



# Metric

Modèle économétrique trimestriel de la conjoncture  
*Annales de l'Insee* n°26-27, Avril-septembre 1977

## Extraits

Chapitre 7 (Georges de Menil and Frédéric Yohn)  
La formation de capital fixe par les entreprises

Chapitre 8 (Patrick Artus)  
Effectifs et durées du travail

## CHAPITRE 7

# La formation de capital fixe par les entreprises

par **Georges de MENIL**  
et **Frédéric YOHN**

---

L'estimation des deux équations d'investissement pour METRIC nous a entraînés dans une étude en profondeur du comportement des entreprises privées. Cette étude fut basée sur l'analyse de Charles BISCHOFF qui intègre à l'accélérateur une notion de substitution entre capital et travail *ex ante* mais non *ex post*.

Conformément à cette analyse, nous avons estimé une équation pour l'investissement en matériel et une pour l'investissement en BTP, déduites de façon cohérente d'une fonction de production à 3 facteurs. Notre étude va au-delà de celle de BISCHOFF dans sa prise en compte des effets, sur les délais de livraison, des variations conjoncturelles des marges de capacité et des difficultés de trésorerie. Nous trouvons aussi une forte indication économétrique et une mesure quantitative des effets des encadrements du crédit de 1963-1965 et 1972-1974.

## **Introduction**

---

*De nombreuses analyses économiques ont déjà établi l'accélérateur comme base solide pour l'étude de l'investissement privé en France. Voir [6], [7], [12] et [14].*

*On peut néanmoins reprocher aux versions strictes et simples de ce modèle de ne pas tenir compte des conditions de rentabilité et de financement. Certains ont même considéré que ces conditions sont déterminantes, et ont donc remplacé l'accélérateur par des taux de rentabilité et d'autofinancement : voir [3] et [4]. Pour la modélisation de la FBCF dans METRIC, nous avons préféré garder l'accélérateur comme élément de référence et chercher dans les conditions de financement des facteurs pouvant modifier, même très sensiblement, cette dynamique de base.*

*L'essentiel, dans l'accélérateur, est l'interprétation de la décision d'investir comme une décision d'augmentation de capacité de production. Le lien entre investissement et variations de production découle directement de celui entre investissement et augmentation de capacité désirée. Ainsi peut-on naturellement enrichir le modèle de base en développant la conception sous-jacente des conditions de production. En particulier, l'introduction de la possibilité de substitution entre capital et travail rend possible un lien direct entre le coût du capital et l'investissement. Le coût du capital étant sensible aux taux d'intérêts, ce lien constitue une influence directe des conditions des marchés financiers sur la FBCF. Cette constatation bien connue de JORGENSEN [8] est à l'origine de toute l'analyse néoclassique de l'investissement. Pour la France, voir [15].*

*Si certaines études antérieures ont obtenu des résultats non significatifs concernant le lien entre taux d'intérêt et investissement, on peut penser qu'il s'agit là de conséquences des spécifications retenues plutôt que d'absence totale de relation. Nous mettrons l'accent, dans notre description de la fonction de production, sur le phénomène de générations de capital et, de ce fait, introduirons une complémentarité très particulière entre les influences du taux d'intérêt et des variations de production sur l'investissement. Cette complémentarité spéciale échappe aux modèles qui ont été estimés jusqu'à présent pour la France.*

*Une seconde caractéristique de la présente étude est la différence qui y est faite entre taux d'intérêt nominal et taux d'intérêt réel, ce dernier étant le véritable critère de l'investissement en période inflationniste.*

*Les travaux présentés ci-dessus comprennent un essai d'intégration d'influences financières autres que par les taux d'intérêt dans l'explication de la FBCF.*

*Nous avons introduit comme variable supplémentaire les résultats de l'enquête de l'INSEE sur les difficultés de trésorerie des entreprises, variable qui nous a semblé résumer les aspects les plus importants de la situation financière de l'entreprise — manque de fonds propres, difficultés d'obtention de crédits, etc. Quoique satisfaisants, les résultats nous semblent loin d'être exhaustifs. Nous avons en particulier pu quantifier, sans les expliquer, des effets supplémentaires importants des encadrements du crédit de 1963-1965 et 1972-1974.*

*Notons que METRIC étant essentiellement un modèle destiné à la prévision à terme rapproché, une analyse détaillée de la formation de capital par branche ne s'imposait pas et l'analyse qui suit est donc restée au niveau agrégé des entreprises non financières dans leur ensemble. Par contre, on a bien distingué les produits dont sont composés cet investissement en faisant la séparation traditionnelle entre FBCF en BTP, FEBHL, et FBCF en matériel, FEM, cette dernière regroupant, pour des raisons de disponibilités de données, les produits de l'industrie et des services.*

*On a distingué aussi entre les investissements des entreprises privées, FCBHL et FCM, auxquels se réfère toute l'analyse de cet article, et ceux des entreprises publiques, qu'on a considérés comme des variables de commande politique.*

*Dans la première section de ce chapitre, on développera les équations de FBCF de base. Dans la deuxième, on présentera les estimations réalisées.*

# 1 Modèle de base

---

## 1.1. La dynamique d'ajustement du capital fixe

### a. L'accélérateur

Nous avons déjà vu qu'à la base de la théorie de l'accélérateur, il y a une liaison étroite entre l'investissement et les augmentations de capacité désirées par l'entreprise. Dans ce qui suit, nous allons d'abord développer l'application de cette notion à la FBCF en matériel. Nous signalerons plus tard le parallélisme étroit avec la FBCF en BTP<sup>1</sup>. Nous suivrons de très près le raisonnement de BISCHOFF [2].

Celui-ci suppose que l'entreprise privée type de l'économie non financière envisage un délai de  $n$  périodes entre le moment où elle place une commande pour un matériel donné et le moment où celui-ci sera installé.

Soit :

- $VA_t$  = la valeur ajoutée réelle de l'entreprise en période  $t$ ;
- $VA_{t+n}^a$  = la prévision de l'entreprise à la période  $t$  de sa valeur ajoutée moyenne au-delà de  $t + n$ ;
- $VACAP_{t+n}^*$  = la capacité désirée par l'entreprise (en unité de valeur ajoutée) à la période  $t$  pour la fin de la période  $t + n$ ;
- $\Delta VACAP_{t+n}^{*b}$  = les ajouts bruts de capacité désirés par l'entreprise à la période  $t$  pour la période  $t + n$ .

Notons enfin que les lettres M et B placées après un numéro d'équation signifient que cette équation est relative à la FBCF en matériel ou en bâtiment.

BISCHOFF suppose aussi que cette entreprise désire maintenir un niveau de capacité légèrement supérieur à ses prévisions de valeur ajoutée :

$$(1) \quad VACAP_{t+n}^* = \lambda VA_{t+n}^a \quad (\lambda \geq 1).$$

Il raisonne ensuite comme si l'entreprise avait toujours réalisé ses plans d'investissement par le passé et qu'elle envisageait de continuer de faire de même. Cette hypothèse est peu réaliste en périodes de variations conjonctuelles du degré d'utilisation des capacités et nous aurons l'occasion d'y revenir.

L'entreprise désirera naturellement augmenter sa capacité dans la période  $t + n$  de l'écart entre le niveau désiré pour la fin de cette période et le niveau prévu pour la fin de la période précédente,  $t + n - 1$ . Mais, raisonne BISCHOFF, puisque tout plan d'investissement est réalisé, le niveau prévu pour  $t + n - 1$  est le niveau qui avait été désiré pour cette période. Donc les augmentations de capacité nettes désirées par l'entreprise sont :

$$VACAP_{t+n}^* - VACAP_{t+n-1}^* = \lambda (VA_{t+n}^a - VA_{t+n-1}^a).$$

Reste l'investissement de remplacement. Une bonne explication nécessiterait la modélisation des divers facteurs de moyen et court terme qui influencent le rythme des déclassements. Il faudrait avoir des informations sur la rentabilité par génération des investissements passés. Il faudrait connaître l'influence sur les déclassements de phénomènes conjoncturels tels que des pressions financières ou des fluctuations dans le rythme du développement de nouvelles techniques. Faute de pouvoir tenir compte explicitement de ce jeu de variables complexes, BISCHOFF suppose simplement que l'entreprise type désire remplacer chaque période un pourcentage fixe,  $\delta$ , de la capacité en matériel existante à la fin de la période précédente. Ceci ne doit pas être interprété comme une relation rigide entre l'amortissement et la capacité mais plutôt comme une relation approximative qui résume toutes les influences sur l'investissement de remplacement de la chronique de la valeur ajoutée, dont la capacité résume — ainsi que nous allons le voir ci-dessous — l'essentiel. On verra plus tard que les estimations que nous obtenons pour  $\delta$  ne sont manifestement pas des estimations de simples taux d'amortissement.

$$\begin{aligned}\Delta \text{VACAP}_{t+n}^{*b} &= \text{VACAP}_{t+n}^* - \text{VACAP}_{t+n-1}^* + \delta \text{VACAP}_{t+n-1}^* \\ &= \text{VACAP}_{t+n}^* - (1 - \delta) \text{VACAP}_{t+n-1}^* \\ &= \lambda \left( \text{VA}_{t+n}^a - (1 - \delta) \text{VA}_{t+n-1}^a \right)\end{aligned}$$

BISCHOFF suppose ensuite le processus adaptatif simple :

$$(3) \quad \text{VA}_{t+n}^a = \sum_{j=0}^{\infty} a_j \text{VA}_{t-j}$$

et obtient :

$$(4 M) \quad \Delta \text{VACAP}_{t+n}^{*b} = \lambda \sum_{j=0}^{\infty} a_j (\text{VA}_{t-j} - (1 - \delta) \text{VA}_{t-j-1})$$

Il reste à préciser le volume d'investissement correspondant à ce plan d'augmentation brut de capacité et à tenir compte des délais de livraison.

## b. Substitution et générations de capital

L'élément le plus caractéristique de l'analyse de BISCHOFF est l'utilisation qui y est faite de l'hypothèse de « putty-clay » qui veut qu'il y ait substitution possible entre capital et travail *ex ante* mais non *ex post*. C'est-à-dire qu'au niveau de la commande du matériel et des usines, l'entreprise est supposée pouvoir choisir entre différentes technologies plus ou moins capitalistiques.

---

1. Toute l'analyse de ce chapitre se réfère au BTP et au matériel. Par contre, étant donné la désagrégation retenue pour METRIC, il a fallu introduire une équation de plus pour la FBCF en services afin de déterminer indépendamment la demande de produits de l'industrie et celle des services. La FBCF en services étant minime, on s'est satisfait d'une relation empirique pour son explication.

Mais une fois le choix fait, une fois l'usine construite et le matériel en place, les coefficients technologiques sont considérés figés. Chaque génération d'investissement conserve les décisions technologiques de sa date d'origine, et les générations seront généralement différentes entre elles <sup>2</sup>.

BISCHOFF en déduit que c'est au niveau des ajouts bruts de capacité que joue la substitution capital-travail et donc l'influence du taux d'intérêt. Ce sont, en fait, ces considérations économiques qui déterminent le coefficient de capital désiré, c'est-à-dire le ratio entre investissement brut et ajouts bruts de capacités. Supposons connu ce ratio, dont on analysera la détermination tout à l'heure. Soit  $CKM_t$  le coefficient optimal de capital en matériel calculé à partir des valeurs courantes des paramètres et  $CKM_{t+n}^a$  la prévision de l'entreprise de la valeur de ce coefficient à  $t + n$ .

BISCHOFF écrit alors que l'investissement en matériel désiré par l'entreprise pour la période  $t + n$  est :

$$(5 M) \quad FCM_{t+n}^* = CKM_{t+n}^a \Delta VACAP_{t+n}^{*b}$$

Il suppose, comme précédemment, que l'entreprise forme sa prévision du coefficient de capital par un processus extrapolatif simple :

$$(6 M) \quad CKM_{t+n}^a = \sum_{i=0}^{\infty} b_i CKM_{t-i}$$

S'il y avait substitution *ex post* aussi bien qu'*ex ante*, on pourrait raisonner en stock de matériel,  $KM$ , et l'équation (5M) s'écrirait :

$$\begin{aligned} (5 M') \quad FCM_{t+n}^* &= KM_{t+n}^* - (1 - \delta) KM_{t+n-1}^* \\ &= CKM_{t+n}^a \cdot VACAP_{t+n}^* - (1 - \delta) CKM_{t+n-1}^a \cdot VACAP_{t+n-1}^* \\ &= \lambda \left( CKM_{t+n}^a \cdot VA_{t+n}^a - (1 - \delta) CKM_{t+n+1}^a \cdot VA_{t+n-1}^a \right). \end{aligned}$$

On voit aisément que dans ce cas, dit « putty-putty », le coefficient de capital, aurait été soumis à la même dynamique d'accélérateur que la valeur ajoutée.

### c. L'ensemble des retards

BISCHOFF raisonne entièrement jusqu'à ce point sur le comportement d'une entreprise type. Il passe ensuite rapidement de l'entreprise à l'agrégat des entreprises, en supposant que l'agrégation ne change pas la forme des spécifications choisies. N'est retenu comme effet d'agrégation que la spécification des délais de livraisons, qui étaient supposés d'une durée fixe,  $n$ , pour l'entreprise type et qui sont représentés par une distribution de retards pour l'agrégat. Notant la grande diversité des délais de commandes dans l'économie privée non financière, BISCHOFF suppose que la FBCF en matériel de l'agrégat dépend des déterminants de son niveau désiré comme suit :

$$(7 M) \quad FCM_t = \sum_{k=0}^{\infty} c_k FCM_{t-k}^*$$

Nous sommes maintenant en état de rassembler les composantes de notre analyse et d'enchaîner les différents retards dans la fonction d'investissement. Au cœur de cette fonction est la relation entre investissement désiré, prévision de coefficient de capital optimal et ajouts bruts de capacité désirée :

$$(5 M) \quad FCM_{t+n}^* = CKM_{t+n}^a \cdot \Delta VACAP_{t+n}^{*b}$$

Ces ajouts bruts sont eux-mêmes liés à des prévisions de valeur ajoutées par :

$$(2) \quad \Delta VACAP_{t+n}^{*b} = \lambda \left( VA_{t+n}^a - (1 - \delta) VA_{t+n-1}^a \right)$$

Les prévisions de valeur ajoutée et du coefficient de capital optimal suivent les processus extrapolatifs simples :

$$(3) \quad VA_{t+n}^a = \sum_{j=0}^{\infty} a_j VA_{t-j},$$

$$(6 M) \quad CKM_{t+n}^a = \sum_{i=0}^{\infty} b_i CKM_{t-i}$$

La substitution de (2), (3) et (6M) dans (5M) donne une équation pour l'investissement désiré en fonction de valeurs ajoutées et coefficients de capital passés :

$$(8 M) \quad FCM_{t+n}^* = \lambda \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{i=0}^{\infty} b_i a_j CKM_{t-i} (VA_{t-j} - (1 - \delta) VA_{t-j-1}).$$

On introduit en aval les délais entre investissement désiré et investissement effectif :

$$(7 M) \quad FCM_t = \sum_{k=0}^{\infty} c_k FCM_{t-k}^*$$

C'est ainsi que l'on obtient l'équation définitive :

$$(9 M) \quad FCM_t = \lambda \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{i=0}^{\infty} c_k b_i a_j CKM_{t-k-i} (VA_{t-k-j} - (1 - \delta) VA_{t-k-j-1})$$

La distribution complète des retards est un croisement de retards individuels sur le coefficient de capital et sur la valeur ajoutée. On peut simplifier l'expression (9M) un peu en rassemblant certains paramètres :

$$(10 M) \quad FCM_t = \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} \beta_{ij} CKM_{t-i} (VA_{t-j} - (1 - \delta) VA_{t-j-1});$$

$$\beta_{ij} = \lambda \sum_{k=0}^{\min(i, j)} c_k b_i a_j$$

2. Puisque les investissements de différentes périodes ne sont pas comparables, la notion d'un stock de capital qui serait un inventaire perpétuel de FBCF passé perd son sens, et l'on est obligé de raisonner en unités de capacité.



Les coefficients  $c_k$ , qui représentent le pourcentage d'une commande donnée livrée  $k$  périodes plus tard, sont tous positifs. Si, au surplus, les processus de prévision de  $CKM^a$  et  $VA^a$  sont régressifs ( $b_i, a_j \geq 0 \forall i, j$ ), tous les éléments de la matrice  $[\beta_{ij}]$  sont positifs.

Supposons que  $VA$  soit constant et que seul  $CKM$  change. La distribution des effets retardés de  $CKM$ , sur  $FCM$  serait proportionnel aux sommes de rangs (positives) de  $[\beta_{ij}]$  :

$$FCM_t = \delta \overline{VA} \sum_{j=0}^{\infty} \beta_{tj} CKM_{t-t}$$

Supposons, par contre, que  $CKM$  soit constant mais que  $VA$  change, alors :

$$\begin{aligned} FCM_t &= \overline{CKM} \sum_{i=0}^{\infty} \beta_{tj} (VA_{t-j} - (1-\delta)VA_{t-j-1}) \\ &= \overline{CKM} \left( \sum_{i=0}^{\infty} \beta_{tj} - (1-\delta) \sum_{i=0}^{\infty} \beta_{t,j-1} \right) VA_{t-j} \end{aligned}$$

La distribution des effets retardés de  $VA$  sur  $FCM$  serait proportionnelle aux sommes de colonnes d'une matrice :

$$[\beta_{tj} - (1-\delta)\beta_{t,j-1}]$$

Les éléments de cette distribution seraient d'abord positifs et ensuite négatifs et reflèteraient ainsi la dynamique de l'accélérateur.

BISCHOFF constate que les éléments de la matrice  $[\beta_{ij}]$  sont trop nombreux pour que l'on puisse espérer les estimer tous. Il propose l'approximation :

$$\beta_{ij} = 0 \forall i \neq j$$

Ceci revient à dire que le coefficient de capital d'une période passée,  $CKM_{t-t}$ , s'applique seulement aux augmentations de capacité engendrées par la variation de valeur ajoutée de la même période :

$$VA_{t-t} - (1-\delta)VA_{t-t-1}$$

et non pas à ceux de toute autre période  $t-j, j \neq i$ . Plus les délais de prévisions sont courts, c'est-à-dire plus  $b_i$  et  $a_j$  diminuent rapidement, plus cette hypothèse de simultanéité des effets se rapproche des faits. Dans le cas des anticipations dites « naïves »,

$$VA_{t+n}^a = VA_{t-1} \quad \text{et} \quad CKM_{t+n}^a = CKM_{t-1}$$

l'approximation de BISCHOFF tient exactement. Dans ce cas, il ne subsisterait comme source de retards prolongés dans la fonction d'investissement que les délais de livraison.

Cette approximation ainsi que la limitation à un nombre fini de périodes,  $q$ , de ces retards en principe infinis donne l'équation suivante, que nous chercherons à estimer :

$$(10 M') \quad FCM_t = \sum_{i=0}^q \beta_i CKM_{t-i} (VA_{t-i} - (1 - \delta) VA_{t-i-1})$$

Si on connaît  $\delta$ , ceci peut être estimé directement. Si on ne connaît pas  $\delta$ , on peut ou estimer (10 M') directement, avec une méthode non linéaire, ou estimer sans contraintes les coefficients de deux retards séparés :

$$(10 M'') \quad FCM_t = \sum_{i=0}^q \beta_i CKM_{t-i} VA_{t-i} - (1 - \delta) \sum_{i=0}^q \beta_i CKM_{t-i} VA_{t-i-1}$$

BISCHOFF lui-même choisit la deuxième alternative.

Le même type de raisonnement que ci-dessus tient pour la FBCF en BTP, pour laquelle l'équation destinée à l'estimation sera la suivante :

$$(10 B') \quad FCBHL_t = \sum_{i=0}^q \alpha_i CKB_{t-i} (VA_{t-i} - (1 - \sigma) VA_{t-i-1})$$

Signalons que la logique d'une équation du type (10) permet la construction, une fois estimés les coefficients de ses retards, d'un indice objectif du niveau de capacité. Nous décrivons dans l'annexe 1 le calcul qui a été effectué pour obtenir un tel indice, dont on verra l'utilisation dans l'explication des marges subjectives de capacité dans le chapitre 9.

#### d. Marges et révisions de plans

BISCHOFF raisonne comme si l'entreprise poursuivait ses plans d'investissement sans se préoccuper de savoir si ses prévisions de ventes se réalisent ou pas. Selon la formulation de BISCHOFF, une fois les commandes passées, les délais de livraison sont rigides et même un effondrement de la demande n'influencerait pas les livraisons en cours. C'est l'interprétation qu'on est forcé de donner à l'absence dans sa formulation de toute référence au degré d'utilisation courant des capacités.

Il est évident que l'on ne peut pas maintenir un tel argument en période de variations conjonctuelles importantes des marges de capacités inutilisées. Il est plus naturel de supposer qu'une entreprise qui constate qu'elle a des capacités excédentaires, parce que sa production est inférieure au niveau prévu, annule certaines des commandes d'équipement passées, quitte à les réinstaurer lors de la prochaine reprise. En périodes de capacités excédentaires prolongées, l'entreprise pourrait annuler certaines commandes définitivement. Ceci revient à dire que les délais de livraison sont prolongés ou raccourcis selon que les marges sont supérieures ou inférieures à leur niveau normal.

Concrètement nous supposons que les coefficients des délais de livraison sont fonction de l'écart entre les marges et leur niveau normal. Ces coefficients sont les  $c_k$  dans :

$$(7M) \quad FCM_t = \sum_0^{\infty} c_k FCM_{t-k}^*$$

Nous supposons donc que :

$$c_k = c_k^0 + c_k^1 (CAPA_t - CAPA_t^*) \quad \forall k.$$

L'équation (9M) devient :

$$(11 M) \quad FCM_t = \lambda \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{i=0}^{\infty} c_k^0 b_i a_j CKM_{t-k-i} (VA_{t-k-j} - (1-\delta)VA_{t-k-j-1}) \\ + (CAPA_t - CAPA_t^*) \lambda \cdot \\ \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{i=0}^{\infty} c_k^1 b_i a_j CKM_{t-k-i} (VA_{t-k-j} - (1-\delta)VA_{t-k-j-1})$$

Ce qui donne, après la simplification de BISCHOFF :

$$(12 M) \quad FCM_t = \sum_{i=0}^q \beta_i CKM_{t-i} (VA_{t-i} - (1-\delta)VA_{t-i-1}) \\ + (CAPA - CAPA^*) \sum_{i=0}^q \tilde{\beta}_i CKM_{t-i} (VA_{t-i} - (1-\delta)VA_{t-i-1}).$$

On a tracé sur le haut du graphique 1 la distribution de retards composites qu'entraîneraient différents niveaux de marges. Le trait plein représente ce que serait la distribution des retards si les marges étaient toujours à leur niveau normal. Son profil est classique.

Le retard  $\tilde{\beta}_i$ , qui représente un ajustement à ce retard normal, est d'abord négatif, ensuite positif. Les valeurs négatives représentent le retardement initial des livraisons, les valeurs positives, le rattrapage postérieur. La contrainte qu'aucune commande ne soit définitivement annulé serait :

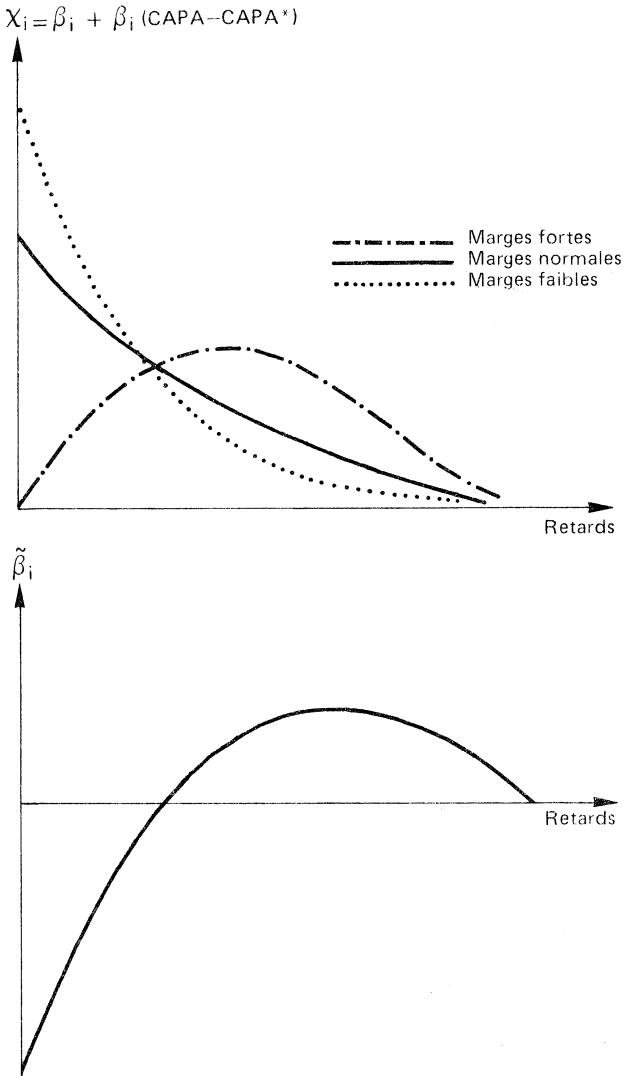
$$\sum_{i=0}^q \tilde{\beta}_i = 0$$

par contre, il serait raisonnable que cette somme soit négative.

### e. Difficultés de trésorerie et révisions de plans

Un raisonnement analogue s'applique à l'influence de la liquidité de l'entreprise sur son investissement. Le concept de coût d'usage que nous allons utiliser dans le paragraphe 1.2. (voir aussi, annexe 2), tient compte du coût du financement d'un investissement, mais non pas de la façon dont le risque associé à ce financement varie avec la liquidité de l'entreprise. Il est

*Effets retardés des marges*



vraisemblable que l'entreprise type ralentit ses livraisons d'équipement (et ses projets de construction d'usines) quand sa liquidité est plus faible qu'elle ne le désire, et qu'elle les accélère en période de forte liquidité. Mécaniquement on peut prendre en compte un tel effet de la même façon qu'il a été proposé de prendre en compte l'influence de variations de marges de production. En supposant que les deux effets soient additifs, on peut d'ailleurs modifier le retard initial par l'addition de deux facteurs multiplicatifs, l'un pour les marges, et l'autre pour la liquidité. Il suffit seulement de trouver un indice du degré de liquidité de l'entreprise. Pour cela, nous nous servirons de l'enquête de trésorerie de l'INSEE, TRES, qui est décrite dans le chapitre 9.

Certains des avantages et des défauts de cette enquête comme indice de liquidité seront commentés dans le paragraphe 2.3.b.

## 1.2. Coefficient de capital désiré

Nous examinerons maintenant le choix par l'entreprise de l'intensité capitalistique de sa production tant en matériel qu'en produit du BTP afin de déduire des spécifications pour les coefficients de capital désirés, CKM et CKB.

### a. Fonction de production *ex ante*

Dans l'optique de l'hypothèse « putty-clay », ce choix dépend des caractéristiques de la fonction de production *ex ante*. BISCHOFF retient l'hypothèse d'une fonction COBB-DOUGLAS entre la capacité de production et les divers facteurs.

Soit :

$V_{\tau}^c$  = la capacité initiale d'un capital installé à la date  $\tau$ ;

$A_{\tau}$  = la main-d'œuvre, en heures, associée à ce capital;

$F_{\tau}^m$  = l'investissement en matériel dont est constitué ce capital;

$F_{\tau}^b$  = l'investissement en BTP dont est constitué ce capital;

$S$  = le coût de l'unité de main-d'œuvre;

$U^m, U^b$  = le coût d'usage d'une unité d'investissement en matériel et en BTP (voir annexe 2);

$P_{\tau}$  = le prix de l'unité produite à la date initiale.

BISCHOFF écrit <sup>3</sup> :

$$(13) \quad V_{\tau}^c = (A_{\tau} e^{\mu\tau})^{\alpha} (F_{\tau}^m)^{\varphi} (F_{\tau}^b)^{\psi};$$

$$\alpha + \varphi + \psi = 1$$

Les coûts associés à un niveau de capacité installé à la date  $\tau$  sont :

$$SA_{\tau} + U^m F_{\tau}^m + U^b F_{\tau}^b.$$

---

3. BISCHOFF suppose, même dans le cas plus général de la fonction de production à élasticité de substitution constante, que tout progrès technique augmente la quantité effective de main-d'œuvre.

Par contre, il ne fait pas d'hypothèse précise sur le degré d'incorporation au capital du progrès technique. Nous suivons ANDO, MODIGLIANI, RAASCHE et TURNOVSKY [1], qui supposent tout progrès technique incorporé au capital. Par conséquent le facteur qui représente le progrès technique,  $e^{\nu\tau}$ , dépend seulement de la date d'origine du capital. On verra plus loin que la présence d'une partie non incorporée du progrès technique ne change que très légèrement les formules retenues.

L'application simple de la méthode de Lagrange montre que la minimisation de ces coûts implique :

$$(14 M) \quad \text{CKM}_\tau = \frac{F_\tau^m}{V_\tau^c} = C_1 \left( \frac{S}{U^m} \right)^\alpha \left( \frac{U^b}{U^m} \right)^\psi e^{-\gamma\tau}$$

$$(14 B) \quad \text{CKB}_\tau = \frac{F_\tau^b}{V_\tau^c} = C_2 \left( \frac{S}{U^b} \right)^\alpha \left( \frac{U^m}{U^b} \right)^\varphi e^{-\gamma\tau}$$

$$\gamma = \mu\alpha$$

où  $C_1$ ,  $C_2$  — et plus bas  $C_3$  — résultent de la composition des constantes  $\alpha$ ,  $\varphi$ ,  $\psi$ .

BISCHOFF suppose en plus que le prix du produit à la date  $\tau$ ,  $P_\tau$ , est proportionnel au coût marginal total de production sur le nouveau capital installé à cette date. Soit  $tm$  le taux de marge bénéficiaire :

$$P_\tau = (1 + tm) [C_3 S^\alpha U^m \varphi U^b \psi e^{-\gamma\tau}]$$

pour lui, cette proportionnalité reflète un comportement oligopolistique de « mark-up » sur le coût total à long terme, mais on pourrait vraisemblablement aussi la déduire d'un comportement de prix destiné à maximiser le profit à long terme.

En tout cas, elle lui permet de simplifier les expressions (14) et de retenir les expressions classiques suivantes :

$$(15 M) \quad \frac{F_\tau^m}{V_\tau^c} = \varphi \left( \frac{P/(1 + tm)}{U^m} \right)$$

$$(15 B) \quad \frac{F_\tau^b}{V_\tau^c} = \psi \left( \frac{P/(1 + tm)}{U^b} \right).$$

Cette hypothèse de proportionnalité à un coût marginal de long terme ne s'avérant pas être une bonne approximation du comportement en matière de prix des entreprises françaises, nous prendrons les deux premières expressions (14) pour spécification du coefficient de capital désiré dans ce qui suit <sup>4</sup>.

Rappelons que la fonction de production *ex ante* (13) est une relation entre capacité en unité de valeur ajoutée et les facteurs capital et travail. Il est sous-entendu que les consommations de biens intermédiaires sont complémentaires à la production <sup>5</sup>. Cette complémentarité n'est nullement contradictoire avec des possibilités de substitutions entre le travail et les composantes du capital <sup>6</sup>.

4. Voir « Les prix » (chapitre 11). Le comportement des entreprises françaises est dominé par les mouvements de court terme des coûts unitaires variables.

5. Voir le « TEI » (chapitre 2).

## b. Spécifications alternatives

BISCHOFF suppose, dans l'argument que nous venons de présenter, que les trois facteurs entrent de façon symétrique dans la fonction de production. Ceci n'est pas nécessairement le cas. Il se peut qu'une ou l'autre des composantes du capital soit complémentaire avec la valeur ajoutée, ou qu'elles le soient entre elles. En croisant simplement l'hypothèse de complémentarité, d'une part, et celle de substituabilité selon la loi de COBB-DOUGLAS d'autre part, on obtient les quatre schémas alternatifs qui suivent. On notera que nous imposons dans chaque schéma une cohérence entre la demande de capital en matériel et en BTP, en déduisant ces deux demandes d'une même fonction de production *ex ante*.

### i. COMPLÉMENTARITÉ COMPLÈTE

Dans ce cas extrême, il n'y a aucune substitution possible entre capital et travail. La fonction de production *ex ante* s'écrit :

$$(16) \quad V_{\tau}^c = \text{Min} \left( \frac{F_{\tau}^m}{C^m}, \frac{F_{\tau}^b}{C^b} \right)$$

les coefficients CKM et CKB sont des constantes,  $C^m$  et  $C^b$ , et les équations pour la FBCF en matériel et en BTP prennent la forme de l'accélérateur simple.

6. Supposons  $X_{j,\tau}^c$ , la capacité nouvelle en unité de production à la date  $\tau$  de l'entreprise type dans la branche  $j$ , et  $X_{i,j,\tau}$ , ses consommations intermédiaires du produit  $i$  sur cette nouvelle capacité. Donnons aussi un sens normal à l'indice  $j$  rajouté aux variables utilisées précédemment. Alors l'écriture complète des conditions de production de cette entreprise sur sa nouvelle capacité devient :

$$(i). \quad X_{i,j,\tau} = a_{ij} X_{j,\tau}^c \quad \forall i$$

$$(ii). \quad X_{j,\tau}^c = (A_{j,\tau} e^{\gamma_j \tau})^{\alpha} (F_{j,\tau}^m)^{\varphi} (F_{j,\tau})^{\psi}$$

Puisque :

$$V_{j,\tau}^c = (1 - \sum_i a_{ij}) X_{j,\tau}^c$$

on peut passer sans difficulté de (ii) à une fonction de production *ex ante* liant la capacité en unité de valeur ajoutée aux facteurs capital et travail.

Rappelons que la spécification du coefficient de capital qui en sera déduite tient pour cette entreprise type. Pour passer au coefficient de capital moyen de l'agrégat des entreprises de toutes branches, il faut en principe tenir compte des caractéristiques de la distribution des entreprises. Nous supposons simplement que la relation agrégative garde la forme de la spécification déduite pour l'entreprise type.

ii. SUBSTITUABILITÉ ENTRE DEUX FACTEURS

Une des deux catégories de capital est complémentaire avec la valeur ajoutée mais l'autre est substituable avec le travail. Supposons que ce soit le matériel qui reste substituable. La fonction de production *ex ante* s'écrit :

$$(17) \quad V_{\tau}^c = \text{Min} \left\{ (A_{\tau} e^{\mu\tau})^{\alpha} (F_{\tau}^m)^{1-\alpha}; \frac{F_{\tau}^b}{C^b} \right\};$$

on en déduit que :

$$(18 M) \quad \text{CKM} = \left( \frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^{\alpha} \left( \frac{S}{U^m} \right)^{\alpha} e^{-\gamma\tau} \quad \text{et}$$

$$(18 B) \quad \text{CKB} = C^b$$

la FBCF en BTP suit l'accélérateur simple et la FBCF en matériel une équation du type de BISCHOFF dans laquelle son coefficient de capital est fonction de son seul coût d'usage.

iii. SUBSTITUABILITÉ ENTRE TROIS FACTEURS

C'est le schéma préconisé par BISCHOFF. Les deux catégories de capital et le travail sont tous substituables. La fonction de production *ex ante* est donnée par (13) et les coefficients optimaux CKM et CKB par (14M) et (14B). L'investissement suit l'équation de BISCHOFF dans les deux cas. Les deux coûts d'usage entrent, mais de façon différente, dans chaque coefficient de capital désiré.

iv. COMPLÉMENTARITÉ ENTRE LE MATÉRIEL ET LE BTP

Ces deux catégories entrent avec des coefficients fixes dans un agglomérat de capital qui reste substituable avec le travail. La fonction de production devient :

$$(19) \quad V_{\tau}^c = (A e^{\gamma\tau})^{\alpha} K^{1-\alpha};$$

$$K_{\tau} = \text{Min} \left( \frac{F_{\tau}^m}{k^m}, \frac{F_{\tau}^b}{k^b} \right).$$

Les coefficients de capital désirés pour le matériel et le BTP dépendent tous deux du coût d'usage de l'agglomérat de capital, K, qui est une pondération des coûts d'usage de ces deux composantes :

$$U^K = \frac{k^m}{k^m + k^b} U^m + \frac{k^b}{k^m + k^b} U^b$$

$$(20 M) \quad \text{CKM} = k^m \left( \frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^{\alpha} \left( \frac{S}{U^K} \right)^{\alpha} e^{-\gamma\tau}$$

$$(20 B) \quad \text{CKB} = k^b \left( \frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^{\alpha} \left( \frac{S}{U^K} \right)^{\alpha} e^{-\gamma\tau}$$

L'investissement suit l'équation de BISCHOFF dans les deux cas, mais le même coût d'usage pondéré entre dans l'expression pour chaque coefficient de capital désiré. Ceux-ci sont proportionnels.



# 2

## Estimations

---

Dans cette partie, avant de présenter les estimations obtenues des modèles élaborés plus haut, nous signalerons d'abord les sources statistiques de la base des données et décrirons le profil des séries étudiées.

### 2.1. Sources statistiques

#### a. *FBCF*

Il s'agit de la FBCF des entreprises à caractère concurrentiel en matériel et en BTP. Les données de base sont les estimations annuelles en volume de DELESTRÉ [5] qui permettent d'établir le double découpage privé-public et BTP-matériel. Les comptes trimestriels ne font pas la séparation privé-public. Nous avons donc pris comme estimation de la FBCF publique trimestrielle un lissage <sup>7</sup> des données annuelles de DELESTRÉ et, comme estimation de la FBCF privée, l'écart entre le total tiré des comptes trimestriels et cette série lissée. Cette méthode, qui reporte toutes les irrégularités sur la FBCF privée, est évidemment fruste, mais elle est peut-être plus justifiée pour le matériel que pour le BTP, à cause de la plus grande importance (25 % de l'investissement en BTP et 17 % de celui en matériel) et la plus grande variabilité (étant donné son rôle comme instrument de politique contracyclique) de la partie publique de l'investissement en BTP. Quoiqu'il en soit, l'imprécision à la fois de la série de base et de la méthode utilisée pour déduire la partie publique est telle que la série pour la FBCF privée en BTP semble être de qualité nettement inférieure à celle pour le matériel <sup>8</sup>.

#### b. *Coût d'usage du capital*

Suivant la pratique développée par MALINVAUD [11], nous avons représenté le coût d'usage du capital par un indice qui est lui-même le produit de trois indices de facteurs différents : le prix de la FBCF, le facteur de fiscalité et le facteur d'actualisation (voir annexe 2). Les prix de la FBCF en BTP et matériel sortent directement des comptes trimestriels. L'indice de fiscalité, dont la version trimestrielle utilisée ici est due à M. de MONCHY, représente l'effet sur la valeur actualisée, lors de l'achat d'un bien de capital, des principales modifications de la législation fiscale. Depuis 1959, celles-ci ont été, notamment, la généralisation de la TVA en 1968 et les déductions fiscales pour investissement en équipement en 1966, 1968-69 et 1975. Les calculs établis par MALINVAUD ont été trimestrialisés en fonction des dates des

diverses modifications. Les déductions fiscales n'ayant pas joué pour le BTP, son indice fiscal n'intègre qu'une baisse lors de la généralisation de la TVA.

L'indice d'actualisation tient compte de la dimension temporelle, et donc du taux d'intérêt réel dans le coût d'usage. Les moyens de financement pour les investissements des entreprises sont différents selon qu'il s'agit d'équipement ou d'usines et de gros travaux. Pour les premiers, les entreprises s'adressent, pour tout financement externe, principalement aux banques qui leur octroient des crédits à moyen terme ou à court terme renouvelables. Pour les deuxièmes, ils s'adressent pour une partie au Crédit national.

Le taux d'intérêt utilisé a été, suivant les estimations, soit le taux d'intérêt des obligations du secteur privé, soit le taux des crédits à moyen et long terme du Crédit national. Nous supposons qu'il y a suffisamment d'arbitrage pour que le taux moyen des obligations représente une espérance moyenne des taux à court et moyen terme du crédit bancaire pour une période égale à la durée de vie d'un équipement moyen <sup>9</sup>.

La prévision moyenne de hausse de prix à long terme, qui est soustraite du taux nominal dans les deux cas pour obtenir un taux réel, est celle dont la construction est décrite dans le chapitre 13 <sup>10</sup>.

7. Voir la méthodologie de lissage décrite dans l'introduction de G. LAROQUE, B. LE CALVEZ, P. NASSE [9].

8. Telle qu'elle est décrite dans le texte, la série est marquée de plusieurs accidents qui semblent sans explication. Nous en avons corrigé une en 1973 où la série initiale baisse abruptement et passe par un creux qui n'apparaît pas dans les données annuelles de DELESTRÉ. On sait d'autre part que les mesures anti-inflationnistes de décembre 1972 ont été suivies d'une période particulièrement rigoureuse pour les investissements publics. L'attribution de toute la baisse de la FCBF totale en BTP des deux premiers trimestres de 1973 au secteur privé serait donc exagérée. Nous avons donc remplacé la série estimée mécaniquement par une ligne droite entre 1972.4 et 1973.4.

9. Les deux séries ont été obtenues de la Banque de France.

10. Les formules pour les indices d'actualisation sont (A1M) et (A2M) dans l'annexe 2. Ces indices varient avec  $i-p-\gamma$ , le taux d'intérêt nominal moins la progression prévue du salaire horaire (la hausse de ce dernier étant supposée égale au taux d'inflation anticipé plus un taux de progrès technique  $\gamma$ ). Notre mesure de  $\dot{p}$  est tirée du chapitre 13 sur les anticipations prix à long terme.

Nous supposons :

$$\dot{p} = \pi - 7,1 \% \text{ avant } 1973.4;$$

$$\dot{p} = \pi - 7,4 \% \text{ en } 1973.4;$$

$$\dot{p} = \pi - 8,1 \% \text{ à partir de } 1974.1;$$

$\pi$  étant la hausse prévue des recettes nominales d'EDF-GDF et 7,1 % étant le taux moyen des recettes réelles équivalentes avant 1973.4. L'augmentation à 8,1 % de la prévision du taux des recettes réelles après 1973.4 est basée sur les estimations du chapitre cité.

Après expérimentation, nous avons retenu la valeur de 1,6 % pour  $\gamma$ , ce qui donne

$$\dot{p} + \gamma = \pi - 5,5 \% \text{ avant } 1973.4, \text{ etc.}$$

### c. Autres séries

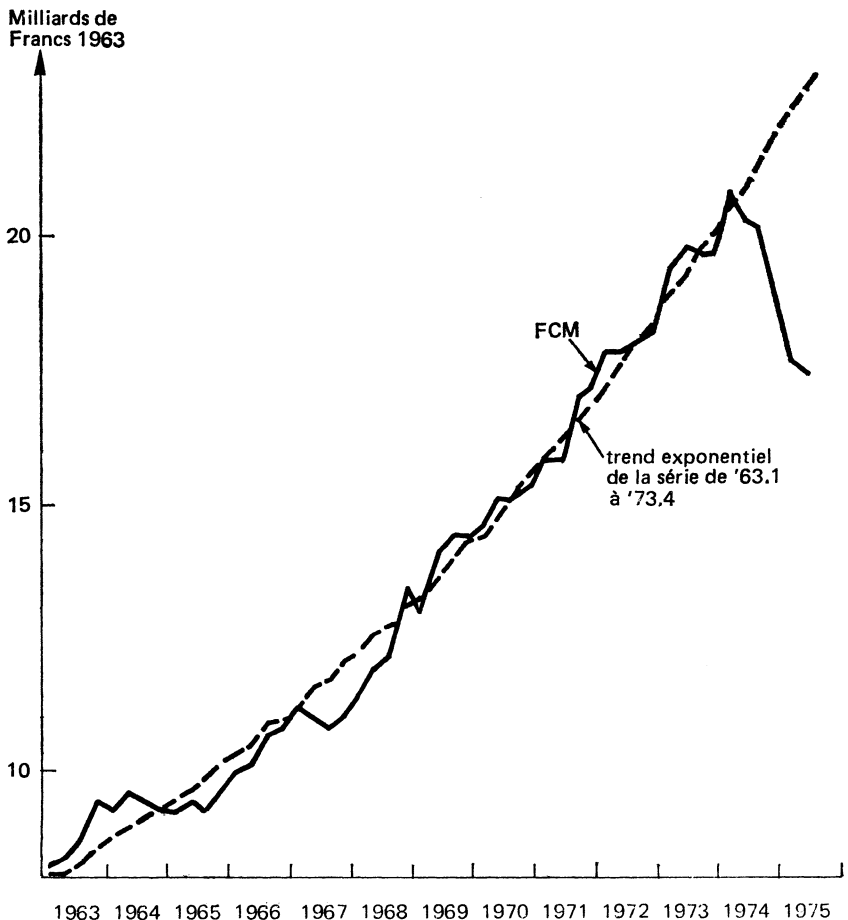
Nous représentons la valeur ajoutée des entreprises privées par la valeur ajoutée de l'ensemble des entreprises non financières, que nous calculons comme le solde de la valeur ajoutée totale moins la PIB des ménages. Pour le coût de la main-d'œuvre, nous prenons le rapport de la masse salariale brute plus cotisations et prestations à l'activité dans l'ensemble non financier non agricole.

## 2.2. Profils des séries

Les graphiques 2 et 3 montrent les évolutions par rapport à leur tendance de la FBCF privée en matériel et en BTP. On y voit bien la croissance régulière et forte de l'investissement productif en France avant 1973. On sait que de 1959 à 1973, les taux de croissance tendanciels de la FBCF privée en matériel et en BTP était 9,0 % et 8,5 % l'an respectivement <sup>11</sup>. La part du

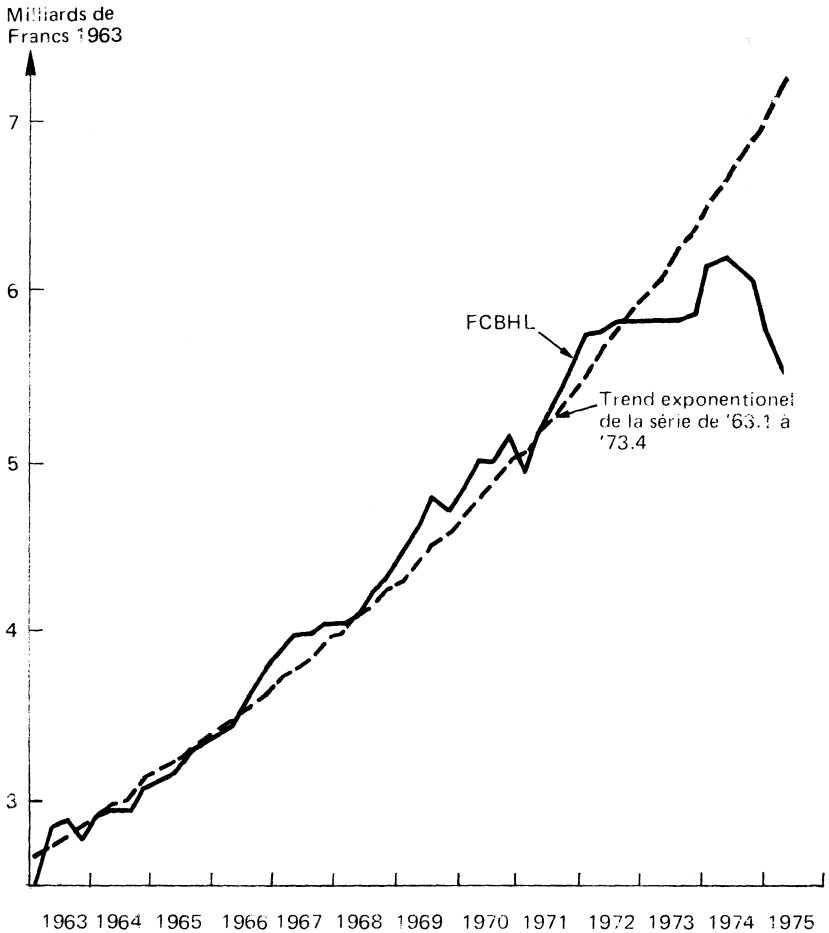
GRAPHIQUE 2

*FBCF en matériel des ENF privées (francs 1963).*



GRAPHIQUE 3

**FBCF en BTP des ENF privées (francs 1963).**

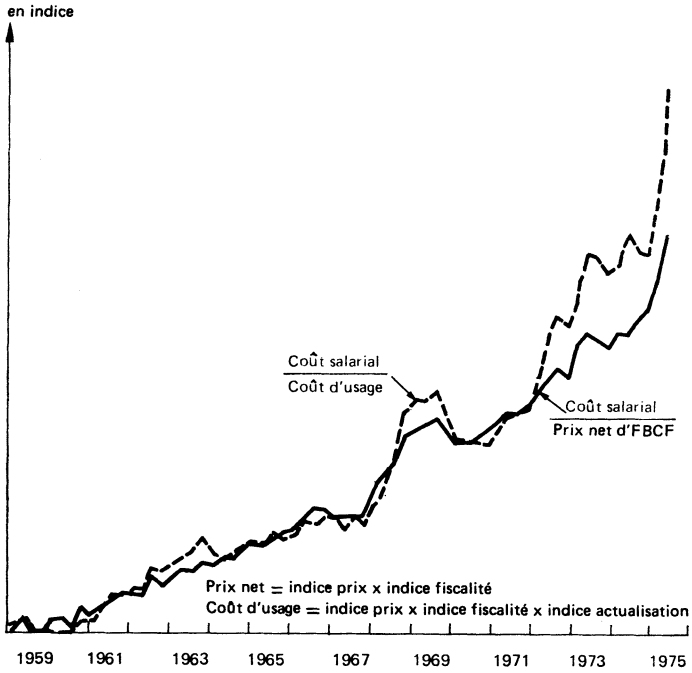


matériel dans le total est restée constamment proche de 75 %. Ces taux de croissance, 50 % plus élevés que celui de la valeur ajoutée sur la même période (6,1 %), représente, une intensification de la capitalisation de l'industrie privée en France, phénomène bien connu auquel toute analyse de la FBCF doit apporter une explication. Les hypothèses qui ont été développées plus haut voudraient qu'une partie importante du phénomène soit lié à l'évolution des rapports entre coûts de facteurs représentés dans les graphiques 4 et 5. Le trait plein dans chaque graphique représente le rapport entre le coût de la main-d'œuvre (défini plus haut) et le prix net de la FBCF après correction pour les effets des principales modifications de la législation fiscale. Le prix de la main-d'œuvre croît régulièrement plus rapidement que le prix d'un

11. Ces taux correspondent à nos données qui sont en base 1961. On sait que l'estimation de la progression de la FBCF dans le nouveau système élargi de comptabilité nationale est moins élevée.

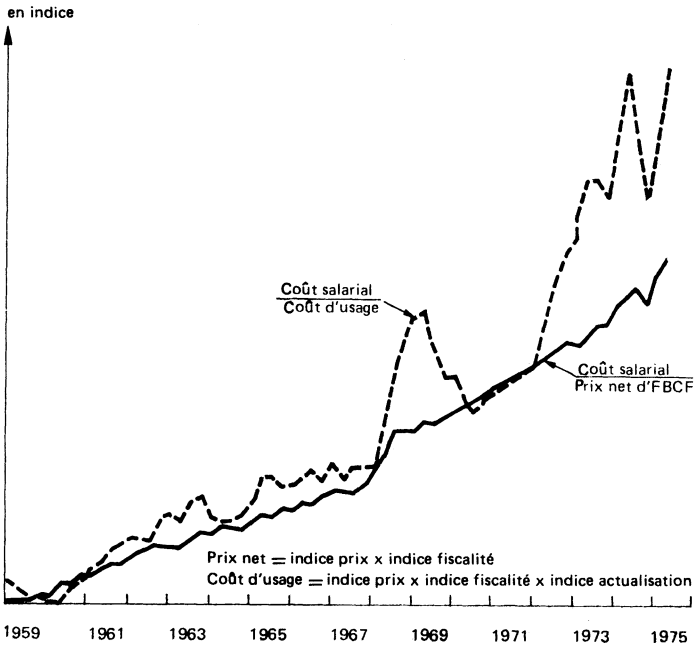
## GRAPHIQUE 4

*Deux mesures du rapport entre le coût de la main-d'œuvre et le coût du capital en matériel.*



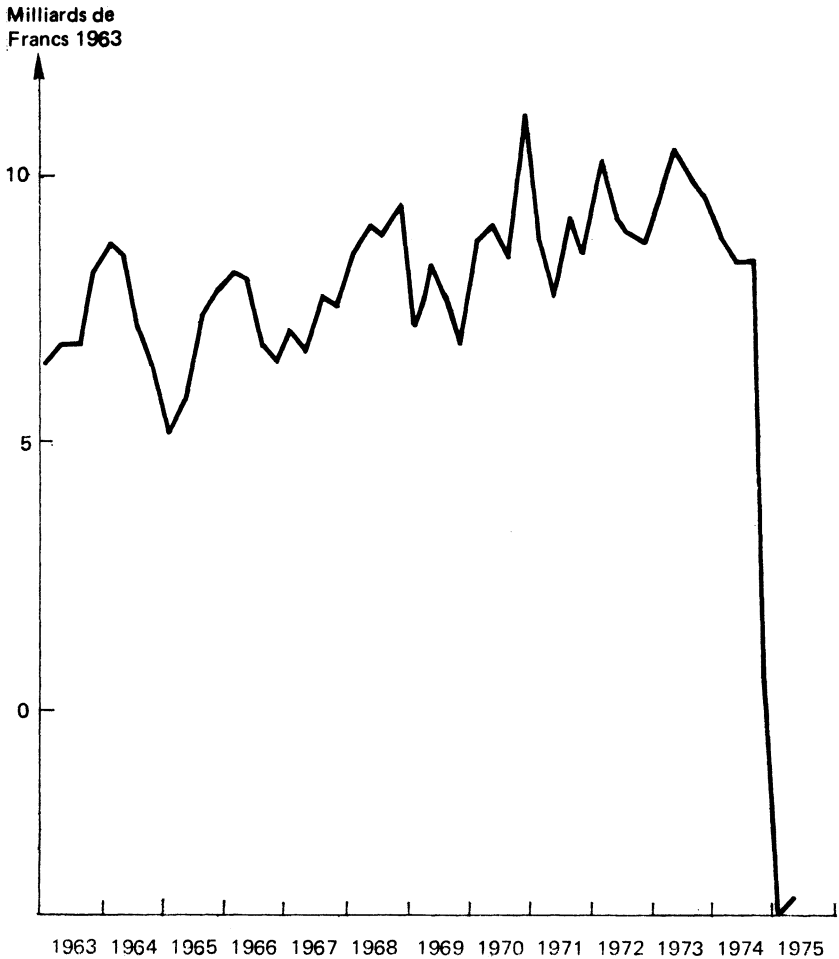
## GRAPHIQUE 5

*Deux mesures du rapport entre le coût de la main-d'œuvre et le coût du capital en BTP*



GRAPHIQUE 6

*Variations de la valeur ajoutée des ENF (en francs 1963)  
par rapport au même trimestre de l'année précédente.*



capital nouveau. Entre 1959 et 1973, le taux de croissance moyen du salaire horaire (plus cotisations et prestations) était de 9,4 % l'an, tandis que ceux des prix de la FBCF en matériel et en BTP était 3,1 et 4,7 % respectivement (le prix de l'ensemble des ressources augmentait de 6,8 % l'an sur la même période). La croissance moyenne du rapport entre prix de la main-d'œuvre et prix d'un capital nouveau (après correction fiscale) était de 6,7 % pour le matériel et 5,1 % pour le BTP. Une partie de cette évolution fut vraisemblablement compensée par le progrès technique.

A l'intérieur de cette croissance se dessinent aussi des mouvements conjoncturels. La crise de 1974 et 1975 est l'événement conjoncturel dominant de la période. On aperçoit aussi d'autres mouvements cycliques moins importants. Dans le cas de la FBCF matériel, ils semblent correspondre, conformément à la notion de l'accélérateur, au cycle de variations de la valeur ajoutée (graphique 6).

On entrevoit aussi une légère corrélation avec les mouvements conjoncturels du rapport entre coût salarial et coût d'usage du capital matériel. On peut lire ceux-ci sur le graphique 4 où la différence entre le trait brisé et le trait plein est due à la seule influence de l'indice d'actualisation. C'est cet indice qui donne tout son caractère conjoncturel au coût d'usage (et donc au rapport coût salarial sur coût d'usage), les périodes de forte inflation tendant à faire baisser le taux d'intérêt réel et le coût d'usage <sup>12</sup>.

L'évolution de la FBCF en BTP est plus particulière. Elle est d'abord plus tendancielle. On aperçoit peu de corrélation entre le mouvement de la FBCF en BTP et le taux d'intérêt réel à payer pour son financement (graphique 10 de l'annexe 2). Elle entame en 1966 et 1967 un mouvement contracyclique avant de retrouver le profil plus habituel des années fortes en 1969 et 1972. L'investissement en BTP entre en crise un an avant l'investissement en matériel. Est-ce un effet différentiel de l'encadrement du crédit de 1973 ou une erreur dans la série? Toujours est-il que, partant de plus bas, l'investissement en BTP, qui tombe moins abruptement que le matériel à la fin de 1974, se trouve néanmoins en 1975.2, comme ce dernier, 25 % en-dessous de sa tendance.

### 2.3. Les résultats

Afin de respecter la cohérence entre investissement en matériel et en BPT, on présentera un à un l'ensemble des résultats correspondant à chaque schéma proposé dans 1.2.b. A titre de rappel, signalons qu'il s'agit des quatre schémas suivants :

- i. Complémentarité complète;
- ii. Substituabilité entre deux facteurs;
- iii. Substituabilité entre trois facteurs, et
- iv. Complémentarité entre matériel et BTP.

Avant de présenter les résultats, nous ferons deux remarques d'ordre général. La première touche l'estimation des polynômes de retards tels qu'ils apparaissent dans une équation type comme (10M"). La logique du développement du modèle veut que les coefficients  $(1 - \delta)\beta_i$  du retard sur  $CKM_{t-i} \cdot VA_{t-i-1}$  soient proportionnels aux coefficients  $\beta_i$  du retard sur  $CKM_{t-i} \cdot VA_{t-i}$ . En fait nous pensons que c'est trop demander à l'exactitude de l'approximation décrite à la fin de 1.1.c que d'imposer cette contrainte, et nous préférons suivre BISCHOFF et estimer chaque retard séparément. Mais, dans le cas de l'accélérateur simple (où CKM est constant), la colinéarité entre  $VA_t$  et  $VA_{t-1}$  est tellement forte que nous avons été obligés de spécifier la valeur de  $\delta$  (obtenue par balayage) et de n'estimer qu'un retard sur l'expression  $VA_{t-i} - (1 - \delta)VA_{t-i-1}$ . Donc, par souci de comparabilité nous avons estimé toutes les autres spécifications examinées de deux façons : d'abord en imposant la valeur de  $\delta$  retenue pour l'estimation de l'accélérateur simple, et ensuite en estimant librement deux retards séparés pour  $CKM_{t-i} \cdot VA_{t-i}$  et  $CKM_{t-i} \cdot VA_{t-i-1}$ . Dans tous les cas l'estimation a été réalisée avec la méthode d'ALMON. Chaque fois que les coefficients d'un retard échelonné sont présentés, nous indiquerons l'ordre du polynôme et signalerons si fut imposée la contrainte que le dernier coefficient soit égal à zéro.

Notre deuxième remarque touche à l'estimation des élasticités et de la tendance technologique qui paraissent dans les divers expressions pour le coût d'usage du capital. L'introduction de l'expression pour le coût d'usage dans l'équation de FBCF la rend non linéaire dans certains de ses paramètres. Nous avons utilisé une méthode de balayage en deux ou trois dimensions pour estimer ces paramètres.

### a. Les quatre schémas de substitution

Dans ce paragraphe, la forme générale de toutes les équations estimées sera celle de BISCHOFF, et seul changera la spécification du coefficient de capital désiré.

#### i. L'ACCÉLÉRATEUR SIMPLE

Pour cette spécification, le coefficient de capital désiré est évidemment une constante. Ainsi qu'on vient de le dire, il a fallu spécifier  $\delta$  et n'estimer qu'un retard sur  $VA_{t-t} - (1 - \delta)VA_{t-t-1}$ .

Le meilleur résultat obtenu pour le matériel correspond à  $\delta = 0.025$  :

$$(21 M) \quad FCM_t = -8915 + \sum_{j=0}^{15} \beta_j (VAE_{t-j} - 0,975 VAE_{t-j-1})$$

(-23,6)

$$R^2 = 0,988^{13}$$

$$DW = 0,66$$

$$SEE = 450 \text{ (moyenne de FCM : 13 065 millions de F 1963 par trimestre).}$$

$$\text{Période d'estimation de 1963.1 à 1975.2.}$$

$$VAE = \text{Valeur ajoutée des entreprises non financières.}$$

$\beta_0 = 0,166$ (6,6)	$\beta_3 = 0,339$ (31,8)	$\beta_6 = 0,417$ (59,5)	$\beta_9 = 0,402$ (41,5)	$\beta_{12} = 0,292$ (32,9)	$\beta_{15} = 0,089$ (28,7)
$\beta_1 = 0,234$ (12,0)	$\beta_4 = 0,375$ (47,5)	$\beta_7 = 0,422$ (52,9)	$\beta_{10} = 0,376$ (37,8)	$\beta_{13} = 0,235$ (31,2)	
$\beta_2 = 0,292$ (20,0)	$\beta_5 = 0,401$ (59,7)	$\beta_8 = 0,417$ (46,5)	$\beta_{11} = 0,339$ (35,1)	$\beta_{14} = 0,167$ (29,8)	

(polynôme du deuxième ordre avec  $\beta_{16} = 0$ .)

12. On trouvera plus de précisions sur les évolutions des indices d'actualisation et leurs composantes (taux d'intérêt nominal, prévision de hausse de prix) dans les graphiques de l'annexe 2.

13. Les  $R^2$ , DURBIN-WATSON, écart type et  $t$  de STUDENT sont calculés comme s'il s'agissait d'une régression linéaire par la méthode des simples moindres carrés pour la valeur de  $\delta$  (0,025) donnée. Ils ne décrivent donc que la distribution conditionnelle des paramètres pour cette valeur de  $\delta$  donnée. La même remarque tiendra pour toutes les équations qui suivent qui seront non linéaires dans certains paramètres tels que les élasticités qui paraissent dans diverses définitions du coefficient de capital désiré. En principe, l'équation (10 M), qui est à l'origine de toutes les équations que nous estimerons, est sans constante. Néanmoins, les approximations que nous sommes obligés de faire pour simplifier cette équation justifient la présence d'une constante dans toutes les équations que nous présentons.



Le résultat analogue pour le BTP est le suivant :

$$(21 B) \quad \text{FCBHL}_t = -2\,174 + \sum_{j=0}^{15} \beta_j (\text{VAE}_{t-j} - 0,975 \text{VAE}_{t-j-1})$$

( -14,7 )

$$R^2 = 0,980$$

$$\text{DW} = 0,40$$

SEE = 175 (moyenne de FCBHL = 4 463 millions de F 1963 par trimestre)

Période d'estimation de 1963.1 à 1975.2.

$\beta_0 = 0,0428$ (4,0)	$\beta_8 = 0,0986$ (12,5)	$\beta_6 = 0,125$ (12,0)	$\beta_9 = 0,123$ (18,5)	$\beta_{10} = 0,0922$ (11,7)	$\beta_{15} = 0,0322$ (1,2)
$\beta_1 = 0,0646$ (8,6)	$\beta_4 = 0,111$ (12,0)	$\beta_7 = 0,128$ (12,9)	$\beta_{10} = 0,116$ (26,2)	$\beta_{13} = 0,0754$ (5,7)	
$\beta_2 = 0,0832$ (12,2)	$\beta_5 = 0,120$ (12,0)	$\beta_8 = 0,127$ (14,7)	$\beta_{11} = 0,106$ (24,9)	$\beta_{14} = 0,0554$ (2,8)	

(polynôme du deuxième ordre sans contrainte).

On retiendra de ces deux équations à la fois l'importance et les limites de l'accélérateur simple. Dans les deux cas, les retards estimés sont nettement significatifs, mais cette spécification laisse non expliqués des mouvements importants (voir les faibles DURBIN-WATSON). Dans le cas du BTP, l'examen des résidus laisse apparaître des aléas importants à certains endroits qui semblent plus liés à la mauvaise qualité de la série qu'à autre chose. Ces aléas, statistiques, moins visibles sur le graphique de la série elle-même, graphique 3, ressortent très clairement de la comparaison avec les prévisions d'un modèle naïf tel que l'accélérateur simple.

Nous verrons d'ailleurs que nos raffinements de spécification n'amélioreront pas la qualité de l'ajustement très peu satisfaisante de (21B). Par la suite, nous donnerons donc plus de poids aux résultats pour le matériel qu'à ceux pour le BTP.

Dans l'estimation de (21B), la recherche d'un minimum global pour la somme de carrés d'erreurs nous aurait amenés à une valeur de  $\sigma$  (l'analogue du paramètre  $\delta$  pour le matériel) plus forte que celle présentée. Cependant, nous avons pensé qu'il n'est pas vraisemblable, quelle que soit l'interprétation de  $\delta$  et de  $\sigma$ , que  $\sigma$  soit plus grande que  $\delta$ , et donc nous avons limité le balayage à des valeurs de  $\sigma$  non inférieures à celle obtenue pour  $\delta$ .

## ii. SUBSTITUABILITÉ ENTRE DEUX FACTEURS

Nous présenterons pour ce cas des équations estimées pour le matériel et le BTP, sachant que chacune de ces équations doit être associée à l'estimation de l'accélérateur simple obtenu pour l'autre catégorie d'investissement. Le coefficient de capital pour cette spécification est fonction du seul coût d'usage de la catégorie de capital en question, puisqu'il n'y a substitution qu'entre cette catégorie-là de capital et le travail.

D'un point de vue purement économétrique, la meilleure équation obtenue pour le matériel est la suivante :

$$(22 M) \quad FCM_t = \sum_{j=0}^{15} \beta_j CKM_{t-j} VAE_{t-j} \\ - (1 - \delta) \sum_{j=0}^{15} \beta_j CKM_{t-j} VAE_{t-j-1}$$

$$R^2 = 0,992$$

$$DW = 0,97$$

$$SEE = 355$$

Période d'estimation de 1963.1 à 1975.2,

$$CKM = \left( \frac{ST}{UCM} \right)^{0,4} e^{-0,0025T}$$

$$ST = \frac{MSENA + (CSENF + SSENF) \frac{MSENA}{MSE}}{AENA}$$

$$UCM = PFEM \cdot FISC M \cdot ACTM$$

$$ACTM = \frac{TO - APLT - 0,016}{(1 - 1/(1 + TO - APLT - 0,016)^{17})} \quad 14$$

ST = coût moyen de la main-d'œuvre, par heure de travail, prestations et charges comprises, dans l'ensemble des ENF non agricoles;

MSENA = masse salariale brute des ENF non agricoles;

CSENF = cotisations sociales payées par les ENF;

SSENF = prestations sociales payées par les ENF;

MSE = masse salariale des ENF;

AENA = activité en heures des ENF non agricoles.

PFEM = indice de prix de la FBCF en matériel (produits de l'industrie et des services) des ENF;

FISC M = indice du poids de la fiscalité sur la FBCF en matériel;

ACTM = indice d'actualisation pour la FBCF en matériel (voir annexe 2);

TO = taux de rendement moyen en bourse des obligations non indexées de sociétés privées;

APLT = prévision moyenne du taux d'inflation à long terme (voir n. 10).

L'amélioration de la qualité de l'ajustement est nette par rapport à (21 M). L'écart type baisse de 21 %. Par contre, la valeur obtenue par balayage pour l'élasticité travail 0,4 est faible par rapport à ce que nous savons sur la part du travail dans le produit national. Cette considération économique nous amène à imposer une valeur supérieure de cette élasticité, notamment 0,5<sup>15</sup>. Sous cette contrainte nous obtenons une nouvelle équation dont la

14. L'hypothèse d'une durée de vie moyenne de 17 ans pour l'équipement représente une légère modification par rapport à MALINVAUD [11].

15. Avant nous MAIRESSE et SAGLIO [10] ont été amenés à imposer des élasticités différentes de celles que leur donnait l'économétrie non guidée dans leur étude de la fonction de production. Ayant précisément obtenu une estimation de 0,43 pour l'élasticité de production par rapport au travail, ils imposent néanmoins une élasticité de 0,66 par désir de conformité avec des estimations indépendantes de la part du travail dans le produit national.

forme est identique à (22 M) mais pour laquelle :

$$(23 M) \quad CKM = \left( \frac{ST}{UCM} \right)^{0,5} e^{-0,0025T}$$

$$\begin{aligned} R^2 &= 0,991 \\ DW &= 0,99 \\ SEE &= 387 \end{aligned}$$

Période d'estimation de 1963.1 à 1975.2.

Dans ces deux équations, nous n'imposons pas la contrainte que les coefficients du second retard soient proportionnels aux coefficients du premier. Nous avons donc deux estimations indépendantes de leurs coefficients, dont, par exemple, pour (23 M) :

Premier retard,  $\hat{\beta}_j^1$

$$\begin{array}{cccccc} \beta_0^1 = 0,260 & \beta_3^1 = 0,306 & \beta_6^1 = 0,308 & \beta_9^1 = 0,267 & \beta_{12}^1 = 0,182 & \beta_{15}^1 = 0,053 \\ (9,4) & (8,9) & (5,0) & (3,9) & (3,4) & (3,1) \\ \beta_1^1 = 0,280 & \beta_4^1 = 0,312 & \beta_7^1 = 0,299 & \beta_{10}^1 = 0,243 & \beta_{13}^1 = 0,144 & \\ (16,5) & (6,8) & (4,5) & (3,7) & (3,2) & \\ \beta_2^1 = 0,295 & \beta_5^1 = 0,312 & \beta_8^1 = 0,286 & \beta_{11}^1 = 0,215 & \beta_{14}^1 = 0,101 & \\ (13,0) & (5,7) & (4,1) & (3,5) & (3,1) & \end{array}$$

Deuxième retard,  $-(1-\delta)\hat{\beta}_j^2$

$$\begin{array}{cccccc} -(1-\delta)\beta_0^2 = -0,247 & -(1-\delta)\beta_4^2 = -0,304 & -(1-\delta)\beta_8^2 = -0,281 & -(1-\delta)\beta_{12}^2 = -0,180 \\ (-8,8) & (-6,6) & (-4,0) & (-3,3) \\ -(1-\delta)\beta_1^2 = -0,269 & -(1-\delta)\beta_5^2 = -0,305 & -(1-\delta)\beta_9^2 = -0,263 & -(1-\delta)\beta_{13}^2 = -0,142 \\ (-15,0) & (-5,5) & (-3,8) & (-3,2) \\ -(1-\delta)\beta_2^2 = -0,285 & -(1-\delta)\beta_6^2 = -0,302 & -(1-\delta)\beta_{10}^2 = -0,241 & -(1-\delta)\beta_{11}^2 = -0,100 \\ (-12,1) & (-4,8) & (-3,6) & (-3,1) \\ -(1-\delta)\beta_3^2 = -0,297 & -(1-\delta)\beta_7^2 = -0,294 & -(1-\delta)\beta_{11}^2 = -0,213 & -(1-\delta)\beta_{15}^2 = -0,052 \\ (-8,4) & (-4,4) & (-3,4) & (-3,0) \end{array}$$

(il s'agit dans chaque cas d'un polynôme du deuxième ordre, avec  $\beta_{16} = 0$ .)

En faisant les sommes :

$$\gamma_j^1 = \beta_j^1 - (1-\delta)\beta_j^2 \quad \text{et} \quad \gamma_j^2 = \beta_j^1 - (1-\delta)\beta_{j-1}^2$$

on retrouve les retards individuels correspondants de CKM et VAE, l'autre variable étant supposée constante. Elles sont les suivantes :

Retard sur CKM :

$$\begin{array}{cccccc} \gamma_0^1 = 0,013 & \gamma_3^1 = 0,009 & \gamma_6^1 = 0,006 & \gamma_9^1 = 0,004 & \gamma_{12}^1 = 0,002 & \gamma_{15}^1 = 0,001 \\ \gamma_1^1 = 0,011 & \gamma_4^1 = 0,008 & \gamma_7^1 = 0,005 & \gamma_{10}^1 = 0,002 & \gamma_{13}^1 = 0,002 & \\ \gamma_2^1 = 0,010 & \gamma_5^1 = 0,007 & \gamma_8^1 = 0,005 & \gamma_{11}^1 = 0,002 & \gamma_{14}^1 = 0,001 & \end{array}$$

Retard sur VAE :

$$\begin{array}{cccccc} \gamma_0^2 = 0,260 & \gamma_3^2 = 0,021 & \gamma_6^2 = 0,003 & \gamma_9^2 = -0,014 & \gamma_{12}^2 = -0,031 & \gamma_{15}^2 = -0,053 \\ \gamma_1^2 = 0,033 & \gamma_4^2 = 0,015 & \gamma_7^2 = -0,003 & \gamma_{10}^2 = -0,020 & \gamma_{13}^2 = -0,036 & \gamma_{16}^2 = -0,052 \\ \gamma_2^2 = 0,026 & \gamma_5^2 = 0,008 & \gamma_8^2 = -0,008 & \gamma_{11}^2 = -0,026 & \gamma_{14}^2 = -0,041 & \end{array}$$

On remarquera le profil accélérateur du retard sur VAE. En contraste, le retard sur CKM est partout positif.

La moyenne :

$$\frac{1}{15} \sum_j \frac{\widehat{(1-\delta)\beta_j^2}}{\widehat{\beta_j^1}}$$

donne une estimation de  $\delta$ .

La valeur obtenue pour cette équation est 0,02 (soit 0,08 par an). Il n'est pas surprenant que cette estimation plus libre de  $\delta$  diffère de la valeur obtenue plus haut par balayage. Dans un cas comme dans l'autre il ne faut pas interpréter  $\delta$  comme un taux d'amortissement mais plutôt comme le coefficient d'une approximation linéaire à une relation complexe entre les investissements de remplacement et le profil des valeurs ajoutées passées.

Il est intéressant de s'interroger sur la contribution des différentes déterminantes du coefficient de capital désiré à l'amélioration de l'ajustement qu'apporte son introduction dans cette équation pour le matériel. C'est à cette question que s'adresse le tableau 1. Il résume les effets sur l'ajustement de l'introduction progressive de ces éléments.

Le cas de l'accélérateur simple a déjà été discuté et nous n'avons pas à y revenir. Les autres spécifications se distinguent par la spécification du coefficient de capital désiré et l'abandon de la contrainte entre les deux retards. La deuxième spécification correspond à un coût d'usage où ne joue que le temps et le rapport entre salaire horaire et prix de la FBCF, ajusté pour les effets de la fiscalité. Dans la troisième, l'indice d'actualisation apparaît, mais il est calculé en fonction du seul taux d'intérêt nominal. Dans la quatrième, l'indice d'actualisation est fonction du taux d'intérêt réel.

On voit que l'introduction du rapport de prix et de la fiscalité améliore le résultat, mais qu'il est nécessaire de raisonner en termes d'intérêt réel si on veut tenir compte de l'indice d'actualisation. Ce résultat confirme bien l'erreur qu'entraîne une explication par les taux d'intérêt qui ne tiendrait pas compte des anticipations d'inflation à long terme <sup>16</sup>.

Chacune des quatre premières équations du tableau a été estimée en imposant la contrainte de proportionalité entre les deux retards et en supposant  $\delta = 0,025$ , la valeur optimale pour le cas de l'accélérateur simple. Comme nous l'avons suggéré plus haut, l'abandon de cette contrainte améliore la qualité de l'ajustement. C'est ce que nous voyons dans la comparaison entre la quatrième de ces équations et la cinquième, qui est celle que nous avons présentée comme la meilleure.

Dans le cas du BTP, pour autant que la qualité de la série pour la FBCF nous permette une telle conclusion, l'hypothèse d'une substituabilité simple entre le travail et le capital en BTP n'est pas soutenue par les résultats analogues à ceux que nous venons de présenter. Nous ne présenterons pas les résultats en détail, mais le tableau 2 en résume l'essentiel. Quand on n'introduit que certaines composantes du coût d'usage du capital, on obtient des ajustements qui sont comparables à celui de l'accélérateur simple. Mais l'in-

16. Dans l'étude de SCHRAMM [13], par exemple, le coût d'usage est fonction du seul taux d'intérêt nominal.

TABLEAU 1

**Effets de l'introduction progressive des éléments du coût d'usage :  
FBCF matériel**

Type d'équation	SEE	DW
<i>Matériel</i>		
Avec contrainte, $\delta = 0,025$ :		
1. Accélérateur simple.....	451	0,66
2. « Intérêt réel » = $C^{te}$ .....	396	0,81
3. « Intérêt réel » = TO.....	442	0,64
4. « Intérêt réel » = TO — APLT.....	389	1,01
Sans contrainte sur $\delta$ :		
5. « Intérêt réel » = TO — APLT.....	387	0,99

NOTE. — Pour toutes les estimations de retards échelonnés, on a retenu l'hypothèse d'un polynôme du deuxième ordre avec  $\beta_{16} = 0$ .

roduction de l'intégralité du coût d'usage fait augmenter l'écart type. Étant donné la faible qualité de la série de base, il faudra attendre l'ensemble des résultats pour le BTP et le matériel avant de porter jugement sur le modèle le plus propice pour celui-là.

TABLEAU 2

**Effets de l'introduction progressive des éléments du coût d'usage :  
FBCF, BTP**

Type d'équation	SEE	DW
<i>BTP</i>		
Avec contrainte, $\delta = 0,025$ :		
1. Accélérateur simple.....	175	0,40
2. « Intérêt réel » = $C^{te}$ .....	199	0,32
3. « Intérêt réel » = TCN.....	156	0,47
4. « Intérêt réel » = TCN — APLT.....	213	0,33
Sans contrainte :		
5. « Intérêt réel » = TCN — APLT.....	188	0,67

NOTE. — Pour toutes les estimations de retards échelonnés, on a retenu l'hypothèse d'un polynôme du deuxième ordre avec  $\beta_{16} = 0$ .

iii. SUBSTITUABILITÉ ENTRE TROIS FACTEURS

On voit dans (14 M) et (14 B), qui sont les expressions pour le coût d'usage dans ce cas, que chaque paramètre de ( $\alpha$ ,  $\varphi$ ,  $\psi$  et  $\gamma$ ) apparaît dans les deux expressions. Il s'ensuit que les estimations des équations pour la FBCF matériel et BTP ne sont pas indépendantes. En principe, l'ajustement optimal est donc celui qui minimise la somme des carrés des erreurs des deux équations.

En fait, nous avons été amenés, comme dans le cas précédent, à imposer des valeurs raisonnables pour les élasticités en question. La recherche du maximum de vraisemblance nous a donné dans un premier temps une élasticité de production par rapport au travail trop faible et par rapport au capital en BTP trop forte ( $\alpha = 0,3$  et  $\psi = 0,4$ ;  $\varphi = 0,3$ ). Nous avons pensé raisonnable de remplacer ces valeurs estimées par des valeurs *a priori* plus raisonnables ( $\alpha = 0,5$ ,  $\psi = 0,25$ ,  $\varphi = 0,25$ ). La fonction de vraisemblance étant assez plate, ce remplacement s'est fait sans trop grande perte au niveau des écarts types des équations. Les estimations obtenues sont les suivantes :

$$(24 M) \quad FCM_t = -1\,431 + \sum_{j=0}^{15} \beta_j CKM_{t-j} VAE_{t-j} \\ (-5,2) \quad - (1-\delta) \sum_{j=0}^{15} \beta_j CKM_{t-j} VAE_{t-j-1}$$

$$R^2 = 0,993$$

$$DW = 1,11$$

$$SEE = 349$$

Période d'estimation : de 1963.1 à 1975.2.

$$CKM = \left( \frac{ST}{UCM} \right)^{0,50} \left( \frac{UCB}{UCM} \right)^{0,25} e^{-0,0025T}$$

$$UCB = PFEB \cdot FISCB \cdot ACTB$$

$$ACTB = \frac{TCN - APLT}{(1 - 1/(1 + TCN - APLT))^{25}} \quad 17$$

PFEB = indice de prix de la FBCF en BTP des ENF;

FISCB = indice du poids de la fiscalité sur la FBCF en BTP;

ACTB = indice d'actualisation pour la FBCF en BTP (voir annexe 2);

TCN = taux des emprunts à moyen terme du Crédit national.

Si l'élasticité de la production par rapport au BTP semble toujours trop forte, c'est peut-être parce qu'une partie non négligeable du gros matériel des entreprises se finance, comme les usines, au taux du Crédit national. Ceci expliquerait que l'influence du coût d'usage du BTP serait plus forte qu'on ne penserait au seul examen de la part de cette catégorie dans l'ensemble du capital.

17. N'ayant pas d'informations précises sur la durée de vie moyenne des usines, nous avons simplement supposé qu'elle était supérieure de 50 % à celle des équipements.

Les coefficients des retards estimés ont été supposés suivre des polynômes du troisième ordre sans contrainte. Les distributions marginales des retards de CKM et VAE, l'autre variable étant supposée constante, sont les suivantes :

*Retard sur CKM :*

$$\begin{array}{llllll} \gamma_0^1 = 0,017 & \gamma_3^1 = 0,007 & \gamma_6^1 = 0,001 & \gamma_9^1 = 0,000 & \gamma_{12}^1 = 0,003 & \gamma_{15}^1 = 0,011 \\ \gamma_1^1 = 0,013 & \gamma_4^1 = 0,005 & \gamma_7^1 = 0,000 & \gamma_{10}^1 = 0,000 & \gamma_{13}^1 = 0,005 & \\ \gamma_2^1 = 0,010 & \gamma_5^1 = 0,003 & \gamma_8^1 = 0,000 & \gamma_{11}^1 = 0,001 & \gamma_{14}^1 = 0,008 & \end{array}$$

*Retard sur VAE :*

$$\begin{array}{llllll} \gamma_0^2 = 0,220 & \gamma_3^2 = 0,028 & \gamma_6^2 = 0,004 & \gamma_9^2 = -0,016 & \gamma_{12}^2 = -0,033 & \gamma_{15}^2 = -0,043 \\ \gamma_1^2 = 0,047 & \gamma_4^2 = 0,020 & \gamma_7^2 = -0,004 & \gamma_{10}^2 = -0,022 & \gamma_{13}^2 = -0,036 & \gamma_{16}^2 = -0,053 \\ \gamma_2^2 = 0,038 & \gamma_5^2 = 0,012 & \gamma_8^2 = -0,010 & \gamma_{11}^2 = -0,028 & \gamma_{14}^2 = -0,040 & \end{array}$$

On remarquera de nouveau le profil de type accélérateur du retard sur VAE et le caractère entièrement positif de celui sur CKM. La valeur du  $\delta$  moyen implicite dans ces retards (voir discussion de l'équation (23 M)) est de 0,032 (soit de 0,13 par an).

L'équation associée pour le BTP est la suivante :

$$(24 B) \quad \text{FCBHL}_t = -649 \begin{matrix} + \\ (-4,0) \end{matrix} + \sum_{j=0}^{15} \beta_j \text{CKB}_{t-j} \text{VAE}_{t-j} \\ - (1 - \sigma) \sum_{j=0}^{15} \beta_j \text{CKB}_{t-j} \text{VAE}_{t-j-1} \\ \text{CKB} = \left( \frac{\text{ST}}{\text{UCB}} \right)^{0,5} \left( \frac{\text{UCM}}{\text{UCB}} \right)^{0,25} e^{-0,0025T}$$

$$R^2 = 0,979$$

$$\text{DW} = 0,70$$

$$\text{SEE} = 183$$

Période d'estimation : de 1963.1 à 1975.2.

Les retards individuels de CKB et VAE sont les suivants :

*Retard sur CKB :*

$$\begin{array}{llllll} \gamma_0^1 = -0,003 & \gamma_3^1 = 0,001 & \gamma_6^1 = 0,004 & \gamma_9^1 = 0,005 & \gamma_{12}^1 = 0,004 & \gamma_{15}^1 = 0,001 \\ \gamma_1^1 = -0,001 & \gamma_4^1 = 0,003 & \gamma_7^1 = 0,004 & \gamma_{10}^1 = 0,005 & \gamma_{13}^1 = 0,003 & \\ \gamma_2^1 = 0,000 & \gamma_5^1 = 0,003 & \gamma_8^1 = 0,005 & \gamma_{11}^1 = 0,004 & \gamma_{14}^1 = 0,002 & \end{array}$$

*Retard sur VAE :*

$$\begin{array}{llllll} \gamma_0^2 = 0,100 & \gamma_3^2 = -0,006 & \gamma_6^2 = -0,003 & \gamma_9^2 = -0,002 & \gamma_{12}^2 = -0,001 & \gamma_{15}^2 = -0,004 \\ \gamma_1^2 = -0,010 & \gamma_4^2 = -0,005 & \gamma_7^2 = -0,002 & \gamma_{10}^2 = -0,001 & \gamma_{13}^2 = -0,002 & \gamma_{16}^2 = -0,005 \\ \gamma_2^2 = -0,007 & \gamma_5^2 = -0,004 & \gamma_8^2 = -0,002 & \gamma_{11}^2 = -0,001 & \gamma_{14}^2 = -0,003 & \end{array}$$

Nous déduisons ces coefficients d'estimation de polynômes du deuxième ordre dans lesquels il est supposé que  $\gamma_{16}^1 = 0$  et  $\gamma_{17}^2 = 0$ .

L'écart type de cette dernière équation (24B) est effectivement plus élevé que celui de (21B), l'accélérateur simple, qui s'élevait à 173. Mais l'amélioration de l'équation pour la FBCF en matériel fait plus que compenser

cette détérioration. C'est cette amélioration-là qui fait que nous donnons notre préférence au schéma de substituabilité entre trois facteurs dont nous nous servirons comme base de référence dans le paragraphe suivant.

*iv. COMPLÉMENTARITÉ ENTRE LE MATÉRIEL ET LE BTP*

Nous pouvons par contre repousser clairement ce dernier des schémas envisagés. Dans ce cas les coefficients de capital désiré sont proportionnels et tous deux fonctions d'une moyenne pondérée des deux coûts d'usage. L'importance du poids donné au matériel fait que les résultats obtenus pour cette spécification sont peu différents des résultats déjà cités pour la substituabilité entre deux facteurs. En fait, ils leur sont ou identiques ou inférieurs. On obtient pour le BTP une qualité d'ajustement sensiblement moins bonne que celle de l'accélérateur simple.

On trouvera les écarts types de ces équations ainsi que des autres déjà citées dans le tableau 3 qui résume les caractéristiques principales des ajustements correspondant à chacun des schémas envisagés. On y voit bien que les deux paires dominantes sont la substituabilité avec le travail pour le matériel et la complémentarité complète pour le BTP, d'une part, et la substituabilité entre trois facteurs pour le matériel et le BTP, d'autre part. Nous avons déjà donné notre préférence pour la deuxième alternative.

**b. Marges, trésorerie et encadrement du crédit**

(CAS *iii* SUBSTITUABILITÉ ENTRE TROIS FACTEURS)

Dans cette sous-section nous prenons les équations de substituabilité entre trois facteurs comme base de référence et nous essayons de représenter les modifications de la dynamique de l'investissement décrite par ces équations, dues aux variations conjoncturelles des marges, de la liquidité des entreprises et de l'encadrement du crédit.

*Matériel*

L'introduction de l'effet d'un écart de CAPA à un niveau normal tel qu'il est proposé dans l'équation (12 M) de 1.1.d améliore la qualité de l'ajustement. Le résultat obtenu est le suivant :

TABLEAU 3

***Effets sur la qualité des ajustements de différentes hypothèses quant à la substitution capital-travail***

	FBCF Matériel SEE/DW	FBCF BTP SEE/DW
1. Complémentarité* complète.....	450/0,66	173/0,39
2. Substituabilité entre deux facteurs.....	387/0,99	188/0,67
3. Substituabilité entre trois facteurs.....	349/1,11	183/0,70
4. Complémentarité matériel-BTP.....	398/0,95	198/0,62

\* Estimé sous contrainte que  $\delta = \sigma = 0,0025$ .



$$(25 M) \quad FCM_t = \sum_{j=0}^{15} \beta_j CKM_{t-j} (VAE_{t-j} - 0,975 VAE_{t-j-1})$$

$$+ (CAPA_t - CAPAM) \sum_{j=0}^{15} \tilde{\beta}_j CKM_{t-j} (VAE_{t-j} - 0,975 VAE_{t-j-1})$$

$$CKM = \left( \frac{ST}{UCM} \right)^{0,50} \left( \frac{UCB}{UCM} \right)^{0,25} e^{-0,0025T}$$

CAPA = marges d'augmentation de production possible (voir chap. 9);  
 CAPAM = moyenne sur la période de CAPA (= 0,18).

$$R^2 = 0,993$$

$$DW = 1,15$$

$$SEE = 334$$

Période d'estimation : de 1963.1 à 1975.2.

L'introduction du facteur multiplicatif est rendue possible par l'imposition d'une valeur unique pour  $\delta = 0,025$ .

Le tableau suivant représente le retard complet de la FBCF sur les variables dont dépendent les commandes initiales d'équipement, selon l'état des marges de capacités. Le retard qui correspond au cas où CAPA est égal à sa moyenne est le retard de base qui correspond à la première expression dans (25 M). Étant donné qu'il est estimé directement, il est aisé d'obtenir les  $t$  de students de ses coefficients. Pour les autres cas  $\kappa_{ij} = \beta_j + \tilde{\beta}_j$  (CAPA - CAPAM).

CAPA - CAPAM = - 0,1		CAPA = CAPAM		CAPA - CAPAM = 0,1	
$\kappa_0 = 0,379$	$\kappa_0 = 0,220$	$\kappa_0 = 0,200$ (5,7)	$\kappa_0 = 0,247$ (24,8)	$\kappa_0 = 0,021$	$\kappa_0 = 0,274$
$\kappa_1 = 0,362$	$\kappa_1 = 0,195$	$\kappa_1 = 0,222$ (8,2)	$\kappa_1 = 0,231$ (20,5)	$\kappa_1 = 0,082$	$\kappa_1 = 0,267$
$\kappa_2 = 0,344$	$\kappa_{10} = 0,170$	$\kappa_2 = 0,239$ (11,9)	$\kappa_{10} = 0,212$ (17,6)	$\kappa_2 = 0,134$	$\kappa_{10} = 0,254$
$\kappa_3 = 0,326$	$\kappa_{11} = 0,144$	$\kappa_3 = 0,252$ (18,1)	$\kappa_{11} = 0,188$ (15,7)	$\kappa_3 = 0,178$	$\kappa_{11} = 0,232$
$\kappa_4 = 0,307$	$\kappa_{12} = 0,118$	$\kappa_4 = 0,260$ (28,9)	$\kappa_{12} = 0,160$ (14,3)	$\kappa_4 = 0,213$	$\kappa_{12} = 0,202$
$\kappa_5 = 0,287$	$\kappa_{13} = 0,090$	$\kappa_5 = 0,264$ (43,0)	$\kappa_{13} = 0,127$ (13,2)	$\kappa_5 = 0,241$	$\kappa_{13} = 0,164$
$\kappa_6 = 0,265$	$\kappa_{14} = 0,061$	$\kappa_6 = 0,262$ (41,9)	$\kappa_{14} = 0,089$ (12,4)	$\kappa_6 = 0,259$	$\kappa_{14} = 0,117$
$\kappa_7 = 0,243$	$\kappa_{15} = 0,031$	$\kappa_7 = 0,257$ (31,8)	$\kappa_{15} = 0,047$ (11,7)	$\kappa_7 = 0,270$	$\kappa_{15} = 0,063$

Le retard complémentaire, qui modifie le retard de base, et dont dépendent les deux autres profils du tableau est estimé ainsi :

$$\begin{array}{llllll} \tilde{\beta}_0 = -1,79 & \tilde{\beta}_1 = -0,74 & \tilde{\beta}_2 = -0,03 & \tilde{\beta}_3 = 0,36 & \tilde{\beta}_{10} = 0,42 & \tilde{\beta}_{15} = 0,16 \\ \quad (-3,2) & \quad (-3,6) & \quad (-0,4) & \quad (2,0) & \quad (2,4) & \quad (2,5) \\ \tilde{\beta}_4 = -1,40 & \tilde{\beta}_5 = -0,47 & \tilde{\beta}_6 = 0,14 & \tilde{\beta}_{10} = 0,42 & \tilde{\beta}_{13} = 0,37 & \hline \quad (-3,2) & \quad (-3,9) & \quad (1,2) & \quad (2,2) & \quad (2,4) & \sum_{j=0}^{15} \tilde{\beta}_j = -2,85 \\ \tilde{\beta}_8 = 1,05 & \tilde{\beta}_9 = -0,23 & \tilde{\beta}_8 = 0,27 & \tilde{\beta}_{11} = 0,44 & \tilde{\beta}_{14} = 0,28 & \quad (3,6) \\ \quad (3,4) & \quad (-3,6) & \quad (1,8) & \quad (2,3) & \quad (2,5) & \end{array}$$

On voit que le profil de ce deuxième retard a bien l'aspect prévu dans le paragraphe 1.1.d. (voir graphique 1). Quand les marges sont au-dessus de leur moyenne, une partie des livraisons est repoussée dans le temps et une autre partie annulée entièrement. (La somme des coefficients  $\tilde{\beta}_j$  est significativement négative.)

Passons maintenant à la prise en compte de la liquidité de l'entreprise. L'enquête trésorerie, TRES, semble *a priori* une mesure très naturelle du déséquilibre financier dont nous cherchons les effets. Elle a néanmoins un défaut qui limite son utilité, et cela particulièrement en période d'encadrement du crédit. C'est un défaut qui est partagé par beaucoup de mesures d'effets d'encadrement et qui pèse de façon générale sur la représentation de l'économie française en période d'encadrement du crédit dans METRIC. Le problème est qu'une situation financière qui serait *ex ante* très aiguë à cause, par exemple, d'un encadrement du crédit, amène l'entreprise à réduire directement ses besoins de financement (diminution de stocks, d'FBCF, etc.). Cette réduction immédiate compense en partie la pénurie financière et fait que les « besoins de trésorerie » effectivement observés *ex post* sont inférieurs à ce qu'ils auraient été *ex ante*. C'est la mesure *ex ante* qu'il nous faut pour introduire dans une équation d'FBCF. Un examen du graphique de TRES (voir chapitre 9) montre en fait que son profil est moins accentué dans le premier encadrement de la période (1963-1965), que l'on sait être le plus sévère, que dans les autres. Malgré ce problème, nous avons introduit l'écart de TRES à sa moyenne comme première mesure de déséquilibre financier et nous avons rajouté en plus des variables indicatrices pour représenter les effets supplémentaires des encadrements du crédit. Nous présenterons d'abord les équations sans variables indicatrices.

L'adjonction à (25 M) d'une troisième expression multipliée par (TRES-TRESM) n'améliore que peu l'équation. L'écart type tombe de 334 à 327. Le profil de ce deuxième retard complémentaire a aussi l'aspect attendu (d'abord négatif, ensuite positif). Mais les modifications du retard complet induites par son introduction restent faibles. Plutôt que de rentrer dans le détail de cette estimation, nous en présentons le graphique (graphique 7). On y voit qu'il subsiste des effets importants que l'on peut associer aux encadrements du crédit de 1963-1965 et de 1972-1974. C'est la présence de ces résidus qui nous amène à réestimer l'équation avec des variables indicatrices. Il est clair que les délais de livraison font que les effets d'un encadrement doivent se faire sentir progressivement et avec un décalage par rapport à la période de maintien en vigueur des mesures. En nous inspirant des résidus du graphique 7, nous avons donné aux variables d'encadrement ci-dessus un profil qui correspond à ces caractéristiques.

$$\begin{aligned}
 (26 \text{ M}) \quad \text{FCM}_t = & -664 + \sum_{j=0}^{15} \beta_j \text{CKM}_{t-j} (\text{VAE}_{t-j} - 0,975 \text{VAE}_{t-j-1}) \\
 & (-2,5) \\
 & + (\text{CAPA}_t - \text{CAPAM}) \sum_{j=0}^{15} \tilde{\beta}_j \text{CKM}_{t-j} (\text{VAE}_{t-j} - 0,975 \text{VAE}_{t-j-1}) \\
 & + (\text{TRES}_t - \text{TRESM}) \sum_{j=0}^{15} \tilde{\tilde{\beta}}_j \text{CKM}_{t-j} (\text{VAE}_{t-j} - 0,975 \text{VAE}_{t-j-1}) \\
 & -574 \quad \text{ENC64M} - 941 \quad \text{ENC73M} \\
 & (-4,4) \quad \quad \quad -3,8)
 \end{aligned}$$

$$R^2 = 0,997$$

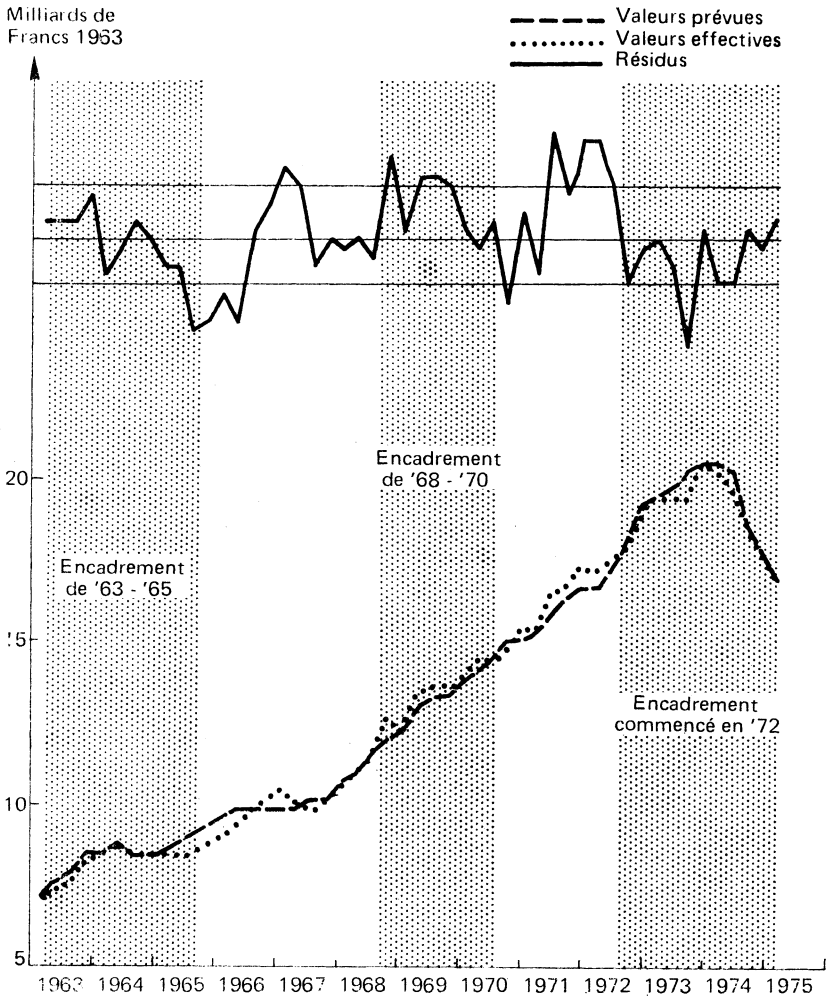
$$\text{DW} = 1,84$$

$$\text{SEE} = 248$$

Période d'estimation : de 1963.1 à 1975.2.

GRAPHIQUE 7

*Valeurs prévues et valeurs effectives d'une équation pour le matériel, avec CAPA et TRES mais sans variables indicatrices pour l'encadrement (sur le haut du graphique la série des résidus est superposée sur une bande de  $\pm$  un écart type).*



TRES = moyenne sur la période de TRES (0,36);

ENC64M = variable indicatrice qui vaut 0 de 1963.1 à 1963.4 et de 1966.3 à 1975.2 et qui monte et puis retombe à zéro de façon régulière entre 1964.1 et 1966.2. Elle vaut 1 (effet maximal de l'encadrement) de 1965.3 à 1966.2;

ENC73M = variable indicatrice qui vaut 0 de 1963.1 à 1972.3 et de 1974.1 à 1975.2, et qui monte à 1 entre 1972.4 et 1973.4. Elle vaut 1 (effet maximal de l'encadrement) en 1973.4.

Les retards complémentaires qui modifient les retards de base en fonction des valeurs de CAPA et TRES sont les suivants :

CAPA — CAPAM

$\tilde{\beta}_0 = -1,30$ (-2,9)	$\tilde{\beta}_3 = -0,59$ (-3,56)	$\tilde{\beta}_6 = -0,10$ (-1,7)	$\tilde{\beta}_9 = 0,18$ (1,3)	$\tilde{\beta}_{12} = 0,24$ (1,7)	$\tilde{\beta}_{15} = 0,10$ (1,9)
$\tilde{\beta}_1 = -1,04$ (-3,0)	$\tilde{\beta}_4 = -0,40$ (-4,2)	$\tilde{\beta}_7 = 0,02$ (0,2)	$\tilde{\beta}_{10} = 0,22$ (1,5)	$\tilde{\beta}_{13} = 0,22$ (1,8)	<hr/> $\sum_{j=0}^{15} \tilde{\beta}_j = -2,96$ (4,7)
$\tilde{\beta}_2 = -0,80$ (-3,2)	$\tilde{\beta}_5 = -0,24$ (-4,7)	$\tilde{\beta}_8 = 0,11$ (0,9)	$\tilde{\beta}_{11} = 0,25$ (1,6)	$\tilde{\beta}_{14} = 0,17$ (1,8)	

TRES — TRESM

$\tilde{\beta}_0 = -0,19$ (-1,1)	$\tilde{\beta}_3 = -0,08$ (-1,6)	$\tilde{\beta}_6 = -0,01$ (-0,4)	$\tilde{\beta}_9 = 0,03$ (0,4)	$\tilde{\beta}_{12} = 0,03$ (0,5)	$\tilde{\beta}_{15} = 0,10$ (0,6)
$\tilde{\beta}_1 = -0,14$ (-1,2)	$\tilde{\beta}_4 = -0,05$ (-2,5)	$\tilde{\beta}_7 = 0,0$ (0,0)	$\tilde{\beta}_{10} = 0,03$ (0,5)	$\tilde{\beta}_{13} = 0,03$ (0,6)	<hr/> $\sum_{j=0}^{15} \tilde{\beta}_j = -0,40$ (-2,5)
$\tilde{\beta}_2 = -0,11$ (-1,3)	$\tilde{\beta}_5 = -0,03$ (-2,5)	$\tilde{\beta}_8 = 0,02$ (0,2)	$\tilde{\beta}_{11} = 0,04$ (0,5)	$\tilde{\beta}_{14} = 0,02$ (0,6)	

L'influence de CAPA reste à peu près la même que dans (25 M). On ne montrera donc dans le tableau suivant que les variations du retard complet selon l'état de TRES.

TRES - TRESM = 0,2		TRES = TRESM		TRES - TRESM = - 0,2	
$\kappa_0 = 0,146$	$\kappa_9 = 0,258$	$\kappa_0 = 0,182$ (4,1)	$\kappa_9 = 0,261$ (17,5)	$\kappa_0 = 0,218$	$\kappa_9 = 0,264$
$\kappa_1 = 0,182$	$\kappa_{10} = 0,242$	$\kappa_1 = 0,211$ (6,3)	$\kappa_{10} = 0,247$ (14,6)	$\kappa_1 = 0,240$	$\kappa_{10} = 0,252$
$\kappa_2 = 0,212$	$\kappa_{11} = 0,222$	$\kappa_2 = 0,234$ (9,9)	$\kappa_{11} = 0,228$ (12,7)	$\kappa_2 = 0,256$	$\kappa_{11} = 0,234$
$\kappa_3 = 0,236$	$\kappa_{12} = 0,196$	$\kappa_3 = 0,252$ (16,7)	$\kappa_{12} = 0,203$ (11,5)	$\kappa_3 = 0,268$	$\kappa_{12} = 0,210$
$\kappa_4 = 0,253$	$\kappa_{13} = 0,166$	$\kappa_4 = 0,264$ (31,9)	$\kappa_{13} = 0,173$ (10,5)	$\kappa_4 = 0,275$	$\kappa_{13} = 0,179$
$\kappa_5 = 0,264$	$\kappa_{14} = 0,132$	$\kappa_5 = 0,271$ (48,6)	$\kappa_{14} = 0,138$ (9,8)	$\kappa_5 = 0,278$	$\kappa_{14} = 0,144$
$\kappa_6 = 0,270$	$\kappa_{15} = 0,092$	$\kappa_6 = 0,273$ (33,0)	$\kappa_{15} = 0,097$ (9,3)	$\kappa_6 = 0,276$	$\kappa_{15} = 0,102$
$\kappa_7 = 0,267$	$\kappa_{16} = 0,048$	$\kappa_7 = 0,270$ (22,6)	$\kappa_{16} = 0,051$ (8,8)	$\kappa_7 = 0,272$	$\kappa_{16} = 0,054$

(tous les retards estimés de cette équation sont du deuxième ordre avec la contrainte que  $\beta_{16} = 0$ .)

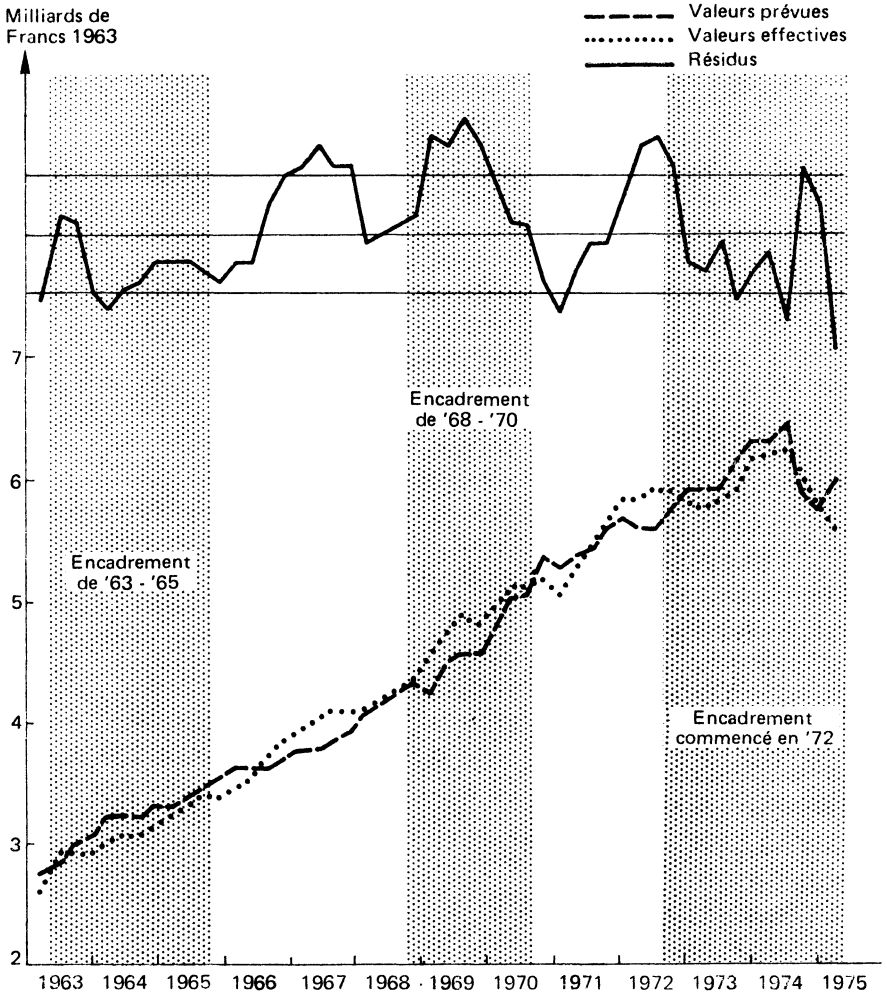
On notera l'effet significatif mais faible de TRES et l'importance des effets directs des deux encadrements du crédit qui ne sont pas bien pris en compte par TRES.

**BTP**

Dans le cas du BTP, il fut impossible de mettre en évidence un effet raisonnable, soit de CAPA, soit de TRES. Leur introduction multiplicative telle que dans (25M) améliora l'ajustement, mais le profil des deux retards complémentaires fut l'inverse de celui attendu. (Une hausse de CAPA semble accélérer les livraisons, etc.). Il se peut que le résultat soit lié à la faiblesse de la méthode de construction de la série et la possibilité que celle-ci soit contaminée par les mouvements anticycliques de la FBCF en BTP publique. Le meilleur ajustement reste donc (24B) dont le caractère est présenté dans le graphique 8. On y voit là aussi les encadrements de 1963-1965 et 1972-1974. En fonction de ces résidus nous avons réestimé cette équation avec

GRAPHIQUE 8

*Valeurs prévues et valeurs effectives, équation (24 B), pour le BTP (sur le haut du graphique la série des résidus est superposée sur une bande de  $\pm$  un écart type).*



variables indicatrices comme suit :

$$(26 B) \quad FCBHL_t = -718 + \sum_{j=0}^{15} \beta_j CKB_{t-j} VAE_{t-j}$$

$$(-5,0)$$

$$- (1 - \sigma) \sum_{j=0}^{15} \beta_j CKB_{t-j} VAE_{t-j-1} - 212 \text{ ENC64B} - 466 \text{ ENC73B}$$

$$(-3,8) \quad (-4,5)$$

ENC64B = 1,0 de 1963.4 à 1966.2 inclus, et 0 autre part;

ENC73B = 1,0 de 1973.1 à 1974.3 inclus, et 0 autre part.

$$R^2 = 0,990$$

$$DW = 0,87$$

$$SEE = 0,130$$

Période d'estimation : de 1963.1 à 1975.2.

Retard sur CKB :

$$\gamma_0^1 = 0,0015$$

$$\gamma_4^1 = 0,0029$$

$$\gamma_8^1 = 0,0032$$

$$\gamma_{12}^1 = 0,0021$$

$$\gamma_1^1 = 0,0020$$

$$\gamma_5^1 = 0,0031$$

$$\gamma_9^1 = 0,0030$$

$$\gamma_{13}^1 = 0,0018$$

$$\gamma_2^1 = 0,0024$$

$$\gamma_6^1 = 0,0032$$

$$\gamma_{10}^1 = 0,0027$$

$$\gamma_{14}^1 = 0,0012$$

$$\gamma_3^1 = 0,0027$$

$$\gamma_7^1 = 0,0032$$

$$\gamma_{11}^1 = 0,0025$$

$$\gamma_{15}^1 = 0,0007$$

Retard sur VAE :

$$\gamma_0^2 = -0,1142$$

$$\gamma_5^2 = -0,0040$$

$$\gamma_{10}^2 = -0,0043$$

$$\gamma_{15}^2 = -0,0064$$

$$\gamma_1^2 = -0,0051$$

$$\gamma_6^2 = -0,0039$$

$$\gamma_{11}^2 = -0,0046$$

$$\gamma_{16}^2 = -0,0070$$

$$\gamma_2^2 = -0,0046$$

$$\gamma_7^2 = -0,0038$$

$$\gamma_{12}^2 = -0,0049$$

$$\gamma_3^2 = -0,0044$$

$$\gamma_8^2 = -0,0039$$

$$\gamma_{13}^2 = -0,0053$$

$$\gamma_4^2 = -0,0041$$

$$\gamma_9^2 = -0,0040$$

$$\gamma_{14}^2 = -0,0058$$

La dernière équation pour le matériel (26 M) est notre préférée, et celle pour le BTP (26 B) reste, quoiqu'insuffisante, la meilleure que nous avons pu estimer<sup>18</sup>. Résumons maintenant ce que disent ces deux équations sur la contribution de diverses variables à la détermination de la FBCF. Le facteur dominant est les variations de valeur ajoutée, la FCBF étant proportionnelle à long terme à la quasi-différence, VAE — 0,975 VAE<sub>-1</sub>. (Dans ce qui suit nous ferons abstraction par souci de simplification des faibles constantes qui paraissent dans les deux équations).

Si la variation de la valeur ajoutée augmente de 1 % par trimestre à 1,5 % par trimestre — ce qui correspond à une hausse de 14 % de ladite quasi-différence<sup>19</sup> — la FBCF matériel et la FBCF-BTP augmentent aussi éventuellement, et de façon permanente, de 14 %.

18. Les simulations de METRIC présentées dans le chapitre 16 ont été réalisées avec des équations provisoires dans lesquelles la FBCF matériel suit le schéma de substitution entre deux facteurs avec effet des marges et la FBCF - BTP est liée mécaniquement par une relation *ad hoc* à la FBCF matériel.

Dans l'estimation de (23M) et de notre équation préférée pour le schéma de substitution entre trois facteurs, nous retenons une élasticité qui est un peu plus faible, 0,5, afin d'éviter les augmentations significatives des écarts type de ces équations qu'aurait amenées un chiffre plus élevé. Celui que nous retenons est dans les limites du raisonnable, étant donné les incertitudes qui existent tant sur les estimations de la répartition du produit national que sur l'applicabilité sans nuances de leur explication par un raisonnement de productivité marginale.

19. Soit  $g$  le taux de croissance trimestriel de la FBCF matériel; la quasi-différence VAE —  $(1 - \delta)$  VAE<sub>-1</sub> est égale à  $(g + \delta)$  VAE<sub>-1</sub>. Si  $\delta = 0,025$  et  $g$  passe de 0,01 à 0,015,  $(g + \delta)$  augmente de 0,035 à 0,040, soit une hausse de 14 %.

A noter que dans le cas du BTP on ne peut pas strictement parler de proportionnalité à une quasi-différence, l'équation (26B) ayant été estimée sans contrainte d'une valeur unique pour  $\sigma$ .

On aurait aussi pu dire que la FBCF dépend à la fois des variations de valeur ajoutée (investissement net) et du niveau de la valeur ajoutée (investissement de remplacement). Après réalisation de tous délais,

$$FCM = \lambda KCM (VAE - VAE_{-1}) + \lambda KCM (0,025 VAE_{-1})$$

Les ordres de grandeur des variations trimestrielles et du niveau de VAE sont tels que les deux composantes, investissement net et investissement de remplacement, paraissent avoir à peu près la même grandeur.

A variations de valeur ajoutée données, les deux catégories de FBCF sont proportionnelles à long terme à leurs coefficients de capital respectifs. Ces coefficients sont eux-mêmes fonctions du coût horaire de la main-d'œuvre, du prix des deux catégories de FBCF, de l'indice de fiscalité appliqué à chacune de ces catégories, et de leurs taux d'intérêt réel de la façon suivante :

- une hausse de 10 % du coût horaire, toute autre chose égale par ailleurs, augmente chaque catégorie de FBCF de 5 %;
- une hausse de 10 % des deux prix de FBCF diminue chaque catégorie de 5 %. Donc, une même hausse une fois pour toute des salaires et des prix laisse les FBCF inchangées;
- un crédit d'impôt de 10 % du montant de la FBCF en matériel augmente celle-ci de 7,5 % par le jeu d'une substitution à la fois contre le travail et contre la FBCF en BTP;
- les taux d'intérêt réel ont un effet sensible sur les deux catégories de FBCF. En principe, on peut différencier entre l'effet d'une hausse du taux d'intérêt pour le matériel, celui pour le BTP étant supposé rester constant, et *vice versa*. Mais nous ne retenons comme ayant un véritable intérêt que les conséquences d'une hausse parallèle des deux taux.

Les élasticités à long terme des deux catégories de FBCF à une telle hausse dépendent comme suit du niveau initial du taux d'intérêt réel (supposé être le même pour chacun des deux taux) :

	Taux réel initial		
	0,06	0,04	0,02
Matériel.....	— 0,189	— 0,129	— 0,098
BTP.....	— 0,350	— 0,266	— 0,127

Notre hypothèse de plus longue durée de vie pour le BTP que pour le matériel (25 ans par rapport à 17) fait que celle-ci est plus sensible au taux d'intérêt que celle-là (à la limite une durée de vie infinie donnerait une élasticité de 0,5).

Il suit de la relation inverse entre ces élasticités et le niveau initial du taux réel que l'effet d'une hausse de celui-ci de 100 points en termes absolus (1 %) est à peu près indépendant de son niveau initial (diminution de 3 % à 5 % pour la FBCF matériel et de 6 % à 7 % pour la FBCF-BTP).

Les délais de réaction à tous ces chocs sont longs et variables. En moyenne, la FBCF matériel enregistre 26 % de l'effet permanent à la fin de la première année, 55 % à la fin de la deuxième et 81 % à la fin de la troisième. Il faut attendre quatre ans pour la réalisation totale de l'effet permanent. En période de faible (forte) utilisation des capacités ou de forte (faible) tension sur les ressources financières des entreprises, les délais s'allongent (se raccourcissent) ainsi que le montre le tableau 4.

TABLEAU 4

*Distribution dans le temps des effets  
d'un choc sur la FBCF matériel*

En %

	Moyenne	CAPA* = 0,28	CAPA* = 0,08	TRES+ = 0,56	TRES+ = 0,16
Après 1 an.....	26	17	34	24	28
Après 2 ans.....	55	49	66	57	59
Après 3 ans.....	81	83	89	86	86
Après 4 ans.....	100	100	100	100	100

\* Moyenne de CAPA = 0,18.

+ Moyenne de TRES = 0,36.

Les délais pour la FBCF en BTP sont du même ordre : 23 % après un an, 55 % après deux ans, et 85 % après trois ans<sup>20</sup>. Ils ne varient pas en fonction de CAPA ou TRES.

Notons finalement nos estimations des effets maximaux directs des encadrements de 1964 et 1973 (en millions de F 1963 par trimestre) :

	Matériel	BTP
1964.....	— 574	— 212
1973.....	— 941	— 466

Les durées des effets maximaux sont plus longues pour le premier encadrement que pour le second, avec comme conséquence le fait que l'effet cumulatif du premier est supérieur au second.

20. Étant donné le caractère libre de l'estimation de (26B), on ne peut pas strictement parler dans le cas du BTP d'un retard sur une quasi-différence. Donc, en ce qui concerne des réactions à une accélération de la valeur ajoutée, il faut voir les chiffres cités comme des approximations. Par contre, ils reflètent avec précision les conséquences dans cette équation de toute variation d'une composante du coefficient de capital désiré, la valeur ajoutée étant supposée constante.



## Conclusion

---

Au terme de cette analyse économétrique de la FBCF trimestrielle des entreprises privées non financières, nous pouvons conclure tout d'abord que les hypothèses de BISCHOFF, adaptées à l'environnement français, sont fortement soutenues. C'est dire que l'on voit — surtout dans les mouvements de la FBCF en matériel, les données étant mauvaises pour la FBCF en BTP — à la fois un effet d'accélérateur marqué et des mouvements de substitution entre les deux composantes du capital et le travail qui sont fortement sensibles au rapport entre les coûts de ces composantes du capital après toute déduction fiscale et le coût de la main-d'œuvre. Le taux d'intérêt réel, qui tient compte des anticipations d'inflation à long terme, est un élément important des coûts d'usage de ces composantes du capital. Nous retrouvons aussi la très forte complémentarité entre l'accélérateur et la substitution capital-travail que BISCHOFF avait déduite de l'hypothèse « putty-clay » de substituabilité *ex ante* mais non *ex post*.

Notre étude va au-delà de celle de BISCHOFF dans sa prise en compte des effets sur les délais de livraisons des variations conjoncturelles des marges de capacité et des difficultés de trésorerie. Tout en restant dans un cadre homogène à celui de BISCHOFF, nous montrons que le profil des délais dans la fonction d'investissement change complètement selon l'état des marges de production disponibles. L'effet financier tel qu'il est mesuré par l'enquête sur les difficultés de trésorerie de l'INSEE reste faible mais, par contre, on voit dans les résidus des équations préférées une forte indication économétrique et une mesure quantitative d'effets importants des encadrements du crédit de 1963-1965 et 1972-1974. Il est clair qu'en France, en particulier en période d'encadrement du crédit, les taux d'intérêt ne sont pas le seul canal d'influence de la politique monétaire. Le développement de meilleures mesures des effets des encadrements du crédit reste la première priorité pour la suite de ces recherches.

## ANNEXE 1

---

L'explication de l'idée que se font les entreprises de leurs marges de capacité passe par une prise en compte de l'influence sur cette opinion subjective de l'évolution objective du rapport entre production et capacité de production (voir chapitre 9). L'investissement étant, par définition, le véhicule de l'accumulation du capital fixe et donc de la capacité de production, il est clair qu'à toute équation d'investissement on peut associer explicitement ou implicitement, une dynamique de l'évolution de cette capacité. Cette dynamique est particulièrement claire dans toute équation s'inspirant de l'accélérateur, dont en particulier les équations de type (9) et (10) du texte. Dans cette annexe nous décrirons la façon dont on peut construire à partir de ces équations des indices objectifs de l'évolution de la capacité.

L'équation (4 M) nous donne le lien entre les augmentations brutes de capacité désirées et les variations de valeur ajoutée pour le matériel :

$$(4 M) \quad \Delta \text{VACAP}_{t+n}^{*b} = \lambda \sum_0^{\infty} a_j (\text{VA}_{t-j} - (1 - \delta) \text{VA}_{t-j-1})$$

La logique veut que les augmentations de capacité effective soient une fonction à retards des augmentations désirées (les retards représentant les délais de livraison);

$$\begin{aligned} \Delta \text{VACAP}_t^b &= \sum_0^{\infty} c_k \Delta \text{VACAP}_{t+n-k}^{*b} \\ &= \lambda \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} c_k a_j (\text{VA}_{t-k-j} - (1 - \delta) \text{VA}_{t-k-j-1}) \end{aligned}$$

On reconnaîtra dans cette expression le retard de  $\text{FCM}_t$  sur  $\text{VA}_t$  que l'on trouve dans (9M) si  $\text{CKM}_t$  est supposé constant ( $\overline{\text{CKM}}_t = \text{CKM}$ ). Dans ce cas il est évident que :

$$\Delta \text{VACAP}_t^b = \frac{\text{FCM}_t}{\text{CKM}}$$

Nous prenons donc une estimation de (9 M), disons (10 M'), supposons  $\text{CKM}$  constant, et nous nous servons de l'expression :

$$\Delta \text{VACAP}_t^b = \frac{\text{FCM}_t}{\text{CKM}} = \sum \beta_i (\text{VA}_{t-i} - (1 - \delta) \text{VA}_{t-i-1})$$

pour calculer une série pour  $\Delta \text{VACAP}_t^b$ .

Munis de cette série et d'une estimation de  $VACAP_0$  à une période initiale donnée, nous obtenons une série pour  $VACAP_t$  en nous servant de la relation suivante :

$$VACAP_t = (1 - \delta) VACAP_{t-1} + \Delta VACAP_t^b$$

Étant donné l'inévitable incertitude sur  $\lambda$ , la série ainsi obtenue ne peut en fait être que proportionnelle à la capacité. Elle permet néanmoins de connaître l'évolution, à une constante près, du degré d'utilisation de capacité.

L'indice objectif de la capacité utilisé dans le chapitre 9 fut construit de cette façon. On utilisa les retards d'une équation pour le matériel. Étant donné qu'il s'agit de la capacité en matériel de l'industrie, il aurait fallu en principe la réestimer sur des données pour l'industrie exclusivement, mais dans l'absence de telles données à rythme trimestriel, nous avons utilisé une équation agrégative.

Le raisonnement entièrement statique de la section 1.2 du texte est rendu possible par l'utilisation de la notion de coût d'usage du capital <sup>21</sup>. Cette notion est la traduction en un coût moyen d'utilisation des divers coûts associés à l'utilisation d'un capital donné, qui sont effectivement échelonnés le long de la vie de ce capital.

Résumons d'abord l'utilisation que BISCHOFF fait de ce concept. Supposons qu'une entreprise achète un capital  $F$  au prix  $P^f$ . (On reviendra sur sa décomposition en matériel et BTP plus loin.) Supposons aussi que ce capital déprécie progressivement au taux  $d$ . Après une période, il en reste  $\frac{F}{1+d}$ , après deux  $\frac{F}{(1+d)^2}$ ... La durée de vie complète du capital est infinie. Supposons aussi que ses seuls frais d'opération sont des frais de main-d'œuvre,  $SA$ , et qu'une fois le capital installé, sa productivité et celle de la main-d'œuvre qui travaille dessus sont figées. Si le taux de salaire n'augmente pas, la valeur actualisée de la somme des frais de l'entreprise sur toute la vie du capital sera :

$$P^f F + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{SA}{(1+i)^t (1+d)^t}$$

qui est approximativement égal à :

$$P^f F + \frac{SA}{i+d}$$

La minimisation de cette somme correspond à la minimisation de :

$$P^f (i+d)F + SA$$

qui doit se faire sous contrainte de la fonction de production. On appelle  $P^f (i+d)$  le coût d'usage du capital. Nous avons résumé l'argument sans tenir compte des effets de la fiscalité afin d'en préserver la simplicité, mais il serait aisé de les intégrer.

Cet argument contient quelques difficultés quant à son application à l'investissement en matériel et en BTP dans une économie comme celle de la France où le salaire horaire réel augmente rapidement.

La première est bien l'implausibilité de la supposition de maintien du salaire horaire. L'argument pourrait s'accommoder à un taux de progression des salaires égal à celui du prix des produits. Le salaire réel resterait constant, le profit réel par unité aussi, et l'entreprise garderait toujours son capital indéfiniment. On obtiendrait la valeur actualisée des frais d'opérations au prix du jour de l'achat du capital en remplaçant  $i$  dans l'expression ci-dessus par  $i - \dot{p}$ ,  $\dot{p}$  étant le rythme de hausse de prix anticipé.

21. Voir MALINVAUD [14] pour le premier développement de ce concept en France.

Mais une progression des salaires plus rapide que les prix amène, en supposant toujours la productivité du travail figée sur le capital ancien <sup>22</sup>, un phénomène d'obsolescence. Le coût variable réel par unité produite augmente progressivement jusqu'au jour où il dépasse le coût total d'une nouvelle unité de capacité. Ce jour-là, un nombre fini, T, de périodes après sa mise en place, le capital ancien est déclassé <sup>23</sup>. L'hypothèse d'une durée de vie infinie avec diminution régulière au taux  $d$  ne tient plus.

Quoique conscient de cette difficulté, Bischoff n'y apporte pas de remède très satisfaisant. Il suppose simplement que le taux de dépréciation  $d$  peut représenter à la fois la dépréciation économique et la dépréciation physique. ANDO, MODIGLIANI, RAASCHE et TURNOVSKY [1] (dorénavant AMRT) résolvent le problème pour le cas où il n'y a qu'un type de capital.

AMRT obtiennent la solution en deux temps. Dans un premier temps, ils prennent la durée de vie du capital, T, comme donnée. Soit  $m$  le taux de progression prévu du salaire horaire nominal. Alors la valeur actualisée de la somme des frais de fonctionnement du capital peut s'écrire <sup>24</sup> :

$$P^j F + \sum_{\theta=1}^T \frac{S (1+m)^\theta A}{(1+i)^\theta}$$

ce qui est approximativement égal à :

$$P^j F + SA \left( \frac{1 - 1/(1+i-m)^T}{i-m} \right)$$

La minimisation de ceci (sous contrainte de la fonction de production) est équivalente à la minimisation de :

$$\frac{P^j (i-m) F}{(1 - 1/(1+i-m)^T)} + SA$$

et donne le coefficient de capital optimal par rapport à la valeur de T donnée. Il est naturel d'appeler :

$$\frac{P^j (i-m)}{(1 - 1/(1+i-m)^T)}$$

le coût d'usage du capital. AMRT supposent au surplus que  $m = \dot{p} + \gamma$ ,  $\dot{p}$  étant le taux d'inflation prévu pour le niveau général des prix et  $\gamma$  étant le taux tendanciel de la productivité du travail <sup>25</sup>. Ceci leur permet d'écrire le coût d'usage en fonction du concept plus habituel du taux d'intérêt réel :

$$A1 \quad \frac{P^j (i - \dot{p} - \gamma)}{(1 - 1/(1 + i - \dot{p} - \gamma)^T)}$$

Dans un deuxième temps, AMRT calculent la durée de vie qui correspond à la minimisation globale des frais d'opération d'une unité de capacité <sup>26</sup>. Empiriquement, ils trouvent que le T optimal est insensible au taux d'intérêt normal et au taux de progression du salaire réel (il est plus étroitement lié aux paramètres de la fonction de production).

Reste le problème de la définition du coût d'usage quand il y a deux catégories de capital. Raisonant heuristiquement, nous appellerons coût d'usage

du capital en matériel et en BTP les expressions analogues à (A 1) :

$$(A1 M) \quad Pfm \frac{(i - \dot{p} - \gamma)}{(1 - 1 / (1 + i - \dot{p} + \gamma)^{Tm})}$$

et :

$$(A1 B) \quad Pfb \frac{(i - \dot{p} - \gamma)}{(1 - 1 / (1 + i - \dot{p} - \gamma)^{Tb})} \quad 27$$

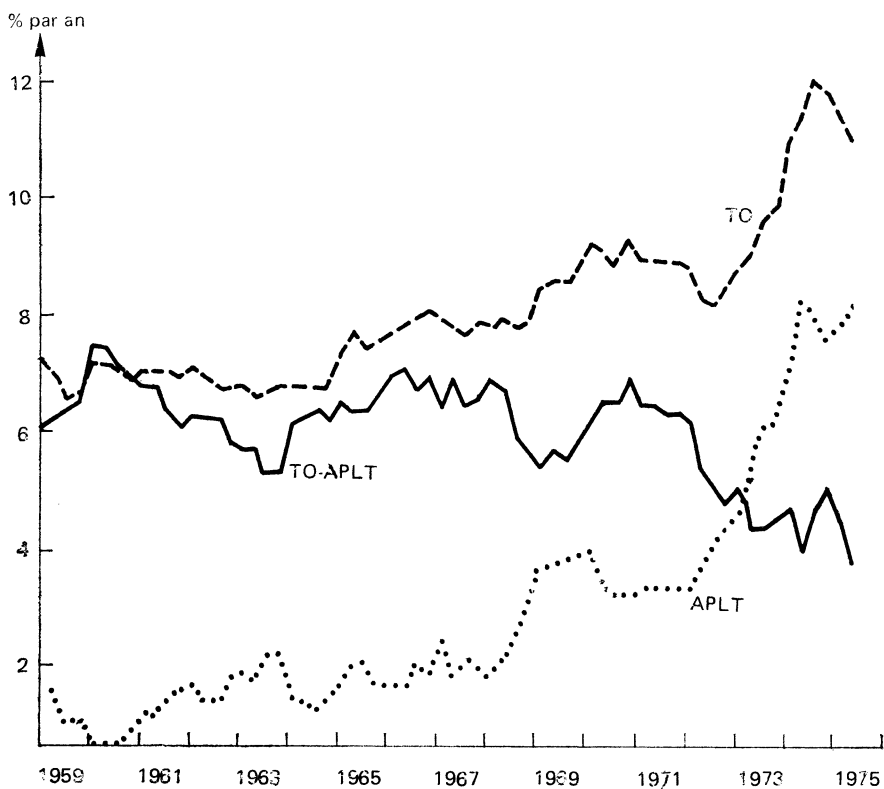
Les parties de chacune de ces expressions qui sont fonctions de  $i - \dot{p} - \gamma$  sont ce que nous appelons dans le texte les indices d'actualisation, ACTM et ACTB.

Pour tenir compte du fait que les deux types d'investissement se financent dans des conditions différentes, nous représenterons  $i$  dans (A1M) par le taux moyen des obligations privées (qui représente une anticipation à long terme des taux de crédits bancaires) et dans (A1B), par le taux des emprunts à long terme du Crédit national. Les graphiques 9 et 10 montrent les profils récents de ces deux taux et de leurs taux réels associés.

- 
22. Pour qu'il y ait obsolescence, il suffit seulement qu'une partie du progrès technique soit incorporée au capital. Une autre partie peut être non incorporée et bénéficier à tout capital. Dans ce cas, la productivité du vieux capital progresse, mais moins rapidement que la hausse du salaire réel. (Nous supposons implicitement qu'à long terme le salaire réel progresse à un taux égal à la somme des taux des différents types de productivité du travail, incorporée plus non incorporée).
  23. Cette durée de vie, T, résulte d'un choix de l'entreprise, car, pour une progression anticipée du salaire réel donnée, un matériel initialement plus capitalistique servira plus longtemps avant de devenir obsolète.
  24. Nous supposons maintenant que le capital n'est pas sujet à une dépréciation physique. Il reste entier jusqu'à ce qu'il soit déclassé. Aussi, nous supposons qu'il n'y a aucune progression de la productivité sur le capital existant. Enfin, nous faisons abstraction de tout effet de fiscalité. Ces simplifications par rapport à la présentation de AMRT ne changent rien à l'argument central.
  25. Si une partie du progrès technique était non-incorporée au capital, et le taux de celle-ci était  $\mu$ , le taux tendanciel global de la productivité du travail serait  $\gamma + \mu$ . Cette somme remplacerait  $\gamma$  dans l'expression (A1).
  26. Ils vérifient que ce calcul en deux temps donne effectivement un minimum global.
  27. Nous ne fournissons pas la preuve qu'une minimisation de coûts basée sur les concepts de coût d'usage proposés donnerait le même résultat qu'une minimisation plus ardue partant de principes de base. Celle-ci semble compliquée et ne semble pas permettre la simplification du raisonnement en deux temps utilisé par AMRT. Le problème est que la durée de vie des deux catégories de capital n'est pas la même et donc on ne peut pas parler d'une durée de vie non ambiguë de la capacité installée. Il semble que l'on soit obligé de trouver les T optimaux et les coefficients de capital qui y correspondent simultanément.

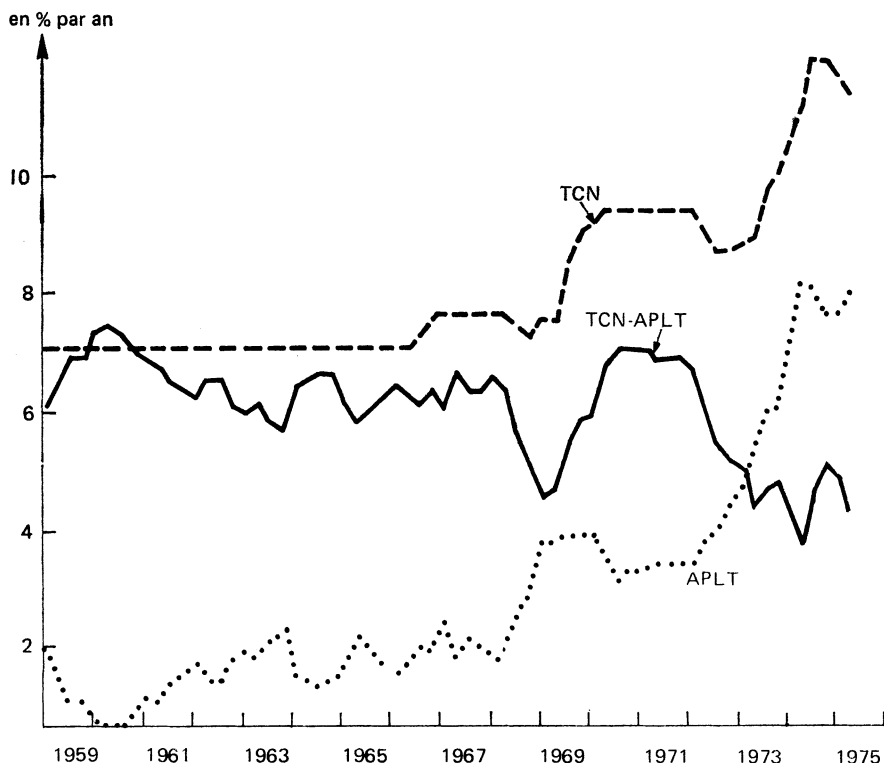
GRAPHIQUE 9

*Le taux d'intérêt réel pour le financement du matériel.*



GRAPHIQUE 10

*Le taux d'intérêt réel pour le financement du BTP.*



## ● Références bibliographiques

- [1] A. ANDO, F. MODIGLIANI, R. RASCHE et J. TURNOVSKY. — « On the Role of Expectations of Price and Technological change in an Investment Function », *International Economic Review*, XV (June, 1974).
- [2] C. W. BISCHOFF. — « The Effect of Alternative Lag Distributions », dans G. Fromm, ed., *Tax Incentives and Capital Spending*, (Washington DC : The Brookings Institution, 1974).
- [3] R. BOYER, J. MAZIER, G. OLIVE. — « Nouveau modèle macro-économique : STAR », *Économie et statistique*, n° 61, novembre 1974.
- [4] R. COURBIS. — « Le comportement d'autofinancement des entreprises et le modèle FIFI », *Annales de l'INSEE*, n° 12-13, janvier-août 1973.
- [5] H. DELESTRÉ. — « Comparaison des dotations fiscales et économiques aux amortissements : incidence sur la mesure des résultats des entreprises », document ronéoté du ministère de l'Économie et des Finances, juin 1975.
- [6] D. DESPLATS-REDIER. — « Les investissements industriels et le principe d'accélération », *Collections de l'INSEE*, série E, n° 7, février 1971.
- [7] J.-F. ECHARD et P. Y. HENIN. — « Une étude économétrique de la décision d'investir et des structures financières dans l'entreprise », *Économies et sociétés*, cahiers de l'ISEA, juillet-août 1970.
- [8] D. W. JORGENSON. — « Capital Theory and Economic Behavior », *American Economic Review*, mai 1963.
- [9] G. LAROQUE, B. LE CALVEZ et P. NASSE. — « Comptes trimestriels : méthodes, statistiques et séries rétrospectives », *Collections de l'INSEE*, série C, n° 40, décembre 1975.
- [10] J. MAIRESSE et A. SAGLIO. — « Estimation de fonctions de production pour l'industrie française », *Annales de l'INSEE*, n° 6, janvier-avril 1971.
- [11] E. MALINVAUD. — « Peut-on mesurer le coût d'usage du capital productif ? », *Économie et statistique*, n° 22, avril 1971.
- [12] P.-A. MUET et P. ZAGAME. — « Fonctions d'investissement et retards échelonnés », *Annales de l'INSEE*, n° 21, janvier-mars 1976.
- [13] R. SCHRAMM. — « Neo-classical Investment Models and French Private Manufacturing Investment », *American Economic Review*, LXII, September 1974.
- [14] V. THOLLON-POMMEROL et E. MALINVAUD. — « L'effet d'accélération dans les investissements industriels français », *Annales de l'INSEE*, n° 7, mai-août 1971.
- [15] Gabriel VANCREVELINGHE. — « L'investissement productif des entreprises privées et son financement », *Cahiers économiques et monétaires de la Banque de France*, n° 2, 2<sup>e</sup> trimestre 1975.



## CHAPITRE 8

# Effectifs et durées du travail

par **Patrick ARTUS**

---

L'activité de chaque branche rend nécessaire la présence d'un certain effectif salarié et une certaine durée du travail. Le but de cet article est de présenter des équations de détermination des unes et des autres pour les branches où les effectifs salariés sont prépondérants et où l'analyse économétrique s'est révélée satisfaisante. Il a été essayé de rendre homogènes les équations d'emploi industriel et d'investissement, mais cette homogénéité s'est révélée difficile à atteindre.

## **Introduction**

---

*Après avoir déterminé l'équilibre emplois-ressources de chaque produit, METRIC passe à l'explication des facteurs de production, c'est-à-dire des effectifs salariés et des durées de travail. Le même niveau de désagrégation en six branches a été conservé pour cette explication. Cependant, les effectifs et la durée du travail dans l'agro-alimentaire restent exogènes, puisqu'une large fraction de la production de cette branche est assurée par des non-salariés et qu'il serait donc illogique de déterminer le nombre de salariés agricoles à partir de cette production. D'autre part, il a été impossible d'expliquer de façon correcte les fluctuations, assez erratiques, des horaires de travail dans l'énergie et dans les commerces. Les équations réalisées concernent donc les effectifs de l'industrie, de l'énergie, du BTP, des services et des commerces, et les horaires hebdomadaires de travail dans l'industrie, le BTP et les services.*

*Nous séparerons notre présentation en deux parties, nous attachant d'abord aux facteurs de production dans l'industrie puis à ceux des autres branches. Le mode de traitement adopté, le niveau et l'importance conjoncturelle des effectifs de l'industrie justifient cette séparation.*

*Nous décrivons tout d'abord un premier type d'équations d'effectifs industriels, indépendantes du traitement adopté par ailleurs pour l'investissement productif, puis nos efforts pour rendre homogène le comportement de choix des facteurs de production (capital et travail).*

# 1 Effectifs et horaire de travail dans l'industrie

---

## 1.1. Effectifs

Deux hypothèses sont à la base de notre formalisation :

1. Les effectifs s'ajustent à un niveau désiré suivant un processus très simple :

$$\frac{\text{EFI}}{\text{EFI}_{-1}} = \left( \frac{\text{EFI}^*}{\text{EFI}_{-1}} \right)^a$$

où EFI représente les effectifs et EFI\* les effectifs désirés.

2. Les effectifs désirés dépendent de la production anticipée et de la tendance constatée de la productivité.

Ils peuvent donc s'écrire :

$$\text{EFI}^* = E_0 \exp(-\gamma \bar{T}) (X I^a)^b$$

où  $\exp(-\gamma \bar{T})$  est le trend de productivité et  $X I^a$  la production anticipée dans l'industrie.

Nous arrivons donc à la formulation suivante :

$$\text{Log}(\text{EFI}) = c_0 + c_1 \bar{T} + c_2 \text{Log}(X I^a) + c_3 \text{Log}(\text{EFI}_{-1})$$

Son estimation se heurte cependant à deux difficultés :

- d'une part, sous cette forme il est très difficile d'obtenir des ajustements corrects à cause de la collinéarité entre EFI,  $\bar{T}$ ,  $X I^a$ ;
- d'autre part, il est apparu que la représentation de la production anticipée pour un retard échelonné sur les niveaux passés de production donnait d'assez médiocres résultats.

En raison de ces difficultés, nous avons choisi :

- d'estimer les effectifs en deux temps : d'abord les effectifs désirés, ensuite les effectifs réels;
- de prendre une formulation plus complexe de la production anticipée, en utilisant les résultats obtenus lors de la détermination de la production et des importations industrielles.

Nous allons maintenant examiner la spécification des effectifs désirés puis celle des effectifs réels.

### a. Estimation des effectifs désirés

#### i. MÉTHODE

Les effectifs désirés ne sont pas une grandeur observable.

Il serait certainement dangereux d'utiliser la série d'effectifs employés pour estimer une équation d'effectifs désirés, car ces derniers peuvent demeurer inférieurs ou supérieurs aux effectifs employés pendant un certain nombre de trimestres successifs. Les effectifs employés ne peuvent donc pas être considérés comme une mesure sans biais des effectifs désirés.

Nous avons pensé qu'en construisant une moyenne mobile centrée des effectifs employés nous obtiendrions un tel estimateur car, en calculant cette moyenne sur un nombre suffisant de trimestres, nous annulerions l'effet de maintien pendant plusieurs trimestres des effectifs désirés au-dessus ou au-dessous des effectifs employés.

L'expérience a montré que le nombre de trimestres sur lequel on calculait la moyenne (3, 5, 7 ou 9) avait peu d'influence sur les résultats, dès que ce nombre de trimestres était supérieur à 2. Nous présenterons donc ici les résultats obtenus avec une moyenne mobile centrée sur trois trimestres.

Il nous faut maintenant résoudre la seconde difficulté à laquelle nous nous sommes heurtés : les mauvais résultats obtenus avec la représentation de la production anticipée par un retard sur les niveaux passés de la production. Lors de l'estimation de la production de l'industrie, nous avons représenté le plan de production sous la forme :

$$XI = \alpha X_1 (NSI^* - NSI_{-1})^\alpha + \beta X_2 DTHSI^\alpha$$

Rappelons que  $X_1$  et  $X_2$  sont les variables représentant les parts de la production intérieure dans l'offre pour les stocks et pour la demande hors stocks,  $NSI^*$  le niveau de stock désiré,  $NSI$  le niveau de stock existant,  $DTHSI^\alpha$  la demande hors stocks anticipée.  $X_1$  et  $X_2$  dépendent de prix et de tensions sur les appareils productifs français et étrangers, ainsi que d'un trend temporel. Nous allons utiliser cette représentation de la production anticipée pour estimer les effectifs de l'industrie, d'une part sous une forme simplifiée où nous représenterons  $X_1$  et  $X_2$  par des trends et d'autre part, sous la forme complète où nous conservons les vraies valeurs de  $X_1$  et  $X_2$ .

## ii. ESTIMATION

Nous avons donc à estimer une équation sous la forme :

$$\text{Log (MMEFI)} = d_0 + d_1 \bar{T} + d_2 \text{Log (XI}^\alpha)$$

où MMEFI est la moyenne mobile centrée des effectifs. Nous utiliserons pour  $XI^\alpha$  :

1. Soit  $\exp(-k\bar{T})(\bar{X}_1(NSI^* - NSI_{-1})^\alpha + \bar{X}_2 DTHSI^\alpha)$ , forme simplifiée où  $X_1$  et  $X_2$  sont représentés par les trends :

$$\begin{aligned} X_1 &= \bar{X}_1 \exp(-k\bar{T}) \\ X_2 &= \bar{X}_2 \exp(-k\bar{T}) \end{aligned}$$

2. Soit  $X_1(NSI^* - NSI_{-1})^\alpha + X_2 DTHSI^\alpha$ , forme complète faisant intervenir prix et tensions.

Nous obtenons :

● Dans le premier cas :

$$\text{Log (MMEFI)} = 5,51 - 0,008 \bar{T} + 0,51 \text{Log (XI}^\alpha \exp(-k\bar{T}))$$

(8,2)      (5,9)      (7,7)

$$R^2 = 0,948$$

$$DW = 0,10$$

$$SEE = 0,011$$

Période d'estimation : de 1962.4 à 1975.4.

- Dans le deuxième cas :

$$\text{Log (MMEFI)} = 3,2 - 0,009 \bar{T} + 0,72 \text{Log (XI}^a) \\ (3,1) \quad (5,4) \quad (7,0)$$

$$R^2 = 0,953$$

$$DW = 0,13$$

$$SEE = 0,010$$

Période d'estimation : de 1962.4 à 1975.4.

Nous devons maintenant passer à l'explication des effectifs employés, en utilisant les formulations des effectifs désirés obtenus ci-dessus.

Nous nommerons EF1\* et EF2\* les estimations de MMEFI obtenues dans les deux cas précédents.

### b. Estimation des effectifs

Rappelons que le schéma de base est du type :

$$\frac{\text{EFI}}{\text{EFI}_{-1}} = \left( \frac{\text{EFI}^*}{\text{EFI}_{-1}} \right)^a$$

En l'appliquant aux effectifs désirés précédemment calculés, nous obtenons :

$$\text{Log (EFI)} = -0,12 + 0,26 \text{Log (EF1}^*) + 0,75 \text{Log (EFI}_{-1}) \\ (0,5) \quad (3,8) \quad (11,4)$$

$$R^2 = 0,990$$

$$DW = 0,29$$

$$SEE = 0,005$$

Période d'estimation : de 1962.4 à 1975.4

et :

$$\text{Log (EFI)} = 0,08 + 0,17 \text{Log (EF2}^*) + 0,82 \text{Log (EFI}_{-1}) \\ (0,3) \quad (2,0) \quad (10,1)$$

$$R^2 = 0,989$$

$$DW = 0,27$$

$$SEE = 0,005$$

Période d'estimation : de 1962.4 à 1975.4.

Nous n'imposons pas de contrainte sur les coefficients de Log (EF\*) et de Log (EFI)<sub>-1</sub> qui spontanément sont de somme pratiquement égale à 1 (0,26 + 0,75 et 0,17 + 0,82).

Il est clair que ces estimations ne sont pas satisfaisantes. Pour les enrichir, nous introduisons l'indicateur de tension sur le marché du travail :

$$\text{LDO} = \text{Log} \left( \frac{\text{DENS}}{\text{OENS}} \right)$$

LDO s'interprète alors à la fois comme une mesure de la disponibilité de main-d'œuvre et comme un indicateur du niveau de la compétition entre les entreprises pour obtenir la main-d'œuvre dont elles ont besoin.

Notre première idée est de faire intervenir LDO dans la vitesse d'ajustement des effectifs aux effectifs désirés, selon le schéma :

$$\frac{\text{EFI}}{\text{EFI}_{-1}} = \left( \frac{\text{EFI}^*}{\text{EFI}_{-1}} \right)^a$$

avec  $a = a_0 + a_1 \text{LDO}$ , que nous pouvons estimer sous la forme :

$$\text{Log (EFI)} - \text{Log (EFI}_{-1}) = (a_0 + a_1 \text{LDO}) [\text{Log (EFI}^*) - \text{Log (EFI}_{-1})]$$

mais ce schéma ne s'est jamais avéré significatif.

Nous avons alors simplement ajouté la variable LDO au lot de variables explicatives, et nous avons donc estimé les effectifs sous la forme :

$$\text{Log (EFI)} = d_0 + d_1 \text{Log (EFI}^*) + d_2 \text{LDO} + d_3 \text{Log (EFI}_{-1})$$

ce qui donne :

- Dans le premier cas :

$$\text{Log (EFI)} = 0,70 + 0,09 \text{Log (EFI}^*) - 0,01 \text{LDO} + 0,85 \text{Log (EFI}_{-1})$$

(3,3) (1,9) (9,5) (17,5)

#### Équation 1

$$R^2 = 0,999$$

$$\text{DW} = 1,80$$

$$\text{SEE} = 0,0015$$

$$\hat{\rho} = 0,61 \text{ (COCHRANE-ORCUTT)}$$

(5,1)

Période d'estimation : de 1963.1 à 1975.4

- Dans le deuxième cas :

$$\text{Log (EFI)} = 0,79 + 0,08 \text{Log (EFI}^*) - 0,01 \text{LDO} + 0,86 \text{Log (EFI}_{-1})$$

(4,8) (2,0) (11,5) (20,1)

#### Équation 2

$$R^2 = 0,999$$

$$\text{DW} = 1,70$$

$$\text{SEE} = 0,0015$$

$$\hat{\rho} = 0,52 \text{ (COCHRANE-ORCUTT)}$$

(4,6)

Période d'estimation : de 1963.1 à 1975.4

Ces équations correspondent donc à un schéma :

$$\frac{\text{EFI}}{\text{EFI}_{-1}} = \left( \frac{\text{EFI}^*}{\text{EFI}_{-1}} \right)^a \left( \frac{\text{DENS}}{\text{OENS}} \right)^b$$

où les entreprises embauchent en fonction de l'écart entre effectifs désirés et effectifs existants et de la situation du marché du travail.

**c. Essai d'estimation d'une équation d'effectifs cohérente avec l'équation de FBCF productive**

i. Nous avons vu que l'équation de FBCF productive estimée suivant le schéma de G. W. BISHOFF nous permettait de construire une série de capacité de production. De même cette équation nous fournit une série d'effectifs désirés à pleine capacité. En effet, l'estimation des paramètres de la fonction de production du type COBB-DOUGLAS qui représente l'ensemble des possibilités techniques offertes au choix de l'investisseur à un instant donné, nous fournit en même temps que le coefficient de capital désiré utilisé dans l'équation, le rapport désiré entre travail et production, que nous notons  $V_L^*$ .

Plaçons-nous maintenant dans une situation de pleine utilisation des capacités.

Si  $\Delta \text{XIPOT}_B$  est la variation brute de capacité, les effectifs affectés dans la nouvelle tranche de biens d'équipement seront :

$$\Delta^+ \text{EFI}^{**} = V_L \cdot \Delta \text{XIPOT}_B$$

l'exposant \*\* signifiant : à pleine capacité.

Les effectifs retirés des investissements déclassés seront :

$$\Delta^- \text{EFI}^{**} = \sum_{i=1}^{\infty} V_{L-i}^* \delta Q_{-i}^n = \delta \text{EFI}^{**}$$

puisque :

$$\text{EFI}^{**} = \sum_{i=0}^{\infty} V_{L-i}^* Q_{-i}^n$$

où  $\delta$  est le taux de dépréciation de l'ensemble du capital,  $Q_{-i}^n$  ce qui reste à l'instant considéré des équipements installés  $i$  périodes auparavant, et  $\text{EFI}^{**}$  les effectifs désirés à pleine capacité.

La variation de capacité ( $\Delta \text{XIPOT}_B$ ) et le taux de dépréciation nous sont fournis par l'équation de FBCF.

Nous pouvons donc construire numériquement :

$$\text{EFI}^{**} = \sum_{i=0}^{\infty} (V_{L-i}^* \Delta \text{XIPOT}_{B-i} - \delta \text{EFI}_{-i-1}^{**})$$

qui constitue une série d'effectifs désirés à pleine capacité, puisque ce sont les effectifs optimaux lorsque toutes les variations successives de capacité ( $\Delta \text{XIPOT}_B$ ) sont pleinement utilisées. Nous devons alors passer des effectifs désirés à pleine capacité aux effectifs employés dans la situation existante d'utilisation des capacités.

Pour cela, nous estimons tout d'abord un processus de passage des effectifs désirés à pleine capacité aux effectifs désirés en fonction du taux d'utilisation des capacités (ou des marges de capacité avec embauche (CAPA) qui lui sont équivalentes), soit :

$$\frac{\text{EFI}^{**}}{\text{EFI}^*} = f\left(\frac{\text{XIPOT}}{\text{XI}}\right) = g(\text{CAPA})$$

où :

EFI\* : effectifs désirés;  
EFI\*\* : effectifs désirés à pleine capacité;  
CAPA : marges de capacité avec embauche;  
XI : production de l'industrie;  
XIPOT : capacité de production de l'industrie.

Pour l'estimation, nous remplacerons comme précédemment EFI\* par la moyenne mobile des effectifs employés. Puis nous passerons de EFI\* aux effectifs employés comme plus haut par :

$$\left| \frac{\text{EFI}}{\text{EFI}_{-1}} = \left( \frac{\text{EFI}^*}{\text{EFI}_{-1}} \right)^a \text{ ou par : } \frac{\text{EFI}}{\text{EFI}_{-1}} = \left( \frac{\text{EFI}^*}{\text{EFI}_{-1}} \right)^a \left( \frac{\text{DENS}}{\text{OENS}} \right)^b$$

ii. L'estimation du passage des effectifs désirés à pleine capacité aux effectifs donne :

$$\begin{aligned} \text{Log} \left( \frac{\text{EFI}^{**}}{\text{EFI}^*} \right) &= 0,08 + 0,13 \cdot 10^{-4} \text{CAPA} + 0,19 \cdot 10^{-4} \text{CAPA}_{-1} \\ &\quad (2,9) \quad (4,1) \quad (4,1) \\ &+ 0,19 \cdot 10^{-4} \text{CAPA}_{-2} + 0,13 \cdot 10^{-4} \text{CAPA}_{-3} \\ &\quad (4,1) \quad (4,1) \end{aligned}$$

$$R^2 = 0,38$$

$$\text{DW} = 0,10$$

$$\text{SEE} = 0,023$$

Période d'estimation : de 1963.2 à 1975.4

Nous avons donc un processus de passage entre EFI\*\* et EFI\* défini par :

$$\frac{\text{EFI}^{**}}{\text{EFI}^*} = g(\text{CAPA}) = g_0 \exp(\sum a_t \text{CAPA}_{-t})$$

avec :

$$g_0 = 1,08$$

$$a_0 = 0,13 \cdot 10^{-4}$$

$$a_1 = a_2 = 0,19 \cdot 10^{-4}$$

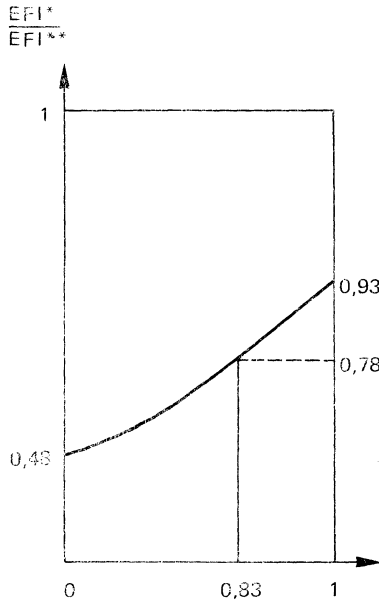
$$a_3 = 0,13 \cdot 10^{-4}$$

Ainsi :

quand CAPA = 0 (plein emploi des capacités), nous avons donc  
EFI\* = 0,93 EFI\*\*;  
quand CAPA = 10<sup>4</sup> (production nulle), EFI\* = 0,48 EFI\*\*;  
quand CAPA = 0,83 · 10<sup>4</sup> (valeur moyenne de CAPA), EFI\* = 0,78 EFI\*\*.



La courbe représentant le passage a donc l'allure suivante :



Connaissant maintenant  $EFI^*$  nous passons à  $EFI$  comme précédemment :

$$\text{Log (EFI)} = 0,56 + 0,05 \text{ Log (EFI}^*) - 0,009 \text{ LDO} + 0,90 \text{ Log (EFI}_{-1})$$

(3,2)
(2,3)
(9,7)
(49,0)

Équation 3

$$R^2 = 0,999$$

$$DW = 1,83$$

$$SEE = 0,0017$$

$$\hat{\rho} = 0,51 \text{ (COCHRANE-ORCUTT)}$$

(4,9)

Période d'estimation : 1963.2 à 1975.4.

En comparant ces résultats à ceux de l'équation 1, on constate que ce schéma explicatif, quoique respectant mieux l'homogénéité interne du modèle, ne conduit pas à un résultat économiquement supérieur : l'élasticité de court terme aux effectifs désirés  $y$  est sensiblement plus faible que dans l'équation 1; de plus, le fonctionnement dynamique de cette équation a donné des résultats très médiocres.

Il semble que l'effet de substitution capital — travail, possible pour la tranche nouvelle d'équipements, qui est l'effet sur lequel la formulation de BISHOFF met l'accent, soit dominé par l'effet de plus ou moins grande utilisation du matériel en place, ce qui explique la mauvaise qualité des résultats obtenus.

Ces problèmes posés par cette équation (3) ont conduit à conserver l'équation (1) dans le modèle.

## 1.2. Durée du travail dans l'industrie

Nous déterminons d'abord le trend de la durée hebdomadaire du travail ( $\overline{\text{TRHI}}$ ), qui dépend des conventions collectives portant sur la durée.  $\overline{\text{TRHI}}$  est constant de 1958 au deuxième trimestre 1968 (et vaut alors 45,6 h par semaine). Après les accords de Grenelle il diminue linéairement pour atteindre 42,4 h au début de 1975. Nous modélisons l'écart à ce trend de la durée du travail (soit  $\text{HI} - \overline{\text{TRHI}}$ ), que nous faisons dépendre des variations de court terme de la production et des tensions sur le marché du travail : lorsque la production industrielle croît, l'effet immédiat est un allongement de l'horaire, les effectifs n'augmentant qu'ultérieurement; lorsque la main-d'œuvre disponible est très importante, l'horaire de travail a tendance à raccourcir.

Nous obtenons :

$$\text{HI} - \overline{\text{TRHI}} = 1,5 + 0,04 \Delta \text{XI}_{-1} - 52,4 \text{LDO} + 0,83 (\text{HI} - \overline{\text{TRHI}})_{-1}$$

(0,1) (2,5) (1,3) (10,5)

$$R^2 = 0,896$$

$$\text{DW} = 0,93$$

$$\text{SEE} = 10 \text{ (soit } 0,01 \text{ heure; moyenne de } \text{HI} - \overline{\text{TRHI}} : 80)$$

Période d'estimation : 1959.1 à 1975.4.

L'effet autorégressif traduit la rigidité qui existe dans l'horaire de travail comme dans les effectifs.

## 2 Effectifs et horaires de travail dans les autres branches

---

Après avoir vu les équations qui concernent l'industrie, nous passons maintenant aux autres branches.

Nous trouvons ici des résultats satisfaisants avec une formulation simple, qui avait échoué dans le cas de l'industrie.

L'équation de base pour les effectifs est du type :

$$\text{Log (EF)} = a_0 + a_1 \bar{T} + a_2 Z + a_3 \text{Log}(X^a) + a_4 \text{Log (EF)}_{-1}$$

où EF représente les effectifs,  $\bar{T}$  le temps, Z un terme de tensions,  $X^a$  la production anticipée que nous représentons ici par un retard échelonné sur les niveaux passés de la production (X).

Pour la durée du travail, les formulations sont variées.

## 2.1. BTP

### a. Effectifs

Des modifications technologiques introduites au début des années 1970 (préfabrication) ont amené un accroissement plus rapide de la production du BTP. Nous représentons ce phénomène par deux trends de productivité ( $\overline{T1}$  et  $\overline{T2}$ ) présentant une rupture fin 1969. En l'absence d'une variable de tension sur l'appareil productif en dehors de l'industrie, nous introduisons les marges de capacité dans l'industrie (CAPA) qui représentent en fait la situation conjoncturelle de l'ensemble de l'économie.

Nous obtenons :

$$\begin{aligned} \text{Log (EFB)} &= 1,561 - 0,0013 \overline{T1} - 0,0026 \overline{T2} \\ &\quad (6,9) \quad (2,0) \quad (3,4) \\ &- 0,000014 \text{ CAPA} + 0,09 \text{ Log (XB)} + 0,06 \text{ Log (XB}_{-1}) \\ &\quad (8,1) \quad (3,1) \quad (3,1) \\ &+ 0,03 \text{ Log (XB}_{-2}) + 0,66 \text{ Log (EFB}_{-1}) \\ &\quad (3,1) \quad (9,5) \end{aligned}$$

$$R^2 = 0,9987$$

$$DW = 1,34$$

$$SEE = 0,003$$

Période d'estimation : de 1962.3 à 1975.4

où :

XB = production du BTP;

T1 est égal au temps jusqu'en 1969 et est constant depuis;

T2 est égal au temps depuis 1969.

L'élasticité à long terme des effectifs à la production qui ressort de cette équation est de 0,53.

### b. Durée du travail

Nous supposons que les variations de l'horaire de travail autour de sa tendance sont reliées aux variations de court terme de la production dans le BTP, que nous représentons par la variable DM, définie par :

$$DM = \frac{MCT + MCT_{-1}}{\sum_{i=2}^5 MCT_{-i}}$$

où MCT représente le total des mises en chantier.

Nous obtenons :

$$HB - \overline{TRHB} = -645 + 1208,7 DM + 0,69 (HB - \overline{TRHB})_{-1}$$

(1,7)      (1,9)      (6,1)

$$R^2 = 0,598,$$

$$DW = 1,70,$$

$$SEE = 13 \text{ (soit } 0,013 \text{ heure; moyenne de HS} - \overline{\text{TRHS}} = 110)$$

Période d'estimation : de 1963.2 à 1975.4.

## 2.2. Services

En plus du schéma habituel, nous introduisons pour cette branche la possibilité d'une substitution entre effectifs et durée du travail sous la forme de la présence de la variable effectifs dans l'équation de durée et de la variable écart entre durée et durée tendancielle dans l'équation d'effectifs. Les services sont la seule branche où une telle possibilité de substitution est apparue significative.

Nous obtenons :

### a. Pour les effectifs

$$\begin{aligned} \text{Log (EFS)} = & -0,176 - 0,000008 \text{ CAPA} - 0,40 \text{ Log (HS}/\overline{\text{TRHS}}) \\ & (1,1) \quad (10,9) \quad (5,4) \\ & + 0,12 \text{ Log (XS)} + 0,81 \text{ Log (EFS}_{-1}) \\ & (5,8) \quad (26,9) \end{aligned}$$

$$R^2 = 0,999$$

$$DW = 1,25$$

$$SEE = 0,0017$$

Période d'estimation : de 1963.3 à 1975.4

où :

XS = production des services;

HS = horaire de travail dans les services;

$\overline{\text{TRHS}}$  = trend de la durée du travail dans les services.

L'élasticité à long terme des effectifs à la production est de 0,60.

### b. Pour l'horaire

$$\text{HS} - \overline{\text{TRHS}} = 140,9 - 0,38 \Delta \text{ EFS} - 54,2 \text{ LDO} + 0,79 (\text{HS} - \overline{\text{TRHS}})_{-1}$$

$$(2,8) \quad (3,5) \quad (2,1) \quad (12,3)$$

$$R^2 = 0,789$$

$$DW = 1,53$$

$$SEE = 9 \text{ (soit } 0,009 \text{ heure; moyenne de HS} - \overline{\text{TRHS}} = 83)$$

Période d'estimation : de 1959.2 à 1975.4.

Les variations de court terme de la production des services ne sont jamais apparues significatives.

### 2.3. Commerces

Pour les commerces (et pour l'énergie ci-après) il n'y a comme nous l'avons vu en introduction qu'une équation d'effectifs, l'horaire restant exogène. Nous obtenons (l'équation est estimée en taux de croissance) :

$$\begin{aligned} \dot{EFC} = & -0,00128 + 0,07 \dot{XC} + 0,06 \dot{XC}_{-1} + 0,05 \dot{XC}_{-2} \\ & (1,6) \quad (2,7) \quad (3,7) \quad (2,6) \\ & + 0,035 \dot{XC}_{-3} + 0,019 \dot{XC}_{-4} + 0,73 \dot{EFC}_{-1} \\ & (1,8) \quad (1,4) \quad (8,6) \end{aligned}$$

$$R^2 = 0,764$$

$$DW = 1,80$$

$$SEE = 0,0023 \text{ (moyenne de } \dot{EFC} : 0,06)$$

Période d'estimation : de 1959.3 à 1975.4,

où :  $\dot{XC}$  = taux de croissance de la production des commerces.

L'élasticité à long terme des effectifs à la production est de 0,85.

### 2.4. Énergie

Nous modélisons les effectifs de l'énergie en excluant les effectifs employés dans les charbonnages. En effet, leur réduction est largement déterminée administrativement, et ils seront donc exogènes.

Pour les effectifs employés en dehors des charbonnages, nous obtenons :

$$\begin{aligned} \text{Log (EFE)} = & 0,735 + 0,007 \text{ Log (XE)} + 0,01 \text{ Log (XE}_{-1}) + 0,01 \text{ Log (XE}_{-2}) \\ & (2,5) \quad (1,2) \quad (1,8) \quad (2,3) \\ & + 0,004 \text{ Log (XE}_{-3}) + 0,87 \text{ Log (EFE}_{-1}) \\ & (0,3) \quad (8,6) \end{aligned}$$

$$R^2 = 0,999$$

$$DW = 2,83$$

$$SEE = 0,003$$

Période d'estimation : de 1959.2 à 1975.4

où : XE = production d'énergie.

L'élasticité à long terme des effectifs à la production est de 0,2. Cette faible valeur peut être en partie due au fait que le secteur de l'énergie est très capitalistique.

# Conclusion

---

Nous avons donc réalisé un ensemble d'équations assez diverses, même si le schéma très global d'explication est le même pour toutes les branches.

D'autre part, nous avons fréquemment fait intervenir dans l'explication des effectifs ou des durées la variable de tension sur le marché du travail, qui dépend elle-même fortement de l'explication des effectifs.

Cette diversité et cette simultanété pouvaient donner quelque inquiétude quant au fonctionnement global de l'ensemble des équations qui déterminent les effectifs et les tensions. Le fonctionnement de l'ensemble du modèle a montré que cette inquiétude était sans fondement.