

RENÉ PARAIRE

## Évolution technologique. Application de la méthode de l'analyse d'inertie

*Journal de la société statistique de Paris*, tome 125, n° 4 (1984), p. 221-231

[http://www.numdam.org/item?id=JSFS\\_1984\\_\\_125\\_4\\_221\\_0](http://www.numdam.org/item?id=JSFS_1984__125_4_221_0)

© Société de statistique de Paris, 1984, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Journal de la société statistique de Paris » (<http://publications-sfds.math.cnrs.fr/index.php/J-SFdS>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme  
Numérisation de documents anciens mathématiques

<http://www.numdam.org/>

## II

### ARTICLE

# ÉVOLUTION TECHNOLOGIQUE APPLICATION DE LA MÉTHODE DE L'ANALYSE D'INERTIE

René PARAIRE

*Maître-assistant de sciences économiques (\*)*

*L'évolution technologique change les rapports entre les branches de production et restructure l'économie par l'intérieur. Elle apporte avec elle tout un réseau de relations et de dépendances nouvelles qu'il faut prévoir, d'abord au niveau technique. L'application de la méthode d'analyse d'inertie présentée ici est une contribution à l'effort de connaissance objective de cette évolution.*

*The technological evolution changes the relations between the branches of production and restructures the economy from the inside. It brings with it a whole network of new relations and dependences, that must first of all be examined on the technical level. The application of the method of analysis of inertia which is here presented is a contribution to the effort for an objective knowledge of that evolution.*

Une mutation technologique chemine avec les difficultés économiques, son existence est indiscutée et ses effets douloureux aujourd'hui atténués par l'espoir qu'ils sont porteurs de résultats bénéfiques ultérieurs. En admettant qu'il y a eu beaucoup d'erreurs d'appréciation sur son contenu et sa portée, toutes les opinions se sont affirmées : du progrès technique au séisme; il est souhaitable de ne pas reconduire les premières et pour cela il faut produire des instruments scientifiques pour l'analyser.

Admettre et situer cette mutation n'est pas chose facile. Certes, elle contient une évolution qui paraît évidente et que les médias diffusent, mais dans l'idée même d'évolution il y a la notation d'un sens et d'une adaptation. Quelle est alors la réalité d'un sens technologique qui décrocherait d'une évolution sociale puisque évolution est toujours en partie autonomie limitée et réflexion sur soi des conditions changeantes du milieu et de l'environnement. Comment en situer le noyau fondamental dans la diversité des manifestations? Comment déceler dans cette multiplicité une hiérarchie dans les forces qui la déterminent et d'abord comment définir ces forces?

On a la conviction maintenant que tout cela s'est passé à l'insu d'une macro-économie qui ne pouvait penser qu'à l'horizon de ses moyens, de ses équilibres et de ses quantités. En situer la portée n'est pas la restreindre, c'est en mesurer les possibilités et voir qu'elle n'était pas faite pour comprendre ce problème. Il faut donc mettre au jour de nouveaux moyens d'analyse, abandonner pour cette étude la macro-économie pour un regard plus pénétrant, évaluer l'anatomie, fouiller l'intérieur là où surgit cette mutation. On peut espérer la saisir en aval, dans les produits dont les propriétés évoluent, mais les changements dans les produits peuvent être induits par l'évolution des goûts, des mœurs, la substitution de

---

(\*) Université des sciences et techniques du Languedoc, I.U.T., 99, avenue d'Occitanie, 34075 Montpellier Cedex.

références de consommation. Plus significatif est ce qui se produit en amont, dans l'acte productif lui-même, dans les changements des consommations intermédiaires affectées nécessairement et d'abord par l'existence d'un nouveau projet technologique.

Il est possible alors d'avoir recours à l'analogie mécanique et considérer que toute *branche économique* est un mobile en déplacement dans l'espace de ses consommations intermédiaires. C'est dans cet espace d'abord que se manifeste la mutation technologique, il doit être aussi conçu comme un champ de forces auxquelles sont soumis les mobiles-branches. Leur trajectoire est donc la résultante de forces dont la principale est celle que nous cherchons. Ceci étant posé, reste à trouver une analyse de ces trajectoires qui nous livre les composantes dominantes agissant sur chaque mobile pendant une durée déterminée. La plus puissante d'entre elles sera celle qui prend à son compte la plus grande partie du mouvement, on pourra l'appeler la composante technologique, la différenciant par ce terme des autres qui correspondent à des notions plus composites. Par quel principe définir cette analyse, comment justifier une méthode qui remonte de la trajectoire aux forces que subit le mobile? Le paradigme mécanique nous offre les ressources de ses théories; le moyen conceptuel qui fonde l'application est l'inertie. Aussi présenterons-nous d'abord cette notion et ses implications analytiques, puis l'analyse d'inertie comme interprétation de la méthode d'Analyse en Composantes Principales ACP, enfin nous rapprocherons les résultats obtenus pour un ensemble de forces principales.

## I — L'INERTIE MÉCANIQUE

Le principe fondamental d'où part la méthode est la loi d'inertie : un corps ne peut modifier son état mécanique par lui-même. Ce ne peut être que le jeu de forces extérieures qui affecte la trajectoire d'un point. Cette dernière change selon l'argument constitué par la résultante des forces à chaque instant. Si à une date quelconque, cette résultante devient nulle, le corps poursuit un mouvement rectiligne uniforme; cependant, s'il existe un frottement, c'est-à-dire une force orientée toujours en sens inverse de la trajectoire, le mouvement rectiligne n'est plus uniforme et s'interrompt. C'est cette dernière hypothèse que nous retiendrons pour l'étude de la mécanique du mobile-branche dans l'espace de ses consommations productives. Si les forces autres que le frottement étaient aléatoires dans leur direction et leur intensité, le mobile aurait lui-même des changements de directions aléatoires. Au contraire, s'il y a une permanence dans ces forces, la trajectoire présente une tendance dominante composant avec des variations plus secondaires. Le frottement que nous supposons exprime en termes communs une résistance au changement technique en particulier, la reconduction des mêmes procédés et méthodes de production, la préservation d'un statu quo. Ce qui nous intéressera dans le mouvement des branches n'est pas la vitesse ou l'accélération mais la construction d'un système de forces compatible avec les trajectoires observées et plus restrictivement celles qui apparaissent comme les plus importantes par leurs effets.

### *Le moment d'inertie géométrique*

La grandeur attachée à la loi précédente est le « moment d'inertie géométrique » dont la mesure est donnée soit par rapport à un point, un axe ou un plan. Présenté positivement, il donne la valeur de l'argument proportionnel du travail à effectuer par une force pour modifier le mouvement d'un corps, négativement, rapporté à la loi ou au corps étudié, il est une mesure de la résistance à cette force donc au changement mécanique. Le moment d'inertie d'un système de points massifs est la somme des moments d'inertie de chacun de ses points; ainsi lorsque la « trajectoire » n'est pas continue, lorsque le mobile est observé en fin de périodes de durée constante, on parlera du moment d'inertie de la « trajectoire » comme celui des points, en nombre fini, qui la constituent. Ce moment sera calculé par rapport à

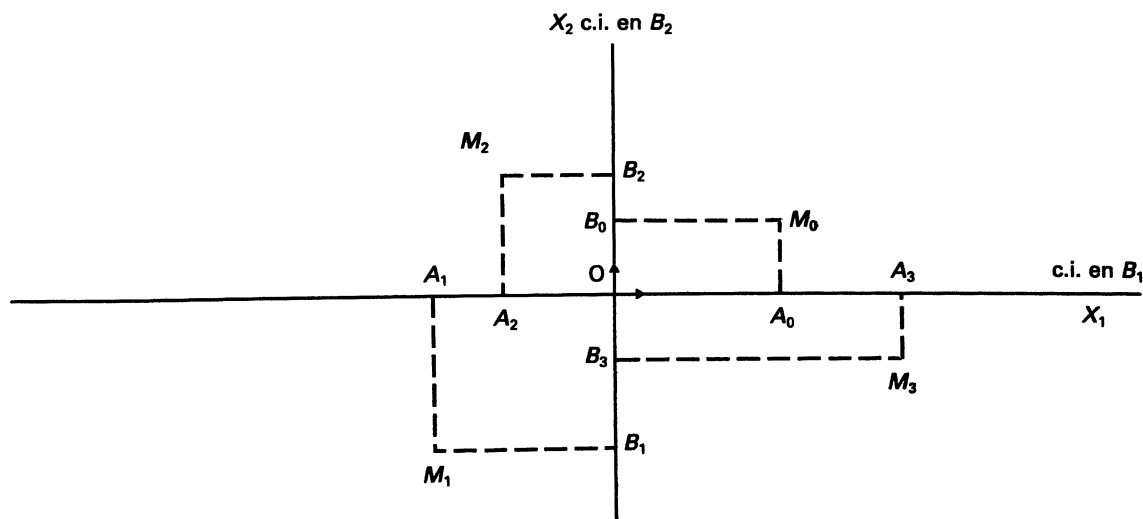
une position particulière et si, pour un mobile ponctuel, il est argument du travail à effectuer par une force, pour une « trajectoire » déjà réalisée, il donne un argument du travail lui-même effectué.

Par ailleurs, on a les résultats élémentaires : dans un espace affine euclidien muni d'un repère d'origine O, le moment d'inertie du point M par rapport au point P :  $I_p(M)$  est égal à  $\bar{m} \cdot PM^2$  où  $\bar{m}$  nomme la masse de M et PM la distance de P à M. Il est donc nul lorsque  $\bar{m} = 0$  et nous supposons dans la suite  $\bar{m} = 1$  pour tout point, ou lorsque M est confondu avec P. Le moment d'inertie de M par rapport à un axe est égal à  $\bar{m} \cdot MH^2$  où MH est la valeur de la distance de M à H, ce dernier point étant la projection orthogonale de M sur l'axe. Puisque l'espace est euclidien, pour tout axe passant par P,  $PM^2 = PH^2 + MH^2$ , donc le moment d'inertie de M par rapport à P est la somme des moments d'inertie de M par rapport à l'axe et de sa projection H sur l'axe par rapport à P. Plus généralement, quelle que soit la dimension m de l'espace géométrique euclidien,  $I_p(M)$  est la somme des moments d'inertie de M par rapport à m axes orthogonaux deux à deux et passant par P ou encore il est égal à  $\sum_{i=1}^m I_p(H_i)$ , la somme des moments d'inertie par rapport à P des projections de M sur les m axes orthogonaux. D'après la définition rappelée plus haut du moment d'inertie d'un système de points  $M_j$ , j de 1 à q, d'une « trajectoire », il est encore égal à  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^q PH_{i,j}^2$ , où  $H_{i,j}$  est la projection orthogonale de  $M_j$  sur l'axe  $\Delta_i$  passant par P, avec  $\sum_{j=1}^q PH_{i,j}^2$ , moment d'inertie des projections des  $M_j$  sur l'axe i par rapport au point P.

*Décomposition du moment d'inertie*

On considère dans l'espace euclidien muni du repère orthonormé des m produits consommés productivement, pour une branche industrielle quelconque observée sur n années, les n points dont les coordonnées sont les consommations intermédiaires annuelles. On obtient un nuage de points S, dont le moment d'inertie est minimal par rapport à un point particulier, le centre d'inertie. Selon ce qui a été rappelé plus haut, il exprime un argument du travail ou énergie produite par la résultante des forces de l'évolution dans le déplacement. Cet argument peut être décomposé selon les axes OX1 et OX2 orthogonaux.

Fig. 1. — Décomposition du moment d'inertie relatif à O  
 $S = [M_0, M_1, M_2, M_3]$



$I_O(S) = I_{OX1}(S) + I_{OX2}(S)$  où  $I_{OXi}(S)$  est le moment d'inertie de  $S$  par rapport à  $OXi$   
 $I_{OX1}(S) = M_0A_0^2 + M_1A_1^2 + M_2A_2^2 + M_3A_3^2 = OB_0^2 + OB_1^2 + OB_2^2 + OB_3^2$

Le moment d'inertie de  $S$  par rapport à l'axe  $OX1$  est égal au moment d'inertie du système des projections de  $S$  sur  $OX2$  par rapport à  $O$ . Ce résultat est généralisable à  $m$  axes orthogonaux de l'espace euclidien : le moment d'inertie d'un nuage de  $n$  points  $S$  par rapport à un point quelconque  $P$  est égal à la somme des  $m$  moments d'inertie des projections de  $S$  sur chacun des axes par rapport à  $P$  :  $I_P(\text{proj } S/OXi)$ .

Dans un espace affine euclidien de dimension 2 comme celui qui est présenté ci-dessus, chercher pour le nuage de points la droite des moindres carrés, c'est chercher l'axe  $\Delta$  passant par  $O$  qui réalise  $\min I_\Delta(S)$ , ce qui est équivalent à  $\text{Max } I_O(\text{proj } S/\Delta)$ . L'axe répondant à cette condition est l'axe principal d'inertie, on dira qu'il prend la plus grande part de l'inertie du nuage par rapport à  $O$ , il n'est autre chose que la droite des moindres carrés. Par rapport à la présentation du moment d'inertie d'une « trajectoire », c'est dire que la résultante des forces s'exerçant sur la branche a une composante majeure ayant fourni la plus grande partie du travail et opérant dans la direction de cet axe. C'est celle-ci qui sera posée comme étant la force principale de la mutation technologique. On peut ensuite recommencer l'analyse dans le sous-espace orthogonal à l'axe principal d'inertie, de dimension  $m - 1$ , ce qui nous donne un second axe et on peut recommencer l'opération jusqu'au  $m$ -ième axe.

## II — L'ANALYSE D'INERTIE POUR UNE BRANCHE INDUSTRIELLE

### La méthode

On dispose, à partir de TES, tableaux d'entrées-sorties, du vecteur des consommations intermédiaires c.i. d'une branche  $B$  pour les années 1970 à 1982. Pour que les coefficients techniques CT soient comparables, sont retenus les TES à prix constant 1970 et l'on forme une matrice  $A'$  à  $m$  lignes, autant qu'il y a de coefficients techniques significatifs et à treize colonnes autant que d'années. La définition de ces derniers ne change pas :

$$\frac{\text{Valeur de la consommation intermédiaire en produit } i}{\text{Valeur de la production de l'année}} \times 1\ 000$$

Ne sont pas retenus les coefficients dont la valeur est inférieure à 1 pour les treize années.

$$A' = \begin{matrix} & & 1970 & 1971 & & 1982 \\ /T01 & \left[ \begin{array}{cccc} a'_{11} & a'_{12} & \dots & a'_{1n} \\ \gg & \gg & & \gg \\ \gg & \gg & & \gg \\ \gg & \gg & & \gg \\ \gg & \gg & & \gg \\ /T_m & \left[ \begin{array}{cccc} a'_{m1} & a'_{m2} & \dots & a'_{mn} \end{array} \right. \end{array} \right. \end{matrix}$$

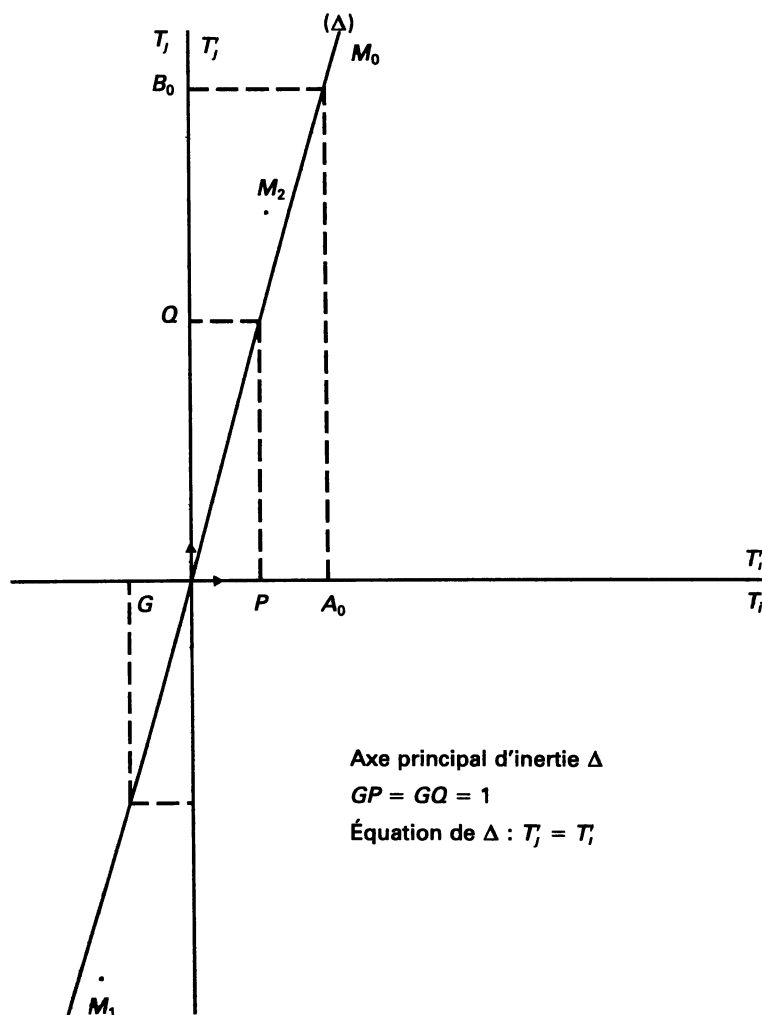
— Chaque colonne donne les coordonnées du point-année dans l'espace géométrique euclidien de dimension  $m$  muni d'un repère orthonormé dont les axes sont attribués aux différentes consommations intermédiaires. On a ainsi le nuage de points expression de la trajectoire technique de la branche  $B$  entre 1970 et 1982. Le problème est donc celui de la recherche de l'axe principal d'inertie dans le système d'analyse présenté ou plus simplement de la droite des moindres carrés dans une formulation mathématique. Le moment étant calculé par rapport au centre d'inertie  $G$ , on déplace le système d'axes

en celui-ci, on a la relation  $\vec{OG} = \frac{1 \cdot \vec{OM}_1 + 1 \cdot \vec{OM}_2 + \dots + 1 \cdot \vec{OM}_n}{n}$  et les points-années donnent la

nouvelle matrice  $A = \begin{bmatrix} a'_{11} - a_1 & a'_{12} - \bar{a}_1 & \dots & a'_{1n} - \bar{a}_1 \\ \gg & \gg & & \gg \\ a'_{m1} - a_m & a'_{m2} - \bar{a}_m & \dots & a'_{mn} - \bar{a}_m \end{bmatrix} = [a_{ij}]$

où  $\bar{a}_i$  est la moyenne des  $i$ -èmes composantes (des coefficients techniques du  $i$ -ème produit de la nomenclature) des points-années.

Fig. 2. — Changement d'unité



— D'autre part, nous cherchons à faire apparaître la force technologique dominante non par ses effets absolus mais par ses effets relatifs. Sur la figure 2, après déplacement au centre d'inertie sont représentés les axes des coefficients techniques  $T_i$  et  $T_j$ . L'axe principal d'inertie tel qu'il apparaît sur la figure sera très proche de  $T_j$  alors que les effets relatifs de la force sur chacun des CT sont les mêmes. C'est à cet aspect que nous donnons la priorité, aussi est-il nécessaire de modifier les unités pour que

l'axe d'inertie soit en quelque sorte la commune mesure des effets relatifs et dans ce cas de figure, il nous donne la droite  $T'_j = T'_i$ .

Pour cela on prend comme unité de mesure, sur l'axe  $i$ , l'écart-type de la distribution des  $n$  valeurs apparaissant sur la ligne  $i$  de  $A$  ou en termes inertiels, la racine carrée de la moyenne des moments d'inertie des projections de  $S$  sur l'axe  $i$ .

— Les conditions d'une intellection, dans le paradigme mécanique ou plus précisément dynamique, étant posées, l'objet à faire apparaître étant défini, les représentations et transformations proposées, le moyen existe, c'est une méthode des moindres carrées évoluée, utilisée en Analyse des Données : l'Analyse en Composantes Principales ACP.

— Cette méthode donne pour le nuage de points-années après déplacement de l'origine et changement d'unité sur les axes, le système ordonné d'axes qui prend la plus grande partie du moment d'inertie. Dans l'interprétation que nous avons proposée si, sur le premier axe principal d'inertie, les projections pour une branche  $B$  des 13 points-années s'y trouvent ordonnées à quelques écarts près, c'est qu'il y a une force technologique dominante dans l'évolution de la branche. Sa direction dans l'espace des coefficients techniques sera donnée par un vecteur directeur de l'axe d'inertie, son travail relatif par la part du moment d'inertie prise par l'axe, son sens par l'orientation « chronologique », ses effets technologiques par l'étude de son impact sur les coefficients techniques, indépendamment, comme cela a été vu, de leur poids absolu.

### *L'application*

On a appliqué, après les transformations définies ci-dessus, des programmes d'ACP à quinze branches dont l'évolution de 1970 à 1982 a pu apparaître à partir des treize TES correspondant à ces années, donnés en prix constant 1970 pour occulter les effets des variations relatives des prix sur les coefficients techniques. Les TES étant à 35 consommations intermédiaires, les CT inférieurs à  $10^{-3}$  ont été éliminés, les décimales d'ordre inférieur supprimées dans ceux qui ont été retenus, puis les résultats multipliés par  $10^3$ , ce qui nous donne uniquement des nombres entiers. Mais comme nous comparerons les axes, des positions à 35 CT ont été conservées.

On a sélectionné les quinze branches suivantes pour cette étude :

T01	Agricult., sylvicult., pêche	T21	Papier, carton
T05	Prod. pétroliers, gaz naturel	T22	Imprimerie, presse, édition
T09	Matériaux de construction	T24	Bâtiment, génie civil
T14	Construction mécanique	T31	Transports
T15A	Matériels élect. profession.	T32	Télécommunications et poste
T15B	Biens d'équipement ménager	T33	Serv. march. aux entreprises
T17	Constr. navale, aéro., armement	T37	Services organismes financ.
T18	Textile, habillement		

Les présentations qui suivent vont faire apparaître, pour le déplacement temporel de chaque branche, la part d'inertie de l'axe technologique, c'est-à-dire l'argument proportionnel du travail effectué par la composante principale de la force d'évolution, composante qui est technologique (on y joindra également la part d'inertie de l'axe orthogonal au précédent, la plus importante). On fera apparaître les abscisses des projections des points de la trajectoire sur ces axes; comme la méthode de détermination des axes ne fait intervenir aucune contrainte d'ordre chronologique, la corrélation de l'ordre des abscisses avec ce dernier est la confirmation d'une évolution sous projet technologique de la branche. L'axe principal sera désigné par Axe 1, le suivant par Axe 2.

TABLEAU 1  
*Coordonnées des points-année sur les axes principaux*

Branche	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	% d'inertie
T01	-7,616 0,930	-5,748 0,719	-3,977 -0,140	-2,406 1,036	-0,333 0,860	0,454 -1,725	2,324 -4,463	2,019 -4,079	2,208 -1,207	3,733 2,434	4,331 2,702	5,012 2,933	5,968 5,515	51,5 18,35
T05	-6,407 1,993	-4,523 2,480	-3,495 -0,734	-2,472 -3,538	-0,577 -3,524	1,395 0,881	1,111 0,413	1,188 0,732	2,274 0,259	3,450 -0,898	3,831 0,412	4,226 2,349	4,048 3,548	56 18,18
T09	-6,245 -3,362	-4,953 -2,394	-2,945 -0,582	-2,343 2,707	-2,219 5,281	0,724 2,756	1,038 1,614	2,201 -1,264	2,785 -1,879	3,166 -0,608	3,980 -0,817	4,812 -1,453	4,728 -2,179	46,73 22,78
T14	-6,156 1,962	-5,271 2,681	-3,573 0,534	-3,245 -2,724	-2,631 -3,729	-1,109 -3,288	1,160 0,195	2,392 0,581	2,632 2,342	3,735 1,347	4,344 0,208	5,504 -0,109	7,529 -0,587	53,77 15,80
T15A	-5,865 -4,024	-4,421 -2,867	-3,781 0,145	-3,358 2,387	-2,461 3,460	-0,331 1,990	-0,351 2,774	2,517 -0,376	4,225 -2,729	5,057 -2,101	4,622 -0,054	4,147 1,396	3,614 1,664	53,74 20,90
T15B	-5,908 2,430	-4,991 1,500	-4,289 1,100	-2,558 -1,818	-1,823 -4,127	-0,147 -2,603	1,389 -0,422	3,032 1,162	3,358 1,170	3,574 0,548	3,482 -0,663	4,880 1,123	5,194 0,706	57,68 15,6
T17	-6,125 3,614	-4,135 -0,357	-5,506 2,987	-2,793 -2,162	-2,330 -3,400	-0,099 -3,867	1,317 -1,715	1,965 -0,684	2,509 0,662	4,502 2,178	4,969 1,077	5,726 1,667	6,851 1,821	52,17 18,28
T18	-6,345 -2,645	-7,514 -2,437	-3,574 0,193	-3,299 2,531	-1,647 2,816	0,475 2,373	1,380 2,579	2,480 0,373	2,342 -1,337	3,037 -1,814	4,074 -2,380	5,591 -0,252	6,705 0,460	54,8 17,56
T21	-6,665 2,299	-5,689 1,887	-3,867 0,523	-2,397 -4,207	-0,485 -5,013	2,070 -0,312	1,870 -0,404	1,891 0,453	2,539 1,076	2,531 1,132	3,596 1,288	4,607 1,277	4,983 1,293	52,02 19,39
T22	-5,614 -2,476	-4,666 -2,037	-4,325 -0,017	-2,904 1,738	-1,328 3,260	1,096 3,764	1,027 1,392	1,897 0,647	1,995 -2,131	3,329 -2,011	4,505 -1,406	4,989 -0,722	5,783 -0,178	53,72 18,67
T24	-7,361 -2,947	-5,167 -1,954	-4,460 -0,873	-2,277 2,709	-2,071 4,519	0,869 3,913	1,384 1,030	2,766 -0,757	3,698 1,255	3,886 -1,725	4,063 -1,430	4,671 -1,229	5,037 -1,622	55,85 19,69
T31	-8,241 -2,534	-6,121 -1,975	-2,908 0,644	-1,702 3,696	-0,442 2,970	0,005 2,004	1,119 1,271	2,174 -0,082	3,082 1,121	3,930 -1,405	4,207 -1,769	4,897 -1,701	5,382 -2,165	63,77 16,04
T32	-5,526 -2,549	-4,331 -1,370	-3,178 0,445	-1,628 2,511	-0,643 1,076	-0,088 3,597	0,809 1,143	1,329 -0,169	2,048 -0,942	2,658 -2,145	3,841 -1,086	4,711 -0,511	5,153 -0,493	58,91 19,41
T33	-7,991 3,061	-6,231 1,024	-3,392 -0,569	-2,478 -1,761	-0,469 -3,846	0,195 -1,607	1,140 -1,547	2,377 -0,631	3,151 0,444	4,436 1,348	4,711 2,202	4,550 1,882	5,143 2,527	64,11 14,23
T37	-9,648 -2,349	-3,805 -2,459	-1,135 -2,027	-0,105 0,597	-0,265 0,912	0,378 1,123	2,734 0,800	2,524 -0,091	2,163 -0,601	2,436 -1,362	2,048 -1,501	2,674 -2,014	2,659 -2,348	71,02 13,38

Dans tous les cas, il y a à l'évidence un déplacement des projections des points de la trajectoire de la branche sur l'axe principal d'inertie dans le sens positif choisi pour ce dernier. La force dont la manifestation est ce déplacement est la composante technologique principale, mais elle est contrecarrée, la « vitesse » des projections est ralentie, voire il y a inversion momentanée du mouvement pour les années qui suivent immédiatement les chocs pétroliers de 73-74 et 79-80. Ce qui permet dans une certaine mesure d'infirmer le jugement commun selon lequel ces deux événements auraient fait la mutation. Ils n'ont eu, au contraire, qu'un effet de ralentissement, très ponctuellement d'inversion sur un mouvement dont la genèse est antérieure. Par contre, les inversions de sens sont plus fréquentes sur le deuxième axe technique orthogonal au précédent.

— Reste à faire apparaître analytiquement et technologiquement ces forces technologiques. Elles sont données dans la méthode d'ACP par les composantes d'un vecteur unitaire de l'axe principal, composantes données dans le système des axes initiaux avec unité modifiée sur chacun selon ce qui a été indiqué, le sens est celui qui correspond à l'ordre chronologique et l'intensité relative est donnée par le pourcentage du moment d'inertie total mis au compte de cet axe <sup>(1)</sup>.

D'autre part, les coefficients techniques interviennent dans la détermination de cet axe, l'ACP donne également les corrélations entre les distributions des projections des 13 points sur l'axe technologique et sur les axes des coefficients techniques (avec unité modifiée). Ces corrélations indiquent le sens

1. On n'a pas fait apparaître ces vecteurs à ce niveau.



de la mutation technologique : on obtient ainsi pour chaque branche des coefficients techniques CT dont l'évolution accompagne celle de la mutation technologique ou s'oppose à celle-ci. Cela donne le tableau suivant :

TABLEAU 2  
*Répartition des CT selon leur coefficient de corrélation linéaire c.c.l  
avec les projections des points-année sur l'axe technologique*

Branche	T01	T05	T09	T14	T15A	T15B	T15	T18	T21	T22	T24	T31	T32	T33	T37
CT avec c.c.l. > 0,88	T03 T06 T12 T19 T23 T31 T33 T34 T35	T32	T18 T19 T23 T32 T33	T32 T33	T23 T32	T11 T32	T14 T19 T21 T23	T20 T23 T32 T35	T18 T29 T34	T11 T23 T32 T33 T35	T09 T15B T23 T32 T33	T12 T31 T32 T33	T20 T31 T32 T33	T06 T15A T20 T32 T34	T20 T21 T22 T24 T29 T31 T33 T34
CT avec c.c.l. < - 0,88	T07 T29 T36	T22 T24	T07 T24	T05 T07 T13 T24 T31	T05 T07 T12 T13 T24 T36	T05 T07 T13 T24 T31	T07 T13	T01 T03 T04 T05 T24	T04 T05 T14 T24 T30 T32	T05 T22 T24 T36	T04 T05 T07 T13 T22 T16 T24 T31 T36	T04 T05 T07 T15A T16 T19 T24 T30	T01 T05 T22 T30	T03 T04 T05 T10 T13 T21 T22 T24 T36	T13 T15A T30
CT avec  c.c.l.  < 0,1	T20 T22 T32			T23			T09 T19		T13 T34		T18				

Les valeurs des coefficients techniques présentant un coefficient de corrélation linéaire, c.c.l., avec la distribution des projections sur l'axe technologique, supérieur à 0,88, vont en augmentant, c'est-à-dire que la part des consommations intermédiaires correspondante s'accroît, elle diminue dans le cas contraire. Les produits qui apparaissent plusieurs fois dans les colonnes en haut du tableau voient et verront leur quantité augmenter comme c.i., d'où des problèmes d'adaptation des branches productrices à l'évolution. Le cas de figure est contraire pour la zone horizontale médiane du tableau. Sur les quinze branches étudiées, la méthode de définition de l'évolution technologique a permis de définir une force d'évolution par son contenu et par ses effets qui explique au moins, sauf pour T09, la moitié de leur évolution. Les problèmes des débouchés sectoriels sont atténués ou amplifiés selon la part de la production des secteurs menacés qui va à la c.i. des autres branches ou aux emplois finals.

### III — LES RAPPROCHEMENTS DES ÉVOLUTIONS

Si du tableau précédent on peut extraire des évolutions comparables, indifférentes ou opposées des c.i. par rapport aux forces d'évolution technologique, ce qui conduit à un rapprochement indirect de ces dernières, déterminées par branches, il est aussi souhaitable de le faire directement sans analyser leurs effets composants. Une proximité entre elles est à définir. Or les ACP ont fait apparaître les vecteurs unitaires de l'axe technologique pour chaque branche. Positivement, puisqu'on s'est placé dans un espace euclidien, le produit scalaire permet, lorsque les vecteurs technologiques sont normés, d'exprimer cette « distance d'évolution ». En effet, pour deux quelconques d'entre eux  $u_i$  et  $u_j$ , on a :  $[u_i \cdot u_j] = \|u_i\| \cdot \|u_j\| \cos(u_i, u_j)$  ou  $[u_i \cdot u_j] = \cos(u_i, u_j)$ ; plus le nombre trouvé est proche de 1,





inversés dans la seconde, cette analogie est effacée par la méthode précédente. Au contraire, normer ces valeurs par l'écart type lui donne un statut de caractère dominant. Il y aura proximité entre vecteurs technologiques de branches si les effets relatifs sur les c.i. sont analogues. Le produit scalaire dans un nouvel espace euclidien commun où seront replacés avec leurs coordonnées les vecteurs technologiques obtenus pour chaque branche est une mesure des proximités ainsi redéfinies. En construisant une matrice dont les colonnes sont les composantes de ces vecteurs et multipliant à gauche par la transposée on obtient la matrice symétrique donnant les nouveaux produits scalaires.

*Remarques* : En prenant comme précédemment un seuil de proximité à 0,65, on voit apparaître des forces d'évolutions proches dans leurs effets relatifs pour les groupes T01-T22-T05 s'opposant à T15A, puis T09-T14-T17-T24. Le vecteur de l'évolution relative de la branche T21 a des produits scalaires négatifs avec tous les autres, sauf T37 qui présente une forte autonomie d'évolution.

Cette méthode d'analyse d'inertie n'est que la rencontre d'une méthode statistique existante, l'Analyse en Composantes Principales, de l'analyse économique en branches et de la dynamisation d'une interprétation mécanique. Par là interviennent les catégories de déplacement, de forces qui reprennent les résultats et les replacent dans une perspective agissante en même temps que s'introduisent les notions de proximité qui résultent de la métrique euclidienne dans l'espace des déplacements. L'étude présentée s'est limitée à quinze branches évoluant sur treize années, d'où deux étapes : pour chaque branche le vecteur d'évolution technologique pendant cette durée, pour l'ensemble des vecteurs l'introduction des comparaisons de directions par les produits scalaires. Le choix réducteur de quinze branches était imposé, des rapprochements existent certainement que révélerait une étude portant sur l'ensemble de la nomenclature des TES. Mais alors, la trajectoire a été limitée à treize points, soit treize années d'observation de la branche. Ce n'est certainement pas vers une extension dans le temps du parcours de chaque mobile-branche qu'il faut aller, mais plutôt en complément de ce qui a été appelé plus haut deuxième étape, une étude avec un glissement des périodes 70-82 puis 71-83... éventuellement réduites. Chaque fois, les vecteurs d'évolution technologique établis, il y aurait à comparer entre eux pour une même branche leur « proximité », une intra-évolution. Cette étude pourrait permettre de déceler les ruptures technologiques et de déduire ses effets sur les autres branches.