

CHAPITRE 3 - EVOLUTION DES COUTS

Nous avons examiné dans le chapitre précédent les techniques du transport par canalisation et plus précisément, les possibilités d'évolution vers 1985. Nous connaissons aussi les deux types de coûts qui entrent dans la réalisation des canalisations :

- les coûts d'investissement, assimilables aux coûts d'équipement, concernant :
 - . les tubes dont le coût varie avec le diamètre et la distance, et leur installation avec tous les frais de projection et de pose
 - . les pompes dont le coût global est fonction de leur puissance et de leur nombre
 - . les terminaux.
- les coûts d'exploitation, dont les différents facteurs qui agissent sur le coût total sont :
 - . l'énergie
 - . l'entretien
 - . la main-d'oeuvre par station
 - . le degré d'automatisation.

Ne pouvant retenir l'hypothèse d'une étude poste par poste, qui s'avérerait limitée à un seul type de produit, par la disparité des informations, et des statistiques, nous avons préféré étudier globalement l'aspect des coûts à partir de l'analyse faite au chapitre précédent. Nous considérons

les deux aspects suivants :

- la comparaison des coûts de transport de plusieurs types de produits, ces coûts étant calculés à l'aide d'indices relatifs au coût de transport du pétrole brut.

- l'évolution probable des coûts d'investissement : nous examinerons d'une part :

. l'évolution récente des coûts d'investissement aux U.S.A. et en Europe ce qui nous permettra d'indiquer les tendances probables avec les techniques actuelles,

et d'autre part,

. l'incidence à long terme des seuils technologiques; nous présenterons sous forme de tableau les hypothèses concernant la modification des coûts d'investissement en 1985, compte tenu de l'analyse présentée au troisième chapitre des techniques et leur évolution.

Ces deux analyses nous permettront ensuite de procéder à une étude de plusieurs cas types de réseaux en France en 1985.

1. COÛTS RELATIFS PAR TYPE DE PRODUIT.

Les coûts de transport par conduite des différents produits varient principalement selon la nature du produit et les quantités à transporter. Ces variations tiennent essentiellement au fait qu'un équipement spécial est souvent lié à un certain type de produit. Connaissant la répartition des coûts élémentaires pour le transport de pétrole brut, nous pouvons évaluer les indices de coûts relatifs des autres produits, en tenant compte des facteurs spéciaux qui les différencient du transport du pétrole brut. Cette analyse nous permettra éventuellement dans le chapitre suivant d'estimer des coûts de transport pour certains cas types selon les produits à transporter.

Les statistiques américaines nous permettent de disposer des coûts de transports moyens pour les trois types de produits transportés régulièrement ; c'est-à-dire :

- le pétrole brut
- les produits raffinés
- les produits chimiques en vrac.

Par contre, en ce qui concerne les applications nouvelles, nous ne disposons actuellement d'aucune indication sur les coûts de transport, sauf pour un nombre de cas limité concernant le transport de fuel lourd et le charbon en suspension. C'est donc aux applications nouvelles que s'appliqueront des estimations des coûts relatifs à l'aide d'indices.

Pour les produits transportés actuellement, les normes américaines établies pour des canalisations d'un diamètre de 30 pouces fonctionnant dans des conditions optima et qui concernent les coûts de transport réels et les coûts relatifs sont les suivants :

(Sur la base du pétrole brut comme indice 100) :

	<u>Coût réel</u>	<u>Coût relatif</u>
- le pétrole brut	0,20 ¢ / ton mile	100
- les produits raffinés	0,25 ¢ / ton mile	125
- les produits chimiques en vrac.	0,32 ¢ / ton mile	160

Ces variations sont dues essentiellement :

- pour les produits raffinés, aux réseaux et aux ordonnancements complexes, aux installations terminales et aux capacités plus faibles;
- pour les produits chimiques, aux réseaux complexes, aux capacités plus faibles et aux problèmes de corrosion.

Afin de calculer les coûts relatifs pour les applications nouvelles, nous devons d'abord considérer la répartition des coûts élémentaires pour le transport du pétrole brut. On doit signaler que cette répartition varie selon la capacité de l'ouvrage, la longueur, le nombre d'entrées et de sorties, le terrain, etc ... Nous estimons néanmoins qu'une répartition hypothétique sera suffisante pour nos calculs, compte tenu du nombre de variables complexes et les incertitudes concernant les coûts élémentaires des applications nouvelles. La répartition que nous avons prise est celle qui correspond à un réseau simple de pétrole brut d'un diamètre d'environ 24 à 30 pouces. Les amortissements ont été considérés linéaires, d'une durée de vie de 20 ans pour les tubes, et de 10 ans pour les stations de pompage.

Coûts d'investissements annuels :

Tubes	60
Stations de pompage	10
Terminaux	5
	<hr/>
Sous-total	75
	<hr/>

Coûts d'exploitation annuels :

Personnel	9
Energie	11
Entretien	5
	<hr/>
Sous-total	25
	<hr/>
Total	100
	<hr/> <hr/>

Nous présenterons ensuite, sous forme de tableaux, les modifications de ces indices pour chacune des applications nouvelles en tenant compte des installations spéciales relatives à chaque application. On doit signaler que la modification des indices de base résulte d'estimations globales qui peuvent comporter une marge d'erreur assez large. Nous

examinerons successivement :

- le fuel lourd/brut visqueux/soufre
- le gaz naturel liquéfié
- les solides en suspension
- les capsules.

1.1. Le fuel lourd/brut visqueux/soufre.

	Poste	% pétrole brut	Incidence sur investissements ou exploitation	Nouvel indice
INVESTISSEMENTS	1. Tubes	60	Isolation des tubes et revêtements intérieurs - estimé à + 40 %	84
	2. Stations	10	Puissance des pompes légèrement plus élevée + 30 %	13
	3. Terminaux	5	Stations de chauffage ; pour deux stations, coûts estimés à 200 % plus élevés	20
	Sous-total	75		117
EXPLOITATION	4. Personnel	9	Main-d'oeuvre pour stations de chauffage + 50 %	13,5
	5. Energie	11	Viscosité légèrement plus élevée + 40 %	15,4
	6. Entretien	5	Stations de chauffage et la plus haute viscosité réellement plus d'entretien + 50 %	7,5
	Sous-total	25		36,4
	Total	100		153,4

Coût relatif pour le transport des produits visqueux à haute température (fuel lourd/brut visqueux/soufre) \approx 155.

1.2. Le gaz naturel liquéfié

	Poste	% pétrole brut	Incidence sur investissements ou exploitation	Nouvel indice
INVESTISSEMENTS	1. Tubes	60	Tubes concentriques ou isolation mécanique; matériaux cryogéniques + 100 % à 200 %	150
	2. Stations	10	Essentiellement les mêmes que pour le pétrole brut	10
	3. Terminaux	5	Station de réfrigération et station de liquéfaction + 200 %	20
	Sous-total	75		180
EXPLOITATION	4. Personnel	9	Main-d'oeuvre supplémentaire aux stations terminales + 50 %	13,5
	5. Energie	11	Sensiblement les mêmes dépenses	11
	6. Entretien	5	Entretiens des stations de réfrigération/liquéfaction + 50 %	7,5
	Sous-total	25		32
	Total	100		212

Coût relatif du transport du gaz naturel liquéfié \approx 210.

1.3. Les solides en suspension.

	Poste	% pétrole brut	Incidence sur investissements ou exploitation	Nouvel indice
INVESTISSEMENTS	1. Tubes	60	Tubes légèrement plus épais + 40 %	84
	2. Stations	10	Nécessité pour des matériaux spéciaux (aciers ou nickel etc ...) + 30 %	13
	3. Terminaux	5	Stations de préparation et de récupération; variables selon la nature du produit + 200 % à 300 %	17,5
	Sous-total	75		114,5
EXPLOITATION	4. Personnel	9	Main-d'oeuvre aux stations terminales + 100 %	18
	5. Energie	11	Légèrement plus élevé à cause du solide + 20 %	13,2
	6. Entretien	5	Plus élevé en raison du frot- tement contre les tubes et les matériaux de pompage + 100 %	10
	Sous-total	25		41,2
	Total	100		155,7

Coût relatif du transport de la suspension 155.

En tenant compte du fait que la suspension est de l'ordre de 50 % solide et 50 % liquide, le coût relatif revient finalement à l'ordre de 310.

A titre de comparaison, il convient de rappeler que le coût relatif de l'ouvrage existant aux U.S.A. est de 400 (0,80 ¢ / ton mile).

1.4. Les capsules.

	Poste	% pétrole brut	Incidence sur investissements ou exploitation	Nouvel indice
INVESTISSEMENT	1. Tubes	60	Revêtement intérieur de la conduite; 5-20 % selon le type de capsule ou produit. Coût des capsules variables selon le produit. Ensemble estimé à 25 % supérieur.	75
	2. Stations	10	"By-pars" des pompes estimé à + 50 %	15
	3. Terminaux	5	Stations de préparation, injection et récupération + 100 % à 200 %	12,5
	Sous-total	75		102,5
EXPLOITATION	4. Personnel	9	Main-d'oeuvre supplémentaire aux terminaux et aux stations de pompage + 50 %	13,5
	5. Energie	11	Essentiellement les mêmes dépenses : d'une part une réduction due aux pertes de charges plus faibles (revêtements intérieurs) et d'autre part une augmentation liée à l'exploitation des écluses aux stations de pompage.	11
	6. Entretien	5	Plus élevé en raison des stations terminales + 100 %	10
	Sous-total	25		34,5
	Total	100		137

Compte tenu de la réduction de la capacité de l'ouvrage liée au liquide transporteur et estimée à quelque 25 %, le coût relatif du transport d'un solide en capsule revient environ à l'indice 200.

1.5. Tableau récapitulatif des coûts relatifs.

Pétrole brut	100
Produits raffinés	125
Fuel lourd/brut visqueux/soufre	155
Produits chimiques en vrac	160
Transport en capsules	200
Gaz naturel liquéfié	210
Solides en suspension	310

2. EVOLUTION PROBABLE DES COUTS D'INVESTISSEMENT.

2.1. Les tendances récentes.

Les statistiques de l'Interstate Commerce Commission (I.C.C.) nous permettent d'examiner l'évolution des coûts d'investissements aux U.S.A. depuis la guerre. Le graphique 2 montre, sous forme d'indices, l'évolution de ces coûts entre 1947 et 1966; sauf pour un léger abaissement de la courbe entre 1963 et 1965, on peut constater que ces coûts ont eu une tendance à se stabiliser depuis les dix dernières années. Il semble que ce phénomène peut s'expliquer par le fait qu'à partir de 1958 les techniques du transport par conduite ont progressé, de sorte qu'il existe une compensation entre d'une part l'augmentation des coûts de production, de main-d'œuvre, etc... et d'autre part la réduction des coûts due à une meilleure utilisation des matériaux. Il est donc tout à fait vraisemblable qu'avec une amélioration continue des techniques actuelles cette stabilité pourrait se prolonger à long terme - c'est-à-dire vers 1980 et même au-delà.

En Europe, l'évolution des coûts d'investissements est très différente de celle des U.S.A. On constate que les coûts sont sensiblement plus élevés. Cette circonstance semble due à plusieurs causes :

- la configuration géographique est différente,
- le coût des matériaux en Europe est souvent plus élevé,
- l'organisation des chantiers de pose est moins efficace qu'aux U.S.A. : main-d'oeuvre moins spécialisée, disparité des entreprises, etc ...

Bien qu'il n'existe pas de statistiques européennes aussi détaillées que celles des U.S.A., on peut constater néanmoins que les coûts d'investissements en Europe ont eu une tendance à baisser considérablement depuis les dix dernières années. En effet, en 1958, les coûts européens étaient de l'ordre de 80 à 100 % supérieurs aux coûts américains, tandis qu'en 1966 ils n'étaient que de moitié supérieure (graphique 2).

Il semble donc que les coûts européens sont appelés à se rapprocher à long terme des coûts américains; ce phénomène est lié à :

- une amélioration continue de l'organisation des chantiers de pose
- un environnement administratif et juridique plus favorable.

En effet, nous pouvons constater le manque de spécialisation et de qualification de la main-d'oeuvre. On est loin d'atteindre, le haut degré de compétence et de productivité du personnel américain, due surtout à une meilleure formation, favorisant en cela un plus grand automatisme. Nous l'avons en particulier remarqué à des postes tels que conducteurs d'engins et soudeurs.

D'autre part, les entreprises de pose sont trop dispersées. Face aux organisations européennes unifiées, mises en place par les grandes compagnies pétrolières et chimiques, l'intérêt public de tous les pays européens est représenté par une multiplicité de services nationaux, régionaux ou commerciaux, ayant chacune une compétence limitée, technique ou administrative.

Enfin, le cadre juridique et administratif qui entoure toutes les conditions de réalisations des réseaux, est compliqué et morcelé, différent suivant qu'il s'agit de produits pétroliers ou de produits chimiques. Face à cette complexité nous pouvons remarquer aux E.U. la centralisation de ces organismes dans le rôle, la composition et les pouvoirs de la Federal Power Commission.

Il semble donc que de très sensibles progrès pourraient être effectués dans ces différents secteurs. Néanmoins, il paraît évident que les coûts européens seront toujours légèrement plus élevés que les coûts américains, l'écart étant lié aux conditions géographiques très différents des deux continents. En effet, le coût d'une canalisation de transport ne dépend pas seulement de son diamètre et de sa longueur, mais aussi de la difficulté des travaux dans les terrains traversés et des indemnités à verser. Et dans ce domaine, on rencontre beaucoup plus souvent en France qu'aux Etats-Unis, des terrains riches, des vignes, des massifs boisés importants, des rivières, des routes, des voies ferrées, des agglomérations, etc ...

Donc, en prolongeant les tendances qu'on observe actuellement, il est tout à fait vraisemblable qu'à technique donnée, on peut prévoir un abaissement des coûts d'investissements actuels en Europe de l'ordre de 10 à 20 % en 1985.

Nous devons maintenant examiner l'incidence des techniques nouvelles sur les coûts d'investissement en 1985.

2.2. Incidence à long terme du progrès technique.

Nous avons examiné au chapitre précédent l'évolution et les possibilités de développement des techniques du transport par conduite. Nous nous proposons maintenant de regrouper les conclusions de cette analyse sous forme d'un tableau récapitulatif. Ce sont donc les hypothèses suivantes qui seront appliquées afin de calculer les coûts de transport pour un certain nombre de ces types de réseaux en 1985.

Tableau récapitulatif : Effets de la technologie sur les coûts d'investissement en 1985.

Poste	Technologie en 1985	Incidence sur coûts en 1985
1. Tubes	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utilisation de tubes fabriqués par soudure spirale 2. Diamètres maximum d'environ 55 pouces (selon la croissance de la demande). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coûts du matériel estimés à 5 à 10 % inférieurs. 2. Baisse sensible des coûts d'investissements rapportés à la tonne transportée selon la loi normale.
2. Pose	<ol style="list-style-type: none"> 1. Soudure automatique par laser "electron beam". 2. Fabrication des tubes sur le chantier par soudure spirale avec pose automatique 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Faible réduction des coûts d'investissements due à l'élimination d'une partie du main-d'oeuvre sur le chantier. 2. Possibilité de réduction des coûts d'installation (matériau + pose) de l'ordre de 10 % par rapport à la fabrication et la pose classique.
3. Pompes	Remplacement intégral des moteurs diesel et pompes alternatives par les turbines type centrifuge dont la technologie se stabilise actuellement.	Coûts d'installation des turbines sensiblement les mêmes que les coûts actuels.
4. Automatisation.	Peu de changement par rapport à l'équipement actuel :	
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Programmation automatique des débits selon la demande 2. Contrôle automatique des pompes et des terminaux. 	Coûts d'installation sensiblement au même niveau que les coûts actuels.

CHAPITRE 4, - PERSPECTIVES EN FRANCE ET ETUDES DE CAS. TYPES DE RESEAUX
--

Après avoir analysé l'influence de la technique et des coûts, nous allons examiner dans ce chapitre les perspectives d'application des canalisations dans le cadre français, et étudier plusieurs cas types de réseaux.

Nous considérons les deux aspects suivants :

- les applications nouvelles. Nous avons recherché tous les produits susceptibles d'être transportés par conduites en 1985, compte tenu de leur nature, et des limites techniques envisagées. Dans cette hypothèse, nous ne nous sommes pas intéressés aux coûts inhérents à chaque nouveau projet.
- une étude de trois cas types de réseaux possibles. A chaque cas, un produit type a été affecté. Nous avons déterminé les coûts de transport pour trois niveaux de débit, en précisant chaque fois, les différents coûts élémentaires.

1. APPLICATIONS NOUVELLES.

Nous considérons dans cette partie les applications possibles en France en dehors du pétrole brut et des produits raffinés, nous nous bornons en fait à une investigation des produits qui ne sont pas ou qui sont, très peu transportés actuellement par canalisation.

Nous examinerons successivement :

- les produits chimiques

- les solides en suspension.
- les capsules
- les produits alimentaires
- les produits utilisant l'isolation thermique.

A ce stade il convient de noter que les investissements nécessaires à la construction et l'exploitation d'une canalisation sont d'un tel ordre qu'il paraît indispensable, pour qui souhaiterait des conclusions précises, d'examiner en détail chaque aspect économique des produits et en particulier l'évolution de la demande vers 1985, ainsi que la concurrence et la politique exercées par les modes de transport existants. Dans le cadre de la présente étude, nous n'avons pas à envisager une analyse aussi détaillée de chaque produit ; nous devons nous contenter d'un examen général limité aux aspects techniques et économiques globaux.

Du fait de la nature même du transport par conduite, on doit s'intéresser surtout aux produits transportés en grandes masses sur les moyennes et longues distances; comme seuil minimum, on peut considérer un flux de 100.000 t/an sur une distance d'environ 100 km.

1.1. Les produits chimiques.

Les perspectives qui s'ouvrent aux transports des produits chimiques par conduites dépendent :

- de la nature et de la fonction des produits
- du contexte technico-économique industriel
- des nécessités de transport pouvant apparaître à la suite d'évolutions technologiques.

Sur le plan de la nature des produits, on peut distinguer principalement :

- les gaz industriels (oxygène, azote, ...)
- les produits pétro-chimiques (éthylène, propylène, ...)

- les liquides (saumures, ...)
- les gaz de synthèse (gaz à l'air, gaz à l'eau, ...)

Sur le plan de la fonction des produits, il convient d'étudier séparément :

- les produits énergétiques
- les matières premières
- les demi-produits
- les produits finis.

Le cas des produits énergétiques ayant été traité par ailleurs, ce sont les trois dernières catégories qu'il convient d'étudier dans le contexte technico-économique des complexes chimiques modernes et de leur évolution probable.

Une telle analyse montre que le transport par conduites ne peut être envisagé à grande échelle que pour des matières premières importantes, mais qu'il est alors un facteur essentiel de développement. Les principales raisons de ce fait sont les suivantes :

- Les unités chimiques sont étroitement inter-dépendantes, la production de l'une étant transformée en continu par une autre avec des apports éventuels en provenance de tierces installations. Il existe donc un réseau extrêmement dense d'échanges de demi-produits et d'utilités, et c'est même cette densité d'échanges qui motive la formation de grands ensembles chimiques concentrés autour d'une unité centrale ou d'une alimentation en matière première essentielle.

Ces échanges correspondent donc à des besoins considérables de transport sur de très courtes distances, ceci présentant de plus l'avantage de pouvoir transporter des fluides chauds ou visqueux.

- Les produits finis d'un complexe chimique sont nécessairement en assez grand nombre; ils peuvent être distribués dans une vaste zone géographique en quantités relativement limitées, ou bien utilisés sur place pour une transformation ultérieure les rapprochant du stade de la consommation (transformation de matières plastiques, filature et tissage de fibres synthétiques, etc.).
- On constate donc, dans un cas comme dans l'autre, que les seuls produits échappant à ces contraintes sont les matières premières de procédés en amont ou en aval du complexe chimique et correspondant à des flux importants. Encore doit-on noter que les distances actuelles des transports (100 à 300 km) et les flux (100.000 à 300.000 tonnes/an) ne sont que modestes par rapport à ceux des produits énergétiques ou pétroliers.

Afin d'examiner plus précisément le rôle et l'apport du transport par conduites pour les matières premières ainsi définies, il convient de les classer en trois catégories :

- a) les matières dont la production industrielle n'est pas soumise à des contraintes géographiques et pour lesquelles le problème d'alimentation est essentiellement économique :

Ainsi, l'oxygène nécessaire aux aciéries est produit sur place aux Etats-Unis par une unité contiguë à l'aciérie et appartenant à la société chimique, alors qu'en France il est distribué par la société chimique à partir d'un nombre de centres de production restreint; ceci est lié à des consommations unitaires moindres en France qu'aux Etats-Unis, à une valorisation séparée de l'azote sous-produit et à un quasi monopole de fait des sociétés dans ce domaine.

- b) les matières premières qui sont soumises à des contraintes géographiques ou technologiques :

Ainsi, par exemple, l'extraction de sel par injection d'eau chaude et le transport de cette saumure vers des unités d'électrolyse correspondent à un impératif d'alimentation plus économique d'une

unité pré-existante (ceci correspondra à un flux de l'ordre de 1.000.000 de tonnes/an sur 90 km en 1972-73, mais une usine neuve s'implanterait naturellement à proximité immédiate de la mine).

De même, on peut envisager des transports de gaz de synthèse ou de fractions de gaz de synthèse au cas où l'augmentation sur place de la taille de certaines unités d'ammoniac ou la régression de production de certaines cokeries entraînerait un déséquilibre d'alimentation.

- c) les matières premières qui sont soumises à des contraintes économiques de production.

C'est particulièrement le cas pour l'éthylène: la taille rentable des unités de production dépasse actuellement 300.000 t/an et se situera probablement à l'avenir entre 400.000 et 500.000 t/an.

Dans ces conditions, il est impossible de saturer, dès le départ, une nouvelle unité, même si elle est entourée d'unités satellites utilisant l'éthylène comme matière première, de même qu'il est impossible de faire travailler celles-ci en sous capacité dans l'attente d'une nouvelle production d'éthylène. La solution consiste donc à établir des liaisons entre divers complexes chimiques, une même conduite pouvant servir au transport dans les deux sens, de façon à exporter l'éthylène excédentaire sitôt après une augmentation de capacité ou au contraire à importer l'éthylène nécessaire en attendant la prochaine extension.

On constate donc que c'est essentiellement pour ce dernier type d'application que les transports par conduites sur de moyennes distances offrent un avantage décisif non seulement par la possibilité de transport mais encore et surtout par la faculté offerte de se rapprocher d'un optimum économique.

Ce qui est vrai du complexe chimique dans l'exemple pris, l'est encore plus pour un réseau d'ensemble; c'est ainsi qu'il existe déjà un réseau de transport d'éthylène en Allemagne et aux Pays-Bas, que des amorces régionales ou inter-régionales existent en France,

mais il paraît hors de doute, compte tenu de l'augmentation continue des tailles économiques des unités, même au niveau de l'utilisation d'éthylène (100.000 à 200.000 t/an pour une unité de polyéthylène par exemple), qu'un réseau européen de transport d'éthylène sera nécessaire à bref délai, probablement avant 1975.

D'autres produits peuvent difficilement justifier le même intérêt en raison de quantités produites relativement plus faibles et de facilités de transport plus grandes liées à une plus grande densité et à des consommations unitaires plus faibles. Le propylène semble être à la frontière de ces catégories de produits.

1.2. Les solides en suspension.

Il semble a priori que le transport de solides en suspension en France peut s'appliquer à deux types de produits :

- le charbon
- les matériaux de construction.

1.2.1. Le charbon.

La production française marque une certaine tendance à la baisse depuis 1964. Elle se situe actuellement aux alentours de 50 Mt, dont environ 80 % sont transportés par la S.N.C.F. sur une distance moyenne de 170 km.

Les principaux gisements sont :

- Le Nord/Pas-de-Calais 25,3 Mt/an
- La Lorraine 15,5 Mt/an

60 % de la production sont utilisés en général sur place et sont destinés aux cokeries minières ainsi qu'à la sidérurgie; ce charbon est consommé en gros, à l'intérieur d'un rayon de 40 km

à partir du centre d'extraction. Par contre, un quart de la production est utilisé pour les centrales thermiques et parcourt en moyenne 80 km lorsqu'il provient du bassin du Nord et 330 km lorsqu'il provient du bassin de Lorraine.

Le plus important de ces flux va de la Lorraine vers les centrales thermiques de la région parisienne. Il porte actuellement sur des quantités annuelles de l'ordre de 700.000 t. pour une distance d'environ 300 km et par conséquent, il semble qu'une liaison par canalisation pourrait être envisagée. Cependant, la baisse de la production française dans les années à venir et la diminution des importations, toutes deux liées à une baisse conjoncturelle de la consommation -environ 16 % entre 1963 et 1966 - empêchent d'imaginer des projets plus importants. A cela s'ajoutent les fluctuations dues au coût du charbon importé, qui font fortement varier les volumes importés et les stocks des principaux centres de débarquement, ce qui entraînerait une alimentation irrégulière des canalisations éventuelles. D'autre part, les problèmes techniques concernant le transport du charbon par capsule ne sont pas encore parfaitement résolus.

1.2.2. Les matériaux de construction.

a) Sables et graviers.

Il existe actuellement en France une seule canalisation transportant le sable ; cet ouvrage appartient à la Compagnie des Sablières de la Seine et il est d'une longueur de 500 mètres. D'après l'expérience acquise lors de l'utilisation de cet ouvrage, il semble néanmoins que le transport par canalisation de ces deux produits, surtout sur des moyennes et longues distances, ne serait pas rentable. On peut citer les raisons suivantes :

- la grande quantité d'eau nécessaire pour l'écoulement du produit; de l'ordre de 10 kg d'eau pour 1 kg de sable, d'où la nécessité de trouver une source d'eau énorme à proximité des sablières et aussi de pouvoir la refluer après utilisation.

- l'usure rapide des matériaux nécessitant des remplacements fréquents
- la dispersion des sablières et les zones d'utilisation
- la nécessité des produits secs, car les mortiers sont soumis à un dosage très précis suivant les travaux à faire.

b) Le ciment.

Trois phénomènes s'opposent à la possibilité de transporter le ciment en suspension :

- Le ciment fait prise dans l'eau au bout d'un temps plus ou moins long, qui peut varier de 20 minutes à 6 heures. Les distances de transport ne peuvent être ainsi que de quelques kilomètres. En plus, le transport du ciment sous cette forme signifierait qu'il est absolument impossible qu'un incident technique dans le fonctionnement de la canalisation puisse se produire.
- Lors de l'utilisation du ciment sous forme de mortier, le dosage de l'eau doit être extrêmement précis car il varie suivant les utilisations finales de ce mortier; il faudrait donc assécher le ciment avant de le distribuer.
- La dispersion des origines et des destinations est telle qu'on ne trouve pas actuellement de flux supérieurs à 100.000 t/an.

c) La chaux et le calcaire.

Le transport de chaux ou de calcaire offre plus de possibilités que le transport de ciment en suspension, au moins sur le plan technique. Les cimenteries ont eu néanmoins une tendance à se construire toujours à proximité immédiate des carrières, en

raison de la faible valeur des matières premières; la distance n'excédait jamais plus de 5 km et, dans des cas semblables, la matière première est acheminée par des bandes transporteuses, ou un pont aérien.

Après la guerre, la politique suivie était l'extension des anciennes usines mais plus récemment on assiste à la création de nouvelles cimenteries, également construites près de carrières. On a des raisons de croire néanmoins qu'avec les possibilités offertes par les canalisations, on peut envisager une localisation des usines plus près des centres de consommation; c'est le cas de la canalisation de la Portland Cement Company à Rugby en Angleterre. Mais, compte tenu de la faible valeur de la matière première, un tel ouvrage ne s'appliquerait vraisemblablement qu'à des liaisons assez courtes, de l'ordre de 100 km au maximum.

1.3. Les capsules.

Comme pour le transport des solides en suspension, les capsules requièrent des masses considérables qui seront de préférence transportées entièrement de bout en bout de la canalisation. Il semble qu'actuellement le seul produit en vrac qui pourrait justifier ce genre de transport en France est le blé.

La production française de blé, en croissante évolution, était de 11,3 Mt. en 1966, dont environ la moitié était destinée à la consommation intérieure. Avant la livraison sur les différents marchés, et vers l'exportation, on effectue un stockage intermédiaire du blé dans des magasins importants et des silos de grandes capacités (la Grande Paroisse 800.000 quintaux, Gennevilliers 1.000.000 quintaux par exemple). En raison de la dispersion des origines et des destinations, on trouve de nombreux flux intérieurs, mais qui sont en général de faible tonnage. Ces flux représentent effectivement peu d'intérêt pour le transport en capsules.

Par contre, en ce qui concerne le commerce extérieur du blé, deux centres sont particulièrement importants : celui de Rouen, et celui de Strasbourg.

A partir des grandes régions de production que sont notamment la Beauce et la Picardie, on trouve après groupage dans les silos, des flux de blé d'un tonnage élevé en direction de Rouen principal centre d'exportation des produits céréaliers français, (1,5 Mt en 1964). Le flux de blé entre le département de l'Eure-et-Loir et Rouen fut de l'ordre de 100.000 t. en 1966. Rouen a en effet une capacité de stockage des céréales de 100.000 t. dont un silo de 40.000 t. Bien que ce flux situe actuellement le transport de blé en capsules aux limites de la rentabilité économique, il semble tout à fait possible d'envisager son application sur une liaison entre la Beauce et Rouen d'ici 1985.

D'autre part, dans le contexte des échanges économiques européens, et du développement de la politique agricole commune, il faut envisager la perspective d'un flux important de céréales vers les régions rhénanes par l'intermédiaire de Strasbourg. Actuellement, la capacité de stockage des silos fluviaux de Strasbourg et de Neuf-Brisach est de 110.000 t. et l'exportation vers l'Allemagne atteint à peu près 6 M de quintaux. Il est donc possible d'imaginer un transport par canalisation reliant les principaux centres de stockage de l'Est à la région strasbourgeoise.

Il n'existe pas actuellement en France d'autres produits transportés en quantités suffisantes pour justifier les investissements lourds d'une canalisation à capsules. Par contre, on peut envisager l'application des capsules à des produits divers et en faible volume. Dans des cas semblables, la canalisation agirait comme transporteur en commun et distribuerait linéairement les produits d'une région aux consommateurs situés le long de l'ouvrage. On peut ainsi envisager un réseau de ce genre ayant son origine dans le complexe chimique de la région lyonnaise et desservant en produits chimiques divers, plusieurs usines de transformation le long de la vallée du Rhône. Il est bien évident qu'un tel réseau devrait faire appel à des techniques très avancées de transport de capsules.

1.4. Les produits alimentaires.

Un certain nombre de produits alimentaires liquides seraient de part leur nature, susceptibles d'utiliser des canalisations. Nous pensons au lait, à l'eau minérale, et au vin.

1.4.1. La production laitière française s'élevait à 240 millions d'hectolitres en 1964. Malgré quelques noyaux de transformation particulièrement importants comme la basse Normandie et la Bretagne, les centres de production sont beaucoup trop dispersés, et le transport par canalisation pose deux problèmes essentiels :

- En premier lieu, la conservation du lait est douteuse pour un séjour prolongé en canalisation. Il y a aussi des risques de contaminations éventuelles et de pollutions, par mélanges des produits dans les canalisations. Une telle utilisation exigerait des débits très rapides pour diminuer le temps de séjour de la matière dans les conduites, et d'autre part des postes de filtration et de contrôle très nombreux et très spécialisés.
- D'autre part, le très grand nombre de centres desservis, malgré les grands courants Province-Paris (4 millions d'hectolitres en 1964) diminuerait la rentabilité d'une utilisation de pipe-line. En fait, on peut l'envisager pour de petits réseaux de distribution, de faible diamètre, amenant le lait brut des principaux centres de collectes aux grandes usines de traitement.

1.4.2. Pour l'eau minérale, si le problème de la conservation est moins important, le réseau de production et de dessertes est beaucoup plus complexe. Il y a assez peu de centres de production, mais beaucoup de marchés alimentés. D'autre part, les natures différentes des eaux, empêchent tout regroupement. Nous voyons assez peu l'utilisation d'une canalisation dans ce secteur de l'alimentation.

1.4.3. La production française de vin s'élevait en 1965 à 68 millions d'hectolitres, dont 32 millions provenaient de la région Languedoc Roussillon et 7 millions de la région Provence-Côte d'Azur. Compte tenu des importations de vin d'Afrique du Nord débarquant à Marseille - 13 millions Hl - c'est un total de 52 millions Hl qui passent par le sud de la France. Les vins courants formant la presque totalité de la production de cette région qui alimente la France, une canalisation à fort débit, partant de la région marseillaise, avec dessertes le long de son axe principal, se dirigeant vers le Nord, pourrait être envisagée. Elle devrait néanmoins répondre aux problèmes suivants :

- stabilisation des produits transportés

- différenciation éventuelle des produits intégrés dans la canalisation
- débit rapide pour permettre une très grande vitesse de circulation de la matière
- concevoir des dessertes en cours de route ainsi que des zones de dépôts importants.

En conséquence, pour les produits alimentaires liquides, si le problème essentiel demeure la stabilisation de la matière, des canalisations sont envisageables pour des petits débits et réseaux de collectes dans les zones de production de lait, et ceci étant également applicable au vin, on pourrait adjoindre à celui-ci une conduite de gros diamètre reliant la région marseillaise à la région lyonnaise et parisienne, avec dessertes le long de l'axe.

1.5. Produits utilisant l'isolation thermique.

1.5.1. Le soufre.

La région de Lacq produit actuellement 1,6 Mt/an de soufre, dont environ les deux tiers sont acheminés par le port de Bayonne soit quelques 800.000 t. à destination de l'étranger et 200.000 t. pour la consommation française. Le reste de la production est livré à partir de Lacq, par voie ferrée vers des destinations très dispersées. Parmi les consommateurs, on ne trouve qu'une seule usine (Les Roches-de-Condrieux) recevant plus de 100.000 t. par an. L'installation de canalisations au départ de Lacq à destination des différents clients ne semble donc pas être rentable, en raison de la forte dispersion des usines et des consommations unitaires relativement faibles.

Par contre, les flux importants sur la liaison Lacq-Bayonne sont susceptibles d'entraîner la construction d'une canalisation à isolation thermique. Le transport de soufre sur cette liaison est actuellement effectué par voie ferrée, soit en wagon tombereau (soufre solide), ou en wagon citerne calorifugé (soufre liquide).

Pour que l'installation d'une canalisation puisse se justifier il faudrait que :

- d'une part, un autre gisement à forte teneur en soufre soit découvert puisque la production du gisement actuel est appelée à décroître aux environs de 1980.
- et d'autre part, que les livraisons de soufre soient faites sous forme liquide ce qui nécessiterait l'installation de stockages calorifugés très coûteux.

1.4.2. Le gaz naturel liquéfié.

Il semble en général qu'il existe trois domaines, dans le transport de gaz naturel liquéfié, qui pourraient intéresser les canalisations :

- le transport à courte distance à l'intérieur des zones de stockage, ou entre les postes de chargement ou de déchargement et les stockages ;
- le transport à moyenne distance du gaz liquéfié entre une station de liquéfaction centrale et des zones de stockage satellites, pour lequel il existe un choix entre modes de transport (route, rail, voie navigable ou conduite);
- le transport à longue distance entre une grande région de production (ou une zone de réception) et un grand centre de consommation.

Sans trop aborder cette question qui concerne les possibilités françaises, on peut noter que le troisième type de transport pourrait intéresser plusieurs liaisons. La liaison Le Havre Paris, d'une part, a assumé un débit de 250 millions de m³ de gaz naturel liquéfié en 1966. En effet, au Havre, existent trois réservoirs d'une capacité totale de 36.000 m³. Le méthane regazéifié est transporté par une canalisation de 125 km et d'un diamètre de 500 mm jusqu'au réservoir

souterrain de Saint-Illiers, dans la région parisienne. D'autre part, il est prévu à Fos, près de Marseille, dans le nouveau port en construction, une usine recevant le produit de la chaîne SOMALGAZ, qui assurera le stockage et la régazéification du gaz naturel liquéfié et son adaptation aux caractéristiques du gaz de Lacq.

A la suite de ces deux exemples, il est donc tout à fait vraisemblable d'envisager le transport vers Paris du gaz par canalisation, sous forme liquéfiée.

2. ETUDE DE CAS TYPES DE RESEAUX.

Nous nous proposons maintenant d'étudier trois cas types de réseaux, envisageables en France en 1985.

Ces cas types, très schématiques, ont été imaginés à partir de contacts pris avec des bureaux d'études spécialisés et des organismes compétents tels l'O.T.P., le Gaz de France, et des sociétés américaines, et à partir de situations existant déjà. En effet, nous pouvons les définir ainsi :

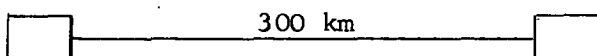
- le réseau simple est assimilable à une liaison pont de débarquement - usine de raffinage.
- le réseau télescopique en forme d'arbre avec distribution linéaire est assimilable à une liaison raffinerie - centres de stockage en aval.
- la desserte urbaine est liée aux dépôts suburbains.

A chaque cas type nous avons affecté un produit type dont on précisera le prix de revient pour trois niveaux de débits que l'on supposera constants. Le prix de revient sera donc un prix de revient théorique qui correspond à l'utilisation optimale de l'ouvrage.

2.1. Définition des cas-types.

Le graphique 3 montre pour le pétrole brut et les produits raffinés la variation du débit annuel en fonction du diamètre des tubes*. Pour un certain niveau de débit donné, on peut donc déduire directement de ce graphique le diamètre optimal de l'ouvrage. Une deuxième courbe indique pour un diamètre donné le débit maximum pratique que l'on peut atteindre en augmentant le nombre de stations de pompage.

2.1.1. Réseau simple.



produit type : - pétrole brut.

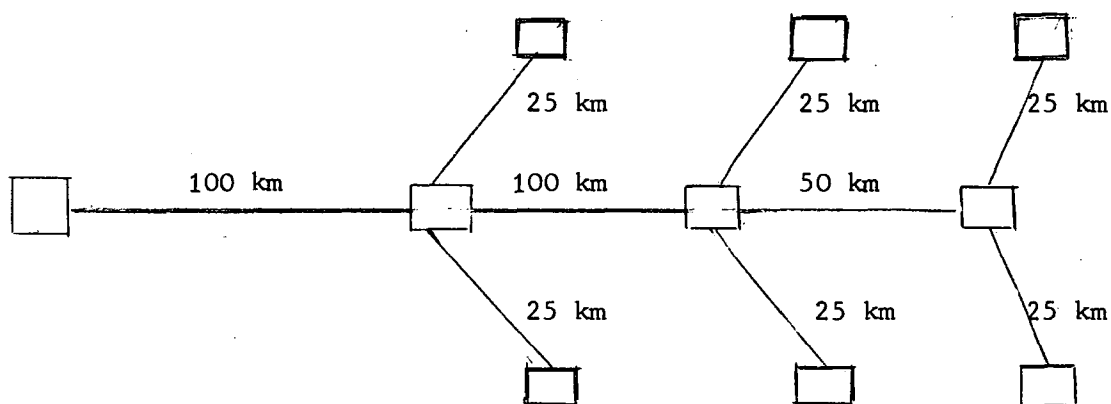
type de prestation : - ravitaillement en pétrole brut d'une raffinerie ou d'un ensemble de raffineries, situé dans un grand centre de consommation, à partir d'un port pétrolier.

autres produits : - fuel lourd/brut visqueux/soufre
 - solides en suspension (charbon, eaux ...)
 - capsules (blé, produits chimiques ...)
 - le gaz naturel liquéfié.

Cas type	Niveau de débit	Diamètre correspondant
a)	46 Mt/an	50"
b)	38 Mt/an	45"
c)	30 Mt/an	40"

* Les graphiques 3-6 ont été établies à partir des normes fournies par l'Omnium Technique des Transports par Pipeline.

2.1.2. Réseau télescopique en forme d'arbre avec distribution linéaire.



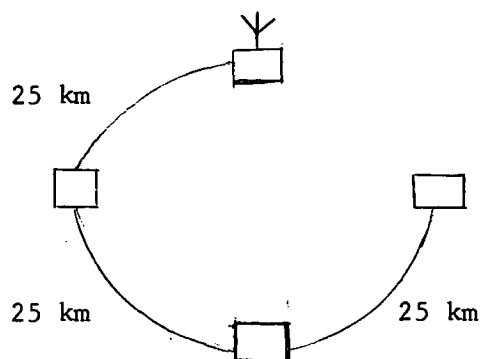
produit type : - produits raffinés

type de prestation : - distribution linéaire de produits raffinés entre une raffinerie et plusieurs terminaux desservant des régions de consommation.

autres produits : - produits chimiques en vrac.

Cas type	Niveau de débit		Diamètres correspondants	
	Tronçon initial	Tronçons latéraux	Antenne principale	Antennes latérales
a)	30 Mt/an	5 Mt/an	40"/33"/24"	18"
b)	24 Mt/an	4 Mt/an	36"/29"/22"	16"
c)	18 Mt/an	3 Mt/an	31"/26"/19"	14"

2.1.3. Desserte urbaine.



Type de prestation : - distribution linéaire de produits raffinés à quatre terminaux situés dans la zone suburbaine d'une ville. Le cas type "a" peut correspondre à la ville de Paris; le cas type "b" a une grande agglomération secondaire.

Cas type	Niveau de débit	Diamètres correspondants
a)	15 Mt/an	28"/24"/18"
b)	6 Mt/an	19"/16"/12"

2.2. Les coûts élémentaires.

Nous présenterons ici une discussion brève de chaque coût élémentaire utilisé pour les calculs des prix de revient, ainsi que les hypothèses concernant la modification de ces coûts compte tenu de l'évolution technique à long terme.

Nous considérons successivement :

- les investissements
- les frais d'exploitation.

2.2.1. Les investissements.

Nous proposons de simplifier la prise en compte des investissements en considérant les coûts globalement, c'est-à-dire que nous avons regroupé les frais d'étude, les achats de tube et de matériels, les frais de pose de tuyau et la construction des installations.

En effet, devant l'importance relative des coûts d'étude, et de recherche, nous avons préféré prendre des valeurs globales d'évolution, liées essentiellement aux coûts de fabrication et de pose qui représentent une très grosse partie de l'investissement correspondant à l'ouvrage complet. C'est donc une vue très générale sur l'analyse des tendances de coûts que nous présentons ici.

Le graphique 4 montre pour le pétrole brut la variation de l'ensemble des coûts d'investissement actuels en fonction du diamètre. Pour un réseau donné, on peut donc déduire directement de cette courbe le montant des investissements correspondants.

Afin de tenir compte de l'évolution technologique, nous avons retenu pour 1985 des coûts d'investissement de 20 % inférieurs aux coûts actuels. Cet abaissement tient compte des conclusions du chapitre précédent; c'est-à-dire que l'on prévoit :

- à technique donnée, un abaissement des coûts d'investissements actuels en Europe de l'ordre de 10 à 20 % en 1985.
- un abaissement de l'ordre de 10 % des coûts d'installation (tubes + pose) à la suite du franchissement du seuil technologique relatif à la fabrication des tubes sur le chantier avec pose automatique.

Pour l'établissement du prix de revient, on admet l'hypothèse simplificative que les annuités d'amortissement et de frais financiers sont en fait des annuités d'intérêt et de remboursement d'un prêt égal au montant de l'investissement et d'une durée de remboursement égale à celle de l'investissement du matériel. Nous avons retenu en effet un taux d'intérêt de 8 % et une durée d'amortissement de 20 ans pour l'ensemble de l'ouvrage.

Nous supposons également que la pose des canalisations est effectuée en terrain plat en campagne pour les deux premiers cas types. Par contre, pour la desserte urbaine, nous appliquerons une majoration des coûts d'investissement afin de tenir compte des difficultés de pose en zones suburbaines et industrielles (graphique 4).

2.2.2. Les frais d'exploitation.

Le graphique 5 montre la variation des frais d'exploitation et de gestion annuels en fonction du diamètre de l'ouvrage. Les dépenses comprennent les charges de personnel, d'énergie, d'entretien et de plusieurs autres postes comme les frais de télécommunications, de déplacement de véhicules, de loyers, etc ...

Le graphique 6 indique la variation de chacun de ces postes en fonction du diamètre pour un débit optimal.

Nous avons retenu les hypothèses suivantes concernant l'évolution de chacun de ces postes :

- le personnel : deux cas ont été envisagés :
 - . l'effectif demeure constant et nous considérons dans ce cas une augmentation des salaires moyens de 3,3 % par an en francs constants.
 - . la main-d'oeuvre diminue grâce à un degré d'automatisme plus avancé et compense l'augmentation de salaire des ouvriers spécialisés. Nous supposons donc que les frais de personnel resteront les mêmes en 1965.
- l'énergie : nous nous intéressons au prix du fuel utilisé pour les turbines. On estime que ce prix restera sensiblement constant d'ici 1985.
- l'entretien : nous supposons que les dépenses d'entretien seront les mêmes, compte tenu des compensations possibles entre :
 - . la diminution des frais de ce poste due à l'utilisation de matériel nécessitant moins d'entretien, principalement les turbines.
 - . l'augmentation des salaires du personnel spécialisé.

- les autres postes : nous supposons que ces dépenses resteront au même niveau que les frais actuels.

2.3. Résultats des calculs du prix de revient en 1985.

Les tableaux qui suivent montrent le détail du calcul des prix de revient pour chaque cas type de réseau en 1985. On doit signaler que les prix de revient calculés pour les cas types 2 et 3 sont des prix de revient moyens, pondérés par la longueur de chaque tronçon.

Nous présentons ensuite, sous la forme d'un tableau récapitulatif, les résultats de ces calculs.

Tableau récapitulatif des prix de revient (1966 et 1985)

Produit	Type de réseau	Diamètres	Débit	Prix de revient cent/t.km		
				1966	1985**	1985***
Pétrole brut	Réseau simple 300 km	50"	46 Mt/an	0,33	0,29	0,28
		45"	38 Mt/an	0,36	0,33	0,31
		40"	30 Mt/an	0,41	0,37	0,36
Produits raffinés	Réseau télesco- pique avec dis- tribution li- néaire 400 km	40"/33"/24"/18"	30 Mt/an	0,84*	0,90*	0,80*
		36"/29"/22"/16"	24 Mt/an	0,97	1,05	0,92
		31"/26"/19"/14"	18 Mt/an	1,21	1,39	1,16
Produits raffinés	Desserte urbai- ne avec distri- bution linéaire 75 km	28"/24"/18"	15 Mt/an	1,08*	1,09*	0,94*
		19"/16"/12"	6 Mt/an	2,16	2,46	1,97

* Prix de revient moyen (pondéré par la longueur de chaque tronçon).

** Hypothèse : augmentation de salaire de 3,3 % par an

*** Hypothèse : frais de personnel constants.

Tableau 1.

Réseau simple : 300 km

Gas types a, b et c.

A = 46 Mt/an = 50"

B = 38 Mt/an = 45"

C = 30 Mt/an = 40"

Diamètre	A		B		C	
Année	1966	1985	1966	1985	1966	1985
Coût d'investissement	325.500.000	260.400.000	283.500.000	226.800.000	244.500.000	195.600.000
Coût d'exploitation						
Energie	10.860.000	10.860.000	10.380.000	10.380.000	9.600.000	9.600.000
Personnel	1.260.000	2.350.000	1.440.000	2.680.000	1.680.000	3.140.000
Entretien	240.000	240.000	480.000	480.000	750.000	750.000
Autres	240.000	240.000	300.000	300.000	360.000	360.000
Amortissements	16.275.000	13.020.000	14.175.000	11.340.000	12.225.000	9.780.000
Intérêt du capital	16.800.000	13.500.000	14.600.000	11.700.000	12.600.000	10.100.000
Total	45.675.000	40.210.000	41.375.000	36.880.000	37.215.000	33.730.000
Prix de revient en francs par tonne/km.	0,0033	0,0029	0,0036	0,0033	0,0041	0,0037

Tableau 1 bis.

Réseau simple : 300 km

Cas types a, b, et c.

A = 46 Mt/an = 50"

B = 38 Mt/an = 45"

C = 30 Mt/an = 40"

Diamètre	A		B		C	
Année	1966	1985	1966	1985	1966	1985
Coût d'investissement	325.500.000	260.400.000	283.500.000	226.800.000	244.500.000	195.600.000
Coût d'exploitation						
Energie	10.860.000	10.860.000	10.380.000	10.380.000	9.600.000	9.600.000
Personnel	1.260.000	1.260.000	1.440.000	1.440.000	1.680.000	1.680.000
Entretien	240.000	240.000	480.000	480.000	750.000	750.000
Autres	240.000	240.000	300.000	300.000	360.000	360.000
Amortissements	16.275.000	13.020.000	14.175.000	11.340.000	12.225.000	9.780.000
Intérêt du capital	16.800.000	13.500.000	14.600.000	11.700.000	12.600.000	10.100.000
Total	45.675.000	39.120.000	41.375.000	35.640.000	37.215.000	32.270.000
Prix de revient en franc par tonne/km	0,0033	0,0028	0,0036	0,0031	0,0041	0,0036

Tableau 2a.

Réseau télescopique.

Cas type 2a.

Débit initial : 30 Mt/an

Débit antennes : 5 Mt/an

A = 40"

B = 33"

C = 24"

D = 18"

Diamètre	A		B		C		D		Total	
	1966	1985	1966	1985	1966	1985	1966	1985	1966	1985
Coût global d'investissement	81.500.000	65.200.000	65.000.000	52.000.000	22.500.000	18.000.000	51.000.000	40.800.000	220.000.000	176.000.000
Coût d'exploitation										
Energie	3.200.000	3.200.000	2.340.000	2.340.000	350.000	350.000	570.000	570.000	6.460.000	6.460.000
Personnel	560.000	1.040.000	800.000	1.490.000	690.000	1.290.000	2.670.000	5.000.000	4.720.000	8.820.000
Entretien	150.000	150.000	210.000	210.000	330.000	330.000	1.350.000	1.350.000	2.040.000	2.040.000
Autres	120.000	120.000	160.000	160.000	120.000	120.000	480.000	480.000	880.000	880.000
Amortissements	4.075.000	3.260.000	3.250.000	2.600.000	1.125.000	900.000	2.550.000	2.040.000	11.000.000	8.800.000
Intérêts du capital	4.200.000	3.370.000	3.350.000	2.700.000	1.160.000	930.000	2.640.000	2.120.000	11.350.000	9.120.000
Total	12.305.000	11.140.000	10.110.000	9.500.000	3.775.000	3.920.000	10.260.000	11.560.000	36.450.000	36.120.000
Prix de revient en franc par tonne/km	0,0041	0,0037	0,0051	0,0048	0,0076	0,0078	0,0137	0,0154	0,0084	0,0090

Tableau 2a bis

Réseau télescopique

Cas type 2a bis

Débit initial : 30 Mt/an
Débit antennes : 5 Mt/an

A = 40"

B = 33"

C = 24"

D = 18"

Diamètre	A		B		C		D		Total	
	1966	1985	1966	1985	1966	1985	1966	1985	1966	1985
Coût global d'investissement	81.500.000	65.200.000	65.000.000	52.000.000	22.500.000	18.000.000	51.000.000	40.800.000	220.000.000	176.000.000
Coût d'exploitation										
Energie	3.200.000	3.200.000	2.340.000	2.340.000	350.000	350.000	570.000	570.000	6.460.000	6.460.000
Personnel	560.000	560.000	800.000	800.000	690.000	690.000	2.670.000	2.670.000	4.720.000	4.720.000
Entretien	150.000	150.000	210.000	210.000	330.000	330.000	1.350.000	1.350.000	2.040.000	2.040.000
Autres	120.000	120.000	160.000	160.000	120.000	120.000	480.000	480.000	880.000	880.000
Amortissements	4.075.000	3.260.000	3.250.000	2.600.000	1.125.000	900.000	2.550.000	2.040.000	11.000.000	8.800.000
Intérêts du capital	4.200.000	3.370.000	3.350.000	2.700.000	1.160.000	930.000	2.640.000	2.120.000	11.350.000	9.120.000
Total	12.305.000	10.660.000	10.110.000	8.810.000	3.775.000	3.320.000	10.260.000	9.230.000	36.450.000	32.020.000
Prix de revient en franc par tonne/km	0,0041	0,0035	0,0051	0,0044	0,0076	0,0066	0,0137	0,0123	0,0084	0,080

Tableau 2b.

Réseau télescopique.

Cas type 2b.

Débit initial : 24 Mt/an
 Débit antennes : 4 Mt/an

A = 36"

B = 29"

C = 22"

D = 16"

Diamètre	A		B		C		D		Total	
	1966	1985	1966	1985	1966	1985	1966	1985	1966	1985
Coût global d'investissement	71.500.000	57.200.000	55.000.000	44.000.000	20.250.000	16.200.000	42.000.000	33.600.000	188.750.000	151.000.000
Coût d'exploitation										
Energie	2.780.000	2.780.000	1.570.000	1.570.000	280.000	280.000	420.000	420.000	5.050.000	5.050.000
Personnel	680.000	1.270.000	1.020.000	1.940.000	740.000	1.380.000	2.895.000	5.040.000	5.335.000	9.630.000
Entretien	360.000	360.000	540.000	540.000	370.000	370.000	1.470.000	1.470.000	2.740.000	2.740.000
Autres	160.000	160.000	200.000	200.000	130.000	130.000	540.000	540.000	1.030.000	1.030.000
Amortissements	3.575.000	2.860.000	2.750.000	2.200.000	1.012.500	810.000	2.100.000	1.680.000	9.437.500	7.550.000
Intérêts du capital	3.700.000	2.960.000	2.850.000	2.270.000	1.030.000	840.000	2.170.000	1.740.000	9.750.000	7.810.000
Total	11.255.000	10.390.000	8.930.000	8.720.000	3.562.500	3.810.000	9.595.000	10.890.000	33.342.500	33.810.000
Prix de revient en franc par tonne/km	0,0047	0,0045	0,0056	0,0054	0,0089	0,0095	0,0160	0,0182	0,0097	0,0105

Tableau 2b bis

Réseau télescopique

Cas type 2b bis

Débit initial : 24 Mt/an

Débit antennes : 4 Mt/an

A = 36"

B = 29"

C = 22"

D = 16"

Diamètre	A		B		C		D		Total	
	1966	1985	1966	1985	1966	1985	1966	1985	1966	1985
Coût global d'investissement	71.500.000	57.200.000	55.000.000	44.000.000	20.250.000	16.200.000	42.000.000	33.600.000	188.750.000	151.000.000
Coût d'exploitation										
Energie	2.780.000	2.780.000	1.570.000	1.570.000	280.000	280.000	420.000	420.000	5.050.000	5.050.000
Personnel	680.000	680.000	1.020.000	1.020.000	740.000	740.000	2.895.000	2.895.000	5.335.000	5.335.000
Entretien	360.000	360.000	540.000	540.000	370.000	370.000	1.470.000	1.470.000	2.740.000	2.740.000
Autres	160.000	160.000	200.000	200.000	130.000	130.000	540.000	540.000	1.030.000	1.030.000
Amortissements	3.575.000	2.860.000	2.750.000	2.200.000	1.012.500	810.000	2.100.000	1.680.000	9.437.500	7.550.000
Intérêts du capital	3.700.000	2.960.000	2.850.000	2.270.000	1.030.000	840.000	2.170.000	1.740.000	9.750.000	7.810.000
Total	11.255.000	9.800.000	8.930.000	7.800.000	3.562.500	3.170.000	9.595.000	8.745.000	33.342.500	29.515.000
Prix de revient en franc par tonne/km	0,0047	0,0041	0,0056	0,0048	0,0089	0,0079	0,0160	0,0146	0,0097	0,0092

Tableau 2c.

Réseau télescopique

Cas type 2c

Débit initial : 18 Mt/an

Débit antennes : 3 Mt/an

A = 31"

B = 26"

C = 19"

D = 14"

Diamètre	A		B		C		D		Total	
	1966	1985	1966	1985	1966	1985	1966	1985	1966	1985
Coût global d'investissement	59.500.000	48.600.000	49.000.000	39.200.000	16.750.000	13.400.000	35.250.000	28.200.000	160.500.000	129.200.000
Coût d'exploitation										
Energie	1.940.000	1.940.000	1.040.000	1.040.000	210.000	210.000	330.000	330.000	3.520.000	3.520.000
Personnel	900.000	1.680.000	1.240.000	2.310.000	850.000	1.580.000	3.120.000	5.820.000	6.110.000	11.390.000
Entretien	480.000	480.000	600.000	600.000	415.000	415.000	1.650.000	1.650.000	3.145.000	3.145.000
Autres	180.000	180.000	220.000	220.000	150.000	150.000	600.000	600.000	1.150.000	1.150.000
Amortissements	2.975.000	2.430.000	2.450.000	1.960.000	837.500	670.000	1.762.500	1.410.000	8.024.000	6.470.000
Intérêts du capital	3.080.000	2.510.000	2.540.000	2.030.000	870.000	690.000	1.820.000	1.460.000	8.310.000	6.690.000
Total	9.555.000	9.220.000	8.090.000	8.160.000	3.332.500	3.715.000	9.282.500	11.270.000	30.259.000	32.365.000
Prix de revient en franc par tonne/km	0,0053	0,0051	0,0067	0,0068	0,0111	0,0124	0,0206	0,0250	0,0121	0,0139

Tableau 2c bis

Réseau télescopique

Cas type 2c bis

Débit initial : 18 Mt/an
 Débit antennes : 3 Mt/an

A = 31"

B = 26"

C = 19"

D = 14"

Diamètre	A		B		C		D		Total	
	1966	1985	1966	1985	1966	1985	1966	1985	1966	1985
Coût global d'investissement	59.500.000	48.600.000	49.000.000	39.200.000	16.750.000	13.400.000	35.250.000	28.200.000	160.500.000	129.200.000
Coût d'exploitation										
Energie	1.940.000	1.940.000	1.040.000	1.040.000	210.000	210.000	330.000	330.000	3.520.000	3.520.000
Personnel	900.000	900.000	1.240.000	1.240.000	850.000	850.000	3.120.000	3.120.000	6.110.000	6.110.000
Entretien	480.000	480.000	600.000	600.000	415.000	415.000	1.650.000	1.650.000	3.145.000	3.145.000
Autres	180.000	180.000	220.000	220.000	150.000	150.000	600.000	600.000	1.150.000	1.150.000
Amortissements	2.975.000	2.430.000	2.450.000	1.960.000	837.500	670.000	1.762.500	1.410.000	8.024.000	6.470.000
Intérêts du capital	3.080.000	2.510.000	2.540.000	2.030.000	870.000	690.000	1.820.000	1.460.000	8.310.000	6.690.000
Total	9.555.000	8.440.000	8.090.000	7.090.000	3.332.500	2.985.000	9.282.500	8.570.000	30.259.000	27.085.000
Prix de revient en franc par tonne/km	0,0053	0,0047	0,0067	0,0053	0,011	0,0100	0,0206	0,0190	0,0121	0,0116

Tableau 3a.

Desserte urbaine.

Cas type 3a

Débit initial
15 Mt/an

A = 28"

B = 24"

C = 18"

Diamètre	A		B		C		Total	
	1966	1985	1966	1985	1966	1985	1966	1985
Coût Investissement Normal	13.365.000	10.692.000	11.875.000	9.500.000	8.000.000	6.400.000	33.240.000	28.592.000
Majoration - ville	4.250.000	3.400.000	3.750.000	3.000.000	2.500.000	2.000.000	10.500.000	8.400.000
Total	17.615.000	14.092.000	15.625.000	12.500.000	10.500.000	8.400.000	43.740.000	36.992.000
Coût d'exploitation								
Energie	350.000	350.000	175.000	175.000	95.000	95.000	620.000	620.000
Personnel	275.000	510.000	345.000	645.000	445.000	830.000	1.065.000	1.985.000
Entretien	135.000	135.000	165.000	165.000	225.000	225.000	525.000	525.000
Autres	50.000	50.000	60.000	60.000	80.000	80.000	190.000	190.000
Amortissements	880.750	704.600	781.250	625.000	525.000	420.000	2.187.000	1.749.600
Intérêts du capital	915.000	730.000	810.000	648.000	545.000	435.000	2.270.000	1.813.000
Total	2.605.750	2.479.600	2.336.250	2.318.000	1.915.000	2.085.000	6.857.000	6.882.600
Prix de revient en franc par tonne/km	0,0079	0,0066	0,0093	0,0093	0,0153	0,0167	0,0108	0,0109

Tableau 3a bis

Desserte urbaine.

Cas type 3a bis

Débit initial
15 Mt/an

A = 28"

B = 24"

C = 18"

Diamètre	A		B		C		Total	
	1966	1985	1966	1985	1966	1985	1966	1985
Coût d'Investissement Normal	13.365.000	10.692.000	11.875.000	9.500.000	8.000.000	6.400.000	33.240.000	28.592.000
Majoration - ville	4.250.000	3.400.000	3.750.000	3.000.000	2.500.000	2.000.000	10.500.000	8.400.000
Total	17.615.000	14.092.000	15.625.000	12.500.000	10.500.000	8.400.000	43.740.000	36.992.000
Coût d'exploitation								
Energie	350.000	350.000	175.000	175.000	95.000	95.000	620.000	620.000
Personnel	275.000	275.000	345.000	345.000	445.000	445.000	1.065.000	1.065.000
Entretien	135.000	135.000	165.000	165.000	225.000	225.000	525.000	525.000
Autres	50.000	50.000	60.000	60.000	80.000	80.000	190.000	190.000
Amortissements	880.750	704.600	781.250	625.000	525.000	420.000	2.187.000	1.749.600
Intérêts du capital	915.000	730.000	810.000	648.000	545.000	435.000	2.270.000	1.813.000
Total	2.605.750	2.244.600	2.336.250	2.018.000	1.915.000	1.700.000	6.857.000	5.962.600
Prix de revient en franc par tonne/km	0,0079	0,0060	0,0093	0,0081	0,0153	0,0136	0,0108	0,0094

Tableau 3b.

Desserte urbaine

Cas type 3b

Débit initial
6 Mt/an

A = 19"

B = 16"

C = 12"

Diamètre	A		B		C		Total	
	1966	1985	1966	1985	1966	1985	1966	1985
Coût Investissement Normal	8.325.000	6.700.000	7.000.000	5.600.000	5.000.000	4.000.000	20.325.000	16.300.000
Majoration - ville	2.625.000	2.100.000	2.125.000	1.700.000	1.750.000	1.400.000	6.500.000	5.200.000
Total	10.950.000	8.800.000	9.125.000	7.300.000	6.750.000	5.400.000	26.825.000	21.500.000
Coût d'exploitation								
Energie	105.000	105.000	70.000	70.000	45.000	45.000	220.000	220.000
Personnel	425.000	790.000	482.500	840.000	560.000	1.040.000	1.467.500	2.670.000
Entretien	207.500	207.000	245.000	245.000	295.000	295.000	747.500	747.500
Autres	75.000	75.000	90.000	90.000	110.000	110.000	275.000	275.000
Amortissements	542.500	440.000	456.250	365.000	337.500	270.000	1.336.250	1.075.000
Intérêts du capital	568.000	455.000	472.000	377.000	350.000	280.000	1.390.000	1.112.000
Total	1.923.000	2.072.500	1.815.750	1.987.000	1.697.500	2.040.000	5.436.250	6.099.500
Prix de revient en francs par tonne/km	0,0128	0,0138	0,0181	0,0199	0,0340	0,0410	0,0216	0,0246

Tableau 3b bis

Desserte urbaine

Cas type 3b bis

Débit initial
6 Mt/an

A = 19"

B = 16"

C = 12"

Diamètre	A		B		C		Total	
Année	1966	1985	1966	1985	1966	1985	1966	1985
Coût Investissement Normal	8.325.000	6.700.000	7.000.000	5.600.000	5.000.000	4.000.000	20.325.000	16.300.000
Majoration - ville	2.625.000	2.100.000	2.125.000	1.700.000	1.750.000	1.400.000	6.500.000	5.200.000
Total	10.950.000	8.800.000	9.125.000	7.300.000	6.750.000	5.400.000	26.825.000	21.500.000
Coût d'exploitation								
Energie	105.000	105.000	70.000	70.000	45.000	45.000	220.000	220.000
Personnel	425.000	425.000	482.500	482.500	560.000	560.000	1.467.500	1.467.500
Entretien	207.500	207.500	245.000	245.000	295.000	295.000	747.500	747.500
Autres	75.000	75.000	90.000	90.000	110.000	110.000	275.000	275.000
Amortissements	542.500	440.000	456.250	365.000	337.500	270.000	1.336.250	1.075.000
Intérêts du capital	568.000	455.000	472.000	377.000	350.000	280.000	1.390.000	1.112.000
Total	1.923.000	1.707.500	1.815.750	1.629.500	1.697.500	1.560.000	5.436.250	4.897.000
Prix de revient en franc par tonne/km	0,0128	0,0114	0,0181	0,0163	0,0340	0,0312	0,0216	0,0197

C O N C L U S I O N

CONCLUSION

Dans cette conclusion nous considérons brièvement trois aspects :

- la concurrence actuelle entre modes de transport; c'est-à-dire que nous examinerons globalement l'incidence sur la concurrence, de variables telles que la spécificité des produits, la distance et le débit ainsi que la place qu'occupent les canalisations dans la structure des transports.
- l'incidence sur les transports des facteurs relatifs à l'augmentation de la demande de transport et l'accroissement du domaine des produits transportables ainsi que l'évolution globale des coûts de tous modes.
- les résultats relatifs aux canalisations; nous résumerons finalement les conclusions de ce rapport, c'est-à-dire les débouchés possibles et l'évolution des coûts de transport par canalisation entre 1966 et 1985.

1. CONCURRENCE ENTRE MODES DE TRANSPORT

1.1. Spécificité des produits

Il existe certains produits qui sont plus ou moins spécifiques à un certain mode de transport. Cette adaptation à un mode peut résulter de plusieurs facteurs :

- la nature même du produit ;
- les caractéristiques techniques du mode de transport;
- les habitudes des utilisateurs;
- la politique (tarifs spéciaux.....).

Pour ce genre de produit donc il n'existe pas en général de concurrence entre modes; on peut citer les cas classiques du gaz et de l'eau, produits qui seront toujours transportés par conduites.

1.2. Possibilités de substitution

On constate néanmoins que pour la plupart des produits il existe une possibilité de substitution entre modes qui dépend essentiellement :

- du volume à transporter ;
- de la distance de transport.

On peut dire que les volumes très importants, transportés à rythme continu entre deux points donnés, s'adaptent mieux aux modes de transport à grande capacité (voie maritime, voie navigable, canalisations, voie ferrée).

L'influence du volume n'est cependant pas suffisante à elle seule pour déterminer l'emploi de tel ou tel mode.

Une caractéristique prépondérante de tous les modes de transport, les canalisations exceptées, concerne la part importante des frais de manutention terminale dans les coûts totaux. Ceci se traduit par un coût de transport à la tonne-kilomètre décroissant avec la distance.

C'est pour cette raison que l'on n'utilise pas les voies maritimes, navigables et ferrées sur de courtes distances. Sauf donc, pour de très grands volumes qui peuvent être acheminés par canalisation ou par voie ferrée, la distribution finale des produits s'effectue presque uniquement par la route, mode doté d'une grande souplesse d'exploitation.

On ne peut pas dissimuler qu'une comparaison des coûts de transport des différents modes est particulièrement délicate. Une telle comparaison doit en effet tenir compte des charges d'infrastructure des moyens de transport classiques (autres que les canalisations) ; ces charges sont quelque-fois supportées par le budget général ou dans d'autres cas donnent lieu à des péages. L'évolution de la part d'infrastructure qui devrait être, en tout état de cause, ajoutée au prix de revient du transport seul, est difficile et, resté une affaire d'appréciation. D'ailleurs, une comparaison des prix de revient ne peut être faite que pour un seul type de produit.

Le graphique 7 montre pour le fuel et le pétrole brut, deux produits de nature comparable, la variation du prix de revient par tonne-mille en fonction des volumes annuels à transporter. Les coûts sont établis pour des gammes de distances caractéristiques de chaque mode de transport :

On peut noter que les coûts, pour la plupart des modes de transport, sont indépendants des volumes annuels sauf pour les canalisations et à un degré moindre pour les gros pétroliers. En effet les coûts par route, par voie ferrée et par voie navigable sont limités par la taille des véhicules et restent les mêmes quel que soit le volume annuel à transporter.

Au-dessus de 1 Mt/an il est évident que la canalisation est plus rentable que tous les autres modes de transport terrestre sauf les voies navigables à grand gabarit, tandis qu'au dessus de 5 Mt/an c'est la canalisation qui est de loin le mode de transport terrestre le plus économique.

1.3. Canalisations

Il existe pour les canalisations plusieurs produits spécifiques qui ne sont adaptés, au moins en grandes quantités, qu'à ce mode de transport ;

On peut citer :

- le gaz
- l'eau
- les hydrocarbures.

Les canalisations s'appliquent surtout aux produits liquides transportés régulièrement et en grand volume sur une liaison donnée. Elles effectuent un transport continu depuis les réservoirs d'expédition jusqu'aux réservoirs de livraison. Les manutentions de produits aux extrémités de l'ouvrage se réduisent à des opérations relativement simples. En raison donc de l'absence des coûts terminaux, les coûts de transport par canalisation sont essentiellement les mêmes quelle que soit la distance. La canalisation peut ainsi s'adapter à la fois au transport à grande distance et, dans les cas où les cargaisons individuelles ne sont pas inférieures à 200.000 t/an, à la distribution ou à la collecte locale.

2. EVOLUTIONS

2.1. Evolutions techniques

Il existe essentiellement deux facteurs qui accentueront la concurrence entre les modes de transport.

- l'augmentation de la demande de transport
- l'accroissement du domaine des produits transportables.

On constate que le volume et le nombre de produits à transporter sont appelés à augmenter considérablement dans l'avenir de sorte que les besoins de transport par voie ferrée, par route ou par d'autres modes changeront en terme de volume et types de véhicules. Il y aura donc un besoin d'amélioration continue des services offerts, ce qui se traduira par une concurrence de plus en plus accrue entre les différents modes.

2.2. Evolution des coûts

Dans cette étude on ne s'est préoccupé que des coûts de transport par canalisation, pour lesquels des projections ont été menées sur des cas schématiques. Evidemment, on est moins renseigné sur les possibilités d'évolution des autres modes de transport. Nous pouvons néanmoins donner des indications globales sur l'évolution par les coûts de tous les modes et comparer cette évolution avec les possibilités offertes par les canalisations.

On peut noter que tous les modes de transports terrestres, sauf les canalisations, sont caractérisés par :

- un effectif de personnel très élevé; en effet, les frais de personnel constituent une part très importante des coûts totaux.
- une limitation de la capacité des véhicules; cette limitation étant dictée soit par l'infrastructure, soit par la législation.

Il est bien évident donc qu'une augmentation des volumes annuels à transporter ne conduira pas à une diminution sensible des coûts. En effet, c'est presque uniquement dans les opérations de manutention que des améliorations significatives pourront être réalisées. On peut penser néanmoins qu'une amélioration dans ce domaine sera vraisemblablement compensée par une forte augmentation des niveaux de salaire.

Par contre, le transport par canalisation n'est pas désavantagé par les contraintes de personnel et de capacité. En effet, ce mode requiert des techniques très avancées et bénéficie d'un haut niveau d'automatisation. De plus, une augmentation des volumes à transporter permettra l'utilisation des tubes de plus grand diamètre ce qui se traduira par des coûts de transport décroissants.

3. RESULTATS RELATIFS AUX CANALISATIONS

3.1. Débouchés prévisibles.

En dehors du gaz et d'eau, on peut prévoir trois grands domaines d'application qui sont appelés à se développer considérablement dans l'avenir :

- les hydrocarbures,
- les produits chimiques,
- les produits alimentaires.

En raison des masses importantes à transporter, les hydrocarbures ont toujours été le domaine d'application des canalisations par excellence.

La croissance de la consommation de pétrole se situant de plus en plus à l'intérieur de l'Europe, c'est évidemment le transport de pétrole brut qui est appelé à progresser dans l'avenir. Il semble donc que l'on assistera à une expansion spectaculaire du réseau international de pétrole brut, reliant les principaux ports européens aux raffineries situées dans les grands centres de consommation.

Malgré cette expansion prévue dans le transport de pétrole brut, on s'attend également à une extension du transport des produits raffinés. La croissance de la consommation des produits raffinés, accompagnée d'une tendance à la concentration des populations, permettra le développement d'un réseau important de distribution de ces produits à partir des raffineries. On peut noter également que des développements technologiques dans le domaine de l'isolation ont permis, récemment, le transport de fuel lourd par conduite; c'est ainsi que toute la gamme des produits raffinés pourrait être acheminée par canalisation.

Le transport par canalisation se substitue de plus en plus aux moyens de transport traditionnels dans le domaine des produits chimiques. On assiste en effet à une croissance considérable du volume de produits utilisés dans ce secteur. C'est essentiellement le transport des grands intermédiaires de la pétrochimie qui bénéficiera de la canalisation. Compte tenu de l'augmentation continue des unités de production de produits intermédiaires, il est tout à fait vraisemblable que l'on assistera à une extension considérable des réseaux transportant l'éthylène et éventuellement le propylène. On doit signaler qu'il y aura sans doute une tendance à une interconnection de ces réseaux entre la plupart des pays européens; il est vraisemblable qu'un réseau européen transportant l'éthylène sera nécessaire probablement avant 1975.

On doit noter finalement qu'il existe en France plusieurs possibilités de transport par canalisation de certains produits alimentaires, notamment le blé et le vin. Nous rappelons la possibilité d'ici 1985 d'une canalisation transportant le blé en capsule entre la Beauce et le port de Rouen ainsi qu'une canalisation acheminant le vin entre la région de Marseille et les grandes régions consommatrices de Lyon et de Paris.

3.2. Evolution des coûts entre 1966 et 1985

Les projections des coûts ont été faites pour trois cas types de canalisation :

- le réseau simple,
- le réseau télescopique,
- la desserte urbaine.

Les frais de personnel ont été envisagés dans deux hypothèses :

- effectif constant; dans ce cas on a supposé une hausse des salaires de 3,3 % par an. (hypothèse forte).
- réduction de la main d'oeuvre, compensée par un plus haut degré de spécialisation, et donc des coûts, dans cette hypothèse les frais de personnel restent les mêmes. (hypothèse faible).

Dans les deux hypothèse, on prévoit une baisse des coûts pour les gros diamètres. D'autre part, on constate pour les petits diamètres l'importance des frais de personnel dans les coûts totaux. Ceci se traduit dans le cas de la première hypothèse par une légère augmentation en 1985 des coûts de transport, et par une baisse très sensible dans la deuxième hypothèse.

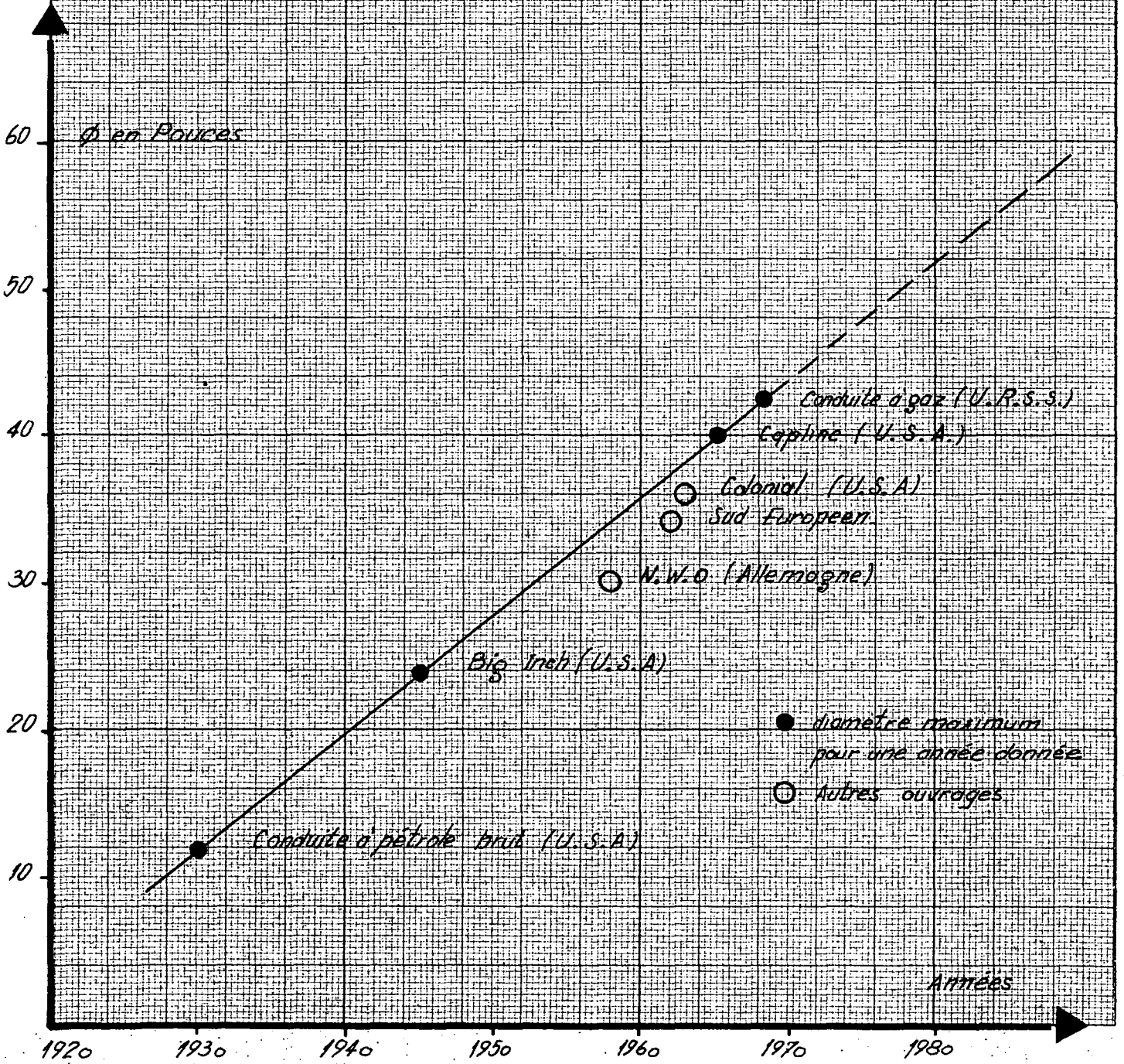
On remarque que la baisse générale des coûts est essentiellement liée à :

- un gain de productivité, pour une technicité donnée, dans l'organisation des chantiers de pose;
- de nouvelles techniques de pose et de fabrications de tubes (soudure spirale avec pose automatique).

Il faut souligner que les calculs de coûts ont été faits pour des débits identiques en 1966 et 1985. En fait la baisse des coûts ne tient pas compte de l'effet de dimension. C'est cependant ce facteur qui contribuera dans l'avenir à une baisse sensible des coûts de transport, en fonction de l'accroissement continu de la demande de transport par canalisation.

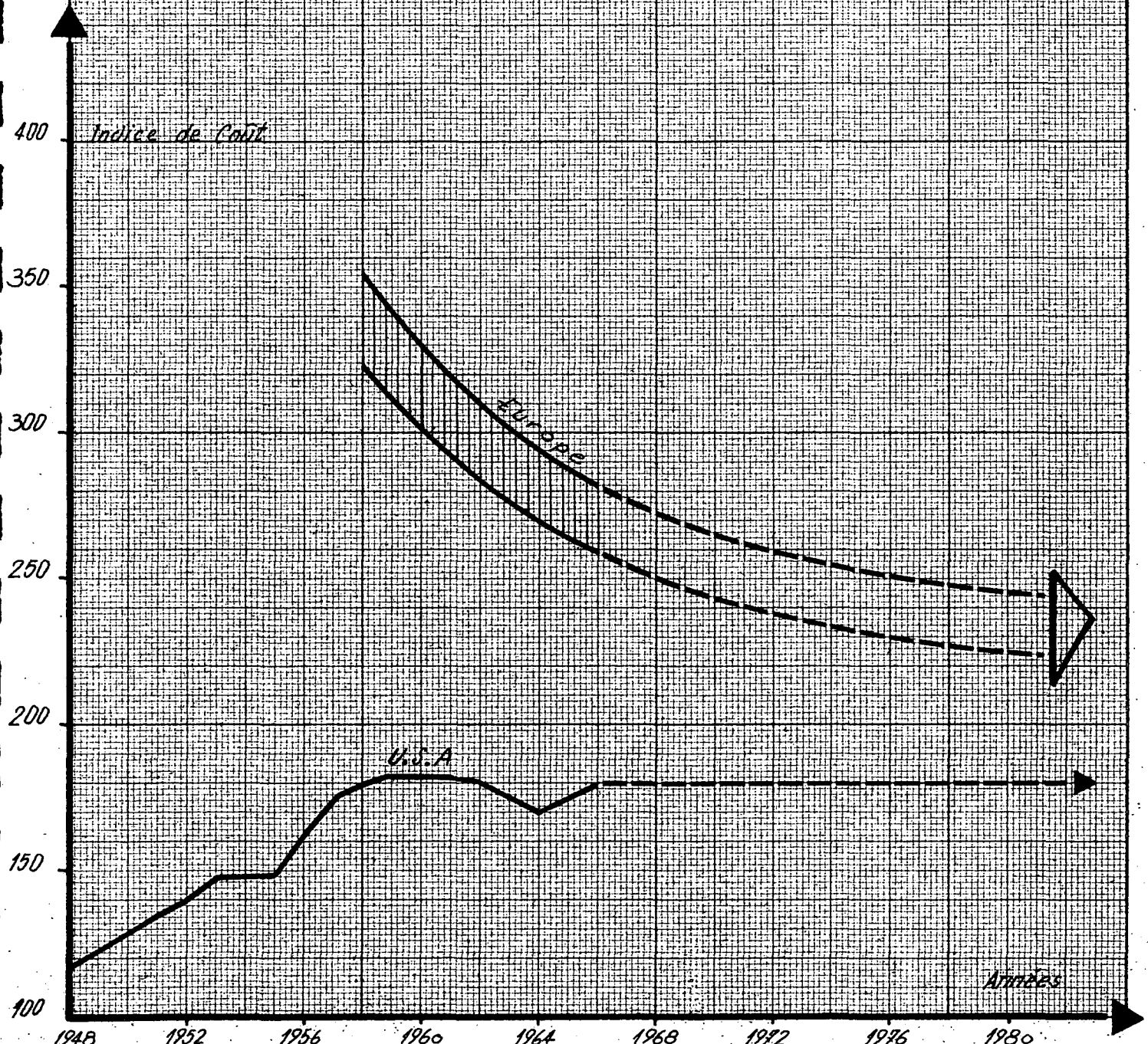
Graphique : 1

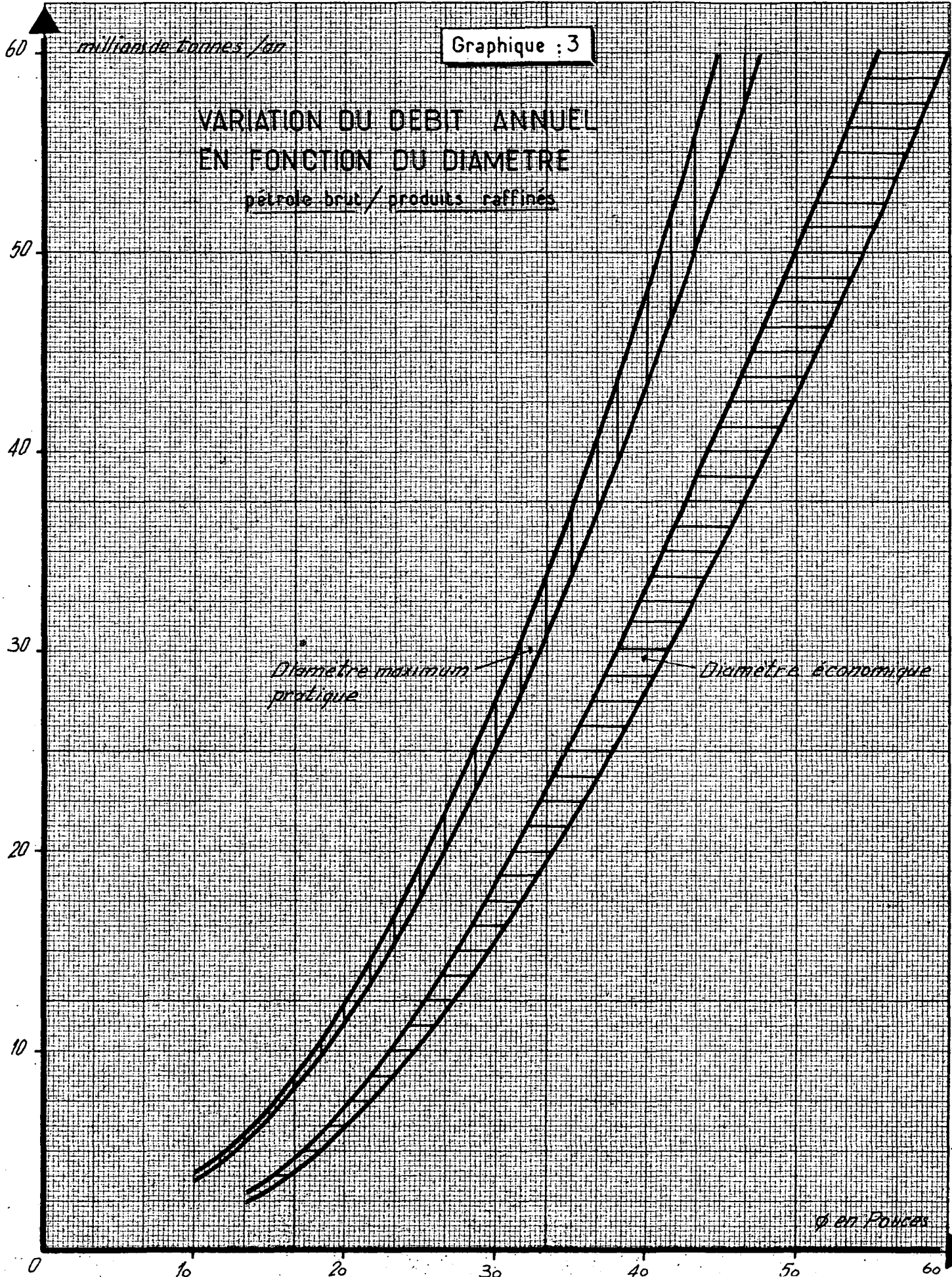
EVOLUTION DES DIAMETRES MAXIMUMS



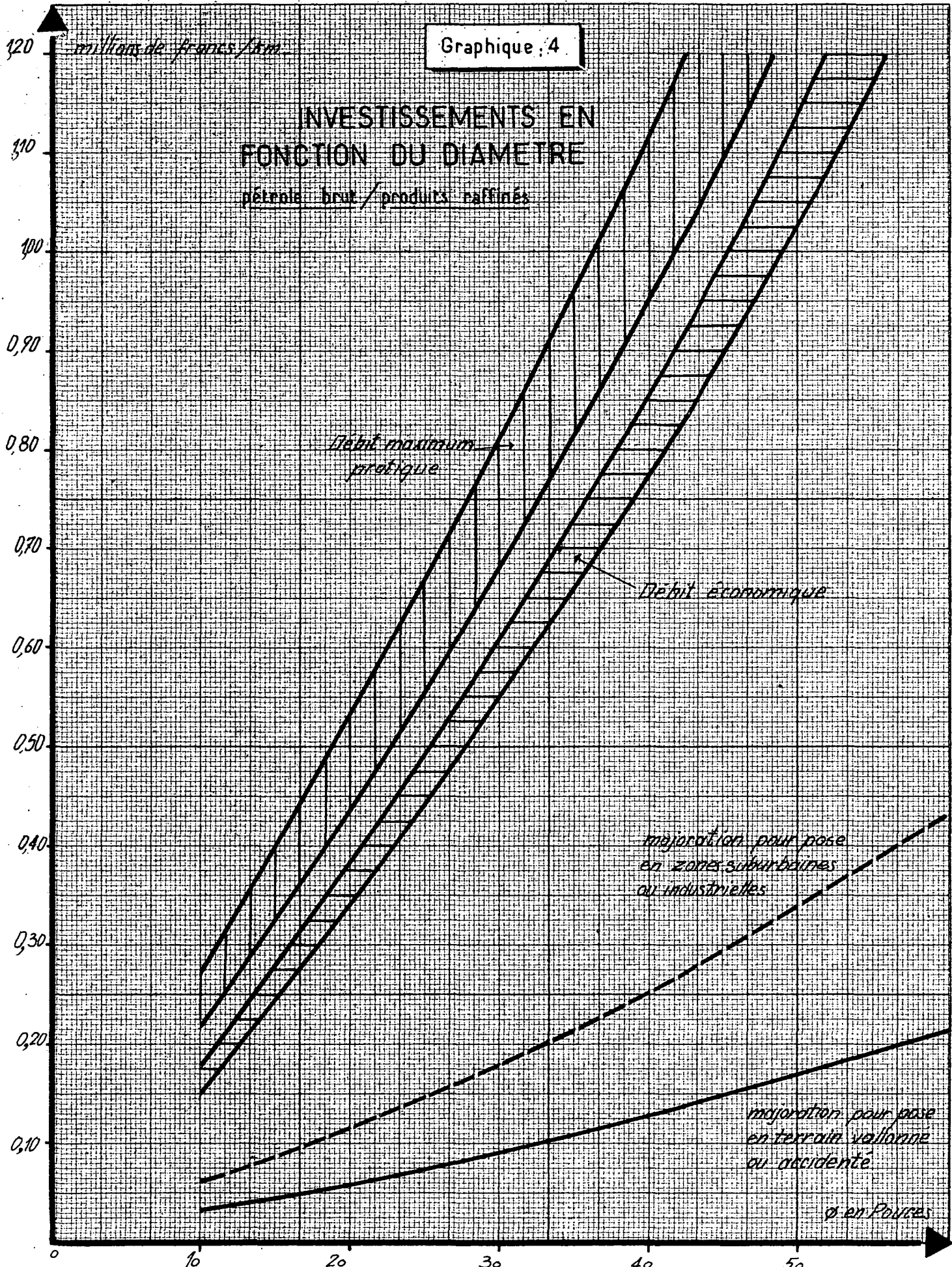
Graphique : 2

EVOLUTION DES COÛTS D'INVESTISSEMENT
AUX U.S.A ET EN EUROPE
1947 = 100

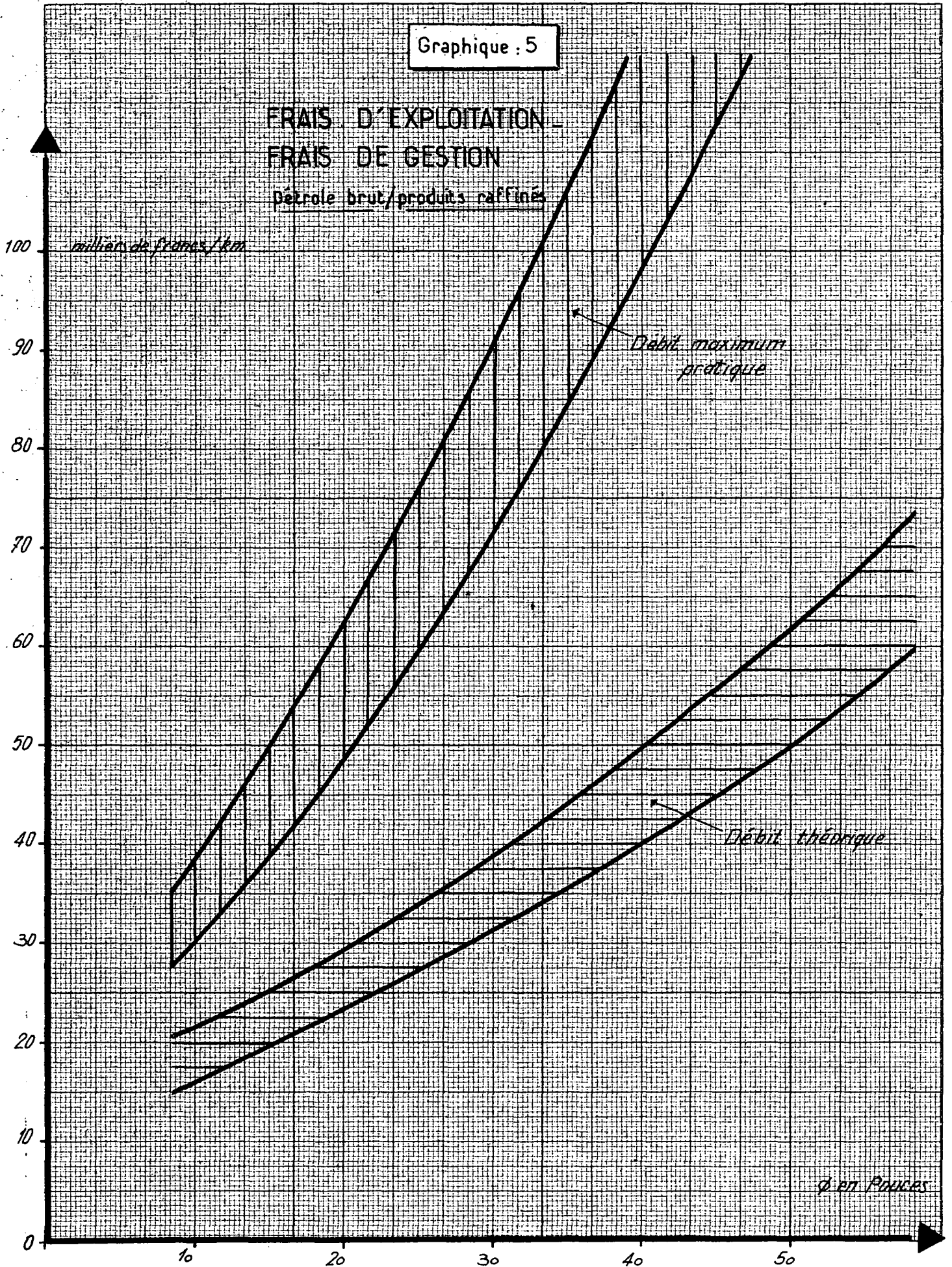




Graphique 4



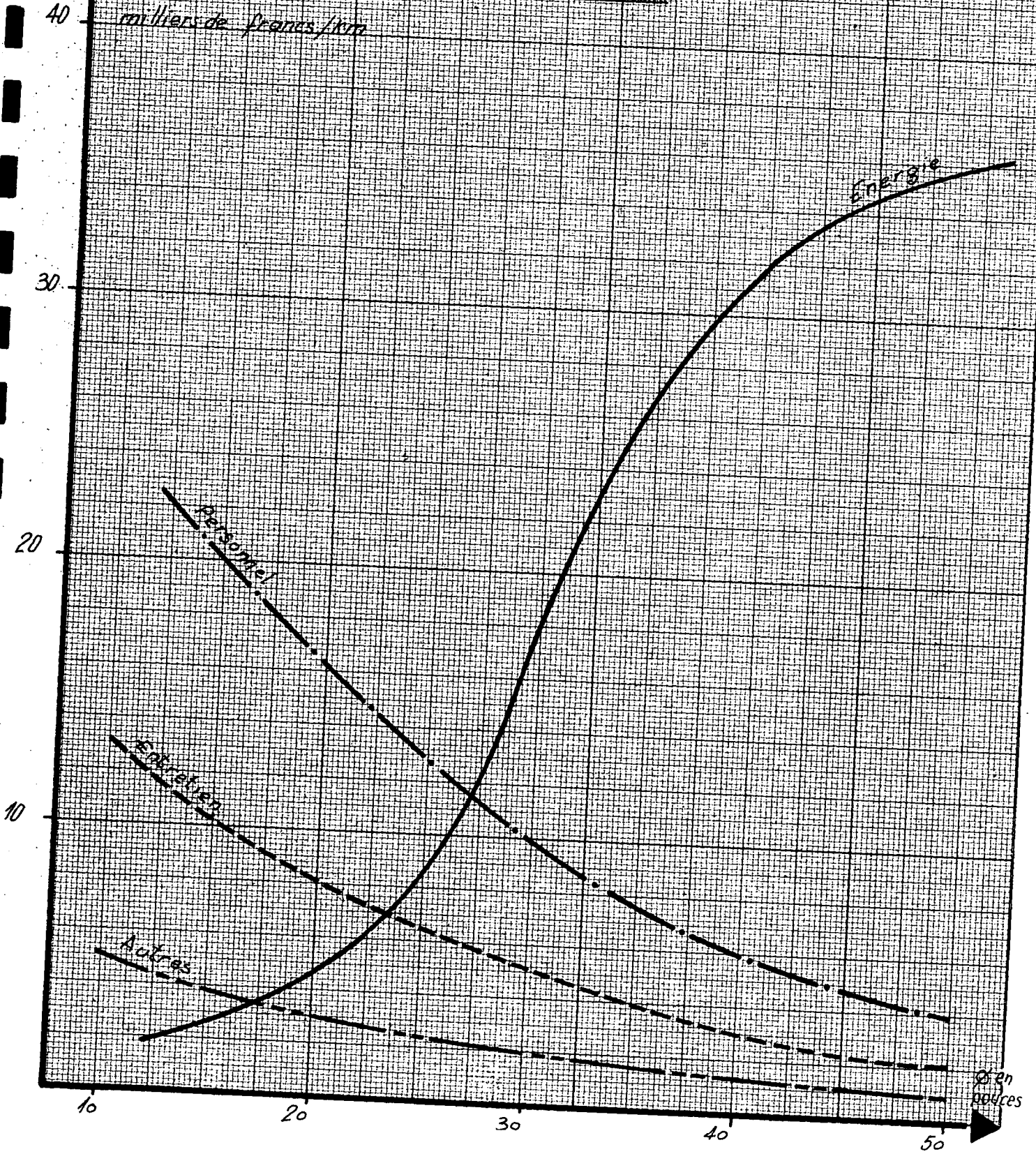
Graphique : 5



Graphique : 6

FRAIS D'EXPLOITATION EN FONCTION DU DIAMETRE - DEBIT/OPTIMUM

petrole brut / produits raffinés



PRIX DE REVIENT EN FONCTION DU DEBIT ANNUEL

source : Hubbard: the comparative costs of oil transport.

(journal of the institute of petroleum, Vol. 53

Janvier 1967)

