

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 94 (1968)  
**Heft:** 10

**Artikel:** Étude et réalisation de l'Oléoduc de la centrale thermique de Vouvry  
**Autor:** Deshusses, Michel  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-69634>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 22.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

## ORGANE OFFICIEL

de la Société suisse des ingénieurs et des architectes  
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (SVIA)  
de la Section genevoise de la SIA  
de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique  
de l'Université de Lausanne)  
et des Groupes romands des anciens élèves de l'EPF (Ecole poly-  
technique fédérale de Zurich)

## COMITÉ DE PATRONAGE

Président: E. Martin, arch. à Genève  
Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne  
Secrétaire: S. Rieben, ing. à Genève  
Membres:  
Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.  
Genève: G. Bovet, ing.; Cl. Groscurin, arch.; J.-C. Ott, ing.  
Neuchâtel: J. Béguin, arch.; M. Chevalier, ing.  
Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.  
Vaud: A. Chevalley, ing.; A. Gardel, ing.;  
M. Renaud, ing.; J.-P. Vouga, arch.

## CONSEIL D'ADMINISTRATION

de la Société anonyme du « Bulletin technique »  
Président: D. Bonnard, ing.  
Membres: Ed. Bourquin, ing.; G. Bovet, ing.; M. Bridel; M. Cosan-  
dey, ing.; J. Favre, arch.; A. Rivoire, arch.; J.-P. Stucky,  
ing.  
Adresse: Avenue de la Gare 10, 1000 Lausanne

## RÉDACTION

D. Bonnard, E. Schnitzler, S. Rieben, ingénieurs; M. Bevilacqua,  
architecte  
Rédaction et Editions de la S.A. du « Bulletin technique »  
Tirés à part, renseignements  
Avenue de Cour 27, 1000 Lausanne

## ABONNEMENTS

1 an . . . . .	Suisse	Fr. 46.—	Etranger	Fr. 50.—
Sociétaires . . . . .	»	» 38.—	»	» 46.—
Prix du numéro . . . . .	»	» 2.30	»	» 2.50

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande »  
N° 10 - 5775, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, vente au  
numéro, changement d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie  
La Concorde, Terreaux 29, 1003 Lausanne

## ANNONCES

Tarif des annonces:  
1/1 page . . . . . Fr. 450.—  
1/2 » . . . . . » 235.—  
1/4 » . . . . . » 120.—  
1/8 » . . . . . » 62.—

Adresse: Annonces Suisses S.A.  
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26, 1000 Lausanne et succursale.



## SOMMAIRE

Etude et réalisation de l'oléoduc de la centrale thermique de Vouvry, par Michel Deshusses, ingénieur EPUL, Genève.  
Divers. — Les congrès. — Carnet des concours.  
Documentation générale. — Documentation du bâtiment. — Informations diverses.

## ÉTUDE ET RÉALISATION DE L'OLÉODUC DE LA CENTRALE THERMIQUE DE VOUVRY

par MICHEL DESHUSSES, ingénieur EPUL, Genève

### Introduction

En automne 1965 entrain en service la première centrale thermique suisse de grande puissance, comprenant deux groupes turbo-alternateurs de 150 MW chacun. L'historique de la centrale appartenant à la Centrale thermique de Vouvry S.A., sa conception et sa réalisation ont été décrites dans la presse spécialisée<sup>1</sup>.

Initialement, la centrale devait être érigée dans le voisinage immédiat des Raffineries du Rhône, sises à Collombey-Muraz (Valais)<sup>2</sup>, dont elle devait utiliser les résidus de distillation comme combustible. Diverses oppositions se basant sur le danger de pollution de l'air, la sécurité aérienne, etc., ont obligé les promoteurs à abandonner l'implantation prévue pour choisir le lieu-dit Chavalon, sur un plateau dominant la plaine du Rhône de près de 500 m (fig. 1). Cette implantation a demandé un certain nombre d'adaptations et a nécessité en particulier la création de l'installation de transport de combustible chaud, de 10,5 km de longueur et 460 m de dénivellation, qui fait l'objet de la présente description.

La conception et la réalisation d'un tel transport

<sup>1</sup> Bulletin technique de la Suisse romande, n° 7, avril 1966.

<sup>2</sup> Devenues, depuis le printemps 1966, les Raffineries du Sud-Ouest S.A.

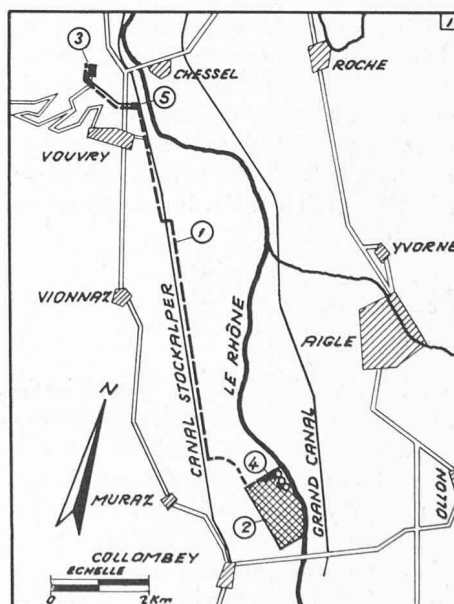


Fig. 1. — Situation de l'oléoduc.

- 1 Oléoduc
- 2 Raffinerie
- 3 Centrale
- 4 Station de pompage I
- 5 Station de pompage II (commune eau et fuel)

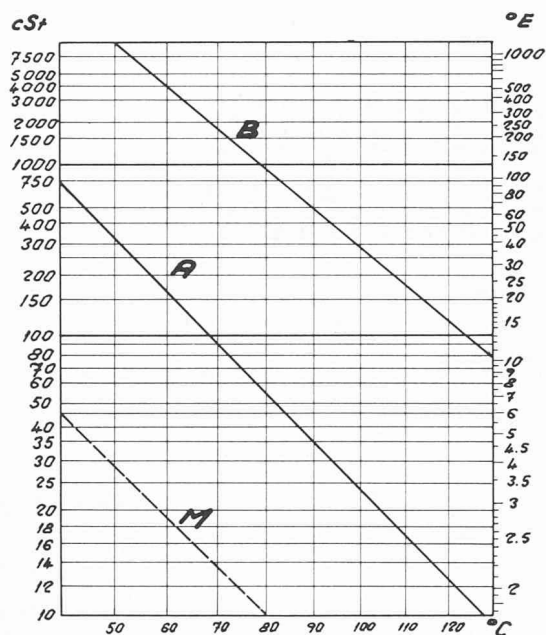


Fig. 2. — Viscosité du fuel en fonction de la température.

A Fuel lourd actuel  
B Fuel lourd futur  
M Fuel moyen pour réchauffage

étant assez différentes de celles d'un oléoduc ordinaire, il semble intéressant d'exposer les conditions pour lesquelles l'oléoduc a été construit et de comparer les diverses variantes étudiées en avant-projets, en indiquant les raisons qui ont motivé les choix entre celles-ci.

#### Exécution des études et calculs

La Centrale thermique de Vouvry S.A., maître de l'œuvre, a confié à la S.A. Energie de l'Ouest-Suisse (EOS), à Lausanne, l'étude et l'exécution complète de la centrale et des installations connexes. EOS a fait appel à la collaboration de SATCO S.A., à Carouge-Genève, pour les études, calculs, appels d'offres, direction locale des travaux, relatifs aux installations mécaniques et thermiques de l'oléoduc. SATCO, dans tous ces travaux, a en permanence coopéré avec les services techniques d'EOS, les décisions successives étant prises d'un commun accord. D'autre part, EOS a confié l'étude de la partie génie civil de l'oléoduc à la Société Générale pour l'Industrie.

### 1. Données de base

#### 1.1 Produits à transporter

Pendant les premières années d'exploitation de la centrale, le résidu de distillation fourni par la raffinerie aura des caractéristiques semblables à celles des huiles de chauffage lourdes; nous avons appelé ce produit fuel A. Cependant, la raffinerie s'est réservée la possibilité d'augmenter le degré de raffinage par la construction de nouvelles installations, entraînant une augmentation considérable de la viscosité du résidu (appelé fuel B); l'oléoduc a donc été conçu en fonction du fuel B. Accessoirement, l'oléoduc doit aussi pouvoir transporter le gasoil nécessaire pour le démarrage de la centrale; si utile, la raffinerie peut livrer encore un mélange spécial, appelé « moyen », dont les caractéris-

tiques sont intermédiaires entre le fuel lourd et le gasoil.

Les caractéristiques des combustibles à transporter sont les suivantes :

Type de liquide	lourd	moyen	gasoil
Poids spécifique $\text{kg/m}^3$	env. 880	env. 850	env. 820
à la température de $^{\circ}\text{C}$	120	50	20
Point de figeage $^{\circ}\text{C}$	env. 40	env. 0	env. -15
Viscosité cSt.	selon diagr. fig. 2		
Température de stockage $^{\circ}\text{C}$	60-80	10-20	5-20
Température de fourniture $^{\circ}\text{C}$	max. 120	max. 80	5-20

#### 1.2 Débits

Le débit de l'oléoduc doit correspondre sensiblement aux diverses possibilités d'exploitation de la centrale, soit :

En service	Débit de l'oléoduc
1 tranche de 150 MW . . . . .	environ 32 t/h
2 tranches de 150 MW . . . . .	environ 64 t/h
2 tranches, plus reconstitution des stocks à la centrale . . . . .	environ 90 t/h

Les installations de transport seront en service continu pendant la marche de la centrale, c'est-à-dire pendant environ 3000 h/an les premières années et, plus tard, jusqu'à 8000 h/an.

#### 1.3 Tracé et raccordements

Longueur du tracé . . . . .	environ 10 500 m
Dénivellation totale . . . . .	462 m

Situation et profil en long sont schématisés dans les figures 1 et 3.

Le tracé se décompose en :

- une section pratiquement horizontale, d'un peu plus de 9 km ;
- une section ascendante, de 800 m environ de longueur et de 440 m de dénivellation ;
- une section plus ou moins horizontale dans l'enceinte de la centrale.

A la raffinerie, la conduite doit pouvoir être alimentée à partir soit des réservoirs de fuel lourd ( $2 \times 30\,000 \text{ m}^3$ ), soit du réseau de gasoil, soit du réseau de fuel moyen. Le dédouanement et la facturation sont établis lorsque le produit quitte la raffinerie, pour le gasoil et le moyen, sur la base de compteurs, et pour le fuel lourd sur la base de jaugeages des réservoirs de la raffinerie. Compilage et jaugeage sont en permanence sous surveillance douanière.

A l'arrivée à Chavalon, la conduite déverse les produits transportés soit dans les réservoirs de fuel lourd ( $2 \times 5000 \text{ m}^3$ ), soit dans celui de gasoil de  $1500 \text{ m}^3$ .

#### 1.4 Réglementation

En Suisse, la construction et l'exploitation des oléoducs sont soumises à la loi fédérale sur les installations de transport par conduite, du 4 octobre 1963. Les études, calculs, plans et réalisations sont soumis au contrôle et à l'approbation du Département fédéral des transports et de l'énergie, qui a délégué ses pouvoirs de contrôle à l'« Association suisse des propriétaires de chaudières » (ASPC).

## 2. Analyse du problème

Les caractéristiques de la conduite (pertes de charge, déperditions de chaleur, etc.) sont fonction du débit et de la viscosité du liquide, laquelle dépend de la température en chaque point de la conduite. Il est nécessaire d'établir ces caractéristiques non seulement en régime permanent, c'est-à-dire après rétablissement de l'équilibre thermique perturbé par toute modification de débit, de température, etc., mais encore en régime transitoire, c'est-à-dire avant l'établissement de l'équilibre thermique.

### 2.1 Déperditions de chaleur

Il est rigoureusement impossible de transporter le produit à la température ambiante, celui-ci étant alors solide. L'adoption d'une température de pompage d'environ 60°C (qui permettrait une conduite sans dispositif de compensation de dilatation) a aussi dû être éliminée, les pertes de charge étant inadmissibles.

L'utilisation d'une température plus élevée nécessitant de toute façon des organes de compensation de dilatation, on a choisi la température la plus élevée possible, c'est-à-dire 110-120°C, le maximum auquel la raffinerie puisse chauffer le fuel à la sortie des réservoirs.

Une question importante s'est posée : est-il ou non nécessaire de réchauffer le fuel sur son parcours de 11,5 km environ ? On pouvait imaginer soit une station de réchauffage à mi-parcours, soit un chauffage continu sur toute la longueur de la conduite (tubes de vapeur ou d'eau surchauffée ou encore câble électrique chauffant, placé sous le calorifuge).

Un premier calcul a permis de comparer les déperditions de chaleur pour diverses dimensions de tubes, plus ou moins bien calorifugés, et de déterminer le refroidissement du fuel sur la longueur totale. La comparaison, dont la figure 4 rend compte, montre que, en régime permanent et à condition que la conduite soit suffisamment calorifugée, il est inutile de prévoir un réchauffage quelconque.

Après analyse des conditions de fonctionnement en régime transitoire et en tenant compte des investissements nécessaires, nous sommes arrivés à la conclusion qu'il est plus avantageux de renoncer à tout chauffage, soit intermédiaire, soit continu. En effet, il est connu que, dans une conduite, deux produits différents, introduits successivement, ne se mélangent pas si l'écoulement est turbulent ; il suffira, avant la mise hors service de l'installation, de pomper du gasoil pour évacuer tout le fuel lourd de la conduite et éviter ainsi le figeage de la conduite. Si l'écoulement est laminaire (cas du fuel B), il sera nécessaire d'utiliser une boule de séparation. De même, pour remettre en service, on réchauffera la conduite, avant de passer au lourd, en pompant du fuel moyen (mélange homogénéisé de fuel lourd et de gasoil), chauffé à 80°C environ.

En conséquence, le calorifuge de la conduite a été dimensionné de façon à retarder le figeage du fuel dans la conduite en cas d'arrêt imprévu du pompage pendant un temps suffisant (environ vingt-quatre heures dans le cas du fuel A), pour permettre la réparation nécessaire

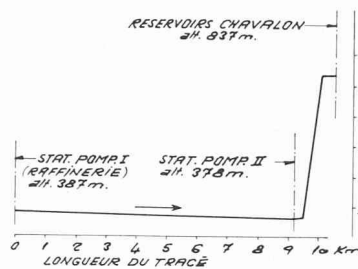


Fig. 3. — Profil en long.

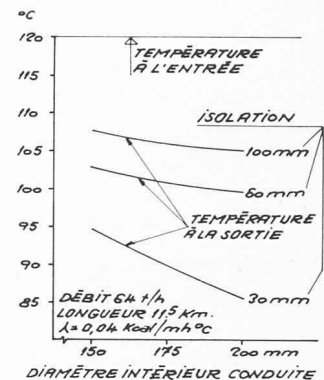


Fig. 4. — Refroidissement du fuel dans l'oléoduc en fonction du diamètre de la conduite.

(éventuellement provisoire), reprendre le pompage et éviter ainsi le colmatage définitif de la conduite.

### 2.2 Pertes de charge

Pour le calcul des pertes de charge, nous avons utilisé les formules habituelles de Poiseuille et de Blasius ; celles-ci cependant manquent de précision dans la zone de transition entre le régime laminaire et le régime turbulent ; pour cette raison, nous avons contrôlé les résultats obtenus en les comparant à ceux que donnent les formules spécialement mises au point pour des écoulements de ce genre par le professeur Maker<sup>1</sup>, formules que nous avons transformées en unités métriques.

$Re$  = nombre de Reynold (—)  
 $\Delta p$  = perte de charge (bar par km)  
 $Q$  = débit ( $m^3/h$ )  
 $\gamma$  = poids spécifique ( $kg/m^3$ )  
 $d$  = diamètre intérieur (mm)  
 $\nu$  = viscosité cinématique (centistoke)

Nombre de Reynold

$$Re = 3,54 \cdot 10^5 \frac{Q}{\nu d}$$

Écoulement laminaire pour  $Re < 2000$

$$\Delta p = 139 \frac{\gamma \cdot Q \cdot \nu}{d^4}$$

Écoulement transitoire pour  $2000 < Re < 2700$

$$\Delta p = 3,64 \cdot 10^6 \frac{\gamma \cdot Q^3}{d^6 \cdot \nu}$$

Écoulement turbulent pour  $Re > 2700$

$$\Delta p = 9,25 \cdot 10^3 \frac{\gamma \cdot Q^{1,75} \cdot \nu^{0,25}}{d^{4,75}}$$

Ces formules montrent que :

- la viscosité a beaucoup plus d'influence sur les pertes de charge en écoulement laminaire qu'en écoulement turbulent ;
- en écoulement laminaire, les pertes augmentent proportionnellement au débit et en écoulement turbulent presque avec le carré du débit ;
- avec le fuel B, l'écoulement sera toujours laminaire, alors qu'il sera toujours turbulent avec le fuel A.

Les pertes de charge en régime permanent avec du fuel B, pour 64 t/h et 32 t/h, sont représentées pour différents diamètres de conduite (fig. 5), en tenant compte de l'abaissement de température résultant des déperditions de chaleur. Il est intéressant de remarquer

<sup>1</sup> F. L. Maker, University of California

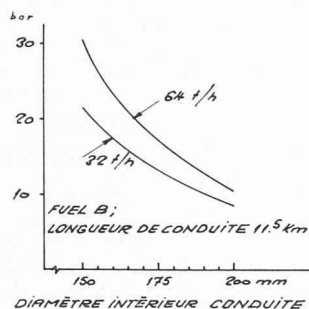


Fig. 5. — Pertes de charges en fonction du diamètre de la conduite (régime permanent).

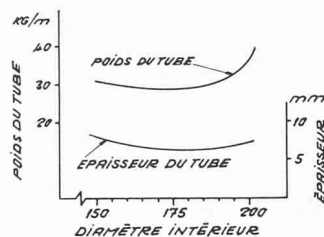


Fig. 6. — Variation du poids du tube en fonction du diamètre choisi.

qu'une diminution de débit n'entraîne, après rétablissement de l'équilibre thermique, qu'un faible abaissement des pertes de charge, par suite de l'augmentation de la viscosité dans la conduite due à un refroidissement plus sensible du produit. Ceci explique la convexité inhabituelle de la caractéristique de la conduite en cas de pompage de fuel B.

Un calcul d'optimisation du diamètre de la conduite a été effectué en déterminant l'incidence du diamètre sur l'épaisseur à donner au tube, sur le poids du tube et, par conséquent, sur le prix de la conduite. Ceci nous a amené, comme le montre la figure 6, à retenir un diamètre intérieur de 175 mm environ (porté à 181,1 mm) pour la conduite proprement dite ; les tuyauteries dans les stations de pompage et à l'arrivée à Chavalon ont des diamètres plus petits pour s'adapter aux dimensions normalisées des vannes.

Pour le diamètre choisi, les pertes de charge par km sont représentées à la figure 7 en fonction du débit et de la viscosité ; la figure 8 donne les caractéristiques de conduite pour fuels A et B.

### 2.3 Caractéristiques des tubes

En accord avec l'autorité de surveillance (ASPC), il a été décidé d'utiliser du tube sans soudure, en acier, conforme à la norme allemande DIN 17172 « Stahlrohr für Fernleitungen für brennbare Flüssigkeiten und Gase », corrigée et complétée par les prescriptions de l'ASPC. La qualité choisie est de l'acier St 42.7 correspondant à la qualité X 42 de la norme 5 LX de l'American Petroleum Institute (API). Les caractéristiques principales de cet acier sont reprises ci-dessous :

Teneur en carbone . . . . .	max. 0,22 %
Limite élastique . . . . .	min. 30 kg/mm <sup>2</sup>
Limite de rupture . . . . .	42-54 kg/mm <sup>2</sup>
Résilience longitudinale à 20°C (non vieilli) . . . . .	7,5 kgm/cm <sup>2</sup>
Résilience transversale à 20°C (non vieilli) . . . . .	6,0 kgm/cm <sup>2</sup>

Un programme de contrôles pour la réception des tubes en usine a été établi par l'autorité de surveillance, qui a prescrit des séries d'épreuves destructives avec prise d'éprouvettes pour analyse et vérification des propriétés mécaniques, ainsi que des épreuves non destructives : essais hydrauliques, contrôles par ultrasons, contrôle visuel, contrôle dimensionnel.

L'épaisseur de paroi du tube a été déterminée par la

formule usuelle et une épaisseur de 6,3 mm a été retenue pour une pression nominale de 64 bar (voir 2.8).

### 2.4 Compensation de la dilatation

Entre les températures extrêmes de 0°C et de 120°C, une conduite en acier se dilate d'environ 1,45 m par km. Il est absolument indispensable de prévoir des dispositifs compensateurs pour absorber la dilatation, de façon à éviter à la fois des contraintes exagérées dans le métal et des réactions inadmissibles qui feraient flamber la conduite ou détruiraient les points-fixes. Pour absorber la dilatation, il est possible soit d'utiliser les coudes du tracé, soit d'introduire dans les tronçons rectilignes des compensateurs avec, entre chacun d'eux, un point-fixe. Les segments de conduite entre points-fixes et compensateurs doivent être rectilignes (des courbes avec rayon de plus de 400 m sont admissibles) et être montés de façon à pouvoir se déplacer axialement sans trop de frottement ; leur longueur ne doit pas dépasser, selon le tracé et le type des supports utilisés, 100 à 300 m, pour limiter sur les points-fixes les réactions provenant du frottement.

Les compensateurs peuvent être de divers types, comme par exemple :

- compensateur à presse-étoupe ;
- compensateur à soufflet, rectiligne ;
- compensateur à soufflet, angulaire ;
- compensateur à rotule ;
- lyre ou compensateur en U, fabriqué à partir de tubes droits et coudés, ayant la forme d'une lyre ou d'un U.

Après comparaison des avantages et inconvénients respectifs, il a été décidé d'utiliser, malgré leur plus grand encombrement, des compensateurs U, dont l'étanchéité absolue est particulièrement précieuse, compte tenu du produit transporté.

Le calcul de ces compensateurs a été fait par la méthode classique de H. v. Jürgensonn, complétée par des données d'expérience du fabricant, la maison Allgemeine Rohrleitung, à Düsseldorf.

### 2.5 Stations de pompage

Vu le profil en long, le pompage pouvait se faire au moyen d'une station au départ de l'oléoduc ou de deux stations, l'une au départ et l'autre au bas du tronçon ascendant.

Il est nécessaire de tenir compte du cas de pompage avec pertes de charge très élevées, causées par un refroidissement de la conduite après un arrêt intempestif. Comme la pression absolue que peuvent supporter les pompes choisies est limitée à 80 bar, on a divisé la hauteur de pompage en deux stations.

La première station se trouve dans l'enceinte de la raffinerie, tout près des réservoirs alimentant l'oléoduc, et la deuxième, dans le même bâtiment que la station de pompage de l'eau d'appoint de la centrale, c'est-à-dire peu avant le tronçon ascendant.

Pour le choix du type de pompes à utiliser, nous avons envisagé :

- pompes volumétriques à pistons ;
- pompes volumétriques à vis ou à engrenages ;
- pompes centrifuges.



Finalement, le type centrifuge a été retenu, malgré un rendement sensiblement inférieur à celui des pompes volumétriques, pour son insensibilité relative aux impuretés et suspensions, sa flexibilité et sa facilité d'entretien.

Les pompes choisies, fournies par Byron-Jackson N.V., Hollande, sont de construction simple, très robustes, à deux étages, avec roues fermées, avec deux paliers à billes ; les garnitures mécaniques à anneau de carbone sont arrosées par du liquide prélevé au refoulement et épuré dans un séparateur cyclone. Chaque pompe, entraînée directement par un moteur électrique de 200 kW, 2970 t/min, peut être réchauffée à la vapeur (station I) ou électriquement (station II).

Nous avons retenu l'installation de deux pompes à chacune des deux stations. Disposées en série, les pompes refoulent chacune à une pression variant entre 310 et 180 m de colonne de liquide pour un débit de 0 à 100 m<sup>3</sup>/h.

## 2.6 Adaptation du débit

Le débit instantané ne joue pas un grand rôle dans le cas considéré, pourvu que la moyenne journalière, éventuellement hebdomadaire, corresponde à la consommation de la centrale. En mettant en service deux, trois ou quatre pompes, il sera possible d'obtenir divers débits, qui, pour le fuel B, correspondent d'assez près aux exigences.

Les débits ont été déterminés au moyen du diagramme pression/débit (fig. 8), en relevant les intersections des courbes caractéristiques de la conduite, pour divers fuels, avec les courbes obtenues en multipliant par deux, trois ou quatre la caractéristique d'une pompe. On remarque que les courbes pompes et conduites se coupent avec un angle faible, surtout pour les petits débits, et que, par conséquent, une petite variation de hauteur de refoulement ou de pertes de charge a une grande influence sur le débit. Ce phénomène, particulier aux pompes centrifuges, est fortement accentué dans le cas concret par l'importance de la hauteur statique vis-à-vis des pertes de charge.

## 2.7 Coups de bélier

Toute modification du régime des écoulements dans une conduite (fermeture d'une vanne, arrêt d'une pompe) engendre des ondes de pressions dont il faut tenir compte pour dimensionner l'installation. Dans le cas qui nous occupe, les surpressions possibles restent modérées, car les vitesses sont faibles et les ondes rapidement amorties en milieu visqueux. Le calcul indique qu'un arrêt brutal de l'écoulement après un débit de 100 m<sup>3</sup>/h entraîne une surpression d'environ 10 bar, laquelle, à une distance de 10 km, est amortie à environ 7 bar (gasoil) ou à 4 bar (fuel lourd B).

## 2.8 Lignes piézométriques

Les figures 9 et 10 donnent l'allure des lignes piézométriques et des surpressions dues aux coups de bélier pour deux cas usuels de pompage. La figure 11 donne la ligne piézométrique du cas anormal de pompage, à quatre pompes, après un arrêt de quinze heures environ, avec fuel B.

C'est sur la base de ces courbes qu'il a été décidé de construire la conduite pour une pression nominale de 64 bar.

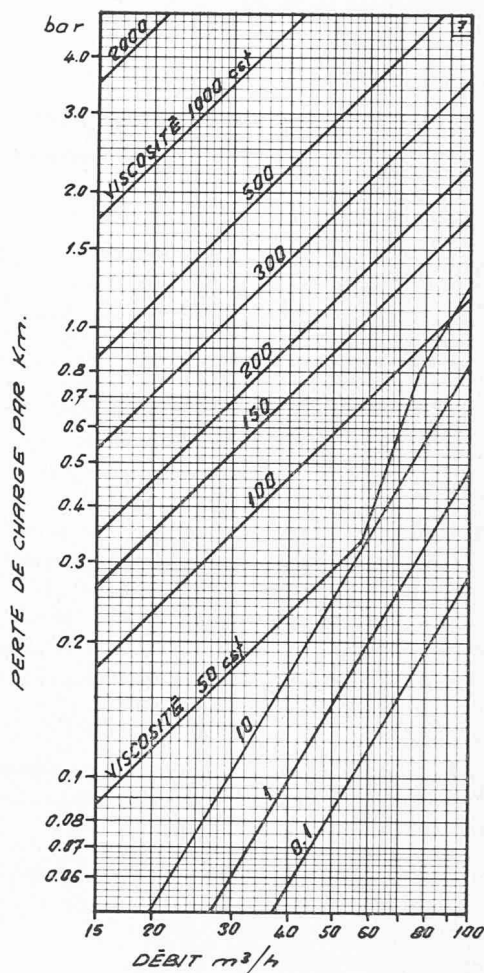


Fig. 7. — Perte de charge par km, en fonction de la viscosité. Diamètre intérieur de la conduite 181 mm ; densité 0,9.

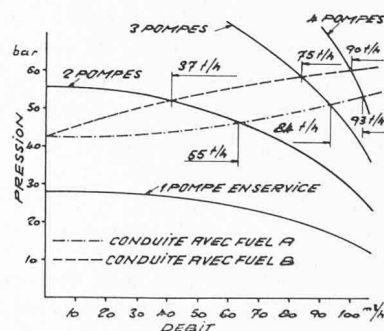


Fig. 8. — Diagramme des débits pour fuel A et B en régime permanent.

## 2.9 Disposition de la conduite

La plus grande partie de l'oléoduc devant être enterrée et comme il est indispensable de permettre à la conduite de se déplacer en fonction des dilatations, nous avons comparé, pour le tronçon de plaine, les dispositions suivantes, classées par ordre de prix décroissant :

- Conduite dans un caniveau, selon figure 12, formé d'éléments de 7 m de longueur, en béton précontraint. Le tube peut se déplacer longitudinale-

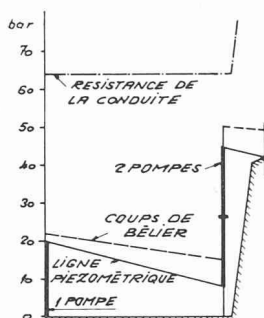


Fig. 9. — Ligne piézométrique et coups de bélier, trois pompes avec fuel B, débit 82 m<sup>3</sup>/h.

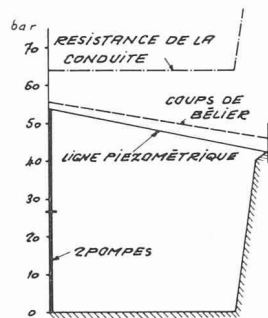


Fig. 10. — Ligne piézométrique et coups de bélier, deux pompes avec fuel B, débit 41 m<sup>3</sup>/h.

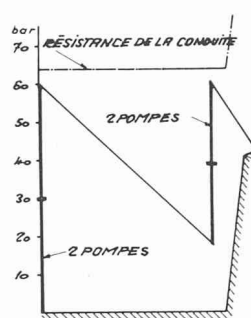


Fig. 11. — Ligne piézométrique, quatre pompes, fuel B, après un arrêt de quinze heures, débit environ 20 m<sup>3</sup>/h.

ment grâce à des supports et guides ; il est calorifugé de façon conventionnelle avec coquilles de laine minérale.

- b) Conduite double-tube selon figure 13. Le tube de produit coulissera au moyen de pièces de distance dans un tube de protection ; une poudre calorifuge est insufflée dans l'espace annulaire entre les deux conduites.
- c) Conduite enrobée dans une masse pulvérulente, calorifuge et hydrofuge (par exemple Gilsulate, Protexulate, etc.), selon figure 14.

La variante c) a été éliminée très rapidement, le pouvoir calorifuge de la masse pulvérulente étant insuffisant.

Finalement, c'est la solution b), proposée par la maison Winter & Co., Quakenbrück, Allemagne, qui a été retenue, à cause de la sécurité élevée en cas de mouvements de terrain ou de travaux à proximité de la conduite, la possibilité de recueil des fuites dans le très improbable cas de rupture de la conduite intérieure, l'étanchéité parfaite contre l'eau du sol, la protection du calorifuge, la rapidité de montage et de mise en place. Le seul inconvénient notable du système double-tube est la difficulté d'accès, après montage, à la conduite de produit, par exemple pour contrôle des pièces de distance, des points-fixes, etc.

### 3. Construction

#### 3.1 Conduite

La conduite double-tube (fig. 15), système Winter, a été utilisée pratiquement sur la totalité de l'oléoduc.

Que ce soit pour la partie enterrée ou celle à l'air libre, le principe est le même : le tube de produit (tube intérieur) est centré et peut coulisser dans un tube pro-

tecteur en acier grâce à des pièces de distance isolantes, soudées tous les quatre mètres environ sur le tube intérieur. L'espace annulaire de 100 mm entre les deux tubes est rempli d'une poudre calorifuge, dénommée Pulvinsul. Cette poudre est un silicate d'alumine inerte, non hygroscopique ; son coefficient de transmission de chaleur  $\lambda$  d'environ 0,042 kcal/m<sup>2</sup> h °C à la température de 120°C et son poids spécifique de 50-60 kg/m<sup>3</sup>, alliés aux possi-

bilités d'insufflation au moyen d'air comprimé sur des distances de 20 à 40 m, en font un matériau pratique et efficace, facile à mettre en place.

En terrain horizontal, là où la conduite est enterrée, les compensateurs U (fig. 16 et 17) sont montés dans des fosses étanches en béton armé. A l'intérieur de la fosse, le tube extérieur est interrompu, des manchettes flexibles empêchant le Pulvinsul de s'écouler dans la fosse ; le tube intérieur, coudé pour former le U, est supporté librement par des chaînes et calorifugé de manière conventionnelle avec coquilles de laine de verre et manteau protecteur. Après montage du compensateur, la fosse est fermée au moyen de plaques en béton préfabriqué et recouverte de terre.

Les points-fixes, placés généralement à mi-distance entre deux compensateurs, sont réalisés par une bride soudée aux deux tubes et solidarissant le tube intérieur au tube extérieur, lequel ne peut se mouvoir à cause du frottement du sol. Les changements de direction ou de pente n'ont lieu qu'aux points-fixes ou aux compensateurs.

Dans la partie ascendante, le mode de construction de la conduite a été adapté à la très forte pente, au danger de chute de pierres et au montage à l'air libre. Le diamètre du tube extérieur a été porté à 450 mm pour augmenter l'épaisseur du calorifuge. Pour tenir compte du profil accidenté, la conduite ascendante a été divisée en huit tronçons de longueur variant entre 140 et 45 m, comprenant chacun point-fixe et compensateur. Les changements de pente sont réalisés, d'une part, par des coudes de rayon 1 m aux points-fixes et, d'autre part, par courbure de la conduite avec un rayon supérieur à 400 m.

Pour éviter tout risque de flambage des deux conduites, on a prévu le point-fixe de chaque tronçon en

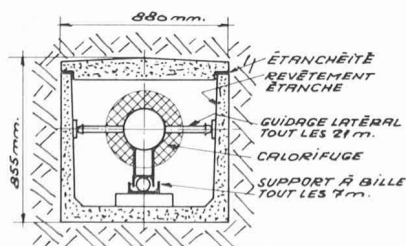


Fig. 12. — Conduite dans caniveau béton (section).

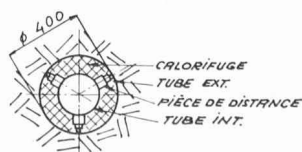


Fig. 13. — Conduite double-tube (section).

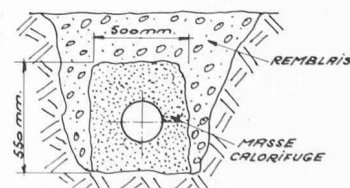


Fig. 14. — Conduite dans masse calorifuge (section).

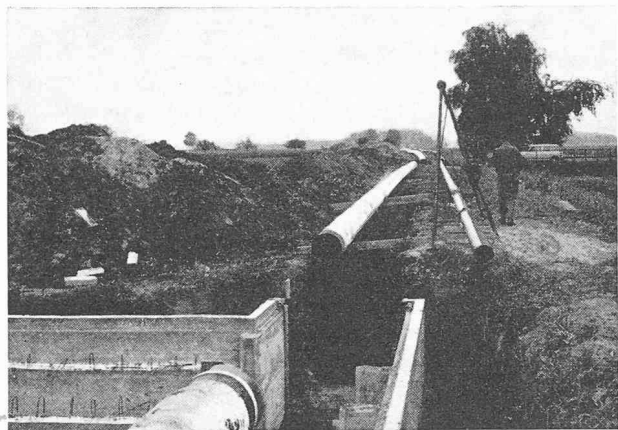


Fig. 15. — Les tubes intérieurs et extérieurs sont soudés. Au premier plan, chambre à compensateur.

haut de celui-ci, alors que le compensateur est monté à sa partie inférieure, comme le montre la figure 18. Chaque point-fixe est réalisé par une construction bridant le tube extérieur et boulonnée sur un bâti scellé dans un massif d'ancrage en béton. De plus, une bride solidarise le tube intérieur au tube extérieur. La conduite extérieure repose sur des supports à galets, distants de 10 m, scellés sur des socles en béton, de façon à ne pas entraver son mouvement de dilatation dû aux variations de température ambiante. La conduite extérieure s'interrompt pour faire place aux compensateurs qui sont calorifugés conventionnellement et montés sur patins glissants ; la poussée latérale, due au propre poids du compensateur, est reprise par des ressorts agissant sur les patins.

#### Montage et mise en place de la conduite de plaine

Le montage de la conduite de plaine a été effectué par soudure en bord de fouille des tubes intérieurs et extérieurs, de façon à former des tronçons de 100 à 150 m de long, c'est-à-dire correspondant à la distance point-fixe - compensateur.

Après soudure des pièces de distance sur le tronçon intérieur, celui-ci est glissé dans le tronçon extérieur. Une fois la conduite descendue verticalement à fond de fouille au moyen de palans, le Pulvinsul est insufflé par une installation spéciale comprenant un réservoir de poudre, un compresseur d'air, une tuyère mélangeuse sous le réservoir et des tuyauteries flexibles de gros

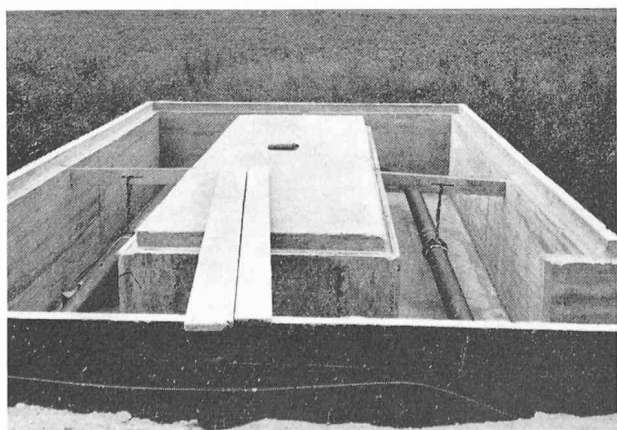


Fig. 17. — Chambre à compensateur terminée, compensateur posé mais non calorifugé.

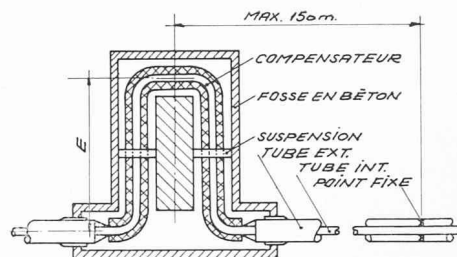


Fig 16. — Vue en plan d'une conduite double-tube, système Winter, enterrée, en terrain plat.

$E = 5$  m pour  $A$  100 m  
 $E = 8$  m pour  $A$  200 m  
 $E = 11$  m pour  $A$  300 m

diamètre. Tous les 30 m environ, des ouvertures sont découpées au chalumeau dans le tube extérieur. A une ouverture, on raccorde le tube flexible amenant le Pulvinsul et à la suivante un filtre qui permet l'évacuation de l'air en retenant la poudre ; les ouvertures sont ensuite refermées par soudure.

Après pose d'un tronçon de tube, d'une fosse à la suivante, les parois de celles-ci sont bétonnées. Le compensateur, fabriqué au moyen de tubes droits et courbes de rayon 1 m, est raccordé à la conduite.

#### Montage de la conduite ascendante

Pour le tronçon ascendant, vu le relief extrêmement difficile, la Société Winter a mis au point une technique particulière, consistant à préfabriquer chacun des huit tronçons au bas de la pente en soudant alternativement tube intérieur et extérieur, à effectuer le remplissage de Pulvinsul, puis à hisser sur les rouleaux des sellettes le tronçon jusqu'à son emplacement définitif au moyen d'un câble entraîné par un treuil scellé au sommet de la pente (fig. 19). A son arrivée en place, le tronçon est bloqué par le serrage des deux brides du point-fixe. Les compensateurs préfabriqués en plaine ont été amenés sur place par un téléphérique et raccordés aux tronçons.

#### 3.2 Stations de pompage

Les deux stations ont été conçues selon le même schéma de principe (fig. 20). Elles permettent soit le libre passage du liquide, soit le pompage avec une ou deux pompes.

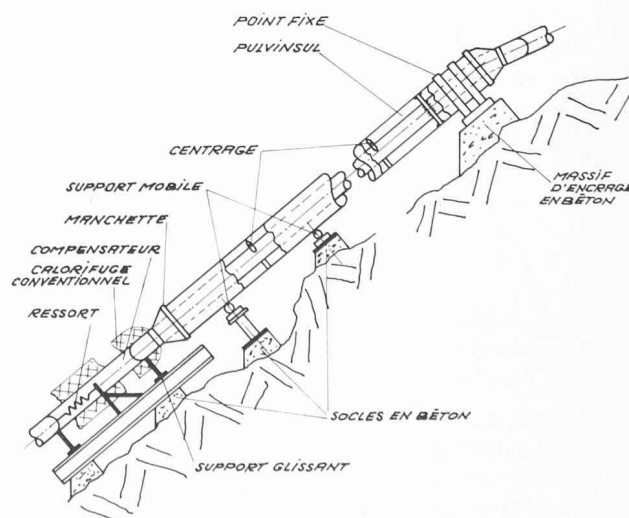


Fig. 18. — Conduite double-tube à l'air libre, en terrain en pente (conception Winter & Co.).



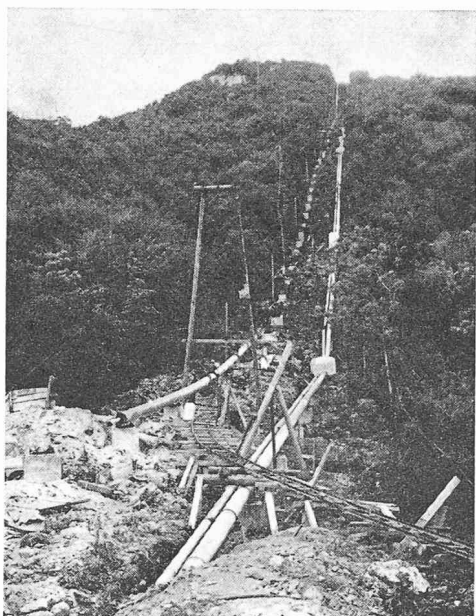


Fig. 19. — Pose de la conduite dans le tronçon ascendant. A gauche : l'oléoduc. A droite : les deux conduites d'eau. Un segment d'oléoduc est en fabrication en bas de la pente.

La forme des tuyauteries a été conçue de façon à absorber les dilatations sans engendrer de contraintes exagérées. Les conduites reposent sur des supports élastiques et glissants, permettant les mouvements tout en supportant le poids des organes suspendus tels que vannes, clapets, etc. La station I est à l'air libre, alors que la station II est dans un bâtiment.

Les vannes, clapets, robinets, etc., sont tous de construction conforme aux normes API, avec des brides ASA, c'est-à-dire d'exécution extrêmement robuste. Des instruments de mesure (pression, température) surveillent le fonctionnement des pompes.

En plus des conduites principales, il a été prévu des conduites auxiliaires permettant la vidange des conduites et des pompes de la station, par exemple pour un démontage. A la station II, les liquides vidangés, ainsi que les fuites éventuelles des garnitures mécaniques des pompes, sont recueillis dans une citerne placée en contrebas. Celle-ci peut être chauffée, si nécessaire, et vidée grâce à une pompe à engrenages, refoulant dans l'oléoduc.

Toutes les conduites, les pompes et les vannes sont équipées d'un système de réchauffage, à la station I à vapeur et, à la station II, électrique. Le tout est calorifugé avec des coquilles de laine minérale et protégé par un manteau en tôle d'aluminium.

L'exécution des deux stations a été confiée à la maison Ami Boulaz S.A., Lausanne.

### 3.3 Distribution

(Raccordement de l'oléoduc aux réservoirs de Chavalon)

Les conduites, réchauffées par circulation d'eau chaude et calorifugées, sont raccordées aux réservoirs par diverses vannes permettant d'aiguiller le liquide dans le réservoir désiré. La dilatation des conduites de la distribution est compensée par des joints à rotule, fabrication Barco (USA).

### 3.4 Contrôle des soudures

Toutes les soudures ont été contrôlées par gammagraphie par une entreprise spécialisée, la maison Gottfeld, à Cologne, sous la supervision de l'autorité de surveillance. Les soudures présentant des défauts dépassant les normes fixées par cette autorité ont été soit réparées et soumises à un nouveau contrôle, soit éliminées. Les extrémités des tubes coupés sur le chantier ont été contrôlées aux ultra-sons avant d'être incorporées dans la conduite. Il est intéressant de noter que, pour la conduite proprement dite, sur un total de 1418 soudures, 75 ont dû être réparées et 23 refaites à nouveau, ce qui représente un résultat remarquable lorsque l'on connaît la sévérité des normes.

### 3.5 Télécommande

Pour limiter les besoins en personnel, des installations de télécommande ont été prévues entre les stations et la distribution d'une part, et la salle de commande de la centrale d'autre part, de façon à permettre le fonctionnement de l'oléoduc sans personnel aux stations de pompage. Les installations de télécommande permettent de :

- transmettre de la centrale des ordres, par exemple manœuvres d'une vanne, enclenchement d'un moteur, etc. ;
- transmettre vers la centrale des alarmes en cas de dérangements ;
- transmettre vers la centrale les grandeurs mesurées : pression, température, débit instantané.

Pour les opérations spéciales (réchauffage de la conduite avec fuel moyen, rinçage avec gasoil, passage du racleur, etc.), les installations de télécommande peuvent être mises hors service et les stations desservies localement.

### 3.6 Protection cathodique

Une installation de protection cathodique protège la conduite contre le danger de corrosion que font courir aux tubes l'agressivité du sol et les courants vagabonds.

Cette installation consiste en une station d'alimentation comportant un redresseur dont la borne négative est raccordée à la conduite et la borne positive à une électrode de déperdition, enterrée à une centaine de mètres de la conduite. Le courant consommé, qui est mesuré en permanence, donne une indication sur l'état de l'isolation électrique de la conduite par rapport au sol.

### 3.7 Racleurs

Il est possible de nettoyer la conduite en y faisant passer un racleur. Ce dispositif consiste essentiellement en un cylindre, sur lequel sont montées des brosses qui raclent la surface intérieure de la conduite. Le racleur, muni de manchettes d'étanchéité en caoutchouc, se déplace dans la conduite poussé par la pression du liquide; il est introduit après la station I par une écluse et ressort de la conduite par une autre écluse à la distribution. Un by-pass, court-circuitant la station II, permet le passage du racleur.

### 3.8 Sécurité

Dans le cas particulier, il convient de distinguer entre la sécurité extérieure et la sécurité d'exploitation.

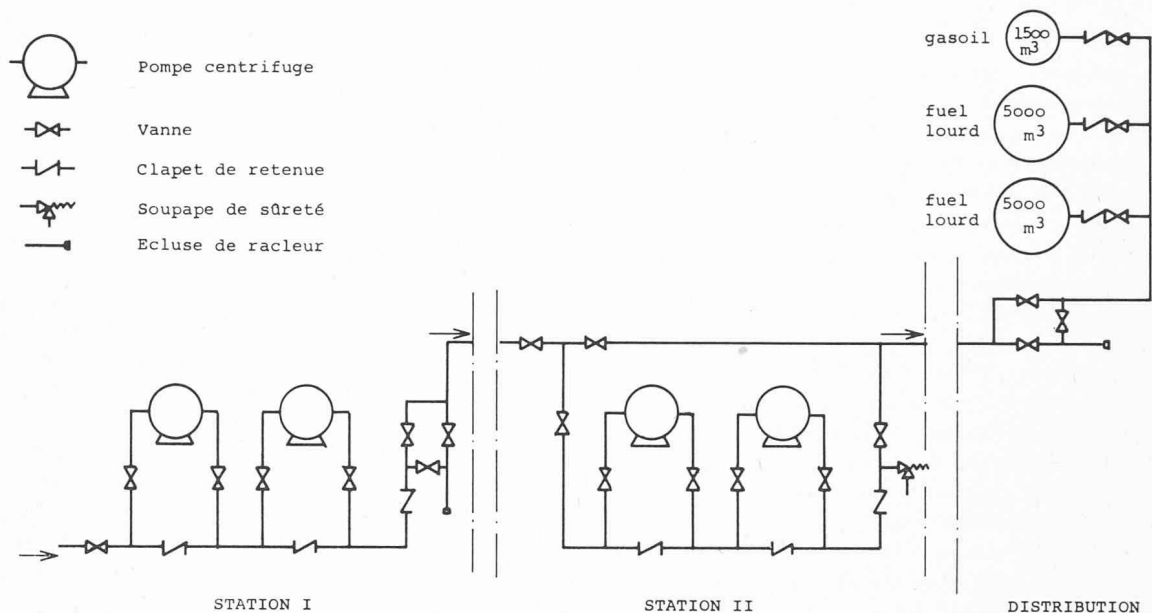


Fig. 20. — Schéma de principe de l'oléoduc.

La sécurité extérieure, qui se traduit par la recherche constante d'éviter tout accident, explosion, incendie, fuite, contamination, etc., pouvant porter préjudice à des tiers, est obtenue, en conformité avec lois et règlements, par toute une série de mesures, telles que :

- exigences sévères lors de la réception des tubes et des contrôles des soudures de la conduite ;
- adoption du principe du double-tube, qui permet de recueillir le liquide en cas de fuite du tube intérieur ;
- enterrement de la conduite à 1 m de profondeur et, partout où cela est nécessaire, mise en place de protections contre l'endommagement du tube par chocs ou déformations (véhicules, chutes de pierres, mouvements de terrain, etc.) ou encore contre des interventions humaines (travaux, fouille, forage, etc.) ;
- utilisation de matériel électrique antidéflagrant ;
- raccordement de la partie enterrée de la conduite à une installation de protection cathodique, écartant le danger de corrosion.

La sécurité d'exploitation, qui se traduit par la recherche constante d'éviter toute interruption de pompage, a été obtenue par :

- utilisation de matériel particulièrement robuste, ayant fait ses preuves dans des conditions de travail très dures ;
- le doublement des organes essentiels (pompes, réseaux électriques, etc.) ;
- un système de surveillance et d'alarme contrôlant en permanence le fonctionnement (pompes, pression, température, débit) ;
- maintien en permanence d'une équipe de piquet, disposant d'un outillage spécialisé, pouvant intervenir immédiatement pour procéder à toute réparation d'urgence.

### 3.9 Durée des travaux

Les études et travaux se sont déroulés comme suit :  
 Fin 1963 : début des études, recherche du tracé

Décembre 1964 : soumission du dossier technique à l'autorité de surveillance  
 Février 1965 : début des travaux de génie civil  
 Mars 1965 : première soudure  
 Début septembre 1965 : fin des essais hydrostatiques  
 Mi-septembre 1965 : début du pompage

### 4. Epreuves hydrostatiques

Avant la mise en service et conformément aux exigences administratives, une épreuve hydrostatique de l'oléoduc a été effectuée avec de l'eau à une pression de 83 bar, soit 1,3 fois la pression nominale, en présence de l'autorité de surveillance.

Les stations de pompage ont été éprouvées séparément, avant la pose du calorifuge, en maintenant la pression pendant deux heures et en martelant les soudures.

Le remplissage de la conduite avec de l'eau a été effectué à partir de la raffinerie au moyen des pompes principales en lançant un racleur de séparation, pour éviter que de l'air ne reste prisonnier dans les points hauts. Après mise en pression et fermeture de tous les orifices, on a procédé, au moyen d'un manomètre à poids, à l'enregistrement pendant quarante-huit heures des variations de pression dans la conduite ; en comparant celles-ci aux variations de la température du sol à proximité de la conduite, il est possible, à condition de procéder sur une période suffisamment longue, de déterminer l'importance d'une fuite éventuelle avec une précision de l'ordre du litre à l'heure.

On a repris la méthode décrite par Alfred Uhde, Wilhelmshaven, qui tient compte de la compressibilité du tube, de celle de l'eau, ainsi que des quantités d'air présentes dans l'eau (celles-ci peuvent être déterminées en mesurant la chute de pression causée par le prélèvement d'un volume déterminé). Les épreuves ont démontré la parfaite étanchéité de la conduite. Après celles-ci, la conduite a été vidée vers la raffinerie en insufflant depuis la distribution de l'air comprimé et en utilisant un racleur de séparation.

## 5. Mise en service

Après quelques essais avec du gasoil et du fuel moyen, un pompage de fuel lourd, d'une durée de trois jours, a eu lieu en septembre 1965. A cette occasion, les diverses manœuvres nécessaires pour la conduite de l'oléoduc ont été mises au point. Comme prévu, la conduite a été réchauffée par pompage de fuel moyen à 80°C, avant de passer au fuel lourd. Avant la mise hors service, un rinçage de la conduite a été effectué en pompant du gasoil.

Au cours de la première campagne d'exploitation de la centrale, octobre 1965 - avril 1966, l'oléoduc a été arrêté, puis remis en service à plusieurs reprises, la centrale, équipée seulement de la première tranche de 150 MW, n'ayant pas fonctionné en permanence à pleine charge et n'étant en conséquence pas en mesure de brûler tout le combustible transporté.

Les mesures effectuées lors de ces pompages ont montré une très bonne concordance avec les prévisions. En particulier, les calculs des déperditions de chaleur, des pertes de charge, les surpressions dues aux coups de bélier, ont été pleinement confirmés par les mesures. Les débits, en revanche, ont été sensiblement plus élevés que prévu, ce qui s'explique facilement par une viscosité plus faible du liquide et des caractéristiques des pompes dépassant sensiblement les valeurs garanties par le constructeur. Le problème de l'adaptation des quantités transportées aux besoins de la centrale a été résolu provisoirement par instauration d'un pompage intermittent dont les périodes d'arrêt étaient limitées à huit heures pour éviter un refroidissement exagéré de la conduite.

Il a été constaté en particulier que la vitesse de propagation des interfaces (plan de séparation entre deux sortes de fuel) pouvait être déterminée avec précision en se basant sur les indications des compteurs et jauges volumétriques de la raffinerie, permettant de commuter

au bon moment les vannes de la distribution et, par conséquent, d'aiguiller les divers produits dans leur réservoir respectif.

De nombreux contrôles de dilatations ont été effectués, consistant à mesurer les déplacements axiaux des conduites au droit des compensateurs. Il a été constaté que les valeurs mesurées sont légèrement inférieures aux valeurs calculées, en raison des efforts de frottement qui entraînent une légère hystérèse.

Grâce aux installations de télécommande, qui permettent d'arrêter ou de mettre en marche les pompes et de surveiller le fonctionnement de l'oléoduc, il a été possible de limiter les interventions dans les stations de pompage à une ronde journalière.

Au cours de la deuxième campagne de la centrale, soit pendant l'hiver 1966/1967, et bien que les deux tranches aient été installées, le débit de l'oléoduc a dépassé la consommation en combustible de la centrale. A nouveau, un régime de pompage intermittent a été utilisé.

Sur la base des expériences faites lors des deux années d'exploitation et pour mieux s'adapter à la viscosité du fuel fourni par la raffinerie, le maître de l'œuvre a prévu de modifier les caractéristiques d'une pompe par réduction du diamètre des roues, de façon à faire passer le débit minimum de l'oléoduc de 65 t/h à 35 t/h environ. Ceci permettra, dans la plupart des cas, d'éviter les inconvénients résultant du pompage intermittent.

## Conclusions

Deux campagnes de pompage sans incident ont démontré que les calculs, la projection, le matériel utilisé, le montage, correspondent entièrement aux exigences et que l'oléoduc assume le transport d'une quantité variable entre 30 et 110 t/h de fuel lourd, à 110-120°C, satisfaisant ainsi pleinement aux conditions posées par le maître de l'œuvre.

## DIVERS

### Association suisse de microtechnique

#### *Assemblée générale*

L'Association suisse de microtechnique a tenu son assemblée générale le 9 avril 1968 à Zurich. M. F. Pagan, président du Conseil d'administration de Paillard S.A., qui présidait l'association depuis l'année de sa fondation en 1962, a passé cette charge au vice-président, M. J. Bauer, Dr ing., directeur de Hasler S.A. M. Pagan reste toutefois membre du comité et l'assemblée générale l'a élu membre honoraire.

Après la partie administrative de l'ordre du jour, les membres fort nombreux entendirent d'abord un exposé du professeur P.-A. Fornallaz, membre du comité de l'association, qui a été nommé dernièrement par le Conseil fédéral titulaire de la nouvelle chaire de microtechnique à l'Ecole polytechnique fédérale. M. Fornallaz donna des renseignements sur les possibilités offertes par le programme d'études de cette discipline qui est d'une grande importance pour la relève des ingénieurs de notre pays. Ensuite, le professeur P. Dinichert, directeur du Laboratoire de recherches horlogères, à Neu-

châtel, présenta une conférence fort intéressante sur le sujet : « Surfaces et interfaces », alors que M. H. Gelling, Dr ing., chef du bureau d'études de la Precisa S.A., à Zurich, termina la réunion par un exposé avec le titre : « Beispiele kostensparender Konstruktion ».

L'après-midi, les membres ayant assisté à l'assemblée générale visitèrent les ateliers de la Precisa S.A., à Zurich-Oerlikon. Cette visite leur a permis de se rendre compte de la fabrication extrêmement délicate de produits suisses du domaine de la machine à calculer, produits de réputation internationale et dont plus du 90 % sont exportés.

### Armée et électronique

Sous ce titre, l'Armée suisse avait choisi d'être présente pour la première fois à l'une de nos grandes foires nationales, la Foire d'échantillons de Bâle.

Cette manifestation, organisée par le Service des troupes de transmission, se proposait d'illustrer en un stand les différents aspects de l'introduction de l'électronique dans les méthodes et les équipements d'une armée moderne.

L'exposition elle-même était divisée en quatre sections :