant 10%, ce sont les techniques américaines qui sont les plus productives. Ceci veut dire que si la France veut augmenter sa productivité de la façon la moins coûteuse possible elle devrait orienter son éducation et son investissement de façon à imiter les techniques de production américaines. Cette règle générale est toutefois sujette à caution dans la mesure où l'on accordera de l'importance à la culture propre de la France dans la détermination des politiques d'éducation et de développement économique.

D. *Le chemin optimal*

En présentant la solution du problème du dual, nous avons dit qu'à part l'identification des techniques supérieures, le modèle devrait également choisir le meilleur chemin pour arriver à l'état d'équilibre. En effet, à cause des problèmes posés par la taille du modèle dynamique, nous n'avons pu faire cette partie de l'opération. Comme tout problème d'investissement, il nécessite un choix dans le temps qui n'est pas nécessairement résolu par le simple fait d'escompter les années futures.

Il est probable que la façon la plus simple de résoudre ce problème sera d'interpoler l'utilisation des techniques de production entre la position actuelle de la France et la position finale désirée. Les sorties du système scolaire et l'investissement en capital physique nécessaires pour atteindre ces objectifs peuvent également être calculés à partir de cette interpolation, compte tenu de toute contrainte sociale, économique, morale ou autre qu'on jugera bon d'appliquer. Pour le moment nous n'avons pas tenté cet exercice.

III. REMARQUES FINALES

A. *Limites du modèle*

Les limites de ce modèle proviennent surtout des déficiences quant aux données disponibles et à la capacité des ordinateurs. Ces limites ont trait surtout à la comparabilité entre les données des différents pays (production finale, classification de la main-d'œuvre, définition des secteurs économiques, mesure du coût de l'éducation, mesures du capital), au fort degré d'agrégation des secteurs économiques et des types de main-d'œuvre et à l'hétérogénéité du capital et les problèmes subséquents de sa mesure. Pour ces raisons les résultats empiriques doivent être vus comme étant très approximatifs et seulement indicatifs des grandes orientations souhaitables.

Il y a aussi certaines questions qui n'ont pas été traitées dans le modèle mais qui pourraient être incluses si l'on avait suffisamment de données. La plus importante de ces questions est celle du changement technologique. Au départ, il faut distinguer entre changement technologique, ce qui implique la découverte de nouvelles techniques de production et leur inclusion dans l'ensemble des techniques disponibles sans qu'elles soient nécessairement instaurées, et changement technique, ce qui implique l'instauration de techniques plus productives que celles qui existent. Le but de ce modèle est justement de démontrer comment et quand le changement technique aura lieu.

Il serait également facile de mesurer l'impact du changement technique en ajoutant de nouvelles techniques à l'ensemble des techniques disponibles après chaque période de planification. Le modèle indiquera alors la nécessité de changer d'horizon chaque fois qu'une nouvelle technique est ajoutée. A mon avis, cette façon de traiter des changements techniques et technologiques est beaucoup plus réaliste et utile que la façon usuelle qui consiste à changer la valeur des coefficients des techniques existantes, une procédure tout à fait mystérieuse et mystifiante.

Dans ce modèle, les techniques sont représentées par des vecteurs observés de coefficients unitaires de main-d'œuvre et du capital. Il faut se rappeler que ces vecteurs observés sont en réalité une moyenne de beaucoup de techniques de production plus ou moins modernes prises dans un sens désagrégé et se référant à la combinaison de ressources utilisées au niveau d'une usine. Un pays évolue sur le plan technique soit en remplaçant les techniques les plus désuètes par les techniques les plus modernes, soit simplement en construisant des nouvelles usines avec des techniques modernes. C'est ce processus qui change la moyenne observée dans le pays⁷.

7. Cette approche s'inspire de celle de W.E.G. Salter, *Productivity and Technical Change*, The University Press, Cambridge, 1966.

Théoriquement, le modèle présenté ici est parfaitement général et il serait facile de désagréger les techniques et les industries à un niveau beaucoup plus réaliste afin de découvrir l'évolution que doit prendre chacune des sous-industries. La méthode de résolution par le dual s'applique à n'importe quel niveau d'agrégation et ressemble beaucoup au calcul de la rentabilité d'un projet d'investissement. Le problème qui est posé alors est celui de la coordination des différents secteurs en fonction de l'offre. L'on sait qu'on ne peut pas atteindre instantanément toutes les techniques les plus productives à cause du manque de certaines ressources et aussi parce que le capital en place n'est pas fluide et l'on ne peut instaurer de nouvelles techniques qu'à mesure qu'on remplace l'ancien équipement. L'objectif d'un modèle de planification des ressources humaines est justement de déterminer la demande pour ces ressources afin de planifier l'offre le plus efficacement possible en fonction de ces besoins. Pour faire ceci, il est nécessaire de traiter l'économie comme un tout. Il faudrait alors envisager un processus de planification par itérations dans lequel les prix fictifs (dans le sens du modèle statique), déterminés dans un modèle relativement agrégé mais qui couvre l'économie entière, peuvent être appliqués à des secteurs désagrégés afin de trouver les premiers changements qui peuvent être faits.

B. *Les contributions du modèle*

En dépit des limites mentionnées ci-haut, ce modèle, comparative-ment aux tentatives précédentes, offre les avantages suivants :

- a) tout en permettant une certaine désagrégation selon le secteur économique, il traite l'économie comme un tout ;
- b) il distingue clairement entre la demande de main-d'œuvre et l'offre et pose le problème du choix de la technique comme le résultat d'une interaction entre les deux ;
- c) il ne préjuge pas la forme de la fonction de production et permet la substitution dans toutes les directions et entre tous les facteurs de production ;
- d) à cause des trois points a), b) et c), il permet une intégration de l'approche main-d'œuvre (qui traite des quantités de ressources nécessaires) et l'approche taux de rendement (qui traite des rendements à l'investissement dans l'éducation comme indice de la pénurie ou du surplus de main-d'œuvre) tout en évitant des hypothèses préalables quant à l'élasticité de substitution.

De plus, je pense que ce modèle peut nous amener à une approche plus réaliste aux problèmes de changements techniques et technologiques

dans nos modèles de planification et de croissance, ainsi qu'une nouvelle façon de traiter la mesure de la productivité des travailleurs et de tous les facteurs⁸.

Ruth Rose PARKER,
Université du Québec à Montréal.

8. Je veux suggérer ici que le concept de « salaire de base » présenté comme une fonction inverse du taux de rendement à l'investissement est une meilleure mesure de la productivité conjointe du capital et du travail que le « *total-factor productivity* » utilisé par d'autres économistes comme John W. Kendrick, *Productivity Trends in the United States*, National Bureau of Economic Research, Princeton University Press, 1961. Dans l'étude de Kendrick, le prix du capital qui est utilisé pour pondérer le facteur capital est, pour le moins, ambigu.