

سوناطراك



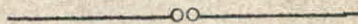
16/75

12X

SONATRACH

DIRECTION ORGANISATION ET PLANIFICATION
DEPARTEMENT CENTRE DE CALCUL

*P*ROGRAMME
DE
DIMENSIONNEMENT
D'UN
GAZODUC



ETABLI PAR

Le

A.LALOUI et K.OUDJET

JUIN 1975

PROJET DE FIN D'ETUDES

PROGRAMME

DE

DIMENSIONNEMENT D'UN GAZODUC .

Proposé par :

SONATRACH

Etudié par :

**A. LALOU
&
K. OUDJET**

R E M E R C I E M E N T S

QUE TOUS LES PROFESSEURS QUI ONT CONTRIBUE
A NOTRE FORMATION TROUVENT ICI L'EXPRESSION DE
NOTRE PROFONDE GRATITUDE.

NOUS REMERCIONS PAR LA MEME OCCASION MONSIEUR
C. LANCOU, PROFESSEUR DE THEORIE DES GRAPHS
ET PROGRAMMATION DYNAMIQUE, ET PLUS PARTICULIERE-
MENT MONSIEUR KHELIF DU CENTRE DE CALCUL
SONATRACH QUI ONT BIEN VOULU NOUS SUPERVISER
POUR L'ELABORATION DE CE PROJET.

A NOS PARENTS

ET

A NOS CAMARADES

NOTE DE PRESENTATION

La position géographique des gisements de gaz pose le problème de transport de ce gaz vers les marchés de consommations, lesquels sont, dans la plupart des cas, éloignés des champs de productions.

Le transport du gaz par canalisation reste la solution la plus économique en comparaison avec les autres possibilités.

L'augmentation constante des quantités à transporter et des distances à parcourir demande, compte tenu de l'importance des investissements à engager, qu'une attention toujours plus grande soit portée à l'étude technico-économique conduisant au choix des caractéristiques essentielles de l'ouvrage à construire.

L'aspect complexe et répétitif des calculs conduit à la nécessité de l'utilisation de l'ordinateur.

En effet, si par exemple chaque caractéristique peut prendre cinq (5) valeurs différentes, le nombre de combinaisons possible atteint 3125 (5^5).

Cet outil réduit considérablement le temps d'exécution et améliore la précision des résultats demandés, ce qui se traduit par une économie substantielle par rapport aux procédés antérieurs.

C'est de ce point de vue, que la SONATRACH a voulu mettre sur pied un tel programme destiné à effectuer les séquences de calcul de façon automatique.

La présente étude a pour objet de présenter les méthodes et principes retenus pour l'élaboration de ce programme.

VII. EMBLACEMENT MOYEN DES STATIONS DE RECOMPRESSION.

1. PRINCIPE DE L'EMBLACEMENT D'UNE STATION.

1.1 Première station.

1.2 Dernière station.

1.3 Cas de la 1^{ère} station à l'entrée du gazoduc

VIII. RECHERCHE DYNAMIQUE.

1. PRINCIPE.

2. CALCUL DE LA PUISSANCE DES STATIONS.

2.1 Puissance totale utile sur le site.

2.2 Puissance totale NEMA.

3. CONSOMMATION DES TURBINES.

III. CHAPITRE III. EVOLUTION DES STATIONS DE RECOMPRESSION.

I. INTRODUCTION.

II. PRINCIPE DE L'EVOLUTION DES STATIONS.

1. ANNEE DE MISE EN SERVICE DE CHAQUE STATION.

2. CONDITION DE SERVICE DES STATIONS DE RECOMPRESSION.

III. PRINCIPE DE LA RECHERCHE DYNAMIQUE.

IV. CHAPITRE IV. CHOIX DES GROUPES A INSTALLER.

I. DEFINITION.

II. BUT.

III. PRINCIPE.

1. CALCUL DU NOMBRE DE GROUPES DE TYPE IG POUR SATISFAIRE LA PUISSANCE MAXIMALE DANS UNE STATION DONNEE.

2. ORGANIGRAMME FONCTIONNEL.

V. CHAPITRE V. ETUDE ECONOMIQUE.

I. INTRODUCTION.

II. CALCUL DES INVESTISSEMENTS : COUTS DIRECTS.

1. COUT DES TUBES.

2. ENDUCTION INTERNE.

3. COUT DE LA POSE ET DES TRAVAUX EN LIGNE.

4. COUT DES OUVRAGES ANNEXES.

5. PROTECTION CATHODIQUE DE LA LIGNE.

6. COUT DES POSTES DE PRELEVEMENTS.

7. COUT DES TERMINAUX.

.../...

8. COUTS DIVERS.

9. COUT DES STATIONS DE COMPRESSION.

9.1 Terme fixe.

9.2 Turbo-compresseurs.

III. CALCUL DES INVESTISSEMENTS : COUTS INDIRECTS.

IV. FRAIS D'EXPLOITATION.

V. FOURNITURES.

VI. C H A P I T R E VI. CONCLUSION.

9-9-9-9-9-9-9-9-9

I N T R O D U C T I O N

L'étude a pour objet de calculer un certain nombre d'éléments de nature technico-économique nécessaires pour le choix des caractéristiques principales d'un gazoduc.

Les caractéristiques doivent être optimales aussi bien du point de vue économique (moindre coût) que du point de vue disponibilité (en matière)

Le programme établi se compose de plusieurs sous-programmes ayant chacun pour objet la détermination d'une ou plusieurs caractéristiques, ce qui facilite beaucoup son utilisation du côté opératoire. Il comporte quatre (4) grandes parties:

- * choix des caractéristiques de la canalisation
- * emplacement des stations de recompressions
- évolution des stations de recompression
- * choix du type et du nombre de groupes à installer

Les caractéristiques essentielles à choisir sont:

- * le diamètre extérieur nominal de la conduite D
- * la qualité de l'acier à employer NU
- * la pression maximale de service PMS
- * le nombre et l'emplacement des stations de recompression N
- * la puissance unitaire des groupes de recompression W

ANALYSE :

Le but proposé est de rechercher le minimum d'une fonction économique

$$F (D, N, NU, PMS, W)$$

avec les contraintes :

- * pression disponible à l'entrée du gazoduc PDEP
- * pression minimale à assurer à la livraison PFIN
- * dimensions normalisées des tubes
- * réglementation de sécurité
- * programme de transport

Nous nous retrouvons en face d'un problème de recherche opérationnelle à variables discontinuées dans un espace pouvant comporter un grand nombre de dimensions.

METHODES DE TRAITEMENT :

En raison du nombre important des paramètres de types discontinues, la méthode itérative par élimination successive nous semble la mieux adaptée.

Le programme se trouve ainsi décomposé en plusieurs séquences de traitement plus ou moins imbriquées:

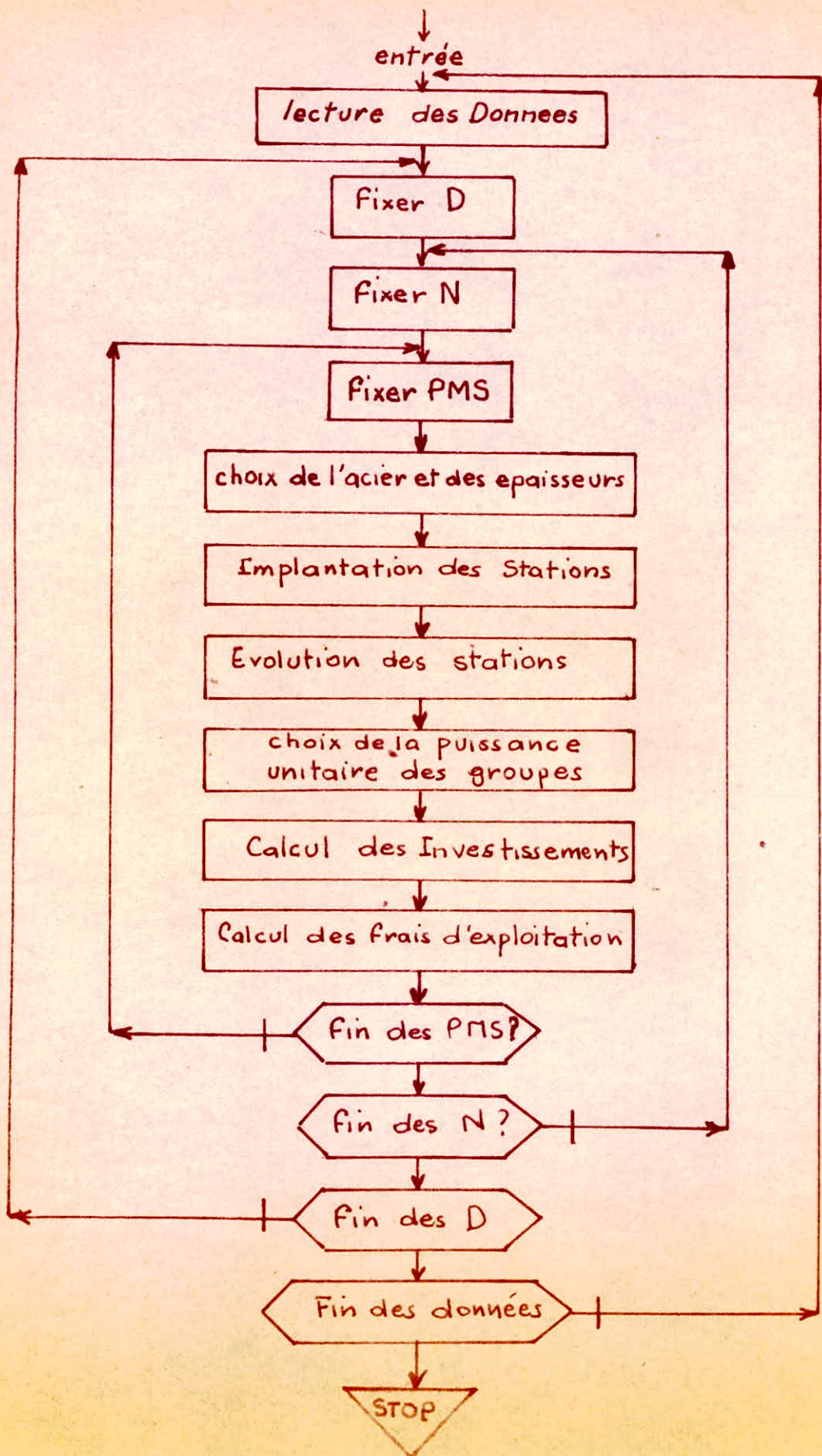
- * le choix des qualités d'acier et des épaisseurs au moindre coût entraîne l'investissement minimal pour la ligne.
- * implantation des stations de recompression au stade final d'exploitation.
- * choix des stations à mettre en service pour chaque stade d'exploitation intermédiaire.
- * choix du type et du nombre de groupes à installer par station.
- * le calcul économique résultant de la mise en oeuvre de l'ouvrage à construire.

L'ensemble de ces séquences de traitement, s'enchaîne dans un programme principal dont l'organigramme fonctionnel est présenté à la page suivante.

Aussi, pour des raisons purement pratique, nous avons choisi comme langage de programmation le FORTRAN qui s'adapte bien à ce genre de problème.

————— ° —————

— ORGANIGRAMME FONCTIONNEL —
— GENERAL —



CHOIX DES ACIERS ET DES EPAISSEURS

I. INTRODUCTION :

Il s'agit dans ce chapitre de choisir parmi une gamme de données les caractéristiques dimensionnelles de la canalisation:

- le diamètre extérieur nominal,
- les épaisseurs, et par conséquent les diamètres intérieurs,
- les nuances d'aciers.

Ce choix sera principalement basé sur la donnée d'une pression de refoulement et sur la détermination des paramètres suivants:

- les catégories, nombre et longueurs des zones de terrains,
- le tonnage total de la ligne,
- le coût global minimal résultant.

II. REGLEMENTATION ET NORMES :

1. Règlementation :

La canalisation, par sa longueur importante, traverse une série de zones de catégories de terrains.

Dans notre cas on se limitera à trois (3) types de zones:

- zone désertique,
- zone semi-désertique,
- zone urbaine.

La réglementation de sécurité en vigueur impose dans chaque zone un taux de travail maximal admissible par rapport à la limite élastique ou de rupture de l'acier.

On définit T1 et T2 par les relations suivantes:

$$T1 = E * TE$$

$$T2 = R * TR$$

E : limite d'élasticité.

R : limite de rupture.

TE: taux de travail admissible par rapport à la limite élastique dans les zones.

TR: taux de travail admissible par rapport à la limite de rupture dans les zones.

T sera défini par le minimum de T1 et T2,

soit:

$$T = \text{MIN} (T1, T2)$$

T, appelée contrainte limite, nous servira pour le calcul de la pression maximale de service (PMS).

2. Normes :

Les normes concernant la gamme de données des épaisseurs, des diamètres, et des nuances d'aciers, sont données par les tables API (Américan Petroleum Institu):

-API 5 LX

-API 5 IS

III. PRINCIPE :

Le programme comporte quatre (4) parties principales:

-choix du diamètre extérieur nominal et des épaisseurs,

-calcul des longueurs des zones,

-répartition par zones des

indices d'aciers

* épaisseurs

* tonnages

* coûts

-détermination des diamètres intérieurs le long de la ligne.

1. Choix du diamètre nominal extérieur, des épaisseurs et des indices d'aciers :

Nous disposons d'un tableau de diamètres extérieurs nominaux PHIP(ID); le problème consistera à faire passer en revue toutes les valeurs de ce tableau.

A chaque itération, nous sélectionnerons les épaisseurs et les indices d'aciers optimaux en fonction:

-du diamètre extérieur nominal considéré,

-de la pression de refoulement.

Pour chaque diamètre considéré, les épaisseurs et les nuances d'aciers optimales sont choisies de la manière suivante :

Soit une épaisseur donnée EPP(IE, ID), calculons la pression admissible:

$$P = \frac{2 \cdot T \cdot EPP(IE, ID)}{PHIP(ID)}$$

Avec $T = \min(T1, T2)$ (voir §II.1)

L'épaisseur optimale est celle pour laquelle P est supérieur ou égal à la pression de refoulement fixée, entraînant un coût minimal.

Pour les indices d'aciers, on choisit d'après le critère du moindre coût de chaque zone:

- l'épaisseur et l'indice d'acier étant constants pour une zone donnée,
- le diamètre extérieur nominal, une fois choisi, reste inchangé sur toute la canalisation.

2. Calcul des longueurs de zones :

Ce calcul doit être déterminé par la relation itérative suivante:

$$XZ(IZ+1) = XCAT(IZ+1) - XCAT(IZ)$$

Avec: $XZ(1) = XCAT(1)$

$XZ(IZ)$: longueur de la zone considérée IZ

$XCAT(IZ)$: abscisse de fin de zone IZ

3. Répartition par zone :

Pour chaque zone on affecte :

- l'indice d'acier NUR
- l'épaisseur d'indice IER
- le tonnage
- le coût

Cette répartition sera faite d'une façon optimale.

Le tonnage total sera la somme des tonnages calculés pour chaque zone, ainsi que le coût total.

3.1 Tonnage par zone :

$$TONNE(IZ) = XZ(IZ) * POIDS(IER(IZ), ID)$$

Avec : $TONNE(IZ)$: tonnage de la zone IZ

$IER(IZ)$: indice d'épaisseur optimale pour la zone IZ

ID : indice du diamètre extérieur nominal considéré

$POIDS(IER(IZ), ID)$: poids unitaire du tube d'indice d'épaisseur $IER(IZ)$ et d'indice de diamètre extérieur nominal ID pour la zone considérée IZ.

3.2 Coût par zone :

$$FMEC(IZ) = XZ(IZ) * PRIX3(IER(IZ), ID, NUR(IZ))$$

PRIX3 se calcule à l'aide de la formule suivante:

$$PRIX3(IER(IZ), ID, NUR(IZ)) = PRITUB(I, ID) * COEFNU(J) * POIDS(I, ID) * PIND(ID)$$

Avec:

PRITUB(I, ID) : prix par mètre linéaire du tube de diamètre PHIP(ID) et d'épaisseur EPP(I, ID),

COEFNU(J) : coefficient de majoration dépendant de la qualité d'acier et du coût du tube,

PIND(ID) : coefficient de majoration additif sur les prix des tubes

Par conséquent PRIX3(IER(IZ), ID, NUR(IZ)) sera le prix unitaire du tube installé pour la zone IZ, d'indice d'épaisseur optimale IER(IZ) ; d'indice de diamètre extérieur nominal ID et d'indice d'acier optimal; NUR(IZ).

FMEC(IZ) représente le coût du tube pour la zone IZ après majoration.

3.3 Coût et tonnage de la ligne :

Ces deux termes seront calculés d'une façon itérative.

-Coût total

$$COUT = COUT + FMEC(IZ)$$

Et on prendra zéro (0) comme valeur de départ

Une fois IZ=NXCAT, nombre total de zones, on multipliera le COUT par le coefficient COMTUB qui représente la majoration des coûts pour coupes et profil (COMTUB= 1%)

$$\text{d'ou } COUT = COUT * COMTUB$$

-Tonnage total

$$TONNAG = TONNAG + TONNE(IZ)$$

avec TONNAG=0. au départ.

4. Calcul des diamètres intérieurs le long de la ligne :

$$DIAM(ID, IZ) = PHIP(ID) - 2. * EPP(IER(IZ), ID)$$

Cette relation nous permet d'affecter à chaque zone un diamètre intérieur constant.

Pour l'affectation des diamètres intérieurs à tous les points donnés par le relevé topographique, on opère de la façon suivante:

Pour tout point IC d'abscisse $XX(IC) \leq XCAT(IZ)$ on fait l'affectation suivante:

$$D(IC) = DIAM(ID, IZ)$$

et on s'arrêtera lorsque $IZ \gg NXCAT$

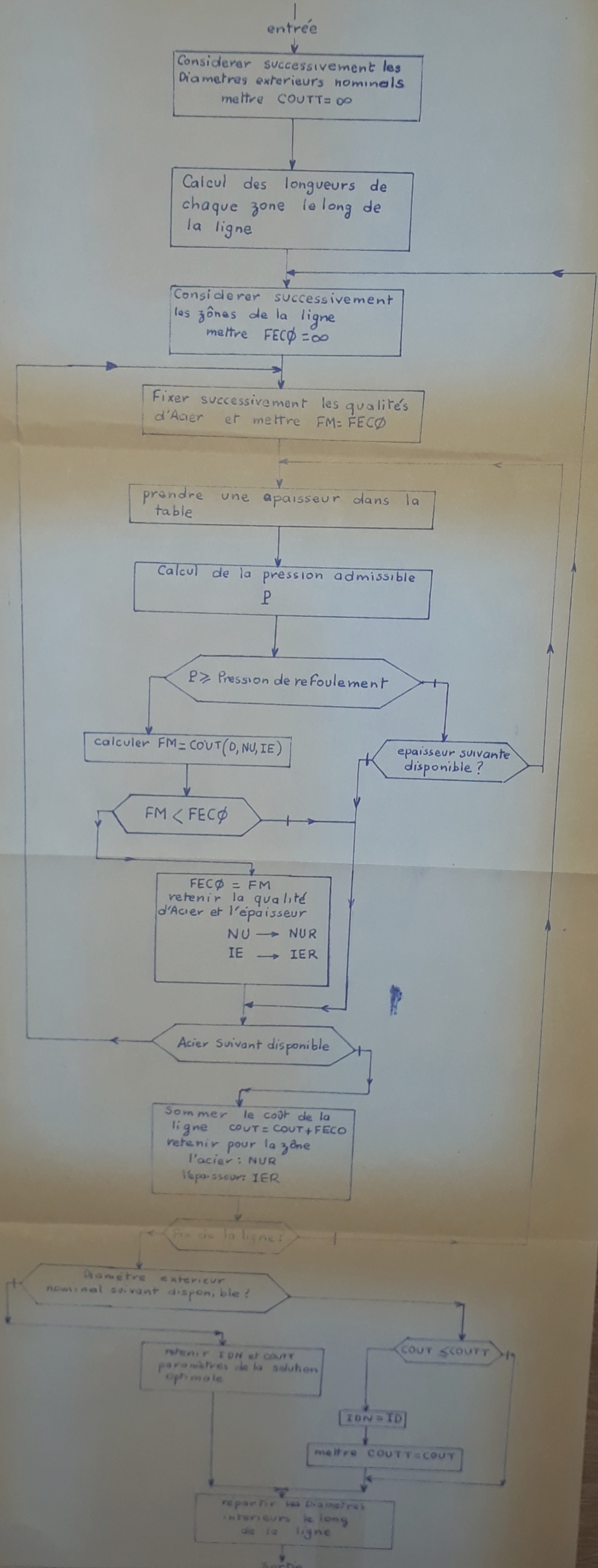
IV. ORGANIGRAMME FONCTIONNEL :

L'organigramme présenté à la page suivante nous explique la séquence de calcul qui consiste à rechercher pour chaque zône, en fonction du diamètre du tube et de la pression maximale de service donnés, la combinaison acier-épaisseur entraînant le moindre coût.

V. PROGRAMMATION : (voir annexe)

Pour ce qui concerne cette partie, nous avons établi un sous-programme CANAL dont l'argument de sortie est le tableau des diamètres intérieurs le long de la ligne et qui serviront comme données de base du sous-programme EMPLA (CH.II Emplacement des stations de recompression).

ORGANIGRAMME FONCTIONNEL DU CHOIX
DES ACIERS ET EPAISSEURS



TABLEAUX DES RESULTATS

POIDS DES TUBES

Diametre exterieur nominal 1016.000

Epaisseurs (mm)	10.31	11.13	11.91	12.7	14.27	15.88	17.48	19.05	20.62	22.22	23.83
Poids	.25572	.27565	.29494	.31418	.35258	.39149	.43026	.46828	.50619	.54459	.58287

PRIX DES TUBES

Acier X52	.409	.438	.467	.495	.552	.609	.684	.741	.824	.885	.944
Acier X56	.422	.452	.482	.511	.570	.629	.706	.766	.852	.914	.976
Acier X60	.431	.462	.492	.522	.582	.642	.721	.782	.870	.933	.997
Acier X63'	.446	.479	.510	.541	.603	.666	.748	.812	.903	.969	1.035
Acier X65'	.461	.494	.526	.559	.623	.688	.773	.839	.933	1.001	1.069

Etude du Diametre 1016.000 Avec une Pression de refoulement = 72.412

CARACTERISTIQUES DE CHAQUE TUBE DANS LES ZONES

Unités : Longueurs en kilomètres, Epaisseurs en millimetres, Masse en milliers de Tonnes
Coût en milliers d'unités monnaies.

Longueur des zones	98.0	6.0	197.0	40.0	4.0	32.0	5.0	33.0	4.0	32.0
Indice de l'acier choisi	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3
Epaisseurs choisies	11.13	12.70	11.13	12.70	19.05	12.70	19.05	12.70	19.05	12.70
Tonnage	27.014	1.885	54.303	12.567	1.873	10.054	2.341	10.368	1.873	10.054
Coût	46.914	3.131	94.307	20.875	3.247	16.700	4.058	17.222	3.247	16.700

TONNAGE TOTAL = 132.332

COÛT TOTAL = 228.666

y compris la majoration de 0.01 pour coupes et profil.

C H A P I T R E II

EMPLACEMENT DES STATIONS DE RECOMPRESSION

I. INTRODUCTION :

Le but de cette séquence est d'implanter les stations de recompression afin de compenser les pertes de charges le long de la canalisation. Ces stations auront toutes la même puissance, de manière à standardiser leurs équipements pendant toute la durée de service du gazoduc.

II. PRINCIPE :

Pour un profil plat et des stations utilisant d'autres sources d'énergies que le gaz transporté, la recherche de l'emplacement des stations est relativement simple. Elle consiste à rechercher le rapport de compression moyen commun à toutes les stations.

Dans le cas d'un profil tourmenté, la méthode analytique est impuissante pour résoudre le problème posé.

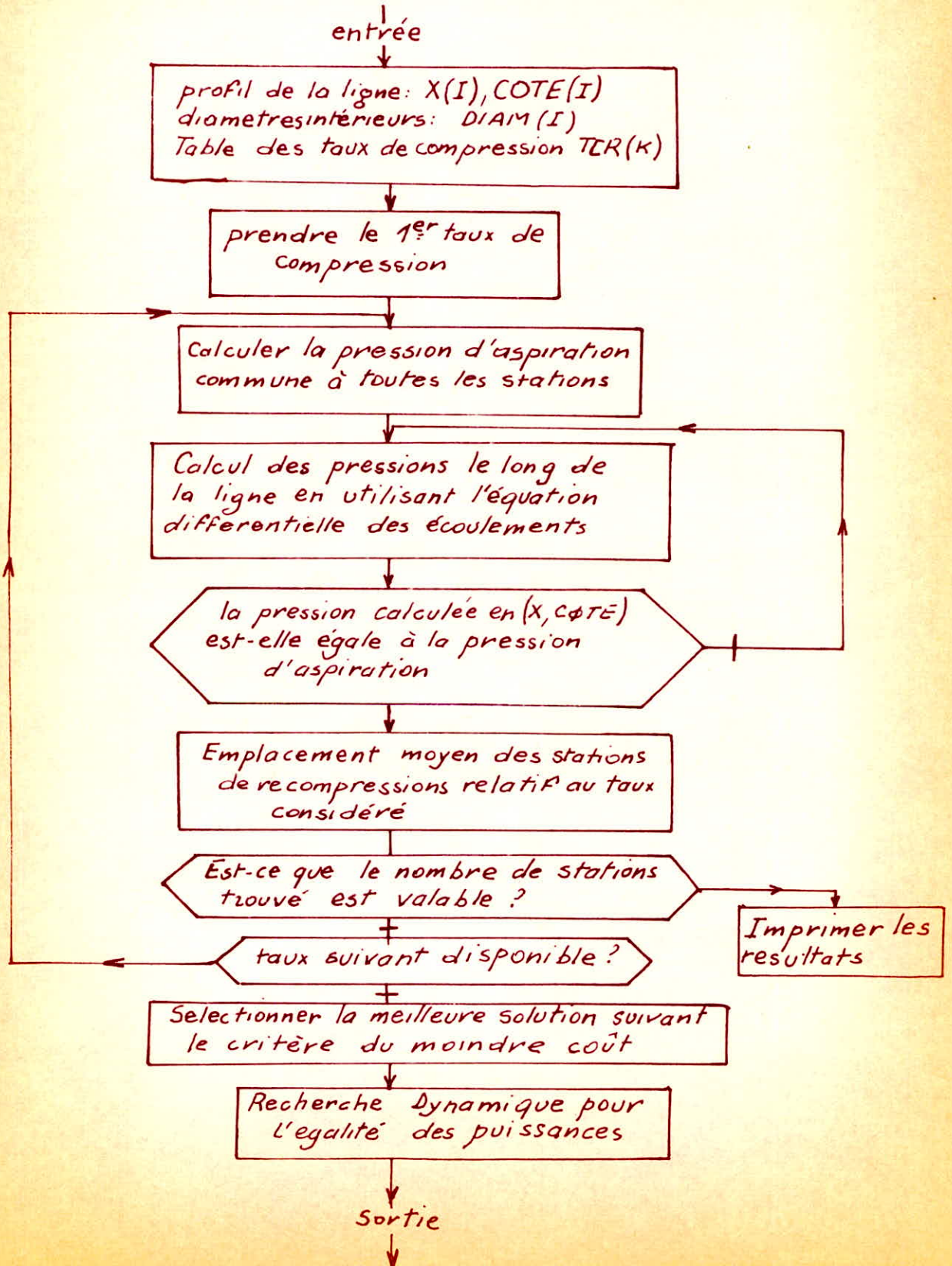
Pour atteindre l'objectif fixé, nous sommes amenés à utiliser la méthode itérative avec recherche dynamique.

-On tiendra compte du profil, des consommations et des prélèvements; il en résulte alors une première approximation de l'emplacement des stations qu'on appellera "Emplacement moyen".

-Ensuite, en utilisant la recherche dynamique, on retouche une dernière fois l'implantation pour se rapprocher de l'égalité des puissances en plusieurs itérations.

Les séquences de calcul, sont décrites par l'organigramme fonctionnel présenté à la page suivante.

ORGANIGRAMME FONCTIONNEL DE L'EMPLACEMENT DES STATIONS DE RECOMPRESSION



III. TAUX DE COMPRESSION :

Par définition le taux de compression est le rapport de la pression de refoulement et de la pression d'aspiration d'une station de recompression.

Nous disposons d'une table de taux de compression $TCR(IT)$, $IT=1,5$ variant d'une limite inférieure $TCR(1)$ à une limite supérieure $TCR(5)$.

A chaque itération, on fait l'emplacement pour un taux de compression pris dans la table, il en résulte un nombre de stations à placer. La meilleure solution est celle qui donnera le minimum du nombre de stations et le minimum des taux.

IV. PRESSION D'ASPIRATION : (PASP)

Etant donné que toutes les stations refoulent à la pression maximale de service, la pression d'aspiration sera le rapport de la PMS et du taux de compression correspondant:

$$PASP = \frac{\text{Pression maximale de service}}{TCR(IT)}$$

V. CALCUL DES PRESSIONS LE LONG DE LA LIGNE :

Le grand nombre de formules d'écoulements existant et utilisées dans le domaine des hydrocarbures, dérivent toutes de l'équation différentielle de base:

$$\frac{dP}{\rho} + g dh + \frac{d(U^2)}{2} = - \frac{U^2}{2D} \lambda(R) dx \quad (1)$$

Quelleque soit la méthode d'intégration employée, les divergences entre les formules apparaissent au niveau du calcul du coefficient de frottement λ . Dans cette étude, le calcul de λ se fera par la résolution de la formule de COLEBROOK en utilisant le sous-programme WEGSTEIN (voir §VI annexe).

dP : variation de la pression entre les points x et $x+dx$

ρ : masse volumique du gaz au point x

g : accélération de la pesanteur

dh : différence d'altitude entre les points x et $x+dx$

U : vitesse d'écoulement du gaz au point x

D : diamètre intérieur de la conduite au point x

λ : coefficient de frottement

R : nombre de Re ynolds

1. Définition des paramètres :

-hypothèses

- * écoulement isotherme
- * vitesse constante entre les points x et x+dx

-paramètres

1.1 Vitesse d'écoulement :

$$U = \frac{4 Q_c}{3.14 D^2}$$

Q : débit (m³/heure)
D : diamètre intérieur (mm)

1.2 Masse volumique : aux conditions de pression P et de température T

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0 P}{T P_0 Z}$$

ρ_0 : masse volumique aux conditions normales de pression P₀ (1 at) et de température T₀ (273°K)
Z : facteur de compressibilité

1.3 Equation de continuité :

$$\rho Q = \rho_0 Q_0 \quad Q_0 : \text{débit à } P_0 \text{ et } T_0$$

d'où

$$Q = Z \frac{P_0}{P} Q_0 \frac{T}{T_0}$$

1.4 Nombre de Reynolds :

$$R = 3.537 \cdot 10^6 \cdot 1.226 \cdot \rho \frac{Q}{D \mu}$$

μ : viscosité dynamique du gaz (micropoise)

1.5 Coeffizient de frottement : relation de COLEBROOK

$$\sqrt{1/\lambda} = -2 \log_{10} \left[\frac{\xi}{3.7 D} + \frac{2.51}{R \sqrt{\lambda_0}} \right]$$

ξ : rugosité absolue du tube

λ_0 : valeur initiale de λ

Le calcul de λ est effectué par approche successive avec une valeur initiale λ_0 définie par la relation de BLASIUS (voir §VI annexe).

1.6 Facteur de compressibilité :

On définit Z=f(P) le facteur de compressibilité par deux (2) approximations :

$$Z = AZ - BZ*P + CZ*P^2$$

1^{ere} Approximation:

La détermination des constantes AZ , BZ , CZ , se fait expérimentalement en mesurant la valeur de Z pour des pressions différentes.

*Gaz naturel de HASSI RMEL

Nous avons retenu la méthode expérimentale AGA (Américan Gas Association) pour la mesure de Z pour des pressions différentes à 40°C.

P Kg/cm ² abs.	50	60	70	80	90	100
Z à 40°C	0.916	0.901	0.887	0.873	0.861	0.850

d'ou

$$Z = 1.00911 - 2.1353 \cdot 10^{-3} \cdot P + 5.4767 \cdot 10^{-6} \cdot P^2$$

2^{eme} Approximation:

Il s'agit ici d'affiner la valeur de Z entre deux points i et i+1

$$Z = AZ - BZ \left(\frac{P_i + P_{i+1}}{2} \right) + CZ \left(\frac{P_i + P_{i+1}}{2} \right)^2$$

VI. METHODE DE CALCUL DES PRESSIONS :

Ayant jusque là défini tous les paramètres qui entrent en jeu dans l'équation différentielle, la méthode d'intégration retenue est celle des différences finies.

L'équation de base (1) peut se mettre sous la forme (2) en ayant remplacé les différents paramètres par leurs formes aux conditions normales de pression et de température.

$$\left(\frac{P}{Z} \right) dP + \left(\frac{P}{Z} \right)^2 \frac{-T_0 a_0 s g}{TP_c} dh + \frac{16 TP_0 a_0 s Q_0^2}{2 T_0 \pi^2} D^{-5} dx \quad (2)$$

avec: $\frac{P_0}{a_0}$ a_0 : masse spécifique de l'air à T_0 et P_0
 s s : densité du gaz par rapport à l'air

* le fluide considéré est le gaz naturel de HASSI RMEL

* cas des hautes pressions

on pose :

$$U = P/Z$$

$$W = T_0 a_0 s g / T P_0$$

$$K = 8 TP_0 a_0 s Q_0^2 / T_0 \pi^2 D^5$$

(2) devient $UdP + U^2W dh + K dx = 0$

$$\frac{U dP}{dx} + U^2W \frac{dh}{dx} + K = 0$$

$\frac{dh}{dx}$ représente la pente du profil entre les points x et $x+dx$

$$\frac{dh}{dx} = \text{tg}\alpha \quad \text{d'ou} \quad U \frac{dP}{dx} + U^2W \text{tg}\alpha + K = 0$$

$$\text{ou} \quad dP = -(U^2W \text{tg}\alpha + K) \frac{dx}{U} \quad (3)$$

On en déduit à partir de (3) la formule de récurrence suivante :

$$P_{i+1} - P_i = -(U^2W \text{tg}\alpha + K) \frac{X_{i+1} - X_i}{U}$$

Partant de $P_1 = PDEP$ (pression de départ) on calcul de proche en proche toutes les pressions le long de la ligne en tenant compte du profil.

ANNEXE : Calcul de λ coefficient de frottement.

SOUS-PROGRAMME WEGSTEIN

Le but de ce sous-programme est de raffiner sur une valeur initiale d'une racine carrée d'une équation générale non-linéaire en utilisant la méthode itérative de WEGSTEIN.

L'appel se fait par l'instruction :

CALL WEGSTEIN (X,F1,Y,EPS,ITEND,IER)

et la valeur de λ est donnée par $\lambda = 1/X^2$

X : variable de sortie donnant la valeur raffinée de

F1 : nom de la fonction définie par la relation de COLEBROOK. Elle doit être mentionnée dans une instruction EXTERNAL

F1 représente une FUNCTION (voir programmation)

Y : variable d'entrée de la valeur initiale de la racine carrée de λ
 Y représente dans la théorie des lois d'écoulement turbulent dans les tuyaux lisses, la formule la plus exacte. Elle s'appelle la formule de BLASIUS

$$\lambda_0 = 0.3164 R^{-0.25} \quad \text{pour } R > 250 \cdot 10^3$$

Donc $Y = \sqrt{1/\lambda}$
 $Y = 1/\sqrt{0.3164 R^{-0.25}}$

EPS : tolérance sur l'erreur relative commise

ITEND : nombre d'itérations fixé

IER : code d'erreur

NB: Programmation voir Annexe

VII. EMPLACEMENT MOYEN DES STATIONS DE RECOMPRESSION :

Cet emplacement sera fait au stade final d'exploitation c'est-à-dire que le débit sera celui de la dernière période (30^{ème} année d'exploitation).

Une fois le calcul des pressions défini, il va nous permettre d'implanter les stations de recompression de façon adéquate pour satisfaire le débit ainsi que la pression finale requis au terminal du gazoduc.

L'emplacement se fera de deux manières différentes suivant la valeur de la variable DEBUT :

* DEBUT = 1. : partir du PK0 et placer au fur et à mesure les stations jusqu'à arriver au PKFINAL.

* DEBUT = 2. : partir du PKFINAL et placer les stations en commençant par la dernière jusqu'à arriver au PK0.

1) Principe de l'emplacement d'une station:

Deux contraintes sur les stations sont à retenir et résultent directement de la politique du moindre coût :

* toutes les stations doivent refouler à la pression maximale de service (PMS),

* toutes les stations doivent être identique, c'est-à-dire même puissance et même taux de compression,

Ceci afin d'utiliser les mêmes équipements pour toutes les stations.

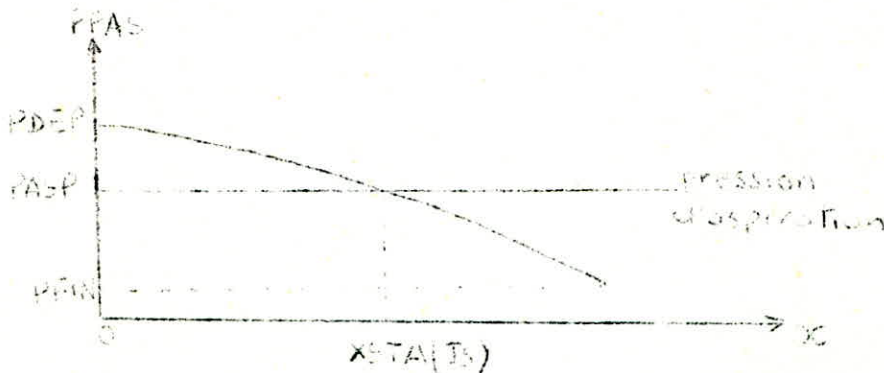
Il existe deux façons de placer une station suivant qu'il s'agisse de la première ou de la dernière.

1.1 Première station :

Son abscisse moyenne sera au niveau où la courbe des pressions rencontre la pression d'aspiration

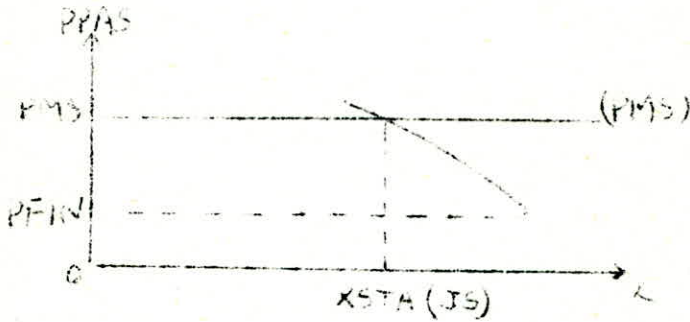
$$PPAS(XSTA) = PASP$$

XSTA : abscisse de la station



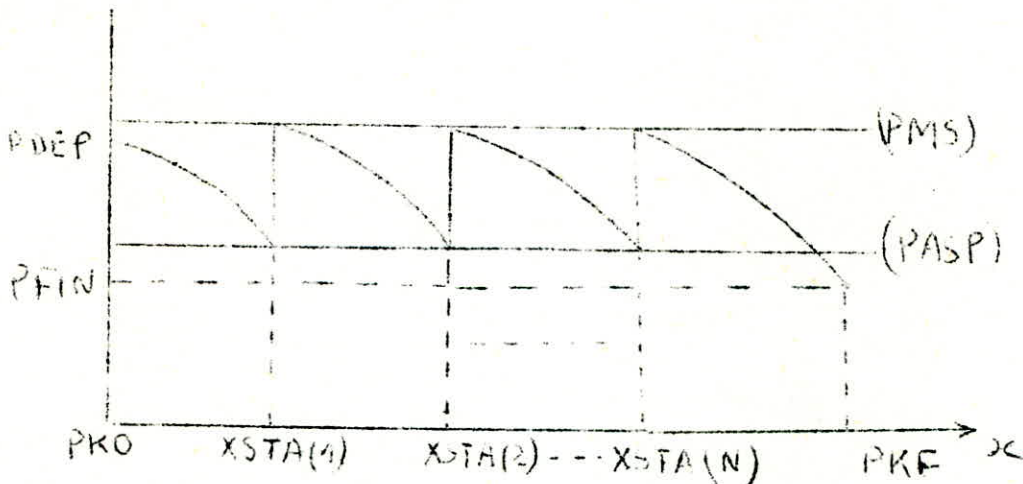
1.2 dernière station :

Le principe est le même, mais partant de la pression finale, l'abscisse de la station sera au niveau où la courbe des pressions rencontre la pression maximale de service.



Le sous-programme EMPLA placera donc les stations en fonction de la valeur de la variable DEBUT comme cité plus haut.

Ceci étant fait avec chaque taux pris dans la table TCR(IT), les solutions réalisables seront celles dont le nombre de stations répond aux conditions de référence N1 et N2. S'il y a plusieurs solutions on prendra comme solution optimale celle dont le nombre de stations est minimal.



1.3 Cas de la 1^{ere} station à l'entrée du gazoduc :

Ce dernier problème se pose au niveau de la valeur de la pression de départ par rapport à celle de la pression maximale de service.

Il existe deux cas extrêmes ou la PDEP est très faible ou très proche de la PMS :

* PDEP PMS

* PDEP PMS

Dans ces 2 cas la décision de placer une station au départ est évidente. Par contre dans la zone des pressions de départ moyenne le problème qui se posera sera : doit-on installer une station au départ ou non ?

C'est l'étude économique qui tranchera la question. En effet on se basera toujours sur le critère du moindre coût.

La solution sera déterminée par l'étude des deux cas :

* une station en tête

* pas de station en tête

et le programme choisira la solution qui présente le coût minimal.

Cette manière de procéder sur cette décision nous à parue la meilleur car il est impossible de fixer à priori un seuil de pression au-delà duquel on ne comprimera plus au départ. Ceci est d'autant plus vrai que cette comparaison étant destinée à être faite automatiquement, la question sera tranchée sans aucune nuance par la machine.

III. RECHERCHE DYNAMIQUE :

Comme nous l'avons déjà dit, le but de cette séquence de calcul est d'atteindre l'égalité des puissances dans toutes les stations.

Partant d'un emplacement moyen, nous allons raffiner les abscisses des stations afin de satisfaire les contraintes §VII.1.

1) PRINCIPE :

On attribue pour chaque station sept (7) positions possible (3 de part et d'autre de l'emplacement moyen). On dispose alors d'un tableau à deux (2) dimensions :

XST(K,I) K= 1,7 (positions)
 I= 1,N+1 (stations)

pour toutes les positions possible des N+1 stations avec les conditions initiales :

XST(K,1) = 0 1^{ère} station au point kilométrique zéro

XST(K,N+1) = XMAX dernière station au point kilométrique final

XMAX représente la longueur total de la canalisation

On dispose alors de N-1 station à positionner car le PKO et le PKFINAL sont considérés comme des stations à qui on n'attribue pas de positions de part et d'autre.

Le principe consiste à calculer les puissances d'une manière itérative et à les comparer successivement pour toutes les positions K.

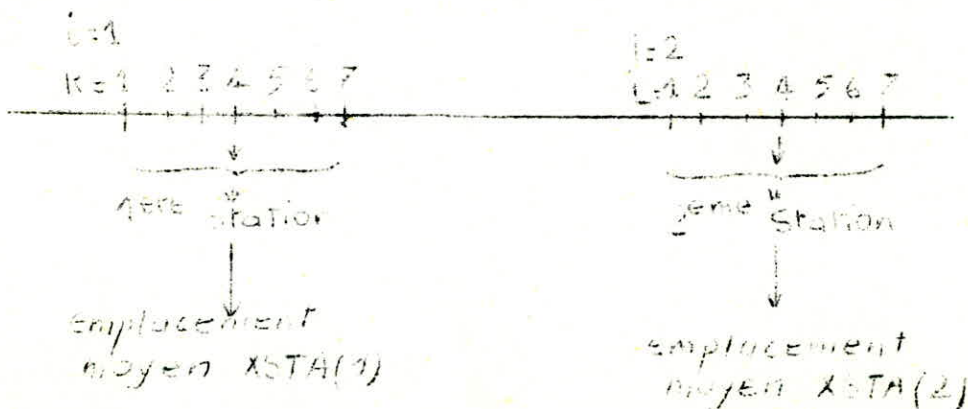
On affecte un indice I pour la station i

un indice J pour la station i+1

un indice de position K pour la station i

un indice de position L pour la station i+1

Schéma explicatif pour les stations 1 et 2 :



2) CALCUL DE LA PUISSANCE DES STATIONS :

2.1) Puissance totale utile sur le site (conditions locales) :

$$P_1 = 0.038268 \times \frac{1}{E} \times Q_a \times Z_m \times \frac{k}{k-1} \times (R^{k/k-1} - 1) \times C$$

avec :

P_1 : puissance sur l'arbre du compresseur en CV

E : rendement global du compresseur

Q_a : débit gazeux en m^3/h à la température d'aspiration et à 760 mmHg

$$Q_a = Q \times \frac{T_a}{288}$$

T_a : température absolue ($^{\circ}K$) du gaz à l'aspiration du compresseur

Q : débit gazeux en m^3/h à $15^{\circ}C$ et 760 mmHg

Z_m : facteur de compressibilité moyen

$$Z_m = \frac{Z_a + Z_r}{2}$$

Z_a : facteur de compressibilité calculé aux température T_a et pression d'aspiration P_a

Z_r : facteur de compressibilité calculé aux température T_r et pression de refoulement P_r

k : coefficient polytropique (assimilé ici au coefficient adiabatique)

R : taux de compression $R = P_r/P_a$

C : coefficient de majoration pour entrainement des auxiliaires ($C=1.02$)

La pression P_a à la bride d'aspiration du compresseur a été prise égale à la pression du gaz à l'entrée de la station, diminuée de 1 kg/cm^2 ; cette valeur représente la perte de charge dans la station et, par simplification, a été reportée globalement sur l'aspiration.

2.1) Puissance totale utile NEMA : (condition de référence)

$$P_2 = \frac{P_1}{K}$$

avec :

P_2 : puissance utile NEMA en CV

P_1 : puissance utile sur le site en CV

K : coefficient de détarage ($K=1$ dans les conditions NEMA de référence qui sont :

* altitude : 1000 feet soit 305 mètres

* température ambiante : $80^{\circ}F$ soit $26.7^{\circ}C$

K est déterminé par le produit de quatre coefficients :

$$K = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4$$

avec :

K_1 : coefficient correcteur d'altitude

$$K_1 = 1.035 - 115 \times 10^{-6} \times H$$

K_2 : coefficient tenant compte des pertes à l'entrée du compresseur

$$K_2 = 0.989$$

K_3 : coefficient tenant compte des pertes à la sortie du compresseur

$$K_3 = 0.994$$

K_4 : coefficient correcteur de température ambiante t

$$K_4 = 1.3435 - 0.01288 \times t$$

avec H altitude de la station en mètre

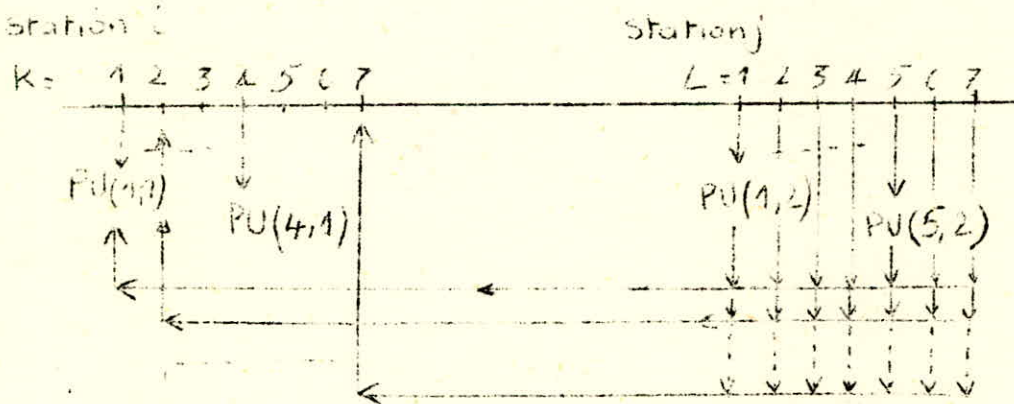
3) Consommation des turbines :

La consommation C des turbines est fonction du rendement thermique des turbines et du pouvoir calorifique inférieur. Elle est la plus part du temps donnée par le fournisseur.

C est exprimée en m^3 par CV/h

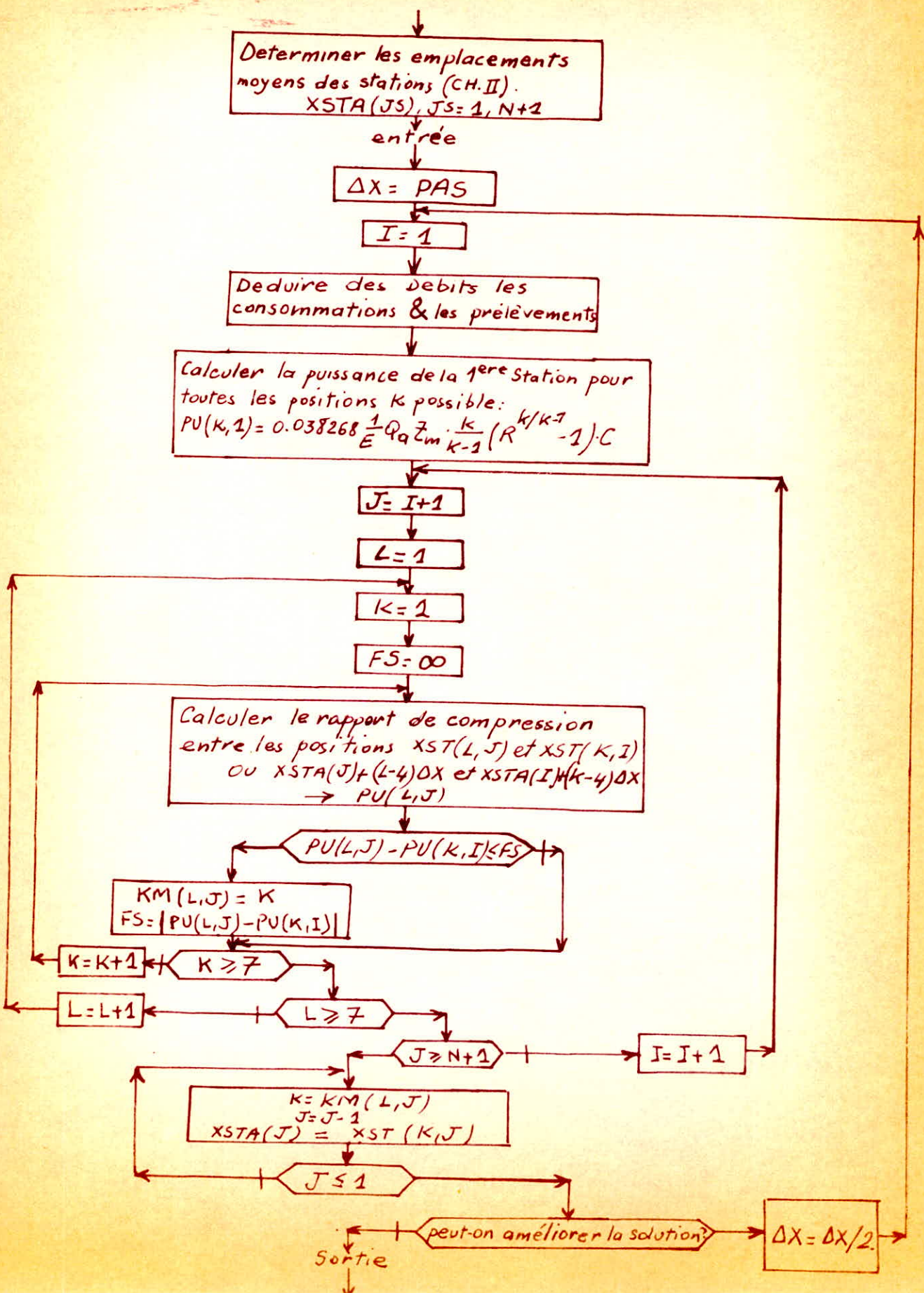
Les débits considérés au niveau des stations représentent les débits restant c'est-à-dire déduction faite des consommations et des prélèvements

Schéma explicatif de la comparaison des puissances au niveau de chaque position attribuée à la station :



L'organigramme fonctionnel de cette séquence de calcul est présenté à la page suivante.

ORGANIGRAMME FONCTIONNEL DE LA RECHERCHE DYNAMIQUE DE L'EMPLACEMENT DES STATIONS



Determiner les emplacements moyens des stations (CH.II).
 $XSTA(JS), JS=1, N+1$

$\Delta X = PAS$

$I = 1$

Deduire des debits les consommations & les prélèvements

Calculer la puissance de la 1ere Station pour toutes les positions K possible:
 $PU(K,1) = 0.038268 \frac{1}{E} Q_a Z_m \frac{k}{k-1} (R^{k/k-1} - 1) \cdot C$

$J = I + 1$

$L = 1$

$K = 1$

$FS = \infty$

Calculer le rapport de compression entre les positions $XST(L,J)$ et $XST(K,I)$
 ou $XSTA(J) + (L-4)\Delta X$ et $XSTA(I) + (K-4)\Delta X$
 $\rightarrow PU(L,J)$

$PU(L,J) - PU(K,I) \leq FS$

$KM(L,J) = K$
 $FS = |PU(L,J) - PU(K,I)|$

$K = K + 1$

$K \geq 7$

$L = L + 1$

$L \geq 7$

$J \geq N + 1$

$I = I + 1$

$K = KM(L,J)$
 $J = J - 1$
 $XSTA(J) = XST(K,J)$

$J \leq 1$

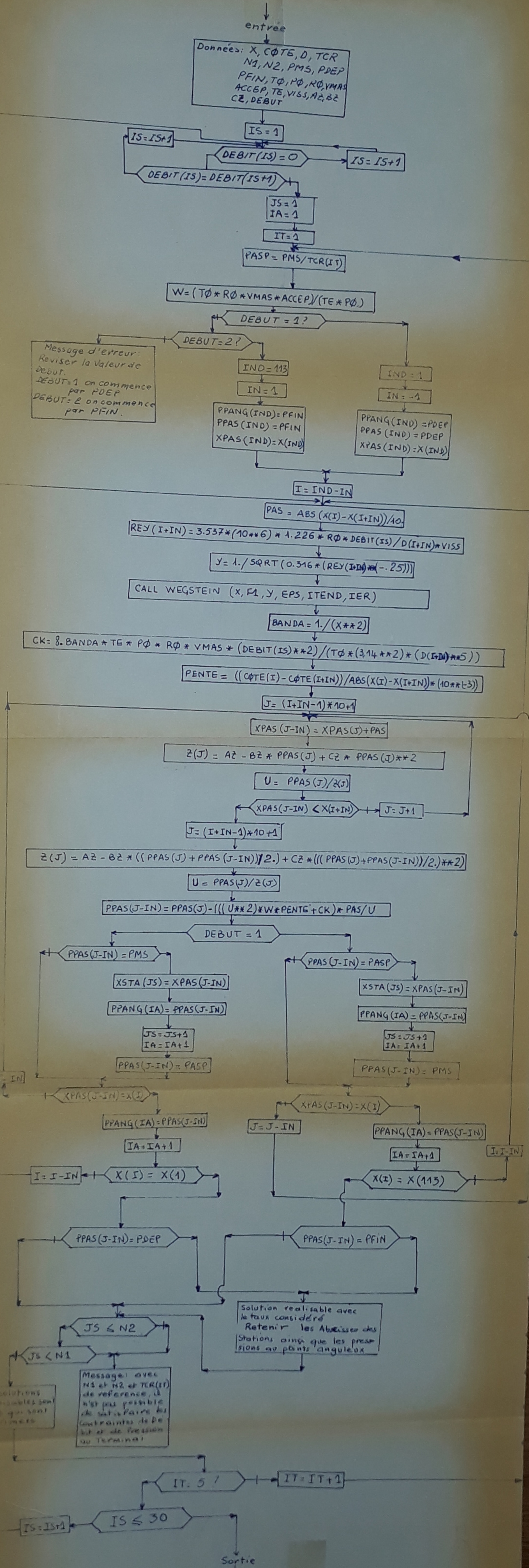
peut-on améliorer la solution?

$\Delta X = \Delta X / 2$

Sortie

ORGANIGRAMME DETAILLE DE
L'EMPLACEMENT MOYEN DES STATIONS DE
RECOMPRESSION

016/25
III. 1.



Message d'erreur:
Reviser la Valeur de
DEBUT.
DEBUT=1 on commence
par PDEP
DEBUT=2 on commence
par PFIN.

Les solutions
recherchées sont
celles qui sont
optimales

Message: avec
N1 et N2 et TCR(IT)
de reference, il
n'est pas possible
de satisfaire les
contraintes de De
bit et de Pression
au Terminal

C H A P I T R E I I I

EVOLUTION DES STATIONS DE RECOMPRESSIION

I. INTRODUCTION :

Pour la première fois depuis le début du calcul, nous allons faire intervenir la courbe d'évolution des débits pendant la période de remplissage. Nous en tirerons deux résultats :

* l'année de mise en service de chaque station,

* ses conditions de service pendant cette période,

qui permettront, outre une meilleur connaissance de l'ouvrage, une prise en compte plus exacte des dépenses d'énergie.

Les données de cette partie ont été déterminés dans le chapitre II intitulé EMPLACEMENT DES STATIONS, a savoir, qu'au stade final d'exploitation c'est-à-dire à la dernière période de remplissage, les stations de recompression sont localisées de telle façon à assurer le transport du gaz avec un débit maximal.

II. PRINCIPE DE L'EVOLUTION DES STATIONS :

1) Année de mise en service de chaque station :

Le principe sur lequel nous nous baserons pour la suite du calcul est celui de mettre en place chaque station le plus tard possible.

Ceci posé, le déroulement des différentes phases du calcul sera le suivant :

* déterminer le nombre minimal q des stations nécessaires pour assurer les livraisons de la première année d'exploitation,

* dans le cas où q est différent de 0 ou s , nombre total de stations, trouver les q stations à mettre en place pour assurer le transport le plus longtemps possible,

* trouver l'année A où cet équipement de première phase devient insuffisant

En général ces q stations divisent la ligne en $q+1$ tronçons que l'on peut classer en deux catégories :

* les tronçons "complets", c'est-à-dire limités à deux stations consécutives, ils sont par définition capable de transporter le débit nominal et n'interviendront plus dans la suite des calculs,

* les tronçons "incomplets", sur lesquels une ou plusieurs stations n'ont pas encore été mise en place. Pour ceci, il suffira de refaire la même opération

que ci-dessus, à partir de l'année A, et ce jusqu'à ce qu'ils aient été tous complétés.

Règles pour le déroulement du calcul :

Pour pouvoir mener à bien ce calcul, on a été obligé de fixer certaines règles :

- * une station de recompression ne pourra en aucun cas recevoir le gaz à une pression inférieure à sa pression d'aspiration au stade final,
- * une station mise en place pourra disposer de toute sa puissance au stade final,
- * une configuration sera dite meilleure qu'une autre si elle reste suffisante au moins une année de plus. Dans le cas contraire, elle sera considérée comme équivalente.

2) Conditions de service des stations de recompression :

Ici il s'agira de calculer pour chaque station et chaque année :

- * la pression d'aspiration,
- * la pression de refoulement,
- * la consommation en gaz s'il y a lieu.

Pour chaque année de la période de remplissage, on connaît par les calculs précédents :

- * les stations mises en place (position et puissance),
- * les débits à livrer en chaque point de la ligne.

Nous avons choisi de faire fonctionner les stations de recompression en place de façon à aboutir au minimum de dépenses d'énergie. Cet objectif est atteint lorsque la dernière station refoule à la pression juste suffisante pour atteindre le terminal à la pression requise, toutes les autres refoulant à la pression maximale de service.

Dans ces conditions, les pressions d'aspiration seront obtenues par le calcul d'écoulement entre deux stations consécutives, légèrement compliqué par la nécessité d'inclure dans le débit à transporter les quantités consommées.

REMARQUE: Signalons que cette première version, pour le calcul de l'évolution des stations, n'est introduite que pour expliquer la nature du problème. Pour la suite nous utiliserons la programmation dynamique qui reste la meilleure méthode applicable pour ce genre de problème.

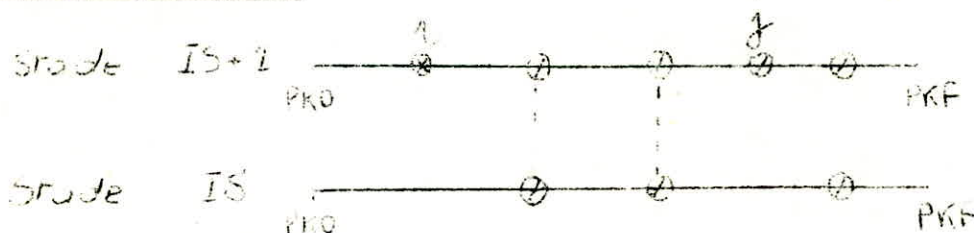
III. PRINCIPE DE LA RECHERCHE DYNAMIQUE :

A un stade antérieur IS, l'objectif est de rechercher si une station i , installée pour le stade IS+1, peut-être supprimée sans que le débit qui en résulte ne soit plus faible que la valeur nominale prévue pour le stade considéré.

En règle générale, plusieurs solutions sont possible. Le choix se fera d'abords sur la solution qui utilisera le plus petit nombre de stations.

A nombre de stations égales, la solution avec la puissance totale minimale sera sélectionnée.

Schéma explicatif :



Les stations i et j installées pour le stade IS+1 se trouvent supprimées pour le stade antérieur IS, et cela sans rendre le débit plus faible que la valeur nominale prévue pour ce stade IS.

La technique de recherche, dont le principe fonctionnel est représenté dans la page suivante, est identique à celle utilisée pour positionner les stations.

CONTRAINTES :

a) Le nombre de stations à mettre en service sur toute la ligne est limité à $N1$ et $N2$ (borne inférieure et borne supérieure).

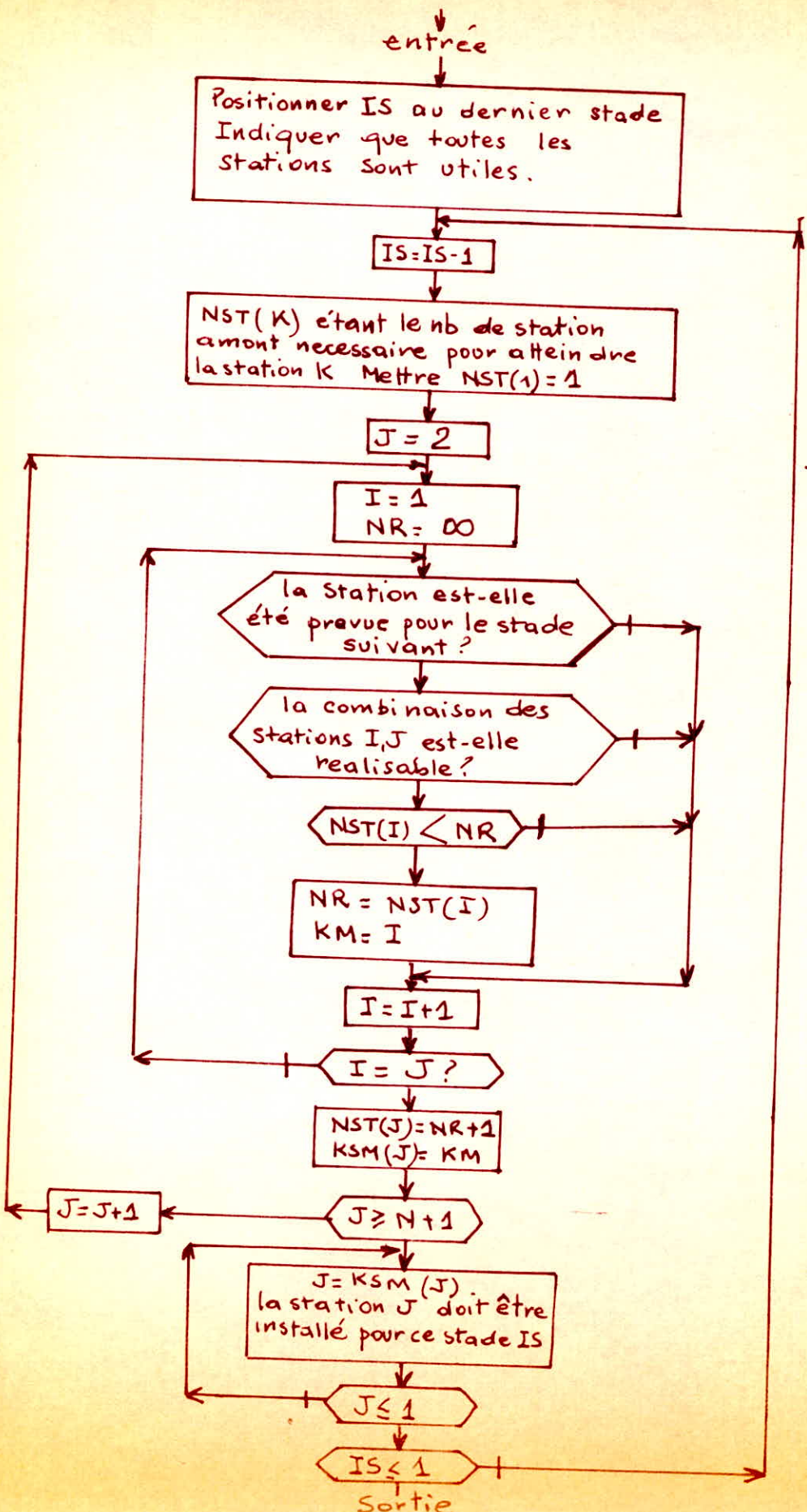
Cela est dû au fait que :

- * qu'il ne faut pas apporter trop de calories au gaz par des compressions successives nombreuses. Cela conduirait à l'utilisation systématique de réfrigérants de gaz.
- * Le prix de revient d'une station est très important aussi bien en investissement qu'en charge d'exploitation.

b) Il importe, en outre, que la puissance installée dans chaque station soit limitée, donc ne soit pas exagérée. Il en résulte pour cela une certaine gamme de puissance.

Ces contraintes sont fixées par le marché ou d'une façon simplifiée par l'utilisateur.

ORGANIGRAMME FONCTIONNEL DE L'EVOLUTION DES STATIONS.



C H A P I T R E I V

CHOIX DES GROUPES A INSTALLER

I DEFINITION :

Les groupes sont des moteurs dont le type et la conception sont assez variés, ayant pour fonction d'entraîner les compresseurs pour une éventuelle hausse de pression du gaz à l'intérieur de la station de compression.

Quelques règles d'ordre pratique permettent à l'utilisateur de fixer un certain nombre de type de groupes. SONATRACH, par exemple préfère des groupes identiques à ceux existant déjà sur les autres gazoduc en service :

- * compresseurs mono étagés
- * turbines industrielles
- * puissance : environ 14000 CV ISO (15°C, 760 mmHg) soit environ 12000 CV NEMA (80°F, 1000 feet soit 26.7°C et 305 mètres)
- * maximum de groupes dans une station égale à cinq (5) (4 en service et un de secours)

II. BUT :

Nous disposons alors d'une gamme de groupes dont la puissance maximale est de 20000 CV NEMA travaillant à des taux de compression ne dépassant pas 1.35, et leur coût.

Le problème consiste à choisir le type de groupe qui, sous les conditions que le nombre maximal de groupe est imposé, entraîne le coût minimal pour l'ensemble des termes :

- * Investissements initiaux,
- * Renouvellement,
- * Entretien

III. PRINCIPE :

- 1) Calcul du nombre de groupes de type IG pour satisfaire la puissance maximale dans une station donnée :

Connaissant la puissance maximale de toutes les stations et la puissance unitaire du groupe de type IG considéré, le nombre de groupes NG dans une station est le rapport des deux puissances :

$$NG = PUMAX / PGROUP$$

Le test se fera alors : est-ce que NG satisfait aux contraintes du nombre maximal de groupes imposé ? Sinon on passe au type suivant de groupe.

La selection de la solution optimale se fera en considérant successivement chaque stade. On calcule le nombre de groupes à ajouter par rapport à celui du stade antérieur, en effectuant :

- * le calcul des investissements initiaux,

- * le calcul du renouvellement,

- * le calcul de l'entretien,

et on somme les trois (3) cumuls.

La solution optimale est celle dont la somme des cumuls est minimale, et ceci respectivement avec tous les éléments de la gamme des types de groupes pris un à un et donnant un NG satisfaisant.

Cette séquence de calcul, dont l'organigramme est présenté à la page suivante, utilise la même méthode de recherche que pour l'implantation et la formation des stations de compression.

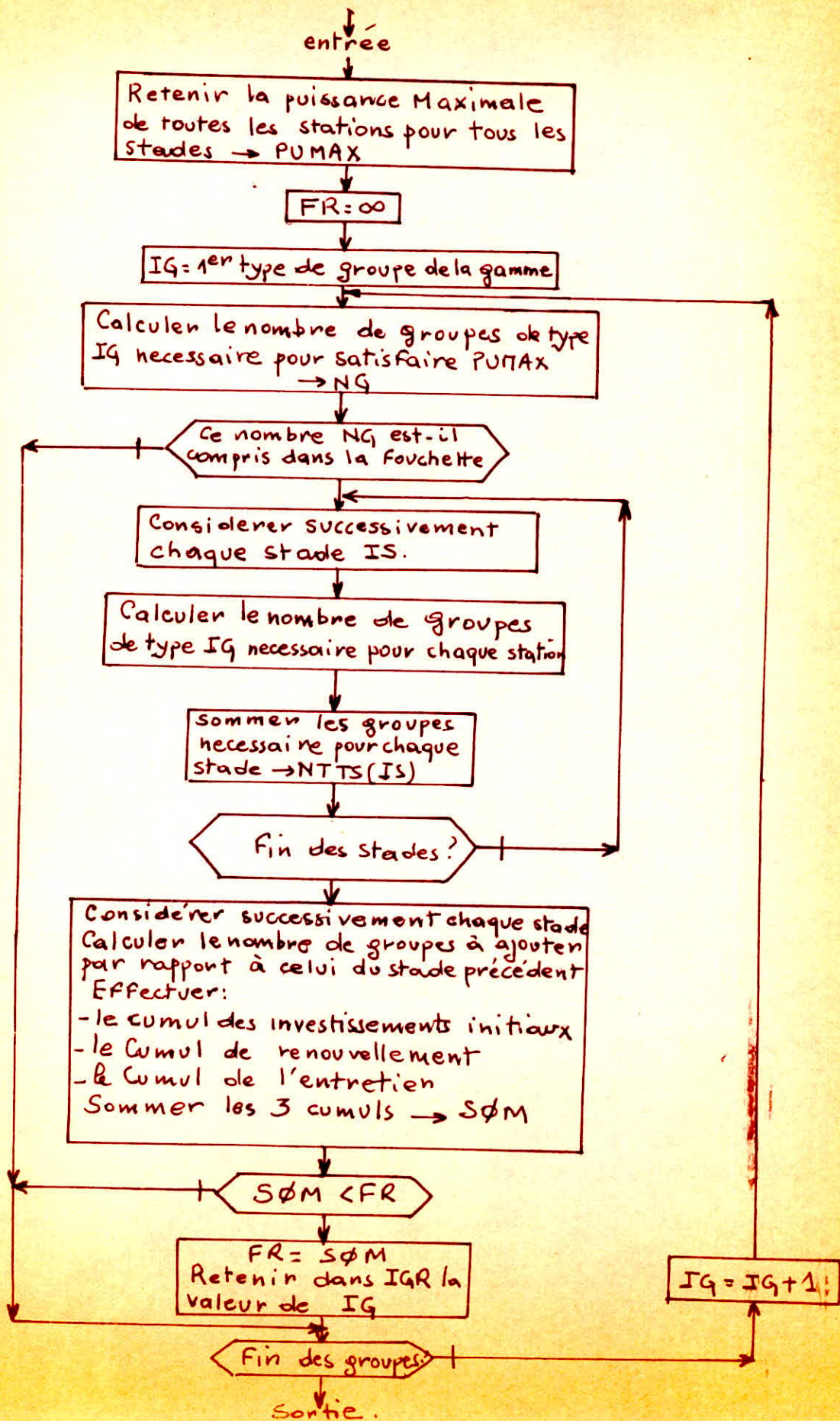
Les résultats fournis sont :

- * le type de groupe à installer,

- * le nombre à installer dans chaque station pour chaque stade d'exploitati.



ORGANIGRAMME FONCTIONNEL DU CHOIX DES GROUPES A INSTALLER.



C H A P I T R E V

ETUDE ECONOMIQUE

I. INTRODUCTION :

Cette partie du programme a pour objet d'évaluer pour chaque combinaison diamètre-nombre de stations qui satisfait aux conditions techniques précisées, année par année :

- * la date et le montant des différents investissements,
- * les coûts d'exploitation,
- * le prix de revient du transport,
- * les dépenses totales .

On actualisera ces termes avec des différents taux préalablement désignés. On tiendra compte, bien sûr, des divers coefficients de hausse et de majoration indiqués dans la liste des données.

Pour le calcul de ces différents coûts, on traitera les données financières qui résultent des évaluations des conditions économiques en vigueur de la mise en application du programme.

II. CALCUL DES INVESTISSEMENTS : COÛTS DIRECTS

Il s'agit ici de sommer les différents coûts de fournitures et de construction des ouvrages nécessaires au transport du gaz.

1) Coût des tubes :

Il comprend :

- * le prix unitaire ventilé suivant le diamètre, les épaisseurs et les nuances d'acier (normes API 5LX). On tiendra compte d'une majoration pour les qualités d'acier plus noble que X 52 :

NUANCES	X 56	X 60	X 63	X 65	X 70
MAJORATION (%)	3.45	6.90	11.0	13.7	15.0

- * coefficient de majoration due au chutes et coupes.

2) Enduction interne :

Les tubes sont dans la plus part des cas enduits intérieurement en résine époxy.

Il en résulte un prix unitaire ventilé suivant les différents diamètres nominaux extérieurs considérés, Ils seront exprimés en unités monétaires par mètre linéaire.

3) Coût de la pose et des travaux en ligne :

C'est une estimation, ventilée suivant les diamètres extérieurs nominaux, relative à la pose de la canalisation proprement dite et des étapes intermédiaires suivantes :

- * ouverture de la piste,
- * croisement de la tranchée,
- * bardage,
- * soudure,
- * enrobage,
- * mise en fouille,
- * remblai,
- * remise en état,
- * essais et épreuves,
- * franchissement des points spéciaux, particuliers ou singuliers,
- * lestage éventuel de la canalisation,
- * ouvrages divers (gabions, barrage de retenue des terres etc)
- * sujétions particulières.

4) Les coûts des ouvrages annexes :

Calculés à partir des données concernant les ouvrages particuliers suivants :

- * Gares de racleurs départ et arrivée,
- * poste de sectionnement,
- * poste de coupure,
- * dispositifs de récupération des condensats,
- * gaines pour les traversées de routes.

Remarque : Ces coûts englobent :

- * La fourniture des matériels,
- * leur transport aux chantiers,
- * la construction et les essais.

5) Protection cathodique de la ligne :

Ce coût ne dépend pas du diamètre et comprend seulement les fournitures et les travaux résultant. Il est exprimé sous forme d'une estimation globale.

6) Coût des postes de prélèvements :

C'est le coût de la fourniture et la construction établit comme suit :

DESIGNATION	Nombre	Prix unitaire	Prix total
1 ^{er} Poste			
2 ^{eme} Poste			
⋮			
N ^{eme} Poste			
TOTAL GENERAL EN UNITES MONNAIRES			

7) Coût des terminaux :

Les terminaux comprennent la BASE sur le champs de production et le terminal du gazoduc au niveau de la livraison du gaz.

Leur cout est présenté de la manière suivante :

DESIGNATION	PRIX
1. <u>Travaux de Génie Civil</u>	
Base et terminal	
2. <u>Base</u> ;	
Atelier, magasin, garage, entrepôt,	
Bâtiment administratif,	
Matériel d'intervention, sécurité et	
véhicules.	
3. <u>Terminal</u>	
Filtrage, robinetterie, comptage,	
Laboratoires,	
. de dispatching	
TOTAL GENERAL EN UNITES MONNAIRES	

8) Coûts divers :

Ils comprennent :

- * Télé transmission,
- * Automatismes,
- * Equipements de dérivation,
- * Télécriteurs etc...

9) Coût des station de compression :

Le coût d'une station de compression est déterminé par la somme de deux termes :

- * Un terme fixé représentant l'infrastructure générale (mécanique, électrique) à l'exception des groupes turbo-compresseurs
- * Un terme proportionnel à la puissance installée et représentant la fourniture, le transport et les essais des groupes et leurs accessoires.

9.1) Terme fixe

DESIGNATION	RIX
1. Installation et repli du chantier:.....	
2. Génie Civil et infrastructure :	
- terrassement et fondations	
- hall des compresseurs et bati- ments annexes	
- réseau d'eau, routes, clotures, peintures	
- résidence du personnel	
- piste pour engins de TP.	
3. Tuyauterie et robinetterie :.....	
4. Electécité :	
- turbo- alternateurs	
- protection cathodique	
- instrumentation	
- divers	
5. Sujétions particulières (essais, mise en service et mise au point)	
TOTAL GENERAL EN UNITES MONNAIRES	

9.2) Turbo compresseurs :

Ils représentent le coût relatif au terme variable cité au § 9 ci dessus. Ce coût est fonction de la puissance y compris le transport sur chantier, le montage et l'alignement sur massif de béton.

Puissance NEMA en CV	PRIX
12000	
15000	
18000	
20000	
25000	
30000	
35000	

III. INVESTISSEMENTS : COÛTS INDIRECTS

Les principaux coûts indirects dont il faut prendre compte sont les suivants :

- * dépenses engendrées sur le coût de l'étude et la construction, jusqu'à la mise en service,
- * dépenses résultantes des études faites par des organismes extérieurs,
- * frais d'assurance et de contentieux,
- * frais de formation du personnel d'exploitation,
- * les emprunts effectués

L'ensemble de ces frais et des emprunts est déterminé en pourcentage sur le montant total des coûts directs.

IV. FRAIS D'EXPLOITATION :

Nous distinguons :

- * les frais d'énergie,
- * les frais d'entretien des ouvrages,
- * les frais de personnel,
- * les frais administratifs et financiers.
- * autres frais (éclairage, chauffage, téléphone etc...)

En ce qui concerne les frais de personnel, ils sont ventilés sur :

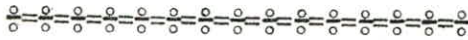
- * les stations,
- * les terminaux,
- * la direction administrative et technique de l'ouvrage

et ceci en déterminant pour chaque catégorie les salaires nets annuels, charges sociales (%) et les taux annuels des salaires bruts.

V. FOURNITURES :

En raison des politiques socio-économique on serait en premier lieu amener à utiliser les fournitures locales même si celles-ci présentent un coût plus élevé. Dans ce cas là l'utilisation par exemple des tubes de la SMS se traduit par une économie importante de devises, par l'emploi de main d'oeuvre nationale et l'utilisation d'une usine existante.

A N N E X E .



LISTE DES DONNEES ET DES VARIABLES DU SOUS-PROGRAMME CANAL :1) DONNEES :

- PHIP(ID) : tableau des diamètres extérieurs nominaux d'indice ID,
- EPP(I, ID) : tableau des épaisseurs
- PCIDS(I, ID) : **tableau des poids** au mètre linéaire des tubes,
- PRITUB(I, ID) : tableau au mètre linéaire des tubes,
- COEFNU(J) : tableau des coefficients de majoration dépendant de la qualité d'acier et du coût des tubes,
- PIND(ID) : tableau des coefficients de majoration additifs sur les prix des tubes pour un diamètre extérieur nominal donné,
- X(I) : abscisse des points anguleux donnés par le relevé topographique
- XCAT(IZ) : abscisses de fins de zones
- TAUE(IZ) : taux de travail admissible par rapport à la limite élastique dans les zones,
- TAUR(IZ) : taux de travail admissible par rapport à la limite de rupture dans les zones,
- XQ(IQ) : abscisses des points de soutirage,
- MINE(NU, ID) : indice de l'épaisseur minimale pour un diamètre et un acier donnés,
- MAXE(NU, ID) : indice de l'épaisseur maximale pour un diamètre et un acier donnés,
- ELAST(NU) : limites élastiques des aciers,
- RUPTR(NU) : limites de ruptures des aciers,
- PSER(ID) : table des pressions maximales de service,
- MIND : indice du 1^{er} diamètre de la table à traiter,
- MAXD : indice du dernier diamètre de la table à traiter,
- KMLX : nombre de points anguleux dans le profil en long,
- NXCAT : nombre de zones de catégorie de terrain dans le profil,
- NXQ : nombre de points de soutirage en ligne,

NU1 : indice du 1^{er} acier à considérer
 NU2 : indice du dernier acier à considérer
 COMTUB : coefficient de majoration du coût total du tube relatif aux
 chutes et coupes,

2) VARIABLES :

PRIX(I, ID) : tableau des prix par mètre linéaire de tube
 PRIX(IER(IZ), ID, NUR(IZ)) : table des prix du mètre linéaire du tube installé
 dans la zone IZ, d'indice d'épaisseur IER(IZ),
 et d'indice de nuance NUR(IZ),
 NUR(IZ) : indices des nuances d'aciers optimales pour la zone IZ,
 IER(IZ) : indice des épaisseurs optimales pour la zone IZ,
 XZ(IZ) : longueur de la zone IZ,
 DIAM(ID, IZ) : table des diamètres intérieurs optimaux pour la zone IZ avec
 un indice de diamètre extérieur nominal ID,
 D(IC) : table des diamètres intérieurs le long de la ligne,
 XT(IC) : tableau des abscisses ordonnées d'une manière croissante,
 FMEC(IZ) : coût du tube pour la zone IZ,
 TONNE(IZ) : tonnage de la zone IZ,
 TONNAG : tonnage total de la ligne,
 COUT : coût total de la ligne.

```

C          *** SOUS-PROGRAMME CANAL ***
C
C          PRIX AU METRE LINEAIRE DES TUBES PAR NUANCE D'ACIER, L'ACIER DE REFERENCE
C          ETANT L'ACIER DE NUANCE 'X52'
C          DIAMETRE DE 40,42,44,48,52 (POUCES)
C
          SUBROUTINE CANAL(PHIP,EPP,PRITUB,COEFNU,PIND,MIND,MAXD,KMAX,X,NXCAT,XCAT,
          1TAUE,TAUR,NXQ,MINE,MAXE,NU1,NU2,ELAST,RUPTR,PSER,COMTUB,POIDS,XQ,D)
          DIMENSION PHIP(5),EPP(11,5),POIDS(11,5),PRITUB(11,5),COEFNU(5),PIN
          1D(5),PRIX(11,5)
          DIMENSION X(100),XCAT(10),TAUE(10),TAUR(10),XQ(5),MINE(5,5),MAXE(5
          1,5),ELAST(5),RUPTR(5),PSER(5),PRIX3(11,5,5),NUR(10),LUR(10),XZ(10)
          2,DIAM(5,10),XT(115),D(115)
          DIMENSION FMEC(10),TONNE(10)
          DIMENSION XX(115)
          DO 10 ID=1,5
          IF(ID.EQ.MIND.AND.ID.EQ.MAXD)GO TO 1000
10 CONTINUE
1000 WRITE(108,30)PHIP(ID)
          WRITE(108,40)(EPP(I,ID),I=1,11)
          WRITE(108,50)(POIDS(I,ID),I=1,11)
          WRITE(108,60)
          DO 1 J=1,5
          DO 2 I=1,11
          PRIX(I,ID)=PRITUB(I,ID)*COEFNU(J)
          PRIX(I,ID)=PRIX(I,ID)*POIDS(I,ID)
          2 PRIX(I,ID)=PRIX(I,ID)+PIND(ID)
          GO TO(100,200,300,400,500)J
100 DO 102 I=1,11
102 PRIX3(I,ID,1)=PRIX(I,ID)
          WRITE(108,101)(PRIX(I,ID),I=1,11)
101 FORMAT(//,5X,10HACIER X 52,11(F7.3,4X))
          GO TO 1
200 DO 202 I=1,11
202 PRIX3(I,ID,2)=PRIX(I,ID)^
          WRITE(108,802)(PRIX(I,ID),I=1,11)
802 FORMAT(//,5X,10HACIER X 56,11(F7.3,4X))
          GO TO 1

```

```

300 DO 303 I=1,11
303 PRIX3(I, ID, 3)=PRIX(I, ID)
    WRITE(108, 903)(PRIX(I, ID), I=1, 11)
903 FORMAT(//, 5X, 10HACIER X 60, 11(F7.3, 4X))
    GO TO 1
400 DO 404 I=1,11
404 PRIX3(I, ID, 4)=PRIX(I, ID)
    WRITE(108, 704)(PRIX(I, ID), I=1, 11)
704 FORMAT(//, 5X, 10HACIER X 63, 11(F7.3, 4X))
    GO TO 1
500 DO 505 I=1,11
505 PRIX3(I, ID, 5)=PRIX(I, ID)
    WRITE(108, 605)(PRIX(I, ID), I=1, 11)
605 FORMAT(//, 5X, 10HACIER X 65, 11(F7.3, 4X))
    1 CONTINUE
    30 FORMAT(1H1, 40X, 15HPOIDS DES TUBES, //, 5X, 9HDIAMETRE=F9.3)
    40 FORMAT(//, 5X, 11HEPAISSEURS , 11(F8.5, 2X))
    50 FORMAT(//, 5X, 5HPOIDS, 11(F8.5, 2X))
    60 FORMAT(///, 40X, 14HPRIX DES TUBES)

```

C

C

```

    DIMENSIONNEMENT DU PIPE LE LONG DE LA LIGNE PAR CATEGORIE DE TERRAIN
    WRITE(108, 1100) PHIP(ID), PSEI(3)
1100 FORMAT(1H1, //, 5X, 20H ETUDE DU DIAMETRE , F8.3, 5X, 36H AVEC UNE PRESS
    ION DE REFOULEMENT= , F6.3)
    WRITE(108, 1101)
1101 FORMAT(///// , 10X, 47H CARACTERISTIQUES DE CHAQUE TUBE DANS LES ZONE
    1S)
    WRITE(108, 1102)
1102 FORMAT(//, 10H UNITES: , /, 5X, 24H LONGUEURS EN KILOMETRES, 28H EPA
    IISSEURS EN MILLIMETRES, 28H MASSE EN MILLIERS DE TONNES, 33H COUT EN
    2MILLION D'UNITES MONAIRES)
    XZ(1)=XCAT(1)
    DO 12 IZ=1, NXCAT-1
    12 XZ(IZ+1)=XCAT(IZ+1)-XCAT(IZ)
    WRITE(108, 1103) (XZ(I), I=1, NXCAT)
1103 FORMAT(//, 5X, 18HLONGUEUR DES ZONES, 3X, 10(F7.3, 3X))
    COUT=0.
    TONNAG=0.

```



```

IZ=1
23 FECC=10.**57
  NU=NU1
19 FM=FECC
  IE=MINE(NU, ID)
13 T1=ELAST(NU)*TAUE(IZ)
  T2=RUPTR(NU)*TAUR(IZ)
  T=AMIN1(T1, T2)
  P=(2.*T*EPP(IE, ID))/PHIP(ID)
  IF(P-PSER(3)) 1200, 1201, 1201
1200 IF(IE-MAXE(NU, ID)) 1202, 1203, 1203
1202 IE=IE+1
  GO TO 13
1201 FM=XZ(IZ)*PRI3(IE, ID, NU)
  IF(FM-FECC) 1204, 1203, 1203
1204 FECC=FM
  NUR(IZ)=NU
  IER(IZ)=IE
1203 IF(NU-NU2) 1205, 1206, 1206
1205 NU=NU+1
  GO TO 19
1206 FMEC(IZ)=XZ(IZ)*PRI3(IER(IZ), ID, NUR(IZ))
  TONNE(IZ)=XZ(IZ)*POIDS(IER(IZ), ID)
  COUT=COUT+FMEC(IZ)
  TONNAG=TONNAG+TONNE(IZ)
  IF(IZ-NXCAT) 1300, 1301, 1301
1300 IZ=IZ+1
  GO TO 23
1301 COUT=COUT*COMTUB
  WRITE(108, 1400) (NUR(IZ), IZ=1, NXCAT)
1400 FORMAT(//, 5X, 22HINDICE DE L'ACIER CHOISI, 10(I2, 7X))
  WRITE(108, 1401) (EPP(IER(IZ), ID), IZ=1, NXCAT)
1401 FORMAT(//, 5X, 19HEPAISSEURS CHOISIES, 10(F5.2, 4X))
  WRITE(108, 1402) (TONNE(IZ), IZ=1, NXCAT)
1402 FORMAT(//, 5X, 7HTONNAGE, 14X, 10(F6.3, 3X))
  WRITE(108, 1403) (FMEC(IZ), IZ=1, NXCAT)
1403 FORMAT(//, 5X, 4HCOUT, 16X, 10(F6.3, 3X))

```

```

WRITE(108,1405) TONNAG,COUT
1405 FORMAT(////,5X,13HTONNAGE TOTAL,5X,1H=,F7.3,5X,10HCOUT TOTAL,
15X,1H=,F7.3,/,5X,55HY COMPRIS LA MAJORATION DE 0.010
2POUR COUPES ET PROFIL)
DO 25 IZ=1,NXCAT
DIAM(ID,IZ)=PHIP(ID)-2.*EPP(IEF(IZ),ID)
25 CONTINUE
IC=1
I=1
IQ=1
IZ=1
33 IF(X(I+1)-XQ(IQ))1410,1411,1411
1410 IF(X(I+1)-XCAT(IZ))1412,1413,1413
1412 XT(IC)=X(I+1)
IC=IC+1
IF(I-KMAX)1415,1415,1500
1415 I=I+1
GO TO 33
1411 IF(XQ(IQ)-XCAT(IZ))1501,1413,1413
1501 XT(IC)=XQ(IQ)
IC=IC+1
IF(IQ-NXQ)1600,1600,1500
1600 IQ=IQ+1
GO TO 33
1413 XT(IC)=XCAT(IZ)
IC=IC+1
IF(IZ-NXCAT)1700,1700,1500
1700 IZ=IZ+1
GO TO 33
1500 ICC=IC
XX(1)=0.
DO 2001 I=1,ICC
2001 XX(I+1)=XT(I)
IC=1
IZ=1
177 IF(XX(IC).LE.XCAT(IZ)) GO TO 77
IF(IZ.GT.NXCAT) GO TO 2000

```

```
IZ=IZ+1
GO TO 177
77 D(IC)=DLAM(ID,IZ)
   IC=IC+1
   IF(IC.EQ.ICC) GO TO 2000
   GO TO 177
2000 WRITE(108,131)
      WRITE(108,130) (D(J),J=1,IC)
130  FORMAT(11(F7.3,5X))
131  FORMAT(//,30X,3SDIAMETRES INTERIEURS LE LONG DE LA LIGNE)
      RETURN
      END
```

C O N C L U S I O N

Tout au long de cette étude nous nous sommes efforcés de se rapprocher le plus possible des aspects pratique posés par la construction de l'ouvrage considéré.

En effet, les méthodes énoncées, tiennent beaucoup compte des exigences de l'utilisateur et des possibilités d'uniformisation des équipements, ce qui se traduit par une économie substantielle sur les investissements et de plus, pour un entretien beaucoup plus efficace.

Vu l'importance et la dimension du problème, la présente étude est une contribution au programme général qui englobe les différentes parties énumérées.

Aussi, il resta encore quelques insuffisances dans le programme en ce qui concerne son utilisation. Nous pensons notamment à la possibilité d'étudier une canalisation dont le diamètre nominal extérieur est non constant ou d'une conduite pouvant livrer du gaz en plusieurs destinations différentes. Ceci rejoint de près le problème des ramifications qui constitue un complément du programme.

Le rôle principal de ce programme est certes de faciliter les études d'avant projet mais aussi, par la rapidité des calculs qu'il procure, il facilite certaines autres études d'ordre théorique telle que :

- * influence de la rugosité,
- * influence des dénivellations,
- * influence des formules d'écoulement et des méthodes d'intégration utilisées,
- * influence des divers paramètres économique etc ...

BIBLIOGRAPHIE.

- I.- MANUEL POUR LE TRANSPORT ET LA DISTRIBUTION DU GAZ.
Association technique de l'industrie du gaz en France. Tome I.
- II.- TABLE API 5 LX ET API 5 LS (Américan pétroleum Institue)
- III.- SDS PROGRAM LIBRARY : PROGRAM DESCRIPTION
Sous- programme WEGSTEIN pour le calcul du coefficientn de frottement.

