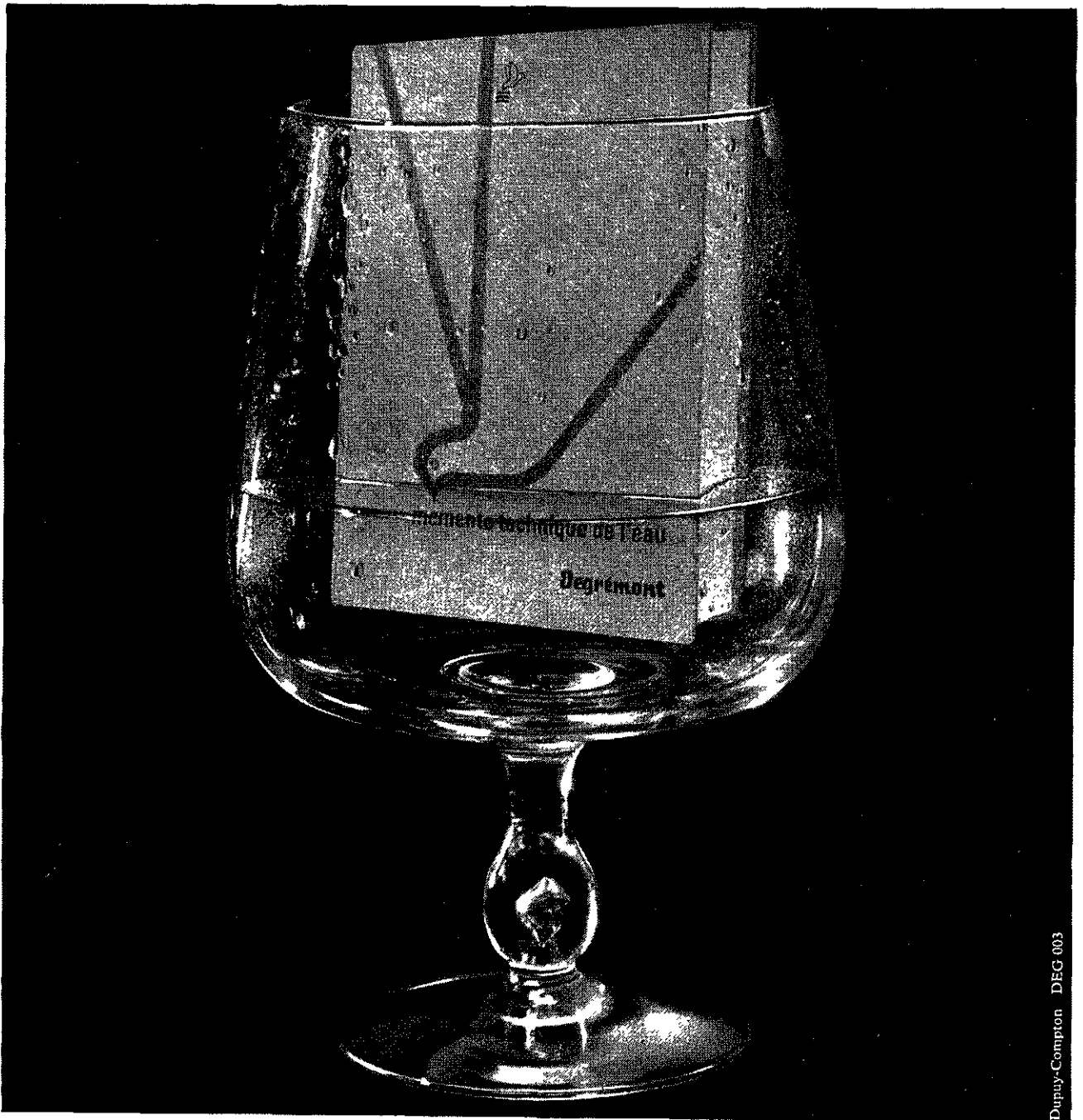


Transport par canalisations



Tout sur l'eau en 656 pages.



Dupuy-Compton DEG 003

Le MEMENTO TECHNIQUE DE L'EAU publié par Degrémont est la " bible " des ingénieurs qui s'attaquent aux problèmes de traitement des eaux : eaux potables, eaux résiduaires urbaines ou industrielles.

En 656 pages (illustrées de 230 figures et 220 schémas et diagrammes*) tous les sujets concernant l'eau sont abordés et trouvent des solutions concrètes, qu'il s'agisse de chimie, d'adoucissement, d'épuration, de stérilisation comme de législation.

Degrémont vous propose de plus un abonnement à sa documentation technique rela-

tive aux installations collectives les plus récentes au fur et à mesure de leur achèvement... c'est une mine d'idées.

Pour la recevoir, découpez le bon ci-contre ou adressez votre carte à DEGRÉMONT, Service Information, 183, route de Saint-Cloud, 92 Rueil-Malmaison.

Degrémont



* En vente à Technique et Documentation
11, rue Lavoisier - 75 PARIS 8*

Je désire être abonné gratuitement, sans aucun engagement à votre documentation " Communautés ".

Nom

Fonction

Adresse

.....

.....

4 PCM

S O M M A I R E

<i>Nécrologie</i> : André BOURGIN		18
<i>Le pétrole dans le monde par pipeline</i>	Ch. Deutsch.	20
<i>Le transport à grande distance des liquides par canalisation</i>	G. Dreyfuss.	27
<i>Le transport du gaz par canalisations</i>	R. Fort.	39
<i>Le stockage du gaz naturel</i>	M. Lecœur.	53
<i>Transport du gaz naturel par canalisations immergées</i>	M. Lecœur.	61
<i>Les canalisations sous-marines</i>	A. Ossadzow.	65
<i>La Société des transports pétroliers par pipeline (TRAPIL)</i>	M. Leblond.	74
<i>Procès-Verbaux des réunions du Comité du P.C.M. : Séance du vendredi 26 janvier 1968</i>		81
<i>Offres de Postes</i>		83
<i>Mutations, Promotions et Décisions diverses</i>		84
<i>Tombola</i>		88
<i>Les Annales des Mines</i>		89
<i>Mariages, Décès</i>		89
<i>La Page du Trésorier</i>		90

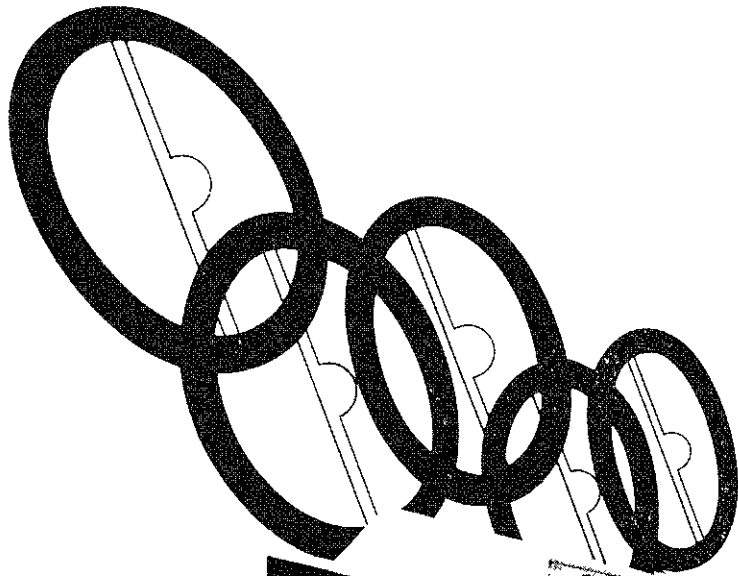
Photo de couverture : Chantier de pose du pipeline transalpin Trieste-Ingolstadt.

(Cliché Entrepose)

LXV^e année - n° 4 - mensuel

RÉDACTION : 28, rue des Sts-Pères, Paris-7^e LIT. 25.33

PUBLICITÉ : 254, rue de Vaugirard, Paris-15^e LEC. 27.19



1968 année olympique

Médaille d'or
de la visibilité

"ISOPACTOR"

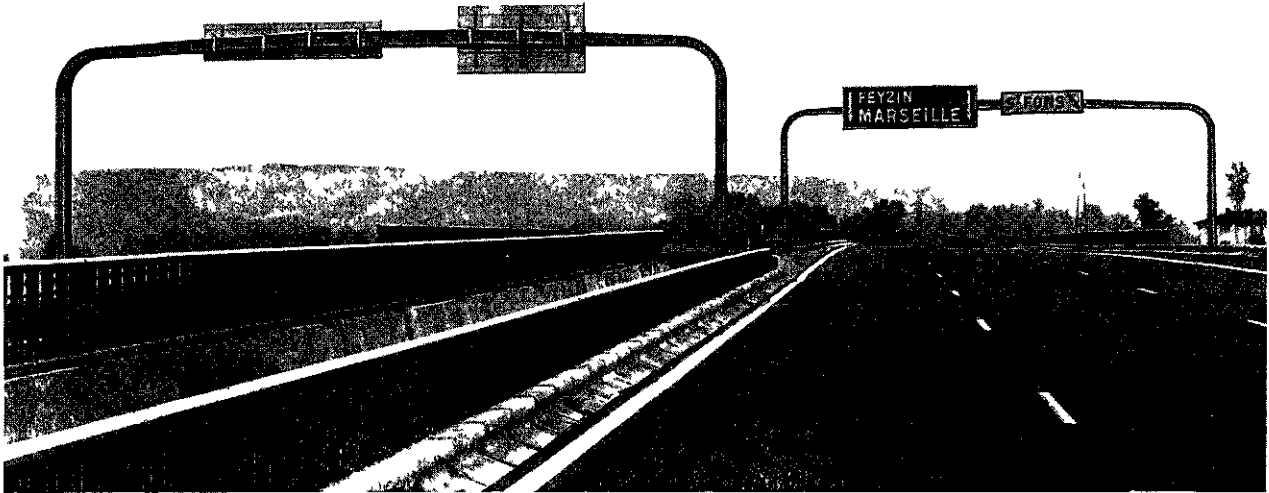
à **5** postes
de conduite



Photo Baranger

ALBARET 60 RANTIGNY • Tel 456 06 84
Telex 26 786

SIGNAUX-LAPORTE LYON



TRAVAUX SOUTERRAINS
FLUVIAUX & MARITIMES
BÉTON ARMÉ
PRÉCONTRAIT
TRAVAUX PUBLICS
BATIMENTS

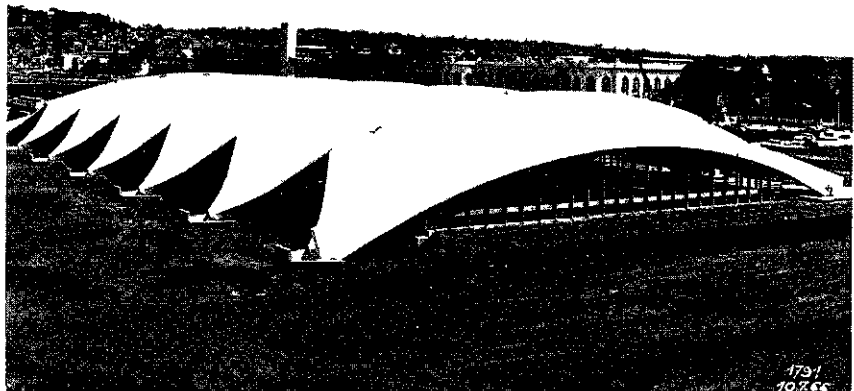


Photo BARANGER

*Centre Nautique de Deauville. Voûtes minces précontraintes
Roger TAILLIBERT, Architecte D.P.L.G.*

ENTREPRISE
57, Rue de Colombes

MOINON
NANTERRE
Téi. 204-20-92 — 204-57-20



NÉCROLOGIE

André BOURGIN

Ingénieur Général
des Ponts et Chaussées

André **Bourgin** est mort accidentellement le 1^{er} mars 1968.

Il était né à Rome, où son père était en poste, le 28 mai 1904. Entré à l'École Polytechnique en octobre 1924, il en sortait dans le Corps des Ponts et Chaussées.

Chargé, à partir du 1^{er} octobre 1929, de l'arrondissement de Gap du Service ordinaire des Hautes-Alpes, il y contracta sans doute cet amour de la montagne qui devait dominer toute sa vie professionnelle et qui le conduisit à demander son affectation au Service des Forces hydrauliques du Sud-Est à Grenoble où il entra en fonctions le 30 septembre 1932.

Il devait poursuivre, au sein de ce Service, devenu plus tard la 6^e Circonscription Electrique, la plus grande partie de sa carrière, comme ingénieur ordinaire jusqu'au 1^{er} décembre 1945, puis comme ingénieur en chef adjoint, sous l'autorité de M. **Haegelen**, enfin comme ingénieur en chef de la Circonscription à compter du 1^{er} avril 1946 et jusqu'au 1^{er} décembre 1965, date à laquelle, promu ingénieur général, il obtient de rester à Grenoble, au milieu de ses chères montagnes alpines, pour être chargé de l'inspection des services extérieurs de la Direction du Gaz et de l'Electricité dans le sud de la France.

Cette carrière, d'une exceptionnelle unité, lui a permis de réaliser une harmonie parfaite entre ses obligations professionnelles et ses aspirations personnelles ; elle lui aura permis de vivre les moments les plus exaltants de l'équipement hydroélectrique français.

Appelé, par ses fonctions, à élaborer les grands plans d'aménagements fluviaux qui vont marquer les années postérieures à la Libération du territoire, puis à en contrôler l'exécution, il pourra mettre au service de ce grand'œuvre la compétence exceptionnelle que lui confère sa connaissance profonde de la géographie et de la géologie alpines.

S'agissant d'André **Bourgin**, ce terme de contrôle, dans sa sécheresse administrative, traduit bien mal une participation constante à l'établissement des projets et à l'exécution des travaux qui lui fera marquer de son sceau bien des réalisations dans le domaine hydroélectrique, qu'il s'agisse de la Durance, du Rhône, ou de ces grands réservoirs édifiés dans les hautes vallées des Alpes.

Sa passion scientifique de la montagne autant que son esprit sportif devaient en faire aussi l'un des pionniers de la spéléologie alpestre dont il est demeuré, jusqu'au dernier jour, un conseiller technique écouté. Il a rapporté de ses expéditions souterraines, menées dans un mépris absolu de la publicité et bien souvent avec des moyens matériels réduits, des conceptions nouvelles sur les phénomènes karstiques aussi bien que des photographies d'une haute valeur artistique

Un tel capital de connaissance devait être appelé à fructifier.

Dès 1941, André **Bourgin** est appelé à professer à l'Ecole Supérieure des Ingénieurs hydrauliciens de Grenoble un cours de calcul de barrages puis un cours d'aménagement hydroélectrique général

Membre, puis vice-président, au Comité français des Grands Barrages, il présente en 1967 au Congrès international des Grands Barrages tenu à Istanbul, en qualité de rapporteur général, une communication magistrale sur la sécurité des barrages envisagée du point de vue de la fondation et de la stabilité des versants.

Lorsque le Gouvernement, soucieux de tirer un enseignement de certaines catastrophes survenues, de par le monde, du fait de la ruine de barrages, constitue un comité technique permanent des barrages appelé à se prononcer sur les projets de grands ouvrages de cette nature, il y fait tout naturellement entrer André **Bourgin**.

C'est aussi à lui qu'est confiée, lors du départ en retraite de M **Duffaut**, la présidence de la délégation française des commissions mixtes de surveillance des grands aménagements internationaux alpestres Emosson et le Mont-Cenis

Au Conseil général des Ponts et Chaussées, André **Bourgin** siégeait aux 3^e et 5^e Sections ; il était membre du Conseil d'administration de l'Agence financière du Bassin Rhône-Méditerranée-Corse.

Chevalier de la Légion d'Honneur en 1950, il avait été promu officier en 1960

La réussite professionnelle d'André **Bourgin** n'avait nullement altéré son humanité profonde, sa curiosité des efforts et des réalisations de l'homme dans tous les domaines aussi bien que de la nature où il aimait à se plonger au cours de ses randonnées dans les lieux les plus écartés des Alpes, pour y pêcher la truite dans de petits lacs connus presque de lui seul.

Et c'est dans la montagne qu'il a rencontré la mort, des suites d'une chute faite au cours d'une paisible et familiale après-midi consacrée au ski.

L'homme était profondément attachant.

Sous une apparence assez fragile, il cachait une énergie et une fermeté de caractère peu communes. La vie ne l'avait pas ménagé mais il avait su faire face aux épreuves sans faiblir, même lorsque furent successivement enlevés à son affection, dans des circonstances tragiques, deux grands enfants.

Il se livrait peu au premier abord, un visage volontairement froid, une ironie légère, jamais méchante, servaient de rempart à une pudeur extrême des sentiments et maintenaient les fâcheux à l'écart.

Ceux qui avaient le privilège d'être admis à franchir ce rempart découvraient l'esprit le plus fin, le cœur le plus ouvert, une amitié pleine de vigilance et de délicatesse.

La mort d'un tel être est si peu dans l'ordre des choses qu'il faut un effort de l'esprit pour admettre que jamais plus on ne pourra faire appel à sa compétence quelquefois bougonne mais toujours efficace, ni à la chaleur de son amitié.

Que sa femme et ses enfants reçoivent ici l'expression des regrets de ses camarades, amis et collaborateurs et de leur compassion.

LE PÉTROLE DANS LE MONDE

PAR LE PIPELINE

par **Charles DEUTSCH**, Ingénieur Général des Ponts et Chaussées,
Délégué Général aux questions scientifiques et techniques à ENTREPOSE,
Président du G. E. P. (Groupement Equipement Pétrolier).

Lors du premier conflit mondial, le pétrole, assimilé au sang des combattants, reçut ainsi, en France, ses premières paroles historiques. Et pourtant, lorsque, dix ans plus tard et après une mise au point souvent passionnée, les lois de 1928 — toujours en vigueur — en fixèrent la charte industrielle (1), il n'entraîna pas pour 5% dans le bilan énergétique national. Aujourd'hui sa part dépasse 50% et sera bientôt supérieure à 2/3.

Suivant une loi voisine de celle de la consommation d'électricité, le doublement en dix ans, les tonnages de pétrole brut correspondant aux besoins intérieurs français ont évolué de moins de 10 millions de tonnes, en 1950, à plus de 50 en 1967 : il ne faudra pas attendre l'horizon 85 pour franchir la centaine.

Le phénomène est général : même dans les pays qui ont assis, plus encore que la France, leur civilisation industrielle sur le charbon. Le pétrole fournit à l'Angleterre le tiers de son énergie : ce sera bientôt plus de la moitié. Aussi le monde, qui a franchi le seuil du milliard de tonnes par an au cours de 1960, en est-il déjà à plus de 1.750 millions en 1967. Et l'Europe, plus rapide encore que la moyenne, est-elle passée, environ, de 225 à 450 millions de tonnes dans le même temps. Le rythme du gaz naturel a été plus vif : la Hollande, puis la Mer du Nord venant relayer l'Aquitaine et la Plaine du Pô.

L'équipement de notre monde moderne ressent d'autant plus l'énormité de ces masses qu'est considérable la disparité locale entre production et consommation. Certains pays industriels sont aussi producteurs : tels l'U.R.S.S. ou l'Amérique du Nord (celle-ci est quand même importatrice). D'autres sont totalement démunis de ressources propres et le resteront sans doute : l'Europe et le Japon. Aussi plus de la moitié du pétrole produit, venant d'Afrique du Nord, d'Amérique latine, du Moyen-Orient,... franchit-elle les mers : avec pour unité de distance le millier de miles. c'est un courant qui sera bientôt d'un milliard de tonnes ; de deux milliards dix ou douze ans plus tard !

(1) C'est un monopole d'Etat, exercé par voie de délégations accordées à des sociétés importatrices.

Sans que ralentisse la pression sur les transports conventionnels, le fer et l'eau, trois aspects prennent, de ce fait, un relief nouveau :

- par rapport aux autres trafics maritimes, l'échelle pétrolière « décolle » inexorablement ;
- vers l'usager aggloméré, la ramification de la distribution directe allonge ses tubes, sans libérer pour autant l'urbaniste des files de camions-citernes ;
- entre ces deux extrêmes, sous terre et parfois dans l'eau, la canalisation s'impose moins en concurrent de ses aînés que seule solution capable des tonnages exigés par la vie moderne.

L'urbaniste voit avec fruit la technique du pipeline s'étendre à d'autres fluides : y compris les solides en suspension (2) ; demain au déplacement d'objets Seul le recours à la troisième dimension peut assurer l'agitation industrielle en conservant son agrément au domaine naturel de l'homme, la surface terrestre.

**

Le gigantisme des pétroliers, ailleurs évoqué, détermine la géographie de la canalisation : le très bas prix du transport maritime, plusieurs fois plus faible que celui du « gros » pipeline, impose d'accéder aux fonds des golfes que notre continent, seul, a largement reçus en dotation naturelle. Encore faut-il tracer la bonne carte : comme il est interdit de préparer l'avenir sans réserver l'accès du tanker de 500.000 ou 1.000.000 tdw, le pétrolier dessine son rivage par la disponibilité de fonds de 30 mètres. Ayant ainsi rattaché physiquement l'Angleterre au continent, le pétrolier met notre pays en vedette : isthme européen entre deux golfes, la Manche et la Méditerranée occidentale, portes naturelles du pétrole que l'Europe de l'Ouest importe obligatoirement.

Sans doute faut-il à nouveau penser à un remaniement du régime portuaire : pour accéder à des postes implantés au-delà des eaux territoriales, financer et gérer des structures vitales pour tout le continent. Le pétrole vient de résoudre les aspects administratifs de la prospection off shore : il connaîtra aussi la bonne fin de ceux posés par ses grands ports, avec la certitude que les charges exceptionnelles d'une industrie en expansion continûment accélérée sauront lui dicter la nécessaire continuité, la garantie du bon emploi des récentes et très importantes réalisations de nos deux ports pétroliers, Le Havre et Marseille. D'autant plus que ceux-ci sont précisément au cœur de ces deux golfes et que leur voisinage offre tout à la fois :

- les centaines d'hectares qu'exigent les dépôts d'importation, les raffineries, les activités annexes
- les cheminements convenables vers le cœur de l'Europe industrielle.

**

Le niveau actuel des besoins a permis à l'économie de rejoindre la sécurité : la canalisation se justifie pour de nombreuses liaisons industrielles, oxygène, am-

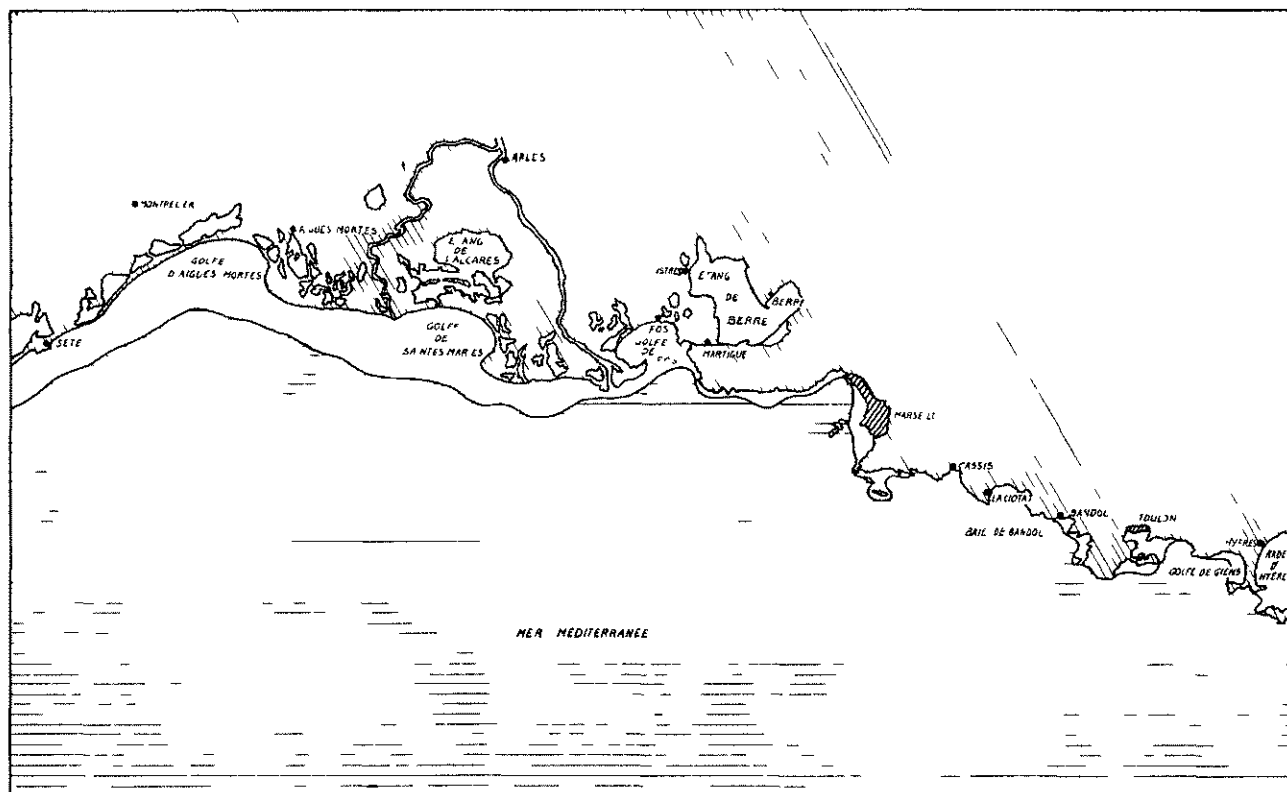
(2) La centaine de millions de tonnes est aussi l'ordre de grandeur en agrégats pour béton ou en matériaux routiers.

moniac, anhydride carbonique,... et tous les hydrocarbures de la pétrochimie. Continûment, la gamme des produits pompables s'étend :

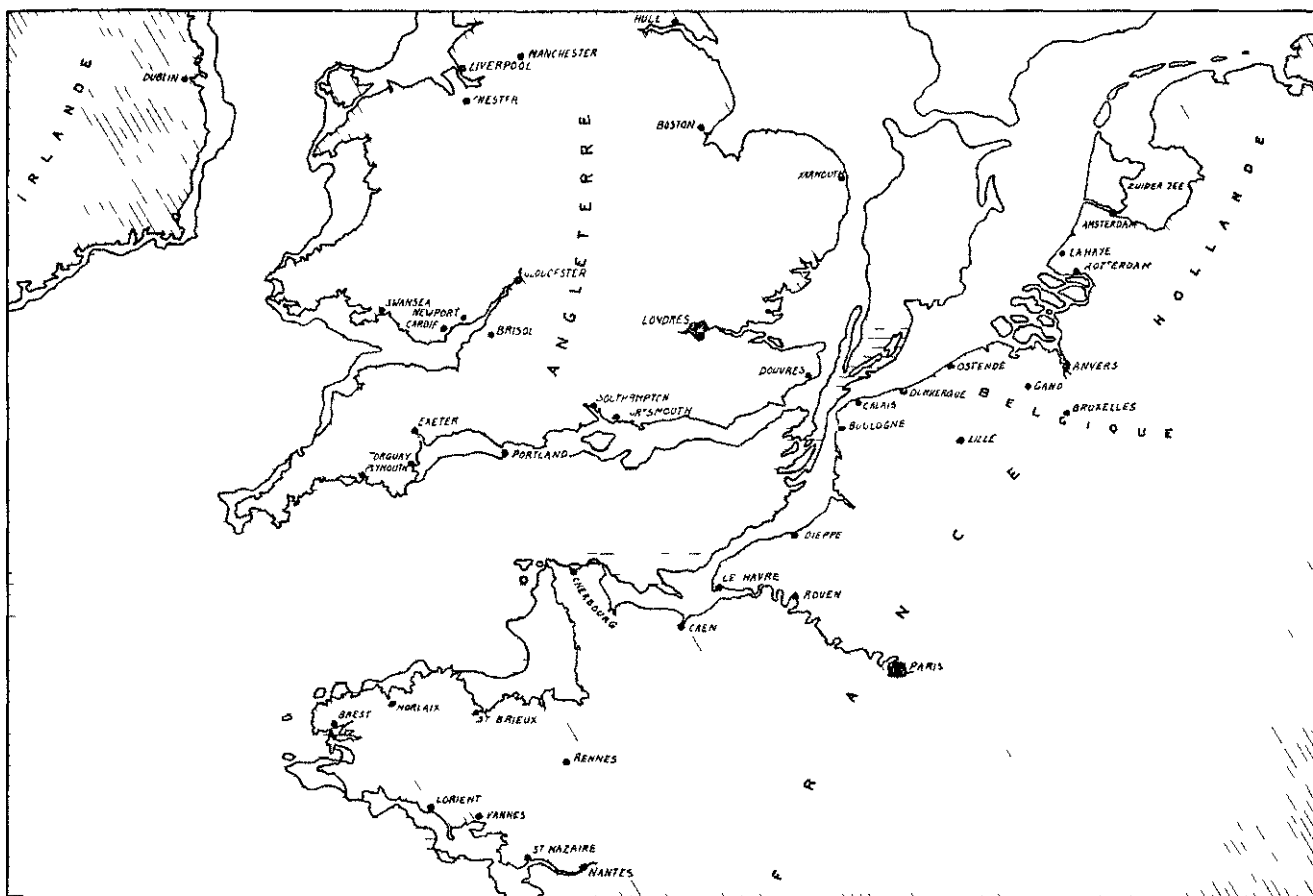
- pour ceux qu'il faut réchauffer, l'isolation thermique est en période normale de progrès technologiques : la convergence classique débouchés - bas prix est amorcée. Actuellement, des liaisons de 50 kilomètres se réalisent sans relais de réchauffage ;
- les très froids (au-dessous de -150°) posent encore des problèmes ;
- le solide mis en suspension est aujourd'hui opérationnel dès que la granulométrie n'est pas imposée mais peut être harmonisée avec l'hydraulique : plusieurs années d'expérimentation, notamment sur le charbon, ont autorisé un démarrage actif des techniciens américains vers divers minerais.

La liaison par conduite apporte une inappréciable souplesse dans l'implantation technique et sociale, astreinte aux justes servitudes de la géographie humaine et touristique. L'équipement urbain est encore loin d'en avoir tiré tout le bénéfice possible : c'est déjà vrai pour les hydrocarbures.

Le pipeline Le Havre-Paris a offert depuis quinze ans une sécurité telle que les stockages circumurbains ont, presque insensiblement, crû beaucoup moins vite que la consommation régionale. Leur développement a donc pu se faire en conservant l'implantation originelle, l'axe S.E.-N.O. de la vallée de la Seine : ce fut un répit. Mais les millions de tonnes finissent, en majorité, leur parcours sur pneu : bien que la consommation, comme l'agglomération elle-même, affirme le même axe, le cours du fleuve, il faut planter au N.E. et au S.O. — en les desservant par tube d'acier — quelques gros consommateurs et des centres d'éclatement routier. Car, après ses deux tonnes annuelles, le citadin civilisé de demain en consommera quatre, puis bien plus, avant que s'infléchissent très nettement les envahissantes courbes des besoins.



Carte de la Méditerranée — Rivage classique et rivage pétrolier (— 30 m).



Carte de la Manche. — Rivage classique et rivage pétrolier (- 30 m).

L'arrivée prochaine, depuis Marseille, d'un pipeline dans la région lyonnaise mérite semblables réflexions : aurait mérité, devrait-on dire.

Marseille aussi : malgré le voisinage des raffineries ; peut-être en liaison avec la Côte d'Azur. Capable d'échelonner ses centres d'éclatement en retrait d'une zone côtière surchargée, la canalisation n'est pas justiciable d'une simple comparaison économique avec le cabotage : le faisceau complet des servitudes propres à cette région de forte occupation humaine, de haute valeur touristique, doit jouer. Aucune philosophie n'interdit a priori l'avitaillement à la pêche depuis un dépôt, lui-même ravitaillé par l'intérieur.

Bien d'autres exemples s'offrent. La prochaine réalisation d'un pipeline Civita Vecchia - Rome (ville où plus de 50 petits dépôts périmés encomrent dangereusement la banlieue) sera une parlante illustration européenne de la même donnée : de plus en plus, la canalisation est un instrument-clé de l'aménagement des territoires. Surtout si la technique sait en installer entre raffinerie et centrale thermique, entre carrière et cimenterie, entre mine et port...



Synthèse des caractéristiques qui deviennent familières au grand public, quelques adjectifs expriment l'originalité du pipeline : il est habile et discret dans sa présence, économique et sûr dans sa vie.

Voyageant sous terre, aisément immergé, il est affranchi des servitudes qui grèvent le plan et les profils des infrastructures des autres modes de transport : souvent il est seul à pouvoir trouver un itinéraire. Respectivement capables de 35 et de 50 millions de tonnes par an — successifs records mondiaux de capacité — le Sud-Européen et le Transalpin ont 0,85 et 1 m pour diamètres respectifs. Déjà l'échelle des distances et des besoins a fait mettre en service 1,2 m pour le gaz soviétique et préparer 1,4 m ; on y étudie 2 et même 2,5 m (3) : pour être capable de 100 milliards de mètres cubes de gaz par an. On saura transporter 100 millions de tonnes de brut avec une taille plus modeste, 1,5 m par exemple : rien de commun avec l'encombrement d'une autoroute, d'une voie ferrée, d'un canal.

Economique, la canalisation l'est par essence : par sa facilité à s'inscrire dans la géographie. Elle l'est aussi par l'absence de matériel mobile et donc de poids mort ou de personnel itinérant, par la récupération intégrale de l'énergie potentielle au long des fantaisies du relief, par son très faible gaspillage d'énergie cinétique : la vitesse n'y est guère — pour les liquides — que de 50 à 200 kilomètres par jour (mais le pipeline ne s'arrête jamais, n'a pas de gare de triage...) ; parce que la résistance à l'avancement n'est que de quelques kilos par tonnes, d'un ordre de grandeur voisin de ceux du fer et de l'eau.

Bien plus que d'énergie ou de personnel, les charges annuelles sont surtout d'ordre financier : souvent pour 75 ou 85%. Mention spéciale doit être faite qui illustre la sécurité : la faible valeur des taux d'assurance, des pertes, des erreurs... la rareté des incidents. La spécificité et la fixité des ouvrages ont permis de pousser très loin de draconiennes recherches sur la sécurité, appuyées sur une instrumentation, un automatisme des plus modernes.



L'économie résulte aussi de l'efficacité des modernes chantiers de pose : linéaires et mobiles.

De sa première à son actuelle phase, de capacités respectives 10 et 35 millions de tonnes par an, le Sud-Européen a vu évoluer ainsi la répartition de ses investissements, en pourcentage :

	1963	1967
Tôle	28	24
Façonnage en tube	7	6
Pose	57	50
Installations concentrées	8	20
	100	100

Ce sous-détail exprime, d'évidence, les trois soucis majeurs du pétrolier :
 — accroître la dimension unitaire, l'investissement variant plutôt avec la racine du débit qu'avec le débit lui-même
 -- réduire le poids de tôle en élevant la nuance de l'acier. Peu après 1950, Le Havre-Paris a été construit en X 42" (4) ; dix ans plus tard, le Sud-Européen a retenu le X 52" et, aujourd'hui, le 56 et le 60" sont courants. Pour des ouvrages spéciaux, on approche X 100

(3) Le rigoureux attachement des Russes au système métrique a une incidence curieuse. Ils ont dépassé le plafond dimensionnel — 42" — des Américains dont la normalisation en nombre pair de pouces valait internationalement : demain le 1,2 et le 1,4 m seront réassimilés en 47 et 55". Il est vrai que le 2,5 m sera un 98" !

(4) Dans la norme API, le nombre représente la limite élastique de l'accès en milliers de livres par pouce carré.

- mécaniser de plus en plus un chantier qui doit être de plus en plus mobile : ceux du Sud-Européen dépassaient 1.000 m/j et les sahariens 5.000. On recherche tout à la fois la cadence de la mise bout à bout, goulot de l'avancement (par la soudure automatique par exemple) comme on lutte inexorablement contre des ruptures de rythme, imposées par les points singuliers et les points spéciaux : obstacles techniques et obstacles administratifs.

Les rapides progrès s'expliquent par le volume du marché : il dépasse 50.000 kilomètres par an ; mais les graves problèmes que pose la compétition internationale se devinent si l'on retient que plus des trois quarts sont posés sur le sol de l'Amérique du Nord. Fournisseurs et entrepreneurs américains en tirent un privilège exceptionnel.

En mer, la maturité technique est tout autre : le marché international n'est que de quelques centaines de kilomètres par an. De la récente accélération de la prospection off shore, on peut attendre de spectaculaires novations. Dès à présent le lancement ou la mise bout à bout, l'un et l'autre avec immersion progressive, permettent d'atteindre des fonds bien au-delà de 100 mètres. La technique originale E.D.F.-G.D.F. d'immersion sous traction, pour réaliser une courbe en S, a été mise au point sur faible diamètre avec aboutage en surface : elle peut être transposée vers les inévitables gros diamètres, sans doute avec aboutage sur dispositif anti-houle. Accédant à des fonds de plusieurs centaines de mètres, ces techniques sont utilisables par tous fluides : qu'il s'agisse d'adduction d'eau transmaritime ou de rejet d'effluents en mer, au-delà du plateau continental.

Il y a moins d'un quart de siècle, on tenait régulièrement aux U.S.A., seul pays doté d'un réseau, des statistiques sur la durée de vie des tubes, attaqués par la corrosion extérieure et intérieure (essentiellement due aux traces d'eau et d'oxygène dissous dans les hydrocarbures) : la durée moyenne dépassait 40 ans, mais les travaux de réparation, remplacement étaient très lourds. Depuis, protection cathodique et inhibition ont vaincu la corrosion et la durée de vie n'a plus guère de sens technique. L'amenuisement considérable des postes correspondants a avivé le rôle opposé des deux facteurs principaux du prix de revient :

- les charges financières ont une incidence inversement proportionnelle au trafic
- les charges d'exploitation, essentiellement d'énergie, croissent très vite avec lui.

Pour un pipeline ayant un certain état d'équipement il y a donc un trafic optimum.

Mais cette notion est trompeuse car un même tube connaît en général un équipement progressif en stations et dépôts d'extrémité qui, non seulement change légèrement le débit optimum, mais surtout s'étale dans le temps et exige une étude complexe où interviennent la part d'investissement demandée au capital, les emprunts, l'autofinancement... : tout ceci conjugué, normalement, avec une diminution du tarif. Le pipeline Le Havre-Paris a diminué le sien, en francs constants, de 50% en 12 ans ; le Sud-Européen de 20% en trois ans.

Chaque cas mérite une étude spécifique : internationalement, le transport par pipeline est une industrie bénéficiaire.

Le marché offert aux fournisseurs et entrepreneurs européens se caractérise par :

- une évolution accélérée de la taille des ouvrages
- une extraordinaire discontinuité. Le gaz a connu les poussées de Lacq, de la Hollande ; le brut a échelonné de cinq ans ses deux transeuropéens : le Sud-Européen et le Transalpin.

De multiples conséquences en résultent : ainsi n'existe-t-il pas en Europe de stations d'essais pour certains matériels ; les notions usuelles de propriété intellectuelle, de garantie doivent être revues pour ce qui concerne le partage entre le maître de l'œuvre et ses prestataires. D'autant plus que le remplissage en hydrocarbures et l'exploitation se font sous le couvert de la même police d'assurances.

La discontinuité du marché, la spécificité et la taille de certains ouvrages, de certains appareils ont substitué pour une part notable la négociation à la classique concurrence.

Le fait fondamental est que fournisseurs et entrepreneurs européens ne peuvent pas subsister sur le seul continent ; ils doivent impérativement exporter et affronter la compétition internationale : ils participent à cette fonction d' « ensemblier », capitale pour les nombreux pays en voie de développement. Parmi les besoins essentiels de ceux-ci figure en particulier l'énergie : c'est-à-dire les hydrocarbures. Il est typique, par exemple, de suivre l'exceptionnel effort actuel de l'Iran (où des entreprises françaises ont su prendre une place éminente).

**

L'actualité vient, avec la crise du Proche-Orient, de raviver l'intérêt de l'opinion pour le pétrole et ses courants. Un pipeline vient d'être décidé par Israël ; un autre serait étudié par l'Égypte pour compléter les échanges Mer Rouge-Méditerranée, le Canal de Suez étant de toute façon limité en capacité. D'autres lignes sont envisagées qui échappent les régions les plus brûlantes : de l'Iran à la Méditerranée par la Turquie.

Sur notre continent même, les projets ne manquent pas, à partir de la Russie : vers l'Europe du Nord, ou même vers l'Europe de l'Ouest pour le gaz naturel. Les gisements récemment découverts en Sibérie ont déjà suggéré d'étudier des débits de 100 milliards de mètres cubes : à ce niveau, la géographie des liaisons sera passionnante !

Le volume des échanges matériels atteint par les hydrocarbures a bouleversé toutes les échelles. Deux facteurs y interviennent : le navire et le tube d'acier. L'un et l'autre posent continuellement d'exceptionnels problèmes à ceux qui ont la charge d'équiper notre planète. Le second, en outre, pénétrant au cœur des terres avec une liberté toute différente des contraintes subies par les infrastructures des autres moyens de transport, se trouve être un instrument moderne, multiforme qui, bien au-delà de son jeu dans la coordination du transport, est un véritable outil de l'aménagement.

LE TRANSPORT A GRANDE DISTANCE DES LIQUIDES PAR CANALISATION

par **Gérard DREYFUSS**, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées,
Directeur des Etudes et Développement à ENTREPOSE.

Le transport par canalisation du pétrole brut et des produits raffinés commence à prendre une grande extension en Europe. Bientôt il s'étendra au transport des produits chimiques liquides ou liquéfiés et même à certains produits pulvérulents.

Les Sociétés internationales pétrolières et chimiques ont mis en place des organisations intégrées à l'échelon européen qui commencent à élaborer une politique unifiée.

Il semble intéressant que des administrations nationales prennent conscience de l'ampleur de ce phénomène et intègrent, à l'échelle nationale et si possible européenne, le transport par canalisation à leurs projets d'aménagement du territoire et d'urbanisme.

1. — DOMAINE D'APPLICATION

Nous nous proposons d'évoquer quelques aspects économiques et juridiques du transport par canalisation de liquides autres que l'eau et du rôle de ce mode de transport dans l'aménagement du territoire.

Nous écartons de notre examen malgré leur importance considérable, les transports d'eau parce que les problèmes qui les concernent sont d'une nature différente et qu'ils trouveront mieux leur place dans des exposés consacrés à l'ensemble des problèmes de l'eau. Les transports dont nous voulons parler sont ceux où s'exerce une concurrence, soit parce que la matière à transporter est en concurrence avec d'autres matières, soit parce que, pour la même matière, plusieurs modes de transport peuvent s'affronter.

Le transport par canalisation ne présente d'intérêt économique que s'il s'applique à des masses importantes. Son domaine d'application par excellence est celui des matières énergétiques, fluides ou fluidifiées. Ce terme couvre, à la fois, les matières gazeuses et liquides, deux formes présentant leurs caractéristiques propres, souvent concurrentes, qui ont eu un développement historique différent et dont l'évolution actuelle justifie des exposés distincts.

Le présent exposé traitera des transports des produits énergétiques liquides à la température ordinaire ou rendus liquides par compression et le cas échéant réchauffage modéré : c'est-à-dire pétrole brut et produits raffinés. L'emploi de canalisations pour le transport à grande distance s'est étendu plus récemment à certains produits chimiques liquides ou liquéfiés sous pression : grands intermédiaires de la chimie organique : éthylène, propylène butane, certains gaz liquéfiables sous pression et souvent produits à partir des produits pétroliers ou du gaz naturel : anhydride carbonique, ammoniac ; enfin certaines matières premières de la chimie minérale : saumure, pâte à ciment et certains déchets : boues rouges de bauxite.

Des développements récents hors d'Europe permettent d'envisager de grandes applications pour le transport de produits pulvérulents ou pâteux : charbon, soufre, phosphates, pulpe de bois etc... Certains de ces transports pourront intéresser notre continent dans un avenir proche.

2. — TRANSPORT PAR CANALISATION DU PÉTROLE BRUT ET DES PRODUITS RAFFINÉS

L'Europe Occidentale consomme actuellement plus de 400 Millions de tonnes par an de pétrole contre 600 Millions pour l'Amérique du Nord. Dans peu de temps, l'Europe aura dépassé le cap de 500 Mt/an. La production locale n'excède pas 20 Mt/an, le pétrole est donc importé en presque totalité. La structure et l'implantation des centres de traitement et de distribution tient compte de cette réalité fondamentale qui ne paraît pas susceptible de modification, même si les recherches entreprises en mer aboutissaient à des résultats intéressants.

Le transport par canalisation et l'évolution du transport maritime ont bouleversé en peu d'années la structure des installations pétrolières. Le mouvement amorcé depuis une dizaine d'années est encore en pleine évolution, comme toutes méthodes de l'industrie pétrolière.

Dans la gamme des opérations qui font passer les matières des puits producteurs de pétrole brut aux pompes à essence des distributeurs ou aux utilisateurs industriels d'extraits nobles ou de fuel, les opérations de transport jouent un grand rôle, mais bien d'autres facteurs interviennent dans le choix de l'implantation des dépôts, des raffineries et des circuits de transport.

2.-1. - Pipelines de transport de pétrole brut.

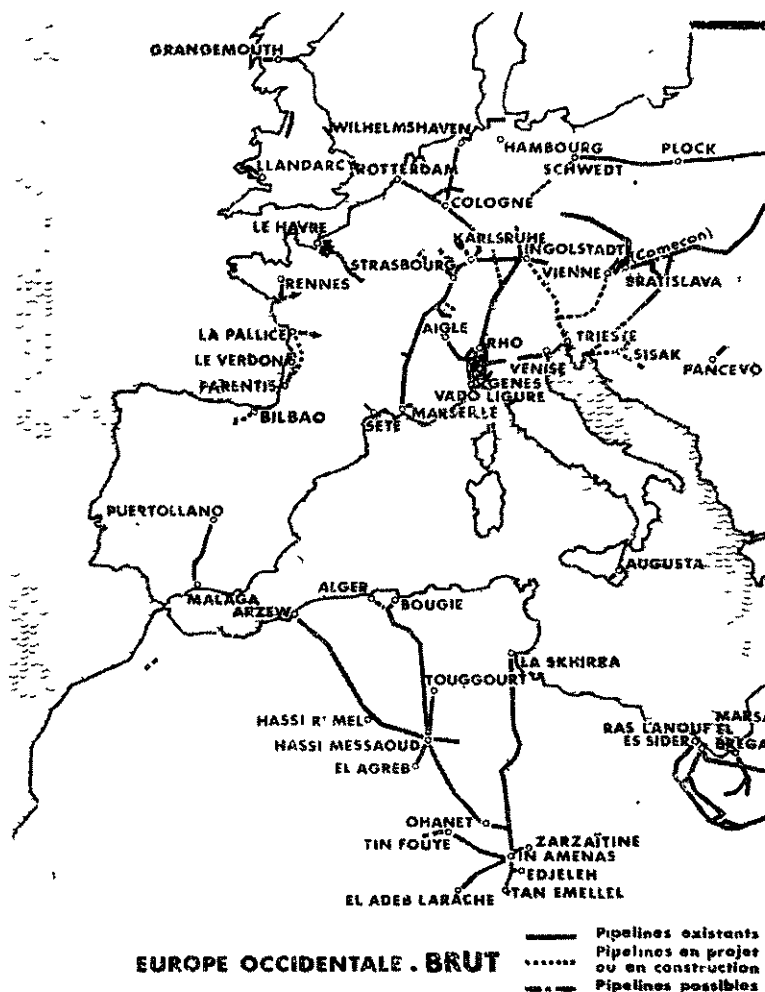
Jusqu'à une date relativement récente, les raffineries européennes étaient presque toujours situées sur les côtes, au voisinage des emplacements favorables pour la réception et le déchargement des navires pétroliers. Deux séries d'événements ont eu tendance à modifier cette situation à une vitesse extraordinairement rapide, l'augmentation de la taille des navires pétroliers et l'augmentation de la différence de coût entre le transport par grosses masses du pétrole brut et le transport final des produits raffinés, surtout à l'aide des moyens de transport traditionnels.

La course au tonnage des navires pétroliers a été spectaculaire, le tonnage moyen des navires pétroliers en service dans le monde était de 18.000 tdw en 1958,

24.000 tdw en 1962, 32.000 tdw en 1966, plus spectaculaire encore est l'augmentation de la taille des navires en commande : en 1960 : 40.000 tdw, en 1965 84.000 tdw, en 1966 : 110.000 tdw, et aujourd'hui, la situation des navires en commande est :

-- plus de 300 000 tdw	6
— entre 200.000 tdw et 300.000 tdw	76
— entre 100.000 tdw et 200.000 tdw	73

A cette énumération, il convient d'ajouter que la durée de construction des navires a diminué et qu'elle se situe actuellement au-dessous de deux ans.



Le nombre des ports européens équipés ou à équiper pour recevoir les gros navires ne peut évoluer que vers la diminution. De plus, la situation des ports ne permet généralement pas la construction de nouvelles raffineries ou l'extension de raffineries existantes au voisinage même des zones de déchargement des gros navires. Les Sociétés pétrolières doivent prévoir, entre le navire et la raffinerie, des installations de stockage plus ou moins banalisées, mais toujours onéreuses.

Le coût des manipulations d'extrémité et des passages dans les réservoirs est important, de sorte que le coût du transport entre le navire pétrolier et la raffinerie augmente avec la distance moins vite que le prix des canalisations de liaison.

Par contre, le prix du transport des produits raffinés, grevé lourdement par l'engorgement des principaux centres de consommation, diminue plus vite lorsque les raffineries se rapprochent des centres de consommation, surtout lorsqu'une partie importante des livraisons peut se faire en droiture (c'est-à-dire par camions partis de la raffinerie).

Une exploitation systématique des données économiques s'est traduite depuis dix ans par la construction de raffineries à l'intérieur du territoire alimentées par des canalisations de pétrole brut. Les premières réalisations de ce genre sont nées en Italie et en Allemagne, mais actuellement un véritable réseau européen a pris naissance, comportant notamment les ouvrages suivants :

— le pipeline NWO, entre Wilhelmshaven et Cologne Wesseling, d'une longueur de 390 km, d'une capacité initiale de 18 Mt/an qui a été mis en service en 1959, sa capacité vient d'être portée à 25 Mt/an et il dessert actuellement sept raffineries.

— le pipeline RRP, entre Rotterdam et la Rhur, d'une longueur de 400 km y compris son extension sur Francfort, d'une capacité initiale de 16 Mt/an, qui a été mis en service en 1961 ; sa capacité de transport vient d'être notablement augmentée, il dessert deux raffineries en Hollande et cinq raffineries en Allemagne.

— Le pipeline SPLSE (pipeline Sud Européen) d'une longueur de 780 km entre Marseille Fos et la Rhénanie, prolongé par des antennes importantes en France, en Allemagne et en Suisse qui a été mis en service en 1963 avec une capacité initiale de 25 Mt/an, portée à 34 Mt/an desservant actuellement quatre raffineries en France, une en Suisse et sept en Allemagne.

— Le pipeline Centre Europe, d'une longueur d'environ 900 km, joignant Gênes à la Suisse et à la Bavière à travers les Alpes d'une capacité de 16 Mt/an, mis en service progressivement de 1963 à 1967 et desservant actuellement une raffinerie en Italie, une en Suisse et quatre en Allemagne.

— le pipeline Transalpin, d'une longueur d'environ 460 km et d'une capacité initiale de 25 Mt/an susceptible d'être portée à 50 Mt/an, joignant Trieste à travers l'Autriche à la Bavière, desservant quatre raffineries en Allemagne avec une antenne projetée vers Vienne.

— le pipeline « Droujba » alimentant les pays de l'Est de l'Europe à partir de la Russie et desservant notamment la Pologne, l'Allemagne de l'Est, la Tchécoslovaquie et la Hongrie.

A ces ouvrages Trans Européens, il s'ajoute un ensemble de pipelines nationaux alimentant chacun une ou deux raffineries « intérieures » :

— En France, Donges-Rennes, d'une longueur de 90 km, mis en service en 1966 avec une capacité initiale de 1,2 Mt/an susceptible d'être doublée, Le Havre-Grand Puits d'une longueur de 250 km, mis en service en 1967 avec une capacité initiale de 7 Mt/an, devant alimenter dans l'avenir deux autres raffineries le long de la Seine en Aval de Paris.

— En Italie, de nombreux pipelines partent de Gênes pour alimenter des raffineries situées dans les zones industrielles du Nord :

Gênes - Rho 130 km, d'une capacité de 2,5 Mt/an

Gênes - Crémone 144 km, d'une capacité de 4 Mt/an mis en service en 1963

Gênes - Mantoue 125 km, d'une capacité de 2 Mt/an

Gênes - Treccate 152 km, d'une capacité de 10 Mt/an

Même la Grande Bretagne, pays essentiellement maritime, doté de larges abris naturels a dû s'équiper de pipelines de pétrole brut de longueur et de capacité relativement importantes pour assurer une alimentation convenable de ses raffineries à partir des emplacements en nombre réduit capables de recevoir des bateaux de plus de 100.000 tdw.

Le premier exemple de tels ouvrages a été le pipeline Finnart Grangemouth traversant l'Ecosse, d'une longueur de 91 km et d'une capacité de 4,5 Mt/an pour alimenter une raffinerie située au bord de l'eau, mais n'offrant pas des fonds suffisants. La raffinerie de Llandarcy située presque en bordure du canal de Bristol est alimentée par un pipeline de 96 km à partir de Milford Haven en Mer d'Irlande, Stanlow près de Liverpool a dû construire une canalisation de 18 km d'une capacité de 7 Mt/an pour accéder aux postes d'accostage des bateaux de fort tonnage, etc...

On pourrait continuer ainsi assez longtemps une énumération fastidieuse des ouvrages de transport de pétrole brut dont la longueur et la capacité augmentent à la cadence de construction des raffineries.

Le transport du pétrole brut par de telles canalisations est d'autant plus économique que le volume à transporter est important. L'orientation des Sociétés pétrolières a donc été, au cours des années passées, de réaliser en commun de grandes artères à grosse capacité ayant des origines diversifiées et un certain degré d'interconnection réel ou potentiel. Au cours des années à venir, on verra surtout se développer des antennes appartenant en propre aux Sociétés constituées pour construire les raffineries, associant autour d'un participant majoritaire, un certain nombre d'autres Sociétés désireuses de bénéficier de contrats d'échange.

2.-2. - Pipelines à produits finis.

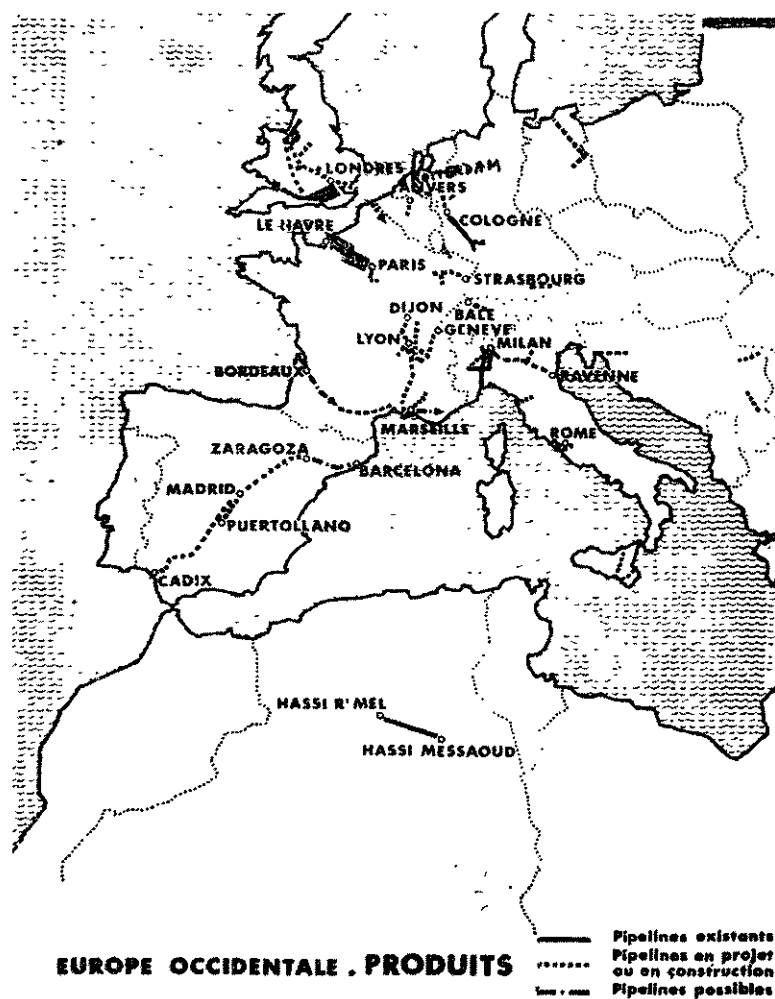
La construction de raffineries situées à l'intérieur des terres et alimentées par un réseau international de pipelines à pétrole brut à gros débit, ayant leur origine dans un petit nombre de ports très bien équipés, n'a pas empêché le développement parallèle, quoiqu'à une échelle plus modeste, de canalisations de transport pour les produits raffinés.

Ces canalisations collectent généralement les produits dans plusieurs raffineries et les livrent à un certain nombre de dépôts de distribution situés au cœur même des centres de consommation. Les produits de différentes qualités et de différentes marques s'y succèdent en séquence, suivant un ordonnancement soigneusement préparé afin de minimiser les pertes par déclassement des mélanges et le nombre de manœuvres d'aiguillage. Le premier pipeline de produits raffinés construit en Europe est le pipeline Le Havre-Paris, desservant la Région Parisienne à partir des raffineries de la basse Seine, doublant le trafic traditionnel assuré par les péniches et le chemin de fer. Le développement de la Région Parisienne a nécessité un renforcement considérable de cet ouvrage mis en service en 1953, avec un trafic initial de 1,5 Mt/an. Doublé en 1961 par une canalisation plus grosse, son trafic a été augmenté de 2,5 Mt/an, cette capacité s'est avérée rapidement insuffisante et il a fallu procéder entre 1964 et 1967 à son triplement par une conduite encore plus grosse, lui permettant une augmentation de trafic de 7 Mt/an.

Ainsi, aujourd'hui, le pétrole remonte la Seine, par péniche, chemin de fer et quatre canalisations, trois véhiculant des produits finis, une du pétrole brut. La consommation de la Région Parisienne étant particulièrement déséquilibrée entre l'été et l'hiver, l'outil de transport assurant son approvisionnement pétrolier est anormalement développé par rapport à la moyenne européenne.

Le même phénomène de développement parallèle de pipelines de pétrole brut et de produits raffinés se retrouve cependant en Allemagne, le long de cette voie d'eau admirable qu'est le Rhin.

En plus des pipelines à pétrole brut alimentant la Rhur à partir de Rotterdam et Wilhelmshaven et du pipeline Sud Européen qui longe le Rhin de Mulhouse à Karlsruhe avec des antennes jusqu'à Spire et Ludwigshafen, il vient de se créer un pipeline à produits finis doublant la voie d'eau. Mis en service entre Cologne et Ludwigshafen en 1966, ce pipeline se transforme actuellement pour avoir une capacité de plus de 15 Mt/an entre Rotterdam et Ludwigshafen.



Le trafic au pétrole le long du Rhin est donc partagé entre les péniches, deux voies de chemin de fer latérales, plusieurs canalisations de pétrole brut et une canalisation de produits raffinés.

En Belgique, l'alimentation de Bruxelles à partir des raffineries d'Anvers n'est plus assurée de façon satisfaisante par la voie d'eau et les chemins de fer. En plus de la raffinerie de Gand, alimentée par pipeline à partir d'Anvers, les Sociétés pétrolières songent à établir une canalisation de produits finis Anvers-Bruxelles.

En France, encore, le long du Rhône et de l'Isère se crée, en doublant la partie Sud du pipeline Sud Européen, un pipeline d'une longueur d'environ 800 km et d'une capacité de 10 Mt/an qui véhiculera des produits pétroliers raffinés de

Marseille à Lyon et à Genève. Le long du Rhône existeront, ainsi, en concurrence, voie d'eau, chemin de fer, canalisation de pétrole brut et canalisation de produits raffinés.

En Italie, il existe environ 500 km de pipelines à produits finis en service et autant en projet.

En Grande-Bretagne aussi, malgré les facilités d'approvisionnement par cabotage, les pipelines à produits finis se développent : Fawley-Londres : la canalisation en service va bientôt être doublée, Canvey-Londres, en service, est actuellement prolongée jusqu'à Birmingham et Liverpool.

La mise au point de procédés d'isolation thermique efficaces et économiques permet maintenant l'emploi de canalisations pour le transport de fuels lourds. En Italie et en Grande-Bretagne, il existe plusieurs canalisations à fuel de plus de 70 km. En France, il existe plusieurs réalisations modestes en longueur au voisinage du Havre, de Feyzin et de Grandpuits, et toute une série de projets pour alimenter des centrales thermiques.

3. — TRANSPORT A GRANDE DISTANCE DE PRODUITS CHIMIQUES PAR CANALISATION

Le transport à grande distance des produits chimiques par canalisation date, en Europe, de la dernière guerre. Il s'applique surtout aux gaz industriels (oxygène, azote, gaz carbonique), mais aussi aux grands intermédiaires de la chimie organique (éthylène, propylène, butène), à certaines matières premières de l'industrie lourde (ammoniac, saumure, pâte à ciment) ainsi qu'à l'évacuation de déchets industriels ou résidus de traitement (boues rouges de la bauxite).

La technique et l'économie du transport des gaz industriels s'apparentent à celles du gaz combustible, indiquons, pour mémoire, qu'il existe en France deux réseaux importants appartenant à l'Air Liquide dans le Nord et l'Est, ayant une étendue globale d'environ 400 Km de canalisations maîtresses et ayant une capacité de transport de 250.000 t/an d'oxygène et environ 150.000 t/an d'azote. Ces réseaux tendent vers une interconnexion entre eux et avec des réseaux similaires en Belgique et en Allemagne.

Le développement du transport à grande distance de produits intéressant la pétrochimie est plus récent. Implantées le plus souvent au voisinage des raffineries, les usines pétrochimiques reçoivent leurs matières premières par des canalisations qui n'ont été initialement que de simples extensions des tuyauteries des raffineries du voisinage. L'augmentation de la taille des unités a incité les Sociétés pétrolières à conclure des accords entre raffineries d'un même complexe, même éloignées. C'est ainsi que la Société SOCABU à Port Jérôme est alimentée à la fois par Esso, située au voisinage immédiat et par C.F.R. à Gonfreville, située à 25 km. Il existe, de même, des conduites inter-raffineries et inter-usines importantes dans le complexe de Berre, à Gênes en Italie, à Anvers et à Rotterdam spécialisées dans le transport de produits chimiques.

L'éthylène est, sans doute, le produit ayant donné naissance aux réalisations les plus importantes. En France, U.G.P., PROGIL et SOLVAY viennent de mettre en service un réseau de 280 km de canalisations pour desservir quatre usines à partir de Feyzin, les plus lointaines étant l'usine SOLVAY à Dôle et l'usine

PROGIL à Pont-de-Claix près de Grenoble. Cet ensemble comporte un stockage souterrain dans un dôme de sel aux environs de Bourg d'une capacité de 55.000 t environ, susceptible d'être portée à 70.000 t. La capacité du système de transport dépasse 200.000 t/an. Péchiney St-Gobain construit actuellement une canalisation de transport d'éthylène de 100 km entre Lavera-Berre et St-Auban dont la capacité dépassera 100.000 t/an. Des canalisations du même genre existent ou sont projetées en Grande-Bretagne, aux Pays-Bas et en Allemagne (Fawley-Severnside, 120 km, 80.000 t/an, mise en service en 1961 - - Wilton-Runcorn, 150 km, 200.000 t/an, Permnis-Terheusen, 100 Km, 100.000 t/an, Rhur-Francfort-Ludwigshafen, 300 km, 280.000 t/an).

Les industries de la soude et des engrais fournissent d'autres exemples de transports de produits chimiques par canalisation. Citons, à cet égard, un projet important en cours de réalisation en Lorraine et Sarre dans le cadre d'une convention franco-allemande. Les installations intéressées comprennent une raffinerie à Klarenthaln spécialement équipée pour produire des distillats légers, une importante unité de synthèse de l'ammoniac à Carling, une usine d'urée à Perl en Sarre. Le tout est complété par un réseau de canalisations de transport : un pipeline de pétrole brut branché sur le pipeline Sud Européen à Strasbourg et Klarenthal d'une longueur de 105 km et d'une capacité de transport de 3 à 4 Mt/an, un pipeline à distillats entre Klarenthal et Carling d'une longueur de 19 km et d'une capacité de 700.000 t/an deux canalisations de transport entre Carling et Perl transportant du gaz carbonique et de l'ammoniac anhydre d'une cinquantaine de kilomètres et d'une capacité de 150.000 t/an chacune.

Parmi les canalisations de soude, citons en France, la canalisation récemment mise en service de Haute rive à Grenoble d'une longueur de 80 km et d'une capacité de 200.000 t/an. Rappelons enfin, dans le domaine de l'évacuation des déchets industriels, une conduite de 35 km prolongée en mer par une canalisation sous-marine atteignant 300 m. de profondeur pour l'évacuation des boues rouges de l'usine de fabrication d'aluminium de Gardanne. Cette installation doit être doublée cette année par une installation analogue destinée à l'usine de la Barasse près de Marseille.

4. — PROBLÈMES ECONOMIQUES ET JURIDIQUES

Comme nous venons de le montrer, le panorama des réalisations européennes, en matière de transport par canalisation de pétrole, est déjà relativement important et un développement rapide est prévisible dans le domaine du transport des produits chimiques.

Il suffit de penser à l'énorme différence d'équipement entre les Etats-Unis et l'Europe, avec des chiffres de consommation tendant à se rapprocher, pour appréhender avec quelle vigueur ce mode de transport doit encore se développer.

Déjà, on peut distinguer sur la carte d'Europe la trame de véritables réseaux internationaux. Avant même que les Etats Européens aient ajusté leurs politiques générales, leurs législations et leurs réglementations générales et de sécurité, les grandes compagnies internationales ont mis en place des organisations européennes de planification, de coordination et de réalisation.

Un grand mouvement d'équipement en canalisations de transport se trouve donc lancé à l'échelle européenne par les utilisateurs en raison de l'intérêt économique qu'ils voient à ce mode de transport.

4.-1. - Problèmes d'économie.

De nombreuses analyses ont été faites pour comparer les coûts de transport par canalisation avec les coûts de transport par les moyens concurrents conventionnels.

Il ressort de ces études que l'intérêt des canalisations apparaît dès que les masses à transporter sont importantes et régulières.

Le coût d'emploi des canalisations n'est pas généralement inférieur à celui des moyens concurrents conventionnels lorsque les masses à transporter restent inférieures à 1 Million de tonnes par an pour les hydrocarbures ou 100.000 tonnes par an pour les produits chimiques plus délicats (gaz et liquides entrant dans la nomenclature des substances incommodes ou insalubres sans être très corrosives).

Il y a cependant de nombreux cas où une liaison par canalisation conduit à des coûts de transport avantageux même pour des masses faibles, c'est le cas notamment des transports sur des distances courtes dans un environnement industriel encombré.

Dans la comparaison des coûts avec les moyens de transport, on néglige souvent l'incidence des charges terminales et le fait que le transporteur par canalisation est propriétaire de son infrastructure comme de ses superstructures alors que les moyens concurrents utilisent une infrastructure réalisée et le plus souvent payée partiellement ou totalement par d'autres. Une rectification des estimations dans ce sens apporte une vue plus réaliste mais encore insuffisante, car l'utilité d'un moyen de transport est mesurée pour les sociétés pétrolières de façon bien insuffisante par le seul coût direct de transport charges terminales et infrastructure comprises.

Le transport ne constitue, en fait, qu'une étape dans l'ensemble des opérations industrielles et commerciales qui permettent, à partir des matières existant dans les gisements, de mettre à la disposition des consommateurs des produits finis élaborés par mélange et traitement de ces matières.

Les coûts de production et de traitement des matières dépendent généralement de l'emplacement des dimensions et de la continuité d'emploi des installations.

Les coûts de transport des produits finis sont beaucoup plus élevés que ceux des matières premières employées en grosse masse, et le coût des installations de traitement et de stockage plus élevé que le coût des installations de transport.

Les industriels qui possèdent à la fois les moyens de production, de transformation et de distribution des matières premières et des produits finis conçoivent leurs moyens de transport comme une partie intégrée de leur appareil industriel et commercial et disposent des éléments de cet appareil, non pour minimiser le coût du transport en soi, mais le coût total de mise à disposition des produits finis.

Les contraintes qui limitent la liberté de conception des moyens de transport sont plus fortes avec les moyens de transport discontinus qui ont l'obligation d'utiliser des infrastructures existantes partagées avec d'autres qu'avec des canalisations dont l'infrastructure appartient en propre à l'utilisateur.

Les industries intégrées profitent au maximum de la liberté de conception qui leur est laissée en matière de transport par canalisation pour disposer leurs diverses installations de la façon la plus profitable.

Il faut toutefois reconnaître en contrepartie que les canalisations ont le désavantage de fixer les courants de transport de façon plus rigide que les moyens discontinus ; cela impose des réflexions prolongées et une vue prospective du développement de la consommation préalablement aux décisions d'implantation des installations.

4.-2. - Planification et cadre juridique.

Les responsables économiques de chaque pays européen n'ont pas vu se créer sans appréhension ce besoin de planification autonome des réseaux de transport spécialisés sans liaison avec la planification des réseaux de transport banalisés dont ils ont la charge.

Placés devant les mêmes soucis de favoriser l'expansion économique nationale tout en assurant, simultanément, la rentabilité des investissements publics dont ils ont la charge, soucieux, en même temps, de protéger des intérêts importants autres qu'économiques, c'est-à-dire sociaux, esthétiques ou de défense nationale, les gouvernements responsables des différents pays d'Europe ont dû, chacun suivant son génie propre, établir des règles le plus souvent par voie législative pour encadrer juridiquement la liberté d'établissement des canalisations de transport à grande distance par des sociétés industrielles à statuts privés.

Le plus souvent, le cadre juridique est très compliqué et morcelé. En France, il existe des législations différentes pour le gaz combustible, les produits pétroliers et les produits chimiques.

D'une façon générale dans tous les pays d'Europe, la législation concernant le gaz diffère de celle des produits pétroliers liquides. De plus, dans plusieurs pays européens dont la France et la Grande-Bretagne, le transport du gaz est nationalisé. Cependant malgré la diversité des formes juridiques et des procédures, les buts recherchés et les méthodes de travail ont des analogies profondes, il s'agit toujours de concilier au mieux l'équipement économique du pays, l'intérêt des promoteurs des ouvrages de transport ainsi que les intérêts des particuliers et des collectivités qui se trouvent placés sur son chemin.

Les attitudes des différents pays diffèrent largement au sujet de la protection, au moins temporaire, accordée aux moyens de transports concurrents faisant appel à des fonds publics, au moins pour leur infrastructure, lorsque leur élimination trop rapide ou trop radicale a des conséquences sociales ou rend plus onéreuse l'organisation de la défense du territoire.

Tous s'accordent pour lutter contre le prélèvement de péages par les propriétaires du sol, les collectivités publiques et les états subordonnés, contrairement à ce qui est la règle courante au Moyen-Orient.

Quant aux méthodes de travail et aux procédures, elles ont en commun la notion de publicité, les enquêtes auprès des administrations nationales et locales chargées de la planification, des organisations professionnelles, ainsi que les enquêtes publiques ou individuelles. Elles diffèrent cependant beaucoup quant à la façon d'en traiter les résultats.

Dans les pays très libéraux comme l'Allemagne et la Suisse, les procédures sont finalement très lourdes, car le libéralisme est fortement encadré. Aucune construction d'un ouvrage de transport ne peut y être entreprise sans une large enquête publique et une autorisation administrative préalable alors qu'en France la légis-

lation est plus subtile, elle distingue, en effet, deux catégories d'ouvrages purement privés et d'intérêt général, seuls ces derniers qui bénéficient par ailleurs d'une certaine protection et de certaines facilités ont besoin d'une autorisation administrative préalable avant d'être entrepris.

4.3. - Problèmes domaniaux.

Les rapports entre les propriétaires de canalisations et les propriétaires des terrains traversés sont réglés généralement par des mesures législatives qui recommandent ou rendent obligatoire l'usage traditionnel de la notion de servitude traduite par un contrat de droit privé entre le propriétaire du sol et le propriétaire de canalisation.

La consistance de cette servitude (fixation des devoirs et obligations contractuelles des deux parties), sa valeur (fraction de la valeur du sol et de la dépréciation générale du terrain situé au voisinage de la conduite) et les sanctions en cas de violation du contrat par l'une ou l'autre partie diffère beaucoup d'un pays à l'autre, toutefois certaines dispositions sont communes d'un pays à l'autre, le transporteur conserve l'entière propriété de la canalisation et le propriétaire conserve la propriété et notamment la garde du sol ainsi que le droit de l'utiliser en s'abstenant des actes nuisibles pour la canalisation.

Dans les terrains agricoles, la procédure d'imposition des servitudes est d'application commode, dans les terrains déjà construits ou industrialisés, elle est déjà plus difficile mais la plupart des problèmes proviennent des terrains dont la vocation n'est pas définie ou peut être modifiée dans l'avenir. Suivant les législations, la nature et la vocation des terrains sont plus ou moins bien définies mais même dans les pays où les lois d'urbanisme ont prévu une délimitation précise, les procédures de changement d'affectation existent et les difficultés dépendent plus des influences respectives des particuliers, de leurs associations corporatives, des administrations locales et de l'Administration centrale que des textes législatifs et réglementaires eux-mêmes.

Dans les pays où les services publics d'eau, d'électricité, de télécommunications sont nationalisés et où les travaux d'équipement sont réalisés avec une forte subvention de fonds publics, les administrations souhaitent limiter la liberté de négociations entre les propriétaires privés du sol et les transporteurs par canalisations.

Pour ces derniers, le prix d'obtention des servitudes et le temps nécessaire pour les acquérir constituent des charges comme les autres entrant dans le bilan global économique de leurs opérations avec des poids relativement faibles, le délai ayant d'ailleurs souvent un poids prépondérant par rapport au prix.

L'intérêt immédiat des transporteurs serait souvent d'accepter des prix supérieurs à ceux pratiqués par les services publics ou imposés par voie d'expropriation, cette tendance est assez mal vue de la part des administrations ayant à pratiquer de façon permanente des acquisitions de terrains et des impositions de servitudes pour assurer des objectifs d'utilité publique, car elles contribuent à la spéculation foncière qui est, à juste titre, combattue comme étant un obstacle à l'aménagement du territoire.

La plupart des législations européennes et notamment la législation française concernant les conduites d'intérêt général permettent aux transporteurs par canalisation, en contrepartie des limitations qui lui sont imposées pour ces négociations, de bénéficier de certaines formes d'expropriation pour l'obtention des servitudes.

Les terrains appartenant à des collectivités ou organismes de droit public

ou à l'Etat avec une destination imposée (par exemple voies de circulation, emplacements réservés pour les besoins de la défense nationale, lieux de rassemblement public ou de promenade, etc...) présentent des difficultés particulières dans tous les pays européens.

Quoique les définitions et les modalités de gestion de ce genre de terrains diffèrent sensiblement d'un pays à l'autre, un caractère commun, celui d'être inaliénables, sauf mise en œuvre d'une procédure compliquée de déclassement, leur est presque partout reconnu.

On ne peut donc les grever d'aucune servitude de longue durée, ils ne peuvent être occupés qu'à titre précaire et révocable moyennant le respect d'un certain nombre d'obligations édictées par le gestionnaire.

Les règles juridiques et les procédures employées dans les divers pays d'Europe pour placer les canalisations dans cette catégorie de terrain sont très voisines, bien que les règles de détail diffèrent largement d'un pays à l'autre. Aucun projet ou travail ne peut être entrepris sans autorisation préalable, le transporteur est considéré comme un occupant particulier, il paie, à ce titre, un droit qui doit être basé uniquement sur la gêne qu'il cause et les frais que sa présence entraîne.

Les redevances d'occupation du domaine public ne comportent pas de terme ayant le caractère d'un péage basé sur le trafic ou sur l'avantage retiré par le transporteur de la faculté d'occupation qui lui est consentie. Ces dernières bases ne servent que pour l'acquittement des taxes fiscales.

5. — CONCLUSION

Le transport par canalisation du pétrole et des produits chimiques liquéfiés sous pression est destiné à se développer de façon intense en Europe au cours de la prochaine décennie.

Face aux organisations européennes unifiées, mises en place par les grandes compagnies pétrolières et chimiques, l'intérêt public dans tous les pays européens est représenté par une multiplicité de services nationaux, régionaux et communaux ayant chacun une compétence limitée, régionale ou nationale, technique ou administrative. La coordination est ou bien inexistante, ou bien occasionnelle, c'est-à-dire créée uniquement à l'occasion de chaque projet. L'initiative des projets de transport de produits pétroliers chimiques par canalisation réside donc, pour le moment, entre les mains des grandes sociétés internationales, qui s'accommodent tant bien que mal des diversités de législation, de réglementation, et des multiples enquêtes et formalités qu'elles doivent accomplir pour faire réaliser leurs projets. Ces derniers sont souvent retardés par les conflits qu'elles provoquent avec les projets d'aménagements nationaux ou régionaux. Une amélioration de la situation présente serait l'intégration de la notion de transport de produits pétroliers et chimiques par canalisation dans les projets d'aménagements régionaux et urbains.

Il serait évidemment souhaitable, mais cela paraît encore assez utopique, qu'une section permanente d'études, au niveau européen, permette de confronter les points de vue des différentes nations intéressées.

Nous souhaitons que les quelques indications données dans le présent article, au sujet de l'extension des canalisations pétrolières et de produits chimiques en Europe, et des problèmes juridiques et économiques que leur implantation pose, constitue une information valable pour les camarades qui seront amenés à participer aux études d'aménagements régionaux, nationaux et européens.

LE TRANSPORT DU GAZ

PAR CANALISATIONS

Par **René FORT**, Ingénieur en Chef des Mines,
Directeur de la production et du transport à Gaz de France.

Selon la prophétie de son inventeur, Philippe LEBON, le gaz manufacturé avait un avenir industriel assuré grâce à sa faculté d'être transporté par canalisation. De fait, il devait progressivement accroître son rayon d'action, passant d'abord d'un transport très local autour de micro-usines à un transport urbain, qu'on désigne actuellement par le vocable « distribution », puis à un transport régional (Nord de la France) et même interrégional (Artère Lorraine-Paris).

Ce que n'avait pu prophétiser son inventeur, c'est que ce gaz manufacturé se heurterait à la concurrence du gaz naturel qui, disposant de la même faculté de transport par canalisation, présente par ailleurs de nombreux avantages, parmi lesquels nous citerons son haut pouvoir calorifique, sa pression à la sortie des puits, le caractère fatal de certaines découvertes, l'importance de certains gisements et l'intérêt économique de certaines récupérations. Cette concurrence réduit dans une très large mesure le domaine d'élection du gaz manufacturé, au point d'inciter à en rechercher le placement au plus près des lieux de production, voire d'arrêter les usines lorsque celles-ci ne sont pas nécessaires à la production du coke, mais, en contrepartie, elle donne au transport du gaz par canalisation une ampleur considérable.

Pour ne citer que l'exemple de la France, si, lors de sa réalisation en 1952, l'artère amenant le gaz de Lorraine à Paris a pu faire figure de « grand » transport de gaz, elle apparaît aujourd'hui bien modeste avec ses 300 km en 300 mm de diamètre, alors que les artères principales du réseau transportant le gaz de Lacq hors du Sud-Ouest ont une longueur totale de 1.500 km, le tronc commun, réalisé en 600 mm de diamètre, ayant déjà une longueur de 350 km.

Cette progression n'est d'ailleurs pas terminée car le réseau destiné à transporter en France le gaz en provenance des Pays-Bas aura des diamètres encore plus importants. Si le tronc commun en 900 mm n'a que 4,5 km, c'est qu'il était préférable économiquement de situer très près de la frontière le point de départ des trois artères devant approvisionner la Région Parisienne (187 km en 750 mm de diamètre), l'Est (départ en 600 mm sur 63 km) et le Nord (départ en 600 mm sur 75 km).

Et si l'on ajoute qu'il existe dans le monde des transports s'effectuant sur plus de 3.000 km et des canalisations de très grande longueur dépassant 1 m de diamètre, que l'Union Soviétique va poser des canalisations de 1.220 mm de diamètre, étudie des canalisations de 1.420 mm de diamètre et n'exclut pas l'idée d'aller jusqu'à des diamètres de 2 mètres, on appréciera la différence d'ampleur qui caractérise ces transports par rapport à ceux qui concernaient le gaz manufacturé, c'est-à-dire, pour les plus importants, du gaz excédentaire des cokeries minières et sidérurgiques.

Comme le coût d'un réseau de transport de gaz est constitué pour l'essentiel de charges fixes, dans lesquelles l'amortissement et les charges financières des équipements représentent eux-mêmes un pourcentage très important, la conception générale d'un réseau, portant en particulier sur son dimensionnement, est donc une opération capitale. Basée sur des données commerciales et techniques, elle doit résulter d'une synthèse économique tenant compte de diverses contraintes, notamment financières.

Comme un exposé d'ensemble des méthodes mises en œuvre pour effectuer une telle synthèse sortirait toutefois du cadre d'un simple article, celui-ci se bornera donc à donner une présentation synthétique des choix successifs, en indiquant succinctement les données qui les conditionnent et en insistant sur certains aspects techniques primordiaux.

LES ETUDES TECHNICO-ECONOMIQUES

Choix des diamètres, des pressions et du type d'acier.

La loi d'écoulement générale d'un fluide gazeux parfait dans une canalisation horizontale peut se mettre sous la forme :

$$P_1 - P_2 = \frac{16 q_0}{\pi} \cdot \frac{P_0 T}{T_0} \cdot \frac{Q_0 L}{D^5} \lambda \quad (\mathcal{R})$$

où P_1 et P_2 représentent les pressions aux extrémités amont et aval de la canalisation, L et D la longueur et le diamètre interne de celle-ci, Q_0 et q_0 le débit et la masse spécifique du gaz dans les conditions de référence P_0 et T_0 , T la température du gaz transporté, λ (\mathcal{R}) un coefficient fonction du nombre de Reynolds. La représentation la plus simple est celle du faisceau de Nikuradse, donnée ci-

dessous (fig. 1). λ y est donné en fonction du nombre de Reynolds $\mathcal{R} = \frac{U_0 q_0 D}{\mu}$

où U_0 représente la vitesse moyenne du gaz dans les conditions de référence, soit $\frac{4 Q_0}{\pi D^2}$ et μ son coefficient de viscosité. On voit que seul \mathcal{R} intervient dans l'écou-

lement laminaire. Par contre, dans l'écoulement turbulent, apparaît l'incidence de la rugosité, que Nikuradse a fait intervenir par le rapport e/r dit « coefficient de rugosité de la paroi » (e est la hauteur des aspérités, r le rayon).

Pour les calculs pratiques, on est conduit à utiliser diverses formules :

L'une est la formule de Renouard, représentée sur la figure 1 par la courbe III ; elle correspond à $\lambda = 0,172 R^{-0,16}$. Elle est basée sur la constatation que la plupart des cas concrets correspondent à des couples de valeurs Q , D qui, pour des raisons économiques, ne peuvent situer λ au-delà de la courbe IV.

L'autre, plus usitée pour les grands transports de gaz naturel, est la formule dite de la Panhandle B, qui se présente ainsi :

$$P_A^2 - P_B^2 = \frac{16 q_0}{\pi} \frac{P_0 T}{T_0} \left(\frac{Q_0}{E} \right)^2 \frac{L}{D^5} Z_m (0,0147 R^{-0,025})$$

dans laquelle E est un coefficient d'écoulement, fonction de la rugosité effective du tube et de son diamètre et Zm le coefficient de compressibilité du gaz (qu'on peut introduire aussi dans la formule de Renouard).

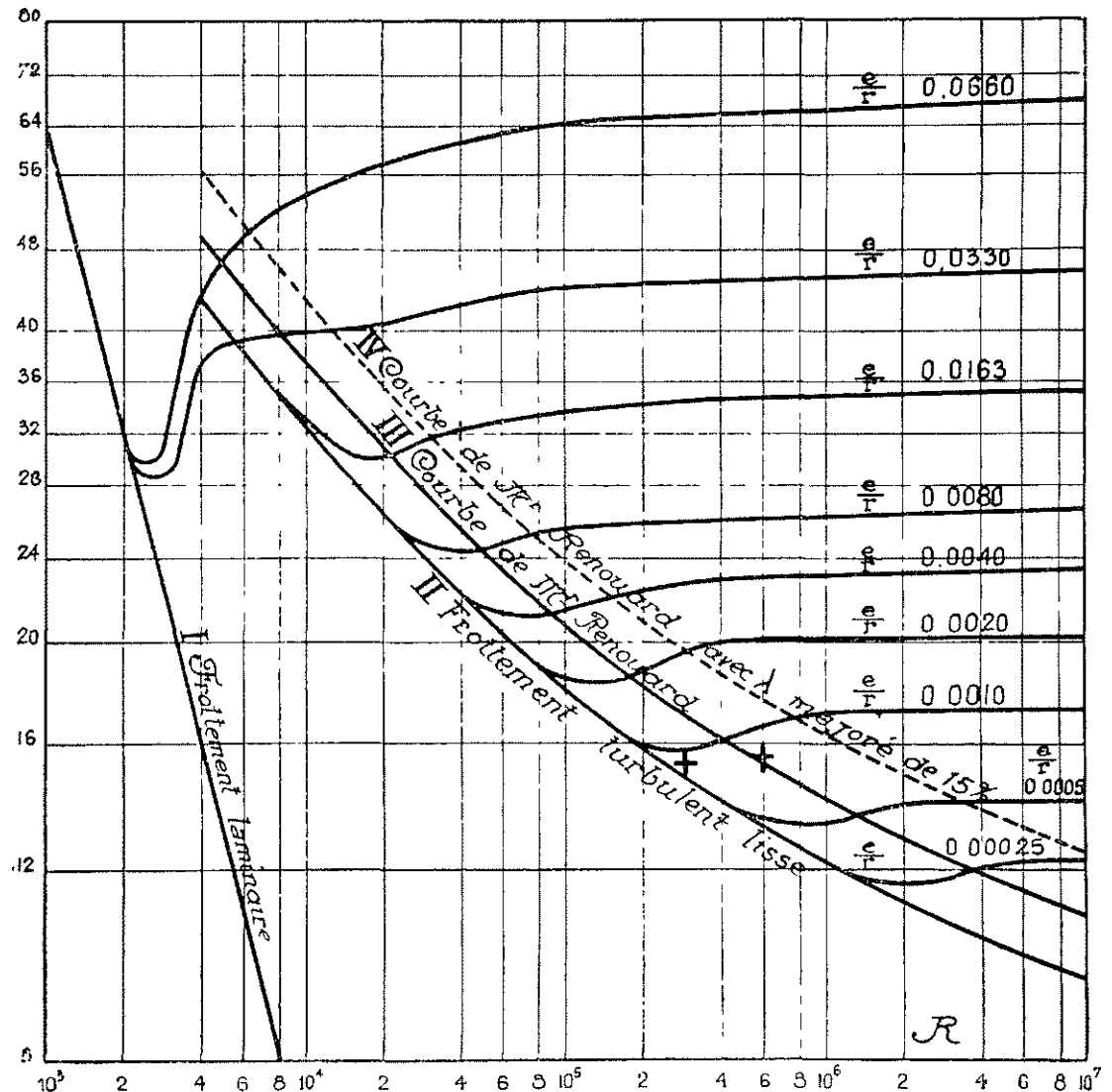


Figure 1. — Courbe de M. Renouard

Ce rappel de connaissances spécialisées est donné à deux fins :

- d'abord pour faire ressortir une première complexité d'ordre technique : celle de choisir une loi suffisamment représentative dans le domaine des choix effectifs — c'est-à-dire des couples Q — D rencontrés en pratique — pour que l'optimum économique soit bien le meilleur,

- ensuite pour mieux situer le problème élémentaire du choix du diamètre et de la pression : la formule montre en effet comment la pression P_A dépend du diamètre D à choisir, et des données que sont le débit à transporter et la pression P_B à assurer à l'arrivée. On voit donc qu'il faut déterminer le couple optimal $D - P_A$.

En fait, il n'y a pas un problème type à résoudre, mais des variantes assez nombreuses. En particulier :

- le débit Q est en général modulé dans l'année et aléatoire ; il croît d'année en année selon une tendance plus ou moins rapide
- il existe divers types de compresseurs ; les plus couramment utilisés pour les grands transports sont les compresseurs auto-moteurs à piston et les groupes turbo-compresseurs, utilisant tous deux le gaz transporté comme fluide moteur ; les compresseurs centrifuges entraînés par moteurs électriques sont utilisés cependant assez fréquemment pour les petits transports
- il existe divers types d'acier et de modes de fabrication pour les tubes.

Mais, malgré la multiplicité des problèmes réels ainsi posés, il est possible, selon la méthode cartésienne qui nous est chère, de décomposer les difficultés en éléments parfaitement accessibles au calcul et d'arriver, grâce aux connaissances ainsi acquises, à poser ces problèmes réels sous une forme simplifiée.

C'est ainsi que la connaissance approximative du diamètre et de la pression impose pratiquement le mode de fabrication des tubes et permet de choisir le type d'acier. On a constaté en effet que l'utilisation d'aciers de caractéristiques mécaniques plus élevées permettait des économies appréciables, mais leur usage ne présente pas d'intérêt pour de faibles diamètres ou de faibles pressions, car des contraintes de fabrication ou de conservation de la forme des tubes malgré les vicissitudes du transport et de la pose rendent nécessaire un minimum d'épaisseur.

De même, l'importance du débit à comprimer, les coûts respectifs du gaz et de l'électricité, la longueur du branchement électrique permettent de définir a priori la nature du fluide moteur utilisé. Sur les grands transports de gaz, où le prix du gaz élimine automatiquement l'électricité, le choix entre types de compresseur dépend de la modulation du débit.

Avec ces données, il est relativement facile de résoudre le cas du transport d'un débit modulé, aléatoire mais sans croissance annuelle. L'extension au cas des débits en développement sera donné dans un chapitre ultérieur.

Pour un transport de longueur donnée, on constate que la pression optimale décroît lorsque le débit croît. De même, lorsque, pour un même débit, la longueur du transport croît, le diamètre décroît ! Ces évolutions, a priori paradoxales, s'expliquent parfaitement quand on examine comment varient les coûts moyens et marginaux de la canalisation et de la compression.

On constate d'ailleurs que la pression P_L à laquelle le gaz est livré à l'amont de la canalisation n'intervient pas dans le choix du couple optimum $D - P_A$. Par contre, il intervient dans le coût du transport, le coût de la compression étant d'autant plus faible que P_L est plus élevé. Enfin, si P_L est suffisamment élevé par rapport à P_B , on peut préférer une solution évitant la recompression, avec un diamètre un peu plus fort. Outre que cette solution peut être plus avantageuse si le coût du grossissement de la canalisation est plus faible que les frais inévitables liés à l'existence d'une recompression, elle peut être aussi d'une fiabilité plus grande, les incidents sur compresseur étant moins exceptionnels que les incidents sur canalisation.

Une autre discontinuité intervient au niveau du taux de recompression, lorsque la température du gaz sortant de la station risque de provoquer certaines anomalies, notamment sur la tenue du revêtement extérieur. Dans ce cas, il faut adjoindre un refroidissement.

Une variante est introduite dans les études par la possibilité de réduire la rugosité du tube en faisant déposer un film très mince de revêtement interne. Sur la figure 1, on voit l'influence que peut avoir la réduction de la valeur e/R , le rayon n'étant pas changé du fait de la très faible épaisseur de ce film (60 μ).

A pertes de charge égales, on obtient un accroissement de débit de l'ordre de 6 à 9%. Cette technique, peu développée en France en raison du coût de l'opération et du moindre taux d'utilisation des canalisations de transport, va prendre un essor certain grâce aux dispositions envisagées pour la mettre en œuvre dans les usines de fabrication des tubes. Néanmoins, les prix actuels rendent ce traitement pratiquement sans intérêt pour les tubes de diamètre inférieur à 400 mm. Bien entendu, une telle opération peut être nécessaire par ailleurs, par exemple pour protéger la canalisation contre une corrosion intérieure, mais dans ce cas, le film protecteur est sensiblement plus épais.

Optimum de recompression et de pression maximale de service.

Lorsque la distance sur laquelle doit s'effectuer un transport de gaz dépasse 300 km, il peut être avantageux d'effectuer une recompression en cours de route.

L'intérêt d'une telle disposition tient à la forme quadratique de la loi de pertes de charge — la chute de pression étant d'autant plus importante que la pression est plus basse — et à la façon dont se présentent les frais de recompression, comportant à la fois des charges fixes, liées à l'existence de la station, et des frais proportionnels au logarithme du taux de recompression.

Il est donc nécessaire pour en définir l'optimum, d'étudier comment varie le coût du transport d'un débit Q de gaz, sur une longueur L , en fonction du diamètre de la canalisation, de sa pression maximale de service, et du taux de chaque recompression (1).

On démontre qu'à pression maximale de service donnée :

- le gaz doit être recomprimé à cette pression maximale dans chaque station
- le diamètre de la canalisation, lorsqu'il n'y a pas de fournitures en cours de route doit rester constant d'un bout à l'autre. (D'une façon plus générale, on démontre que l'optimum se caractérise par une perte de charge quadratique kilométrique optimale)
- le taux de recompression économique est le même pour toutes les stations. Il diminue lorsque le débit augmente et se situe en général entre 1,5 et 1,2
- la distance entre les stations de recompression est la même. Cette distance se situe en général entre 100 et 150 km. Le dernier tronçon est naturellement plus long que les autres puisque la pression peut descendre à un niveau assez bas.

Quant à la pression de service, les études montrent que l'optimum se situe vers 60 bars pour du gaz manufacturé et vers 100 bars pour du gaz naturel. Toutefois cette dernière valeur est assez théorique, car elle est basée sur des valeurs

extrapolées ; certaines difficultés pressenties sur l'incidence de l'élévation de l'épaisseur des tubes et sur les conditions d'approvisionnement des équipements annexes du réseau, laissent penser que le gain théorique de quelques points qu'on peut obtenir entre 70 bars et 100 bars est assez fictif. Cependant lorsque la pression est gratuite, il est intéressant de dépasser 70 bars et le Gaz de France profite de cette circonstance au soutirage du réservoir souterrain de Chémery pour tester le prix de revient effectif d'une canalisation dont la pression maximale de service est de 80 bars.

Lorsque le débit de transport est modulé, la puissance installée doit permettre le transit du débit maximal, avec la fiabilité jugée normale. En période de moindres débits, la puissance effectivement utilisée diminue et différentes optimisations économiques apparaissent encore :

- quel est le programme d'emploi des stations qui assure le transport aux moindres frais ? Ce programme doit être conçu pour permettre d'effectuer au mieux les révisions des groupes. Comme l'optimum doit se déterminer sous contrainte (par ex. indisponibilité de certains groupes) on peut définir à tout instant l'optimum par calculatrice électronique,
- quels sont en conséquence les types de stations les mieux appropriées pour assurer le service demandé ? En effet, le coût à l'équipement des turbo-compresseurs centrifuges étant plus faible que celui des automoteurs à pistons, mais leur rendement les classant dans l'ordre inverse, il existe un taux d'utilisation annuel au-dessous duquel le premier type d'équipement devient plus avantageux que le second. En fonction de la modulation prévue sur les diverses branches d'un réseau, il est donc possible d'avoir plusieurs types de station. C'est ainsi que sur l'artère dite du Centre-Est alimentant en gaz de Lacq les régions de Lyon et Dijon, il existe trois stations : deux équipées d'auto-moteurs à pistons (Roussines et Vindeey), l'autre équipée d'un groupe turbo-compresseur (St-Victor).

Incidence du développement.

Dans de nombreux cas, la canalisation alimente des clients qui ne disposent pas de moyens de régulation, le transporteur n'ayant pas non plus intérêt à en créer. L'équipement de transport doit être conçu pour assurer le débit appelé en toute période, c'est-à-dire en définitive le débit maximal dit d'extrême-pointe. Celui-ci se situe en général en hiver (sauf pour les stations balnéaires) et s'accroît d'année en année.

Lorsque le dispositif arrive à saturation il faut renforcer, soit par une station de compression, soit par un doublement de canalisation qui peut être progressif. C'est le problème classique des chaînes d'investissement, l'objectif étant tout d'abord de choisir le premier maillon, c'est-à-dire le diamètre de la première canalisation. On définit l'optimum par l'horizon économique, c'est-à-dire le nombre d'années au terme duquel la canalisation devrait être renforcée.

L'expérience révèle que le renforcement par station ne peut concerner que les antennes assez longues (au moins 200 km) et qu'il ne présente qu'un intérêt momentané. Il est alors indiqué de l'assurer par une station mobile.

Le doublement est d'intérêt plus général. La recherche de l'optimum porte sur le diamètre et sur l'échéancier des divers tronçons à poser — ainsi qu'éventuellement sur une variante de tracé.

Quelques conclusions générales se dégagent de ces études :

- les tronçons dont le renforcement s'impose en priorité sont ceux dont les pertes de charge quadratiques par unité de longueur sont les plus fortes
- une erreur sur le développement a moins d'importance qu'on ne le pense a priori. Si, par exemple, la saturation est atteinte en 9 ans pour une canalisation dont l'horizon économique était de 15 ans, l'optimum aurait été de mettre une canalisation de diamètre supérieur, mais le supplément de coût subi du fait de cette erreur n'est que de 4%. Ce taux s'accroît cependant très vite si l'erreur est plus importante
- il est essentiel de fixer avec précision la date à laquelle un renforcement doit être effectué. Une réalisation trop tardive fait courir un risque de défaillance. Une réalisation un an trop tôt coûte l'anticipation, soit le taux d'actualisation
- il faut éviter de compenser le risque d'erreur à court terme en attendant le dernier moment pour prendre la décision de renforcement. Cela conduit à bousculer la réalisation d'opérations qui demandent elles-mêmes un minimum d'études.

Une tendance actuelle fâcheuse est en effet de croire que, seules, les études économiques procurent des économies appréciables. En réalité, elles en procurent moins que les améliorations techniques (2), mais elles les procurent plus systématiquement. Encore faut-il qu'elles s'inscrivent dans un planning général pour ne pas apporter de perturbation dans la réalisation des équipements, faute de quoi elles deviennent plus nocives qu'utiles. On rencontre un risque de cette nature lorsque le démarrage des travaux de pose des canalisations est retardé et lorsque la réalisation déborde sur la mauvaise saison.

Les canalisations principales, de grande longueur et de gros diamètres, posent des problèmes propres d'adaptation au développement.

Lors de la mise en place d'un nouveau réseau de transport, la nécessité de poser immédiatement des canalisations dimensionnées pour l'horizon économique permet d'étaler l'échéancier de mise en service des stations de compression. Mais le délai d'installation de celles-ci est assez important (18 mois à 2 ans selon les types) et si l'on veut ne les installer qu'à la dernière limite, il est indispensable que les prévisions à 2 ou 3 ans soient très précises.

Ultérieurement, les renforcements s'obtiennent, soit en mettant des stations intermédiaires, soit en augmentant le taux d'utilisation annuel, par exemple par mise en service d'un réservoir souterrain à l'extrémité aval, soit enfin en doublant la canalisation. Dans ce cas, ce doublement doit porter sur chacun des tronçons compris entre deux stations, mais toujours avec possibilité d'un doublement partiel.

Optimum de tracé et d'implantation des ouvrages.

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, notamment pour compenser les dégâts aux cultures. L'idéal serait évidemment un terrain dépourvu d'obstacles et de faible valeur agricole, portant bien les engins mais facile à creuser, ... mais en France on rencontre souvent des terrains riches, des vignes, des massifs boisés importants, des marais, du rocher, des rivières, des routes, des voies ferrées, des agglomérations sans compter les terrains militaires, les aérodromes, etc...

Certains de ces obstacles comme les traversées de rivières, de routes, de voies ferrées, sont de toute façon à accepter, mais on peut réduire les frais correspondants par un choix judicieux. D'autres ne peuvent être évités que par un parcours très allongé de sorte qu'un optimum doit encore être trouvé, les allongements n'étant acceptables que s'ils conduisent à une économie globale. On constate alors que l'allongement économique moyen est assez fort pour les petits diamètres et se réduit énormément pour les gros.

L'étude des tracés comporte un autre type de problème. Un réseau devant desservir de nombreux clients, quelle structure schématique faut-il lui donner pour avoir les dépenses minimales ?

Ce type de problème est assez complexe sur le plan théorique, mais en pratique, les solutions sont rapidement cernées et, d'après ce qui précède, les possibilités du terrain imposeront alors leur contrainte.

La solution pour le problème élémentaire du réseau en Y s'obtient en prenant un schéma approximatif, en déterminant alors les diamètres nécessaires compte tenu des besoins à l'horizon économique et en cherchant la forme du Y qui conduit au minimum de dépenses. Si le réseau est ramifié, on opère par approximations successives.

Mais, dans de nombreux cas, on ne connaît pas a priori les clients à raccorder au moment où l'on lance la réalisation des canalisations. C'est normalement le cas pour les grandes artères qui, heureusement, sont beaucoup moins sensibles à l'intérêt des inflexions locales. Pour ce type d'équipement on étudie donc les schémas par grandes masses de consommateurs, la loi des grands nombres permettant de supputer un nombre convenable de raccordements.

L'implantation des stations de compression soulève enfin un dernier problème. Si l'optimum théorique les situe à une distance bien déterminée, les unes des autres, on peut, pour des raisons de terrain, jouer quelque peu sur cette distance, quitte à changer légèrement la puissance de la station.

De même, la structure générale joue un rôle important dans ces choix, car il est la plupart du temps intéressant de situer une station aux nœuds du réseau, les pressions nécessaires en tête des canalisations aval n'étant pas toujours les mêmes. Cette disposition permet notamment un by-pass du gaz à destination d'une des artères.

Ceci ne veut pas dire d'ailleurs que la situation des stations doit être adaptée à la structure du réseau supposée fixée a priori, mais que l'une et l'autre doivent être éventuellement aménagées pour conduire à un optimum réel.

Intérêt de la régulation.

La part importante des frais fixes du réseau rend extrêmement avantageux d'avoir des débits régularisés.

Ceci peut s'obtenir, soit en trouvant des consommateurs supplémentaires en été, soit en « effaçant » certains consommateurs en pointe. Ces solutions peuvent ne pas présenter d'intérêt économique si le prix offert par les premiers est trop faible ou si la compensation demandée par les seconds est trop forte. L'expérience prouve que leur intérêt s'accroît lorsque les prix du gaz naturel sont plus bas à l'achat.

Les techniques de régulation par stockage ont un intérêt particulier parce qu'elles permettent, au lieu de brader le gaz d'été, de le réserver à des usages plus nobles.

Les méthodes utilisées étant décrites dans un autre article, nous n'insistons pas sur ce point, en précisant seulement que :

- si des structures aptes au stockage sont reconnues avant la pose du réseau, on peut avoir intérêt à aménager le tracé en conséquence
 - les réservoirs souterrains en nappe aquifère permettent souvent une régularisation portant sur des volumes importants, alors que les cavités creusées ou obtenues par dissolution de massif salifère ne peuvent servir qu'à des stockages limités. Le rôle des premiers est donc beaucoup plus important car il permet une régulation plus poussée des équipements amont, alors que celui des seconds se limite à un écrêtement de la pointe
- la gestion simultanée de plusieurs réservoirs pose des problèmes de Recherche Opérationnelle analogues à celle des réservoirs saisonniers d'E.D.F.

LES ETUDES DE SYNTHÈSE

Malgré la multiplicité des optimums partiels qui les caractérisaient, les études présentées jusqu'ici ne concernaient que les choix techniques sur des *données* commerciales, correspondant à un marché déterminé, même si les besoins ainsi recensés sont évolutifs et aléatoires. Il faut maintenant franchir un nouveau pas et intégrer ces connaissances dans la recherche d'un optimum d'ensemble, approchant ainsi d'un peu plus près les choix fondamentaux de l'entreprise.

Optimum de placement.

Du gaz étant disponible, soit au départ d'un gisement, soit par mise à disposition contractuelle en un point donné (cas d'une livraison frontalière ou d'un débarquement de méthane liquide), il convient de déterminer l'extension à donner au réseau de transport et les tarifs qui seront pratiqués pour obtenir la meilleure valorisation des ressources.

S'il n'est pas exclu de poser le problème sous une forme très générale en laissant aux tarifs locaux une expression indéterminée et en cherchant la valeur à leur donner pour obtenir un optimum d'ensemble, une telle formulation serait inextricable et pourrait conduire à des tarifications aberrantes. En pratique, on est conduit au contraire à se fixer certaines contraintes, résultant d'une éthique économique :

- le niveau du tarif s'élèvera au fur et à mesure de l'éloignement du point de livraison. Ce principe peut d'ailleurs être atténué, sous la forme inverse « le tarif ne diminuera pas... » car on peut très bien justifier des tarifs stationnaires tout le long d'une canalisation
- le marché sera concurrentiel, ce qui exclut les discriminations et les rabais occultes. Il est donc nécessaire en particulier de définir une structure tarifaire qui évite la discrimination en fonction de la modulation. En termes économiques, il faut éviter que la rente de rareté — qui est à l'origine une rente minière — puisse s'accroître de la rente du consommateur.

Avec ces contraintes simplificatrices, les calculs restent néanmoins laborieux. Il est nécessaire, pour les résoudre avec une certaine rapidité, d'opérer sur calculatrice électronique.

A la base, il faut naturellement une étude de marché menée systématiquement (3), dont les résultats sont synthétisés par zones a priori desservies par une même canalisation. Le coût des antennes peut être estimé globalement ou, si l'on désire une précision plus grande à un niveau avancé de l'étude, en mettant en évidence certains coûts partiels.

Dans ces études, il y a une interférence inévitable avec les problèmes qu'ont à résoudre simultanément les entreprises de recherche pétrolière et, comme toujours, en matière économique, deux solutions sont possibles :

- l'une tendant à établir une dialectique entre les entreprises intéressées par exemple en examinant en commun les conséquences d'un placement complémentaire qui, en contre-partie de recettes supplémentaires, présente l'inconvénient d'un épuisement plus rapide du gisement (ceci n'étant vrai que pour les régimes d'exploitation déjà rapides)
- l'autre se bornant à des négociations sur la base d'offres parfaitement définies.

Si la première paraît préférable, elle peut, dans certaines situations, conduire à des difficultés. Ce sera le cas lorsque une entreprise productrice devra négocier avec plusieurs acheteurs auxquels elle doit assurer l'égalité de traitement. C'est d'ailleurs la situation qui existe pour le transporteur qui doit définir ses tarifs. Il les établit au départ et les contrats se signent sur ces bases. Si au cours d'un certain nombre de négociations il apparaît qu'une variante faciliterait la conclusion d'assez nombreux contrats, il peut l'introduire dans ses tarifs mais elle devient alors d'application générale.

Caractéristiques de la demande.

Il est important, lorsqu'on fait une étude de synthèse, de tenir compte des caractéristiques de la demande et en particulier des points suivants :

- 1) Modulation
- 2) Alea l'affectant dans le temps
- 3) Rythme ou paliers de développement
- 4) Permanence dans le temps
- 5) Contraintes influant éventuellement sur ces éléments.

Il est impossible de décrire dans le détail tout ce qui intervient dans une telle analyse. Nous nous contenterons d'en donner des exemples par nature de marché.

Le marché du chauffage des locaux (Distributions Publiques essentiellement) est modulé et aléatoire, puisqu'il est en corrélation linéaire très étroite avec la température extérieure. Son rythme de développement est de forme continue mais les accroissements annuels peuvent présenter des fluctuations. Le risque de décrochement du consommateur est faible (*). Le développement est soumis à di-

(*) Ceci tient à l'importance des frais de conversion par rapport aux gains annuels escomptés. Ceci explique l'ampleur de la concurrence sur le marché de la construction neuve.

verses contraintes (rythme de conversion des appareils d'abonnés, possibilités des installateurs d'appareils chez les abonnés, etc...).

Le marché industriel se présente très différemment. En général, peu module, ses développements se font par paliers. Le risque de décrochement est plus important car le coût relatif des transformations pour passer à une autre énergie diminue lorsque le niveau de la consommation augmente.

L'échéancier des décisions concrètes.

Ayant défini un optimum de placement, l'entreprise, qui dispose de moyens humains et financiers déterminés, doit définir un échéancier de réalisations coordonnées.

Toutefois, ces divers aspects ne concernent pas exclusivement l'entreprise car :

- l'optimum de placement peut être infléchi par une politique d'aménagement du territoire. On constate d'ailleurs des réactions très diverses à ce sujet, le gaz étant dans de nombreux cas considéré comme un facteur essentiel du développement régional, mais étant au contraire, dans les zones minières, considéré comme un concurrent dangereux. L'expression « serpent à tête chercheuse » utilisée par J. DESROUSSEAUX pour désigner une canalisation de transport de gaz, montre bien la crainte qu'il inspire. Et pourtant, la canalisation n'a en général qu'une capacité de transport limitée, représentant souvent moins en équivalent énergétique qu'une raffinerie de pétrole
- les moyens financiers peuvent être accrus par décision des Pouvoirs Publics pour permettre à l'entreprise de développer ses investissements au niveau de l'optimum.

C'est ainsi que le gisement de Lacq fut mis en exploitation plus rapidement qu'il ne devait l'être selon les plans étudiés en commun à l'origine par la S.N.P.A. et le G.D.F. (4). Ceci n'a d'ailleurs pas été sans poser des problèmes ardues aux techniciens, en particulier pour la fabrication des tubes et la pose des canalisations, mais le planning a pu être effectivement raccourci de près de deux ans.

Des décisions opposées ne sont pas exclues et tous ceux qui ont la responsabilité de travaux savent les conséquences qu'elles peuvent avoir.

En supposant ces aspects intégrés à l'action de l'entreprise, celle-ci se trouve donc devant divers échéanciers possibles, entre lesquels elle devra faire un choix. Les études correspondantes sont menées selon les techniques habituelles, mais certains choix étant évidents, il se révèle souvent seulement nécessaire de faire porter les études sur quelques franges à préciser.

Dans ces études, toutes les données doivent être intégrées, y compris l'existence éventuelle d'un réservoir souterrain, car celui-ci peut apporter à l'exploitation ultérieure des avantages considérables de régularisation et surtout de couverture des aléas sur la vitesse de placement.

La réutilisation des artères de transport antérieurement affectées au gaz manufacturé ne peut se faire en particulier que très progressivement, chaque Distribution Publique ou chaque client industriel devant être converti avant que le gaz naturel puisse progresser jusqu'au consommateur suivant. Cela impose de toute évidence des délais qui doivent être intégrés dans l'élaboration de l'échéancier.

La concurrence - Les zones d'influence.

La concurrence entre les divers fournisseurs éventuels de gaz naturel ne peut évidemment pas se présenter sous la même forme que celle qui s'exerce entre producteurs d'automobiles.

La société concessionnaire d'un gisement perd, si elle tarde trop à l'exploiter, une différence importante de valeur actualisée sur sa rente minière. Toutefois, les engagements à prendre avec l'acheteur portant sur des volumes importants, le vendeur peut estimer plus avantageux de prendre le risque d'un retard dû aux négociations s'il espère en obtenir quelque avantage par m'.

Encore faut-il distinguer le cas d'un vendeur lié par une obligation d'égalité de traitement et celui d'un vendeur libre d'agir à sa guise.

Mais un autre aspect a son importance : la desserte d'un marché assure une « occupation du terrain » qui rend très difficile l'attaque ultérieure du même marché par un autre concurrent. D'où l'importance attachée à l'accession de certains marchés et plus encore à la participation au transport qui peut permettre de contrôler les fournisseurs ultérieurs éventuels.

Mais les différences de qualité que les divers gaz naturels présentent souvent entre eux, font qu'un changement de ressources peut aussi se heurter à des difficultés techniques. Cela peut imposer soit une nouvelle conversion des appareils d'abonnés, soit un ajustement de la qualité du gaz, tous deux fort coûteux. C'est ainsi que dans la Région Parisienne, le remplacement du gaz de Lacq par le gaz de Groningue nécessite une liquéfaction de ce dernier pour en extraire l'azote, la dépense d'énergie nécessaire étant heureusement très réduite grâce aux récupérations de frigories.

Il est donc indispensable que l'extension en surface d'un gaz déterminé soit coordonnée avec la production annuelle envisagée pour que les fournitures puissent être garanties pendant un nombre d'années suffisant.

L'équilibre des bilans.

Une des difficultés essentielles de l'industrie gazière arrivée à l'ère du gaz naturel est d'équilibrer ses bilans au meilleur prix.

L'exploitation d'un gisement de gaz naturel comporte en général une phase de croissance, s'étalant sur quelques années (8 ans pour les contrats offerts par la NAM), suivie d'une période de plafonnement à un régime de croisière et se terminant par une décroissance du débit avant épuisement. La durée de vie économique optimale du gisement se situant en général entre 20 et 30 ans, il est exclu, sauf pour ceux dont les réserves auraient été prudemment estimées ou pour ceux dont la mise en service aura été ralentie volontairement pour des raisons commerciales (cas des très gros gisements), de renforcer l'équipement pour remonter le niveau du régime de croisière ; cette pratique diminuant la durée de l'exploitation, réduit en général la valeur actualisée.

Il faut donc trouver des fournitures nouvelles, qui permettront à la fois de couvrir la croissance des besoins et de relayer les fournitures en extinction.

Mais les découvertes des gisements ne sont pas programmables et le responsable du service public peut se trouver dans deux situations opposées.

Ou bien une découverte intervient à proximité du marché plus tôt qu'il n'aurait été nécessaire : on pourra avoir intérêt dans ce cas à chercher un placement plus rapide des quantités excédentaires, soit par une extension en surface, sous la réserve précitée d'une durée de desserte suffisante, soit par une extension en profondeur.

Ou bien aucune découverte n'est intervenue à proximité. Il faut alors envisager de recourir à des ressources plus lointaines, avec des coûts de transport plus élevés, mais si ces ressources ne bénéficient pas elles-mêmes d'un marché local avantageux, le prix départ peut s'adapter pour qu'une entente soit possible. Parfois, le coût de transport ne pourra descendre au niveau nécessaire à la réalisation d'un accord qu'en accroissant les quantités achetées par association de plusieurs demandeurs. Ceci rend les négociations laborieuses et montre l'intérêt que l'acheteur ait une « surface » suffisante pour qu'il puisse réaliser plus facilement des opérations de ce type.

A cet égard, la technique du gaz naturel liquéfié, par la plus grande indépendance qu'elle donne par rapport au terrain, devrait faciliter l'équilibre des bilans. Elle ne peut être utilisée qu'avec des gaz très bon marché, donc disponibles dans des zones où les possibilités d'utilisation locale sont très réduites, donc finalement dans des pays peu développés. Les problèmes de financement y seront de ce fait plus complexes et cette technique, comme celle du transport par canalisation, est assez exigeante à ce point de vue, bien qu'un avantage à son actif soit de permettre un plus grand étalement des investissements dans le temps.

Toute opération de transport de gaz devant porter sur des volumes importants, sera toujours précédée de négociations assez longues, du fait même de l'ampleur de son impact sur la situation des deux sociétés concernées. Cette situation est aggravée lors de transports internationaux par l'accroissement éventuel du nombre de sociétés intéressées, — même si les négociations sont bilatérales, l'égalité de traitement ou la clause de l'acheteur le plus favorisé nécessitant une grande attention de la part des négociateurs —, par l'intervention éventuelle des Etats et même par des différences dans les modes de raisonnement. Il est donc difficile de prévoir avec certitude la date à laquelle une ressource nouvelle viendra s'insérer dans le dispositif existant. Même lorsque la décision est prise, le planning de réalisation des équipements comporte encore des aléas et il faut donc se garder d'un trop grand optimisme.

Cela rend indispensable de conserver une certaine souplesse pour assurer l'équilibre des bilans malgré les divers aléas affectant la date effective d'arrivée des nouvelles ressources. On aura recours pour cela soit à une réduction de la demande, par effacement de certaines consommations ou par différé de nouveaux contrats, soit à une politique concertée de production et de stockage.

C'est ainsi qu'en France ont été adoptées diverses solutions : effacement des Centrales thermiques, effacement des unités de production de gaz manufacturé, le gaz naturel qu'elles consommaient ayant été remplacé par des coupes pétrolières légères (essences impropres à la carburation) et surtout politique de stockage dans les réservoirs souterrains. En effet, si ces ouvrages ont un rôle de régulation essentiel, leur rôle de régulateur interannuel est également très important : on peut, grâce à eux, compenser les aléas des différents hivers, stocker en période d'excédent, soutirer davantage en période tendue et reconstituer les stocks au moment d'arrivages massifs. Le stockage de Lussagnet a permis à la S.N.P.A. de mettre ses tranches de traitement du gaz avec une certaine indépendance par rapport au développement de la demande. Le stockage de St-Illiers a permis au G.D.F. d'effacer sans dommage les aléas du démarrage de la première chaîne de méthane liquide.

✱

On voit combien le transport du gaz naturel modifie la structure de l'industrie gazière en la faisant passer d'un stade local, à base d'équipements différenciés, réalisables progressivement, à un stade national et même international avec des réalisations rapides de réseaux importants s'interconnectant et se frappant parfois d'obsolescence.

On pourrait objecter que ceci ne concerne pas le transport du gaz mais l'industrie gazière dans son ensemble. Mais, comment relier entre eux les sources de production et les marchés, sans le transport ? Et comment, dans ces conditions, pourrait-on conclure des contrats qui ne tiennent pas compte des conditions de transport ? Et, en définitive, ne sont-ce pas les caractéristiques du transport du gaz qui conditionnent le marché du gaz naturel plutôt que l'inverse ?

C'est en effet parce que le transport du gaz se fait par installations liées au terrain et parce qu'il relie ainsi un marché à un gisement que les contrats doivent porter sur des durées suffisantes. C'est parce que son coût est fortement dégressif avec les débits pour lesquels le réseau est conçu avant renforcement que les contrats doivent porter sur des quantités massives. C'est parce que le coût diminue lorsque le coefficient d'utilisation augmente que la régulation par stockage souterrain du gaz a pris une telle ampleur.

Que la façon dont les gisements de gaz naturel se répartissent dans le sous-sol ait aussi son importance, c'est certain ! Que la façon dont les marchés se répartissent sur le territoire, avec un potentiel de placement très différencié, influe également sur la conception des réseaux, c'est aussi certain ! Mais l'expérience acquise permet de conclure que des variations sur ces données ne changent pas fondamentalement la physionomie de l'industrie gazière qui est profondément marquée par les caractéristiques du transport du gaz.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Communication de MM. DESCAZEUX et RAMOND au 8^e Congrès International de l'Industrie du Gaz à Stockholm 1961. « Le calcul des caractéristiques économiques des réseaux de transport de gaz à grande distance ».
- (2) J. DESROUSSEUX « L'évolution économique et le comportement industriel » Dunod, p. 60.
- (3) Communication de MM. COJAN et GENDRE au 10^e Congrès International de l'Industrie du Gaz à Hambourg 1967 « Méthodes d'étude des marchés industriels en vue du placement du gaz ».
- (4) Communication de MM. GENDRE et PERRAUD au 9^e Congrès International de l'Industrie du Gaz (Scheveningen) 1964. « Problèmes économiques posés par la découverte d'un important gisement de gaz naturel : Cas de Lacq ».

LE STOCKAGE DU GAZ NATUREL

par **Michel LECŒUR**, Ingénieur des Ponts et Chaussées,
Directeur Adjoint des Etudes et Techniques Nouvelles du Gaz de France.

La principale caractéristique de l'évolution actuelle de l'industrie gazière française — ainsi d'ailleurs que de celle de la plupart des pays industrialisés — réside en le remplacement progressif du gaz manufacturé par le gaz naturel, que celui-ci soit d'origine nationale ou extérieure : on aura une idée de l'importance que revêt, dans notre pays, ce phénomène en remarquant que la part du gaz naturel dans les approvisionnements du Gaz de France qui a commencé à devenir appréciable au moment de la mise en exploitation du gisement de Lacq, il y a une douzaine d'années, atteint maintenant 50%, cette proportion devant sans aucun doute croître encore très rapidement dans les années à venir du fait de la découverte de nouveaux gisements en Aquitaine, de l'achat de gaz naturel hollandais, dont les premiers mètres cubes ont franchi la frontière franco-belge au début du mois d'octobre dernier, des perspectives d'importation à Fos-s/Mer de 3,5 Gm³/an en application de l'accord intervenu en juin 1967 entre les gouvernements français et algérien et de la réalisation éventuelle d'un certain nombre d'autres projets actuellement en cours d'examen.

Les conséquences de cette rapide évolution en matière d'approvisionnements se font sentir en de nombreux domaines : nous n'en signalerons, dans le cadre de cet exposé, que deux qui paraissent particulièrement importantes, à savoir ; le développement continu du chauffage au gaz qui a représenté en 1966 près du tiers des ventes du Service National et l'extension du réseau de transport destiné à irriguer le territoire métropolitain à partir d'un très petit nombre de sources, avec, comme corollaire, la disparition rapide des anciennes unités de production de gaz manufacturé, géographiquement dispersées.

Alors que le développement du chauffage au gaz entraîne une irrégularité croissante de la demande en fonction des conditions climatiques, la production et le transport du gaz naturel exigent une utilisation aussi régulière que possible des installations correspondantes, en raison des investissements considérables que celles-ci nécessitent et par conséquent de la part de plus en plus importante des frais fixes dans le prix de revient du gaz rendu sur un marché donné : on peut à titre d'exemples signaler que les charges annuelles totales d'un réseau de transport de gaz à grande distance, exploité sous une pression de 70 bars, comportent environ 90% de frais fixes, cette part étant de l'ordre de 75% pour l'ensemble des opérations de liquéfaction, de transport maritime, de réception et de regazéification à l'arrivée, dans le cas d'une chaîne de transport de gaz naturel liquéfié.

L'interposition de moyens de régularisation entre un approvisionnement nécessairement régulier et une consommation de plus en plus variable au cours de

l'année devient donc indispensable, la première solution qui vient à l'esprit consistant à stocker le gaz disponible l'été et à le déstocker en hiver, au moment où la demande excède la capacité des installations de production et de transport.

Le volume utile du stockage à réaliser est évidemment fonction des caractéristiques du ou des marchés desservis mais peut être de l'ordre de 15 à 20% de la consommation annuelle, ce qui exclut non seulement le stockage par variation de pression dans le réseau lui-même mais également l'utilisation des gazomètres classiques.

**

Un stockage souterrain en phase gazeuse comporte essentiellement une couche poreuse et perméable dans laquelle on remplace, au moins partiellement, l'eau par le gaz, cette couche-réservoir étant surmontée d'une couche, dite de couverture, suffisamment épaisse et imperméable pour éviter toute migration de gaz vers les niveaux supérieurs (cf. fig. 1).

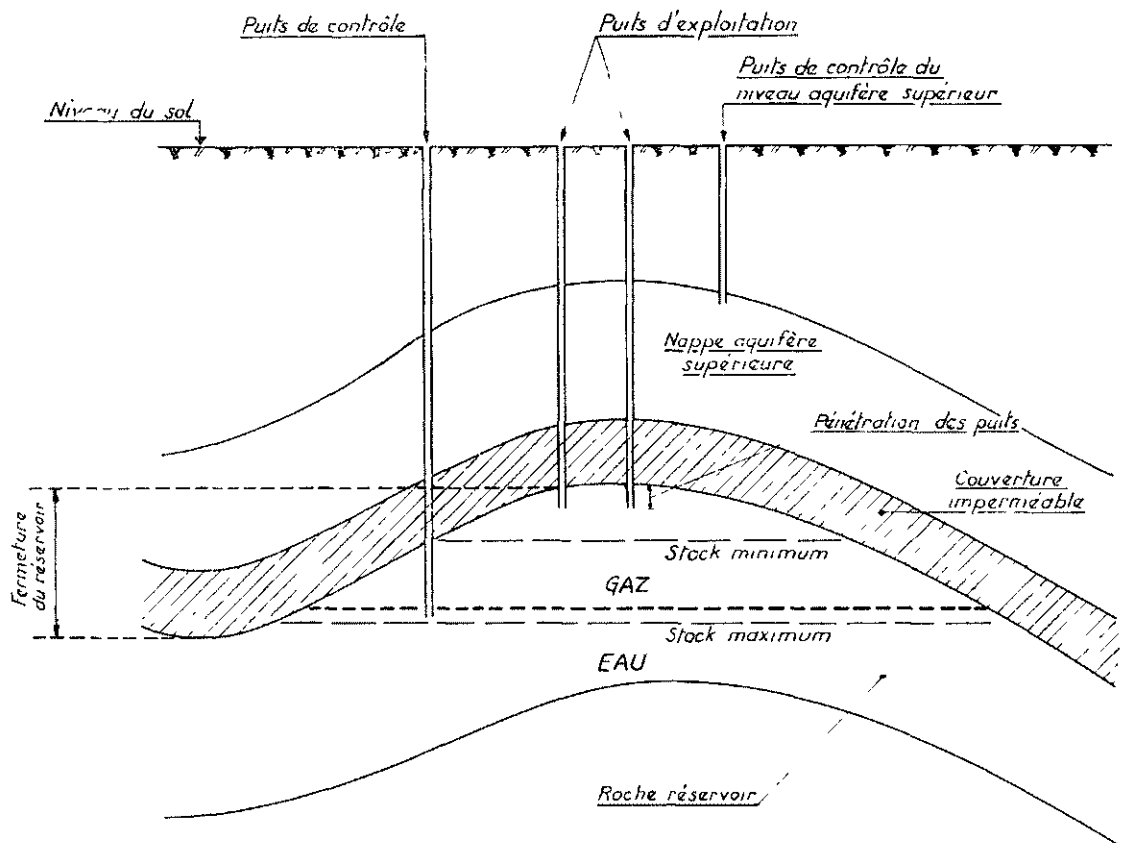


Figure 1. — Principe du stockage souterrain

Equiper une structure naturelle en réservoir souterrain consiste donc en fait à créer en un site préalablement bien reconnu un gisement artificiel de gaz caractérisé par un certain nombre de paramètres dont les principaux sont les suivants :

— sa situation géographique, l'idéal étant de placer le stockage aussi près que possible des artères de transport, pour réduire le coût des canalisations de jonction, et le plus en aval possible pour faire bénéficier de l'effet de régularisation résultant du stockage le plus grand nombre d'installations situées en amont.

Il est d'ailleurs souhaitable d'avoir une idée assez précise de l'emplacement des stockages avant d'entreprendre la construction du réseau de transport car il est souvent plus économique d'adapter le tracé de ce réseau que de prévoir ultérieurement des canalisations de jonction qui devront être dimensionnées en fonction des débits de soutirage requis.

— sa profondeur qui fixe la pression moyenne du stockage : s'il est intéressant pour l'exploitation de disposer d'un stockage à assez grande profondeur de façon à bénéficier au soutirage d'une pression supérieure à celle du réseau de transport, une grande profondeur accroît par contre le plus souvent le coût de la recherche et de la reconnaissance car elle nécessite des forages plus profonds donc plus coûteux, alors que la reconnaissance préalable de la structure est plus imprécise.

— sa porosité, mesurée en %, qui indique le volume d'eau qu'il sera possible de déplacer par le gaz par m³ de roche réservoir.

— sa perméabilité qui caractérise la plus ou moins grande facilité des fluides (eau et gaz) à se déplacer dans la couche réservoir sous l'influence des variations de pression ; on sait que la perméabilité se mesure en « darcys », un darcy correspondant à la perméabilité d'un corps dont un élément de 1 cm d'épaisseur et 1 cm² de section laisse passer, par seconde, 1 cm³ d'un fluide de viscosité 1 centipoise pour une différence de pression entre ses deux faces de 1 bar ; c'est elle qui détermine la productivité des puits, donc le nombre de ceux qui seront nécessaires pour assurer les débits de soutirage prévus ; ceci constitue un élément important du coût d'un stockage, un puits à une profondeur de 500 m coûtant environ 600.000 F.

— son volume total qui dépend surtout de la forme géométrique de la structure et de la porosité de la roche réservoir ; il convient de noter ici que la totalité du gaz injecté ne participe pas à la respiration annuelle du réservoir car il est nécessaire de laisser en place, en fin de campagne de soutirage, un certain volume de gaz, dit gaz-coussin, qui est en général de l'ordre de 40% à 50% du volume total, cette proportion dépendant de la forme de la structure et du régime du mouvement des eaux dans le stockage. Le maintien de ce gaz-coussin répond à la double préoccupation de conserver une distance libre suffisante entre la base des puits et la surface de séparation eau-gaz, pour éviter que les puits ne soient noyés en fin de soutirage, et de disposer à ce moment d'une pression encore suffisante.

Sans nous attarder ici sur le détail des opérations de reconnaissance d'une structure en vue de l'aménagement d'un stockage, indiquons seulement que celles-ci visent essentiellement à déterminer la forme de l'anticlinal-piège, l'épaisseur, la qualité et la continuité de la couche étanche devant en constituer la couverture et enfin la porosité et la perméabilité de la couche-réservoir.

Les moyens employés pour exécuter cette reconnaissance consistent essentiellement en l'examen des indications fournies par la géologie, l'exécution de forages à faible profondeur (core-drills), l'utilisation des méthodes géophysiques et notamment de la sismique, enfin le forage de quelques sondages profonds avec carottage en continu de la majeure partie de la couverture et de la totalité du réservoir.

Les renseignements ainsi obtenus, qui permettent le plus souvent de déterminer avec une probabilité suffisante les caractéristiques essentielles du futur réservoir et de prendre ainsi en bonne connaissance de cause la décision d'équiper ou d'abandonner la structure examinée, devront être précisés et complétés d'abord au fur et à mesure du développement de l'équipement proprement dit du réservoir, lequel comporte, entre autres, l'exécution des forages et de l'équipement de surface nécessaire et ensuite pendant les premiers cycles d'exploitation ; l'évolution de la forme de la bulle de gaz au cours des premières respirations du réservoir permet

notamment d'avoir une connaissance plus précise des hétérogénéités éventuelles de la roche réservoir et des directions préférentielles de développement de cette bulle. Il est ainsi possible de fixer avec beaucoup moins de risques d'erreurs les emplacements des puits dits de contrôle — par opposition au puits d'exploitation — qui ont pour mission de permettre de suivre, pendant toute la durée de l'exploitation du stockage, les variations de forme de la bulle gazeuse et le déplacement de la surface de séparation eau-gaz.

C'est la raison pour laquelle les phases de reconnaissance, d'équipement et d'exploitation ne comportent pas de frontières nettes mais se chevauchent largement, la connaissance, sinon complète, du moins suffisante, des caractéristiques et des performances d'un tel stockage n'étant le plus souvent acquise qu'après plusieurs années d'exploitation en régime de croisière.

Les opérations qui viennent d'être rapidement rappelées s'apparentent évidemment aux techniques mises en œuvre pour la production du pétrole ou du gaz naturel et un accord est d'ailleurs intervenu en 1966 entre le Gaz de France et les Sociétés Pétrolières pour la communication des renseignements géologiques acquis par ces dernières et susceptibles de faciliter les recherches par le Gaz de France de structures utilisables pour le stockage du gaz. Les travaux sont toutefois menés dans des optiques différentes suivant qu'il s'agit de rechercher des gisements ou des stockages, d'abord parce qu'il est nécessaire de disposer avant toute injection de gaz d'une connaissance suffisante de la structure et notamment des qualités de la couverture, ensuite parce que les stockages de gaz sont destinés à être exploités de façon cyclique, avec une importante vidange partielle tous les ans, alors que les équipements de production des gisements sont le plus souvent calculés pour une production continue répartie sur 20 à 30 ans environ.



Il va de soi que la reconnaissance d'une structure en vue de l'aménagement d'un stockage souterrain se trouve grandement facilitée lorsque l'on peut disposer d'anciens champs de gaz ou de pétrole épuisés, dont l'étanchéité est assurée : ces circonstances favorables, pratiquement inexistantes pour le moment en France, ont été très largement utilisées aux Etats-Unis puisque sur les stockages actuels qui représentent une capacité totale dépassant 100 milliards de m³, quelque 10% seulement ont été installés dans des sites vierges ; cette proportion ira d'ailleurs en croissant du fait de l'augmentation constante des besoins en stockages souterrains.

En U.R.S.S. où le phénomène gaz naturel, pour impétueux qu'il soit depuis quelques années, ne s'est produit que beaucoup plus tardivement qu'aux U.S.A., on compte actuellement une douzaine de structures en exploitation représentant un volume total de l'ordre de 10 à 15 milliards de m³.

En France, où l'échelle de ce phénomène est bien moindre, il existe actuellement 3 stockages en exploitation : le premier, situé à Lussagnet, appartient à la Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine, et joue essentiellement un rôle de régulation et de sécurité vis-à-vis de l'usine de désulfuration du gaz de Lacq dont il est éloigné d'une cinquantaine de kilomètres, sur l'artère transportant le gaz de Lacq vers l'Ouest, le Centre-Est et la Région Parisienne ; les deux autres stockages souterrains situés à l'Ouest de Paris sont utilisés par le Gaz de France, l'un (Beynes) pour le stockage du gaz manufacturé alimentant la Région Parisienne, l'autre (Saint-Illiers - cf. fig. 2) pour celui du gaz naturel acheminé depuis trois ans sous forme liquide par le méthanier « Jules Verne » d'Arzew, à l'Est d'Oran, au Havre.

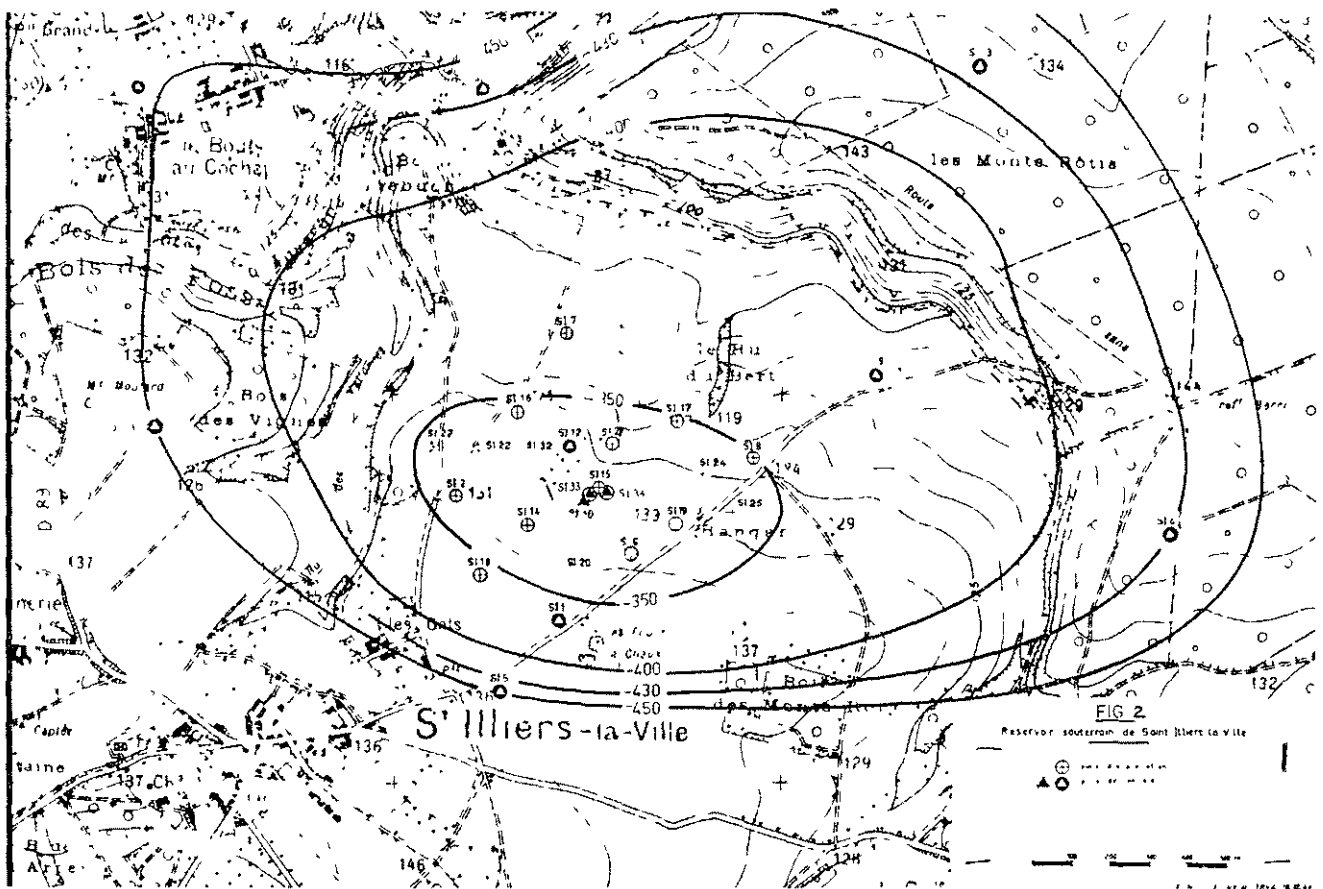


Figure 2. — Réservoir de Saint-Illiers-la-Ville

Les perspectives rappelées plus haut concernant d'autres sources d'approvisionnement en gaz naturel et le développement des réseaux de transport qui s'en suivra nécessairement conduisent le Gaz de France à pousser rapidement ses recherches de nouvelles structures, recherches rendues difficiles par le nombre des conditions requises pour trouver des structures géographiquement bien situées, techniquement viables et économiquement satisfaisantes.

Les recherches faites dans les régions du Nord et de l'Est de la France, en vue de l'alimentation de ces marchés en gaz de Groningue, ont permis de retenir deux structures situées l'une à proximité de Nancy (Velaine-sous-Amance) qui doit entrer en service fin 1969, l'autre à Saint-Maur entre Amiens et Paris.

Le Gaz de France est par ailleurs amené à poursuivre activement l'équipement d'une autre structure située à Chemery-Contres, approximativement à mi-chemin entre Romorantin et Blois, à une quarantaine de kilomètres du gazoduc transportant actuellement le gaz de Lacq vers la Région Parisienne ; les travaux de reconnaissance vont également s'intensifier dans la basse vallée du Rhône dans la perspective d'importation, près de Marseille, de gaz naturel algérien liquéfié.

Une technique récente, mise en œuvre en particulier en U.R.S.S., dans la région de Leningrad, consiste à réaliser des stockages en nappe aquifère non plus dans des anticlinaux mais dans des couches horizontales : son développement en France permettrait sans doute l'implantation de stockages souterrains dans des zones non retenues jusqu'ici du fait de l'absence d'anticlinaux-pièges.

A caractéristiques égales, un des éléments qui influent le plus sur le coût d'un stockage en nappe aquifère est le débit de soutirage exigé car c'est lui qui détermine, pour des puits de productivité donnée, le nombre de puits d'exploitation à prévoir. Il en résulte que ces stockages qui constituent le plus souvent, lorsqu'il est possible de trouver des structures satisfaisantes, une bonne solution pour assurer la régulation saisonnière sont en général assez mal adaptés pour la couverture des besoins de pointe, au moment des périodes les plus froides de l'hiver, car il s'agit alors de pouvoir disposer pendant un petit nombre de jours des moyens nécessaires pour assurer ces pointes de consommation : les stockages mis en œuvre peuvent donc être de capacité relativement réduite à condition de permettre des soutirages importants, et d'être situés à proximité des centres de consommation.

Si la solution de ce problème peut être trouvée de diverses façons, et en particulier par des méthodes autres que celles comportant l'utilisation d'un stockage, elle peut également résider, suivant une technique qui connaît actuellement un rapide développement aux U.S.A., en le stockage de gaz sous forme liquide (GNL) bénéficiant de la contraction en volume de 600 à 1 lorsque l'on passe, sous la pression atmosphérique, de la phase gazeuse, à la température ambiante, à la phase liquide à -161°C .

Le GNL peut être obtenu soit à partir d'un terminal de réception de navires méthaniers, tel que celui qui est en service au Havre depuis 1965, soit en utilisant une usine de liquéfaction construite spécialement à cet effet. Les volumes à stocker annuellement étant relativement peu importants et le nombre de jours sur lesquels peuvent se répartir les opérations de liquéfaction et de stockage étant en général de l'ordre de 200, on conçoit que l'on puisse se contenter d'une usine de liquéfaction d'assez faible puissance, la regazéification en peu de jours d'une partie importante du stock ne soulevant pas de trop grandes difficultés.

Il y a lieu de noter que les techniques, dites de seconde génération, en matière de méthane liquide, mises au point depuis la réalisation de la chaîne Arzew-Le Havre (cf. bulletin du P.C.M. de janvier 1966) et intéressant principalement, indépendamment de la conception des navires méthaniers, la liquéfaction (cycle à cascade incorporée) et le stockage sont de nature à améliorer encore, pour la satisfaction des besoins de pointe, la position du stockage en phase liquide par rapport au stockage sous forme gazeuse en nappe aquifère.

En matière de stockage de GNL les principales techniques suivantes sont actuellement disponibles :

a) le stockage en réservoirs aériens métalliques du type de ceux en service à Arzew et dans les terminaux anglais (Canvey-Island) et français (Le Havre).

Il s'agit d'une technique ayant fait ses preuves et dont on peut espérer que les coûts au m³ utile diminueront dans la mesure où les constructeurs pourront proposer des capacités unitaires plus importantes.

b) le stockage en réservoir aérien en béton précontraint au moyen d'aciers cryogéniques, dont un prototype de 2.000 m³ réalisé par le Gaz de France à Nantes a été mis en froid en avril 1967 (cf. fig. 3) : cette technique nouvelle, pour laquelle de nombreux perfectionnements sont encore attendus, présente comme la précédente l'avantage de pouvoir être utilisée quelle que soit pratiquement la nature du terrain.

L'isolation intérieure est ici constituée par des caissons remplis de perlite supportant une mince membrane d'étanchéité suivant le procédé Gaz Transport-Gaz de France adopté pour la construction, actuellement en cours en Suède, des deux navires méthaniers de 71.000 m³ devant assurer le transport au Japon du gaz naturel en provenance d'Alaska.



Figure 3 — Maquette de reservoir aerien en beton precontraint
 Photo Fabrice Naqotte

c) les stockages souterrains ou enterrés à fleur de sol qui constituent en général des solutions économiquement intéressantes mais qui présentent le double inconvénient de ne pouvoir être mises en œuvre que dans des terrains présentant les qualités requises et de donner lieu à des évaporations importantes lors de la mise en froid : les études qui se poursuivent actuellement concernant le calorifugeage de ces cavités permettront sans doute de réduire cette dernière difficulté.

Une solution intermédiaire, offerte par la nature, consiste à creuser, par lessivage, des cavités dans des couches suffisamment épaisses de sel gemme, qui sont rencontrées en France dans quelques régions et notamment à proximité de Bourgen-Bresse et de Valence. Ce procédé s'apparente au stockage en nappe aquifère en

ce sens que le gaz est contenu dans le réservoir sous forme gazeuse et sous pression, et au stockage sous forme liquide du fait de l'utilisation comme réservoir d'une cavité artificiellement créée et non d'une couche de terrain.

En raison de la difficulté, de trouver, dans la vallée du Rhône, des structures géologiques permettant le stockage en nappe aquifère, le Gaz de France a pris très récemment la décision de réaliser dans la région de Valence un stockage en couche de sel comportant en première étape une cavité dont le volume en eau sera d'environ 100.000 m³, l'exploitation par variation de pression du gaz stocké entre environ 85 et 170 bars permettant de disposer à chaque cycle complet d'un volume de gaz de l'ordre de 8,5 Mm³.

**

Telles sont, rapidement esquissées, les différentes voies dans lesquelles se poursuivent les travaux du Gaz de France en matière de stockage massif de gaz naturel, le choix entre les solutions possibles — stockage en phase gazeuse en nappe aquifère ou en cavités creusées dans le sel, stockage en phase liquide dans différents types de réservoirs — devant dépendre principalement des besoins du marché desservi, des possibilités offertes par la nature dans les zones géographiquement bien situées et enfin des coûts relatifs des diverses solutions possibles, lesquels sont fonction des caractéristiques des terrains rencontrés.

Malgré cet élément d'incertitude il est possible d'affirmer, sans grand risque de se tromper, que le problème du stockage du gaz en grandes quantités est un des plus importants de ceux dont le Service National devra poursuivre l'étude dans les années à venir et d'escompter, avec une bonne chance de succès, que les améliorations constantes apportées à ces techniques permettront des économies appréciables sur les coûts d'équipement et d'exploitation des ouvrages futurs.

TRANSPORT DU GAZ NATUREL PAR CANALISATIONS IMMERGÉES

par **Michel LECŒUR**, Ingénieur des Ponts et Chaussées,
Directeur Adjoint des Etudes et Techniques Nouvelles du Gaz de France.

La découverte au Sahara, il y a une douzaine d'années, de gisements de gaz naturel d'une importance excédant très largement les possibilités d'absorption des marchés locaux a très rapidement posé le problème du transport de ce gaz en France et plus généralement dans un certain nombre de pays européens importateurs d'énergie.

Deux voies ont été alors simultanément explorées pour assurer ce transport : la première, consistant à liquéfier le gaz naturel pour bénéficier de la contraction en volume d'environ 600 à 1 lorsque celui-ci passe à la pression atmosphérique, de la phase gazeuse à la température ambiante à la phase liquide à -161°C , a abouti à la réalisation de la première chaîne de transport du gaz naturel liquéfié par navires méthaniers, mise en service il y a 3 ans et dans laquelle le gaz naturel d'Hassi R'Mel liquéfié à Arzew par les soins de la Compagnie Algérienne du Méthane Liquide (CAMEL) est transporté pour deux tiers en Grande-Bretagne, au terminal de Canvey-Island et pour un tiers en France, au terminal du Havre.

Le second procédé étudié, qui consistait à transporter le gaz naturel sous forme gazeuse dans un réseau de canalisations en partie terrestres — en Afrique et en Europe — en partie immergées pour le franchissement de la Méditerranée, a connu un sort moins favorable puisqu'aucune réalisation de grande envergure n'a pu être entreprise jusqu'à maintenant.

Deux projets avaient été dès l'origine étudiés dans ce domaine l'un par le Gaz de France suivant le tracé Hassi R'Mel - Mostaganem - Carthagène - Pyrénées, l'autre par la SEGANS filiale des Sociétés productrices du gaz d'Hassi R'Mel suivant le tracé Hassi R'Mel - Gibraltar - Pyrénées.

Sans entrer ici dans la comparaison détaillée de la technologie de ces deux projets, il peut être intéressant d'en noter les caractéristiques les plus marquantes :

— dans le choix des tracés, le Gaz de France avait cherché à réduire dans toute la mesure du possible la longueur totale du réseau au prix d'une traversée maritime relativement longue, tandis que la SEGANS avait préféré diminuer au

minimum la longueur de la section maritime au prix d'un allongement de l'ensemble du réseau ; c'est ainsi que de Hassi R'Mel aux Pyrénées les longueurs des deux réseaux étaient approximativement les suivantes :

en km	Trajets terrestres		Traversées maritimes	Total
Gaz de France	Afrique du Nord	475	200	1 400
	Espagne	725		
		1 200		
SEGANS	Afrique du Nord	1 000	50	2 200
	Espagne	1 150		
		2 150		

— alors que la traversée Mostaganem-Carthagène comporte de fortes profondeurs (2 600 m.) sans aucun courant de fond, la traversée par Gibraltar ne comprend que des fonds inférieurs à 400 m. environ, sur lesquels on observe des courants relativement importants.

— dans le procédé Gaz de France on devait, les canalisations étant posées vides, prévoir des épaisseurs importantes pour résister à la pression extérieure : il était alors tentant de bénéficier de cette forte épaisseur pour transporter le gaz à pression élevée (400 bars au départ de la côte africaine, 70 bars à l'arrivée sur la côte espagnole) ; par ailleurs la méthode de pose exigeait, ainsi qu'on le verra plus loin, un allègement de la canalisation.

— dans le procédé SEGANS, la pression du gaz dans la canalisation sous-marine était sensiblement plus faible et il était par ailleurs nécessaire de lester la conduite sous-marine pour lui permettre de résister aux courants de fond.

Après cette comparaison rapide des aspects les plus caractéristiques des deux projets qui se trouvaient alors en compétition, nous exposerons ci-dessous brièvement les principes sur lesquels reposait le projet étudié par le Gaz de France, avec l'aide de l'Electricité de France, et rappellerons les essais en vraie grandeur qui ont permis de confirmer sa validité sur le plan technique.

La première étape a consisté en 1959 en une campagne océanographique, exécutée par l'Office Français de Recherches Sous-Marines animé par le Commandant Cousteau, qui a permis de reconnaître que les fonds sur l'axe Mostaganem-Carthagène étaient constitués, entre deux talus continentaux en pente douce, par une plaine remarquablement plate à une profondeur d'environ 2 600 m. couverte de bout en bout de vases molles, sans qu'aucun affleurement rocheux y ait pu être décelé.

Une fois les fonds complètement reconnus, le procédé de pose par tronçons successifs immergés sous tension contrôlée fut d'abord étudié par le calcul et sur modèle puis mis au point au cours d'essais en vraie grandeur exécutés au large de Mostaganem.

Le principe de ce procédé est le suivant :

— Préparation à terre de longs tronçons de conduite (3 000 m.) qui, après lancement en mer et remorquage jusqu'au lieu de pose, sont assemblés à la partie de canalisation déjà réalisée, puis immergés.

Ces tronçons sont équipés d'un double système d'allègement :

— l'un, dit primaire, constitué de flotteurs sensiblement incompressibles (emplis d'essence légère) fixés sur le tube, a pour but de ramener le poids apparent dans l'eau à 2 kg/ml.

— l'autre, dit secondaire, est constitué de bouées emplies de gaz sous pression, munies de clapet, et fixées de place en place sur la canalisation par des câbles de 12 à 15 m de long. Il fournit la flottabilité nécessaire au cours du remorquage, la conduite elle-même restant à l'abri de l'agitation de surface ; cette flottabilité décroît puis disparaît au cours de l'immersion, de façon à permettre la descente de la conduite et sa pose sur le fond.

L'étude statique et dynamique d'un tel système montre que si l'on exerce en tête de la conduite à poser une traction horizontale modérée de l'ordre de quelques tonnes, la partie de la conduite située entre le fond et la surface prend une forme en S constituée sensiblement de deux arcs de chaînette se raccordant en un point d'inflexion. Moyennant un calcul correct des allègements, de la pression de gonflage des bouées et de la traction — tous éléments dépendant de la profondeur de pose — le rayon de courbure reste en tout point supérieur au minimum admissible et la pose s'effectue à vitesse constante par translation du profil en S (1) ; en extrémité de chaque tronçon de 3 000 m, des bouées supplémentaires arrêtent le processus de pose, pour une traction donnée.

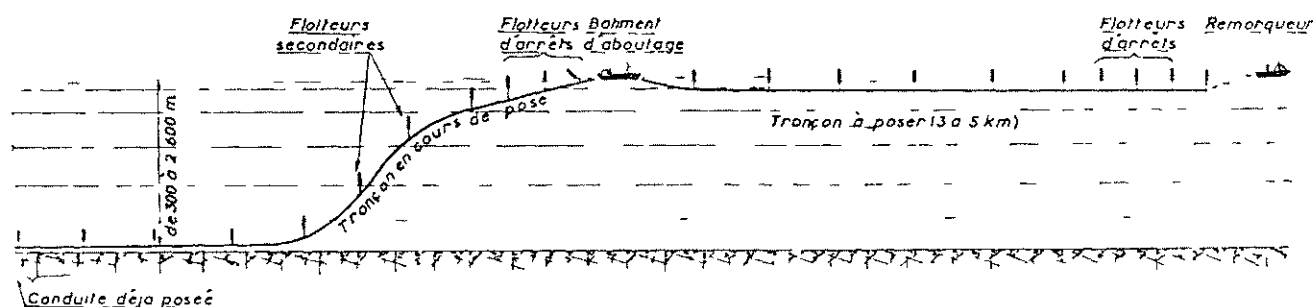


Figure 1 — Schema de pose

Un navire spécialement aménagé (2) prend alors à son bord l'extrémité de la conduite, et celle d'un nouveau tronçon de 3 km. La jonction est réalisée par un joint vissé, la conduite est remise à l'eau, et un accroissement momentané de la tension — qui allonge le profil de la courbe en S — permet d'immerger suffisamment les bouées d'arrêt pour qu'elles perdent leur flottabilité. La pose reprend ainsi jusqu'au nouvel aboutage.

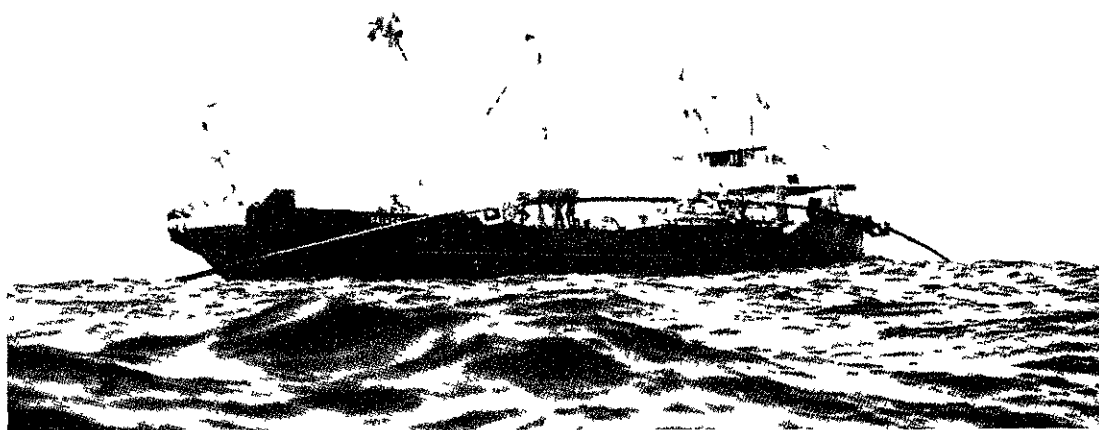


Figure 2 — Operation d'aboutage (1961)

(1) Cf. figure n° 1.

(2) Cf. figure n° 2 qui représente une opération d'aboutage en 1961.

Les moyens navals nécessaires à la mise en œuvre de ce procédé sont, à l'exception du navire abouteur, disponibles en tout temps puisqu'ils se situent dans le cadre des moyens classiques : un câblier pour assurer la sécurité de la canalisation par gros temps, des remorqueurs de haute mer d'environ 1.000 CV, des petits bâtiments de servitudes et de liaison.

Les essais qui ont porté sur les opérations de remorquage, d'immersion et de relevage, effectués de 1960 à 1963, ont pleinement démontré la valeur de la méthode et ont de plus permis de vérifier l'efficacité des matériels et moyens mis en œuvre, et de préciser les conditions nécessaires à la réalisation d'une opération définitive.

Ce procédé présente, entre autres avantages, l'intérêt de pouvoir, comme on l'a vu, être expérimenté en vraie grandeur par la pose — suivie du relevage — d'éléments d'une longueur d'environ 3.000 m., sans nécessiter la mise en œuvre, en mer, de tractions importantes. Il permet également, dans le cas où la décision serait prise de réaliser un tel réseau de transport entre l'Afrique du Nord et l'Europe, de procéder par étapes successives et de réduire ainsi les conséquences d'un incident lors de la pose des canalisations immergées, éventualité très peu probable mais que l'on ne peut toutefois exclure totalement.

Dans l'hypothèse en effet d'un transport d'Afrique du Nord en Europe, on serait sans doute amené à utiliser en parallèle pour la traversée maritime plusieurs canalisations de diamètre moyen dont une de secours. Il serait alors possible de poser une première canalisation qui, reliée au réseau actuel de la SOTHA (3), alimenterait à titre expérimental certains consommateurs de la région de Carthagène.

Ceci permettrait de différer la réalisation des réseaux terrestres en Afrique et en Europe, qui représentent la plus grosse part des investissements totaux, jusqu'à ce que cette première canalisation-pilote ait pu être posée avec succès et exploitée, à la pression définitive de 400 bars, pendant au moins quelques mois.

Cette façon de procéder n'entraînerait pas de retard sensible dans la réalisation de l'ensemble du réseau puisque le délai de construction du réseau terrestre en amont et en aval de la Méditerranée est du même ordre de grandeur que celui nécessité par la mise en place des autres canalisations immergées ; il serait même possible, si le régime de croisière du transport ne devait être atteint que très progressivement, d'échelonner davantage dans le temps la mise en place des canalisations immergées en suivant la courbe de progression des débits.



Ce procédé, étudié et mis au point pour le transport du gaz naturel saharien en Europe suivant l'axe Mostaganem-Carthagène, peut être aisément adapté à d'autres traversées maritimes de caractéristiques différentes. Les principales limitations auxquelles il soit soumis concernent essentiellement la longueur de la traversée maritime, du fait des pertes de charges dans la canalisation sous-marine, l'intensité des courants en profondeur et la nature des fonds : s'il n'est pas nécessaire en effet que ceux-ci présentent la remarquable régularité constatée entre Mostaganem et Carthagène, il est clair que la canalisation, une fois posée, risquerait de mal s'accommoder d'un terrain par trop accidenté lui imposant des courbures excessives : cette seconde limitation est toutefois beaucoup moins contraignante avec le procédé de pose qui vient d'être décrit que si la mise en place de la canalisation était réalisée par traction de celle-ci sur le fond.

(3) Société de Transport du Gaz Naturel d'Assi R'Mel à Arzew.

LES CANALISATIONS SOUS-MARINES

par **Alexandre OSSADZOW**, Ingénieur des Ponts et Chaussées,
Bureau Central d'Etudes pour les Equipements d'Outre-Mer.

1. — GÉNÉRALITÉS

Alors que les canalisations terrestres sont développées dans le monde à l'échelle industrielle depuis près de cent ans, les canalisations sous-marines sont relativement récentes.

Il était normal que l'on cherche à poser des canalisations non seulement sur terre, mais également en mer. Les premières expériences et réalisations à ce sujet ne datent guère que d'une trentaine d'années. Depuis, des canalisations sous-marines ont été posées un peu partout dans le monde, liées au développement de la technique et des besoins du transport. Elles ont atteint un développement remarquable dans le Golfe du Mexique, où les conditions sont particulièrement favorables : profondeur limitée, mer calme.

Comme les canalisations terrestres, les canalisations sous-marines sont le plus souvent constituées de tubes d'acier assemblés entre eux par soudure et protégés par un revêtement convenable. Elles reposent en général au fond, à l'exception des flexibles qui terminent côté large les sea-lines pétroliers. Dans les zones peu profondes, elles sont souvent enterrées dans une souille, ou recouvertes de béton assurant leur protection.

2. — USAGE DES CANALISATIONS SOUS-MARINES

Les canalisations sous-marines sont, tantôt destinées aux mêmes usages que les canalisations terrestres : transport d'huile, d'eau, de gaz..., tantôt à des usages spécifiquement marins : sea-lines pétroliers, évacuateurs d'effluents.

Transport d'huile brute ou raffinée.

De nombreuses canalisations sous-marines de transport d'huile existent dans le Golfe du Mexique et dans le Golfe Persique, en particulier pour le transport au continent de la production des puits exploités sur le plateau continental, ou puits « off-shore ». En France, on peut citer une canalisation de 508 mm, de 12 km de longueur, mise en place dans l'étang de Berre entre une raffinerie et un dépôt.

Sea-lines pétroliers.

On peut rattacher au transport d'huile les sea-lines pétroliers, qui sont des canalisations reliant un dépôt à terre à un coffre d'amarrage situé dans une zone où le tirant d'eau permet aux navires de mouiller. Les sea-lines pétroliers permettent ainsi d'assurer le chargement ou le déchargement de l'huile à des conditions moins coûteuses que par la construction de postes à quai en eau profonde.

Citons, par exemple, un sea-line de 6,5 km de long, de diamètre 28 pouces (711 mm) posé en 1967 à Gamba au Gabon, pour le chargement de l'huile en rade.

Parfois, les sea-lines aboutissent non à un poste de mouillage sur coffres ou bouées, mais à un véritable appontement. C'est le cas de quelques sea-lines construits dans le Golfe Persique.

Transport d'eau.

En France, on a construit deux canalisations de transport d'eau, l'une entre le continent et l'île d'Yeu, l'autre entre le continent et l'île de Noirmoutier, de façon à alimenter ces îles en eau potable.

Transport de gaz.

Les canalisations sous-marines pour le transport de gaz se sont surtout développées à l'occasion de la mise en exploitation de gisements « off-shore ». Dans le Golfe du Mexique, des canalisations atteignant de grandes longueurs (plusieurs dizaines de kilomètres) assurent le rassemblement de la production des puits, puis le transport à la côte. Tout récemment ont été construites plusieurs canalisations sous-marines assurant le transport du gaz de gisements off-shore de Mer du Nord à la Grande-Bretagne.

Evacuateurs d'effluents.

L'une des idées les plus séduisantes consiste à construire une canalisation sous-marine permettant de transporter dans une vallée sous-marine profonde des effluents qu'il s'agit d'évacuer. Si la vallée sous-marine est bien choisie et assez profonde, les produits ainsi évacués seront déposés dans un endroit où ils ne bougeront plus. Il y a là de grandes perspectives de réalisation, devant le développement croissant des déchets liquides qu'on ne sait où entreposer.

Citons à ce sujet la canalisation évacuatrice de boues industrielles réalisée en 1965 au large de Cassis.

3. — MÉTHODES DE POSE DES CANALISATIONS SOUS-MARINES

La pose de canalisations sous-marines rencontre évidemment des difficultés particulières, dont on citera en particulier :

-- l'assemblage entre eux des tubes par soudure. On sait que les fabricants livrent en général des tubes d'acier d'une longueur de 10 à 12 m.

L'assemblage des tubes par soudure peut soit être effectué en mer sur une barge spéciale, soit préalablement à terre, les éléments de conduite ainsi assemblés devront ensuite être mis en place à l'endroit prévu.

- le contrôle de la conduite durant sa mise en place, la conduite risquant de périr, soit par dépassement des contraintes limites, soit par flambement (aplatissement).

Pratiquement, la plupart des canalisations sous-marines qui ont été posées jusqu'ici l'ont été suivant l'une des quatre méthodes suivantes que l'on peut qualifier de « classiques » :

- la pose par flottaison et immersion,
- la pose avec tambour,
- la pose par barge avec stinger,
- la pose par traction sur le fond.

On exposera rapidement les caractéristiques de ces quatre méthodes de pose, puis on évoquera les nouvelles méthodes de pose qui ont été mises au point récemment.

a) La pose par flottaison et immersion.

Dans la méthode de pose par flottaison et immersion, on commence par aménager, à proximité de la mer, un « chantier terrestre » sur lequel on réunit entre eux par soudure les tubes d'acier. On obtient ainsi des éléments de conduite de plusieurs centaines de mètres de long. Ces éléments sont conçus pour flotter. A cet effet, ils sont en général munis de flotteurs auxiliaires.

On lance à la mer un premier élément, au moyen d'un dispositif approprié (rampe, lorries, diabolos). Cet élément flotte et est tiré en mer par un remorqueur. Lorsque le premier élément est presque entièrement en mer, on lui aboute à terre un second élément, puis le remorquage continue.

On met ainsi en place, à la surface de la mer, toute la longueur de la conduite au-dessus du tracé choisi ; puis on envoie cette conduite au fond, en retirant les flotteurs auxiliaires.

La pose par flottaison et immersion semble être à l'heure actuelle la méthode la moins coûteuse. Elle est cependant d'un emploi limité, et ne peut guère être utilisée que sur des tracés à faible profondeur (10 à 15 m) et où les courants ne sont pas trop importants. En effet, lors de l'envoi au fond de la conduite, le contrôle de sa tenue est difficile, dès que la profondeur augmente, survient le risque de voir la conduite prendre des rayons de courbure trop faibles, qui entraîneraient sa rupture.

On citera comme exemple de canalisation sous-marine mise en place par flottaison et immersion, la canalisation d'alimentation en eau potable de l'île de Noirmoutier. Cette canalisation a une longueur en mer de 1.200 m, et un diamètre de 219 mm. La profondeur ne dépasse pas 10 m.

b) La pose avec tambour.

Dans la méthode de pose avec tambour, la canalisation est d'abord assemblée et préparée sur un chantier terrestre ; puis elle est enroulée sur un tambour situé sur une barge. La barge se déplace ensuite le long du tracé ; au cours

de ce déplacement on déroule le tambour et la conduite descend au fond. Au voisinage immédiat de la barge, la conduite en cours de mise en place est soutenue par une rampe, de façon à éviter les rayons de courbure trop faibles.

La méthode de pose avec tambour ne peut évidemment être utilisée qu'avec des conduites de faible diamètre, qui seules peuvent supporter d'être ainsi enroulées. Par ailleurs, la limitation de profondeur est la même que pour la méthode par barge et stinger, soit 120 m environ pour des conduites de petit diamètre.

On citera un exemple « historique » de canalisations sous-marines posées par la méthode du tambour ; les quatre conduites militaires d'alimentation en essence, posées par les Armées alliées entre l'Angleterre et la France lors du débarquement de 1944. Ces conduites avaient une longueur de 70 km environ, un diamètre de 3 pouces (76,2 mm) et sont actuellement détruites.

c) La pose par barge avec stinger.

Dans la méthode de pose par barge avec stinger, l'assemblage des tubes d'acier par soudure est effectué, non à terre, mais en mer sur une barge de travail spécialement équipée. La barge est ancrée sur plusieurs lignes d'ancres sur lesquelles elle papillonne. Elle comprend les postes de travail nécessaires (soudure, contrôle, revêtement).

Les tubes d'acier sont acheminés par chaland jusqu'à la barge de pose. La partie de conduite déjà assemblée repose au fond, excepté la partie terminale côté barge qui remonte à la surface et dont l'extrémité est fixée sur la barge. Au voisinage de celle-ci, la conduite en mer est supportée par une rampe inclinée ou « stinger » qui permet d'avoir en tout point un rayon de courbure ne descendant pas au-dessous de la valeur admissible.

A bord de la barge, on assemble successivement par soudure les tubes d'acier à la partie de conduite déjà assemblée. Lorsque les opérations de soudure, contrôle et revêtement, sont terminées, on fait avancer la barge par action sur les lignes d'ancres et à mesure de l'avancement on laisse filer la conduite, soutenue par le stinger.

La méthode de pose par barge avec stinger permet de poser des canalisations sous-marines de grande longueur, atteignant facilement plusieurs dizaines de kilomètres. Cette méthode a été appliquée pour de nombreuses canalisations sous-marines, notamment dans le golfe du Mexique, dans le golfe Persique et en Mer du Nord, et elle est maintenant bien au point.

Citons, par exemple, la canalisation sous-marine de 67 km de long, 16 pouces de diamètre (406 mm), posée en 1966 entre le gisement off-shore de la Compagnie B.P. en Mer du Nord et la côte anglaise, près de Kingston. La profondeur ne dépassait pas 40 m.

Toutefois, cette méthode présente certains inconvénients :

En premier lieu, la profondeur de pose est limitée. Une première limitation est apportée par les ancrages, dont on sait qu'ils ne peuvent pratiquement être réalisés que par des profondeurs inférieures à 200 m. Mais la limitation la plus importante est causée par le stinger, dont la longueur nécessaire croît avec la profondeur, et dont l'inertie croît avec le diamètre de la canalisation posée. Sous peine d'avoir des stingers de trop grandes dimensions, donc impossibles à manœuvrer, on doit se limiter à une profondeur qui dépend donc du diamètre de la canalisation à poser. Dans les conditions actuelles, la profondeur maximum de pose par la

méthode de la barge avec stinger est de 45 m pour une canalisation de 1.000 mm de diamètre, et de 120 m pour une canalisation de 200 mm de diamètre. Il semble bien que, même avec l'accroissement des moyens industriels, on ne puisse envisager des poses à plus de 120 m de profondeur dans un proche avenir.

Un second inconvénient est constitué par la longueur des opérations en mer. Toutes les opérations de soudure, contrôle et revêtement se font à bord de la barge, ce qui prend beaucoup de temps. C'est pourquoi les entreprises de pose travaillent souvent à trois postes par jour (3×8 heures), ce qui ne leur permet d'ailleurs que des vitesses de pose allant de 1 km à 2,5 km par jour.

Enfin, un autre inconvénient est la nécessité d'avoir un matériel hautement spécialisé, donc coûteux, et dont on ne peut envisager le déplacement que pour des chantiers importants. La méthode de pose par barge avec stinger est en fait pratiquée presque uniquement par quelques compagnies peu nombreuses et spécialisées.

d) Pose par traction sur le fond.

Dans la méthode de pose par traction sur le fond, l'assemblage des tubes par soudure se fait sur un chantier à terre, où l'on construit des éléments de conduite de plusieurs centaines de mètres de long. Ces éléments sont conçus pour être plus lourds que l'eau.

On lance à la mer un premier élément. Un chaland équipé d'organes de traction tire la conduite sur le fond. En général, l'extrémité côté mer de la conduite, munie d'une tête de traction, repose au fond et est reliée au chaland en surface par un câble de traction.

Le chaland de traction peut, soit être ancré à l'aide d'ancres classiques que l'on déplace à mesure de l'avancement, soit relié par câblage à un ancrage fixe placé au-delà de l'extrémité côté mer du tracé de la conduite.

A mesure de l'avancement, on aboute à terre des éléments de conduite à la partie déjà en mer. Si la longueur de canalisation à poser est importante, on peut effectuer la pose en plusieurs tronçons et procéder ensuite à des raccordements en mer au moyen de plongeurs autonomes qui à l'heure actuelle peuvent intervenir jusqu'à une profondeur de 120 mètres.

La méthode de pose par traction sur le fond présente quelques inconvénients : par suite des forces de frottement de fond, elle nécessite de puissants moyens de traction ; par ailleurs, les fonds doivent présenter une topographie régulière. Enfin, le tracé doit être sensiblement en ligne droite (pour de faibles longueurs, des procédés permettent d'obtenir des tracés courbes ; par ailleurs, des coudes peuvent être obtenus à l'aide de raccordement en mer de parties droites posées séparément).

Cependant, la méthode de pose par traction présente également des avantages. En premier lieu, elle permet la pose de canalisations sous-marines à des profondeurs plus importantes que les méthodes précédentes : la profondeur de 100 m a déjà été atteinte, et certains projets prévoient la pose par traction sur le fond de canalisations sous-marines à des profondeurs atteignant 400 m.

Par ailleurs cette méthode de pose est peu sensible aux courants marins.

Enfin, la méthode de pose par traction sur le fond se révèle moins coûteuse que la méthode de pose par barge avec stinger. L'équipement qu'elle nécessite est

moins spécialisé, et les canalisations sous-marines peuvent être posées par traction par certains entrepreneurs de travaux maritimes. C'est sans doute pourquoi la plupart des « sea-lines » existant en France ont été posés par la méthode de traction de la canalisation sur le fond.

Comme exemple de canalisations posées par traction sur le fond, on citera particulièrement :

- une canalisation sous-marine pour transport d'huile de 27 km de long, 30 pouces de diamètres (762 mm) posée en 1960 dans le Golfe Persique entre le continent et l'île de Kharg, par des fonds atteignant 46 m ;
- une canalisation évacuatrice d'effluents à San Francisco, de 11 km de long, atteignant la profondeur de 100 m.

Cette canalisation détient actuellement le record de profondeur pour les canalisations sous-marines posées par les méthodes classiques.

e) Nouvelles méthodes de pose de canalisations sous-marines.

On voit que les méthodes classiques de pose que l'on vient d'évoquer présentent toutes des inconvénients. En particulier, la profondeur de pose est limitée ; la plupart des canalisations sous-marines existant actuellement sont d'ailleurs posées à des profondeurs inférieures à 30 mètres.

C'est pourquoi, ces dernières années, plusieurs sociétés ont orienté leurs recherches vers de nouvelles méthodes de pose de canalisations sous-marines. On citera particulièrement deux procédés, mis au point par des organismes français ou à majorité française :

- le procédé de conduite retenue, mis au point par la Société Segans ;
- le procédé Gaz de France - Electricité de France.

1 - La conduite retenue.

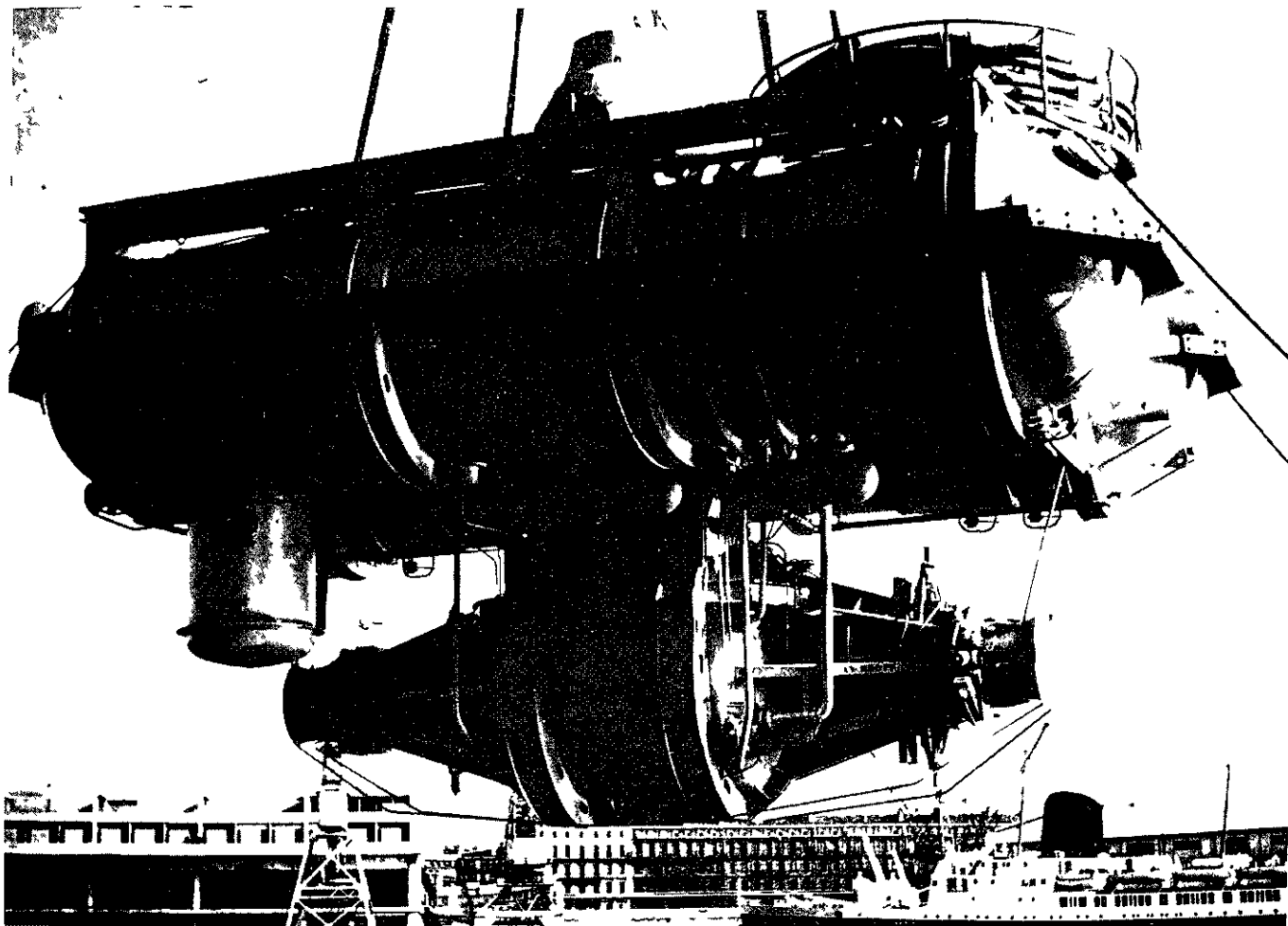
La pose de canalisations reposant au fond entraîne diverses sujétions : nécessité d'un tracé présentant une topographie régulière, profondeur de pose limitée, etc. Aussi divers chercheurs ont-ils tenté de mettre au point des procédés où la canalisation une fois mise en place serait située, non pas au fond, mais entre le fond et la surface.

La plupart de ces chercheurs ont étudié des projets où la canalisation, ayant une flottabilité propre, serait retenue vers le fond par un système de câbles et de blocs d'ancrage.

Cependant, le problème de maintenir la conduite horizontale se révèle difficile. Pour y parvenir, on a proposé des solutions prévoyant des massifs d'ancrage très rapprochés, ainsi que des dispositifs supportant la conduite et en assurant l'horizontalité, ce qui conduisait à des projets prohibitifs.

Il revient à la Société Segans, travaillant en collaboration avec la Société Campenon-Bernard, d'avoir mis au point un procédé conçu par Eugène Freyssinet et ne présentant pas les inconvénients qu'on a vus ci-dessus.

Dans le procédé Segans, la conduite une fois mise en place est située entre le fond et la surface, à une profondeur que les constructeurs peuvent faire varier

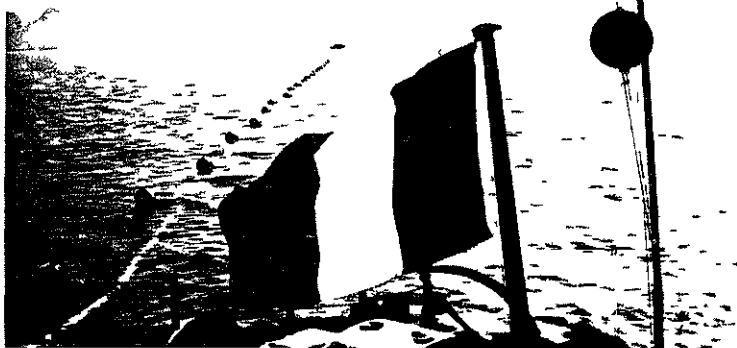


LA CABINE DE SOUDURE SOUS-MARINE SEG-ANS

Cette cabine speciale permet d'effectuer le raccordement par soudure des canalisations sous marines a des profondeurs pouvant atteindre 70 m

POSE D'UNE CANALISATION SOUS MARINE AU LARGE DE CASSIS (FRANCE)

Cette canalisation sous-marine, longue de 7 600 m et atterrissant la profondeur de 340 m a été posee en 1965 par la Societe « Les Conduites Immergées », suivant le procédé Gaz de France - Electricite de France



entre 20 m et 300 m. Elle est conçue de façon à avoir une flottabilité propre, et est retenue vers le fond, d'où son nom de « conduite retenue », par un système comprenant :

- des blocs d'ancrage, espacés tous les 800 m ou tous les 1.600 m ;
- des câbles verticaux de retenue, fixés à ces blocs d'ancrage ;
- fixé à ces câbles verticaux, un « canevas » composé de câbles porteurs principaux, ayant la forme de parabole à axe vertical et à concavité tournée vers le bas, et des suspentes reliant la conduite aux câbles porteurs principaux.

Ce procédé original, qui rappelle quelque peu les ponts suspendus, permet, grâce à la présence du canevas, d'assurer la parfaite horizontalité de la conduite et d'avoir des blocs d'ancrage en nombre limité.

La conduite retenue est installée de la façon suivante :

- on prépare à terre les éléments de conduite, de 800 m ou de 1.600 m de long ;
- on met en place, le long du tracé, les blocs d'ancrage, munis chacun d'un orin relié à une bouée en surface ;
- les éléments de conduite, munis de leur canevas, sont acheminés par flottage et remorquage au lieu de pose ;
- chaque élément est accroché aux câbles verticaux, puis assemblé en mer par soudure à la partie de conduite déjà en place. La soudure a lieu dans une cabine spéciale mise au point par la Segans.

Une fois toute la conduite assemblée en mer, on la fait descendre à la profondeur voulue, grâce à un système de télécommande spécialement mis au point.

La Segans a effectué des études et expériences très complètes en vue de la mise au point du procédé de conduite retenue. Ces études ont abouti aux réalisations suivantes :

- en 1963, pose d'un prototype de 300 m, en deux arches de 150 m et raccordement sous-marin par soudure, sur fonds de 50 m ;
- en 1965, pose d'un prototype de 1.500 m, en deux arches de 800 m et raccordement des deux arches, sur fonds de 1.000 m.

Ces éléments furent soumis à des observations périodiques et se sont parfaitement bien comportés. Ils ont été retirés au début de 1968.

2 - Le procédé Gaz de France - Electricité de France.

De son côté, Gaz de France, travaillant en collaboration avec Electricité de France, a étudié et mis au point un procédé conçu spécialement pour la pose de canalisations sous-marines à grande profondeur.

Nous n'analyserons pas ici ce procédé, qui est exposé dans un article de M. LECŒUR. Indiquons seulement que ce procédé, fruit d'un remarquable travail de recherche et de mise au point, consiste à mettre en place une canalisation à partir de la surface, la canalisation descendant lentement vers le fond à mesure de l'avancement, grâce à un système de bouées à flottabilité variable spécialement conçues. Ce procédé a été expérimenté avec succès jusqu'à des profondeurs de 2.500 m, mais peut bien entendu être appliqué à des profondeurs nettement plus faibles.

En 1965, on a posé au large de Cassis, suivant le procédé Gaz de France, une canalisation sous-marine de 7,5 km de long, de diamètre 244 mm, destinée à évacuer les boues produites par une usine. Cette canalisation sous-marine est posée à des profondeurs atteignant 340 m, et détient ainsi le record de profondeur des canalisations sous-marines actuellement en service.

4. — CONCLUSION

Le développement de l'exploitation pétrolière « off-shore » et des activités de transport, et les nécessités de l'évacuation des effluents, entraîneront un accroissement constant dans la construction de canalisations sous-marines.

Il convient de rendre hommage aux chercheurs français, qui ont réussi à mettre au point deux procédés nouveaux de pose de canalisations sous-marines :

- le procédé de conduite retenue Segans résout le problème de la pose d'une canalisation entre le fond et la surface ;
- le procédé Gaz de France résout le problème de la pose d'une canalisation à grande profondeur, en n'utilisant que des moyens relativement simples.

Enfin, non seulement la Segans, Gaz de France et Electricité de France ont réussi à mettre au point les procédés ci-dessus, mais encore, au cours de leurs recherches, ils ont fait grandement avancer les techniques de recherches océanographiques et de travail « off-shore ».

LA SOCIÉTÉ DES TRANSPORTS PÉTROLIERS PAR PIPELINE (TRAPIL)

NATURE, VOCATION, RÉALISATIONS ET PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT

par **Maurice LEBLOND**, Ingénieur en Chef des Mines,
Président Directeur Général de la Société des Transports Pétroliers par pipeline.

ORIGINE ET CONSTITUTION DE LA SOCIÉTÉ

Dès 1947, devant la nécessité d'accroître la capacité des moyens destinés à assurer le transport des produits pétroliers raffinés entre les raffineries productrices de Normandie et les dépôts de stockage de la région de Paris, la Commission de Modernisation du Pétrole (Plan Monnet) préconisa le recours à la technique du transport par canalisation, comme étant le plus économique en investissements, et également en frais d'exploitation.

Le 1^{er} janvier 1951 a été constituée la Société des Transports Pétroliers par Pipeline — TRAPIL —, société d'économie mixte dans laquelle se trouvent aujourd'hui associés :

- Le Trésor public,
- un organisme public à vocation économique générale : La Caisse des Dépôts et Consignations,
- un organisme public à vocation régionale : Le Port Autonome du Havre,
- des industriels pétroliers possédant des raffineries et/ou des réseaux de distribution en France, groupe TOTAL, SHELL, ESSO, MOBIL, B. P., groupe ELF, ANTAR, PURFINA, etc...

La Société est administrée par un Conseil de 15 membres ; deux Commissaires de Gouvernement représentent respectivement le Ministre de l'Industrie et celui des Transports. L'activité de la Société est soumise au contrôle financier de l'Etat.

Le capital de TRAPIL est de 50 MF au début de 1968 ; le total des investissements réalisés depuis 15 ans représente un montant de l'ordre de 250 MF, en francs non réévalués.

OBJET ET VOCATION DE LA SOCIÉTÉ

Le premier objet proposé à l'activité de la Société portait sur l'étude, la construction et l'exploitation de canalisations destinées au transport de produits raffinés entre la zone de production s'étendant en Normandie, du Havre à Rouen, et la zone de distribution de la Région Parisienne. C'est dans ce cadre, qu'a été construit puis exploité par la Société, le réseau de pipelines Le Havre-Paris, qui sera décrit dans cet exposé.

Ultérieurement, l'expérience acquise a permis à TRAPIL d'étendre son activité, et de s'intéresser, en tant que prestataire de services, à l'étude, la construction et l'exploitation d'autres ouvrages. C'est ainsi que la Société a apporté un concours actif à la mise en œuvre des réseaux de pipelines militaires construits en France pour l'Armée Américaine, et pour l'Organisation Nord-Atlantique.

Par la suite, il a été jugé souhaitable de constituer une Société filiale, l'Omnium Technique des Transports par Pipelines (O.T.P.), qui s'est spécialisée tant sur le plan national qu'international dans tous les problèmes d'engineering concernant les transports par canalisations et les activités annexes.

Présentement TRAPIL apporte, soit directement, soit par l'intermédiaire de l'O.T.P. son concours à la réalisation du réseau du Pipeline-Méditerranée-Rhône (S.P.M.R.) devant relier la région Lyonnaise, la Savoie et Genève, l'Étang de Berre et de Feyzin (près de Lyon).

Ainsi TRAPIL a pu développer une vocation technique dans la conception et l'exploitation des canalisations de transport de produits raffinés.

LE RÉSEAU DE PIPELINES LE HAVRE-PARIS

La réalisation la plus importante de TRAPIL intéressant l'économie civile, est le réseau de pipelines Le Havre-Paris (LHP) qu'elle exploite en toute propriété depuis 1953 ; ce réseau a permis d'assurer un trafic cumulé représentant en fin 1967 : 37,42 millions de tonnes de produits raffinés.

Description technique.

Destiné primitivement à réaliser une liaison linéaire entre les raffineries de Basse Normandie et les dépôts pétroliers de Paris, le pipeline LHP, dans son développement actuel, constitue un réseau assurant l'interconnexion des points de production, d'importation, et de consommation situés dans l'ensemble de la zone Normandie-Paris.

A partir des installations de stockage du Havre, des raffineries de Gouville, Port-Jérôme, Petit-Couronne en Normandie, de la raffinerie de Grandpuits près de Melun, le pipeline dessert les dépôts pétroliers de distribution installés à Rouen d'une part, dans la Région Parisienne d'autre part. Dans ce dernier secteur, le pipeline dessert en outre directement l'aéroport d'Orly, deux usines du Gaz de France, et des installations appartenant à la R.A.T.P. et au Service des Essences aux Armées.

La longueur totale des canalisations en service est d'environ 670 km, constituées de tubes soudés en acier à haute limite élastique.

La profondeur moyenne à laquelle les tubes sont enterrés est de 80 centimètres ; les lignes traversent dans leur plus grande partie des propriétés privées, mais empruntent parfois le domaine public.

L'expédition des produits, à des débits variant de 400 à 1.500 m³/h, est assurée par des stations de pompage équipées de moteurs électriques pouvant indifféremment fonctionner en expédition proprement dite, ou en relais.

La livraison est assurée au moyen de terminaux dans lesquels sont opérés le comptage précis des volumes livrés et l'aiguillage des produits vers les différents dépôts réceptionnaires.

L'état global d'équipement du réseau est le suivant, en début 1968 :

Localisation des lignes ou antennes	Le Havre Gennevilliers Nanterre Grigny	Gonfreville Gennevilliers Saint-Ouen	Gonfreville Gennevilliers	Grandpuits Grigny	Villeneuve-le-Roi Orly	Petit-Couronne Rouen	TOTAL
Diamètre	25 cm	30 cm	50 cm	30 cm	30 cm	30 cm	
Longueur	248 km	185 km	182 km	45 km	5 km	8 km	673 km
Nombre de Stations	8	5	3	1	—	—	17
Nombre de groupe moto-pompes ..	18	13	8	2	—	—	41
Puissance installée	8.320 cv	14.300 cv	15.100 cv	1.100 cv	—	—	38.820 cv
Nombre de Terminaux	13	2	1	—	1	2	19

Trafic réalisé.

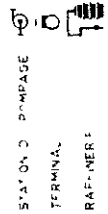
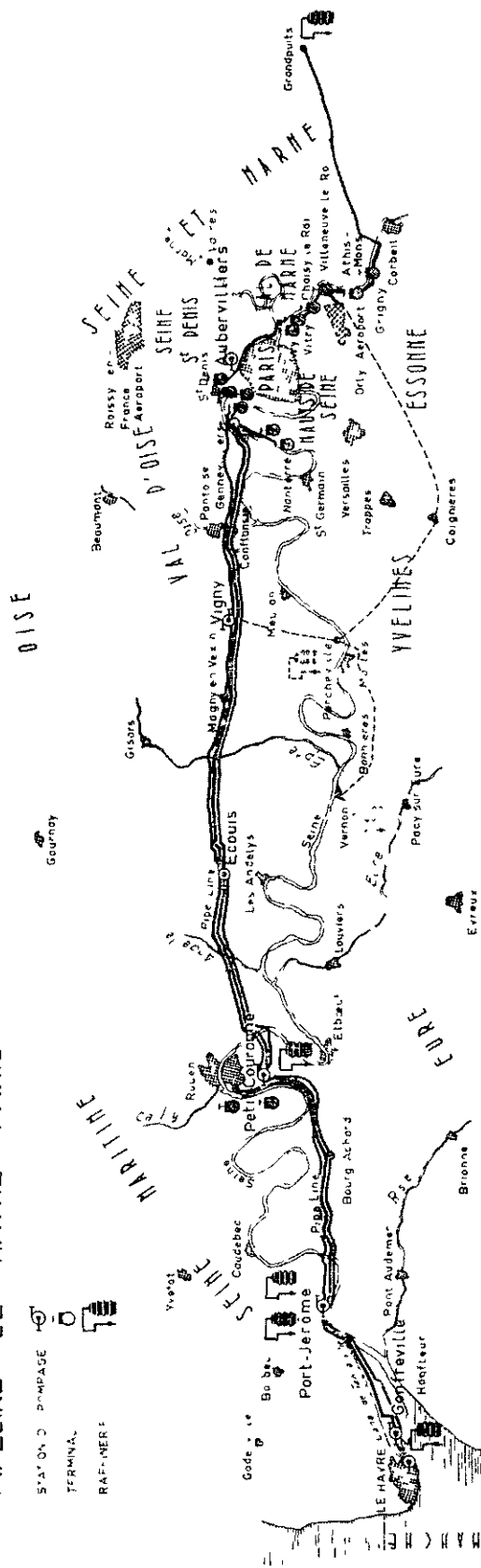
En 1967 le réseau de pipelines Le Havre-Paris a transporté sur la Région Parisienne un tonnage dépassant 6.200.000 tonnes, soit approximativement 60% de la consommation de cette zone en produits fluides pompables et % par rapport à l'ensemble des produits pétroliers consommés. La progression par rapport à l'année précédente est de 14%.

La capacité réelle de transport est très notablement plus élevée, mais la modulation saisonnière de la consommation exige la disposition d'une capacité de pointe suffisante pour satisfaire au rythme instantané des sorties.

Produits transportés.

La gamme des produits transportés est très étendue puisqu'elle comporte toutes les grandes catégories, à la seule exception jusqu'à présent des gaz liquéfiés et des fuels lourds.

PIPELINE LE HAVRE - PARIS



Par ailleurs TRAPIL s'engageant à respecter les marques commerciales de ses clients, le nombre des produits différents transportés par le pipeline est de l'ordre d'une cinquantaine. Et 1967 la décomposition du trafic global se présente de la manière suivante :

(en milliers de tonnes)

Produits	Tonnages
Essences Aviation ..	1 419
Supercarburant ..	
Carburant-auto ..	553
Essences Légères ..	239
Carburacteur ..	898
Gas-oil ..	475
Fuel Domestique ..	2 545
Fuel léger ..	81
TOTAL ..	6 210

L'établissement des programmes de transport est rendu délicat par les caractéristiques de l'exploitation du réseau Le Havre-Paris qui posent des problèmes permanents d'une grande complexité en dehors des sujétions d'ordre technique propres à tous les pipelines de produits raffinés :

- la faiblesse relative des stockages de distribution impose un ravitaillement très souple comportant plusieurs livraisons de produit par mois.
- l'ouvrage ne dispose d'aucun stockage en propre, pouvant jouer le rôle d'amortisseurs.
- l'exploitant est parfois amené à inverser le sens normal de marche d'un ou de plusieurs de ses tronçons.
- certaines relations disposent d'une ligne unique, alors que d'autres sont actuellement doublées ou même triplées ; en outre le débit maximum toléré par chacune des lignes fait ressortir les différences très sensibles allant de 400 à 2.000 m³/h.
- le réseau comporte 5 points d'entrée des produits et actuellement 21 points de sortie possibles.

— pendant la période de pointe d'hiver les installations doivent fonctionner en permanence au rythme le plus élevé de manière à utiliser la capacité maximum de transport de l'ouvrage.

D'importants problèmes sont posés par la nécessité de respecter la qualité des produits aux caractéristiques fort différentes, qui sont amenés à se succéder les uns aux autres, formant à leur interface des mélanges et des contaminations pour lesquels des procédures d'évacuation et d'élimination rigoureuses sont nécessaires.

Les produits sont transportés dans un ordre invariable de qualités, appelé séquence, de manière que chacun joue un rôle de protection vis-à-vis du voisin.

Automatisme.

Les impératifs d'ordre technique, aussi bien que des raisons économiques, conduisent à faire un large appel à la motorisation, la télécommande, et à l'automatisme.

Par ailleurs, le recours aux techniques de « Process Control » impose de plus en plus la transmission permanente à distance des informations.

Enfin le haut degré de sécurité qu'exige le fonctionnement hydraulique normal, et les risques propres à la manipulation de produits pétroliers, entraînent un système de protection faisant lui aussi appel aux techniques de télécontrôle (déclanchement automatique et signalisation immédiate des anomalies).

La centralisation des informations liées à la marche du réseau met en œuvre un ordinateur central du type BULL GE Gamma M. 40, installé à Paris.

Mesurage des produits.

Le statut de TRAPIL est celui d'un transporteur qui n'est jamais propriétaire des produits, mais supporte la pleine responsabilité des quantités prises en charge. En raison de la valeur commerciale des produits eux-mêmes, et aussi de l'intérêt qu'ils représentent pour le Trésor Public — puisque les transports par pipeline portent sur des produits hors taxe — il convient évidemment de tenir une comptabilité produits extrêmement précise.

Celle-ci s'appuie sur les indications des appareils les plus modernes et notamment de compteurs turbines à dispositif indicateur électronique, qui permettent d'obtenir une précision de mesure de l'ordre du dix millième, et se prêtent facilement à la transmission à distance de leurs indications, pouvant ainsi s'intégrer à un système automatisé.

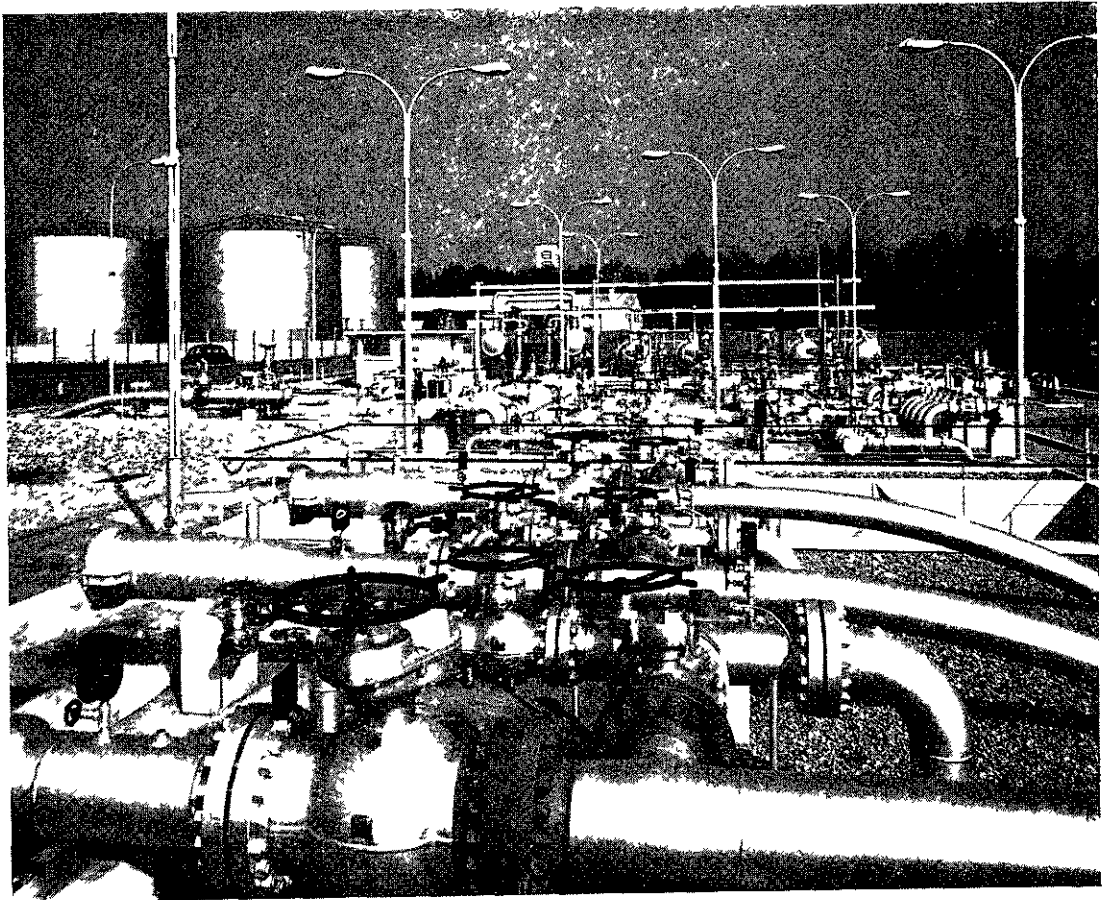
L'utilisation de ces appareils doit évidemment tenir compte de nombreux paramètres (température, débit, pression, viscosité des produits), ainsi que de l'état d'usure du compteur, qui imposent des procédures d'utilisation rigoureuses.

Perspective d'extension.

Le développement du trafic qui semble proposé à l'Exploitation du réseau de pipelines Le Havre-Paris, lié à l'extension de l'infrastructure pétrolière en Région

Parisienne, conduiront probablement dans les prochaines années à une évolution s'exerçant sur deux plans différents :

- une extension géographique et un développement du maillage du réseau, l'amenant à desservir de nouveaux points de production (raffineries de Porcheville près de Mantes, et de Vernon) et de nouvelles zones de distribution (aéroport de Paris Nord, Régions Caen et d'Orléans).
- une poursuite de la mise en œuvre des techniques d'automatisme permettant d'améliorer la productivité et de réduire le prix de revient à la tonne transportée.



*Ensemble de tuyauteries du terminal de livraison de Genevilliers
Photo Jacques Boulay*

RÉSEAU DE LIGNES MILITAIRES

En application de la loi 51.712 du 7 juin 1951, l'Etat a passé avec TRAPIL des conventions en vue de la construction, puis de l'exploitation de pipelines et d'ouvrages annexes d'intérêt militaire. Ainsi TRAPIL a entrepris l'étude et assuré, pour le compte de l'Etat, la réalisation de l'infrastructure d'une ligne américaine, et d'un réseau complet appartenant à l'OTAN, l'ensemble de ces constructions représentant environ deux mille kilomètres de canalisations, quarante stations de pompage, et plusieurs centaines de milliers de m³ de stockage.

S'il n'est pas possible de décrire en détail la consistance de cet ensemble de canalisations, on peut cependant indiquer qu'il constitue un réseau alimentant les zones du Nord et de l'Est de la France, au départ des principaux centres de production et d'importation situés sur les côtes de la Manche, de l'Atlantique et de la Méditerranée.

Le trafic militaire assuré par ce réseau est inférieur à la capacité de transport dont il dispose, et ceci amène à l'heure actuelle les Pouvoirs Publics à se préoccuper des conditions dans lesquelles il pourrait être converti, au moins partiellement, à l'activité civile.

ACTIVITÉS DOMANIALES

Les problèmes domaniaux et fonciers entraînés par la pose de canalisations pétrolières ont dès l'origine amené TRAPIL à constituer un service spécialisé dans ces problèmes, afin notamment de réduire les délais séparant les décisions de construction de pipelines de leur mise en service.

En raison de l'intérêt qu'il y avait à conserver à ce Service Domanal une charge de travail permanente, TRAPIL a étendu le champ de ses prestations à d'autres secteurs, notamment celui des autoroutes. Ainsi, depuis plusieurs années des marchés sont régulièrement passés avec les Pouvoirs Publics responsables couvrant l'ensemble des opérations domaniales et foncières attachées au passage des futures autoroutes.

EXPLOITATION PRÉVUE DU PIPELINE S.P.M.R.

La Société du Pipeline Méditerranée-Rhône, dans laquelle TRAPIL possède une participation, procède actuellement à la construction d'un réseau de pipelines dont la mise en service commerciale est prévue pour le début de 1969. Dans un premier stade, une artère principale ayant comme origine le centre de raffinage de la Méditerranée desservira la Région Lyonnaise, la Savoie et Genève ; en outre un branchement direct de la raffinerie de Feyzin permettra à cette installation de concourir également à l'alimentation du réseau.

La conception du nouvel ouvrage fera appel aux techniques les plus modernes, en tenant compte notamment de l'expérience actuellement acquise dans l'exploitation des pipelines de produits raffinés.

La S.P.M.R. prévoit de confier à TRAPIL l'exploitation de l'ouvrage, qui dès son démarrage doit assurer un trafic annuel de l'ordre de 4 millions de tonnes.

PROCÈS-VERBAUX DES RÉUNIONS DU COMITÉ DU P.C.M.

Séance du vendredi 26 Janvier 1968

Le Comité du P.C.M. s'est réuni le vendredi 26 janvier 1968, à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (Salle des Conseils).

Etaient présents : MM. **Abraham, Aussourd, Block, Bouzoud, Cartier, Douvry, Gaud, Gaudel, Gayet, Gerondeau, Guérin, Hirsch J.-P., Huet Y., Joneaux, Josse, Lacaze, Oliver, Perrin, Ponton, Regard, Robin, Sauterey, Schmidt, Tardieu, Thiébault.**

Absents excusés : MM. **Ailleret F., Boilot, Callot, Cazes, Deschênes, Duminy, Funel, Gérard, Horps, Laffitte, Leclercq, Paré, Paufigue, Perrin-Pelletier, Rousselot.**

AFFAIRES GÉNÉRALES

1°) Adoption du Procès-verbal de la séance précédente.

Le procès-verbal de la séance du Comité du 24 novembre 1967 est adopté à l'unanimité

2°) Préparation de l'Assemblée générale.

Le Président présente au Comité les grandes lignes du rapport moral préparé par le Bureau pour l'Assemblée générale. Ce rapport, reprenant les principaux thèmes de la politique suivie par le P.C.M. au cours de ces derniers mois, insiste notamment sur la distinction entre le P.C.M. et l'Administration du Ministère de l'Équipement, permettant à notre Association de garder tout son pouvoir de contestation.

Il évoque également le nécessaire rapprochement des grands Corps scientifiques. Il fait, en particulier, le bilan du groupe de travail Ponts et Chaussées-Mines.

Il aborde ensuite :

- Le compte-rendu des activités du groupe P.C.M., composé de camarades du Corps des Ponts et Chaussées qui ont pantouflé. Ce groupe s'est penché sur les problèmes de l'essaimage, des rapports entre l'Administration et le secteur privé, et de la formation des ingénieurs.
- Les problèmes de formation qu'il se propose d'aborder dans son discours au Ministre le soir de l'Assemblée générale du P.C.M., en insistant sur l'urgence de la réforme de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- Le problème de l'équilibre interne au Corps, ainsi qu'il a été exposé dans la Page du Président du

mois d'octobre dernier. Il insiste sur le maintien de l'équilibre entre les diverses filières et indique qu'il ne peut s'agir que d'un équilibre dynamique et non statique, ce qui amène à des ajustements fréquents de la ligne de conduite du Corps.

- L'organisation matérielle du P.C.M. : un effort a été fait pour mieux informer les camarades des services extérieurs par la voie du « P.C.M. - FLASH », et pour améliorer la qualité du Bulletin du P.C.M. dont chaque numéro est désormais centré autour d'un thème général : le numéro de mars, en particulier, sera consacré à l'énergie et préfacé par notre camarade **Couture**, Secrétaire général à l'Énergie
- Le voyage P.C.M. : il n'a pas eu lieu en 1967. Il a été préparé pour 1968 un déplacement, soit à Madagascar, soit en Côte d'Ivoire et au Sénégal, consacré à la coopération technique. Malheureusement, le faible nombre de candidats amène le P.C.M. à abandonner ce projet, malgré l'effort de préparation des camarades en coopération dans ces pays.
- L'organisation des journées des 14 et 15 mars prochains. L'Assemblée générale du P.C.M. en 1968 aura lieu le 14 mars à 15 heures à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, dans l'amphithéâtre de 3^e année. Dans toute la mesure du possible, le rapport moral sera diffusé dans les 8 jours qui précéderont pour permettre aux camarades d'en prendre connaissance

L'Assemblée générale du P.C.M. sera suivie de celles du Syndicat générale des Ingénieurs des Ponts et Chaussées, de la Société Amicale de Secours des Ingénieurs des Ponts et Chaussées et des Mines et de l'Amicale d'Entraide des Ingénieurs des Ponts et Chaussées et des Mines.

Le soir aura lieu le dîner traditionnel dans les salons de la Compagnie Air-France, et au cours duquel le Président adressera son discours aux Ministres.

Enfin, le lendemain, est prévue une visite du C.E.R.N., à Genève, sous la direction de notre camarade **Grégoire**, Directeur Général du CERN, pour laquelle un avion est affrété par le P.C.M. Le Président demande aux délégués de groupe d'en souligner l'intérêt auprès des camarades, car il reste encore des places disponibles.

AFFAIRES PONTS ET CHAUSSÉES

3°) Moyens des services.

M **Funel**, assisté d'un certain nombre de camarades, a effectué une enquête auprès des services dont les conclusions seront diffusées par le prochain FLASH

Ce rapport très intéressant fait apparaître qu'il est très difficile d'évaluer le montant des tâches qui incombent aux services. La charge moyenne par individu aurait cependant augmenté de 50% en 10 ans. Il sera diffusé à l'extérieur après réception des observations des camarades.

Le Président suggère au Comité que soit créé un groupe de travail chargé de poser le problème du fonctionnement de l'Administration. Les camarades qui seraient désignés pour en faire partie seraient chargés de faire un inventaire aussi précis que possible de ce qui ne va pas, notamment, dans les relations entre les services et l'Administration centrale et dans les méthodes de l'Administration centrale.

Ce groupe serait composé d'une demi-douzaine de camarades des services départementaux auxquels seraient adjoins quelques camarades de l'Administration centrale. Il serait bon également d'y ajouter un chef de service régional.

4°) Rôle de service constructeur des services de l'Équipement.

Un des principaux points abordés dans les notes que le P.C.M. a adressées aux responsables des groupes de travail créés par M. **Ortoli** sur les missions et moyens des services, traitait du rôle de service constructeur des services de l'Équipement. Le papier exprimait l'idée que plutôt que de voir persister la situation existante, il vaudrait mieux abandonner cette attribution.

Le Président insiste sur la nécessité d'une étude approfondie avant toute prise de position.

Pour préciser la position du P.C.M. sur cette question fort importante, il est décidé de constituer un groupe d'étude dont M. **Bouzoud** est l'animateur et qui pourra comprendre également les camarades **Césari, Chemillier, Grammont, Schmidt, Temime, Le Guen, Grosborne, Briquel, Gendrot, Planté, Michon**.

5°) Élargissement du groupe des D.D.E.

Le souci de marquer plus nettement la distinction entre P.C.M. et Administration affirmé en début de séance, et la nécessité indiscutable de trouver un

cadre adapté à la solution des problèmes propres aux services de l'Équipement (qui n'intéressent pas que des ingénieurs des Ponts et Chaussées) amène le Bureau à encourager la création, à côté du P.C.M. d'une organisation que l'on pourrait appeler « Association des cadres supérieurs de l'Équipement ».

Si un tel projet était retenu il faudrait s'accorder sur les catégories de cadres qui pourraient faire partie de cette Association. Les problèmes qui intéresseraient les services de l'Équipement seraient traités au sein de cette association. Ceux qui présenteraient des conséquences pour le Corps des Ponts et Chaussées continueraient bien entendu à être évoqués au sein du P.C.M.

Ce souci de clarification, corollaire d'un élargissement du rôle interministériel du Corps des Ponts et Chaussées, conduit également à souhaiter une meilleure organisation de la gestion du Corps. Dans cet esprit le P.C.M. encourage à la nomination d'un « Chef de Corps », entouré d'un « Conseil ».

Ces projets, nés d'une réflexion de ces derniers mois, feront l'objet d'une discussion approfondie lors de l'Assemblée générale.

Dès maintenant, le Comité donne son accord pour que M. **Robin**, en tant qu'animateur du Club des Directeurs départementaux de l'Équipement, prenne des contacts préliminaires à la création de l'« Association des cadres supérieurs de l'Équipement ».

6°) Assistance technique aux collectivités locales.

L'évolution des structures locales françaises a déjà été évoquée plusieurs fois au Comité du P.C.M.

La diffusion du rapport **Paira** à nos camarades D.D.E. n'a guère amené de réactions de leur part. Il est cependant évident que les évolutions inéluctables, et d'ailleurs souhaitables dans l'intérêt général, évoquées par ce rapport et reprises dans un projet de loi préparé par le Ministère de l'Intérieur vont modifier les conditions de travail des services de l'équipement. Il est nécessaire que les D.D.E. participent activement à l'application de ces mesures et notamment aux études de regroupement de communes et aux projets de découpage territorial et que soit repensée la politique d'assistance des services aux collectivités locales.

En fin de séance, le Président donne lecture aux camarades d'une lettre qui lui a été adressée par le camarade **Bonitzer** au sujet de l'équilibre des filières dans le Corps des Ponts, ainsi que de sa réponse.

L'Ordre du jour étant épuisé, la séance est levée à 17 h. 30.

OFFRES DE POSTES

Important Bureau d'Etudes recherche :

Pour siège Paris, un Ingénieur diplômé ayant expérience études tracé autoroutier.

Adresser C.V. détaillé et prétentions à :

B.C.E.O.M., 15, Square Max-Hymans, Paris 15'

Le Ministère des Affaires Etrangères et le Service de Cooperation Technique du Ministère de l'Equipe-ment et du Logement transmet l'offre suivante des Nations Unies (Bureau Européen de recrutement pour l'Assistance Technique, Palais des Nations, Genève, Suisse). Réf AFE 108-SF.

Request from the committee for co-ordination of investigations of the lower mekong basin :

Post title : Hydraulic Engineer.

Duration : On year, with possibility of extension.

Date required : As soon as possible.

Duty station Bangkok, Thailand, with considerable field work in the kingdoms of Cambodia, Laos and Thailand and the Republic of Viet-Nam

Duties : Under the supervision of the Director of Engineering Services of the Mekong Committee, the expert will be expected to :

Assist and advise the hydrologic departments of the four countries in subjects connected with hydrology ;

Assist in the study of hydraulic problems in the delta regions of the Kingdom of Cambodia and the Republic of Viet-Nam ; and

Assess the damage caused by floods in the delta region in these two countries and suggest measures to prevent such damages.

Qualifications : The candidate must be a graduate in hydraulic engineering, with adequate training in hydrology, preferably in deltaic areas. He must have routine working knowledge with digital computers as well as ability to prepare programmes for solving hydraulic problems by computers. He should also have at least ten years of experience in the field, preferably in tropical regions.

Languages : French ; working knowledge of English.

AVIS

Journée d'entrée libre à la Station de Recherche du CENTRE SCIENTIFIQUE et TECHNIQUE du BATIMENT à Champs-sur-Marne.

Le vendredi 14 juin 1968, de 10 h. à 17 h., le **Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (C.S.T.B.)** ouvrira les portes de sa Station de Recherche de Champs-sur-Marne, à tous les visiteurs qui pourront parcourir à leur gré les laboratoires ou suivre des groupes organisés. Les techniciens du C.S.T.B. seront à leur poste pour commenter leurs travaux et recherches qui tous concourent à atteindre le but du

C.S.T.B. : des constructions plus habitables, plus durables, moins chères.

Pour faciliter l'organisation, on est prié de manifester son intention de visiter, par écrit ou par téléphone au C.S.T.B., 4, avenue du Recteur Poincaré, Paris 16' (Tél. 288-81-80), Adresse de la Station de Recherche, 84, av. Jean-Jaurès, Champs-sur-Marne.

MUTATIONS, PROMOTIONS et DÉCISIONS diverses

concernant le Corps des Ingénieurs des Ponts et Chaussées et des Mines

CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES

MUTATIONS ET NOMINATIONS

Par arrêté du 6 février 1968, M. **Cassoux** Robert, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, précédemment Directeur départemental de l'Équipement des Hautes-Alpes, a été nommé chef du service régional de l'équipement pour la circonscription d'action régionale de Bourgogne, en remplacement de M. **Bringer**, appelé à d'autres fonctions, pour compter du 1^{er} février 1968

J.O. du 21 février 1968.

Par arrêté du 6 février 1968, M. **Vergnes** Albert, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, précédemment Directeur départemental de l'Équipement du Tarn, a été nommé Chef du service régional de l'Équipement pour la circonscription d'action régionale de Franche-Comté, pour compter du 1^{er} février 1968

J.O. du 21 février 1968

Par arrêté en date du 17 février 1968 :

Il est mis fin aux fonctions exercées en qualité de chargé de mission à temps partiel auprès du Préfet de la région Franche-Comté de M. Bruno **Grange**, Ingénieur des Ponts et Chaussées

Le présent arrêté prend effet à compter du 16 juillet 1967.

J.O. du 24 février 1968.

Par arrêté en date du 17 février 1968 :

Il est mis fin aux fonctions exercées en qualité de chargé de mission à temps partiel auprès du Préfet de la région Picardie par M. Michel **Frybourg**, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Est nommé en qualité de chargé de mission à temps partiel auprès du Préfet de la région Picardie : M. Jean **Savel**, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Le présent arrêté prend effet à compter du 1^{er} décembre 1967.

J.O. du 24 février 1968.

Par arrêté du Premier ministre, du ministre de l'Équipement et du Logement et du secrétaire d'État aux Affaires Étrangères, chargé de la coopération, en date du 16 février 1968 :

MM **Grillot** André et **Masnou** Thierry, Ingénieurs des Ponts et Chaussées, sont placés en service détaché, pour une période de trois ans, éventuellement renouvelable, auprès du secrétariat d'État aux Affaires étrangères, chargé de la coopération, en vue d'exercer des fonctions de leur grade respectivement au Gabon et à Madagascar.

Ces dispositions prennent effet à compter du 19 juin 1967 pour M. **Grillot** et du 1^{er} octobre 1966 pour M. **Masnou**.

J.O. du 24 février 1968.

M. **Ternier** Michel, Ingénieur des Ponts et Chaussées, précédemment en service détaché à l'Administration centrale du Ministère de la Coopération, est réintégré pour ordre dans les cadres de son Administration d'origine et replacé en service détaché auprès du secrétariat d'État aux Affaires Étrangères, chargé de la Coopération, pour une période de trois ans éventuellement renouvelable, afin d'exercer des fonctions de son grade en Côte-d'Ivoire à compter du 11 avril 1966

J.O. du 24 février 1968.

Le Président de la République décrète :

Art. 1^{er}. — En application de l'article 3 du décret susvisé du 15 décembre 1965, est nommé Commissaire aux transports aériens : M. **Meunier** Georges, Ingénieur Général des Ponts et Chaussées, Directeur au Ministère des Transports, en remplacement de M. **Vergnaud** Robert, appelé à d'autres fonctions.

Art. 2. — Le Premier Ministre et le Ministre des Transports sont chargés de l'exécution du présent décret, qui sera publié au Journal Officiel de la République Française.

Fait à Paris, le 11 mars 1968.

J.O. du 12 mars 1968.

M. **Lardeur** Horace, Ingénieur des Ponts et Chaussées, précédemment à l'arrondissement sud-est de la Direction départementale de l'Équipement du Finistère est chargé de l'arrondissement Territorial et Maritime sud de la Direction départementale de l'Équipement du Finistère à Quimper.

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} juillet 1967

Arrête du 19 février 1968

M **Gayardon de Fenoyl** Christian, Ingénieur des Ponts et Chaussées, précédemment mis à la disposition du Préfet de la Région Parisienne est chargé de la Direction du Groupe d'Études et de Programmation de la Direction Départementale de l'Équipement de l'Essonne

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} mars 1968

Arrête du 19 février 1968

M **Huart** Yves, Ingénieur des Ponts et Chaussées, précédemment à l'arrondissement sud-ouest de la Direction départementale de l'Équipement du Finistère est chargé du Groupe d'Études et de Programmation de la Direction départementale de l'Équipement du Finistère à Quimper

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} juillet 1967

Arrête du 19 février 1968

M **Benmehel Nourédine**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, précédemment à l'arrondissement nord-ouest de la Direction départementale de l'Équipement du Finistère est chargé de l'arrondissement territorial nord de la Direction départementale de l'Équipement du Finistère à Brest

Ces dispositions prennent effet à compter du 16 décembre 1967

Arrête du 19 février 1968.

Le Ministre de l'Équipement et du Logement

Vu l'arrête du 29 septembre 1966 chargeant M. **Cottard** des fonctions d'adjoint à l'Ingénieur Général des Ponts et Chaussées chargé des 15^e et 16^e circonscriptions d'Inspection Générale des Services des Ponts et Chaussées.

Sur la proposition du Directeur du personnel et de l'organisation des services.

Art 1^{er} — Il est mis fin aux fonctions de M **Cottard** Henri, Ingénieur Général des Ponts et Chaussées adjoint à l'Ingénieur Général des Ponts et Chaussées chargé des 15^e et 16^e circonscriptions d'Inspection Générale des Services des Ponts et Chaussées.

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} mars 1968

Art. 2. — À compter de cette même date M. **Cottard** est attaché au Conseil Général des Ponts et Chaussées au sens de l'article 9, paragraphe B — du décret 61 43 du 12 janvier 1961.

Décret du 26 février 1968.

M **Wennagel** Jean-Louis, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées précédemment Directeur départementale de l'Équipement de la Loire-Atlantique, est chargé des fonctions de Secrétaire Général du Conseil Général des Ponts et Chaussées en remplacement de M **Bringer**.

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} avril 1968.

Arrête du 5 mars 1968.

DECISIONS

Par arrêté en date du 29 janvier 1968, M. **Lévy** Gilbert, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, a été nommé ordonnateur secondaire, par intérim, pour les dépenses de fonctionnement du service technique de l'Énergie électrique et des grands barrages, en cas d'empêchement et pendant les périodes d'absence de M **Laurent**, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.

JO du 18 février 1968.

Par décret en date du 23 février 1968, est nommé membre du conseil d'administration du port autonome du Havre pour une période de six ans à compter du 1^{er} janvier 1968 :

M **Foin**, Ingénieur Général des Ponts et Chaussées, en qualité de représentant de l'Administration de l'Équipement et du Logement.

JO du 25 février 1968.

Par arrêté du 6 février 1968 :

M **Le Vert**, Ingénieur Général des Ponts et Chaussées, est nommé vice-président de la Commission des Comptes des transports de la nation.

Sont nommés membres de la Commission des comptes des transports de la nation :

Le Directeur des Transports terrestres ou son représentant

Le Chef du service des Affaires économiques et internationales au Ministère de l'Équipement et du Logement ou son représentant.

Le Directeur des routes et de la circulation routière ou son représentant.

Le Directeur des Ports maritimes et des Voies navigables ou son représentant.

Sont nommés membres de la Commission des comptes des transports de la nation, pour une durée de trois ans à compter du 15 novembre 1967 :

M. Leon **Buteau**, Ingénieur Général des Ponts et Chaussées

M. Jacques **Eisenmann**, Ingénieur Général des Ponts et Chaussées,

M. Eugene **Jungelson**, Ingénieur Général des Ponts et Chaussées,

M. Pierre **Lhermitte**, Directeur des Etudes Générales d'Electricité de France.

M. Pierre **Perrod**, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

J.O. du 25 février 1968.

Par arrêté du 23 février 1968, le tableau d'avancement des Ingénieurs des Ponts et Chaussées pour le grade d'Ingénieur en Chef a été fixé ainsi qu'il suit pour l'année 1968 :

MM. **Goldberg** Serge, **Block** Jacques, **Mouy** Jean Paul, **Rousselot** Michel, **Avril** Maurice, **Folacci** Alphonse (déjà inscrits en 1967); **Abraham** Claude, **De-launay** Christian, **Tiphine** Jacques, **Bourdillon** Jacques, **Giraudet** Pierre, **Ferrière** Clément, **Millet** Jean, **Reynard** Georges, **Tutenuit** Jean, **Alexandre** Roger, **Huygue** Michel, **Esmiol** Gaston, **Blanic** Raymond, **Ceylon** David, **Boissering** Yves, **Crousle** Thierry, **Lefranc** Maurice, **Bousseau** Jean-Marcel, **Fifis** Jean, **Martin** Jean-Marie, **Pilon** Bernard, **Saillard** Yves, **Kryn** Jean-Pierre.

J.O. du 1^{er} mars 1968.

Par arrêté du 13 février 1968 et par modification à l'arrêté du 28 septembre 1966 portant désignation de hauts fonctionnaires chargés des circonscriptions d'Inspection Générale des services extérieurs de l'Équipement, les hauts fonctionnaires ci-après désignés ont été chargés de circonscriptions d'Inspection Générale des services extérieurs de l'Équipement et du Logement :

M. **Dollet**, Ingénieur Général des Ponts et Chaussées,

M. **Bringer**, Ingénieur Général des Ponts et Chaussées.

J.O. du 3 mars 1968.

Par arrêté du Ministre de l'Équipement et du Logement en date du 26 février 1968, M. **Vasseur**, Directeur du Bâtiment et des Travaux Publics, est nommé membre titulaire de la Commission consultative des Marchés au Ministère de l'Équipement et du Logement en remplacement de M. Gayet.

M. **Jaouen**, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, est nommé membre suppléant en remplacement de M. **Arnould-Laurent**.

J.O. du 6 mars 1968.

M. **Haas**, Ingénieur Général des Ponts et Chaussées est chargé de mission auprès du Directeur des Transports terrestres en remplacement de M. **Buteau**, Ingénieur Général des Ponts et Chaussées admis à faire valoir ses droits à la retraite, pour étudier toutes les questions concernant les transports terrestres et notamment celles relatives à l'application de la loi du 5 juillet 1949 et des textes réglementaires subséquents sur la coordination et l'harmonisation des transports ferroviaires et routiers.

Arrêté du 5 mars 1968

M. **Lefrou** Claude, Ingénieur des Ponts et Chaussées, est mis à la disposition de l'Agence de Bassin « Artois-Picardie » en qualité de Directeur adjoint

Ces dispositions ont effet au 1^{er} janvier 1968.

Le présent arrêté annule et remplace l'arrêté du 1^{er} février 1968.

Un arrêté interministériel plaçant M. **Lefrou** dans la position statutaire de détachement interviendra ultérieurement.

Arrêté du 4 mars 1968

M. Jean Victor **Gaudel**, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, est chargé des fonctions de Chef du service technique à la Direction générale des collectivités locales.

Arrêté du 20 février 1968.

M. **Lachaize**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, est, en sus de ses fonctions actuelles, chargé de mission auprès du Directeur de l'Aménagement foncier et de l'urbanisme pour l'étude des questions d'urbanisme liées aux problèmes de desserte aérienne du bassin parisien.

Arrêté du 26 février 1968.

M. **Bœuf** Robert, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Directeur du Port autonome de Dunkerque, est chargé des services ci-après désignés à compter du 19 novembre 1967 :

— Service maritime du Nord en dehors de la circonscription du Port autonome de Dunkerque; Service des Phares et balises; Service des voies de navigation intérieure du Port de Dunkerque; Contrôle des voies ferrées des ports de Dunkerque et Gravelines, Base aérienne de Dunkerque.

Arrêté du 1^{er} mars 1968.

PROMOTIONS

Le Président de la République, sur le rapport du Premier Ministre, du Ministre de l'Équipement et du Logement, décrète :

Art. 1^{er}. — Les Ingénieurs en Chef des Ponts et

Chaussées dont les noms suivent, inscrits au tableau d'avancement pour le grade d'Ingénieur Général sont promus Ingénieurs Généraux des Ponts et Chaussées pour compter du 31 décembre 1967

— M. **Vasseur** Jacques

— M. **Ternant** Gérard

— M. **Haas** René

Art 2. — Le Premier Ministre et le Ministre de l'Équipement et du Logement sont chargés de l'exécution du présent décret qui sera publié au Journal Officiel de la République Française.

Décret du 26 janvier 1968.

Par arrêté du Ministre de l'Équipement et du Logement en date du 5 mars 1968, les Ingénieurs des Ponts et Chaussées de 1^{re} classe dont les noms suivent, inscrits au tableau d'avancement pour le grade d'Ingénieur en Chef, ont été promus Ingénieurs en Chef des Ponts et Chaussées pour compter du 1^{er} janvier 1968 et reclassés comme suit à compter des dates ci-après :

M. **Goldberg** Serge, Ingénieur en Chef de 2^e échelon, du 16 février 1966.

M. **Block** Jacques, Ingénieur en Chef de 2^e échelon, du 16 mars 1966.

M. **Mouy** Jean-Paul, Ingénieur en Chef de 2^e échelon, du 1^{er} juillet 1966.

M. **Rousselot** Michel, Ingénieur en Chef de 2^e échelon, du 1^{er} juillet 1966.

M. **Avril** Maurice, Ingénieur en Chef de 3^e échelon, du 16 avril 1966.

M. **Folacci** Alphonse, Ingénieur en Chef de 3^e échelon, du 1^{er} mai 1966.

M. **Abraham** Claude, Ingénieur en Chef de 2^e échelon, du 16 octobre 1966.

M. **Delaunay** Christian, Ingénieur en Chef de 3^e échelon, du 1^{er} mai 1966.

J.O. du 13 mars 1968.

RETRAITES

M. **Cambau** Jean-Emile, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées de 6^e échelon, est admis, sur sa demande, à faire valoir ses droits à la retraite à compter du 3 mars 1968 en application de l'article L. 4 (§ 1^{er}) du code des pensions civiles et militaires de retraite.

M. **Pfeiffer** Jacques, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées de 2^e échelon en disponibilité, est admis, sur sa demande, à faire valoir ses droits à la retraite à compter du 16 décembre 1967 en application des articles L. 4 (§ 1^{er}) du code des pensions civiles et militaires de retraite. La jouissance de la pension sera différée jusqu'au 26 juillet 1981.

CORPS DES MINES

DECISIONS

Par arrêté du 15 février 1968, M. Pierre **Cazala**, Ingénieur des Mines est nommé secrétaire du Conseil du progrès industriel.

J.O. du 1^{er} mars 1968.

Est nommé membre de la Commission des comptes des transports de la nation, pour une durée de trois ans à compter du 15 novembre 1967 :

M. François **Perrin-Pelletier**, Ingénieur en Chef des Mines.

Par arrêté du Premier Ministre, du Ministre de l'Économie et des Finances, du Ministre délégué auprès du Premier Ministre, chargé du Plan et de l'Aménagement du territoire, et du Ministre de l'Industrie en date du 5 mars 1968, M. **Montjoie** René, Ingénieur en Chef des Mines, est détaché auprès du Ministre délégué auprès du Premier Ministre, chargé du Plan et de l'aménagement du territoire, en qualité de Commissaire général du Plan d'équipement et de la productivité, à compter du 23 juin 1967, pour une durée maximum de cinq ans.

TOMBOLA

- | | | | |
|------|---|------|---|
| 1010 | 1 livre (Edita) « Couleurs de Paris ». | 2344 | 1 poste transistor |
| 1060 | 1 coffret parfumerie GUERLAIN | 2365 | 1 lot de livres des Presses de la cité |
| 1076 | 1 balai mécanique. | 2384 | 1 livre collection NATHAN « 21 visages d'artistes » |
| 1127 | 1 bouteille DRY PALE + 2 make up | 2445 | 2 1/2 bouteilles de Noilly Prat |
| 1165 | 1 lot parfumerie (pour homme) | 2588 | 1 bouteille anisette Ricard |
| 1208 | 1 balai mécanique | 2701 | 1 bouteille de grand Marnier |
| 1325 | 1 lot de livres « Collection Plon » | 2858 | 1 bouteille d'apertif anisé « AKAYA OUZO » |
| 1403 | 1 réfrigérateur FRIGECO | 3021 | 1 tableau (M. CHAN) |
| 1543 | 1 coffret de produits de beauté « LANCASTER » | 3049 | 1 coffret de produits de beauté « LANCASTER » |
| 1592 | 1 livre de Paul Eluard « Le poète et son ombre » | 3241 | 1 atomiseur REVLON |
| 1636 | 1 bouteille de Vodka | 3261 | 1 petit Larousse + 1 précis de géologie |
| 1690 | 1 bouteille de Grand Marnier | 3331 | 1 livre de Paul Eluard « Le poète et son ombre » |
| 1703 | 1 atomiseur REVLON | 3358 | 1 parure « Descamps » |
| 1833 | 1 bouteille punch créole | 3403 | 1 lot parfumerie |
| 1836 | 1 atomiseur REVLON | 3601 | 1 coffret Martini |
| 1860 | 1 lot de livres « collection PLON » | 3641 | 1 bouteille de punch créole |
| 1885 | 1 coffret de parfums « WORTH » | 3647 | 1 voyage Paris Corse |
| 1943 | 1 livre de peinture (Georges BRAQUE) | 3659 | 1 coffret parfumerie GUERLAIN |
| 1957 | 1 lot de livres (Edition Fleuve noir) | 3663 | 2 volumes « le complexe usinier » |
| 2042 | 1 livre collection NATHAN « 21 visages d'artistes » | 3729 | 1 lot de livres « collection PLON » |
| 2155 | 1 balai mécanique | 3804 | 1 bouteille de Grand Marnier |
| 2231 | 1 atomiseur REVLON | 3834 | 1 livre de cuisine (R OLIVER) |
| 2308 | 1 lot de livres | 3849 | 1 coffret cognac Martel |
| 2319 | 1 boîte de biscuits B.N. | 3864 | 1 bouteille grand Marnier |
| 2330 | 1 lot de livres | 3933 | 1 boîte de biscuits B.N. |