

Les transports par conduite : aspects techniques et économiques

par E. MÉRENNE

Résumé. — *Mises en service dès l'Antiquité pour le transport de l'eau, les canalisations — le plus souvent souterraines — servent également au transport de produits pétroliers et de gaz naturel depuis le siècle dernier et de produits solides depuis deux décennies.*

Leur réseau, particulièrement dense aux Etats-Unis et en Europe occidentale, est destiné à se développer encore dans l'avenir pour l'approvisionnement en produits pondéreux des vieilles régions industrielles continentales dont les matières premières sont épuisées. Des raisons économiques, voire écologiques, expliquent pareille évolution.

En Belgique, le réseau des conduites est particulièrement développé au nord de l'axe Sambre-Meuse, notamment pour le gaz naturel et certains produits liquides et gazeux.

Summary. — *Put into service in the ancient times for carrying water, the system of ducts—mostly underground—has been used for carrying oil and gas products since the last century and solid products for about twenty years.*

Their network is particularly dense in the United States and in Western Europe. It is destined to develop in the near future for supplying the old continental industrial areas—the raw materials of which are exhausted—with bulky products. Economic as well as ecological reasons explain such a development.

In Belgium, the system of pipes is particularly dense north of the line Sambre-Meuse, especially for natural gas and some liquid or gas products.

Le transport par conduite consiste en une longue canalisation, utilisée pour le transport à courte, moyenne ou longue distance. Très souvent, la canalisation est enterrée et achemine des liquides, des fluides et, depuis quelques années, des produits solides pulvérisés.

En raison du succès rencontré par ce type de transport, on parle dorénavant d'oléoduc dans le cas du transport de produits pétroliers, de gazoduc dans celui de gaz, d'oxyduc dans celui d'oxygène, voire d'azoduc, de carבודuc et de minéraloduc.

I. — APERÇU GÉNÉRAL

En fait, la *catégorie de transport par conduite la plus importante* concerne le *transport de l'eau*, en raison de son ancienneté et de sa généralisation dans le monde. Elle comporte deux types de conduite : les conduites partant des points de captation vers les centres de distribution et ensuite les canalisations de petit diamètre pour la desserte locale, sans oublier les distributions d'eau chaude et, dans des pays comme la Hongrie et l'Islande, l'utilisation de sources thermales ([17], *passim* ; [21], p. 46).

La *seconde catégorie de transport par conduite* rassemble plusieurs types. Primo, les oléoducs d'exportation de produits bruts : ce sont les plus anciens. Ils relient les zones d'exploitation aux ports d'exportation ou aux raffineries et on les trouve dans les grandes zones pétrolières (ils appartiennent aux compagnies pétrolières) ([15], p. 27). Secundo, les oléoducs d'approvisionnement direct ; ils assurent la desserte des centres de raffinage et des industries pétrochimiques au départ des régions de production aussi bien en Europe occidentale qu'au Moyen-Orient, en URSS et en Amérique du Nord. Tertio, les oléoducs d'importation acheminant du pétrole brut ou des produits raffinés, liquides ou liquéfiés (par exemple l'éthylène), des ports vers les raffineries ou des raffineries vers des centres pétrochimiques ([15], p. 35).

Depuis le début du siècle, le réseau des oléoducs n'a cessé de se développer. En 1900, on relevait près de 30 000 km d'oléoducs dont 29 000 aux Etats-Unis et 750 en URSS. Mais, à l'heure actuelle, les Etats-Unis disposent de près de 250 000 km d'oléoducs et le reste du monde d'environ 150 000 km ([3], p. 277 ; [13], p. 22) dont 50 000 km pour l'URSS ; la moitié de la longueur des oléoducs de l'URSS a été mise en service au cours des dix dernières années. L'oléoduc « Amitié », l'un des plus longs du monde, plus de 4 500 km de long et 120 cm de diamètre, part de Kouibychev en Tartarie pour transporter du pétrole soviétique vers les démocraties populaires d'Europe centrale ([5], p. 137) ; sa longueur dépasse 5 000 km si l'on compte les deux branches d'Europe centrale.

A côté d'oléoducs à caractère régional, l'Europe occidentale dispose de quelques lignes principales de transport de pétrole brut : Wilhelmshaven-Cologne, Rotterdam-Rhin-Francfort, Fos-sur-Mer-Karlsruhe, Trieste-Ingolstadt et les oléoducs de l'Europe centrale : Gênes-Ferrare-Aigle (Suisse) et Gênes-Ferrare-Ingolstadt. En outre, la plupart des pays possèdent des conduites de produits raffinés. En fait, l'extension des oléoducs reflète l'importance de l'industrie pétrolière dans les pays concernés.

S'il est plus tardif, le *réseau des gazoducs* s'est, par contre, développé plus rapidement que celui des oléoducs ; on estime à plus de 600 000 km

la longueur des gazoducs en service dans le monde (sans les réseaux de distribution des villes), dont les huit dixièmes pour les Etats-Unis ([3], p. 277). Certains de ces gazoducs atteignent plusieurs milliers de km : 3 000 km pour le gazoduc Rio Grande-New York ([7], p. 131) et 3 000 km pour le gazoduc Tioumen-centre de la Russie ([5], p. 137) (ce dernier est en réalité une composante d'un gazoduc de 5 000 km destiné à relier les gisements de Sibérie à plusieurs pays d'Europe).

La découverte du gisement de Slochteren aux Pays-Bas est à l'origine d'un réseau européen de gazoducs, en partie interconnectés, d'environ 75 000 km de conduites de transport « longue distance ». Dans chaque cas, il s'agit de gazoducs d'exportation acheminant le gaz des zones de production vers les ports d'exportation ou de gazoducs d'approvisionnement direct reliant les zones de production aux lieux de consommation, lieux de travail, logements, etc.

TABLEAU I. — Longueur des canalisations des produits pétroliers et du gaz naturel en milliers de km (1975).

Pays ou régions	Pétrole brut	Produits raffinés	Gaz naturel	Total
Etats-Unis	122	123	400	645
Canada	20	5	33	58
Europe occidentale	11	9	75	95
U.R.S.S.	38	13	86	137
Reste du monde	44	10	24	78
Total	235	160	618	1 013

Source : *Les Sciences*, n° 175, Paris, 1977.

La quatrième catégorie concerne le *transport de fluides*, surtout à usage industriel, comme l'azote, l'oxygène et l'ammoniac, acheminés dans les conduites à l'état liquide dans la plupart des régions industrielles, notamment en Europe occidentale, et sur des distances allant de quelques kilomètres à plusieurs dizaines, voire centaines de kilomètres.

La dernière catégorie de transport par conduite s'applique aux *produits solides* à fine granulométrie. Elle commence seulement à se répandre, mais avec une certaine hésitation et ce pour plusieurs raisons dont certaines rappellent étrangement celles qui ont prélué à l'établissement des premiers oléoducs. Ce type de transport permet le cheminement de charbon, de minerais (par exemple de fer, de cuivre et d'aluminium), de calcaire, voire de ciment. Dans tous les cas, il s'agit du transport de produits bruts des lieux d'exploitation ou de débarquement vers des centres de transformation ou de consommation situés parfois à plusieurs dizaines,

voire centaines de kilomètres, principalement en Amérique du Nord. Ainsi, les Etats-Unis envisagent de promouvoir le transport massif de charbon des gisements situés le long des Rocheuses vers les centres de consommation distants de 800 à 1 600 km par l'installation de plus de 7 000 km de conduites qui transporteraient chaque année 80 Mt à partir de 1990 ([4], p. 27).

Mais plusieurs projets intéressent l'Europe occidentale, par exemple les Pays-Bas pour le charbon, de Rotterdam à Geleen, la Belgique pour le minerai de fer, et l'Europe centrale, en particulier la Pologne, pour le charbon. La Pologne projette la construction de conduites à long rayon d'action (400 km) et d'une capacité de 5 Mt pour l'exportation de charbon vers l'Autriche, et à court rayon d'action pour le transport de charbon vers les centrales électriques ([22]). Dans ce cas, les carboducs doivent favoriser le développement de la production (300 Mt en l'an 2000 contre 172 en 1975), désencombrer la voie d'eau et le rail déjà saturés et diversifier les marchés d'exportation.

II. — HISTORIQUE

Dans l'acceptation actuelle du terme, l'invention du transport par conduite est américaine. Le premier oléoduc, long de 7 km et d'un diamètre de 5 cm, fut construit en 1864 en Pennsylvanie : il permettait de livrer environ 100 t de brut par jour ([7], p. 130 ; [12], p. 5).

Au début, il fallait protéger l'oléoduc contre les transporteurs-exploitants de voitures à chevaux. Mais ceux-ci ne purent soutenir la concurrence. Dès lors, l'oléoduc s'imposait comme moyen de transport économique sur de courtes distances et plusieurs oléoducs virent le jour en Pennsylvanie au cours des années suivantes.

Au cours de cette période, l'oléoduc conduisait le pétrole jusqu'au chemin de fer le plus proche et, de toute manière, les chemins de fer conservaient le monopole des transports à longue distance. En 1874 fut terminé le premier oléoduc à longue distance en Pennsylvanie ; d'une longueur de près de 100 km et d'un diamètre de 7,5 cm, il assurait un débit quotidien de près de 5 000 t, soit environ 1,5 Mt par an.

En 1879, un oléoduc long de 177 km et d'un diamètre de 15 cm franchissait les Alléghanys grâce à la collaboration entre les sociétés de transport du pétrole et les compagnies ferroviaires. Il reliait l'ouest et le centre de l'Etat de Pennsylvanie en direction de l'Atlantique, le rail assurant le cheminement des produits jusqu'à New York. Un autre oléoduc atteignit l'Atlantique en 1881 au niveau de New York. Puis les conduites se multiplièrent entre les champs pétrolifères de Pennsylvanie et l'Atlantique. Mais ce ne fut qu'en 1888 que fut réalisé le premier oléo-

TABLEAU II. — Quelques grandes réalisations dans le domaine du transport par conduite de produits solides.

Pays	Produits transportés	Distance (km)	Dimensions des produits (mm)	Densités des produits secs	Diamètres des tuyaux (mm)	Capacités (Mt/an)
Etats-Unis	Charbon	440	0-1	1,4	460	5,0
	Charbon (1)	170	0-1	1,4	250	1,3
	Gilsonite	115	0-2,3	1,05	150	0,38
Royaume-Uni	Calcaire	90	0-0,3	2,7	250	0,7
Tasmanie	Minerai de fer	85	0-0,15	4,9	225	2,25
Japon	Stériles de mines	70	0-0,2	2,7	300	0,5
France	Résidu de bauxite	54	0-0,3	2,8	300	0,9

(1) Conduite ayant cessé de fonctionner en 1963 en raison de l'abaissement des tarifs ferroviaires.

Sources: P. COURATIN, *Du minerai par tube*, dans 2000, *Revue de l'aménagement du territoire et du développement régional*, 3^e trimestre 1970, p. 34 et divers autres auteurs.

TABLEAU III. — Principaux projets de transport de produits solides par conduite.

Pays	Régions traversées ou itinéraires	Produits transportés	Distances (km)
Etats-Unis	Wyoming-Arkansas	charbon	1 600
	Wyoming-Oregon	charbon	1 287
Canada	Colombie brit.-Alberta	charbon	788
	Labrador-Québec	minerai de fer	482
Australie	Côte sud	minerai de fer	643
	Côte ouest	minerai de fer	450
Pologne et Autriche	Rybnik-Linz	charbon	± 350
Pays-Bas	Europoort-Geleen	charbon	± 200

Sources : Divers auteurs.

duc immergé : il prolongeait l'oléoduc des Alléghanys jusqu'au port de New York, à travers la baie de Newark ([12], p. 7 ; [14], p. 29).

Ces quelques lignes illustrent la difficile progression de l'oléoduc jusqu'à la fin du XIX^e siècle aux Etats-Unis, pays d'origine, en raison de plusieurs obstacles à surmonter : les problèmes techniques, la concurrence entre moyens de transport et les problèmes financiers.

Dès cette époque cependant, le transport par conduite se développa rapidement dans les régions où l'importance de la production et l'étendue des marchés exigeaient des moyens d'évacuation rapide sur de longues distances. C'est ainsi qu'en 1893 une conduite de 880 km de long reliait Bakou, sur la Caspienne, à Batoum, sur la mer Noire ; c'était la première conduite importante hors des Etats-Unis ; elle fut suivie d'autres réalisations permettant le transport du pétrole des bords de la Caspienne vers la mer Noire. Depuis lors, des centaines de milliers de kilomètres d'oléoducs relient les champs pétrolifères aux ports d'exportation ou aux raffineries situées à des centaines ou des milliers de kilomètres comme au Moyen-Orient : il en est ainsi du Transarabien, appelé également Tapline, long de 2 000 km et de 75 cm de diamètre ; il joint depuis 1950 les gisements du golfe Persique au port libanais de Sidon. D'autres oléoducs permettent le cheminement des ports d'importation aux raffineries situées à l'intérieur des terres ; en Europe occidentale, les exemples de ce type sont nombreux ([12], pp. 7-8).

L'idée de transporter par conduite les produits raffinés d'origine pétrolière et prêts à la consommation apparaît aux Etats-Unis lorsque les premières conduites furent utilisées de façon courante.

La première conduite à longue distance de ce type aurait été mise en service en 1893 entre deux localités de Pennsylvanie. Mais cette

expérience demeura sans lendemain jusqu'en 1929 ; à cette date, une conduite de pétrole brut allant de Pittsburgh jusqu'à une raffinerie près de New York fut utilisée pour le transport de produits raffinés en sens inverse et, depuis lors, la longueur des conduites de ce type s'est considérablement allongée aux Etats-Unis et aussi, depuis la seconde guerre mondiale, en dehors de ce pays ([12], p. 8).

Quant à la première conduite de gaz naturel à longue distance, elle fut également construite aux Etats-Unis, en 1885 entre la Pennsylvanie et la région de New York ; elle avait près de 140 km de long et se composait de tubes de 20 cm de diamètre.

Durant les années 20, les gazoducs firent leur apparition comme artères de transport sur de moyennes distances et des secteurs restreints. Mais la découverte de tubes sans soudure et de la soudure électrique favorisa la construction de conduites plus légères et moins coûteuses et dès 1931 fut mis en service un gazoduc de 60 cm de diamètre reliant le nord du Texas à Chicago et aboutissant à un réseau régional de distribution de gaz de ville ([12], p. 10).

Après la seconde guerre mondiale, les événements se précipitèrent et le transport du gaz est à l'origine d'un trafic de grande importance, tout d'abord sur le plan local et régional, puis sur le plan international.

Le transport par conduite de produits solides est postérieur à la seconde guerre mondiale : la première conduite importante, le Black Mesa pipe-line date de 1971 ; elle est longue de 440 km et transporte du charbon de l'Arizona au Nevada pour alimenter une puissante centrale électrique au charbon. Par contre, l'Ohio pipe-line a fonctionné de 1957 à 1963, année au cours de laquelle les tarifs ferroviaires ont diminué de près de 50 %, mais la conduite est toujours prête à fonctionner en vue de maintenir ce tarif en vigueur.

III. — CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Actuellement, les progrès techniques de la métallurgie, du génie civil et des matériaux d'isolation favorisent la pose de conduites aussi bien dans les milieux équatoriaux que dans les régions polaires, dans les plaines que dans les zones à relief accidenté et dans les régions peu peuplées que dans les agglomérations à très forte population.

A côté du choix de l'itinéraire, trois caractéristiques déterminent le choix du transport par conduite sur le plan technique : les tuyaux, la pression et la viscosité des produits.

Au moment de dresser les plans définitifs, il faut opérer un certain nombre de choix. Ceux-ci portent, d'une part, sur la *ligne proprement dite* et, d'autre part, sur les installations annexes.

En théorie, le tracé devrait suivre une ligne droite reliant le point de départ au point de destination. En pratique, l'évitement d'obstacles (la nature des terrains, la pente, les équipements et infrastructures divers et les lieux habités) ou la desserte de certains endroits privilégiés provoque des allongements plus ou moins longs ; ces derniers oscillent entre deux et dix, voire vingt pour cent dans les cas extrêmes.

Quant aux *tuyaux* qui composent la ligne, le choix porte surtout sur l'épaisseur de la paroi, le diamètre et la nature de ces tuyaux. Elevée à l'origine pour des raisons de sécurité, l'épaisseur des tuyaux s'est réduite par la suite grâce à l'utilisation des aciers spéciaux. Par contre, le diamètre des tuyaux, très faible à l'origine, peut atteindre de nos jours une valeur de 125 cm.

Les variations de diamètre sont liées non seulement au débit des produits à transporter, mais également à la nature de ces produits. Dans le cas du pétrole brut, un diamètre de 20 cm correspond à une capacité d'un Mt par an et un diamètre d'un mètre à une capacité de 40 Mt par an ([10], p. 115).

Le diamètre est également fonction de la matière utilisée pour la fabrication des tuyaux. Dès lors, les améliorations réalisées ou à réaliser portent sur le diamètre des tuyaux et la résistance des matériaux utilisés, acier, tubes laminés, alliages d'aluminium et produits plastiques.

Compte tenu de l'amélioration constante de la qualité de l'acier et des progrès des techniques de soudure, l'emploi de l'acier convient parfaitement pour les fortes capacités et les gros diamètres ; toutefois, au-delà d'un certain seuil (115 cm de diamètre), les problèmes rencontrés par la manutention et la pose risquent de neutraliser les avantages obtenus par les grandes distances et les grandes capacités ([8], pp. 318-319). Par contre, des projets prévoient l'installation de gazoducs de 250 cm de diamètre en URSS ([14], p. 33).

En raison des différences de propriétés des produits transportés, les conduites d'eau doivent répondre à d'autres exigences que celles des oléoducs et des gazoducs, par exemple, éviter la corrosion des tuyaux et la pollution de l'eau.

Ainsi, les conduites d'eau sont réalisées en fonte ductile, en acier, en amiante-ciment, en fibro-ciment et même en plastique. Le plus souvent, l'eau circule par gravitation ; lorsque ce transport n'est pas possible, des stations de pompage avec réservoirs surélevés sont mises en place. (Le principe des stations de pompage est appliqué pour les liquides et les solides et les stations de compression pour les fluides). Quant aux frais de construction des conduites en fonte, ils sont, à diamètre égal, du même ordre de grandeur que ceux des conduites en acier pour le transport des hydrocarbures ([20], pp. 215-216).

Les matériaux autres que l'acier et les tubes laminés restent réservés à quelques usages comme les transports subaquatiques, les transports de produits spéciaux et les dessertes terminales. En fait, plus la pression est élevée, plus le débit est élevé et plus les pertes de charge sont élevées. Lorsqu'on veut augmenter le débit, il suffit d'augmenter non seulement la puissance des stations de pompage, mais aussi le nombre de ces stations. (*Grosso modo*, la densité de compression, c'est-à-dire la puissance installée des stations sur une unité de distance, varie avec le cube du débit) ([20], p. 212).

La pression et la perte de pression dans les conduites sont liées à la viscosité ou résistance à l'écoulement et au débit des produits acheminés. Or, la gamme des produits acheminés par conduite est grande : elle va des produits liquides aux produits solides.

La plupart des produits pétroliers peuvent être transportés sans préchauffage ; seuls les produits lourds comme les fuels doivent subir cette opération.

Dans le cas des produits pétroliers raffinés se pose le problème du mélange des divers produits, car il convient de ne pas mélanger les produits transportés. Deux contraintes sont à respecter : réduire les contaminants (mélange de deux produits dans une conduite) et minimiser les pertes de ces contaminants.

Pour atténuer les effets de la première contrainte, une séquence optimale consisterait à commencer par l'envoi des produits les plus fluides et à terminer par les plus visqueux ; quant aux effets de la seconde contrainte, ils sont très limités lorsque les contaminants entre deux produits sont assimilés à l'un de ces deux produits et livrés au consommateur avec toute la commande de l'un d'eux sans altération de ce dernier ([25], p. 365).

Une séquence type est composée par l'envoi d'essence pour avions (très fluide), puis d'essence pour automobiles, de kérosène, de gasoil, d'essence pour automobiles, puis d'essence pour avions ; les contaminants entre essences pour avions et pour automobiles peuvent être livrés avec l'essence pour automobiles et les contaminants entre kérosène et gasoil avec le gasoil, etc. ([25], p. 365).

Aux Etats-Unis, des ballons d'air sont parfois employés pour faciliter la séparation de deux produits différents, le ballon se déplaçant dans la conduite à la façon d'un piston ([25], p. 365).

De toute façon ont été mises au point des techniques tenant compte à la fois des variations de viscosité des produits et de la cadence de pompage.

Quant au transport des matières solides par conduite, il présente de plus grandes difficultés. En pratique, il est utilisé pour le transport pneumatique de matières pulvérulentes (farine, ciment, etc.) sur de courtes

distances ou pour le transport de matières fines en suspension dans l'eau (charbon, minerais, etc.) sur de moyennes et longues distances. En d'autres termes, les matières solides doivent être réduites en particules ne dépassant pas une certaine dimension. Elles sont alors mélangées avec de l'eau dans des proportions de 30 à 50 % en vue de maintenir les particules solides en suspension pendant le cheminement et, à l'arrivée, une centrifugation sépare l'eau des particules solides ([18], p. 175).

Si l'on ne considère que les transports à longue distance, on peut pratiquement considérer les limites maxima des grains en fonction de leur densité de la façon suivante :

- densité 1,4 (charbon) : grains inférieurs à 2 mm,
- densité 2,5 à 3 (argile, calcaire) : grains inférieurs à 0,3 mm,
- densité 4,5 à 5 (concentrés de fer, cuivre, etc.) : grains inférieurs à 0,15 mm.

Au total, si le transport par conduite est pratiquement réalisable sous toutes les latitudes (1), dans tous les terrains et à toutes les altitudes pour les liquides et les gaz et à certaines conditions pour les solides, les vitesses de cheminement sont relativement lentes et sont fonction de la fluidité des produits, des pressions et du tracé des lignes.

IV. — CARACTÉRISTIQUES ÉCONOMIQUES

L'intérêt du transport par conduite est double : face aux autres moyens de transport, les charges d'exploitation sont faibles et l'investissement total est faible pour un trafic donné. Par contre, une conduite est construite en fonction d'une dimension correspondant à un débit donné, son tracé est immuable et elle n'emprunte aucun des éléments d'infrastructure des autres moyens de transport.

Le coût de premier établissement est évidemment lié à la longueur de la canalisation à construire ; de plus, il varie non seulement en fonction du débit, des travaux de pose et des équipements divers, mais aussi en fonction des divers obstacles rencontrés (types de terrains et de régions, nombre et importance de points spéciaux traversés, droits d'expropriation, etc.) ([12], p. 31).

La plupart des éléments du coût d'une canalisation varient avec le diamètre de celle-ci, mais avec des nuances. Ainsi, le coût des travaux préparatoires, des droits d'expropriation, des équipements divers, y compris les travaux de pose, augmente moins vite que le diamètre choisi. Par contre, les dépenses consenties pour l'achat et le transport des tuyaux

(1) Même dans les régions froides comme l'Alaska ([12], pp. 17 et 63).

croît plus vite que le diamètre : « plus les tuyaux sont gros, plus ils doivent être épais et plus ils sont délicats à fabriquer et à transporter » ([12], pp. 33-34).

Dans l'ensemble, il est admis que le coût de premier établissement d'une conduite varie avec le diamètre ([6], p. 90). Ainsi, une canalisation de 60 cm est à l'origine d'un investissement deux fois plus élevé qu'une de 30 cm, mais le débit sera par contre multiplié par quatre ou cinq ([6], p. 90 ; [24], p. 91).

Quant au fonctionnement d'une conduite, il entraîne un certain nombre de charges ou frais de fonctionnement, comportant entre autres le prix de l'énergie utilisée par les stations de pompage ou de compression, les frais de personnel (personnel peu nombreux), de télécommunications, d'entretien et des frais divers inhérents à toute entreprise industrielle (loyers, assurances, etc.).

Sauf les dépenses d'énergie, les frais de fonctionnement varient relativement peu en fonction du tonnage transporté. Les dépenses d'énergie varient, en fait, avec le débit ; dans le cas d'une utilisation optimum de la conduite, elle est de l'ordre de 20 % du prix de revient ([24], p. 94). A noter toutefois que la consommation d'énergie par tkm par oléoduc est inférieure à celle des autres modes de transports ([16], pp. 394-395).

Il en résulte que les frais d'exploitation rapportés au tonnage passent par un minimum ; en deçà de ce tonnage, les frais fixes doivent être amortis sur un tonnage moindre.

Comme les équipements (tuyaux et installations annexes) sont très coûteux, des débits importants sont indispensables pour rentabiliser ces coûts : le coût est d'autant plus faible que le débit est plus important, car le montant des investissements ne varie pas proportionnellement avec la capacité des conduites.

De plus, si le coût du transport dépend des conditions de transport dans le ou les pays traversés, la part des investissements est prépondérante quelle que soit l'importance du tuyau et du débit ; elle représente 50 à 80 % du prix de revient compte tenu des périodes d'amortissement (20 ans pour la ligne et 5 à 10 ans pour les stations selon le matériel utilisé, délicat ou robuste) ([24], p. 93).

D'autre part, dans les frais d'amortissement, 60 à 70 % correspondent à l'achat, au transport et à la pose des tubes et dépendent donc du diamètre ([24], p. 94).

En raison du fait que le prix de revient dépend pour 50 à 85 % des dépenses fixes d'investissement, le coût de l'unité transportée est lié avant tout au taux d'emploi de la conduite : il varie sensiblement en raison inverse du diamètre, donc de la racine carrée du débit, donc du tonnage ([6], pp. 92-95 ; [19], pp. 24-25 ; [24], p. 94) à condition que le débit considéré se situe à l'intérieur des limites optimales.

En définitive, les transports par conduite deviennent intéressants dès qu'il s'agit d'acheminer des quantités importantes sur des itinéraires déterminés et immuables une fois la conduite installée.

En 1971, le prix de revient du transport par oléoduc s'établissait entre 0,4 et 0,7 centime FF par tkm pour un débit annuel de 50 à 20 Mt, à 1,1 centime pour un débit de 10 Mt et entre 2,5 à 4,5 centimes pour un débit de 2 à 1Mt. A la même date, le prix de revient du transport du pétrole par mer oscillait entre 0,12 et 0,25 centime par tkm, par voie d'eau entre 2 et 10 centimes, par rail entre 5 et 12 et par route entre 12,5 et 25 ([6], pp. 106-107).

A titre indicatif, le classement du prix de revient à la tonne-kilomètre à distance égale et pour de nombreux pays (ordre croissant des coûts de transport) est le suivant à l'heure actuelle : 1. pétrolier de grande capacité, 2. conduite de grand diamètre, 3. chaland-citerne et conduite de moyen et petit diamètres, 4. wagon-citerne et 5. camion-citerne ([6], p. 107 ; [18], p. 176 ; [20], p. 214).

V. — AVANTAGES ET DÉSAVANTAGES

Les transports par conduite présentent des caractéristiques pouvant être considérées comme autant d'avantages.

Le tracé est sensiblement rectiligne et, de ce fait, ces transports permettent de réduire les distances : par exemple, la longueur de l'oléoduc Europort-Anvers (105 km) comparée à la distance par voie d'eau (143 km) et la longueur de l'oléoduc Le Havre-Paris (185 km) comparée à la distance par voie d'eau (330 km).

Sur le plan économique, les auteurs estiment que l'oléoduc l'emporte sur le rail à partir d'un transport annuel de 0,5 Mt et sur la voie d'eau à partir de 1 Mt pour les convois non poussés et de 2 à 4 Mt pour les convois poussés. Au-delà de 5 Mt par an, l'oléoduc l'emporte donc sur tous les autres modes de transport, à l'exception du transport par pétroliers géants ([6], pp. 104-107) et il est facile de comprendre que le transport par conduite ait provoqué la diminution du trafic des hydrocarbures par les autres modes de transport.

Si, sur de longues distances, le transport par conduite n'est économique que pour des tonnages supérieurs à 0,5, voire 1 Mt par an et pour des produits de faible granulométrie (d'autant plus faible que le produit est dense), il peut devenir économiquement rentable sur de courtes distances grâce à la suppression de certains postes comme ceux de chargement et de déchargement ([9], p. 34).

Le rapide développement du transport par conduite s'explique par la qualité des services rendus et le très faible niveau des coûts. La canalisation permet un transport continu, donc sans ruptures de charge, qui

se prête facilement à une exploitation programmée et qui ne présente que des risques minimes de perte ou de pollution, à condition toutefois de ne faire circuler dans une conduite que des produits de même nature.

De plus, ce type de transport présente l'avantage d'être « discret, habile et sûr » ([14], p. 30) : il n'apparaît jamais en surface, exception faite des zones désertiques et si des tranchées sont ouvertes pour la pose des canalisations, tout est remblayé, une fois les travaux terminés.

Lorsque la canalisation est enterrée, le transport par conduite favorise un désencombrement des voies de transport traditionnelles.

D'autre part, le transport par conduite n'émarge pas au budget de l'Etat s'il est rentable ; or, on n'a jamais construit de conduite sans être assuré du marché.

Malheureusement, le transport par conduite n'achemine généralement que le produit pour lequel il a été construit et la mutation est quasiment impossible ; il dépend donc de la disponibilité du produit à l'entrée et de la demande à la sortie.

Par sa nature, la conduite est rigide et ses courants de trafic doivent être établis sur une longue période sans retour à vide.

VI. — SITUATION EN BELGIQUE

Quel est en fait l'état actuel des transports par conduite en Belgique et quels sont les principaux projets envisagés pour notre pays ?

Si les *conduites d'eau* sillonnent toutes les régions du pays avec des densités liées à celles de la population, il n'en va pas de même, loin s'en faut, des autres types de conduites.

En effet, seuls les *gazoducs* se rencontrent dans toutes les régions du pays, surtout au nord de l'axe Sambre-Meuse. Il s'agit d'un double réseau de gaz naturel : un réseau de gros diamètre (90 cm) traverse le pays pour atteindre les grands centres du pays et la France, selon un axe NE-SO de Poppel à Blaregnies, et le Grand-Duché de Luxembourg, via les régions liégeoise, hutoise, l'Ardenne et Arlon ; quant au second réseau, il assure depuis 1966 la desserte du pays en gaz naturel.

Le réseau d'*oléoducs* s'étend sur 317 km ; il se compose de conduites pour l'acheminement du pétrole brut et de conduites pour les produits raffinés. Exception faite de la section Europoort-Anvers, mise en service en 1968, toutes les conduites sont utilisées depuis 1971.

Les diverses conduites de pétrole brut partent de ports accessibles à certains types de navires afin de desservir, dans les meilleures conditions économiques, des raffineries situées dans des régions portuaires (Anvers et Gand) ou à l'intérieur des terres (Feluy). Par contre, les conduites de produits raffinés relient la raffinerie de Feluy à la pétrochimie d'Anvers et à la centrale thermique classique de Ruien.

Parmi les autres conduites acheminant des produits d'origine pétrolière, certaines transportent de l'éthylène, de l'hydrogène et du chlorure de vinyle. Les conduites d'éthylène partent des installations d'Anvers vers Jemeppe-sur-Sambre et vers Geleen (Pays-Bas), via Tessengerlo. Quant à la conduite d'hydrogène, elle relie les installations d'Oleochim, d'Eletrochim et de Palmafina sur la rive gauche du canal Gand-Terneuzen ([23], p. 29). Par contre, la conduite de chlorure de vinyle ravitaille les installations de Geleen au départ de Tessengerlo.

La Belgique dispose également d'un *réseau de conduites d'azote et d'oxygène*. Ce réseau est relativement dense dans la région d'Anvers et la partie industrielle du Hainaut. En fait, les divers centres sidérurgiques du pays sont reliés à ces conduites pour leur approvisionnement en oxygène ; toutefois, la sidérurgie liégeoise dispose de sa propre source d'approvisionnement à Seraing, alors que la conduite Air-Products Terneuzen-Gand ravitaille le complexe sidérurgique de Sidmar et que l'Air Liquide dessert les autres régions, y compris Athus, au départ de centrales situées dans les régions d'Anvers, de Charleroi et de Mons et au Grand-Duché de Luxembourg.

Quant au *transport par conduite de produits solides*, il existe déjà en Belgique sous certaines formes ; il concerne essentiellement deux produits : le sucre et le sel. Ainsi, la sucrerie de Wanze (Huy), en bordure de la Meuse, est alimentée entre autres par des conduites souterraines au départ de raperies situées en Hesbaye. Une autre conduite industrielle de produits solides vient d'Epe, en Allemagne occidentale. Elle transporte de la saumure saturée vers les usines Solvay de Rheinberg et de Jemeppe-sur-Sambre. L'embranchement vers Jemeppe couvre une longueur de 210 km environ ([23], p. 29). Cet embranchement fait suite à l'installation des conduites jumelées de saumure épurée et de lessive caustique reliant les entreprises de Jemeppe-sur-Sambre et de Couillet entre elles ([2], p. 22).

Dans le but de trouver une solution au problème posé par l'approvisionnement en *gaz naturel* dès la cessation des fournitures néerlandaises, il est question de construire un gazoduc partant de Zeebrugge et se dirigeant vers Gand, Bruxelles, Liège et même l'Allemagne. Pour sa part, le Conseil économique régional wallon demande que l'on accorde priorité aux liaisons du sud-est et qu'en particulier les parcs industriels du sud-est de la Wallonie soient reliés sans délai à la conduite qui transite actuellement par la Belgique vers le Grand-Duché ([1], p. 289).

Quant à la répartition des *oléoducs*, une double constatation peut être faite : la faible densité du réseau en Belgique et l'absence d'oléoducs dans des régions industrielles importantes comme la région liégeoise. Aussi, Liège et les instances wallonnes réclament-elles la desserte de Liège par

un oléoduc de pétrole brut ou de produits raffinés, notamment dans le but d'y créer un complexe pétrochimique.

Pour remédier à cette situation, le gouvernement belge a approuvé en 1976 la création d'une société de droit belge, la S.A. Pipeline Anvers-Limbourg-Liège (PALL), chargée de la pose et de l'exploitation d'un oléoduc partant d'Anvers et se dirigeant vers l'Allemagne occidentale, avec une bretelle vers la région liégeoise (2). Le débit maximum s'élèverait à 8 Mt par an dont 2 Mt pour les Pays-Bas. La capacité restante, soit 6 Mt, serait destinée à l'approvisionnement du Limbourg belge, de la région liégeoise et même de l'Allemagne fédérale. Cet oléoduc ne pourrait cependant jouer un rôle bénéfique dans la région liégeoise qu'à condition d'être à l'origine d'une implantation pétrochimique importante. Si les études techniques sont en voie d'achèvement de même que les négociations relatives au tracé précis, la bretelle de raccordement vers Liège serait mise en chantier dès qu'il y aurait confirmation des besoins des utilisateurs potentiels.

Il semble qu'une liaison entre Le Havre, Liège et la Ruhr soit toujours à l'étude. Cette liaison serait destinée avant tout à ravitailler des régions industrielles éloignées de la mer en pétrole brut et non plus en produits raffinés. Dans le cas de la réalisation de cette conduite, il semble, au premier abord, inutile de relier Liège à Anvers, si ce n'est dans un but stratégique pour diversifier les sources d'approvisionnement. En effet, un oléoduc Le Havre-Liège transporterait du pétrole brut et alimenterait une raffinerie, elle-même source d'approvisionnement de la pétrochimie prévue (3).

Un autre projet consisterait à relier Zeebrugge à Liège avec un raccordement ravitaillant Sidmar. Zeebrugge serait choisi de préférence à Anvers en raison de l'accessibilité sans grands frais de navires de 150, voire 200 000 t, à pleine charge et de l'indépendance d'approvisionnement vis-à-vis des Pays-Bas.

Dans le domaine du *transport du minerai*, la société sidérurgique luxembourgeoise Arbed projetait en 1974 la construction d'un minéraloduc pour relier les ports belges à la sidérurgie grand-ducale. Ce minéraloduc aurait eu comme objectif d'alimenter les hauts fourneaux luxembourgeois en minerais riches importés d'outre-mer et acheminés en suspension liquide. Il s'agit, à la vérité, d'une solution de rechange destinée à suppléer à l'épuisement et à la perte de compétitivité du minerai luxembourgeois. Mais il est évident que les zones sidérurgiques limitrophes de ce minéraloduc auraient tout intérêt à être reliées à celui-ci. Néanmoins, il

(2) En avril 1978 a été inaugurée la section Anvers-Geleen (Pays-Bas) de l'oléoduc PALL.

(3) Le fléchissement de la consommation pétrolière et de l'activité industrielle européenne depuis 1974 explique la décision d'ajourner le projet ([12], p. 98).

n'est momentanément plus question de ce projet, mais bien de la réalisation à Dunkerque-ouest d'un terminal « slurry » destiné entre autres à l'acheminement de charbon et de minerai de fer. Dans ce cas, la Lorraine française sera peut-être approvisionnée à moyen terme en minerais au départ de Dunkerque par minéraloduc, de même que la sidérurgie grand-ducale.

Si l'approvisionnement de la sidérurgie liégeoise s'effectue par rail et par voie d'eau dans des conditions économiques satisfaisantes, il n'en va pas de même de la sidérurgie hennuyère, d'où, à l'heure actuelle, le peu d'empressement de la sidérurgie liégeoise pour la construction d'un minéraloduc. Malheureusement, la capacité de la sidérurgie hennuyère ne justifie pas la réalisation d'un minéraloduc, mais plutôt d'un raccordement à un minéraloduc de plus grande capacité (10 Mt par an, par exemple) comme le minéraloduc ports belges-Grand-Duché de Luxembourg.

De leur côté, les Pays-Bas envisageraient la construction d'une conduite de la région de Rotterdam à Geleen pour le *transport du charbon* polonais. Cette conduite permettrait de suppléer à la fermeture des charbonnages du Limbourg néerlandais pour l'alimentation de l'industrie chimique locale. Ce projet devrait intéresser au plus haut point la Belgique et en particulier la région liégeoise, située à moins de 50 km de Geleen.

Dans un domaine plus particulier, celui de l'*élimination des rejets industriels*, deux tracés ont été envisagés à propos des usines chimiques dont celles de la Sambre : une conduite unique vers Nieuport ou une conduite vers Doel pour les régions de Charleroi et de Mons et une conduite vers Nieuport pour les régions de Courtrai et de Kortemark. Il semblerait que la solution Couillet-Doel ne présente aucune incidence défavorable des points de vue de la qualité des eaux de l'estuaire et des contraintes écologiques ([11], pp. 31-32).

VII. — CONCLUSION

D'ici à quelques années, de nouvelles conduites de produits liquides, fluides et solides sillonneront en souterrain de nouvelles régions du globe et renforceront la densité des réseaux existants.

En Europe occidentale, les transports par conduite peuvent remplir un double rôle : tout d'abord, favoriser la création de centres industriels nouveaux dans des régions dépourvues de matières premières pondéreuses, ensuite résoudre le grave problème de l'industrie des régions continentales dont l'alimentation dans des conditions économiques de matières premières, entre autres le charbon, le pétrole et les minerais,

constitue une condition de survie. Tout doit être tenté pour faire bénéficier ces régions d'un réseau de conduites bien structuré.

De toute manière, un inventaire complet des besoins s'impose en vue d'optimiser le diamètre des conduites et d'assurer le transport de divers produits au moyen de conduites posées en parallèle afin d'en diminuer les frais d'établissement.

Au total, si les transports par conduite enlèvent à la voie d'eau et au rail une partie de leur trafic, ils peuvent également être à l'origine pour ces mêmes modes de transport de courants de trafic de produits fabriqués plus rémunérateurs. De plus, une gestion saine et bien concertée supposerait la participation des divers modes de transport dans l'exploitation de ce nouveau mode de transport de manière à éviter la multiplication des conduites inutiles et à permettre une saine concurrence entre les divers moyens de transport pour le bien des régions concernées et de toute la population.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] *Avis sur un programme de création et d'utilisation d'un réseau de pipe-lines en Wallonie (17 mai 1976)*, dans *Wallonie* 76, 3-4, pp. 285-289.
- [2] *Depuis le 9 avril 1972, la saumure arrive à Jemeppe par « pipeline »*, dans *Confluent*, septembre 1973, pp. 22-23.
- [3] *Les Sciences*, n° 175, éd. Atlas, Paris, 1977.
- [4] *Pipe-lines pour charbon*, dans *Informations et Documents*, n° 376, juin 1977, p. 27.
- [5] *URSS 76*, éd. de l'Agence de Presse Novosti, Moscou, 1976.
- [6] CABET R. — *Généralités et notions théoriques*, dans R. CABET et Y. LIZORET, *L'économie du transport par conduite*, Société des éd. Technip, Paris, 1974, pp. 11-120.
- [7] CLOZIER R. — *Géographie de la circulation: l'économie des transports terrestres (rail, route et eau)*, éd. M.-Th. Génin, Paris, 1963.
- [8] COMMISSARIAT GÉNÉRAL DU PLAN. — *Les transports, Plan et perspectives*, A. Colin, Paris, 1972.
- [9] COURATIN P. — *Du minerai par tube*, dans *2000, Revue de l'Aménagement du territoire et du développement régional*, 3^e trimestre 1970, pp. 33-34.
- [10] CURRAN D. W. — *Géographie mondiale de l'énergie*, Coll. « Géographie », Masson et Cie, Paris, 1973.
- [11] DE RUYTER P. — *Problème d'élimination des rejets industriels: un cas d'espèce, le pipeline de rejet d'effluents salins des usines de la Sambre*, dans *Bull. économique du Hainaut*, n° 27, 1977, pp. 31-32.
- [12] GANTIER G. et GAMBART DELIGNIERES E. — *Les pipelines*, Coll. « Que sais-je? », n° 1114, PUF, Paris, 1977.
- [13] GUGLIELMO R. — *Le gaz naturel*, coll. « Que sais-je? », n° 896, PUF, Paris, 1972.
- [14] HATRY P. — *Les transports par pipe-lines sous l'angle économique*, dans *Annales de l'Institut belge du Pétrole*, 2-1970, pp. 29-34.
- [15] LERAT S. — *L'ère des superpétroliers, le transport et le raffinage des hydrocarbures*, Coll. « Bordas connaissance », n° 19, Bordas, Paris, 1971.
- [16] MÉRENNE E. — *Les transports et la consommation d'énergie*, dans *Revue de Géographie de Lyon*, 1976-4, pp. 387-399 et *Travaux géographiques de Liège*, fasc. 165, 1977.
- [17] NADASDI I. — *Les ressources géothermiques de la Hongrie et leur exploitation*, dans *Bull. de la Société géographique de Liège*, n° 12, 1976, pp. 85-108.

- [18] PAPAGEORGES D. — *Les transports massifs de matières premières en régions continentales*, dans *Revue de la Société d'Etudes et d'Expansion*, n° 260, avril-mai-juin 1974, pp. 175-182.
- [19] RITTER J. — *Géographie des transports*, Coll. « Que sais-je? », n° 1427, PUF, Paris, 1971.
- [20] SECRÉTARIAT D'ÉTAT AUX AFFAIRES ÉTRANGÈRES. — *Les différents modes de transport*, Paris, 1970.
- [21] SEIDENFUS H. — *Les transports*, Bibliothèque Laffont des Grands Thèmes, n° 61, éd. Grammont-Laffont, Lausanne-Paris, 1976.
- [22] SEKULA W. — *Du charbon polonais par bandes transporteuses et par pipe-line*, dans *Lloyd anversois*, 28 juillet 1977.
- [23] SWINE M. J. — *Engineering de pipelines*, dans *Annales de l'Institut belge du Pétrole*, 5-1970, pp. 25-33.
- [24] TIEN PHUC N. — *Les transports, T. 1. analyse économique*, Coll. « Rythmes économiques, série Flux et trafics », éd. Eyrolles - éd. d'Organisation, Paris, 1969.
- [25] WICKHAM S. — *Economie des transports*, Coll. « L'économique », n° 4, éd. Sirey, Paris, 1969.
-