

REPUBLIQUE DU SENEGAL

GC.0656

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

PROJET DE FIN D'ETUDE
en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception

**TITRE: MODELISATION DES SYSTEMES DE POMPAGE ET DETERMINATION
DU POINT D'EQUILIBRE PAR METHODES NUMERIQUES**

DATE: JUILLET 1991

AUTEUR: Simon GOUDOU
DIRECTEUR: Séni TAMBA

D E D I C A C E

- A MON CHER PAPA A TITRE POSTHUME
- A MA DISTINGUEE MERE
- A MON FRERE AINE Michel GOUDOU
- A MES GRANDS FRERES COUSINS ET A MON ONCLE
- A TOUS MES FRERES ET SOEURS
- A MES AMIS
- A TOUS LES ANCIENS ECOLIERS ET ELEVES DE
SAINTE RITA
- et. A CELLE QUI PRENDRA UNE RESPONSABILITE DU
RESTE DE MA VIE

Je dédie ce travail

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

A Mr **Séni TAMBA**, mon directeur de projet,
professeur

A Mrs **Patrick ACCROMBESSI** et **Calixte DEDJINOU**,
élèves Ingénieurs

A Tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué
à la réalisation de ce travail,

j'adresse mes sincères remerciements

S O M M A I R E

Ce travail a pour principal objectif, l'établissement d'une méthode numérique pour la détermination du point d'équilibre des systèmes de pompage. Pour y arriver, nous avons d'abord fait une étude théorique du fonctionnement en régime permanent de ces systèmes. Cette étude menée séparément pour les différentes parties du système, est accompagnée d'une méthode de codification de ces parties, et abouti à la confection d'algorithmes partiels, permettant de franchir les différentes étapes de la méthode numérique brièvement exposée au début.

Ce rapport, subdivisé en deux parties, comprend cinq chapitres. La première partie est consacrée aux études théoriques et algorithmes partiels. L'algorithme général, la description du programme réalisé, et les résultats de quelques exemples traités, constituent l'essentiel de la deuxième partie.

TABLE DES MATIERES

	PAGES
Dédicace	i
Remerciements	ii
Sommaire	iii
Table des matières	iv
INTRODUCTION	1
<u>Première partie</u> : ETUDES THEORIQUES	3
Chapitre 1 : GENERALITES SUR LES SYSTEMES DE POMPAGE	4
I : LES CANALISATIONS	6
II : LA STATION DE POMPAGE	9
Chapitre 2 : ETUDE DE LA STATION DE POMPAGE	13
I : DISCRETISATION DES CARACTERISTIQUES D'UNE POMPE	16
II : CORRECTION DES POMPES DE LA STATION	17
III : POMPE EQUIVALENTE D'UN GROUPE DE POMPES	20
IV : CODIFICATION DE LA STATION	27
V : ALGORITHME DE LA POMPE EQUIVALENTE	28
VI : CORRECTION D'UNE STATION	29
Chapitre 3 : ETUDE DES CANALISATIONS	30
I : RAPPEL DES CARACTERISTIQUES D'UNE CANALISATION	31
II : LE PRELEVEMENT	34

III :	CANALISATION LINEAIRE	36
IV :	ETUDE DES CANALISATIONS EN PARALLELE	44
V :	ETUDE DES CANALISATIONS RAMIFIEES	49
VI :	CODIFICATION DES CANALISATIONS	53
<u>Deuxième partie</u> : ALGORITHME PRINCIPAL ET CAS TRAITES		56
Chapitre 4 : DETERMINATION DU POINT D'EQUILIBRE ET CALCUL		57
DES PARAMETRES		
I :	ALGORITHME DU POINT DE FONCTIONNEMENT	58
II :	CALCUL DES PARAMETRES	63
Chapitre 5 : DESCRIPTION DU PROGRAMME ET EXEMPLES TRAITES		66
I :	DESCRIPTION DU PROGRAMME	67
II :	ENREGISTREMENT DES DONNEES	67
III :	TRAITEMENT	72
IV :	PRESNTATION DES RESULTATS	74
V :	EXEMPLES TRAITES ET COMMENTAIRES	75
CONCLUSION		84
ANNEXES		
A1 :	AUTRES EXEMPLES TRAITES	
A2 :	COMPLEMENT DES ETUDES THEORIQUES	
A3 :	LISTING DU PROGRAMME	
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		

INTRODUCTION

Après la mise en marche d'un système de pompage, celui-ci atteint un état d'équilibre déterminé, par les caractéristiques des canalisations et le fonctionnement de la station de pompage. Dans la station de pompage, lorsque l'équilibre du système est atteint, chaque pompe fournit un débit (Q_p) et une hauteur de charge (H_p) qui constituent les coordonnées de son point de fonctionnement. La connaissance du point de fonctionnement pour chaque pompe permet de calculer le débit et la hauteur de charge totale fournis par la station. A leur tour, ces deux paramètres sont nécessaires aux calculs du débit et de la pression en tout point du système. Il apparaît donc nécessaire de connaître le point d'équilibre du système.

Les équations de continuité et de conservation d'énergie constituent la base essentielle de la détermination du point de fonctionnement. Leurs termes étant exprimés en fonction des caractéristiques du système telles que la vitesse d'écoulement du fluide, la résistance à l'écoulement des canalisations, et la hauteur de charge fournie par chaque pompe.

La détermination du point d'équilibre du système de pompage se fait, dans la pratique, par des méthodes graphiques. Avec le développement de l'informatique, les méthodes numériques, plus précises, et jadis moins pratiques, ont gagné du terrain.

La finalité de notre étude est d'écrire un programme pour la détermination du point d'équilibre et le calcul des autres

paramètres de fonctionnement d'un système de pompage. Une bonne étude théorique du fonctionnement en régime permanent des systèmes est alors nécessaire pour la confection d'algorithmes fiables.

Le plan d'attaque principal que nous avons choisi est en trois phases. La première consiste à représenter la station de pompage, toute entière par une pompe équivalente fictive dont nous déterminerons les performances (Q, H) . Quant à la deuxième, elle consiste à tenir compte de l'écoulement du fluide, dans les canalisations et déterminer, pour chaque débit (Q) de la station, les énergies totales disponibles, respectivement avant et après la station, ainsi que leur différence (ΔE) . Le point d'équilibre du système sera ensuite recherché dans le voisinage du point caractéristique (Q, H) pour lequel la quantité $|H - \Delta E|$ est la plus petite : c'est en cela que consiste la troisième phase.

Le programme principal se basera sur cet algorithme ainsi que d'autres qui lui sont rattachés. Ces derniers sont conçus à bases des formules établies dans les divers chapitres constituant l'ossature de la première partie de ce rapport.

PREMIERE PARTIE:
ETUDES THEORIQUES ET ALGORITHMES PARTIELS

Chapitre1 : GENERALITES SUR LES SYSTEMES DE POMPAGE

L'objectif de ce chapitre est de décrire globalement, les éléments d'un système de pompage sur lesquels porteront nos études. Certaines terminologies définies dans le texte seront fréquemment rencontrées dans dans les chapitres à venir.

Un système de pompage est composé principalement de trois zones: la zone d'aspiration; la station de pompage; et la zone de refoulement.

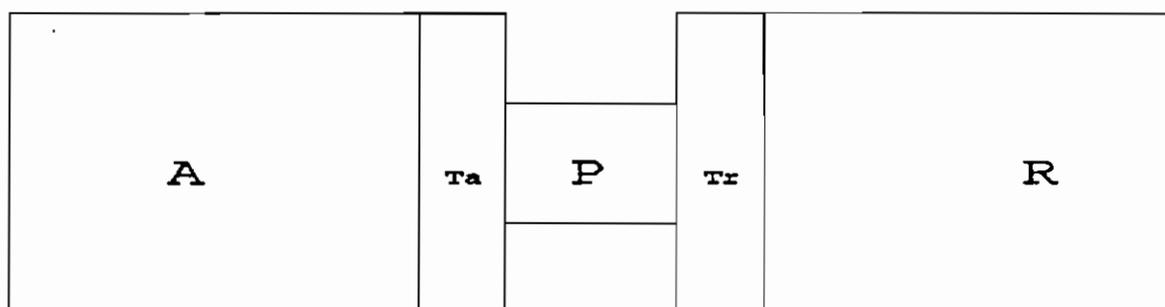


Figure 1 - 1 : Schéma général d'un système de pompage.

A = Zone d'aspiration

P = Station de pompage

R = Zone de refoulement

Une canalisation intermédiaire (Ta) entre la zone d'aspiration et la station de pompage permet de collecter le fluide des divers éléments de cette zone, vers la station de pompage. Tandis que la canalisation intermédiaire (Tr) véhicule le fluide, de la station de pompage, qui sera distribué dans les diverses canalisations de la zone de refoulement.

Bien qu'un système de pompage soit composé de trois zones, nous

y distinguons deux parties essentielles :

- L'ensemble des canalisations (d'aspiration et de refoulement).
- La station de pompage constituée de l'ensemble des pompes.

I- LES CANALISATIONS

Nous distinguons :

-les canalisations d'aspiration qui partent des points ou lieux d'aspiration (puits ,réservoirs etc..) pour aboutir à la station de pompage;

-les canalisations de refoulement qui partent de la station de pompage et peuvent aboutir aux points de refoulement; aux points d'entrée des réseaux de conduite d'alimentation; aux réservoirs de stockage ou simplement aux points d'utilisation.

Aussi bien pour l'aspiration que pour le refoulement chacun de ces points est caractérisé par un niveau d'énergie donnée par les trois termes de la charge hydraulique totale:

$$E = P/Y + V^2/2g + Z$$

où E représente la charge hydraulique totale du fluide et Y son poids volumique ,P , V , respectivement la pression et la vitesse du fluide au point considéré, et Z la côte de ce point ayant généralement comme référence le niveau de la station.

I-1 Composition des Canalisations

Une canalisation est un ensemble de conduites, disposées soit en série, soit en parallèle; soit en une combinaison des deux. Cependant, les systèmes complexes de canalisations se ramènent à des cas "série" ou "parallèle". La figure (1-2) montre un exemple une canalisation dont la configuration finale est "série".

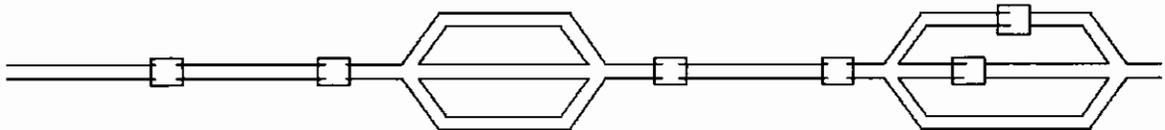


Figure 1 - 2 : Un exemple de canalisation en "série".

Si avec sa configuration finale, la canalisation n'est caractérisée que par un seul point d'aspiration ou un seul point de refoulement alors nous dirons qu'elle est "linéaire".

Lorsqu'une canalisation comporte plusieurs branches comme le montre la figure (1-3), nous dirons qu'elle est "ramifiée".

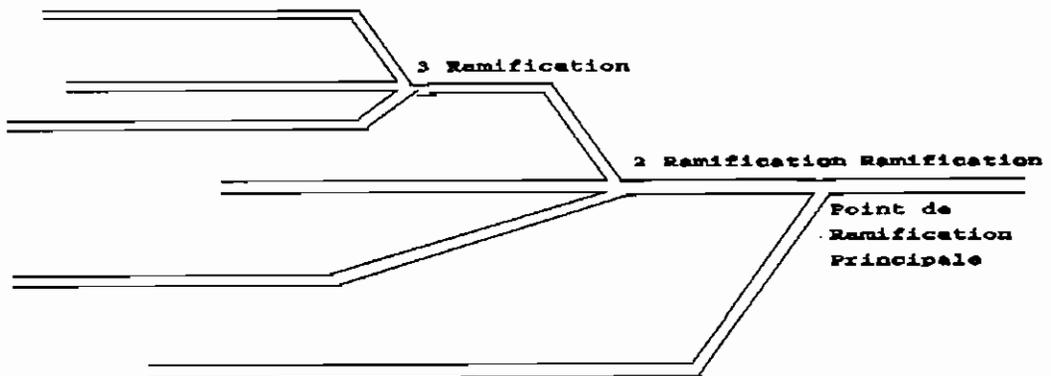


Figure 1 - 3 : Un exemple de canalisation "ramifiée".

I-2 Association des Canalisations

Tout comme les conduites, les canalisations peuvent être aussi associées en "série" ou en "parallèle". Nous ne ferons pratiquement pas de différence entre une canlisation "linéaire" et une canalisation en "série". Les figures (1-4) et (1-5), montrent des canalisations respectivement en "série" et en "parallèle".

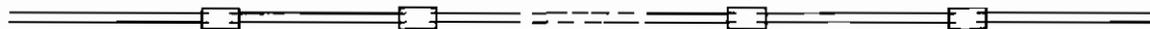


Figure 1 - 4 : Canalisations en série.

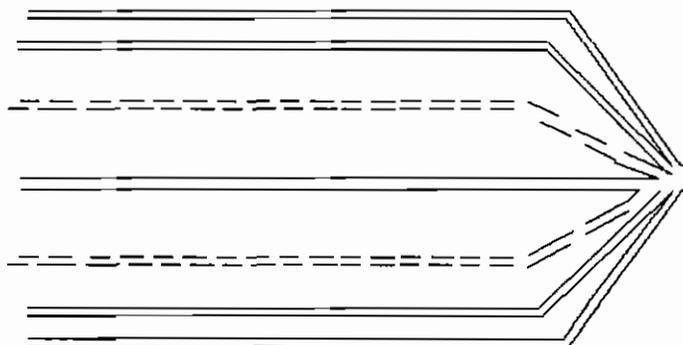


Figure 1 - 5 : Canalisations en parallèle.

Dans les figure (1-6) les conduites dessinées verticalement jouent le rôle de 'collecteur' de débit lorsqu'il s'agit de la zone d'aspiration et de 'distributeur' de débits dans le cas de la zone de refoulement. En l'absence de ces conduites les canalisations (dessinées horizontalement) seraient typiquement en

parallèle. Ce sont des exemples de canalisations "ramifiées".

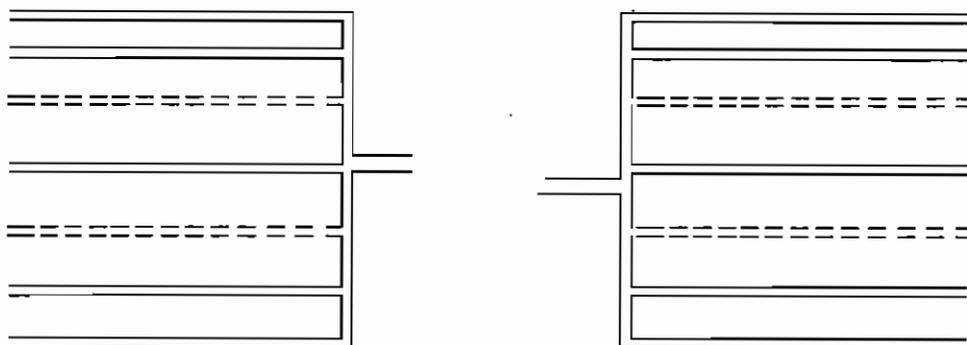


Figure 1 - 6 : Exemples de canalisations ramifiées.

II LA STATION DE POMPAGE

La station de pompage est composée de l'ensemble des pompes et d'un système de conduites. Les positions relatives des pompes déterminent leurs modes de groupement ou d'association.

II-1 Association des pompes en série

La figure (1-7) montre un exemple de (n) pompes associées en "série".

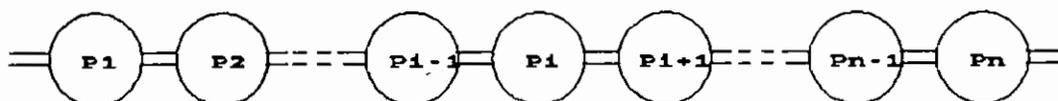


Figure 1 - 7 : (n) pompes en "série".

II-2 Association des pompes en parallèle

L'association de (n) pompes en parallèle est schématisée à la figure (1-8) :

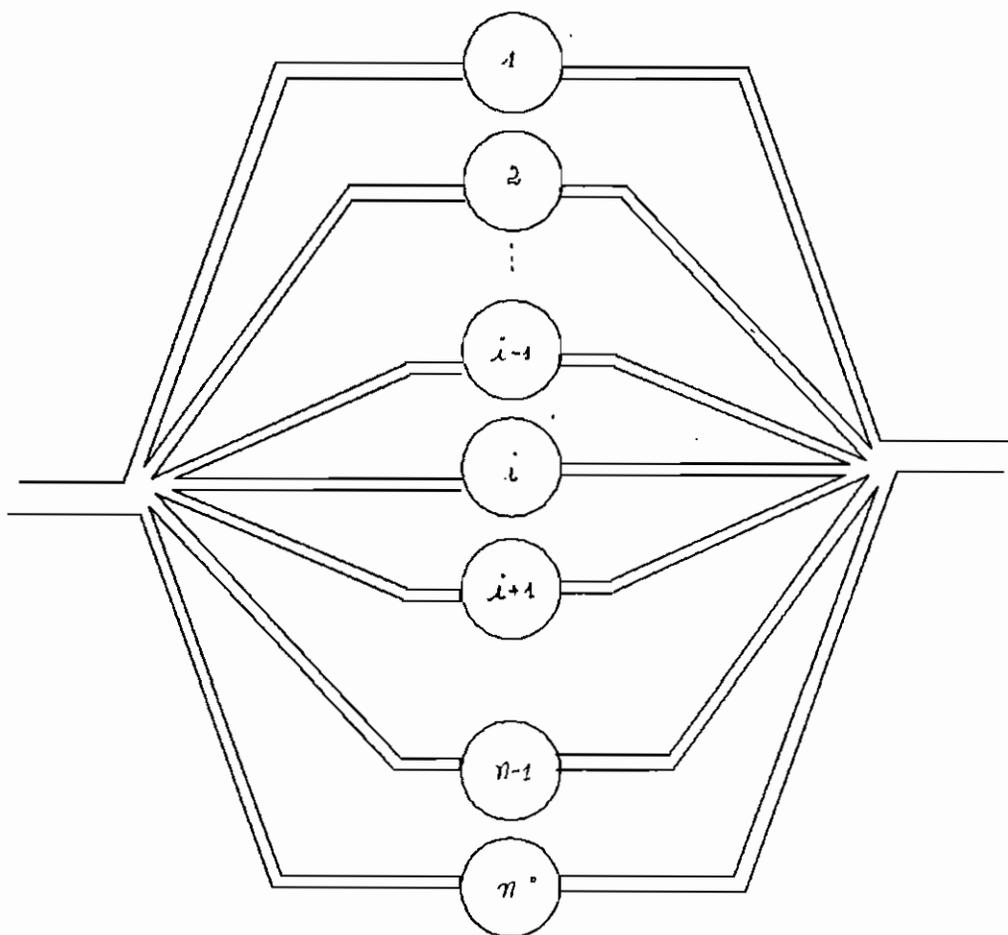


Figure 1 - 8 : (n) pompes en "parallèle"

Les divers modes d'associations que nous venons de décrire, sont les plus simples. Il existe des stations de pompage où ces modes de groupement sont utilisés. Ils constituent les "Associations mixtes", dont nous donnons ci-après, quelques exemples :

II - 3 Exemples d'associations mixtes de pompes

Les trois premières des figures suivantes montrent des modes d'association de pompes différents de l'association en parallèle.

De façon similaire à celle des canalisations de la figure (1-5), ces pompes seraient typiquement en parallèle en l'absence des conduites de collecte et de distribution.

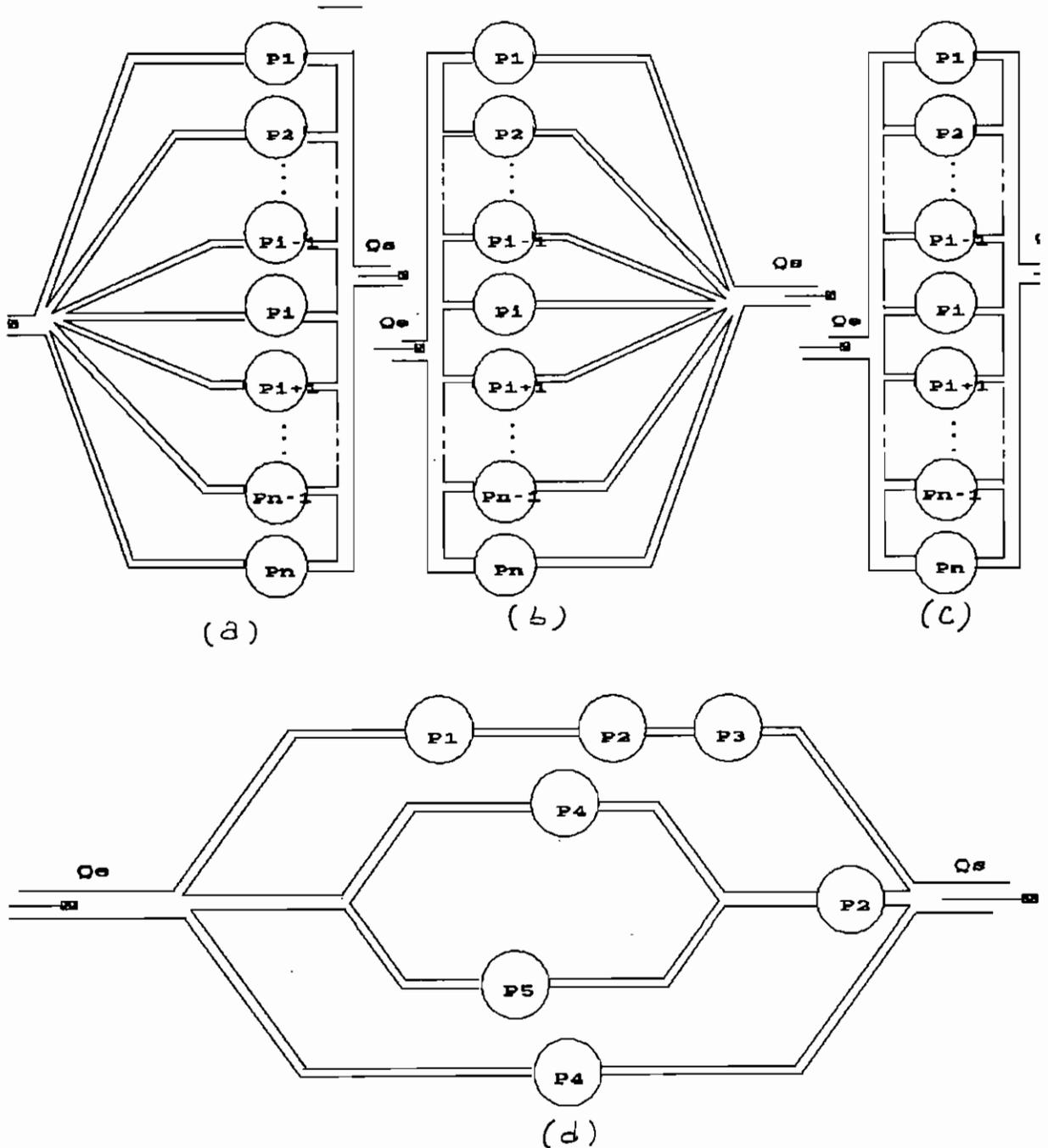


Figure 1 - 9 : Exemples d'"associations mixtes" de pompes

Les associations mixtes peuvent être à des cas simples (série ou parallèle). En effet la figure (1 - 9 - d) peut être considérée comme une association de trois pompes en parallèle :

- la première est l'équivalente de P1, P2, P3 en série.
- la deuxième est l'équivalente en série de :
 - l'équivalente de P4 et P5 en parallèle.
 - P2 seule.
- la troisième est la pompe P4 seule.

Rappelons que la description que nous venons de faire n'est pas complète pour un système de pompage. Car ce dernier renferme d'autres éléments, tels que les dispositifs antibélier; les moteurs et toute la partie 'alimentation électrique'. Nous nous sommes limités aux éléments à prendre en compte dans notre étude.

Chapitre 2 : ETUDE DE LA STATION DE POMPAGE

Le but visé dans ce chapitre est d'établir une méthode générale pour la détermination des performances (Q,H) d'une pompe fictive, représentant toute la station de pompage.

Le fonctionnement d'une turbopompe aux différents régimes possibles, est caractérisé par une surface d'équation :

$$F(H,Q,N) = 0. \quad (2-1)$$

(H = hauteur de charge, Q = débit, et N = vitesse de rotation)

Toutefois, le procédé de courbes caractéristiques, imaginé par RATEAU et BERGERON, permet de ramener cette représentation en dimensions 3 à une représentation à 2 dimensions. Il consiste à fixer la vitesse de rotation, et permet d'obtenir les courbes suivantes :

$$H_p = f(Q) \text{ à Vitesse constante.}$$

$$e = f(Q) \text{ à Vitesse constante.}$$

$$NPSH = f(Q) \text{ à Vitesse constante.}$$

(H_p est la hauteur de charge fournie par la pompe; e est son rendement; et $NPSH$ est la charge nette absolue requise à l'entrée de la pompe).

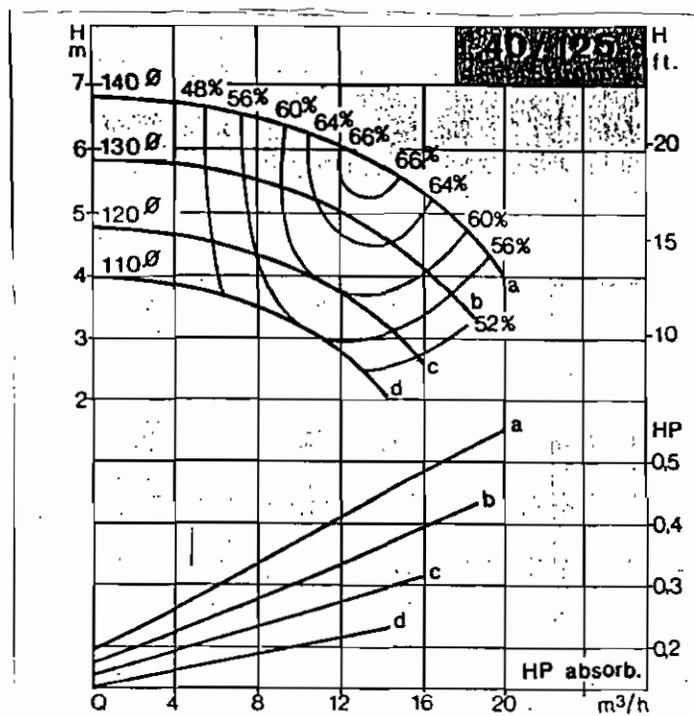
Ces diverses caractéristiques sont normalement fournies par le manufacturier de la pompe, sous forme d'abaque, ou sous forme de tableau (voir Figure 2-1).

Dans le cadre de ce projet, chaque pompe sera représentée dans

Hp(m)	Q(l/s)	e(%)
30	0	0
29.86	40	50
28.77	60	60
25.07	120	77
18.92	180	80
16.32	200	70
13.45	220	60
10.30	240	55
6.88	260	50
3.19	280	40

(V = 1750 RPM).

(a)



(b).

Figure 2-1 : Caractéristiques d'une turbopompe.
 (a : sous forme de tableau ; b : sous forme d'abaque).
 NB : Les deux pompes ne sont pas les mêmes.

un fichier sur disque, ou dans la mémoire de l'ordinateur par ses caractéristiques sous forme numérique. Pour une pompe quelconque dans un système de pompage, le point d'équilibre de ce dernier, doit être tel que le débit ou la hauteur de charge de la pompe soient dans sa **plage de performance**. Les caractéristiques numériques (sous forme de tableau), ne représentent que quelques points de la plage de performance. La détermination du **point de fonctionnement** est d'autant plus précise que le nombre de valeurs connues dans dans cette plage est plus élevé. Cela montre l'intérêt que nous aurons à discrétiser d'abord les caractéristiques enregistrées.

I DISCRETISATION DES CARACTERISTIQUES D'UNE POMPE

II-1 Concept de discrétisation d'une pompe

La "discrétisation d'une pompe" consiste pour nous, à augmenter le nombre de points caractéristiques disponibles pour cette pompe, tout en restant dans sa plage de performance.

Pour ce faire, il nous faudra définir le nombre de points caractéristiques que nous désirons avoir. Ce nombre servira à calculer un 'Pas' suivant Q (ou suivant H), qui n'est autre que la précision sur la détermination de Q (ou sur la détermination de H).

Nous avons opté pour le calcul du pas suivant Q et l'algorithme est présenté dans le paragraphe suivant.

II-2 Algorithme de discrétisation d'une pompe

- 1°/ donner le 'nombre de point à obtenir' : d
- 2°/ Calculer le Pas : $\text{Pas} = (Q_{\max} - Q_{\min}) / (d - 1)$
- 3°/ Reconstruire le tableau des points caractéristiques :
 - 3-1 / Conserver les points extrêmes de la page de performance : (Q_{\min}, H_{\max}, e) et (Q_{\max}, H_{\min}, e') .
 - 3-2 / Partir de Q_{\min} et :
 - 3-2-1 / Incrémenter le débit de Pas.
 - 3-2-1 / Calculer les valeurs respectives des autres paramètres correspondants.
 - 3-3 / répéter l'étape 3-2/ jusqu'à atteindre la première valeur de Q telle que $(Q_{\max} - Q) < \text{Pas}$.

La discrétisation des pompes est la première procédure appliquée dans les calculs relatifs à la station de pompage. Parmi les suivantes, nous avons la **correction** qui consiste à tenir compte des pertes de charge dues aux conduites de liaison, pour corriger les pompes ou groupes de pompes de la station.

II CORRECTION DES POMPES DE LA STATION

II-1 Concept de correction d'une pompe

Les conduites de la station de pompage sont relativement courtes. L'étude de la station de pompage doit partir de celle des pompes individuelles. Pour isoler chacune des pompes constituant la station de pompage, nous procéderons de sorte qu'à la fin, il n'y ait plus de 'conduites libres'. Pour ce faire nous devons considérer une partie de chacune des conduites avant et après la pompe comme faisant partie de cette dernière. Les conduites ainsi considérées prennent le nom de 'conduite de correction'. Les caractéristiques (notamment H vs Q) résultantes de la pompe seront appelées 'caractéristiques corrigées'. Et la pompe même sera appelée 'pompe corrigée'.

II-2 Formules et algorithme de la correction

La figure suivante montre une pompe avec ses conduites de correction. La pompe corrigée correspondante est délimitée par les tirets.

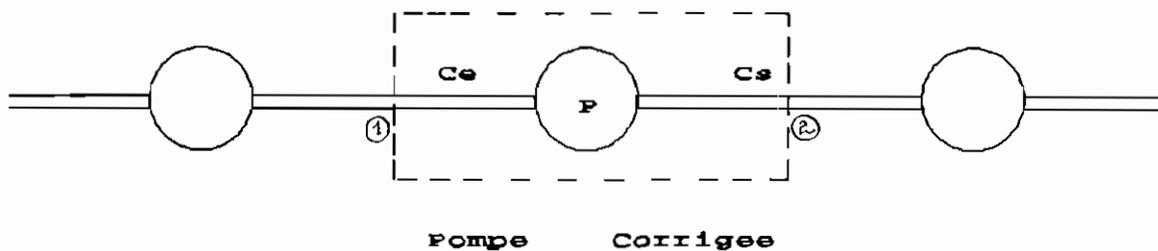


Figure 2-3 Correction d'une pompe

- Ce** = Conduite de correction à l'entrée.
- Cs** = Conduite de correction à la sortie.
- Hp** = Hauteur de charge de la pompe.
- Hfce** = Pertes de charge dans la conduite Ce.
- Hfcs** = Pertes de charge dans la conduite Cs.

* Pour la "pompe non corrigée" nous avons :

- Equation de continuité entre 1 et 2 :

$$Q_1 = Q_p = Q_2 \tag{2-2}$$

- Equation d'énergie de 1 à 2 :

$$E_1 - H_{fce} + H_p - H_{fcs} = E_2 \tag{2-3}$$

* pour la pompe corrigée :

- Equation de cnotinuité entre 1 et 2 :

$$Q_1 = Q_c = Q_2 \tag{2-4}$$

- Equation d'energie de 1 à 2 :

$$E_1 + H_{pc} = E_2 \quad (2-5)$$

A partir de (2-2) et (2-4) nous déduisons :

$$Q_c = Q_p \quad (2-6)$$

A partir de (2-3) et (2-5) nous déduisons :

$$\begin{aligned} H_{pc} &= H_p - (H_{fce} + H_{fcs}) \\ H_{pc} &= H_p - (S_e + S_s) * Q^2 \end{aligned} \quad (2-7)$$

où S_e et S_s représentent les coefficients de pertes de charge pour les conduites (Ce) et (Cs) respectivement.

Les équations (3-6) et (3-7) constituent les formules principales de la correction d'une pompe, dont l'algorithme se résume comme suit:

*** Algorithme de correction d'une pompe :**

- 1 -/ Prendre les caractéristiques non corrigées (Q_p, H_p),
- 2 -/ Pour chaque valeur Q_p , calculer la hauteur de charge corrigée $H_{pc} = H_p - (S_e + S_s) * Q^2$
- 3 -/ Constituer ensuite le tableau des caractéristiques corrigées (Q, H_{pc}).

Remarque : - Dans notre étude, la correction d'une pompe est appliquée à la hauteur de charge qu'elle fournit et

non au débit.

- Les paramètres de fonctionnement de la pompe, telle que la puissance fournie, doivent être calculés après restitution des caractéristiques de la pompe non corrigée.

III POMPE EQUIVALENTE D'UN GROUPE DE POMPES

III-1 Pompes groupées en série.

Une association de (n) pompes en série est schématisée comme suit (leur équivalente est celle délimitée par des tirets) :

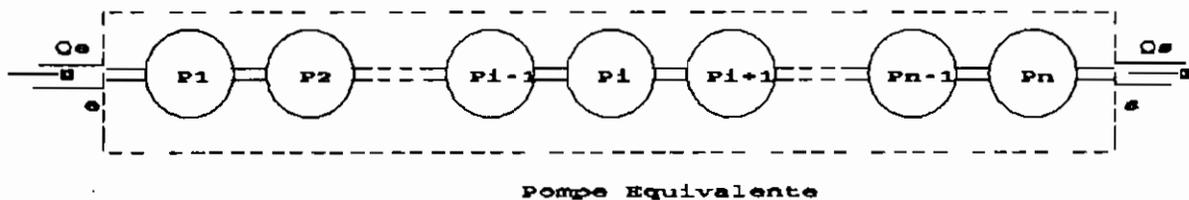


Figure 2-4 (n) pompes associées en série

* Pour l'ensemble des (n) pompes :

- Equation de continuité entre (e) et (s) :

$$Q_e = Q_{p1} = Q_{p2} = \dots = Q_{pi} = \dots = Q_{p(n-1)} = Q_n = Q_s \quad (2-8)$$

- Equation d'énergie de (e) à (s) :

$$H_e + H_{p1} + H_{p1} + \dots + H_{pi} + \dots + H_{p(n-1)} + H_{pn} = H_s \quad (2-9)$$

* Pour la pompe équivalente :

- Equation de continuité:

$$Q_e = Q_{peq} = Q_s \quad (2-10)$$

- Equation d'énergie :

$$H_e + H_{peq} = H_s \quad (2-11)$$

- Les équations (2-11) et (2-13) impliquent :

$$Q_{peq} = Q_{p1} = Q_{p2} = \dots = Q_{pi} = \dots = Q_{p(n-1)} = Q_n \quad (2-12)$$

- Les équations (2-12) et (2-14) impliquent :

$$H_{peq} = H_{p1} + H_{p2} + \dots + H_{pi} + \dots + H_{p(n-1)} + H_{pn} \quad (2-13a)$$

ou bien

$$H_{peq}^n = \sum_{i=1}^n H_{pi} \quad (2-13b)$$

En particulier lorsque les pompes (corrigées) sont identiques et de caractéristiques $[H_o, Q_o]$, les équations (2-12) et (2-13)

deviennent respectivement :

$$Q_{peq} = Q_o \quad (2-14)$$

$$H_{peq} = nH_{po} \quad (2-15)$$

III-2 Pompes groupées en parallèle

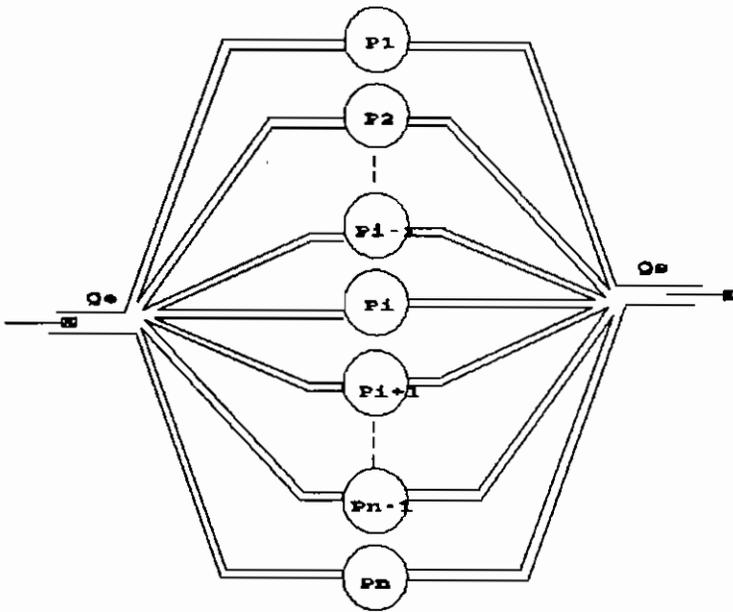


Figure 2-5 : (n) pompes en parallèle

* Pour l'ensemble des (n) pompes :

- Equation de continuité entre (e) et (s) :

$$Q_e = Q_{p1} + Q_{p2} + \dots + Q_{pi} + \dots + Q_{p(n-1)} + Q_n = Q_s \quad (2-16)$$

- Equation d'énergie en passant par une pompe quelconque (i) :

$$H_e + H_{pi} = H_s \quad (\text{avec } i=1, \dots, n) \quad (2-17)$$

* Pour la pompe équivalente :

- Equation de continuité entre (e) et (s) :

$$Q_p = Q_{peq} = Q_s \quad (2-18)$$

- Equation d'énergie entre (e) et (s) :

$$H_e = H_{peq} = H_s \quad (2-19)$$

- Les équations (3-16) et (3-18) impliquent :

$$Q_{peq} + Q_{p1} + Q_{p2} + \dots + Q_{pi} + \dots + Q_{p(n-1)} + Q_n \quad (2-20a)$$

ou bien

$$Q_{peq} = \sum_{i=1}^n Q_{pi} \quad (2-20b)$$

- Les équations (2-20) et (2-22) impliquent :

$$H_{peq} = H_{p1} = H_{p2} = \dots = H_{pi} = \dots = H_{p(n-1)} = H_n \quad (2-21)$$

En particulier lorsque les pompes (corrigées) sont identiques les équations (2-20b) et (2-21) deviennent respectivement :

$$Q_{peq} = nQ_{po} \quad (2-22)$$

$$H_{peq} = H_{po} \quad (2-23)$$

Ainsi les équations (2-12) et (2-13) d'une part, et (2-20) et

(2-21) d'autre part constituent respectivement les formules principales de détermination d'une pompe équivalente des pompes groupées en série ou en parallèle.

Lorsque les plages de performance des pompes ne sont pas les mêmes, il faudra d'abord faire une uniformisation des valeurs communes de Q (pour l'association en série) ou de H (pour l'association en parallèle). C'est ce que nous appelons "Homogénéisation des caractéristiques".

III-3 Homogénéisation des caractéristiques

III-3-1 Principes :

- 1/ Pour une pompe donnée, les fonctions : $H_p = f(Q)$ et $e = g(Q)$ ainsi que leurs inverses, sont toutes nulles en dehors de la plage des performances.
- 2/ Pour (n) pompes en série, la nouvelle plage des performances de chacune d'elle est donnée par :
 $Q_1 < Q < Q_2$ avec $Q_1 = \min\{Q_{\min_i}\}$ et $Q_2 = \max\{Q_{\max_i}\}$.
- 3/ Pour (n) pompes en parallèle, la nouvelle plage des performances de chacune d'elles est donnée par :
 $H_1 < H < H_2$ avec $H_1 = \min\{H_{\min_i}\}$ et $H_2 = \max\{H_{\max_i}\}$.

(Q_{\min_i} est la valeur minimale du débit dans la plage des performances de la pompe (i). La définition est similaire pour H_{\max_i})

III-3-2 Extension des plages de fonctionnement

Après homogénéisation, si la plage des performances d'une pompe n'est pas maintenue, alors elle est nécessairement étendue. Il est donc bon de faire une nouvelle discrétisation de chacune des pompes du groupement et nous aurons intérêt à décider d'un nombre de caractéristiques beaucoup plus élevé dans la nouvelle plage des performances.

III-3-3 Algorithme pour Discrétisation et groupement en série ou en parallèle

(Voir page suivante)

IV CODIFICATION DE LA STATION.

Les diverses étapes dans la procédure de détermination de la pompe équivalente, consistent à identifier les différents groupes de pompes et de décider de l'ordre dans lequel ils doivent être associés pour aboutir finalement à la pompe équivalente.

Pour faire faire ce travail à l'ordinateur, nous avons conçu la méthode de codification suivante, qui doit être respectée pour l'enregistrement des données :

- Commencer en donnant le numéro 1 la station.
- Donner ensuite les numéros 11 , 12 , ... ,1i , ... , 19 à ses composantes principales.
- Pour chacune des composantes (1i), numéroter les composantes par 1i1 , 1i2 , ... , 1ij , ... , 1i9.
- Etc ...

Exemple : Station représentée à la figure 1-9-d

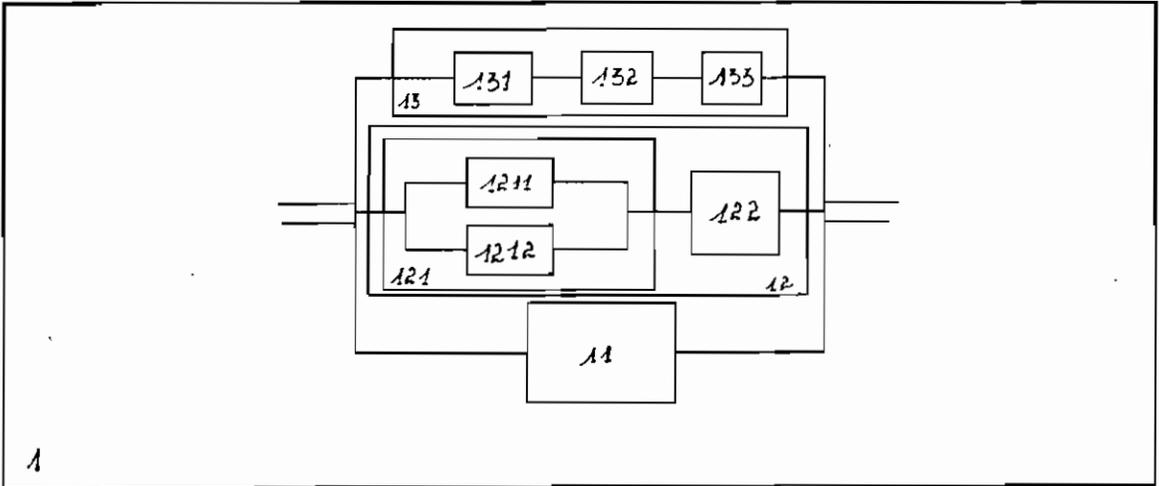


Figure 2-10 : Exemple de codification de la station.

A chacun des numéros ainsi fournis, il faudra faire correspondre, un "code d'association" que nous prenons égal a :

- 1 lorsqu'il y a une seule pompe;
- 2 lorsque les pompes sont groupées en série;
- 3 lorsque les pompes sont groupées en parallèle.

Exemple des 11 numéros de la figure (2-10)

Numéros :	1	11	12	13	121	122	1211	1212	131	132	133
Codes :	3	1	2	2	3	1	1	1	1	1	1

V - ALGORITHME DE LA POMPE EQUIVALENTE

- 1-/ Faire la discrétisation des pompes .
- 2-/ Mettre les numéros et les codes d'associations correspondants dans un tableau à deux dimensions :
T[numéros,codes].
- 3-/ Ranger les éléments du tableau par ordre décroissant des numéros.
- 4-/ Commencer par le premier numéro et faire :
 - 4-1-/ Prendre les composantes du groupe ainsi numéroté;
 - 4-2-/ Corriger les composantes;
 - 4-3-/ Lire le code d'association et faire :
 - pour code = 3 : association en parallèle.
 - pour code = 2 : association en série.
 - 4-4-/ Prendre le numéro suivant.

5-/ répéter l'étape 4 jusqu'au dernier élément du tableau.

VI- CORRECTION D'UNE STATION

Une attention particulière doit être accordée aux conduites intermédiaires de part et d'autre de la station de pompage. Dans le cadre de ce travail, il sera parfois avantageux de les utiliser pour corriger la pompe équivalente.

Chapitre 3 : ETUDE DES CANALISATIONS

Ce chapitre consacré à l'étude des canalisations, contient la plupart des modèles mathématiques utilisés dans la confection des algorithmes.

Contrairement à la station de pompage, nous n'allons pas déterminer une canalisation équivalente pour la zone d'aspiration ou la zone de refoulement. L'étude des canalisations consiste, dans le cadre de notre travail, à établir des équations ou systèmes d'équations pour chacune de ces zones. Les inconnues principales seront les débits, dont la connaissance permettra de calculer les pertes de charge. Ces dernières serviront ensuite à déterminer l'énergie totale du fluide aux points de jonction entre la station et la zone d'aspiration ou la zone de refoulement.

Il est possible qu'une canalisation supporte des points de prélèvement de débit. Pour faire une étude aussi complète que possible, nous partirons du cas général où des prélèvements de débit sont pratiqués sur les canalisations.

I - RAPPELS DES CARACTERISTIQUES D'UNE CANALISATION.

Une canalisation est une association de conduites en série ou en parallèle. Pour une conduite avec écoulement sous pression,

les caractéristiques essentielles (longueur, diamètre, rugosité etc...) sont résumées en un facteur (S). L'expression de ce dernier

découle de celle des pertes de charge totales (linéaires + singulières). Pour les pertes de charge linéaires, nous utilisons la formule de **Darcy Weisbach** :

$$Hf_{\text{line}} = [(8fl)/(\pi^2 gD^5)]Q^2 \quad (3-1)$$

où Hf_{line} = perte de charge linéaire (m)

L, D = respectivement longueur et diamètre en (m)

g = accélération de la pesanteur (m/s²)

Q = débit dans la conduite (m³/s).

En particulier le coefficient de friction (f) dépend de la nature de l'écoulement (turbulent ou laminaire). S'il n'est pas une donnée du problème, nous le calculerons de la façon suivante:

* Au cours des itérations nous calculerons d'abord le **nombre de Reynolds (Re)** à partir de la formule :

$$Re = (4Q)/(\pi Dv)$$

(v) est la viscosité cinématique du fluide (en m²/s).

* Si $Re < 2300$ (cas d'écoulement laminaire) :

$$f = 64/Re$$

* Si $Re \geq 2300$:

$$1/\sqrt{f} = -2 \log[\epsilon/(3.7D) + 2.51/(Re/\sqrt{f})]$$

(formule transcendantale de Colebrook où (ϵ) est la rugosité de la conduite : même unité que D)

Remarque 3_0 : Nous avons utilisé la formule de Colebrook, qui est beaucoup plus générale, pour tenir compte de la zone de transition: (2300 \leq Re $<$ 4000 à 5000) où la nature de l'écoulement est telle que la turbulence s'installe de façon sporadique. La turbulence n'est effective que pour (Re \geq 5000).

Pour les pertes de charge singulières nous avons la formule classique :

$$Hf_{sing} = [(8K)/(\pi^2 gD^4)] Q^2 \quad (3-2)$$

où K = coefficient de singularité.

Pour les pertes de charge totales nous avons :

$$Hf_{tot} = Hf_{lin} + Hf_{sing} = SQ^2$$

d'où

$$S = [8/(\pi^2 gD^4)] (L/D + K) \quad (3-3)$$

Si la canalisation est une association de (n) conduites en série, alors son facteur de résistance à l'écoulement est donné par :

$$S = \sum_{i=1}^n S_i \quad (3-4)$$

Pour des conduites en parallèle, nous avons :

$$S = \left[\sum_{i=1}^n (S_i)^{-1} \right]^{-2} \quad (3-5)$$

Lorsque la canalisation supporte des points de prélèvement de

débit, les expressions précédentes ne sont pas directement applicables, à cause des discontinuités que constituent ces points de prélèvement.

II - LE PRELEVEMENT.

II-1 Conduite avec prélèvement.

Sur une canalisation quelconque, considérons une conduite (i),

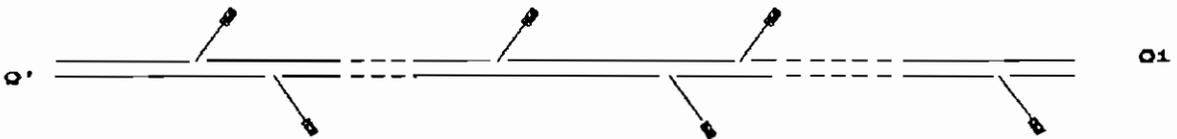


Figure 3-1 : Conduite avec prélèvement.

sur laquelle sont pratiqués (ki) prélèvements distincts. L'ordre d'un prélèvement sera k; et le débit du k° prélèvement sur la conduite (i) sera noté $q_{i,k}$. En outre nous poserons :

Q'_i = débit à l'entrée de la conduite (i).

Q_i = débit à la sortie de la conduite (i).

$S_{i,k}$ = facteur de résistance de la portion.

de (i) entre les prélèvements d'ordre (k) et (k+1).

II-2 Relation entre Q'_i et Q_i : elle découle du principe de continuité le long de la conduite :

$$Q'_i - (q_{i,1} + q_{i,2} + \dots + q_{i,k} + \dots + q_{i,ki}) = Q_i \quad (3-6)$$

ou bien

$$Q_i = Q'_i - \sum_{k=0}^{ki} q_{i,k} \quad (3-7)$$

ou bien

$$Q'_i = Q_i + \sum_{k=0}^{ki} q_{i,k} \quad (3-8)$$

avec la convention que $q_{i,0} = 0$

Remarque 3_1 : En l'absence de prélèvement, les $q_{i,k}$ sont tous nuls, et (3-6) traduirait l'équation de continuité pour une conduite : ($Q'_i = Q_i$).

II-3 Hypothèses simplificatrices

Dans ce qui suit , nous supposerons qu'une conduite supporte au plus un point de prélèvement. Cela se justifie car la conduite de la figure précédente peut être subdivisée en plusieurs tronçons comportant chacun un seul point de prélèvement. Les simplifications qui en résultent sont les suivantes :

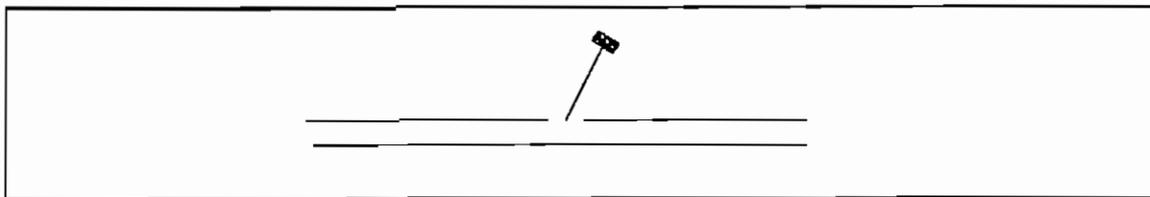


Figure 3-2 : Simplification du prélèvement.

$k_i = 1$ et $q_{i,k} \equiv q_i$. En conséquence, (3-7), et (3-8) deviennent respectivement :

$$Q_i = Q'_i - q_i \quad (3-9)$$

$$Q'_i = Q_i + q_i \quad (3-10)$$

II-4 Expression de la perte de charge pour une conduite avec prélèvement

Pour la conduite (i) soient $s_{i,1}$ et $s_{i,2}$ les facteurs de résistance respectivement pour les tronçons avant et après le prélèvement. La perte de charge pour cette conduite est :

$$Hf_i = s_{i,1}(Q'_i)^2 + s_{i,2}(Q_i)^2 \quad (3-11)$$

Remarque 3_2 : En absence de prélèvement, la figure précédente peut être considérée comme celle d'une association de deux conduites en série, et l'équation (3-10) devient :

$$Hf_i = (s_{i,1} + s_{i,2})Q_i^2 = s_i Q_i^2 \quad (3-12)$$

où s_i est le facteur de résistance de la conduite (numérotée (i)), et Q_i le débit dans cette conduite.

III - CANALISATION LINEAIRE

En tenant compte de notre méthode de détermination du point de

fonctionnement énoncé au début, le but poursuivi dans ce paragraphe est le calcul de l'énergie du fluide aux points de jonction entre la station et la canalisation.

III-1 Variations de débit et expression de perte de charge

Soient Q_e et Q_s les débits respectivement à l'entrée et à la sortie de la canalisation.

III-1-1 Relations entre Q_o et Q_e

Elle découlent du principe de continuité long de la canalisation.

$$Q_s = Q_e - \sum_{i=1}^n q_i \quad (3-13)$$

$$Q_e = Q_s + \sum_{i=1}^n q_i \quad (3-14)$$

III-1-2 Expression de la perte de charge totale

La canalisation linéaire est une association de (n) conduites en série. Si Hf_i est la perte de charge dans la conduite (i), alors, pour la canalisation toute entière nous avons :

$$Hf = \sum_{i=1}^n Hf_i \quad (3-15)$$

En tenant compte de l'expression de Hf_i dans l'équation

(3-11), l'équation (3-15) devient :

$$H_f = \sum_{i=1}^n [s_{i,1}(Q'_i)^2 + s_{i,2}(Q_i)^2] \quad (3-16)$$

L'objectif étant le calcul de l'énergie au point de jonction entre la canalisation et la station, nous aurons intérêt à exprimer H_f en fonction de Q_s pour la zone d'aspiration et en fonction de Q_e pour la zone de refoulement.

III-1-2-1 Zone d'aspiration (canalisation avec prélèvement) :

En remplaçant Q'_i (équation 3-10) par son expression dans l'équation (3-16) nous obtenons :

$$H_f = \sum_{i=1}^n [s_{i,1}(Q_i + q_i)^2 + s_{i,2}(Q_i)^2] \quad (3-17)$$

Q_i étant le débit à la sortie de la conduite numéro (i), et $Q_s = Q_n$: le débit à la sortie de la canalisation, nous pouvons écrire :

$$Q_i = Q_s + \sum_{k=i+1}^n q_k \quad (3-18)$$

Posons :

$$QP_i = \sum_{k=i+1}^n q_k \quad (3-19)$$

et

$$QPP_i = \sum_{k=i}^n q_k \quad (3-20)$$

QP_i est la somme de tous les prélèvements depuis la sortie de la conduite (i) jusqu'à la station; et QPP_i est la somme de tous les prélèvements depuis l'entrée de la conduite (i) jusqu'à la station. En combinant les équations (3-17) à (3-20), nous obtenons l'expression suivante pour la perte de charge totale d'une canalisation d'aspiration :

$$Hf = \sum_{i=1}^n [s_{i,1}(Q_s + QPP_i)^2 + s_{i,2}(Q_s + QP_i)^2] \quad (3-21)$$

III-1-2-2 Zone de refoulement (canalisation avec prélèvement):

En remplaçant Q_i (équation 3-9) par son expression dans l'équation (3-16) nous obtenons :

$$Hf = \sum_{i=1}^n [s_{i,1}(Q'_i)^2 + s_{i,2}(Q_i - q_i)^2] \quad (3-22)$$

Q'_i étant le débit à l'entrée de la conduite numéro (i), et $Q_e = Q_1$: le débit à l'entrée de la canalisation, nous pouvons écrire :

$$Q'_i = Q_e - \sum_{k=1}^{i-1} q_k \quad (3-23)$$

Posons :

$$QP'_i = \sum_{k=1}^{i-1} q_k \quad (3-24)$$

et

$$QPP'_i = \sum_{k=1}^i q_k \quad (3-25)$$

QP'_i est la somme de tous les prélèvements depuis la station jusqu'à l'entrée de la conduite (i); et QPP'_i est la somme de tous les prélèvements depuis la station jusqu'à la sortie de la conduite (i). En combinant les équations (3-22) à (3-25), nous obtenons l'expression suivante pour la perte de charge totale d'une canalisation de refoulement :

$$H_f = \sum_{i=1}^n [s_{i,1}(Q_e - QP'_i)^2 + s_{i,2}(Q_e - QPP'_i)^2] \quad (3-26)$$

III-1-2-3 Cas particulier (Canalisation sans prélèvement):

S'il n'y a aucun prélèvement sur la canalisation, alors nous avons successivement pour $i=1, \dots, n$: $q_i = 0$; $QP_i = 0$; $QP'_i = 0$; $QPP_i = 0$; $QPP'_i = 0$. Les équations (3-13) et (3-14) deviennent

$$Q_e = Q_s = Q \quad (3-27)$$

où Q désigne le débit dans la canalisation d'aspiration ou de refoulement. Les équations (3-18), (3-23) et (3-27) impliquent

$$Q_i = Q'_i = Q \quad (3-28)$$

En tenant compte de (3-27), et en développant (3-28) pour $i = 1, \dots, n$ nous obtenons l'équation de continuité le long de la canalisation :

$$Q_e = Q_1 = \dots = Q_i = \dots = Q_n = Q_s = Q \quad (3-29)$$

Par ailleurs les équations (3-21) et (3-26) deviennent :

$$H_f = \sum_{i=1}^n S_i Q^2 \quad (3-30)$$

qui peut s'écrire sous la forme :

$$H_f = S Q^2 \quad (3-31)$$

avec

$$S = \sum_{i=1}^n S_i \quad (3-32)$$

L'équation (3-32) donne l'expression du coefficient de résistance pour une canalisation composée de (n) conduites sans prélèvement.

L'établissement préalable des diverses expressions des pertes de charge nous permet de disposer des termes à utiliser dans les équations de continuité et d'énergie, bases du calcul de l'énergie totale du fluide aux points de jonction entre la station et les

canalisations.

III-2 Calcul de l'énergie aux points jonctions

Dans la suite nous utiliserons les notations suivantes :

E_e = Energie du fluide à la jonction "aspiration-station".

E_s = Energie du fluide à la jonction "station-refoulement".

a = Les trois termes de Bernouilli point d'aspiration.

r = Les trois termes de Bernouilli au point de refoulement.

Q_p = Débit fourni par la station.

III-2-1 Jonction entre l'aspiration et la station

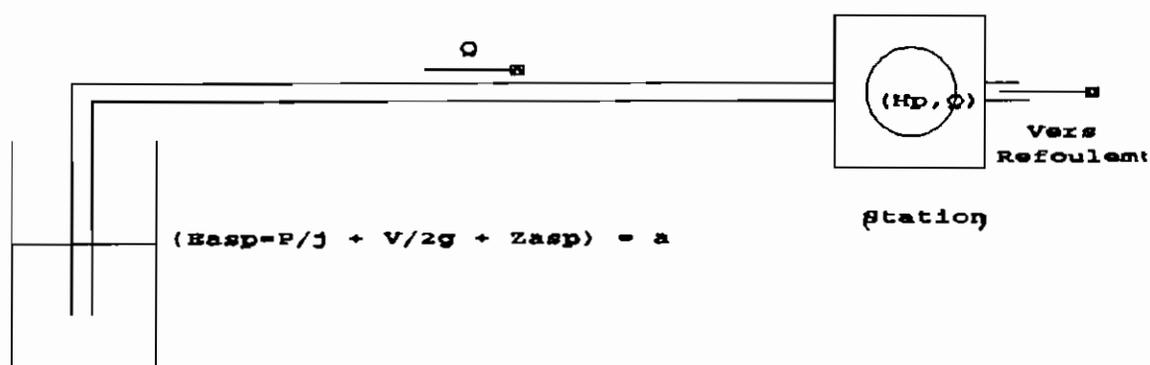


Figure 3-3 Canalisation linéaire (zone d'aspiration)

L'équation de continuité :

$$Q = Q_p \quad (3-33)$$

L'équation d'énergie entre l'aspiration et la jonction :

$$a - H_f = E_e \quad (3-34)$$

Ainsi donc lorsque la zone d'aspiration ne comporte qu'une seule

canalisation linéaire, nous avons :

_ Avec prélèvement : (confère équation (3-21))

$$E_e = a - Hf = a - \sum_{i=1}^n [S_{i,1}(\Omega_s + QPP_i)^2 + S_{i,2}(\Omega_s + QP_i)^2] \quad (3-35)$$

- Sans prélèvement : (confère équation (3-31))

$$E_e = a - Hf = a - SQ^2 \quad (3-36)$$

III-2-2 Jonction entre la station et le refoulement

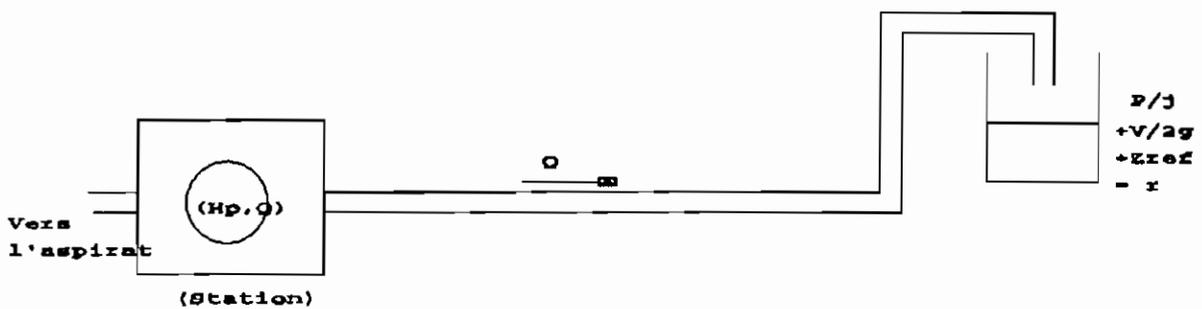


Figure 3-4 : Canalisation linéaire (zone de refoulement)

L'équation de continuité :

$$Q = Q_p \quad (3-37)$$

L'équation d'énergie entre la jonction et le refoulement :

$$E_s - Hf = r \quad (3-38)$$

Lorsque la zone de refoulement ne comporte qu'une seule

canalisation linéaire, nous avons :

_ Avec prélèvement : (confère équation (3-26))

$$E_s = r + Hf = r + \sum_{i=1}^n [s_{i,1}(Q_p - QP'_i)^2 + s_{i,2}(Q_p - QPP'_i)^2] \quad (3-39)$$

- Sans prélèvement : (confère équation (3-31))

$$E_s = r + Hf = r + SQ^2 \quad (3-40)$$

Remarques 3-3 : Lorsque'il y aura plusieurs canalisations, nous les numéroterons (1, ..., j, ..., n). De plus nous désignerons par Q_j le débit dans une canalisation (j) nous préciserons à quel point de cette canalisation ce débit est considéré. Hf_j désignera enfin la perte de charge dans la canalisation (j).

Ces remarques nous permettent d'aborder l'étude des zones d'aspiration ou de refoulement constituées d'une association de plusieurs canalisations.

IV ETUDE DES CANALISATIONS EN PARALLELE

IV - 1 Zone d'aspiration

Chacune des branches en parallèle est une canalisation linéaire. Q_p désigne le débit à l'entrée de la station. Q_j ($j=1, \dots, n$) désigne le débit à la sortie de la canalisation (j).

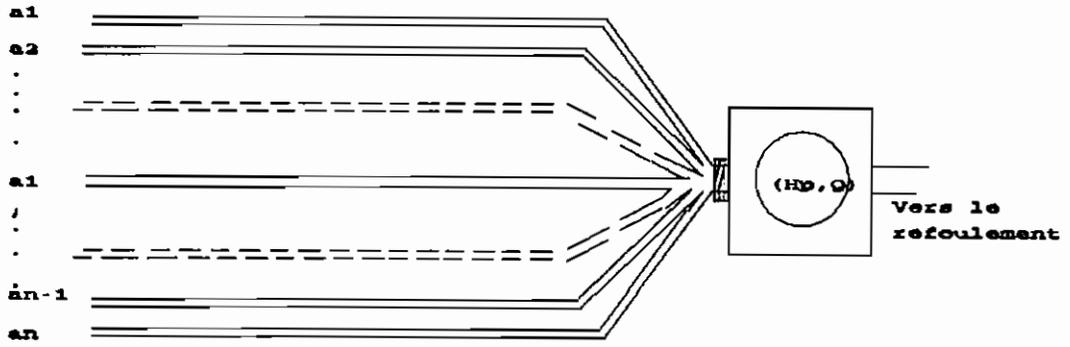


Figure 3-5 Canalisations en parallèle (zone d'aspiration)

Modèle mathématique:

- L'équation de continuité :

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_j + \dots + Q_{(n-1)} + Q_n = Q_p \quad (3-41)$$

- Equation d'énergie : en passant par la branche numérotée :

$$\begin{aligned} 1 & : a_1 - Hf_1 & = E_e & (3-42_1) \\ 2 & : a_2 - Hf_2 & = E_e & (3-42_2) \\ \vdots & & & \\ j & : a_j - Hf_j & = E_e & (3-42_j) \\ \vdots & & & \\ (n-1) & : a_{(n-1)} - Hf_{(n-1)} & = E_e & (3-42_{n-1}) \\ n & : a_n - Hf_n & = E_e & (3-42_n) \end{aligned}$$

Remarques 3-4: Les équations (3-42) constituent un système de (n) équations à (n+1) inconnues : les débits Q_j contenus respectivement dans les termes Hf_j , et l'énergie E_e qui est notre objectif de calcul. Pour y arriver, le débit de la station Q_p étant

un paramètre maîtrisable (confère détermination du tableau des caractéristiques (H,Q) de la pompe équivalente à la station : Chapitre 2), nous pouvons combiner les équations (4-42), à l'équation (3-41) et obtenir un système de (n+1), équations et (n+1), inconnues.

Cependant, pour obtenir une bonne précision et gagner du temps dans la résolution du système d'équation, nous allons **diminuer sa taille de 1** par l'élimination d'une inconnue facilement calculable à partir des autres. L'inconnue E_e , répond bien à ces

conditions, et la réduction donne le système suivant:

$$\begin{aligned}
 1 & : (a_1 - a_2) - (Hf_1 - Hf_2) & = 0 & \quad (3-43_1) \\
 2 & : (a_2 - a_3) - (Hf_2 - Hf_3) & = 0 & \quad (3-43_2) \\
 & \vdots & & \\
 j & : (a_j - a_{j+1}) - (Hf_j - Hf_{j+1}) & = 0 & \quad (3-43_j) \\
 & \vdots & & \\
 (n-1) & : (a_{n-1} - a_n) - (Hf_{n-1} - Hf_n) & = 0 & \quad (3-43_n-1) \\
 n & : Q_1 + Q_2 + \dots + Q_j + \dots + Q_n - Q_p & = 0 & \quad (3-43_n)
 \end{aligned}$$

Explicitons l'équation d'ordre (j) : (j=1,...,n-1) :

$$\begin{aligned}
 (a_j - a_{j+1}) - (\sum_{i=1}^n [S_{i,1}(Q_j + Q_{PP_i})^2 + S_{i,2}(Q_j + Q_{P_i})^2] - \\
 \sum_{i=1}^n [S_{i,1}(Q_{j+1} + Q_{PP_i})^2 + S_{i,2}(Q_{j+1} + Q_{P_i})^2]) = 0 \quad (3-44)
 \end{aligned}$$

En particulier lorsqu'il n'y a pas de prélèvement, cette équation devient :

$$(a_j - a_{j+1}) - (S_j Q_j^2 - S_{j+1} Q_{j+1}^2) = 0 \quad (3-45)$$

Donc, dans tous les cas, il s'agit de résoudre un système d'équations non linéaires d'inconnues Q_j . Parmi les méthodes de résolution disponibles dans la littérature, nous avons choisi celle dite de **NEWTON-RAPHSON**, (voir annexe).

Algorithme de calcul de E_e

L'algorithme de calcul de E_e se résume finalement en deux étapes:

- 1_ Résoudre le système d'équation pour obtenir Q_j .
- 2_ Prendre une des valeurs Q_j et utiliser l'équation (3-42_j) pour calculer E_e .

IV-2 Zone de refoulement.

Ici Q_p désigne aussi le débit à la sortie de la station. Mais Q_j

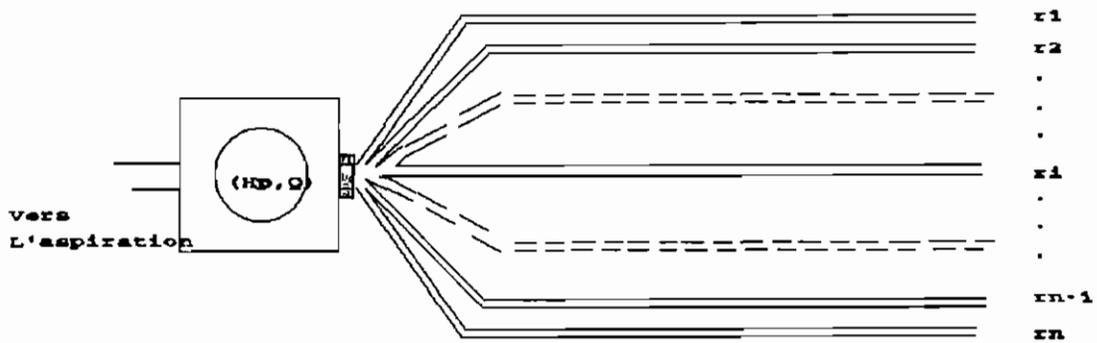


Figure 4-6 Canalisations en parallèle (zone de refoulement)

désigne le débit à l'entrée de la canalisation (j)

Modèle mathématique:

- L'équation de continuité :

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_j + \dots + Q_{(n-1)} + Q_n = Q_p \quad (3-46)$$

- Equations d'énergie : en passant par la branche numérotée :

$$1 : r_1 + Hf_1 = E_s \quad (3-47_1)$$

$$2 : r_2 + Hf_2 = E_s \quad (3-47_2)$$

.

.

$$j : r_j + Hf_j = E_s \quad (3-47_j)$$

.

$$(n-1) : r_{(n-1)} + Hf_{(n-1)} = E_s \quad (3-47_{n-1})$$

$$n : r_n + Hf_n = E_s \quad (3-47_n)$$

Le même raisonnement aboutit au système d'équations non linéaires suivant :

$$1 : (r_1 - r_2) + (Hf_1 - Hf_2) = 0 \quad (3-48_1)$$

$$2 : (r_2 - r_3) + (Hf_2 - Hf_3) = 0 \quad (3-48_2)$$

.

.

$$j : (r_j - r_{j+1}) + (Hf_j - Hf_{j+1}) = 0 \quad (3-48_j)$$

.

$$(n-1) : (r_{n-1} - r_n) + (Hf_{n-1} - Hf_n) = 0 \quad (3-48_{n-1})$$

$$n : Q_1 + Q_2 + \dots + Q_j + \dots + Q_n - Q_p = 0 \quad (3-48_n)$$

Expression de l'équation d'ordre (j) : (j=1,...,n-1) :

$$(r_j - r_{j+1}) + (\sum_{i=1}^n [S_{i,1}(Q_j - QP'_i)^2 + S_{i,2}(Q_j - QPP'_i)^2]) - \sum_{i=1}^n [S_{i,1}(Q_{j+1} - QP'_i)^2 + S_{i,2}(Q_{j+1} - QPP'_i)^2] = 0 \quad (3-49)$$

En particulier lorsqu'il n'y a pas de prélèvement, cette équation devient :

$$(r_j - r_{j+1}) + (s_j Q_j^2 - s_{j+1} Q_{j+1}^2) = 0 \quad (3-50)$$

Algorithme de calcul de E_s

L'algorithme de calcul de E_s se résume aussi finalement en deux étapes:

- 1_ Résoudre le système d'équations (3-48) pour obtenir Q_j .
- 2_ Prendre une des valeurs Q_j et utiliser l'équation (3-47_j) pour calculer E_s .

Remarque 3-5 : Pour la zone d'aspiration, les canalisations en parallèle aboutissent directement à la station, ou à autre canalisation qui a pu être utilisée pour corriger la station. Nous appellerons cette dernière canalisation : "**Canalisation principale**". Lorsqu'elle n'a pu être utilisée pour corriger la station, elle doit être considérée comme une **canalisation ramifiée**, mais avec un seul point de ramification. De façon similaire, il peut exister, dans la zone de refoulement, une canalisation principale pouvant être ramifiée.

V - ETUDE DES CANALISATIONS RAMIFIEES

Une étude générale des canalisations ramifiées est présentée en annexe. Cela conduit à des systèmes d'équations de taille

relativement grande. Nous nous sommes limitées dans notre programmation, pour chacune des zones d'aspiration et de refoulement, aux cas des figures présentées ci-après.

V-1 Zone d'aspiration

Les résultats établis en (IV-1-1) seront exploités ici pour calculer l'énergie totale E_r au point de ramification. Cette dernière sera ensuite utilisée pour atteindre l'objectif qu'est le calcul de E_e .

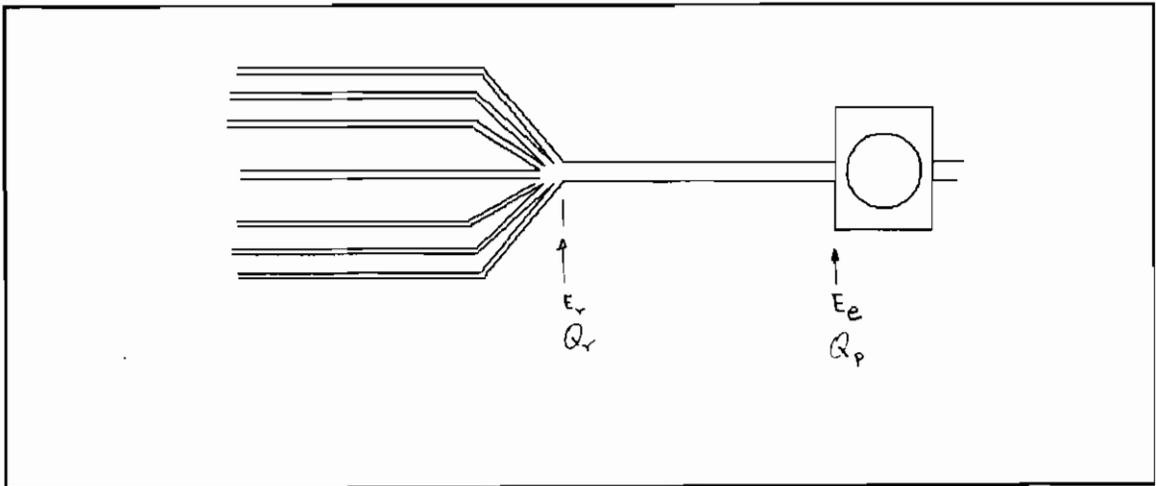


Figure 3 - 7 : Canalisations ramifiées (zone d'aspiration)

modèle Mathématique :

* Soit Q_r le débit au point de ramification. Nous avons :

$$Q_r = Q_p + \sum_{i=1}^{np} Q_i \tag{3-51}$$

* En considérant l'écoulement du fluide entre les points d'aspiration et le point de ramification, nous obtenons (comme en IV-1-1), le système d'équations non linéaires suivant (similaire au système (3-42)) :

$$\begin{aligned}
 1 & : (a_1 - a_2) - (Hf_1 - Hf_2) & = 0 & \quad (3-52_1) \\
 2 & : (a_2 - a_3) - (Hf_2 - Hf_3) & = 0 & \quad (3-52_2) \\
 & \vdots & & \\
 j & : (a_j - a_{j+1}) - (Hf_j - Hf_{j+1}) & = 0 & \quad (3-52_j) \\
 & \vdots & & \\
 (n-1) & : (a_{n-1} - a_n) - (Hf_{n-1} - Hf_n) & = 0 & \quad (3-52_{n-1}) \\
 n & : Q_1 + Q_2 + \dots + Q_j + \dots + Q_n - Q_r & = 0 & \quad (3-52_n)
 \end{aligned}$$

Algorithme de calcul de E_s :

Il se résume en cinq étapes :

- 1_ Utiliser (3-51) pour calculer Q_r à partir de Q_p
- 2_ Résoudre le système (3-52) obtenir les débits Q_j des branches de la ramification.
- 3_ Utiliser une des équations (3-42 où E_r remplace E_e) pour calculer E_r .
- 4_ Calculer la perte de charge Hf dans la branche principale.
- 5_ Calculer E_e par la relation :

$$E_e = E_r - Hf$$

(qui découle de l'équation d'énergie appliquée entre le point de ramification et la jonction "canalisation-station")

V-2 Zone de refoulement

Nous utiliserons la même procédure en exploitant les résultats établis en (IV-2-1) pour calculer finalement E_s .

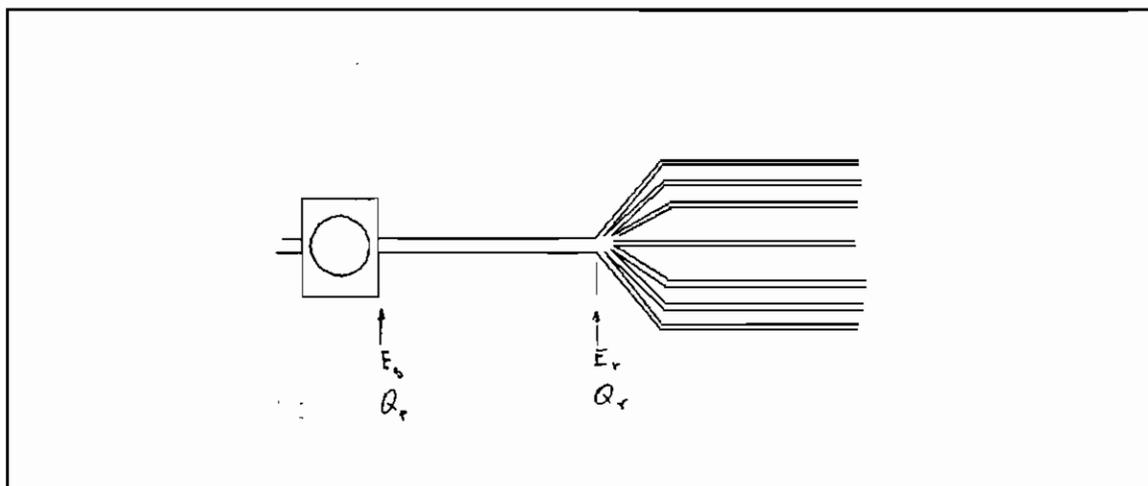


Figure 3 - 8 : Canalisations ramifiées (zone de refoulement)

Modèle Mathématique :

$$Q_r = Q_p - \sum_{i=1}^{np} Q_i \quad (3-53)$$

* En considérant l'écoulement du fluide entre le point de ramification, et les points de refoulement nous obtenons (comme en IV-2-1), un système d'équations non linéaire identique au système (3-48) à la seule différence que Q_r remplace Q_p . Il en résulte l'algorithme suivant pour le calcul de E_s :

Algorithme de calcul de E_s :

Il se résume aussi en cinq étapes :

1_ Utiliser (3-53) pour calculer Q_r à partir de Q_p

- 2_ Résoudre le système d'équations (3-48) (ne pas oublier de remplacer d'abord Q_p par Q_r dans le système) pour obtenir les débits Q_j dans les branches de la ramification.
- 3_ Utiliser une des équations (3-47 où E_r remplace E_s) pour calculer E_r .
- 4_ Calculer la perte de charge H_f dans la branche principale (voir équation 3-26).
- 5_ Calculer E_s par la relation :

$$E_s = E_r + H_f$$

(qui découle de l'équation d'énergie appliquée entre le point de jonction entre la sation et la canalisation et le point de ramification)

VI CODIFICATION DES CANALISATIONS

La codification des canalisations se fait en supposant le sens d'écoulement 'aspiration vers refoulement'.

VI-1 Modèle et numérotation d'une conduite

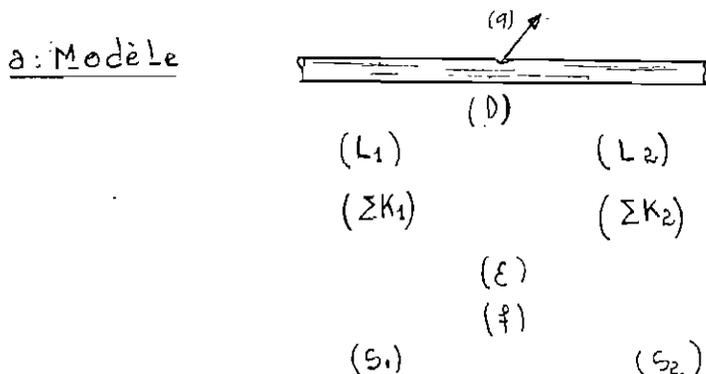


Figure 3-9 : Modèle d'une conduite

(D) = Diamètre;

(L1) = Longueur avant prélèvement;

(L2) = Longueur après prélèvement;

($\Sigma K1$) = Somme des singularités avant prélèvement;

($\Sigma K2$) = Somme des singularités après prélèvement;

(ϵ) = hauteur des aspérités;

(f) = Coefficient de frottement;

(S1) et (S2) sont les termes calculés dans l'équation (3-3) pour chacun des tronçons avant et après refoulement;

(q) est le débit de prélèvement.

B Numérotation

Les conduites composant une canalisation sont numérotées en ordre (1, 2, 3, ...) de l'amont vers l'aval.

Exemple:

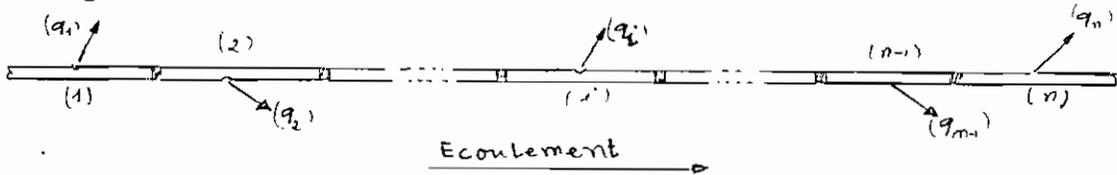


Figure 3-10 : Numérotation des conduites d'une canalisation

VI-2 Codes des canalisations

Ce codage est indépendant de celui des conduites composantes

- Lorsque la zone est linéaire, la seule canalisation doit qu'il y a doit avoir le numéro zéro (0).

Exemple:

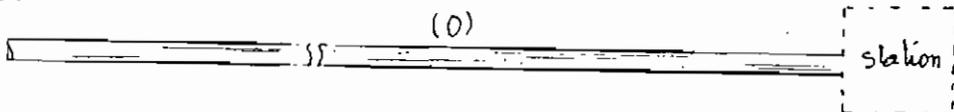


Figure 3-11 : Exemple de numérotation d'une canalisation

- Si la zone est un ensemble de canalisations en parallèle, il faut les numérotéer par 1, 2, 3, ... comme le montre les exemples suivants:

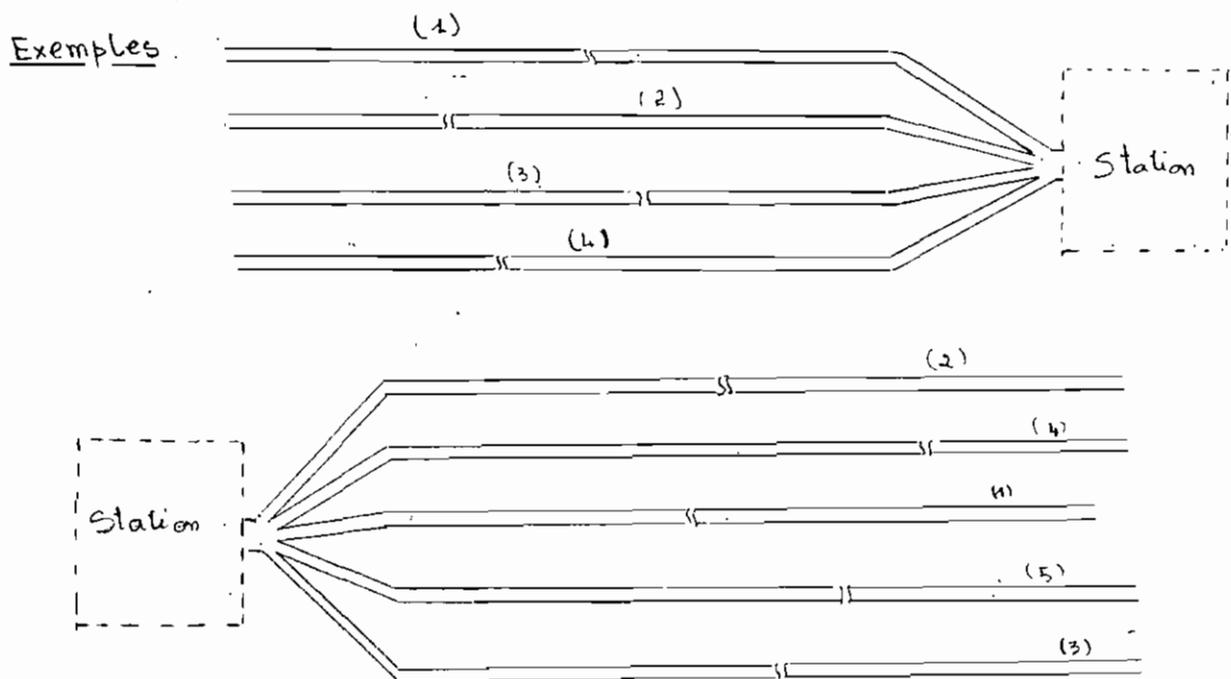


Figure 3-12 : Exemple de numérotation des canalisations en parallèle

(On peut ne pas respecter l'ordre)-

- S'il s'agit d'une zone ramifiée la canalisation principale doit avoir le numéro (0) et les branches ramifiées doivent être numérotées comme des branches en parallèle.

Exemple:

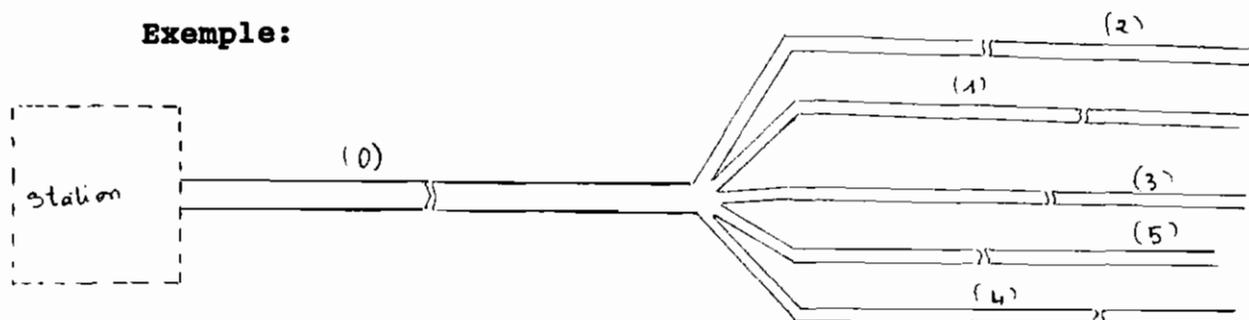


Figure 3-13 : Exemple de numérotation des canalisations d'une zone ramifiée

DEUXIEME PARTIE :
ALGORITHME PRINCIPAL ET EXEMPLES TRAITES

Chapitre4 : DETERMINATION DU POINT D'EQUILIBRE
ET CALCUL DES PARAMETRES

Ce chapitre contient l'algorithme principal du programme réalisé, ainsi que la liste de quelques paramètres dont la connaissance, pour un système en équilibre, est utile.

Dans la première partie, nous avons conçu un algorithme permettant de trouver par ses performances (Q,H) , une pompe équivalente représentant toute la station de pompage. Pour chaque débit (Q) , l'augmentation d'énergie (H) apportée au fluide par la station de pompage peut être alors connue. Nous avons aussi conçu des algorithmes permettant de calculer pour chaque débit (Q) , la variation d'énergie (ΔE) entre l'entrée et la sortie de la station. Ce calcul ne tient compte que de l'écoulement du fluide dans les canalisations. L'objectif de ce chapitre est de tenir compte de l'écoulement du fluide le long de tout le système, afin de pouvoir déterminer son point d'équilibre et calculer quelques paramètres.

I ALGORITHME DU POINT DE FONCTIONNEMENT

I-1 Principe

Nous supposons qu'à partir des algorithmes partiels, le tableau des performances (Q,H) de la pompe équivalente est déjà établi. Nous supposons de même que les termes (E_e) et (E_s) sont déjà connus en fonction du débit (Q) .

Avec l'hypothèse des fuites négligeables au niveau de la station, l'équilibre du système est atteint lorsque l'équation d'énergie est vérifiée:

$$\hat{\Delta}E = E_s - E_e = H \quad (4-1)$$

Le tableau des performances (Q,H) disponible ne contient qu'un nombre limité de points de la plage des performances. L'équation (4-1) peut ne pas être rigoureusement satisfaite en ces points. Le problème revient alors à rechercher dans la plage des performances, le point (Q_0, H_0) pour lequel l'égalité suivante déduite de (4-1) soit satisfaite moyennant une certaine marge d'erreur.

$$|\hat{\Delta}E - H| = 0 \quad (4-2)$$

Pour y arriver nous procéderons par étapes, en recherchant d'abord une première approximation de ce point.

I- 2 Enoncé

A) Première approximation

A-1) Prendre l'ensemble des points (Q,H) , disponibles et les ranger par ordre (ordre croissant du débit). Ce qui donne un tableau $[Q_i, H_i]$ dont les lignes sont les couples suivants:

$$(Q_1, H_1), (Q_2, H_2), \dots, (Q_{i-1}, H_{i-1}), (Q_i, H_i), \\ (Q_{i+1}, H_{i+1}), \dots, (Q_{n-1}, H_{n-1}), (Q_n, H_n).$$

A-2) Pour chaque point (Q_i, H_i) , calculer :

1° E_e et E_s à partir de Q_i

$$2° \Delta E_i = E_s - E_e \quad (4-3)$$

$$3° \delta_i = |H_i - \Delta E_i| \quad (4-4)$$

et former un nouveau tableau $[Q_i, H_i, \delta_i]$

A-3) Sur l'ensemble des triplets (Q_i, H_i, δ_i) , chercher celui dont le terme δ est le plus petit et retenir son indice (j)

Le point $(Q_j, H_j) = (Q_j, H_j)^1$ donne la première approximation du point de fonctionnement (de la station).

B) Approximations successives par dichotomie

B-1) Retenir les points $(Q_{j-1}, H_{j-1})^{k-1}$, $(Q_j, H_j)^{k-1}$ et $(Q_{j+1}, H_{j+1})^{k-1}$ provenant de l'itération précédente: ($k-1$)

B-2) Construire un nouveau tableau $[Q_i, H_i]^k$ en prenant soin d'y insérer le point $(Q_j, H_j)^{k-1}$: pour cela:

$$\text{B-2-1) Prendre } (Q_1, H_1)^k = (Q_{j-1}, H_{j-1})^{k-1}$$

$$\text{et } (Q_{n-1}, H_{n-1})^k = (Q_{j+1}, H_{j+1})^{k-1}$$

B-2-2) Calculer un Pas suivant Q :

$$\text{Pas} = (Q_{n-1} - Q_1) / (n-2) \quad (4-5)$$

B-2-3) *Calculer successivement:

$Q_2, Q_3, \dots, Q_i, \dots, Q_{n-3}, Q_{n-2}$ avec la relation:

$$Q_i = Q_1 + (i-1) \times P_{\text{as}}$$

***Calculer successivement:**

$H_2, H_3, \dots, H_i, \dots, H_{n-3}, H_{n-2}$ avec la relation:

$$H_i = [(Q_i - Q_1) / (Q_{n-1} - Q_1)] \times (H_{n-1} - H_1) + H_1 \quad (4-6)$$

A la fin de cette étape, nous obtenons un tableau à (n-1) éléments rangés dans l'ordre croissant de Q. Ses lignes successives sont:

$$(Q_{j-1}, H_{j-1})^{k-1} = (Q_1, H_1)^k, (Q_2, H_2)^k, \dots, (Q_i, H_i)^k, \dots \\ \dots, (Q_{n-1}, H_{n-1})^k = (Q_{j+1}, H_{j+1})^{k-1}$$

B-2-4) *Insérer $(Q_j, H_j)^{k-1}$ dans les (n-1) points obtenus en (B-2-3). Pour cela:

****** Parmi les (n-1) points déjà rangés par ordre croissant des Q_i , rechercher le premier dont le terme Q_i est supérieur ou égal Q_j . Retenir son indice (i).

****** Décaler les indices d'une unité à partir de (i) et mettre le point $(Q_j, H_j)^{k-1}$ à la place de $(Q_i, H_i)^k$.

A la fin de cette étape, nous obtenons un tableau à (n) éléments rangés dans l'ordre croissant des (Q_i)

$$(Q_1, H_1)^k, (Q_2, H_2)^k, \dots, (Q_j, H_j)^{k-1}, \dots$$

$$\dots, (Q_{n-1}, H_{n-1})^k, (Q_n, H_n)^k$$

B-3) Trouver une nouvelle approximation du point de fonctionnement. Pour cela, considérer le tableau obtenu à l'étape (B-2-4) comme ensemble des points disponibles et appliquer lui les étapes (A-2) et (A-3)

B-4) Calculer la quantité (Test) définie par:

$$\text{Test} = |Q^k - Q^{k-1}| \quad (4-7)$$

B-5) Répéter les étapes (B-1) , (B-2) , (B-3) , (B-4) jusqu'à obtenir $\text{Test} < \text{Précision}$ où (Précision) est la marge d'erreur admise pour le débit.

Remarque 5-1 L'insertion de l'ancien point (étape B-2-4) est importante pour la raison suivante:

Le (Pas) de la discrétisation effectuée à l'étape (B-2-3) peut être tel que l'ancien point soit sauté, alors qu'il (l'ancien point) peut représenter une approximation meilleure que tous les points obtenus par cette discrétisation.

Remarque 5-2 S'il arrive qu'une approximation $(Q_j, H_j)^{k-1}$ du point de fonctionnement soit le premier élément du tableau c'est à dire $(Q_j, H_j)^{k-1} = (Q_1, H_1)^{k-1}$ alors à l'étape (B-2-1), prendre:

$$(Q_1, H_1)^k = (Q_j, H_j)^{k-1} \text{ (et non } (Q_{j-1}, H_{j-1})^{k-1}\text{)}$$

Remarque 5-3 S'il arrive qu'une approximation $(Q_j, H_j)^{k-1}$ du point de fonctionnement soit le dernier élément du tableau c'est à dire $(Q_j, H_j)^{k-1} = (Q_n, H_n)^{k-1}$ alors à l'étape (B-2-1), prendre:

$$(Q_{n-1}, H_{n-1})^k = (Q_j, H_j)^{k-1} \text{ (et non } (Q_{j+1}, H_{j+1})^{k-1}\text{)}$$

II CALCUL DES PARAMETRES

Nous proposons dans ce paragraphe, quelques paramètres du système à connaître lorsque l'équilibre est atteint.

II-1 Paramètres des canalisations

- la hauteur piézométrique en amont;
- la perte de charge totale;
- la hauteur piézométrique en aval;

Afin d'avoir une idée de la variation du niveau de charge piézométrique le long de la canalisation, il faut calculer pour chacune de ses conduites composantes, les trois paramètres précédemment cités.

En outre, l'importance d'une canalisation dans le transport du fluide serait mesurée si l'on calcule pour la canalisation toute entière:

- le débit en amont;
- la somme des prélèvements;
- le débit en aval.

Par ailleurs, le calcul de ces trois paramètres pour chacune des conduites indiquera une certaine répartition du fluide transporté, tout au long de la canalisation.

II-2 Paramètres de la station

II-2-1 Conditions de fonctionnement

Les causes de mauvais fonctionnement abordées dans notre étude sont les suivantes:

- risque de cavitation
- inadéquation d'une pompe par l'étendue de sa plage de performance.

II-2-1-1 Risques de cavitation

Pour éviter la cavitation, il faut que la charge nette absolue disponible ($NPSH_{dispo}$) soit supérieure à la charge nette absolue requise ($NPSH_{requis}$) à l'entrée de la pompe.

II-2-1-2 Vérification des pompes

Le fonctionnement d'une pompe est correct lorsque le débit et la hauteur de charge qu'elle fournit constituent un point de sa plage de performance. Autrement, la pompe agit comme une

singularité et contribue à une perte de charge au niveau de la station. La vérification d'une pompe consiste, pour nous, à identifier les pompes se trouvant dans ce cas.

En fonction du point de fonctionnement de la station, il faudra tenir compte des divers modes de groupement de pompes constitutives ainsi que du système de conduites (de correction) pour déterminer le point de fonctionnement de chaque pompe.

II-2-2 Puissance absorbée

Il est important de faire une évaluation économique du pompage effectué. Pour cela la connaissance de la puissance absorbée par chaque pompe de la station est nécessaire:

$$P_{abs} = \rho QH/e$$

avec :

P_{abs} = Puissance absorbée

(Q,H) = Point de fonctionnement

e = Rendement de la pompe au point de fonctionnement
 (Q,H)

La somme des puissances absorbées par toutes les pompes de la station, donnera une idée de la dépense énergétique nécessaire par unité de temps de pompage.

CHAPITRE 5 : DESCRIPTION DU PROGRAMME ET
EXEMPLES TRAITES

I DESCRIPTION DU PROGRAMME

Le Programme **EPT POMPE** réalisé en **turbo pascal** (Version 5.0) comprend trois modules principaux.

Le premier module consiste en des chiffriers et renferme l'ensemble des routines nécessaires à l'enregistrement et la structuration des données .

Les procédures constituant le deuxième module permettent de déterminer la pompe équivalente de la station et son point de fonctionnement .

Ce dernier résultat est retourné au troisième module dont les routines consistent à calculer et présenter les différents paramètres relatifs aux canalisations.

II ENREGISTREMENT DES DONNEES

L'enregistrement des données est géré par le module 1 : (**SBF1**). Mais Il y a d'abord les constantes générales dont l'enregistrement est fait par une routine incorporée au programme principal.

II-1 Constantes générales

L'utilisateur devra fournir:

- Le nom du système (une seule lettre de A à Z qui sera utilisé par **SBF1** pour générer des noms de fichier).
- Le lecteur de la disquette des donnés (A, B ou C).

- Le poids volumique du fluide.
- Le nombre maximum d'itération (nécessaire s'il y a de ramifications).
- La viscosité cinématique du fluide.
- Le nombre de valeurs à obtenir après discrétisation.
- Le nombre maximum d'approximation à effectuer.
- La précision sur le débit.

Chacunes de ces constantes a une valeur par défaut qui est affichée à l'écran dans une fenêtre devant l'item correspondant. Ces constantes sont organisées en une structure de données stockées dans un **fichier de liaison**. Ce dernier est créé par le programme principal sur la disquette programme sous le nom **PATOU**.

Les données relatives à chacune des parties du système sont enregistrées à partir des chiffriers qui constituent le module (SBF1). Ce dernier ouvre d'abord le fichier PATOU afin de disposer du nom du système et celui du lecteur de la disquette de données qu'il utilisera pour la création, et le stockage dans, des fichiers.

II-2 Données relatives à la stations de pompage

Il y a au total 5 chiffriers différents, désignés par les items suivants.

1° / Pompes disponibles et caractéristiques : Ce chiffrier permet d'enregistrer les pompes utilisées dans le système. Pour chaque pompe l'utilisateur devra fournir:

- a) le numéro : un entier naturel au plus égal à 99

b) le nombre de points caractéristiques.

c) la vitesse de rotation (donnée par le manufacturier)

d) le coefficient de THOMAS.

e) l'unité du débit.

f) les points caractéristiques: (Q,H,e) ou simplement (Q,H) si le rendement (e) n'est pas disponible.

((c) et (d) ne sont pas nécessaires pour la version actuelle du programme).

Le programme utilise le nom du système (Nom) et le numéro de la pompe (Num) pour créer un fichier où les données de cette pompe seront stockées. Le nom de ce fichier est de la forme (Nom)IP(Num)B.DAT : exemple ZIP3B.DAT .

Le menu accompagnant ce chiffrier permet de le remettre à blanc pour l'enregistrement des données d'une autre pompe.

2°/ 'Mise en place des pompes disponibles' : Ce chiffrier permet d'associer à chaque pompe (donnée par son numéro) la position qu'elle occupe au sein de la station (position donnée par un code : voir codification de la station au chapitre 2 ou en annexe N°). Le fichier créé pour le stockage de ces données est (Nom)INSER.DAT (exemple ZINSER.DAT).

3°/ Codes des divers groupes de pompes : En tenant compte de la codification effectuée au niveau de la station, l'utilisation de ce chiffrier permet:

- d'associer à chaque groupe de pompes (donnée par un code),

le mode d'association (donné par 1 pour pompe individuelle, 2 pour des pompes groupées en série ; 3 pour des pompes groupées en parallèle).

- d'associer à chaque groupe de pompes, le nombre et les codes des divers sous groupes qui le constituent.

Le programme crée deux fichiers pour le stockage des données enregistrées avec ce chiffrier :

a) **(Nom)MODE.CON** où est stockée la structure de la station entièrement codée,

b) après avoir trié les divers codes (conformément au paragraphe $\bar{\vee}$ du chapitre 2), le programme crée le fichier **(Nom)MODE.TRI** où sont stockés les couples (**code,mode**) où **code** est le code du groupe de pompes et **mode** un nombre qui indique le mode d'association.

4°/ Positions et 'conduites de correction': Ce chiffrier permet d'associer à chaque groupe de pompes (donné par un code), les numéros des 'conduites de correction' qui lui sont rattachées. Le fichier **(Nom)PCCOR.DAT** permet de stocker les triplets (**Code,N1,N2**) où **Code** est le code du groupe de pompes, **N1** et **N2** les numéros des conduites de correction respectivement avant et après le groupe de pompes.

5°/ Caractéristiques des conduites de correction : Ce chiffrier permet d'enregistrer les caractéristiques des 'conduites de correction'. Une conduite de correction peut avoir plusieurs

composantes. Pour chaque conduite il faut donner :

- a) le numéro
- b) le nombre de composantes
- c) les caractéristiques des conduites composantes:
 - le diamètre D (mm)
 - la longueur L (m)
 - le coefficient de singularité (ΣK)
 - l'épaisseur des rugosité (ϵ)
 - le coefficient de friction (f)
 - le facteur S ($H_f = SQ^2$)

Normalement, il n'est pas nécessaire de fournir tous ces paramètres. Mais la nature du chiffrier exige qu'une valeur soit entrée à une nouvelle position occupée par le curseur avant de le faire bouger.

Le programme crée le fichier (Nom)SC(Num).DAT pour chaque conduite de correction où (Num) est le numéro de la conduite (exemple: ZSC3C.DAT). Le menu accompagnant ce chiffrier permet de le remettre à blanc pour l'enregistrement d'une autre conduite si nécessaire.

II-3 Données relatives aux canalisations : Ces données sont enregistrées à l'aide de deux chiffriers semblables (un pour les canalisations d'aspiration et l'autre pour les canalisations de refoulement).

Pour une canalisation: il faut donner:

- Le code (un entier naturel inférieur ou égal à 9)
- Nombre de conduites composantes.
- P, V, Z à l'aspiration ou au refoulement (inutile si elle est ramifiée).
- Dans le chiffrier, donner pour chacune des conduites composantes, les paramètres illustrés sur le modèle schématisé à la figure (3-9).

Ici Il n'est pas nécessaire non plus d'entrer tous ces paramètres.

Le programme génère les fichiers (Nom)AC(Num)C.DAT pour les canalisations d'aspiration et (Nom)RC(Num)C.DAT pour les canalisations de refoulement. (Exemples: ZACOC.DAT, ZRCOC.DAT).

Tous les fichiers générés sont à accès direct.

III TRAITEMENT DES DONNEES

Le traitement des données est réalisé par le module 2 : **SBF2**
 La détermination des performances (Q,H) de la pompe équivalente fictive de la station (Confère Chapitre 2), et la détermination du point d'équilibre du système constituent l'essentiel du traitement des données effectué par ce module. Lorsqu'il est appelé, **SBF2** ouvre d'abord le fichier **PATOU** pour y prendre les constatntes générales qui sont toutes nécessaires à son déroulement.

Le module **SBF2** est une bibliothèque de programmes traduisant

les divers formules et algorithmes des chapitres (2), (3) et (4). Le nom du système pris dans le fichier PATOU lui permet de générer les noms des divers fichiers construits par SBF1, et d'y accéder au moment opportun. Certains fichiers sont aussi créés par ce module.

Nous mettons un accent particulier sur le traitement des données relatives aux conduites . En effet, pour une conduite:

-Si (S) est une donnée du problème, alors le programme ignore (ϵ) et (f) et calcule la perte de charge avec la valeur de (S) ainsi donnée, et ce, quelle que soit la valeur du débit.

-Si (f) est une donnée du problème, le programme ignore (ϵ) et calcule (S) par la formule (3-3). La valeur de (S) ainsi calculée devient une donnée du problème.

-Si (ϵ) est une donnée du problème, alors le programme utilise la valeur du débit qui traverse la conduite pour calculer le nombre de Reynolds de l'écoulement dans cette conduite. Selon la valeur du Nombre de Reynolds le programme utilise (ϵ) pour calculer d'abord (f) par la formule ($f=64/NR$) pour l'écoulement laminaire, ou par la formule de Colebrook pour les écoulements turbulents ou se trouvant dans la zone de transition 'laminaire-turbulent'. Ensuite (S) est évalué avec la formule (3-3).

Au cours de l'enregistrement, si l'un de ces paramètres est une donnée du problème, alors l'utilisateur doit entrer sa valeur, et la valeur (0) pour les deux autres.

A la fin de son déroulement, SBF2 complète le fichier de liaison PATOU par les constantes suivantes qui sont nécessaires pour le troisième module: le point de fonctionnement de la station

(le débit et la hauteur de charge fournie), la charge hydraulique totale à son entrée ainsi qu'à sa sortie. En outre, il calcule et stocke le débit à la sortie de chaque canalisation d'aspiration, et le débit à l'entrée de chaque canalisation de refoulement.

IV PRESENTATION DES RESULTATS

Le module 3 comprend deux parties (**SBF3**) pour la présentation des résultats à l'écran et (**SBF3P**) pour l'impression. Ces deux parties ont en commun un certain nombre de routines permettant d'ouvrir les fichiers relatifs à chaque canalisation, afin de disposer de certains paramètres à présenter ou nécessaires pour les calculs effectués dans ce module. La première de ces routines permet d'ouvrir le fichier de liaison, pour y prendre toutes les constantes disponibles. Etant donné que la version actuelle de (**E.P.T_POMPE**) ne permet pas de présenter les résultats relatifs aux pompes utilisées dans la station, tous les calculs de ce module sont basés sur les formules établies au chapitre (3).

Le format de présentation se décrit comme suit :

Il y a d'abord la rubrique 'CONSTANTES GENERALES' sous lequel sont présentés certains paramètres du fichier de liaison (entre autres le point de fonctionnement de la station) .

Il y a ensuite les résultats relatifs aux canalisations qui sont présentés sous rubriques :

'RESULTATS POUR LES DEBITS': le programme présente : le code de la canalisation, sa longueur totale, le débit à l'entrée, le

cumul des prélèvements, le débit à la sortie. Et pour chacune des conduites composantes: le numéro (N°), le diamètre (D), les longueurs (L1) et (L2), les débits: à l'entrée (Qe), prélevé (q), et à la sortie (Qs).

'RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES': le programme présente : le code de la canalisation, sa longueur totale, la charge hydraulique totale à l'entrée, le cumul des pertes de charge, la charge hydraulique totale à la sortie. Et pour chacune des conduites composantes: le numero (N°), le diamètre (D), les facteurs (S1) et (S2), la hauteur piézométrique à l'entrée (Pe), la perte de charge (Hf), et la hauteur piézométrique à la sortie (Ps).

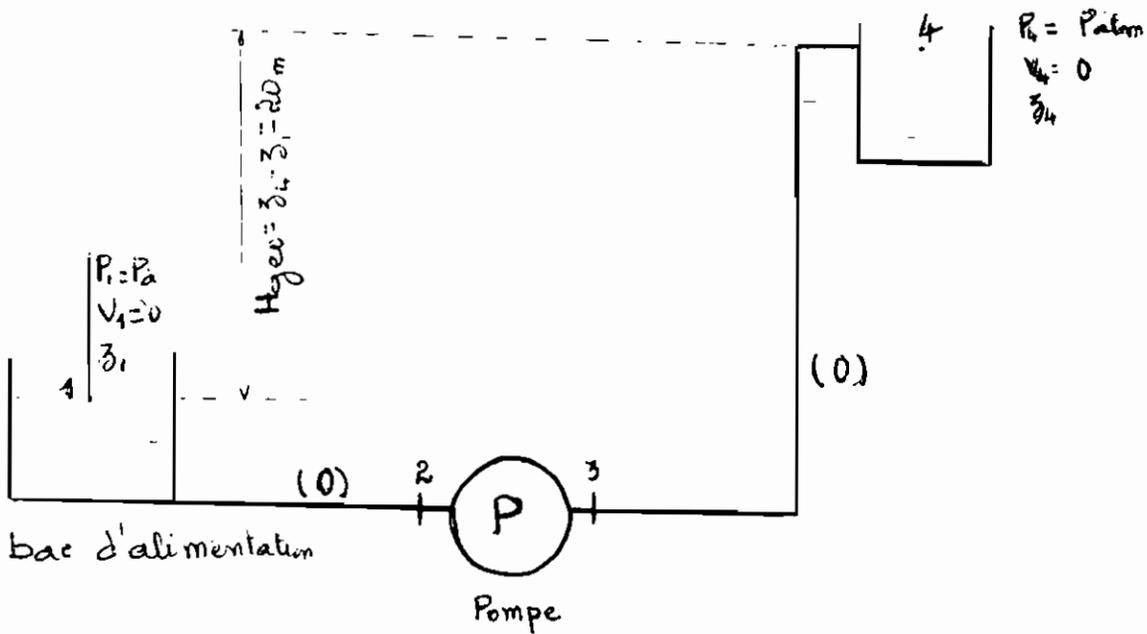
V EXEMPLES TRAITES

Exemple1 (Nom du système (A)) : tiré du cours 'POMPE 421' (Ecole Polytechnique de Thiès : année '1990-1991').

Pour cet exemple $f=0.005 = \text{Cte}$ est une donnée du problème. Les autres données sont les suivantes:

$D=450 \text{ mm} = \text{Cte}$ pour toutes les conduites.

Canalisations : une seule conduite sans prélèvement de longueur $L=100 \text{ m}$ pour l'aspiration et $L=200 \text{ m}$ pour le



refoulement.

Performances de la pompe :

H(m)	:	24.4	21.3	18.3	15.2	12.2	9.1	6.1
Q(l/s)	:	0	74	112	140	161	174	177
e (%)	:	0	54	70	80	73	60	40

Comme le programme n'accepte pas la Hauteur géométrique comme paramètre de calcul, nous supposons $Z_1 = 4 \text{ m}$ et $Z_2 = 24 \text{ m}$, ce qui donne $H_{géo} = 20 \text{ m}$.

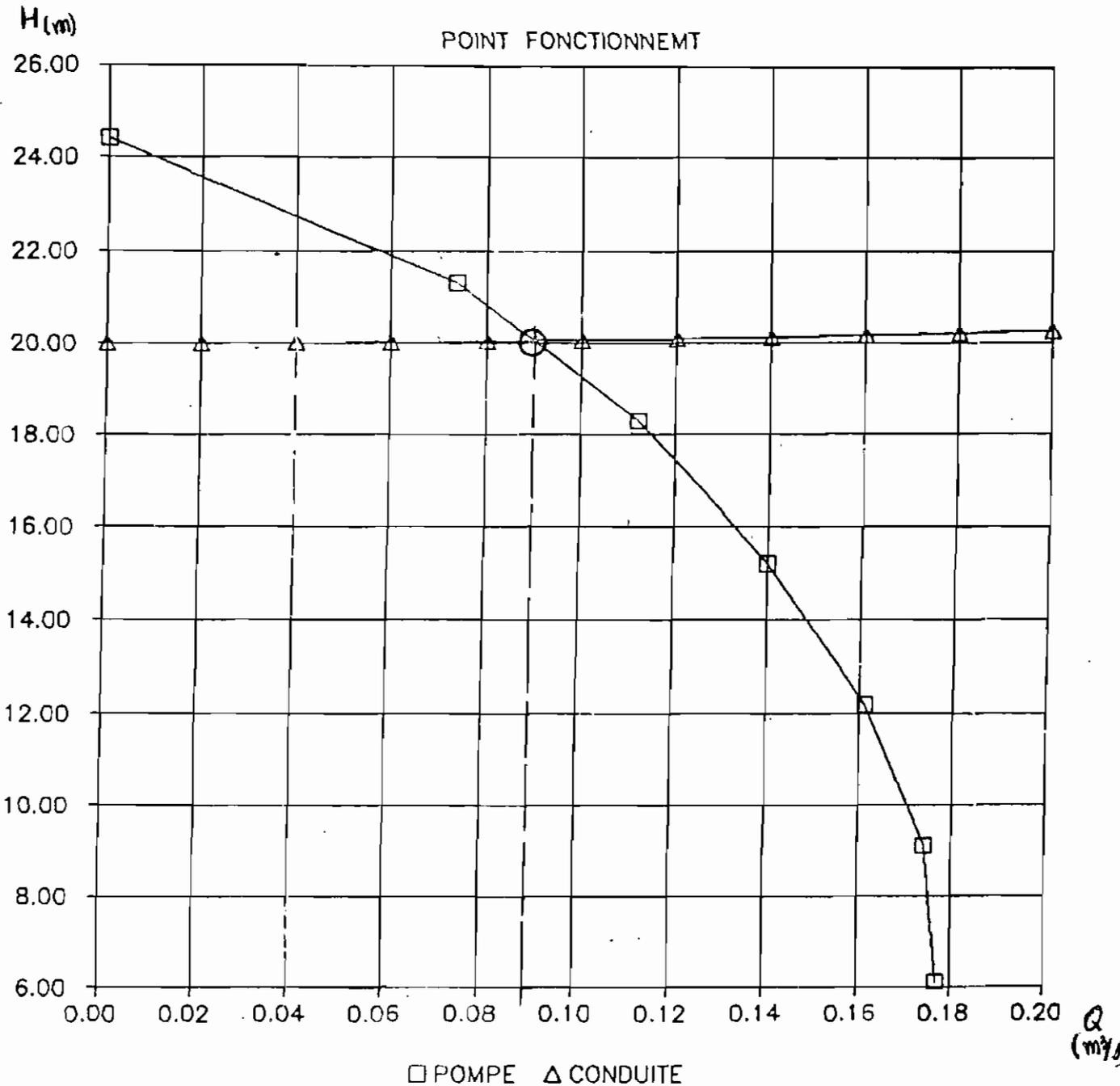
Nous ferons varier les deux paramètres de calcul suivants:

- 1° le nombre de valeurs discrètes
- 2° le nombre d'approximations.

Les résultats de la méthode graphique utilisée dans le cadre du cours 'POMPE 421' ainsi que ceux obtenus par le programme sont présentés dans les 3 pages suivantes.

Résultats de l'exemple 1 : Méthode

graphique du cours 'POMPE 421' (1989-1990)



 * Programme E.P.T_POMPE - Résultats *

CONSTANTES GENERALES
 =====

Nom du système -----> (A)
 débit (de la station) -----> 0.089 (MC/S)
 Haut totale (de la station) -----> 20.077 (mce)
 Haut totale (entrée station) -----> 3.998 (mce)
 Nombre de valeurs discrètes -----> 90
 Précision sur le débit -----> 0.0001 (MC/s)
 Nombre d'approximation -----> 1
 Viscosité cinématique -----> 1.0E-06

CANALISATIONS D'ASPIRATION
 =====

RESULTATS POUR LES DEBITS

N° : 0
 Longueur : 100.000 (m)
 Débit à l'entrée : 0.089 (MC/s)
 Prélèvements : 0.000 (MC/s)
 Débits à la sortie: 0.089 (MC/s)

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	De (MC/s)	q (MC/s)	Gs (MC/s)
1	0.45	100.00	0.00	0.089	0.000	0.089

RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

N° : 0
 Longueur : 100.000 (m)
 P totale Entrée : 4.016 (mce)
 Pertes de charge : 0.018 (mce)
 P totale Sortie : 3.998 (mce)

Conduites Composantes

N°	D(m)	S1	S2	Pe (mce)	Hf (mce)	Ps (mce)
1	0.45	2.24	0.00	4.016	0.018	3.998

CANALISATIONS DE REFIDULEMENT
 =====

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

RESULTATS POUR LES DEBITS

N° : 0
 Longueur : 200.000 (m)
 Débit à l'entrée : 0.089 (MC/s)
 Prélèvements : 0.000 (MC/s)
 Débits à la sortie: 0.089 (MC/s)

Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe (MC/s)	q (MC/s)	Qs (MC/s)
1	0.45	200.00	0.00	0.089	0.000	0.089

RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

N° : 0
 Longueur : 200.000 (m)
 P totale Entrée : 24.075 (mce)
 Pertes de charge : 0.036 (mce)
 P totale Sortie : 24.000 (mce)

Conduites Composantes

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

N°	D(m)	S1	S2	Pe (mce)	Hf (mce)	Ps (mce)
1	0.45	4.48	0.00	24.075	0.036	24.039

Commentaires

Nous avons fait varier deux paramètres de calculs (Nombre de valeurs discrètes (d), et le nombre d'approximations (a). Les divers résultats sont résumés dans le tableau suivant :

(d)	20	40	40	60	60	90	90
(a)	5	3	1	3	1	5	1
(Q)	0.084	0.086	0.091	0.087	0.090	0.090	0.090
(H)	19.588	19.986	19.976	20.041	20.037	20.077	20.077

Les résultats précédents sont ceux de la dernière colonne. Ceux des autres colonnes sont présentés en annexe () .

En rapport avec la réponse du cours 'POMPE 421' nous pouvons dire que le programme donne des résultats satisfaisants pour des valeurs élevées du paramètre (d). D'autres valeurs de ces paramètres ont été essayées. Nous avons constaté des résultats aberrants si la valeur de (d) est inférieure au nombre de points caractéristiques de la pompe (nombre de points fournis par le manufacturier). Cela est prévisible, car la discrétisation que nous faisons (avec notre méthode numérique) ne donne que des points se situant sur les segments de droites joignant les points caractéristiques fournis par le manufacturier. Etant donné que nous conservons les valeurs extrêmes, l'imposition d'une valeur de (d) inférieure au nombre de points caractéristiques fournis par le manufacturier implique une déformation volontaire de la courbe caractéristique de la pompe. Il ne faut donc jamais utiliser une

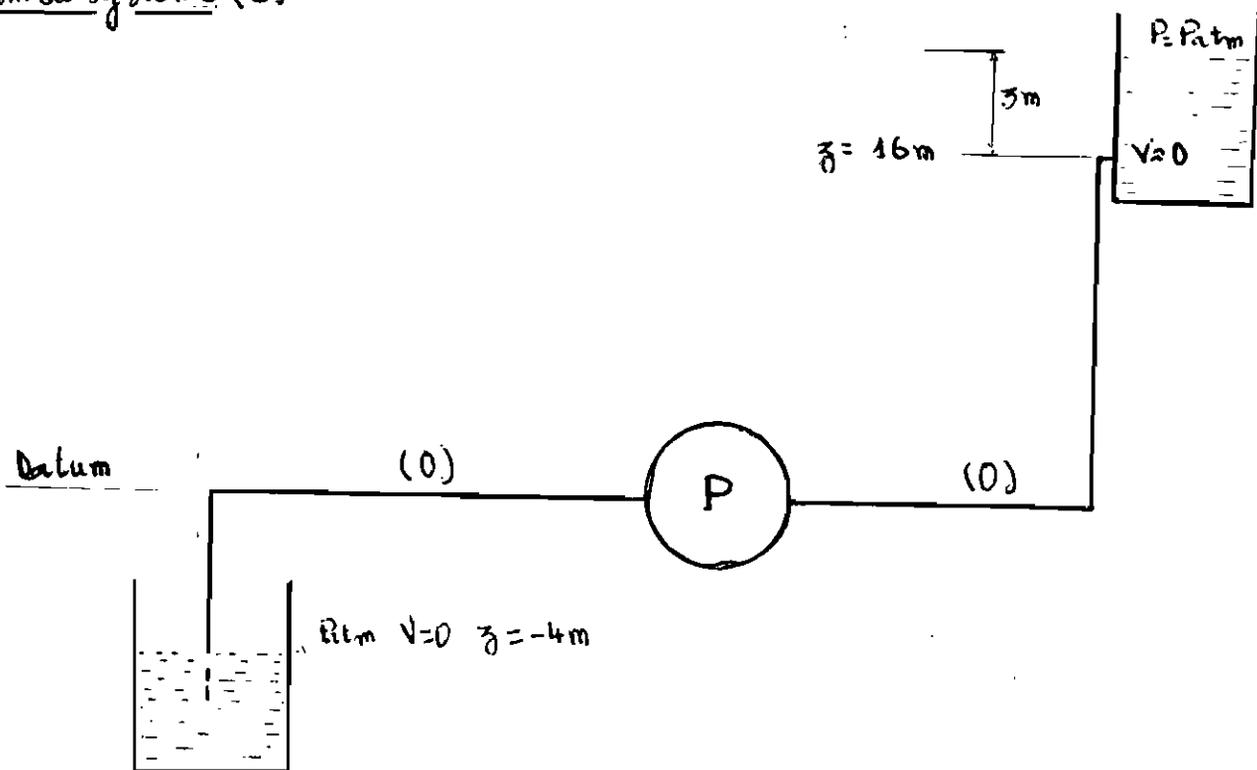
valeur de (d) inférieure au nombre de points caractéristiques, disponibles, de la pompe .

Autres exemples

Pour tous les autres exemples disponible, (f) ou (S) sont toujours des données du problème. Leurs résultats sont présentés en annexe ().

Exemple (fictif) : à défaut d'un système réel où (ϵ) est une donnée, nous imaginons le système suivant:

Nom du système (B)



(Données supposées : page suivante).

Outre les indications de la figure, nous supposons comme données :

$D = 150$ mm et $\epsilon = 0.26$ pour toutes les conduites.

A l'aspiration :	N° Conduite	L(m)	K
	1	100	0,84
	2	30	0,72
	3	110	0,924
Au refoulement :	1	50	0.42
	2	50	0,42

Au niveau de la station : Les conduites sont de longueur négligeables. La pompe est identique à celle de l'exemple 1

(Résultats à la page suivante)

D'autres exemples ont été construits de la même façon. Le seul but poursuivi est d'essayer le programme dans les cas (intéressants) où ϵ est une donnée du problème.

 * Programme E.P.T_POMPE - Resultats *

CONSTANTES GENERALES

=====

Nom du système -----> (B)
 débit (de la station) -----: 0.010 (MC/s)
 Haut totale (de la station) -----: 23.983 (mce)
 Haut totale (entrée station) -----: -4.836 (mce)
 Nombre de valeurs discrètes -----: 90
 Précision sur le débit -----> 0.0001 (MC/s)
 Nombre d'approximation -----: 1
 Viscosité cinématique -----> 1.0E-06

CANALISATIONS D'ASPIRATION

=====

RESULTATS POUR LES DEBITS

N° : 0
 Longueur : 300.000 (m)
 Débit à l'entrée : 0.010 (MC/s)
 Prélèvements : 0.000 (MC/s)
 Débits à la sortie: 0.010 (MC/s)

* E.P.T_POMPE - Resultats (suite)*

Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe(MC/s)	q(MC/s)	Qs(MC/s)
1	0.15	100.00	0.00	0.010	0.000	0.010
2	0.15	90.00	0.00	0.010	0.000	0.010
3	0.15	110.00	0.00	0.010	0.000	0.010

RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

N° : 0
 Longueur : 300.000 (m)
 P totale Entrée : -3.984 (mce)
 Pertes de charge : 0.853 (mce)
 P totale Sortie : -4.836 (mce)

Conduites Composantes

N°	D(m)	S1	S2	Pe(mce)	Hf(mce)	Ps(mce)
1	0.15	2676.24	0.04	-3.984	0.284	-4.268
2	0.15	2582.74	0.04	-4.268	0.255	-4.524
3	0.15	3163.86	0.04	-4.524	0.313	-4.836

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

CANALISATIONS DE REFOULEMENT

RESULTATS POUR LES DEBITS

N° : 0
 Longueur : 100.000 (m)
 Débit à l'entrée : 0.010 (MC/s)
 Prélèvements : 0.000 (MC/s)
 Débits à la sortie: 0.010 (MC/s)

Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe (MC/s)	q (MC/s)	Qs (MC/s)
1	0.15	50.00	0.00	0.010	0.000	0.010
2	0.15	50.00	0.00	0.010	0.000	0.010

RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

N° : 0
 Longueur : 100.000 (m)
 P totale Entrée : 19.147 (mce)
 Pertes de charge : 0.284 (mce)

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

P totale Sortie : 19.000 (mce)

Conduites Composantes

N°	D(m)	S1	S2	Pe (mce)	Hf (mce)	Ps (mce)
1	0.15	1438.12	0.04	19.147	0.142	19.005
2	0.15	1438.12	0.04	19.005	0.142	18.863

CONCLUSION

La méthode numérique développée a abouti à la réalisation d'un programme de calcul des systèmes de pompage. Ce programme permet de traiter les systèmes caractérisés par:

- Une station de pompage avec n'importe quel agencement des pompes et systèmes de conduite, mais un maximum de treize codes.

- Des canalisations linéaires, en parallèle, et ramifiées de part et d'autre de la station, avec des possibilités de service en route (prélèvement).

Dans le cas des canalisations en parallèle, un maximum de neuf branches est prévu; et pour les ramifications, le programme n'admet actuellement qu'un seul point relié à un maximum de neuf branches.

Cette capacité, déjà suffisante pour la plupart des systèmes rencontrés dans nos pays en voie de développement, ne traduit qu'une partie des études théoriques développées dans les chapitres précédents et complétées en annexes.

La structure modulaire du programme reste d'un avantage non négligeable, car elle permet une éventuelle extension de ses capacités.

Il peut ainsi devenir un excellent outil de travail, par l'ajout du traitement des réseaux maillés de conduites, et du phénomène transitoire qui caractérise les systèmes hydrauliques.

ANNEXE A1 : AUTRES EXEMPLES TRAITES

I : Suite des résultats de l'exemple 1	A1-2
II : Autres exemples et résultats	A1-14

 * Programme E.P.T_POMPE - Résultats *

CONSTANTES GENERALES

=====

Nom du système -----> (A)
 débit (de la station) -----> 0.084 (MC/S)
 Haut totale (de la station) -----> 19.858 (mce)
 Haut totale (entrée station) -----> 3.998 (mce)
 Nombre de valeurs discrètes -----> 20
 Précision sur le débit -----> 0.0001 (MC/s)
 Nombre d'approximation -----> 5
 Viscosité cinématique -----> 1.0E-06

CANALISATIONS D'ASPIRATION

=====

RESULTATS POUR LES DEBITS

N° : 0
 Longueur : 100.000 (m)
 Débit à l'entrée : 0.084 (MC/s)
 Prélèvements : 0.000 (MC/s)
 Débits à la sortie: 0.084 (MC/s)

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*
 Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe (MC/s)	q (MC/s)	Qs (MC/s)
1	0.45	100.00	0.00	0.084	0.000	0.084

RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

N° : 0
 Longueur : 100.000 (m)
 P totale Entrée : 4.014 (mce)
 Pertes de charge : 0.016 (mce)
 P totale Sortie : 3.998 (mce)

Conduites Composantes

N°	D(m)	S1	S2	Pe (mce)	Hf (mce)	Ps (mce)
1	0.45	2.24	0.00	4.014	0.016	3.998

CANALISATIONS DE REFOULEMENT

=====

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

RESULTATS POUR LES DEBITS

N°	:	0
Longueur	:	200.000 (m)
Débit à l'entrée	:	0.084 (MC/s)
Prélèvements	:	0.000 (MC/s)
Débits à la sortie	:	0.084 (MC/s)

Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe (MC/s)	q (MC/s)	Qs (MC/s)
1	0.45	200.00	0.00	0.084	0.000	0.084

RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

N°	:	0
Longueur	:	200.000 (m)
P totale Entrée	:	23.857 (mce)
Pertes de charge	:	0.032 (mce)
P totale Sortie	:	24.000 (mce)

Conduites Composantes

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

N°	D(m)	S1	S2	Pe (mce)	Hf (mce)	Ps (mce)
1	0.45	4.48	0.00	23.857	0.032	23.825

 * Programme E.P.T_POMPE - Résultats *

CONSTANTES GENERALES
 =====

Nom du système -----> (A)
 débit (de la station) -----> 0.091 (MC/S)
 Haut totale (de la station) -----> 19.976 (mce)
 Haut totale (entrée station) -----> 3.998 (mce)
 Nombre de valeurs discrètes -----> 40
 Précision sur le débit -----> 0.0001 (MC/s)
 Nombre d'approximation -----> 1
 Viscosité cinématique -----> 1.0E-06

CANALISATIONS D'ASPIRATION
 =====

RESULTATS POUR LES DEBITS

N° : 0
 Longueur : 100.000 (m)
 Débit à l'entrée : 0.091 (MC/s)
 Prélèvements : 0.000 (MC/s)
 Débits à la sortie: 0.091 (MC/s)

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*
 Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe (MC/s)	q (MC/s)	Qs (MC/s)
1	0.45	100.00	0.00	0.091	0.000	0.091

RÉSULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

N° : 0
 Longueur : 100.000 (m)
 P totale Entrée : 4.017 (mce)
 Pertes de charge : 0.018 (mce)
 P totale Sortie : 3.998 (mce)

Conduites Composantes

N°	D(m)	S1	S2	Pe (mce)	HF (mce)	Ps (mce)
1	0.45	2.24	0.00	4.017	0.018	3.998

CANALISATIONS DE REFOULEMENT
 =====

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*
 RESULTATS POUR LES DEBITS

N°	:	0
Longueur	:	200.000 (m)
Débit à l'entrée	:	0.091 (MC/s)
Prélèvements	:	0.000 (MC/s)
Débits à la sortie	:	0.091 (MC/s)

Conduites Composantes

N°	D (m)	L1 (m)	L2 (m)	Qe (MC/s)	q (MC/s)	Qs (MC/s)
1	0.45	200.00	0.00	0.091	0.000	0.091

RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

N°	:	0
Longueur	:	200.000 (m)
P totale Entrée	:	23.974 (mce)
Pertes de charge	:	0.037 (mce)
P totale Sortie	:	24.000 (mce)

Conduites Composantes

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

N°	D (m)	S1	S2	Pe (mce)	Hf (mce)	Ps (mce)
1	0.45	4.48	0.00	23.974	0.037	23.937

 * Programme E.P.T_POMPE - Résultats *

CONSTANTES GENERALES

=====

Nom du systeme -----> (A)
 débit (de la station) -----> 0.086 (MC/S)
 Haut totale (de la station) -----> 19.986 (mce)
 Haut totale (entrée station) -----> 3.998 (mce)
 Nombre de valeurs discrètes -----> 40
 Précision sur le débit -----> 0.0001 (MC/s)
 Nombre d'approximation -----> 3
 Viscosité cinématique -----> 1.0E-06

CANALISATIONS D'ASPIRATION

=====

RESULTATS POUR LES DEBITS

N° : 0
 Longueur : 100.000 (m)
 Débit à l'entrée : 0.086 (MC/s)
 Prélèvements : 0.000 (MC/s)
 Débits à la sortie: 0.086 (MC/s)

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe (MC/s)	q (MC/s)	Qs (MC/s)
1	0.45	100.00	0.00	0.086	0.000	0.086

RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

N° : 0
 Longueur : 100.000 (m)
 P totale Entrée : 4.015 (mce)
 Pertes de charge : 0.017 (mce)
 P totale Sortie : 3.998 (mce)

Conduites Composantes

N°	D(m)	S1	S2	Pe (mce)	Hf (mce)	Ps (mce)
1	0.45	2.24	0.00	4.015	0.017	3.998

CANALISATIONS DE REFOULEMENT

=====

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*
 RESULTATS POUR LES DEBITS

N° : 0
 Longueur : 200.000 (m)
 Débit à l'entrée : 0.086 (MC/s)
 Prélèvements : 0.000 (MC/s)
 Débits à la sortie: 0.086 (MC/s)

Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe(MC/s)	q(MC/s)	Qs(MC/s)
1	0.45	200.00	0.00	0.086	0.000	0.086

RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

N° : 0
 Longueur : 200.000 (m)
 P totale Entrée : 23.984 (mce)
 Pertes de charge : 0.033 (mce)
 P totale Sortie : 24.000 (mce)

Conduites Composantes

* E.P.T_POMPE - Resultats (suite)*

N°	D(m)	S1	S2	Pe(mce)	Hf(mce)	Ps(mce)
1	0.45	4.48	0.00	23.984	0.033	23.950

 * Programme E.F.T_POMPE - Résultats. *

CONSTANTES GENERALES

=====

Nom du système -----> (A)
 débit (de la station) -----> 0.090 (MC/S)
 Haut totale (de la station) -----> 20.037 (mce)
 Haut totale (entrée station) -----> 3.998 (mce)
 Nombre de valeurs discrètes -----> 60
 Précision sur le débit -----> 0.0001 (MC/s)
 Nombre d'approximation -----> 1
 Viscosité cinématique -----> 1.0E-06

CANALISATIONS D'ASPIRATION

=====

RESULTATS POUR LES DEBITS

N° : 0
 Longueur : 100.000 (m)
 Débit à l'entrée : 0.090 (MC/s)
 Prélèvements : 0.000 (MC/s)
 Débits à la sortie: 0.090 (MC/s)

* E.F.T_POMPE - Résultats (suite)*
 Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe(MC/s)	q(MC/s)	Qs(MC/s)
1	0.45	100.00	0.00	0.090	0.000	0.090

RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

N° : 0
 Longueur : 100.000 (m)
 P totale Entrée : 4.016 (mce)
 Pertes de charge : 0.018 (mce)
 P totale Sortie : 3.998 (mce)

Conduites Composantes

N°	D(m)	S1	S2	Pe(mce)	Hf(mce)	Pt(mce)
1	0.45	2.24	0.00	4.016	0.018	3.998

CANALISATIONS DE REFOULEMENT

=====

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*
 RESULTATS POUR LES DEBITS

N° : 0
 Longueur : 200.000 (m)
 Débit à l'entrée : 0.090 (MC/s)
 Prélèvements : 0.000 (MC/s)
 Débits à la sortie: 0.090 (MC/s)

Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe(MC/s)	qs(MC/s)	Qs(MC/s)
1	0.45	200.00	0.00	0.090	0.000	0.090

RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

N° : 0
 Longueur : 200.000 (m)
 P totale Entrée : 24.035 (mce)
 Pertes de charge : 0.036 (mce)
 P totale Sortie : 24.000 (mce)

Conduites Composantes

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

N°	D(m)	S1	S2	Pe(mce)	Hf(mce)	Ps(mce)
1	0.45	4.48	0.00	24.035	0.036	23.999

 * Programme E.P.T_POMPE - Résultats *

CONSTANTES GENERALES

=====

Nom du système -----> (A)
 débit (de la station) -----> 0.087 (MC/S)
 Haut totale (de la station) -----> 20.041 (mce)
 Haut totale (entrée station) -----> 3.998 (mce)
 Nombre de valeurs discrètes -----> 60
 Précision sur le débit -----> 0.0001 (MC/s)
 Nombre d'approximation -----> 3
 Viscosité cinématique -----> 1.0E-06

CANALISATIONS D'ASPIRATION

=====

RESULTATS POUR LES DEBITS

N° : 0
 Longueur : 100.000 (m)
 Débit à l'entrée : 0.087 (MC/s)
 Prélèvements : 0.000 (MC/s)
 Débits à la sortie: 0.087 (MC/s)

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe(MC/s)	q(MC/s)	Qs(MC/s)
1	0.45	100.00	0.00	0.087	0.000	0.087

RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

N° : 0
 Longueur : 100.000 (m)
 P totale Entrée : 4.015 (mce)
 Pertes de charge : 0.017 (mce)
 P totale Sortie : 3.998 (mce)

Conduites Composantes

N°	D(m)	S1	S2	Pe(mce)	Hf(mce)	Ps(mce)
1	0.45	2.24	0.00	4.015	0.017	3.998

CANALISATIONS DE REFOULEMENT

=====

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

RESULTATS POUR LES DEBITS

N°	:	0
Longueur	:	200.000 (m)
Débit à l'entrée	:	0.087 (MC/s)
Prélèvements	:	0.000 (MC/s)
Débits à la sortie:		0.087 (MC/s)

Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe (MC/s)	q (MC/s)	Qs (MC/s)
1	0.45	200.00	0.00	0.087	0.000	0.087

RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

N°	:	0
Longueur	:	200.000 (m)
P totale Entrée	:	24.039 (mce)
Pertes de charge	:	0.034 (mce)
P totale Sortie	:	24.000 (mce)

Conduites Composantes

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

N°	D(m)	S1	S2	Pe (mce)	Hf (mce)	Ps (mce)
1	0.45	4.48	0.00	24.039	0.034	24.005

 * Programme E.F.T_POMPE - Resultats *

CONSTANTES GENERALES

 Nom du système -----> (A)
 débit (de la station) -----> 0.090 (MC/S)
 Haut totale (de la station) -----> 20.077 (mce)
 Haut totale (entrée station) -----> 3.998 (mce)
 Nombre de valeurs discrètes -----> 90
 Précision sur le débit -----> 0.0001 (MC/s)
 Nombre d'approximation -----> 5
 Viscosité cinématique -----> 1.0E-06

CANALISATIONS D'ASPIRATION

RESULTATS POUR LES DEBITS

N° : 0
 Longueur : 100.000 (m)
 Débit à l'entrée : 0.090 (MC/s)
 Prélèvements : 0.000 (MC/s)
 Débits à la sortie : 0.090 (MC/s)

* E.F.T_POMPE - Resultats (suite)*
 Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe (MC/s)	q (MC/s)	Qs (MC/s)
1	0.45	100.00	0.00	0.090	0.000	0.090

RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

N° : 0
 Longueur : 100.000 (m)
 P totale Entrée : 4.016 (mce)
 Pertes de charge : 0.018 (mce)
 P totale Sortie : 3.998 (mce)

Conduites Composantes

N°	D(m)	S1	S2	Pe (mce)	Hf (mce)	Ps (mce)
1	0.45	2.24	0.00	4.016	0.018	3.998

CANALISATIONS DE REFOULEMENT

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

RESULTATS POUR LES DEBITS

N° : 0
 Longueur : 200.000 (m)
 Débit à l'entrée : 0.090 (MC/s)
 Prélèvements : 0.000 (MC/s)
 Débits à la sortie: 0.090 (MC/s)

Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe (MC/s)	q (MC/s)	Qs (MC/s)
1	0.45	200.00	0.00	0.090	0.000	0.090

RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

N° : 0
 Longueur : 200.000 (m)
 P totale Entrée : 24.075 (mce)
 Pertes de charge : 0.036 (mce)
 P totale Sortie : 24.000 (mce)

Conduites Composantes

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

N°	D(m)	S1	S2	Pe (mce)	Hf (mce)	Ps (mce)
1	0.45	4.48	0.00	24.075	0.036	24.039

AUTRES EXEMPLES TRAITES

La liste des pompes utilisées avec leurs performances sous forme de tableau est la suivante.

Pompe P3		
Q(l/s)	H(m)	R(%)
0	24.4	0
74	21.3	54
112	18.3	70
140	15.2	80
161	12.2	73
174	9.1	60
177	6.1	40

Pompe P4		
Q(l/s)	H(m)	R(%)
0	21.3	0
56.6	18.3	59
72.5	16.8	70
85.8	15.2	76
97.7	13.7	78
108	12.2	76.3
116	10.7	72
127	9.1	65
130	7.6	56.5
134	6.1	42

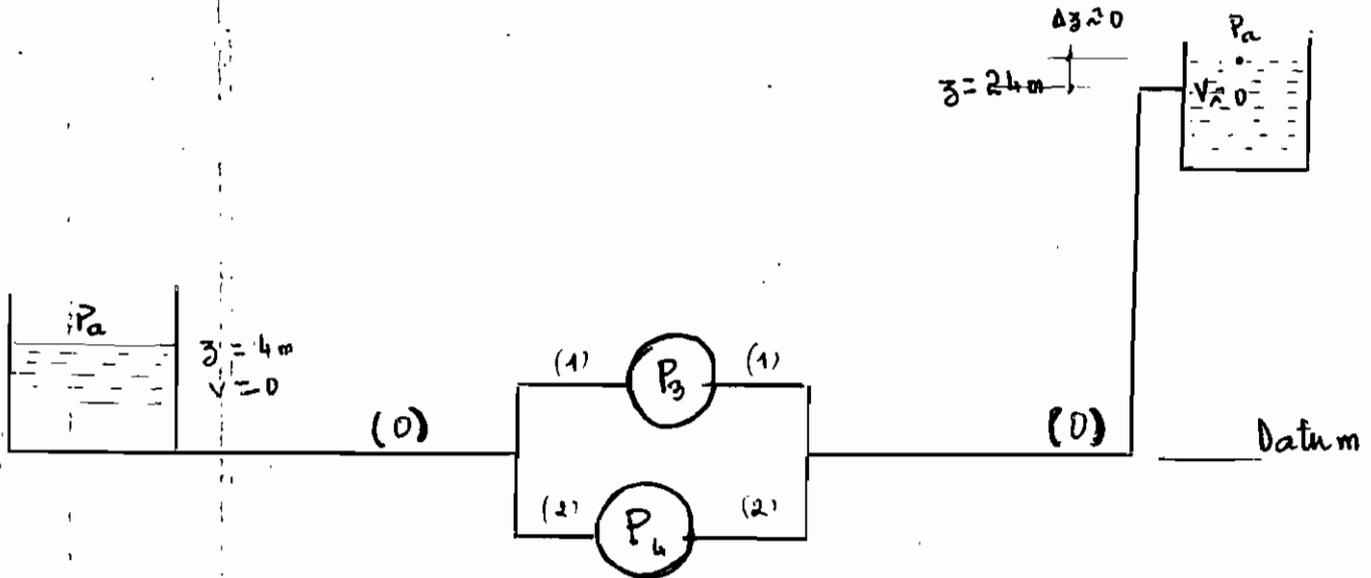
Pompe P6		
Q(MC/mn)	H(m)	R(%)
0	40	0
7	40.6	41
14	40.4	60
21	39.3	74
28	38	83
35	33.6	83
42	25.6	74
49	14.5	51
56	0	0

Pompe P12		
Q(MC/s)	H(m)	R(%)
0	22.6	0
0.012	21.3	74
0.018	19.4	86
0.024	16.2	85
0.030	11.6	70
0.036	6.5	46
0.042	0.6	8

POMPE P1		
Q(l/s)	H (m)	R (%)
0	30	0
40	29.86	50
60	28.77	60
120	25.07	77
180	18.92	80
200	16.32	70
220	13.45	60
240	10.30	55
260	6.88	50
280	3.19	40

POMPE P2		
Q (l/s)	H (m)	R (%)
0	25	0
50	24.02	60
100	21.09	75
150	16.19	85
200	9.34	70
250	0.54	50

2 POMPES EN PARALLELE



() codes des canalisations

() numéros des conduites de correction

Nom du système : (P)

Canalisations : $f = 0.005$ et $D = 450$ mm pour toutes les conduites

aspiration : 1 conduite sans prélèvement : $L = 100$ m

refoulement : 1 conduite sans prélèvement : $L = 200$ m

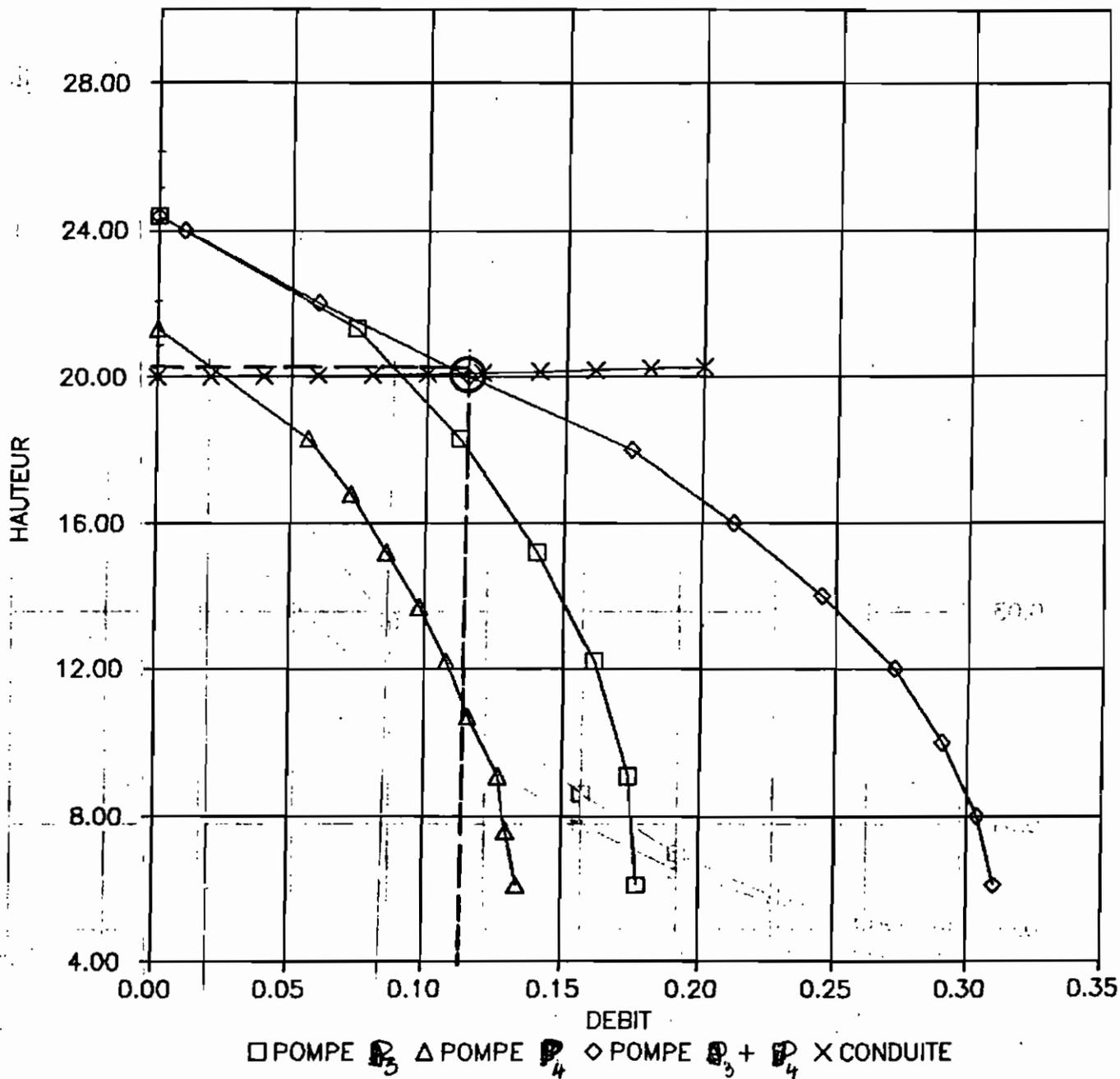
Station : Pompes P3 et P4 en parallèle

conduites de correction (1) : $D = 400$ mm, $L = 25$ m, $f = 0.005$

(2) : $D = 450$ mm, $L = 25$ m, $f = 0.007$

SYSTEME (P) : Résultats par la méthode graphique du cours 'POMPE 421' (1989-1990)

COUPLAGE PARALLELE



 * Programme E.P.T_POMPE - Résultats *

CONSTANTES GENERALES
 =====

Nom du système -----> (P)
 débit (de la station) -----> 0.113(MC/S)
 Haut totale (de la station) -----> 20.074(mce)
 Haut totale (entrée station) -----> 3.997(mce)
 Nombre de valeurs discrètes -----> 90
 Précision sur le débit -----> 0.0001(MC/s)
 Nombre d'approximation -----> 1
 Viscosité cinématique -----> 1.0E-06

CANALISATIONS D'ASPIRATION
 =====

RESULTATS POUR LES DEBITS

N° : 0
 Longueur : 100.000(m)
 Débit à l'entrée : 0.113(MC/s)
 Prélèvements : 0.000(MC/s)
 Débits à la sortie: 0.113(MC/s)

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*
 Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe(MC/s)	q(MC/s)	Qs(MC/s)
1	0.45	100.00	0.00	0.113	0.000	0.113

RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

N° : 0
 Longueur : 100.000(m)
 P totale Entrée : 4.026(mce)
 Pertes de charge : 0.028(mce)
 P totale Sortie : 3.997(mce)

Conduites Composantes

N°	D(m)	S1	S2	Pe(mce)	Hf(mce)	Ps(mce)
1	0.45	2.24	0.00	4.026	0.028	3.997

CANALISATIONS DE REFOULEMENT
 =====

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

RESULTATS POUR LES DEBITS

N°	:	0
Longueur	:	200.000 (m)
Débit à l'entrée	:	0.113 (MC/s)
Prélèvements	:	0.000 (MC/s)
Débites à la sortie:	:	0.113 (MC/s)

Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe (MC/s)	q (MC/s)	Qs (MC/s)
1	0.45	200.00	0.00	0.113	0.000	0.113

RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

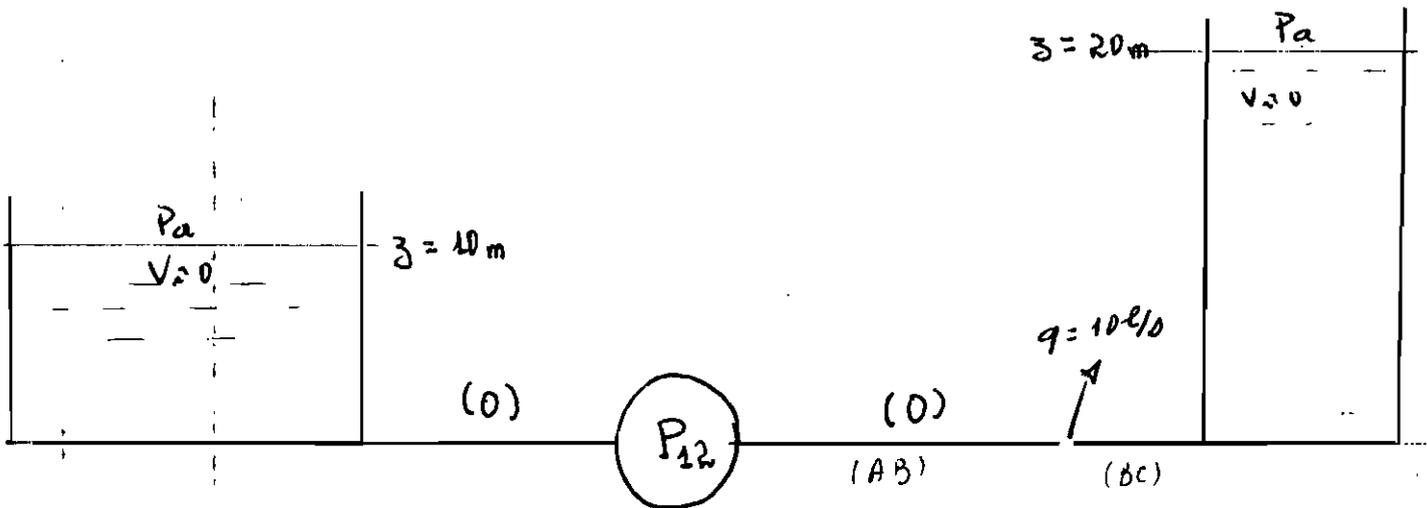
N°	:	0
Longueur	:	200.000 (m)
P totale Entrée	:	24.071 (mce)
Pertes de charge	:	0.057 (mce)
P totale Sortie	:	24.000 (mce)

Conduites Composantes

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

N°	D(m)	S1	S2	Pe (mce)	Hf (mce)	Ps (mce)
1	0.45	4.48	0.00	24.071	0.057	24.014

SYSTEME AVEC SERVICE EN ROUTE (PRELEVEMENT)



Nom du système : (R)

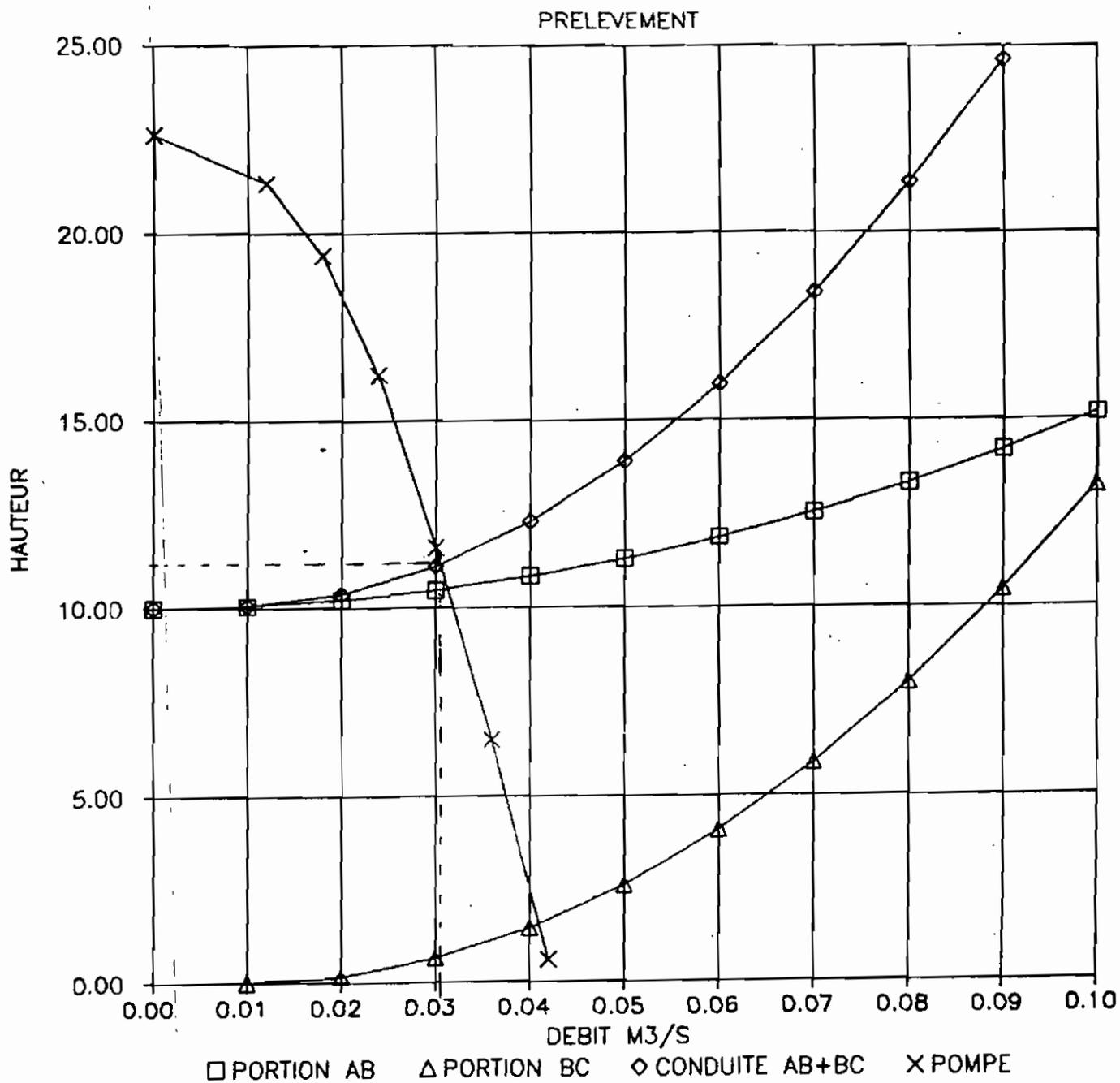
Canalisations :

aspiration : 1 conduite de longueur négligeable $l = 0$
(et supposée $D = 400\text{ mm}$)

refoulement: 1 canalisation : première conduite : $D = 200\text{ mm}$,
 $L_1 = 200\text{ m}$, $L_2 = 0$, $q = 10\text{ l/s}$
 $f = 0.01$ (donnée)
deuxième conduite : $D = 150\text{ mm}$,
 $L_1 = 150\text{ m}$, $L_2 = 0$, $q = 0\text{ l/s}$
 $f = 0.01$ (donnée)

Station : Pompe P_{12} avec correction négligeable

SYSTEME (R) - Résultats ('POMPE 421' : 1989 - 1990)



 * Programme E.P.T_POMPE - Résultats *

CONSTANTES GENERALES

=====

Nom du système -----> (R)
 débit (de la station) -----> 0.031 (MC/S)
 Haut totale (de la station) -----> 11.027 (mce)
 Haut totale (entrée station) -----> 10.002 (mce)
 Nombre de valeurs discrètes -----> 90
 Précision sur le débit -----> 0.0001 (MC/s)
 Nombre d'approximation -----> 1
 Viscosité cinématique -----> 1.0E-06

CANALISATIONS D'ASPIRATION

=====

RESULTATS POUR LES DEBITS

N° : 0
 Longueur : 0.000 (m)
 Débit à l'entrée : 0.031 (MC/s)
 Prélèvements : 0.000 (MC/s)
 Débits à la sortie : 0.031 (MC/s)

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*
 Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe(MC/s)	q(MC/s)	Qs(MC/s)
1	0.45	0.00	0.00	0.031	0.000	0.031

RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

N° : 0
 Longueur : 0.000 (m)
 P totale Entrée : 10.002 (mce)
 Pertes de charge : 0.000 (mce)
 P totale Sortie : 10.002 (mce)

Conduites Composantes

N°	D(m)	S1	S2	Pe(mce)	Hf(mce)	Pt(mce)
1	0.45	0.00	0.00	10.002	0.000	10.002

CANALISATIONS DE REFOULEMENT

=====

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

RESULTATS POUR LES DEBITS

N° : 0
 Longueur : 350.000 (m)
 Débit à l'entrée : 0.031 (MC/s)
 Prélèvements : 0.010 (MC/s)
 Débits à la sortie: 0.021 (MC/s)

Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe (MC/s)	q (MC/s)	Qs (MC/s)
1	0.20	200.00	0.00	0.031	0.010	0.021
2	0.15	150.00	0.00	0.021	0.000	0.021

RÉSULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

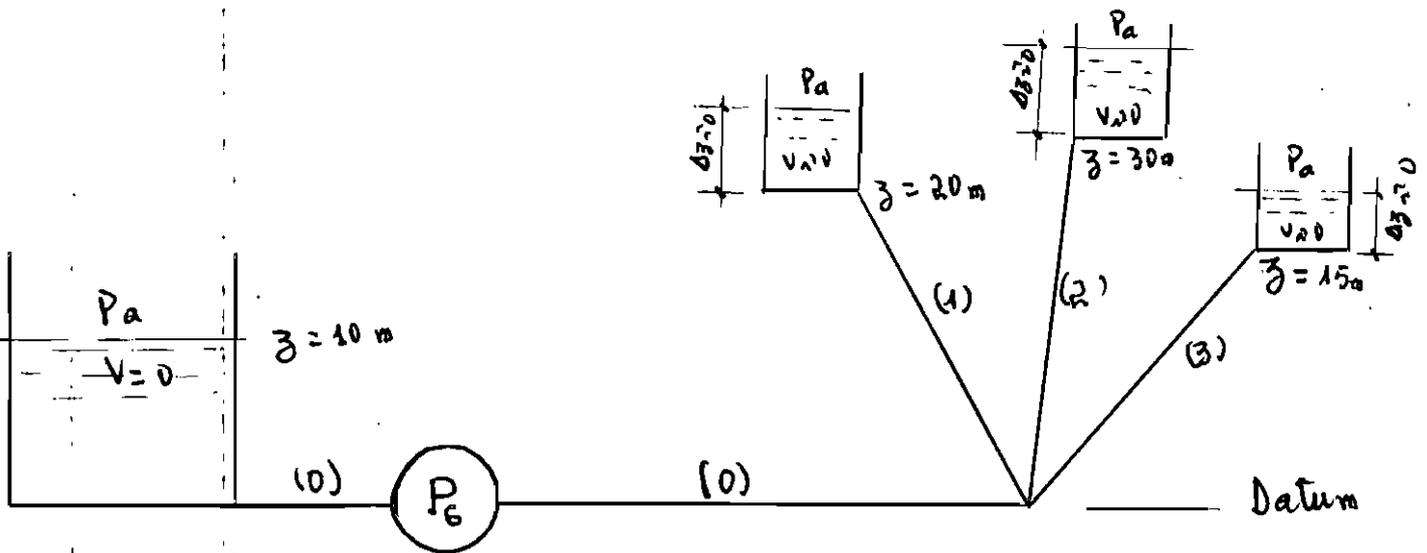
N° : 0
 Longueur : 350.000 (m)
 P totale Entrée : 21.029 (mce)
 Pertes de charge : 1.184 (mce)
 P totale Sortie : 20.000 (mce)

Conduites Composantes

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

N°	D(m)	S1	S2	Pe (mce)	Hf (mce)	Ps (mce)
1	0.20	516.42	0.00	21.029	0.486	20.543
2	0.15	1632.14	0.00	20.543	0.698	19.845

SYSTEME AVEC RESERVOIRS



Nom du système : (L)

Canalisations : $D = 450\text{ mm}$ pour toutes les conduites

(D est supposé par nous même car il n'est pas donné
les longueurs aussi seront supposées)

aspiration : 1 conduite de longueur négligeable $l = 0$

refoulement: conduites sans prélèvement

(0) : $S = 40$ (donnée) $l = 100\text{ m}$

(1) : $S = 20$ (donnée) $l = 20\text{ m}$

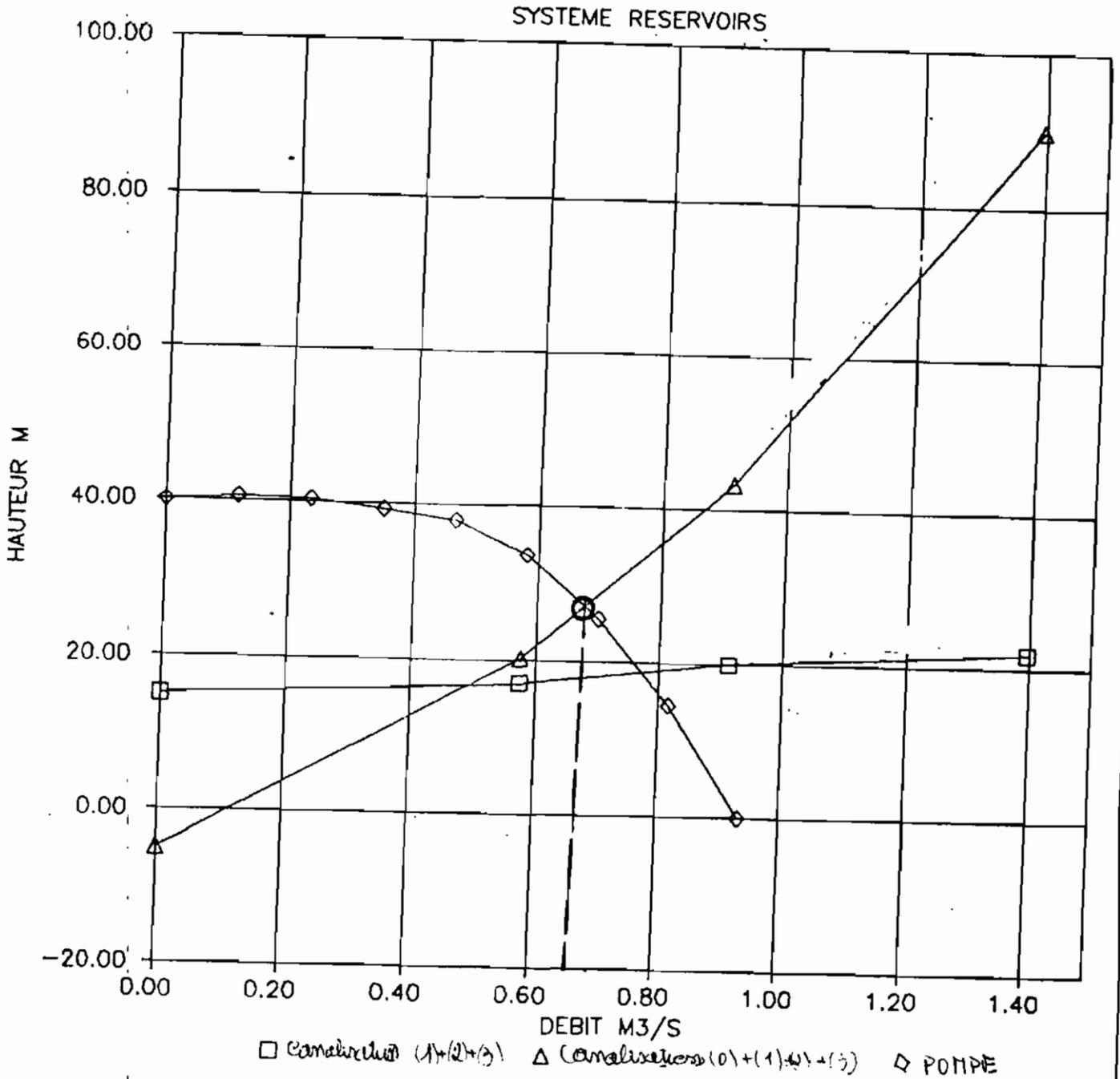
(2) : $S = 12$ (donnée) $l = 30\text{ m}$

(3) : $S = 6$ (donnée) $l = 15\text{ m}$

Station : Pompe P6 avec correction négligeable

NB avec cet exemple les résultats seront différents de ceux du
cours, car les hypothèses de calcul ne sont pas les mêmes (la
méthode du cours n'admet pas une compensation entre les
réservoirs)

SYSTEME (L) ; Resultats (POMPE 421 : 1989-1990)



 * Programme E.P.T_POMPE - Résultats *

CONSTANTES GENERALES
 =====

Nom du système -----> (L)
 débit (de la station) -----> 0.598(MC/S)
 Haut totale (de la station) -----> 32.611(mce)
 Haut totale (entrée station) -----> 10.720(mce)
 Nombre de valeurs discrètes -----> 90
 Précision sur le débit -----> 0.0001(MC/s)
 Nombre d'approximation -----> 1
 Viscosité cinématique -----> 1.0E-06

CANALISATIONS D'ASPIRATION
 =====

RESULTATS POUR LES DEBITS

N° : 0
 Longueur : 0.000(m)
 Débit à l'entrée : 0.598(MC/s)
 Prélèvements : 0.000(MC/s)
 Débits à la sortie: 0.598(MC/s)

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*
 Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe(MC/s)	q(MC/s)	Qs(MC/s)
1	0.45	0.00	0.00	0.598	0.000	0.598

RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

N° : 0
 Longueur : 0.000(m)
 P totale Entrée : 10.720(mce)
 Pertes de charge : 0.000(mce)
 P totale Sortie : 10.720(mce)

Conduites Composantes

N°	D(m)	S1	S2	Pe(mce)	Hf(mce)	Ps(mce)
1	0.45	0.00	0.00	10.720	0.000	10.720

CANALISATIONS DE REFOULEMENT
 =====

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

RESULTATS POUR LES DEBITS

N°	:	0
Longueur	:	100.000 (m)
Débit à l'entrée	:	0.598 (MC/s)
Prélèvements	:	0.000 (MC/s)
Débits à la sortie:	:	0.598 (MC/s)

Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe (MC/s)	q (MC/s)	Qs (MC/s)
1	0.45	100.00	0.00	0.598	0.000	0.598

N°	:	1
Longueur	:	20.000 (m)
Débit à l'entrée	:	0.599 (MC/s)
Prélèvements	:	0.000 (MC/s)
Débits à la sortie:	:	0.599 (MC/s)

Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe (MC/s)	q (MC/s)	Qs (MC/s)
1	0.45	20.00	0.00	0.599	0.000	0.599

N°	:	2
----	---	---

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

Longueur	:	30.000 (m)
Débit à l'entrée	:	-0.458 (MC/s)
Prélèvements	:	0.000 (MC/s)
Débits à la sortie:	:	-0.458 (MC/s)

Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe (MC/s)	q (MC/s)	Qs (MC/s)
1	0.45	30.00	0.00	-0.458	0.000	-0.458

N°	:	3
Longueur	:	15.000 (m)
Débit à l'entrée	:	0.456 (MC/s)
Prélèvements	:	0.000 (MC/s)
Débits à la sortie:	:	0.456 (MC/s)

Conduites Composantes

N°	D(m)	L1(m)	L2(m)	Qe (MC/s)	q (MC/s)	Qs (MC/s)
1	0.45	15.00	0.00	0.456	0.000	0.456

RESULTATS POUR LES HAUTEURS PIEZOMETRIQUES

N°	:	0
----	---	---

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

Longueur	:	100.000 (m)
P totale Entrée	:	43.331 (mce)
Pertes de charge	:	14.292 (mce)
P totale Sortie	:	27.907 (mce)

Conduites Composantes

N°	D(m)	S1	S2	Pe(mce)	Hf(mce)	Ps(mce)
1	0.45	40.00	0.00	43.331	14.292	29.039

N°	:	1
Longueur	:	20.000 (m)
P totale Entrée	:	29.039 (mce)
Pertes de charge	:	7.184 (mce)
P totale Sortie	:	20.000 (mce)

Conduites Composantes

N°	D(m)	S1	S2	Pe(mce)	Hf(mce)	Ps(mce)
1	0.45	20.00	0.00	29.039	7.184	21.855

N°	:	2
Longueur	:	30.000 (m)
P totale Entrée	:	29.039 (mce)
Pertes de charge	:	2.515 (mce)
P totale Sortie	:	30.000 (mce)

* E.P.T_POMPE - Résultats (suite)*

Conduites Composantes

N°	D(m)	S1	S2	Pe(mce)	Hf(mce)	Ps(mce)
1	0.45	12.00	0.00	29.039	2.515	31.554

N°	:	3
Longueur	:	15.000 (m)
P totale Entrée	:	29.039 (mce)
Pertes de charge	:	12.488 (mce)
P totale Sortie	:	15.000 (mce)

Conduites Composantes

N°	D(m)	S1	S2	Pe(mce)	Hf(mce)	Ps(mce)
1	0.45	60.00	0.00	29.039	12.488	16.551

ANNEXE A2 : COMPLEMENT AUX ETUDES THEORIQUES

I Démonstrations des formules (3-4 et (3-5)	A2-2
II Etude générale des canalisations ramifiées	A2-5
III Méthode de Newton-Raphson	A2-12

I DEMONSTRATION DES RELATIONS (3-4) et (3-5)

1- Conduites en série.

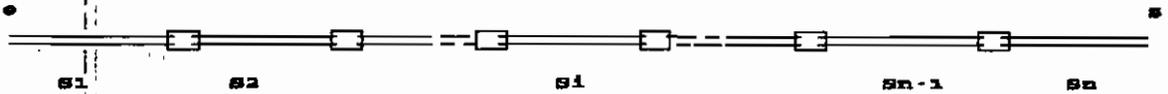


Figure 1 (n) Conduites en série

Un point de jonction constitue une singularité que nous supposons parfaitement étanche et comptabilisée dans la conduite qui suit immédiatement.

* Pour les (n) conduites :

Avec l'hypothèse d'une étanchéité parfaite des jonctions et des conduites sans prélèvement, il n'y a aucune perte de débit d'une conduite à l'autre. Ce qui se traduit par :

- Equation de continuité entre (e) et (s) :

$$Q_e = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_i = \dots = Q_{(n-1)} = Q_n = Q_s \quad (1).$$

Une particule fluide traversant les (n) conduites, voit sa charge diminuer au niveau de chaque conduite (i) de la valeur H_{fi} . Ce qui se traduit par:

- Equation d'énergie entre (e) et (s) :

$$E_e - (H_{f1} + H_{f2} + \dots + H_{fi} + \dots + H_{f(n-1)} + H_{fn}) = E_s \quad (2).$$

* Pour la canalisation ou conduite équivalente :

- Equation de continuité:

$$Q_e = Q = Q_s \quad (3).$$

- Equation d'énergie:

$$E_e - H_f = E_s \quad (4).$$

- Les équations (6) et (8) impliquent :

$$Q = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_i = \dots = Q_{(n-1)} = Q_n \quad (5).$$

- Les équations (7) et (9) impliquent :

$$H_f = H_{f1} + H_{f2} + \dots + H_{fi} + \dots + H_{f(n-1)} + H_{fn} \quad (6a).$$

$$H_f = \sum_{i=1}^n H_{fi} \quad (6b).$$

- En écrivant $H_{fi} = S_i Q_i$ et $H_f = S Q$ il en résulte :

$$S = \sum_{i=1}^n S_i \quad (7).$$

- En particulier si les conduites sont identiques l'équation (12) devient :

$$S = n S_0 \quad (8).$$

où S_0 est pour l'une des conduites composantes.

2- Conduites en parallèle:

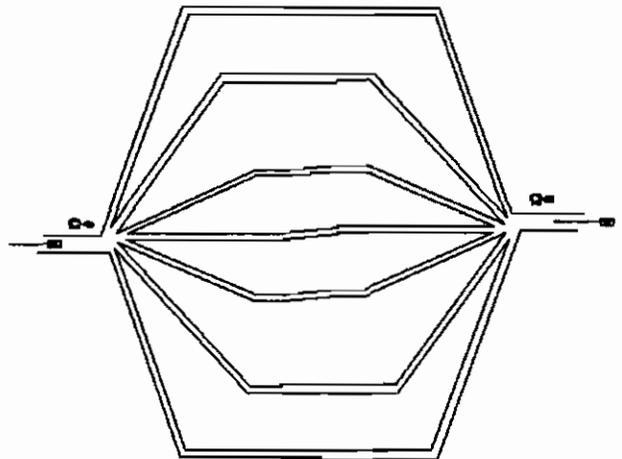
Figure 1 (n) Conduites en parallèle

* Pour l'ensemble des conduites:

Avec l'hypothèse de l'absence de toute fuite et de non prélèvement aux noeuds et sur les conduites, nous avons

- Equation de continuité entre (e) et (s) :

$$Q_e = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_i + \dots + Q_{(n-1)} + Q_n = Q_s \quad (9).$$



- Pour une particule de fluide allant de (e) à (s) passant par une conduite quelconque (i), l'équation d'énergie s'écrit:

$$E_e - S_i Q_i^2 = E_s \quad (\text{avec } i=1, \dots, n) \quad (10).$$

* Pour la conduite équivalente :

- Equation de continuité :

$$Q_e = Q_i = Q_s \quad (11).$$

- Les équations (9) et (15) impliquent :

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_i + \dots + Q_{(n-1)} + Q_n \quad (12a).$$

ou bien

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (12b).$$

- Equation d'énergie :

$$E_e - S Q^2 = E_s \quad (13).$$

- Les équations (10) et (13) impliquent :

$$S Q^2 = S_i Q_i^2 \quad (\text{avec } i=1, \dots, n) \quad (14).$$

- En développant l'équation (13) pour les (i), on obtient:

$$S Q^2 = S_1 Q_1^2 = S_2 Q_2^2 = \dots = S_i Q_i^2 = \dots = S_n Q_n^2 \quad (15).$$

- En prenant la racine carrée de chaque membre; en utilisant le théorème des suites de nombres proportionnels et les équations (12a) et (12b), l'équation (15) devient :

$$\frac{Q}{S^{-\frac{1}{2}}} = \frac{Q_1 + \dots + Q_i + \dots + Q_n}{S_1^{-\frac{1}{2}} + \dots + S_i^{-\frac{1}{2}} + \dots + S_n^{-\frac{1}{2}}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{\sum_{i=1}^n S_i^{-\frac{1}{2}}} \quad (16).$$

- Les équations (15), (12a) et (12b) impliquent :

$$S^{-k} = S_1^{-k} + \dots + S_{i-k} + \dots + S_n^{-k} = \sum_{i=1}^n S_i^{-k} \quad (17a).$$

d'où :

$$S = \left(\sum_{i=1}^n S_i^{-k} \right)^{-1/k} \quad (17b).$$

Ainsi l'équation (16b) donne le facteur résistant (S) d'une canalisation constituée par (n) conduites en parallèle.

En particulier lorsque les conduites sont identiques, l'équation (16b) devient :

$$S = (nS_0^{-k})^{-1/k} \quad (18).$$

où (S_0) est pour une des conduites.

II ETUDE GENERALE DES CANALISATIONS RAMIFIEES

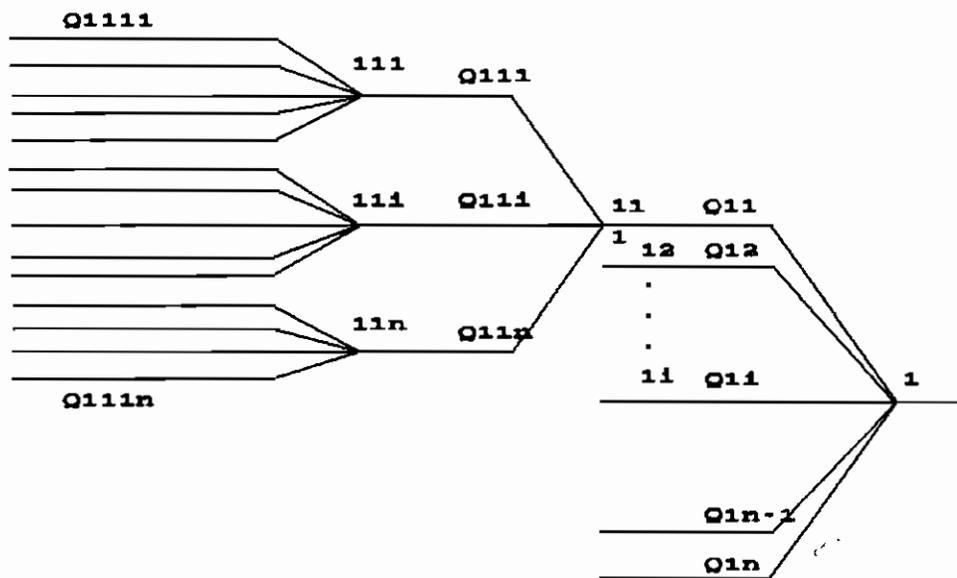


Schéma d'une canalisation ramifiée

Considérons une canalisation avec des points de ramification comme le montre la figure précédente. Il est évident que la ramification peut ne pas s'arrêter à ce degré. Dans notre numérotation, nous définissons le degré de ramification comme étant le plus grand nombre de chiffres utilisé dans la numérotation. Ainsi la figure ci-contre représente une canalisation de 3^e degré. Mais pour cela il faut qu'à partir de chaque jonction, le nombre de ramifications soit au plus égal à 9, (numérotées de 1 à 9).

Nous appellerons:

la jonction 1 : jonction du 1^{er} ordre ou jonction principale.

les jonctions 11,12,...,1i,... : jonctions du 2^e ordre.

les jonctions 111,112,...,11i,... : jonctions du 3^e ordre. Etc..

Remarquons qu'à partir de chaque jonction, les canalisations sont en parallèle.

1- Zone d'aspiration:

Tout comme les points d'aspiration, chaque jonction est caractérisée par $a = P/\gamma + V^2/2g + Z$. Ainsi les systèmes d'équation suivantes peuvent être constitués:

* à partir de la jonction 1 :

- L'équation de continuité :

$$Q_{11} + Q_{12} + \dots + Q_{1i} + \dots + Q_{1(n-1)} + Q_{1n} = Q_1 \quad (1).$$

- Equation d'énergie : en passant par la branche N°:

$$11 : a_{11} - Hf_{11} = a_1 \quad (2_1).$$

$$12 : a_{12} - Hf_{12} = a_1 \quad (2_2).$$

.

.

$$1i : a_{1i} - Hf_{1i} = a_1 \quad (2_i).$$

.

.

$$1(n-1) : a_{1(n-1)} - Hf_{1(n-1)} = a_1 \quad (2_{n-1}).$$

$$n : a_1 - Hf_n = a_1 \quad (2_n).$$

Les pertes de charges Hf sont des fonctions non linéaires de Q

En éliminant le terme a1 et en ajoutant l'équation (1) nous obtenons les système d'équations suivant:

$$- Hf_{11} + Hf_{12} + a_{12} - a_{11} = 0 \quad (3_1).$$

$$- Hf_{12} + Hf_{13} + a_{13} - a_{12} = 0 \quad (3_2).$$

.

.

$$- Hf_{1i} + Hf_{1(i+1)} + a_{1(i+1)} - a_{1i} = 0 \quad (3_i).$$

.

.

$$- Hf_{1(n-1)} + Hf_{1n} + a_{1n} - a_{1(n-1)} = 0 \quad (3_{n-1}).$$

$$Q_{11} + Q_{12} + \dots + Q_{1i} + \dots + Q_{1(n-1)} + Q_{1n} - Q_1 = 0 \quad (3_n).$$

* à partir de la jonction 11 :

Le même raisonnement conduit au système suivant:

$$- Hf_{111} + Hf_{112} + a_{112} - a_{111} = 0 \quad (4_1).$$

$$- Hf_{112} + Hf_{113} + a_{113} - a_{112} = 0 \quad (4_2).$$

$$\vdots$$

$$- Hf_{11i} + Hf_{11(i+1)} + a_{11(i+1)} - a_{11i} = 0 \quad (4_i).$$

$$\vdots$$

$$- Hf_{11(n-1)} + Hf_{11n} + a_{11n} - a_{11(n-1)} = 0 \quad (4_{n-1}).$$

$$Q_{111} + \dots + Q_{11i} \dots + Q_{11n} - Q_{11} = 0 \quad (4_n).$$

* à partir de la jonction 1j :

$$- Hf_{1j1} + Hf_{1j2} + a_{1j2} - a_{1j1} = 0 \quad (5_1).$$

$$- Hf_{1j2} + Hf_{1j3} + a_{1j3} - a_{1j2} = 0 \quad (5_2).$$

$$\vdots$$

$$- Hf_{1ji} + Hf_{1j(i+1)} + a_{1j(i+1)} - a_{1ji} = 0 \quad (5_i).$$

$$\vdots$$

$$- Hf_{1j(n-1)} + Hf_{1jn} + a_{1jn} - a_{1j(n-1)} = 0 \quad (5_{n-1}).$$

$$Q_{1j1} + \dots + Q_{1ji} \dots + Q_{1jn} - Q_{1j} = 0 \quad (5_n).$$

etc...

Ces systèmes tiennent compte de l'écoulement du fluide seulement

au niveau d'un groupe de canalisations (en parallèle) et leur point de jonction. Pour tenir compte de toute la structure ramifiée, il faudra ajouter les conditions suivantes:

1°/ les équations de continuité et d'énergie sont vérifiées simultanément pour tous les groupes de canalisations en parallèle qui constituent la structure ramifiée. (Donc les systèmes d'équations précédents doivent être résolus simultanément).

2°/ la somme de tous les débits respectifs aux divers points de jonction est égale au débit Q_0 au niveau du point de jonction principal.

En rassemblant toutes ces conditions nous obtenons un système suivant, dont la résolution donnera le débit dans chacune des branches de la structure ramifiée.

$$\begin{aligned}
& - Hf_{11} \quad + Hf_{12} \quad + a_{12} \quad - a_{11} \quad = 0 \\
& - Hf_{12} \quad + Hf_{13} \quad + a_{13} \quad - a_{12} \quad = 0 \\
& \vdots \\
& - Hf_{1i} \quad + Hf_{1(i+1)} \quad + a_{1(i+1)} \quad - a_{1i} \quad = 0 \\
& \vdots \\
& - Hf_{1(n-1)} \quad + Hf_{1n} \quad + a_{1n} \quad - a_{1(n-1)} \quad = 0 \\
& Q_{11} + \dots + Q_{1i} + \dots + Q_{1n} \quad - Q_1 \quad = 0 \\
& - Hf_{111} \quad + Hf_{112} \quad + a_{112} \quad - a_{111} \quad = 0 \\
& - Hf_{112} \quad + Hf_{113} \quad + a_{113} \quad - a_{112} \quad = 0 \\
& \vdots \\
& - Hf_{11i} \quad + Hf_{11(i+1)} \quad + a_{11(i+1)} \quad - a_{11i} \quad = 0 \\
& \vdots \\
& - Hf_{11(n-1)} \quad + Hf_{11n} \quad + a_{11n} \quad - a_{11(n-1)} \quad = 0 \\
& Q_{111} + \dots + Q_{11i} + \dots + Q_{11n} \quad - Q_{11} \quad = 0 \\
& - Hf_{1j1} \quad + Hf_{1j2} \quad + a_{1j2} \quad - a_{1j1} \quad = 0 \\
& - Hf_{1j2} \quad + Hf_{1j3} \quad + a_{1j3} \quad - a_{1j2} \quad = 0 \\
& \vdots \\
& - Hf_{1ji} \quad + Hf_{1j(i+1)} \quad + a_{1j(i+1)} \quad - a_{1ji} \quad = 0 \\
& \vdots \\
& - Hf_{1j(n-1)} \quad + Hf_{1jn} \quad + a_{1jn} \quad - a_{1j(n-1)} \quad = 0 \\
& Q_{1j1} + \dots + Q_{1ji} + \dots + Q_{1jn} \quad - Q_{1j} \quad = 0 \\
& \vdots \\
& \text{etc.}
\end{aligned}$$

(6)

Après la connaissance du débit Q , les équations du type (2_i) permettent de calculer les hauteurs de charge totale aux points de jonction.

III METHODE DE NEWTON_RAPHSON

Cette partie de l'annexe () présente l'application de la méthode de Newton_Raphson à la résolution des systèmes d'équations établis dans le chapitre 3 du rapport.

III-1 Forme générale des systèmes d'équations

Chacun de ces systèmes peut se mettre sous la forme suivante:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_1(Q_1, Q_2, \dots, Q_j, \dots, Q_{n-1}, Q_n) = 0 \\ F_2(Q_1, Q_2, \dots, Q_j, \dots, Q_{n-1}, Q_n) = 0 \\ \vdots \\ F_i(Q_1, Q_2, \dots, Q_j, \dots, Q_{n-1}, Q_n) = 0 \\ \vdots \\ F_{n-1}(Q_1, Q_2, \dots, Q_j, \dots, Q_{n-1}, Q_n) = 0 \\ F_n(Q_1, Q_2, \dots, Q_j, \dots, Q_{n-1}, Q_n) = 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

Où pour $i=1, 2, \dots, n-1$, F_i est une fonction non linéaire de chacun des Q_j ($j=1, 2, \dots, n$); sauf F_n qui est une fonction linéaire de chacun des Q_j .

III-2 Méthode de résolution

La méthode de Newton_Raphson consiste à linéariser d'abord chaque fonction en se limitant aux termes contenant les dérivées premières dans le développement en série de Taylor.

Soit $Q = (Q_1, Q_2, \dots, Q_i, \dots, Q_n)$ le point autour duquel a lieu le développement et $dQ = (dQ_1, dQ_2, \dots, dQ_i, \dots, dQ_n)$ l'accroissement de la variable Q .

Pour chaque fonction F_i , nous avons :

$$F_i(Q+dQ) = F_i(Q) + (dF_i/dQ)dQ \quad (2)$$

avec

$$F_i(Q+dQ) = F_i((Q_1+dQ_1), (Q_2+dQ_2), \dots, (Q_n+dQ_n)) \quad (3)$$

et

$$(dF_i/dQ)dQ = (\partial F_i/\partial Q_1)dQ_1 + \dots + (\partial F_i/\partial Q_i)dQ_i + \dots + (\partial F_i/\partial Q_n)dQ_n \quad (4)$$

En posant

$$Q^{(k)} = Q \text{ et } Q^{(k+1)} = Q + dQ \quad (5)$$

l'itération de Newton_Raphson consiste en la relation suivante pour chaque fonction F_i :

$$F_i(Q+dQ) = 0 \quad (6)$$

Ce qui donne :

$$(dF_i/dQ) dQ = -F_i(Q). \quad (7)$$

En développant (6) pour une fonction (F_i), on obtient :

$$\begin{aligned} &(\partial F_i/\partial Q_1) dQ_1 + (\partial F_i/\partial Q_2) dQ_2 + \dots + (\partial F_i/\partial Q_j) dQ_j + \dots \\ &\dots + (\partial F_i/\partial Q_n) dQ_n = - F_i(Q_1, Q_2, \dots, Q_j, \dots, Q_n) \end{aligned} \quad (8)$$

Introduisons la notation

$\partial F_i = [(\partial F_i/\partial Q_j)](Q_1, Q_2, \dots, Q_j, \dots, Q_n)$: valeur de la dérivée partielle de

F_i par rapport à Q_j au point Q = (Q₁, Q₂, ..., Q_j, ..., Q_n) ;

et

F_i = F_i(Q₁, Q₂, ..., Q_j, ..., Q_n) : valeur de la fonction F_i au point

Q = (Q₁, Q₂, ..., Q_j, ..., Q_n).

Pour l'ensemble des F_i (i=1, 2, ..., j, ..., n) , la relation (8) peut se mettre sous la forme matricielle suivante:

$$\begin{bmatrix} \partial_1 F_1 & \partial_2 F_1 & \dots & \partial_j F_1 & \dots & \partial_n F_1 \\ \partial_1 F_2 & \partial_2 F_2 & \dots & \partial_j F_2 & \dots & \partial_n F_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \partial_1 F_i & \partial_2 F_i & \dots & \partial_j F_i & \dots & \partial_n F_i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \partial_1 F_n & \partial_2 F_n & \dots & \partial_j F_n & \dots & \partial_n F_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} dQ_1 \\ dQ_2 \\ \dots \\ dQ_j \\ \dots \\ dQ_n \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ F_i \\ \dots \\ F_n \end{bmatrix}$$

Jacobien

inconnues

2° membre

III-3 Algorithme

- 1/ Choisir les valeurs arbitraires de départ pour les débits
 $Q_j^{(0)} \quad j = 1, 2, \dots, n ;$
- 2/ Avec ces valeurs ; calculer les valeurs $F_i \quad i=1, 2, \dots, n$ et former le vecteur second membre;
- 3/ Calculer aussi les n^2 dérivées partielles $\partial_j F_i \quad j=1, 2, \dots, n$ et $i=1, 2, \dots, n$ et former le Jacobien;
- 4/ Résoudre le système précédent par une méthode simple et directe, et obtenir les dQ_j ;
- 5/ Calculer les nouvelles valeurs des débits
 $Q_j^{(1)} = Q_j^{(0)} + dQ_j ;$
- 6/ On recommence les étapes 2_3_4_5 jusqu'à ce que les $Q_j^{(k)}$ ne varient plus . k étant l'ordre ou le nombre d'itérations.

III-4 Détails des étapes de l'algorithme

III-4-1 Pour la zone d'aspiration

* Rappel des expressions de H_{fj} et H_{fj+1} (Voir équation 3-21)

$$H_{fj} = \sum_{i=1}^n [S_{i,1}(Q_j + QPP_i)^2 + S_{i,2}(Q_j + QP_i)^2] \quad (10)$$

En remplaçant (j) par (j+1) , on obtient H_{fj+1}

* Calcul du vecteur second membre : les termes F_j (voir équation 3-44)

$$F_j = -(a_j - a_{j+1}) + (\sum_{i=1}^n [S_{i,1}(Q_j + QPP_i)^2 + S_{i,2}(Q_j + QP_i)^2] - \sum_{i=1}^n [S_{i,1}(Q_{j+1} + QPP_i)^2 + S_{i,2}(Q_{j+1} + QP_i)^2]) = 0 \quad (11)$$

* Calcul du Jacobien

Comme $F_i(Q) = (\text{Constante} - H_{fj} + H_{fj+1})$ nous avons

$$\partial_j F_i = -\partial H_{fj} / \partial Q_j + \partial H_{fj+1} / \partial Q_j = -\partial H_{fj} / \partial Q_j \quad (12)$$

car $\partial H_{fj+1} / \partial Q_j = 0$;

$$\partial_{j+1} F_i = -\partial H_{fj} / \partial Q_{j+1} + \partial H_{fj+1} / \partial Q_{j+1} = \partial H_{fj+1} / \partial Q_{j+1} \quad (13)$$

car $\partial H_{fj} / \partial Q_{j+1} = 0$;

en particulier nous avons pour $j = 1, 2, \dots, n$

$$\partial_j F_n = 1 \text{ car } F_n(Q) = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_j + \dots + Q_n \quad (14)$$

Donc le Jacobien pour l'aspiration s'écrit :

$$\begin{bmatrix} -\partial H_{f1}/\partial Q_1 & \partial H_{f2}/\partial Q_1 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & -\partial H_{f2}/\partial Q_2 & \partial H_{f3}/\partial Q_2 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & 0 \\ \dots & \dots & 0 & -\partial H_{fj}/\partial Q_j & \partial H_{f_{j+1}}/\partial Q_j & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & -\partial H_{f_{n-1}}/\partial Q_{n-1} & \partial H_{fn}/\partial Q_n & \dots & 0 \\ 1 & 1 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Expression des termes $\partial H_{fj}/\partial Q_j$:

$$\partial H_{fj}/\partial Q_j = 2 \sum_{i=1}^n [S_{i,1}(Q_j + QP_i) + S_{i,2}(Q_j + QP_i)] \quad (15)$$

III-4-2 Pour la zone de refoulement

* Rappel des expressions de H_{fj} et H_{fj+1} (Voir équation 3-26)

$$H_{fj} = \sum_{i=1}^n [S_{i,1}(Q_j - QP'_i)^2 + S_{i,2}(Q_j - QP'_i)^2] \quad (16)$$

En remplaçant (j) par (j+1) , on obtient $H_{f_{j+1}}$

* Calcul du vecteur second membre : les termes F_j (voir équation 3-49)

$$F_j = (a_j - a_{j+1}) - (\sum_{i=1}^n [S_{i,1}(Q_j - QP'_i)^2 + S_{i,2}(Q_j - QPP'_i)^2] - \sum_{i=1}^n [S_{i,1}(Q_{j+1} - QP'_i)^2 + S_{i,2}(Q_{j+1} - QPP'_i)^2]) = 0 \quad (17)$$

* Calcul du Jacobien

Comme $F_i(Q) = (\text{Constante } H_{fj} - H_{fj+1})$ nous avons

$$\partial_j F_i = \partial H_{fj} / \partial Q_j - \partial H_{fj+1} / \partial Q_j = \partial H_{fj} / \partial Q_j \quad (18)$$

car $\partial H_{fj+1} / \partial Q_j = 0$;

$$\partial_{j+1} F_i = \partial H_{fj} / \partial Q_{j+1} - \partial H_{fj+1} / \partial Q_{j+1} = - \partial H_{j+1} / \partial Q_{j+1} \quad (19)$$

car $\partial H_j / \partial Q_{j+1} = 0$;

en particulier nous avons pour $j = 1, 2, \dots, n$

$$\partial_j F_n = 1 \quad (20)$$

car $F_n(Q) = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_j + \dots + Q_n$

Donc le Jacobien pour le refoulement s'écrit :

$$\begin{bmatrix}
 \frac{\partial H_{f1}}{\partial Q_1} & -\frac{\partial H_{f2}}{\partial Q_1} & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\
 0 & \frac{\partial H_{f2}}{\partial Q_2} & -\frac{\partial H_{f3}}{\partial Q_2} & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\
 \dots & 0 \\
 \dots & \dots & 0 & \frac{\partial H_{fj}}{\partial Q_j} & -\frac{\partial H_{f_{j+1}}}{\partial Q_j} & 0 & \dots & 0 \\
 \dots & 0 \\
 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \frac{\partial H_{f_{n-1}}}{\partial Q_{n-1}} & -\frac{\partial H_{f_n}}{\partial Q_n} & 0 \\
 1 & 1 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 1 & 1
 \end{bmatrix}$$

Expression des termes $\frac{\partial H_{fj}}{\partial Q_j}$:

$$\frac{\partial H_{fj}}{\partial Q_j} = 2 \sum_{i=1}^n [S_{i,1}(Q_j - QP'_i) + S_{i,2}(Q_j - QPP'_i)] \quad (21)$$

III-5 Test de convergence

Calculer

$$T = \left| \frac{\sum Q_i^{(k)}}{\sum Q_i^{(k+1)}} \right|$$

Nous avons trouvé dans la littérature que si $T \leq 10^{-2}$ alors il y a déjà convergence et on améliore la solution avec 2 à 4 itérations supplémentaires. Mais nous avons essayé avec succès $T \leq 10^{-4}$

ANNEXE A3 : LISTING DU PROGRAMME

Listing du programme principal (SBF)	A3-2
Listing du module SBF1	A3-9
Listing du module SBF2	A3-11
Listing du module SBF3	A3-14
Listing du module SBF3P	A3-20
Description sommaire de quelques unités	A3-47

{ \$M 65520,10,95360 }

{ \$F+ }

{*****}

{* PROGRAMME PRINCIPAL (SBF) *}

{*****}

USES DOS, CRT, CADRE, VARIPRIN, BIGNON, CONSTANT, BIBILO, VICTOR;

TYPE PARTOU = RECORD

Lect : STRING;

Gama : REAL;

visco : REAL;

Pesan : REAL;

Nomsta : STRING;

iterr : INTEGER;

texterr : REAL;

discret : INTEGER;

precisurQQ : REAL;

Dichotom : INTEGER;

Qfon : REAL;

Hfon : REAL;

Easpp : REAL;

Ereff : REAL;

END;

VAR

PARTOUT : PARTOU;

TMPR : ARRAY[1..8] OF STRING;

X, Y, Long, Haut, Csupg, Csupd, Cinf, Cinf, Apph, Appd, Appb, Appg : integer;

i, J, tampj, KJ : BYTE;

Fichconstante : FILE OF PARTOU;

Touche, Caroo : Char;

SC : Integer;

Ombre_Couleur, Ombre_Car_C, Cadre_Couleur : Byte;

PROCEDURE ReverseVideo(Etat: Boolean);

Begin

If Etat Then

Begin

TextColor(Black);

TextBackGround(White);

End

Else

Begin

TextColor(White);

TextBackGround(Black);

End

End;

Procedure Couleur(X1, Y1, X2, Y2, Fond, Ecrit: Byte; Man : Boolean);

Begin

```

If Man Then
  Begin
    Window(x1,y1,x2,y2);
    TextColor(Ecrit);
    TextBackGround(Fond);
    ClrScr;
    Window(1,1,80,25);
  End
Else
  Begin
    TextColor(Ecrit);
    TextBackGround(Fond);
  End;
End;

```

```

Procedure Cadre_Ombre (XX,YY,Longe,Lage,OmbC,OmbCarC,CaCo : Integer;
Caro : Char);
Begin

```

```

    X:=XX + 1; Y:= YY - 1; Long:=Longe;Haut:=
Lage;Csupg:=Ord(Caro);Csupd:=Ord(Caro);Cinfg:=Ord(Caro);

```

```

Cinfd:=Ord(Caro);apph:=Ord(Caro);appb:=Ord(Caro);appd:=Ord(Caro);
appg:=Ord(Caro);
Couleur(X,Y,X+Long,Y+Haut,OmbC,OmbCarC,True);
CADRE_fin(x,y,Long,Haut,CSupg,Csupd,CInfg,CInfd,apph,appb,appd,ap
pg);

```

```

    X:=XX - 1; Y:= YY + 1; Long:=Longe;Haut:=
Lage;Csupg:=Ord(Caro);Csupd:=Ord(Caro);Cinfg:=Ord(Caro);

```

```

Cinfd:=Ord(Caro);apph:=Ord(Caro);appb:=Ord(Caro);appd:=Ord(Caro);
appg:=Ord(Caro);
Couleur(X,Y,X+Long,Y+Haut,Black,Black,True);
CADRE_fin(x,y,Long,Haut,CSupg,Csupd,CInfg,CInfd,apph,appb,appd,ap
pg);

```

```

    X:=XX; Y:=YY; Long:=Longe; Haut:=Lage; Caro := '■';
Csupg:=Ord(Caro);Csupd:=Ord(Caro);Cinfg:=Ord(Caro);

```

```

Cinfd:=Ord(Caro);apph:=Ord(Caro);appb:=Ord(Caro);appd:=Ord(Caro);
appg:=Ord(Caro);
Couleur(X,Y,X+Long,Y+Haut,Black,Green,True);
CADRE_fin(x,y,Long,Haut,CSupg,Csupd,CInfg,CInfd,apph,appb,appd,ap
pg);

```

```

End;

```

```

PROCEDURE Present;
Var
  Longueur, Hauteur : Byte;
Begin

```

```

Couleur(1,1,80,25,Blue,Black,True);
X := 18; Y:= 5; Longueur := 42; Hauteur := 10; CarOO := ' ';
Ombre_Couleur := White;
Ombre_Car_C := Black;
Cadre_Couleur := Green;
Cadre_Ombre(X,Y,Longueur,Hauteur,Ombre_Couleur,Ombre_Car_c,Cadre_
Couleur,Caroo);
TextColor(LightGray);
GotoXY(X+13,Y+1);
GotoXY(X+16,Y+3);
GotoXY(X+11,Y+4);
GotoXY(X+07,Y+6);
GotoXY(X+15,Y+8);
Window(25,20,55,22);
TextBackGround(Black);
ClrScr;
TextColor(Yellow);
GotoXY(2,2); Write( ' Appuyez sur une touche ... ');
Repeat Until KeyPressed;
Window(1,1,80,25);
CurseurOff(SC);
CurseurOn(SC);
End;

```

```

PROCEDURE Tableau_Menu;

```

```

BEGIN

```

```

X:=20;Y:=2;Long:=38;Haut:=2;Csupg:=201;Csupd:=187;Cinfg:=200;
Cinfd:=188;apph:=205;appb:=205;appd:=186;appg:=186;

```

```

Message:= ' P R O G R A M M E E.P.T_POMPE ';

```

```

C a d r e _ f i n (
X,Y,Long,Hauteur,Csupg,Csupd,Cinfg,Cinfd,apph,appb,appd,appg);

```

```

GOTOXY(X+2,Y+1);WRITE(Message);

```

```

X:=23;Y:=5;Long:=32;Haut:=19;Csupg:=218;Csupd:=191;Cinfg:=192;
Cinfd:=217;apph:=196;appb:=196;appd:=179;appg:=179;

```

```

Message:=' M E N U P R I N C I P A L ';

```

```

ReverseVideo(True);

```

```

C a d r e _ f i n (
X,Y,Long,Hauteur,Csupg,Csupd,Cinfg,Cinfd,apph,appb,appd,appg);

```

{ \$M 65520,10,655360 }

{ \$O+,F+ }

```
{*****}
{*      MODULE SBF1      *}
{*****}
PROGRAM SBF1;
```

USES CRT, OVERLAY, DOS, CADRE, BIBILO, VARIGLOB, VARIPRIN, BIGNON,
CONSTANT, SIMON; { 2 AUTRES A VENIR }

```
TYPE PARTOU = RECORD
  Lect      : STRING;
  Gama      : REAL;
  visco     : REAL;
  Pesan     : REAL;
  Nomsta    : STRING;
  iterr     : INTEGER;
  texterr   : REAL;
  discret   : INTEGER;
  precisur  : REAL;
  Dichotom  : INTEGER;
  Qfon      : REAL;
  Hfon      : REAL;
  Easpp     : REAL;
  Ereff     : REAL;
END;
```

VAR

```
  PARTOUT      : PARTOU;
  KJ           : BYTE;
  FichConstante : FILE OF PARTOU;
```

PROCEDURE RAPPEL_CONSTANT2;

BEGIN

```
  ASSIGN(FichConstante, 'PARTOU');
  ($I-) RESET(FichConstante); ($I+)
  IF IORESULT = 0 THEN
```

BEGIN

```
    SEEK(FichConstante, 0);
    READ(FichConstante, PARTOUT);
    CLOSE(FichConstante);
```

END;

WITH PARTOUT DO

BEGIN

```
    Lecteur      := lect;
    Gamafluide    := Gama;
    viscocine     := visco;
    Pesanteur     := Pesan;
    Nomstation    := Nomsta;
    Iter          := Iterr;
    Texter        := Texterr;
```

```

Discret           := Discret;
PrecisurQ         := PrecisurQQ;
Dichotomiseur    := Dichotom;
Qsta              := Qfon;
Hsta              := Hfon;
Easpi             := Easpp;
Erefl             := Ereff;

```

```
END;
```

```
END; (RAPPEL_CONSTANT2)
```

```

($O CADRE      )
($O BIBILO     )
($O VARIGLOB   )
($O VARIPRIN   )
($O BIGNON     )
($O CONSTANT   )
($O SIMON      )

```

```
BEGIN
```

```
  OVRINIT('SBF1.OVR');
```

```
  IF OVRRESULT <> 0 THEN
```

```
    BEGIN
```

```
      WRITELN(' Erreur partiel      : ', OvrResult);
```

```
      HALT(1);
```

```
    END;
```

```
  RAPPEL_CONSTANT2;
```

```
  WITH PARTOUT DO Chemin:=lect+':\'+Nomsta;
(WRITE(Chemin);readln;)
```

```
  REVERSEVIDEO(false);
```

```
  CLRSCR;
```

```
  TEXTCOLOR(BLUE);
```

```
  GOTOXY(1,1);WRITE('':80);
```

```
  GOTOXY(1,2);WRITE('':80);
```

```
  TEXTCOLOR(GREEN);GOTOXY(1,1);WRITELN(' E P T_POMPE');
```

```
  TEXTCOLOR(WHITE);FOR KJ:=1 TO 20 DO WRITE(CHR(205));
```

```
  TEXTCOLOR(LIGHTGREEN);WRITE(' * Service Enregistrement des
données * ');
```

```
  TEXTCOLOR(WHITE);
```

```
  FOR KJ:=1 TO 20 DO WRITE(CHR(205));
```

```
  SAINTE_RITA;
```

```
END.
```

{ \$M 65520,10,655360 }

{ \$O+,F+ }

```
{*****}
{*      MODULE SBF2      *}
{*****}
```

PROGRAM SBF2;

USES CRT, OVERLAY, DOS, PRINTER, CADRE, VARIPRIN, BIBILO,
VARIGLOB, {BIGNON, CONSTANT, } SSTATION, SOEUR;
{bignon, CONSTANT, SIMON, 2 AUTRES A VENIR}

```
TYPE PARTOU = RECORD
  Lect      :STRING;
  Gama      :REAL;
  visco     :REAL;
  Pesan     :REAL;
  Nomsta    :STRING;
  iterr     :INTEGER;
  texterr   :REAL;
  discret   :INTEGER;
  precisurQ :REAL;
  Dichotom  :INTEGER;
  Qfon      :REAL;
  Hfon      :REAL;
  Easpp     :REAL;
  Ereff     :REAL;
```

END;

VAR

```
PARTOUT      : PARTOU;
TMPR         : ARRAY[1..6] OF STRING;
X, Y, Long, Haut, Csupg, Csupd, Cinf,
Cinfd, Apph, Appd, Appb, Appg      : integer;
i, J, tampj, KJ                    : BYTE;
Fichconstante                       : FILE OF PARTOU;
```

PROCEDURE STOCK_CONSTANT2;

BEGIN

WITH PARTOUT DO

BEGIN

```
Lect      :=Lecteur;
Gama      :=Gamafluide;
visco     :=viscocine;
Pesan     :=Pesanteur;
Nomsta    :=Nomstation;
iterr     :=Iter;
texterr   :=Texter;
discret   :=Discret;
precisurQ :=PrecisurQ;
Dichotom  :=Dichotomiseur;
```

```

    Qfon      :=Qsta;
    Hfon      :=Hsta;
    Easpp     :=Easpi;
    Ereff     :=Erefl;
END;
ASSIGN(FichConstante, 'PATOU');
{$I-} REWRITE(FichConstante); {$I+}
IF IORESULT = 0 THEN
BEGIN
    SEEK(FichConstante, 0);
    WRITE(FichConstante, PARTOUT);
    CLOSE(FichConstante);
END;
END; {(STOCK_CONSTANT2)}

PROCEDURE RAPPEL_CONSTANT2;

BEGIN
    ASSIGN(FichConstante, 'PATOU');
    {$I-} RESET(FichConstante); {$I+}
    IF IORESULT = 0 THEN
        BEGIN
            SEEK(FichConstante, 0);
            READ(FichConstante, PARTOUT);
            CLOSE(FichConstante);
        END;
    WITH PARTOUT DO
        BEGIN
            Lecteur      := lect;
            Gamafluide   := Gama;
            viscocine    := visco;
            Pesanteur    := Pesan;
            Nomstation   := Nomsta;
            Iter         := Iterr;
            Texter       := Texterr;
            Discret      := Discret;
            PrecisurQ    := PrecisurQQ;
            Dichotomiseur := Dichotom;
            Qsta         := Qfon;
            Hsta         := Hfon;
            Easpi        := Easpp;
            Erefl        := Ereff;
        END;
END;

END; {(RAPPEL_CONSTANT2)}

{$O CADRE }
{$O VARIGLOB}
{$O BIBILO }
{$O VARIPRIN}
{$O SOEUR }
{$O SSTATION}

```

```

BEGIN
  OVRINIT('SBF2.OVR');
  IF OVRRESULT <> 0 THEN
    BEGIN
      WRITELN(' Erreur partiel      : ', OvrResult);
      HALT(1);
    END;

  RAPPEL_CONSTANT2;

  WITH PARTOUT DO      Chemin:=lect+'\'+Nomsta;

  REVERSEVIDEO(false);

  CLRSCR;
  TEXTBACKGROUND(BLUE);
  GOTOXY(1,1);WRITE('':80);
  GOTOXY(1,2);WRITE('':80);
  TEXTCOLOR(GREEN);GOTOXY(1,1);WRITELN(' E P T_POMPE');
  GOTOXY(1,3);
  TEXTCOLOR(WHITE);FOR KJ:=1 TO 22 DO WRITE(CHR(205));
  TEXTCOLOR(LIGHTGREEN);WRITE(' * Service Traitement des
données * ');
  TEXTCOLOR(WHITE);
  FOR KJ:=1 TO 22 DO WRITE(CHR(205));
  POMPE_EQUIVALENTE;

POINT_DE_FONCTIONNEMENT(Qsta,Hsta,Easpi,Erefl,PrecisurQ,Dichotomi
seur);
  STOCK_CONSTANT2;
  CALCUL_DEBITS_CANALISATIONS(Debitini,Qsta,iter);

END.

```

```

($M 65520,95,600360)
($F+,O+)
{*****}
{          MODULE SBF3          }
{*****}

```

```
PROGRAM SBF3;
```

```
USES CRT,OVERLAY,VARIPRIN,BIBILO,ENTETEC1;
```

```
{****Les touches de bibilos doivent etre transferees dans
VARIPRIN ****}
```

```

TYPE PARTOU          = RECORD
  Lect               :STRING;
  Gama               :REAL;
  visco              :REAL;
  Pesan              :REAL;
  Nomsta             :STRING;
  iterr              :INTEGER;
  texterr            :REAL;
  discrette          :INTEGER;
  precisurQQ         :REAL;
  Dichotom           :INTEGER;
  Qfon               :REAL;
  Hfon               :REAL;
  Easpp              :REAL;
  Ereff              :REAL;

```

```
END;
```

```

VAR  PARTOUT          : PARTOU;
     CUBASPI          : CANALRESUL;
     l,m,il,j1,k1    : INTEGER;
     Touche,Ttouche  : CHAR;
     Tail             : INTEGER;
     Fichconstante   : FILE OF PARTOU;

```

```
PROCEDURE RAPPEL_CONSTANT3;
```

```
BEGIN
```

```

  ASSIGN(FichConstante,'PATOU');
  {$I-} RESET(Fichconstante); {$I+}
  IF IORESULT = 0 THEN
    BEGIN
      SEEK(Fichconstante,0);
      READ(Fichconstante,PARTOUT);
      CLOSE(Fichconstante);
    END;
  WITH PARTOUT DO
    BEGIN
      Lecteur          := lect;

```

```

Gamafluide      := Gama;
viscocine       := visco;
Pesanteur       := Pesan;
Nomstation      := Nomsta;
Iter            := Iterr;
Texter          := Texterr;
Discret         := Discret;
PrecisurQ       := PrecisurQQ;
Dichotomiseur   := Dichotom;
Qsta            := Qfon;
Hsta            := Hfon;
Easpi           := Easpp;
Erefl           := Ereff;

```

END;

END; (RAPPEL_CONSTANT3)

```

PROCEDURE REMPLICUB(sign:INTEGER;
                    VAR CUBE: CANALRESUL;
                    VAR Taille:INTEGER);

```

```

{*** Charge toutes les caractéristiques de toutes les
canalisations
dans un CUBE pour les calculs des divers parametres
Signe = 1 pour l'aspiration et -1 pour le refoulement
*****)

```

TYPE

DataV = RECORD

```

Champ0,
Champ1,
Champ2,
Champ3,
Champ4,
Champ5,
Champ6,
Champ7,
Champ8,
Champ9,
Champ10,
Champ11,
Champ12 : REAL;

```

END;

Datats = ARRAY[0..12] OF DataV;

VAR

```

Ligne           : DataV;
Nomfichlo       : FILE OF DATAV;
Nom1,Nom2,Nom3,Unite : STRING;
i,j,k           : INTEGER;
VERIF           : INTEGER;

```

```
BEGIN (principal)
```

```
IF Sign= 1 THEN Nom1:='AC';  
IF Sign=-1 THEN Nom1:='RC';  
Nom3:='C';
```

```
    (***) Pour la canalisation principale ****)
```

```
STR(0,Nom2);  
Unite:=Chemin+Nom1+Nom2+Nom3+'.DAT';  
ASSIGN(Nomfichlo,Unite);
```

```
($i-) RESET(Nomfichlo); ($i+)
```

```
IF IORESULT = 0 THEN
```

```
  BEGIN (1)
```

```
    SEEK(Nomfichlo,0);
```

```
    READ(Nomfichlo,Ligne);
```

```
    WITH Ligne DO
```

```
      BEGIN (2)
```

```
        CUBE[1,0,0]:=Champ0; (Numero)
```

```
        CUBE[2,0,0]:=Champ1; (Nombre de conduites composantes)
```

```
        CUBE[3,0,0]:=Champ2; (Easpiration (a) ou Erefoulement (r))
```

```
        CUBE[4,0,0]:=Champ3; (P aspiartion ou refoulement)
```

```
        CUBE[5,0,0]:=Champ4; (V aspiration ou refoulement)
```

```
        CUBE[6,0,0]:=Champ5; (Z aspiration ou refoulement)
```

```
        CUBE[7,0,0]:=Champ6; (Qentree pour sign=-1 et Qsortie pour
```

```
signe=1 )
```

```
      END; (2)
```

```
    FOR j:=1 TO TRUNC(CUBE[2,0,0]) DO
```

```
      BEGIN (2)
```

```
        CUBE[1,j,0]:=j; (Numero de la composante j)
```

```
        SEEK(Nomfichlo,j);
```

```
        READ(Nomfichlo,Ligne);
```

```
        WITH Ligne DO
```

```
          BEGIN (3)
```

```
            CUBE[2,j,0]:=Champ1; (D)
```

```
            CUBE[3,j,0]:=Champ2; (L1)
```

```
            CUBE[4,j,0]:=Champ3; (L2)
```

```
            CUBE[5,j,0]:=Champ10; (q)
```

```
            CUBE[6,j,0]:=Champ11; (QP)
```

```
            CUBE[7,j,0]:=Champ12; (QPP)
```

```
            CUBE[8,j,0]:=Champ8; (S1)
```

```
            CUBE[9,j,0]:=Champ9; (S2)
```

```
          END; (3)
```

```
        END; (2)
```

```
      END (1)
```

```
    ELSE WRITELN(' Fichier ',unite,' Non ouvrable ');
```

```
    (***) Pour les canalisations ramifiées s'il y en a *****)
```

```
VERIF:=10;
```

```
i:=1;
```

```
REPEAT (*)
```

```
  STR(i,Nom2);
```

```

Unite:=Chemin+Nom1+Nom2+Nom3+'.DAT';
ASSIGN(Nomfichlo,Unite);
{$I-}RESET(Nomfichlo);{$I+}
IF IORESULT = 0 THEN
  BEGIN {1}
    VERIF:=5;
    SEEK(Nomfichlo,0);
    READ(Nomfichlo,Ligne);
    WITH Ligne DO
      BEGIN {2}
        CUBE[1,0,i]:=Champ0; {Numero}
        CUBE[2,0,i]:=Champ1; {Nombre de conduites composantes}
        CUBE[3,0,i]:=Champ2; {Easpiration ou Erefoulement}
        CUBE[4,0,i]:=Champ3; {P aspiration ou refoulement}
        CUBE[5,0,i]:=Champ4; {V aspiration ou refoulement}
        CUBE[6,0,i]:=Champ5; {Z aspiration ou refoulement}
        CUBE[7,0,i]:=Champ6; {Q }
      END; {2}
    FOR j:=1 TO TRUNC(CUBE[2,0,i]) DO
      BEGIN {2}
        CUBE[1,j,i]:=j; {Numero de la composante j}
        SEEK(Nomfichlo,j);
        READ(Nomfichlo,Ligne);
        WITH Ligne DO
          BEGIN {3}
            CUBE[2,j,i]:=Champ1; {D}
            CUBE[3,j,i]:=Champ2; {L1}
            CUBE[4,j,i]:=Champ3; {L2}
            CUBE[5,j,i]:=Champ10; {q}
            CUBE[6,j,i]:=Champ11; {QP}
            CUBE[7,j,i]:=Champ12; {QPP}
            CUBE[8,j,i]:=Champ8; {S1}
            CUBE[9,j,i]:=Champ9; {S2}
          END; {3}
        END; {2}
        Taille:=i;
        INC(i);
      END {1}
    ELSE VERIF:=0;
    ( WRITE(' Taille = ',Taille);READLN; )
  UNTIL VERIF=0; { * }
END; {Principal}

```

```

PROCEDURE TRAITERCUBE_CAS(signes:INTEGER;
                          VAR CUBE :CANALRESUL;
                          VAR Taille:INTEGER;
                          VAR Qp :REAL;
                          VAR Easp :REAL;
                          VAR Eref :REAL);

```

```

{*** Fait les calculs des divers (resultats) parametres
des canalisation ***}

```

```

VAR i,j,k,l : INTEGER;
    Hft      : REAL;

BEGIN {Principal}

CASE signe OF

  1 : BEGIN {1}

      { **** Pour la canalisation principale **** }
      { Pour les cumuls }
      CUBE[8,0,0]:=0;   {Longueur totale}
      CUBE[10,0,0]:=0;  {Somme des prélevements}
      CUBE[13,0,0]:=0;  {Somme des pertes de charge}
      Hft:=0;
      {Cumule Hf }
      FOR J:=1 TO TRUNC(CUBE[2,0,0]) DO
      BEGIN {2}
          CUBE[10,j,0]:=Qp+CUBE[7,j,0]; {Qej}
          CUBE[11,j,0]:=CUBE[10,j,0]-CUBE[5,j,0]; {Qsj}

          CUBE[8,0,0]:=CUBE[8,0,0]+CUBE[3,j,0]+CUBE[4,j,0]; {Ltotale}
          CUBE[10,0,0]:=CUBE[10,0,0]+CUBE[5,j,0];{Prélevements}
          CUBE[13,j,0]:=CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0])
                      +CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]); {Hfj}

          {pour tenir compte du sens de
1'écoulement}
          IF CUBE[10,j,0]>=0 THEN
              Hft:= Hft-CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0]);

          IF CUBE[10,j,0]<0 THEN
              Hft:=Hft+CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0]);

          IF CUBE[11,j,0]<0 THEN
              Hft:= Hft+CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]);

          IF CUBE[11,j,0]>=0 THEN
              Hft:= Hft-CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]);

          { Hft:=Hft+CUBE[13,J,0];}{Hf totale}

      END; {2}

      FOR j:=1 TO TRUNC(CUBE[2,0,0]) DO
      BEGIN {2}
          IF j=1 THEN {&}
          BEGIN {3}
              CUBE[12,j,0]:=Easp-Hft;{CUBE[3,0,0];} {Pe = a pour j=1}

              CUBE[14,j,0]:=0;
          {pour tenir compte du sens de
1'écoulement}
          IF CUBE[10,j,0]>=0 THEN

```

```

CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]-CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0]);
IF CUBE[10,j,0]<0 THEN
  CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]+CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0]);
IF CUBE[11,j,0]<0 THEN
  CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]+CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]);
IF CUBE[11,j,0]>=0 THEN
  CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]-CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]);
      CUBE[14,j,0]:=CUBE[14,j,0]+CUBE[12,j,0]; {Psj}
{ CUBE[14,j,0]:=CUBE[12,j,0]-CUBE[13,j,0]; } {Psj}
  CUBE[13,0,0]:=CUBE[13,0,0]+CUBE[13,j,0]; {Cumul des Hf}
  END {3}
  ELSE {&}
  BEGIN {3}
    CUBE[12,j,0]:=CUBE[14,j-1,0]; {Pej = Psj-1}

    CUBE[14,j,0]:=0; {pour tenir compte du sens de
l'écoulement}
IF CUBE[10,j,0]>=0 THEN
  CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]-CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0]);
IF CUBE[10,j,0]<0 THEN
  CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]+CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0]);
IF CUBE[11,j,0]<0 THEN
  CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]+CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]);
IF CUBE[11,j,0]>=0 THEN
  CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]-CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]);
      CUBE[14,j,0]:=CUBE[14,j,0]+CUBE[12,j,0]; {Psj}
{ CUBE[14,j,0]:=CUBE[12,j,0]-CUBE[13,j,0]; } {Psj}
  CUBE[13,0,0]:=CUBE[13,0,0]+CUBE[13,j,0];
  END;{3}
END; {2}

CUBE[11,0,0]:=Qp; {CUBE[7,0,0];} {Débit a la sortie}
CUBE[9,0,0]:=CUBE[11,0,0]-CUBE[10,0,0]; {Débit a l'entrée}
CUBE[12,0,0]:=Easp-Hft; {CUBE[3,0,0];} {Pression a l'entrée}
CUBE[14,0,0]:=Easp; {CUBE[12,0,0]-CUBE[13,0,0];} {Pression a
la sortie}

(** Pour les canalisations Ramifiées s'il y en a)

```

```

IF Taille>0 THEN
  BEGIN {Taille}
    FOR i:=1 TO Taille DO
      BEGIN {2}
        {Pour les cumuls}
        CUBE[8,0,i]:=0; {Longueur totale}
        CUBE[10,0,i]:=0; {Somme des prélevements}
        CUBE[13,0,i]:=0; {Somme des pertes de charge}
        FOR j:=1 TO TRUNC(CUBE[2,0,i]) DO
          BEGIN {3}
            CUBE[10,j,i]:=CUBE[7,0,i]+CUBE[7,j,i]; {Qe j}
            CUBE[11,j,i]:=CUBE[10,j,i]-CUBE[5,j,i]; {Qs j}
            CUBE[8,0,i]:=CUBE[8,0,i]+CUBE[3,j,i]+CUBE[4,j,i];
          (Ltotale)
            CUBE[10,0,i]:=CUBE[10,0,i]+CUBE[5,j,i]; {Cumul des q}
            IF j=1 THEN {&}
              BEGIN {4}
                CUBE[12,j,i]:=CUBE[3,0,i]; {Pe = a pour j=1}
                CUBE[13,j,i]:=CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i])
                  +CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]); {Hf j}

                CUBE[14,j,i]:=0;
                  {pour tenir compte du sens de
1'écoulement}
                IF CUBE[10,j,i]>=0 THEN
                  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]-CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i]);

                IF CUBE[10,j,i]<0 THEN
                  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]+CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i]);

                IF CUBE[11,j,i]<0 THEN
                  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]+CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]);

                IF CUBE[11,j,i]>=0 THEN
                  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]-CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]);

                CUBE[14,j,i]:=CUBE[14,j,i]+CUBE[12,j,i]; {Ps j}

                CUBE[13,0,i]:=CUBE[13,0,i]+CUBE[13,j,i];{Cumul de Hf}
              END {4}
            ELSE {&}
              BEGIN {4}
                CUBE[12,j,i]:=CUBE[14,j-1,i]; {Pe j = Ps j-1}
                CUBE[13,j,i]:=CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i])
                  +CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]); {Hf j}

                CUBE[14,j,i]:=0;
                  {pour tenir compte du sens de
1'écoulement}
                IF CUBE[10,j,i]>=0 THEN
                  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]-CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i]);

```

```

IF CUBE[10,j,i]<0 THEN
  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]+CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i]);
IF CUBE[11,j,i]<0 THEN
  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]+CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]);
IF CUBE[11,j,i]>=0 THEN
  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]-CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]);
      CUBE[14,j,i]:=CUBE[14,j,i]+CUBE[12,j,i];  {Psj}
      CUBE[13,0,i]:=CUBE[13,0,i]+CUBE[13,j,i];
      END; {4}
      END; {3}
      CUBE[11,0,i]:=CUBE[7,0,i]; {Débit a la sortie}
      CUBE[9,0,i]:=CUBE[11,0,i]-CUBE[10,0,i]; {Débit a l'entrée}
      CUBE[12,0,i]:=CUBE[3,0,i]; {Pression a l'entrée de la 1e
conduite}
      CUBE[14,0,i]:=CUBE[14,TRUNC(CUBE[2,0,i]),i];
      {Pression à la sortie de sa dernière conduite}
      END; {2}
      END; {taille}

      END; {1}{CASE 1}

```

```
-1 : BEGIN {1}
```

```
{***Pour la canalisation principale *****)
```

```
{Pour les cumuls}
```

```

CUBE[8,0,0]:=0;  {Longueur totale}
CUBE[10,0,0]:=0;  {Somme des prélevements}
CUBE[13,0,0]:=0;  {Somme des pertes de charge}
l:=TRUNC(CUBE[2,0,0]);
FOR j:=1 TO l DO

```

```
  BEGIN {2}
```

```
    IF j=1 THEN
```

```
      BEGIN
```

```

        CUBE[10,j,0]:=Qp; {CUBE[7,0,0]-CUBE[6,j,0];} {Qej}
        CUBE[11,j,0]:=CUBE[10,j,0]-CUBE[5,j,0]; {Qsj}
        CUBE[13,j,0]:=CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0])
          +CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]); {Hfj}

```

```

        CUBE[8,0,0]:=CUBE[8,0,0]+CUBE[3,j,0]+CUBE[4,j,0];
        CUBE[10,0,0]:=CUBE[10,0,0]+CUBE[5,j,0];
        CUBE[13,0,0]:=CUBE[13,0,0]+CUBE[13,j,0];

```

```
      END
```

```
    ELSE
```

```
      BEGIN
```

```

        CUBE[10,j,0]:=CUBE[11,j-1,0];{-CUBE[6,j,0];} {Qej=Qsj-1}
        CUBE[11,j,0]:=CUBE[10,j,0]-CUBE[5,j,0]; {Qsj}
        CUBE[13,j,0]:=CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0])
          +CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]); {Hfj}

```

```

        CUBE[8,0,0]:=CUBE[8,0,0]+CUBE[3,j,0]+CUBE[4,j,0];

```

```

    CUBE[10,0,0]:=CUBE[10,0,0]+CUBE[5,j,0];
    CUBE[13,0,0]:=CUBE[13,0,0]+CUBE[13,j,0];
END;
END; {2}

FOR j:=1 TO TRUNC(CUBE[2,0,0]) DO
BEGIN {2}
  IF j=1 THEN {&}
  BEGIN {3}
    CUBE[12,j,0]:= Eref;{CUBE[3,0,0]-Hft;} {Pej = Eref pour
j=1}

    CUBE[14,j,0]:=0;
                                {pour tenir compte du sens de
l'écoulement}
    IF CUBE[10,j,0]>=0 THEN
      CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]-CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0]);

    IF CUBE[10,j,0]<0 THEN
      CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]+CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0]);

    IF CUBE[11,j,0]<0 THEN
      CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]+CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]);

    IF CUBE[11,j,0]>=0 THEN
      CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]-CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]);

      CUBE[14,j,0]:=CUBE[14,j,0]+CUBE[12,j,0]; {Psj}
{ CUBE[14,j,0]:=CUBE[12,j,0]-CUBE[13,j,0];} {Psj}

    END {3}
  ELSE {&}
  BEGIN {3}
    CUBE[12,j,0]:=CUBE[14,j-1,0]; {Pej = Psj-1}

    CUBE[14,j,0]:=0;
                                {pour tenir compte du sens de
l'écoulement}
    IF CUBE[10,j,0]>=0 THEN
      CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]-CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0]);

    IF CUBE[10,j,0]<0 THEN
      CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]+CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0]);

    IF CUBE[11,j,0]<0 THEN
      CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]+CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]);

    IF CUBE[11,j,0]>=0 THEN
      CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]-CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]);

      CUBE[14,j,0]:=CUBE[14,j,0]+CUBE[12,j,0]; {Psj}

```

```

( CUBE[14,j,0]:=CUBE[12,j,0]-CUBE[13,j,0]; ) (Psj)

    END;(3)
END; (2)
CUBE[9,0,0]:= Qp; (CUBE[7,0,0]); (Débit a l'entrée)
CUBE[11,0,0]:=CUBE[9,0,0]-CUBE[10,0,0]; (Débit a la sortie)
CUBE[14,0,0]:=CUBE[3,0,0]; (Pression a la sortie)
CUBE[12,0,0]:=CUBE[12,1,0];
    (Pression l'entrée de sa première conduite)

(** Pour les canalisations Ramifiées s'il y en a)

IF Taille>0 THEN

FOR i:=1 TO Taille DO
    BEGIN (Taille)
        (Pour les cumuls)
        CUBE[8,0,i]:=0; (Longueur totale)
        CUBE[10,0,i]:=0; (Somme des prélèvements)
        CUBE[13,0,i]:=0; (Somme des pertes de charge)
        FOR j:=1 TO TRUNC(CUBE[2,0,i]) DO
            BEGIN (2)
                CUBE[10,j,i]:=CUBE[7,0,i]+CUBE[7,j,i]; (Qej)
                CUBE[11,j,i]:=CUBE[10,j,i]-CUBE[5,j,i]; (Qsj)
                CUBE[8,0,i]:=CUBE[8,0,i]+CUBE[3,j,i]+CUBE[4,j,i];
                CUBE[10,0,i]:=CUBE[10,0,i]+CUBE[5,j,i];
                IF j=1 THEN (&)
                    BEGIN (3)
                        CUBE[12,j,i]:=CUBE[14,1,0]; (Pe = r principal pour j=1)
                        CUBE[13,j,i]:=CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i])
                            +CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]); (Hfj)
                    ( CUBE[14,j,i]:=CUBE[12,j,i]-CUBE[13,j,i]; ) (Psj)
                        CUBE[13,0,i]:=CUBE[13,0,i]+CUBE[13,j,i];

                        CUBE[14,j,i]:=0;
                            (pour tenir compte du sens de
l'écoulement)
                    IF CUBE[10,j,i]>=0 THEN
                        CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]-CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i]);

                    IF CUBE[10,j,i]<0 THEN
                        CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]+CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i]);

                    IF CUBE[11,j,i]<0 THEN
                        CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]+CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]);

                    IF CUBE[11,j,i]>=0 THEN
                        CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]-CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]);

                            CUBE[14,j,i]:=CUBE[14,j,i]+CUBE[12,j,i]; (Psj)

                    END (3)
                ELSE (&)

```

```

BEGIN {3}
  CUBE[12,j,i]:=CUBE[14,j-1,i]; {Pej = Psj-1}
  CUBE[13,j,i]:=CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i])
    +CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]); {Hfj}
{ CUBE[14,j,i]:=CUBE[12,j,i]-CUBE[13,j,i]; } {Psj}
  CUBE[13,0,i]:=CUBE[13,0,i]+CUBE[13,j,i];

  CUBE[14,j,i]:=0;
                                {pour tenir compte du sens de
l'écoulement}
IF CUBE[10,j,i]>=0 THEN
  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]-CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i]);

IF CUBE[10,j,i]<0 THEN
  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]+CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i]);

IF CUBE[11,j,i]<0 THEN
  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]+CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]);

IF CUBE[11,j,i]>=0 THEN
  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]-CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]);
    CUBE[14,j,i]:=CUBE[14,j,i]+CUBE[12,j,i]; {Psj}
  END;{3}
END; {2}
CUBE[9,0,i]:=CUBE[7,0,i]; {Débit a l'entrée}
CUBE[11,0,i]:=CUBE[9,0,i]-CUBE[10,0,i]; {Débit a la sortie}
CUBE[14,0,i]:=CUBE[3,0,i]; {Pression a la sortie}
CUBE[12,0,i]:=CUBE[12,1,i]; {Pression à l'entrée de sa
première conduite}
END; {Taille}
END; {CASE -1}

END;{Case OF}

END; {PROCEDURE}

```

```

PROCEDURE AFFICHE_ELEMENT_CUBE(VAR doup      : INTEGER;
                               VAR CUBE      : CANALRESUL;
                               VAR i         : INTEGER);

```

```

  {** fait l'affichage des éléments du cube suivant que l'on veut
voir
  les débits ou les pressions (i = indice de l'élément a
afficher)*****}

```

```

  VAR j : INTEGER;

```

```

  BEGIN

```

```

    CASE doup OF

```

```

1 : BEGIN (CASE = 1 pour les pressions)
  FOR j:=1 TO TRUNC(CUBE[2,0,i]) DO
    BEGIN (1)
      GOTOXY(2,15+j); WRITE(j:2); {N°}
      GOTOXY(10,15+j);WRITE(CUBE[2,j,i]:4:2); {D}
      GOTOXY(21,15+j);WRITE(CUBE[8,j,i]:5:2); {S1}
      GOTOXY(33,15+j);WRITE(CUBE[9,j,i]:5:2); {S2}
      GOTOXY(44,15+j);WRITE(CUBE[12,j,i]:4:3); {Pression
Entrée)}
      GOTOXY(58,15+j);WRITE(CUBE[13,j,i]:4:3); {Pertes de
charge)}
      GOTOXY(71,15+j);WRITE(CUBE[14,j,i]:4:3); {Pression
sortie)}
    END;(1)
    GOTOXY(54,8);WRITE(CUBE[8,0,i]:4:2); {longueur totale}
    GOTOXY(54,9);WRITE(CUBE[12,0,i]:4:2); {Pression Entrée}
    GOTOXY(54,10);WRITE(CUBE[13,0,i]:4:2); {Pertes de
charge)}
    GOTOXY(54,11);WRITE(CUBE[14,0,i]:4:2); {Pression
Sortie)}
  END;(CASE = 1)

2 : BEGIN (CASE = 2 Pour les Débits)
  FOR j:=1 TO TRUNC(CUBE[2,0,i]) DO
    BEGIN (1)
      GOTOXY(2,15+j);WRITE(j:2); {n°}
      GOTOXY(10,15+j);WRITE(CUBE[2,j,i]:4:2);{D}
      GOTOXY(21,15+j);WRITE(CUBE[3,j,i]:5:2);{L1}
      GOTOXY(33,15+j);WRITE(CUBE[4,j,i]:5:2); {L2}
      GOTOXY(44,15+j);WRITE(CUBE[10,j,i]:4:3); {Débit
Entrée)}
      GOTOXY(58,15+j);WRITE(CUBE[5,j,i]:4:3); {prélevement}
      GOTOXY(71,15+j);WRITE(CUBE[11,j,i]:4:3); {Débit
sortie)}
    END;(1)
    GOTOXY(54,8);WRITE(CUBE[8,0,i]:4:2); {long totale}
    GOTOXY(54,9);WRITE(CUBE[9,0,i]:4:2); {Débit entrée}
    GOTOXY(54,10);WRITE(CUBE[10,0,i]:4:2);{Prélevements}
    GOTOXY(54,11);WRITE(CUBE[11,0,i]:4:2);{Débits Sortie}
  END; (CASE = 2)

END;(CASE OF )

END;

PROCEDURE RESULTATS_POUR_CANALISATIONS (sgne:INTEGER);

BEGIN

```

```

Tail:=0;
REPLICUB(sgne, CUBASPI, tail);
TRAITERCUBE_CAS(sgne, CUBASPI, Tail, Qsta, Easpi, Erefl);

l:=0;
m:=2;

IF sgne=1 THEN ENT_CANASPI_D;
IF sgne=-1 THEN ENT_CANREF_D;
GOTOXY(54, 7);WRITE(1:2);
AFFICHE_ELEMENT_CUBE(m, CUBASPI, 1);

REPEAT;

Touche:=READKEY;

IF (Touche=F2) AND (m=1) THEN
BEGIN
  INC(m);
  CLRSCR;
  IF sgne=1 THEN ENT_CANASPI_D;
  IF sgne=-1 THEN ENT_CANREF_D;
  GOTOXY(54, 7);WRITE(1:2);
  AFFICHE_ELEMENT_CUBE(m, CUBASPI, 1);
END;

IF (Touche=F1) AND (m=2) THEN
BEGIN
  DEC(m);
  CLRSCR;
  IF sgne=1 THEN ENT_CANASPI_P;
  IF sgne=-1 THEN ENT_CANREF_P;
  GOTOXY(54, 7);WRITE(1:2);
  AFFICHE_ELEMENT_CUBE(m, CUBASPI, 1);
END;

IF (Touche=PageUp) AND (m=1) THEN
BEGIN
  DEC(1);IF l<0 THEN l:=tail; (Taille;)
  CLRSCR;
  IF sgne=1 THEN ENT_CANASPI_P;
  IF sgne=-1 THEN ENT_CANREF_P;
  GOTOXY(54, 7);WRITE(1:2);
  AFFICHE_ELEMENT_CUBE(m, CUBASPI, 1);
END;

IF (Touche=PageUp) AND (m=2) THEN
BEGIN
  DEC(1);IF l<0 THEN l:=tail; (Taille;)
  CLRSCR;
  IF sgne=1 THEN ENT_CANASPI_D;

```

```

    IF sgne=-1 THEN ENT_CANREF_D;
    GOTOXY(54,7);WRITE(1:2);
    AFFICHE_ELEMENT_CUBE(m,CUBASPI,1);
END;

IF (Touche=PageDn) AND (m=2) THEN
BEGIN
    INC(1); IF l>tail {Taille} THEN l:=0;
    CLRSCR;
    IF sgne=1 THEN ENT_CANASPI_D;
    IF sgne=-1 THEN ENT_CANREF_D;
    GOTOXY(54,7);WRITE(1:2);
    AFFICHE_ELEMENT_CUBE(m,CUBASPI,1);
END;

IF (Touche=PageDn) AND (m=1) THEN
BEGIN
    INC(1); IF l>tail {Taille} THEN l:=0;
    CLRSCR;
    IF sgne=1 THEN ENT_CANASPI_P;
    IF sgne=-1 THEN ENT_CANREF_P;
    GOTOXY(54,7);WRITE(1:2);
    AFFICHE_ELEMENT_CUBE(m,CUBASPI,1);
END;

UNTIL Touche=Escape;

END;{RESULTATS_POUR_CANALISATION}

PROCEDURE ASRE;
Var Touche : Char;
Begin
    CLRSCR;
    RESULTATS_POUR_CANALISATIONS(1);
    repeat
    Touche := ReadKey;
    If Touche = F3 Then
    Begin
    CLRSCR;
    RESULTATS_POUR_CANALISATIONS(1);
    End;
    If Touche = F4 Then
    Begin
    CLRSCR;
    RESULTATS_POUR_CANALISATIONS(-1);
    End;
    Until Touche = F5;
End;

{$O VARIPRIN}
{$O BIBILO }
{$O ENTETEC1}

```

```
BEGIN (SBF3)
OVRINIT('SBF3.OVR');
IF OVRRESULT<>0 THEN
  BEGIN
    WRITE(' Erreur de rcouvrement partiel ',ovrresult,' ...');
    HALT(1);
  END;

  RAPPEL_CONSTANT3;
  WITH PARTOUT DO
    BEGIN
      Chemin:=lect+':\'+Nomsta;
    END;

  CLRSCR;
  ASRE;
END. (PROGRAMME)
```

```

($M 65520,10,655360)
{*****}
{**          MODULE SBF3P          **}
{*****}

```

```
PROGRAM SBF3P;
```

```
USES CRT, PRINTER, VARIPRIN, BIBILO;
```

```

TYPE PARTOU          = RECORD
  Lect               : STRING;
  Gama               : REAL;
  Visco              : REAL;
  Pesan              : REAL;
  Nomsta             : STRING;
  iterr              : INTEGER;
  texterr            : REAL;
  discrette          : INTEGER;
  precisurQQ         : REAL;
  Dichotom           : INTEGER;
  Qfon               : REAL;
  Hfon               : REAL;
  Easpp              : REAL;
  Ereff              : REAL;
END;

```

```

VAR
  PARTOUT            : PARTOU;
  CUBASPI            : CANALRESUL;
  l,m,i1,j1,k1      : INTEGER;
  Touche,Ttouche    : CHAR;
  Tail               : INTEGER;
  Fichconstante     : FILE OF PARTOU;
  Mess               : STRING;
  CI                 : BYTE;

```

```
PROCEDURE RAPPEL_CONSTANT3;
```

```

BEGIN
  ASSIGN(Fichconstante,'PATOU');
  ($I-) RESET(Fichconstante); ($I+)
  IF IORESULT = 0 THEN
    BEGIN
      SEEK(Fichconstante,0);
      READ(Fichconstante,PARTOUT);
      CLOSE(Fichconstante);
    END;
  WITH PARTOUT DO
    BEGIN
      Lecteur           := lect;
      Gamafluide        := Gama;
    END;

```

```

ASSIGN(Nomfichlo,Unite);
{$I-}RESET(Nomfichlo);{$I+}
IF IORESULT = 0 THEN
  BEGIN {1}
    VERIF:=5;
    SEEK(Nomfichlo,0);
    READ(Nomfichlo,Ligne);
    WITH Ligne DO
      BEGIN {2}
        CUBE[1,0,i]:=Champ0; {Numero}
        CUBE[2,0,i]:=Champ1; {Nombre de conduites composantes}
        CUBE[3,0,i]:=Champ2; {Easpiration ou Erefoulement}
        CUBE[4,0,i]:=Champ3; {P aspiartion ou refoulement}
        CUBE[5,0,i]:=Champ4; {V aspiration ou refoulement}
        CUBE[6,0,i]:=Champ5; {Z aspiration ou refoulement}
        CUBE[7,0,i]:=Champ6; {Q }
      END; {2}
    FOR j:=1 TO TRUNC(CUBE[2,0,i]) DO
      BEGIN {2}
        CUBE[1,j,i]:=j; {Numero de la composante j}
        SEEK(Nomfichlo,j);
        READ(Nomfichlo,Ligne);
        WITH Ligne DO
          BEGIN {3}
            CUBE[2,j,i]:=Champ1; {D}
            CUBE[3,j,i]:=Champ2; {L1}
            CUBE[4,j,i]:=Champ3; {L2}
            CUBE[5,j,i]:=Champ10; {q}
            CUBE[6,j,i]:=Champ11; {QP}
            CUBE[7,j,i]:=Champ12; {QPP}
            CUBE[8,j,i]:=Champ8; {S1}
            CUBE[9,j,i]:=Champ9; {S2}
          END; {3}
        END; {2}
        Taille:=i;
        INC(i);
      END {1}
    ELSE VERIF:=0;
    { WRITE(' Taille = ',Taille);READLN;}
  UNTIL VERIF=0; {*}
END; {Principal}

```

```

PROCEDURE TRAITERCUBE_CAS(signe:INTEGER;
                          VAR CUBE :CANALRESUL;
                          VAR Taille:INTEGER;
                          VAR Qp :REAL;
                          VAR Easp :REAL;
                          VAR Eref :REAL);
  (** Fait les calculs des divers (resultats) parametres
  des canalisation **)

```

```

CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]-CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0]);
IF CUBE[10,j,0]<0 THEN
  CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]+CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0]);
IF CUBE[11,j,0]<0 THEN
  CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]+CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]);
IF CUBE[11,j,0]>=0 THEN
  CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]-CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]);
      CUBE[14,j,0]:=CUBE[14,j,0]+CUBE[12,j,0]; {Psj}
{ CUBE[14,j,0]:=CUBE[12,j,0]-CUBE[13,j,0]; } {Psj}
      CUBE[13,0,0]:=CUBE[13,0,0]+CUBE[13,j,0]; {Cumul des Hf}
      END {3}
      ELSE {&}
      BEGIN {3}
      CUBE[12,j,0]:=CUBE[14,j-1,0]; {Pej = Psj-1}

      CUBE[14,j,0]:=0;
      {pour tenir compte du sens de
l'écoulement}
IF CUBE[10,j,0]>=0 THEN
  CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]-CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0]);
IF CUBE[10,j,0]<0 THEN
  CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]+CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0]);
IF CUBE[11,j,0]<0 THEN
  CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]+CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]);
IF CUBE[11,j,0]>=0 THEN
  CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]-CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]);
      CUBE[14,j,0]:=CUBE[14,j,0]+CUBE[12,j,0]; {Psj}
{ CUBE[14,j,0]:=CUBE[12,j,0]-CUBE[13,j,0]; } {Psj}
      CUBE[13,0,0]:=CUBE[13,0,0]+CUBE[13,j,0];
      END; {3}
      END; {2}

      CUBE[11,0,0]:=Qp; {CUBE[7,0,0];} {Débit a la sortie}
      CUBE[9,0,0]:=CUBE[11,0,0]-CUBE[10,0,0]; {Débit a l'entrée}
      CUBE[12,0,0]:=Easp-Hft; {CUBE[3,0,0];} {Pression a l'entrée}
      CUBE[14,0,0]:=Easp; {CUBE[12,0,0]-CUBE[13,0,0];} {Pression a
la sortie}

      (** Pour les canalisations Ramifiées s'il y en a)

```

```

IF Taille>0 THEN
  BEGIN (Taille)
    FOR i:=1 TO Taille DO
      BEGIN (2)
        {Pour les cumuls}
        CUBE[8,0,i]:=0; {Longueur totale}
        CUBE[10,0,i]:=0; {Somme des prélevements}
        CUBE[13,0,i]:=0; {Somme des pertes de charge}
        FOR j:=1 TO TRUNC(CUBE[2,0,i]) DO
          BEGIN (3)
            CUBE[10,j,i]:=CUBE[7,0,i]+CUBE[7,j,i]; {Qej}
            CUBE[11,j,i]:=CUBE[10,j,i]-CUBE[5,j,i]; {Qsj}
            CUBE[8,0,i]:=CUBE[8,0,i]+CUBE[3,j,i]+CUBE[4,j,i];
(Ltotale) CUBE[10,0,i]:=CUBE[10,0,i]+CUBE[5,j,i]; {Cumul des q}
            IF j=1 THEN (&)
              BEGIN (4)
                CUBE[12,j,i]:=CUBE[3,0,i]; {Pe = a pour j=1}
                CUBE[13,j,i]:=CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i])
                  +CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]); {Hfj}

                CUBE[14,j,i]:=0;
                {pour tenir compte du sens de
l'écoulement}
                IF CUBE[10,j,i]>=0 THEN
                  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]-CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i]);
                IF CUBE[10,j,i]<0 THEN
                  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]+CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i]);
                IF CUBE[11,j,i]<0 THEN
                  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]+CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]);
                IF CUBE[11,j,i]>=0 THEN
                  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]-CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]);

                CUBE[14,j,i]:=CUBE[14,j,i]+CUBE[12,j,i]; {Psj}

                CUBE[13,0,i]:=CUBE[13,0,i]+CUBE[13,j,i];{Cumul de Hf}
              END (4)
            ELSE (&)
              BEGIN (4)
                CUBE[12,j,i]:=CUBE[14,j-1,i]; {Pej = Psj-1}
                CUBE[13,j,i]:=CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i])
                  +CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]); {Hfj}

                CUBE[14,j,i]:=0;
                {pour tenir compte du sens de
l'écoulement}
                IF CUBE[10,j,i]>=0 THEN
                  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]-CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i]);

```

```

IF CUBE[10,j,i]<0 THEN
  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]+CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i]);
IF CUBE[11,j,i]<0 THEN
  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]+CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]);
IF CUBE[11,j,i]>=0 THEN
  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]-CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]);
      CUBE[14,j,i]:=CUBE[14,j,i]+CUBE[12,j,i];  {Psj}
      CUBE[13,0,i]:=CUBE[13,0,i]+CUBE[13,j,i];
      END;{4}
      END; {3}
      CUBE[11,0,i]:=CUBE[7,0,i]; {Débit a la sortie}
      CUBE[9,0,i]:=CUBE[11,0,i]-CUBE[10,0,i]; {Débit a l'entrée}
      CUBE[12,0,i]:=CUBE[3,0,i]; {Pression a l'entrée de la 1°
conduite}
      CUBE[14,0,i]:=CUBE[14,TRUNC(CUBE[2,0,i]),i];
      {Pression à la sortie de sa dernière conduite}
      END;{2}
      END; {taille}
      END;{1}{CASE 1}

```

```

-1 : BEGIN {1}

```

```

{****Pour la canalisation principale *****)

```

```

  {Pour les cumuls}

```

```

  CUBE[8,0,0]:=0;  {Longueur totale}
  CUBE[10,0,0]:=0;  {Somme des prélèvements}
  CUBE[13,0,0]:=0;  {Somme des pertes de charge}
  l:=TRUNC(CUBE[2,0,0]);
  FOR j:=1 TO l DO

```

```

    BEGIN {2}

```

```

      IF j=1 THEN

```

```

        BEGIN

```

```

          CUBE[10,j,0]:=Qp; {CUBE[7,0,0]-CUBE[6,j,0];} {Qej}
          CUBE[11,j,0]:=CUBE[10,j,0]-CUBE[5,j,0]; {Qsj}
          CUBE[13,j,0]:=CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0])
            +CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]); {Hfj}

```

```

          CUBE[8,0,0]:=CUBE[8,0,0]+CUBE[3,j,0]+CUBE[4,j,0];
          CUBE[10,0,0]:=CUBE[10,0,0]+CUBE[5,j,0];
          CUBE[13,0,0]:=CUBE[13,0,0]+CUBE[13,j,0];

```

```

        END

```

```

      ELSE

```

```

        BEGIN

```

```

          CUBE[10,j,0]:=CUBE[11,j-1,0];{-CUBE[6,j,0];} {Qej=Qsj-1}
          CUBE[11,j,0]:=CUBE[10,j,0]-CUBE[5,j,0]; {Qsj}
          CUBE[13,j,0]:=CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0])
            +CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]); {Hfj}

```

```

          CUBE[8,0,0]:=CUBE[8,0,0]+CUBE[3,j,0]+CUBE[4,j,0];

```

```

    CUBE[10,0,0]:=CUBE[10,0,0]+CUBE[5,j,0];
    CUBE[13,0,0]:=CUBE[13,0,0]+CUBE[13,j,0];
  END;
END;(2)

FOR j:=1 TO TRUNC(CUBE[2,0,0]) DO
  BEGIN (2)
    IF j=1 THEN (&)
      BEGIN (3)
        CUBE[12,j,0]:= Eref;{CUBE[3,0,0]-Hft;} {Pej = Eref pour
j=1}

          CUBE[14,j,0]:=0;
                                {pour tenir compte du sens de
l'écoulement}
        IF CUBE[10,j,0]>=0 THEN
          CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]-CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0]);

        IF CUBE[10,j,0]<0 THEN
          CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]+CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0]);

        IF CUBE[11,j,0]<0 THEN
          CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]+CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]);

        IF CUBE[11,j,0]>=0 THEN
          CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]-CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]);

          CUBE[14,j,0]:=CUBE[14,j,0]+CUBE[12,j,0]; {Psj}

        { CUBE[14,j,0]:=CUBE[12,j,0]-CUBE[13,j,0];} {Psj}

      END (3)
    ELSE (&)
      BEGIN (3)
        CUBE[12,j,0]:=CUBE[14,j-1,0]; {Pej = Psj-1}

        CUBE[14,j,0]:=0;
                                {pour tenir compte du sens de
l'écoulement}
        IF CUBE[10,j,0]>=0 THEN
          CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]-CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0]);

        IF CUBE[10,j,0]<0 THEN
          CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]+CUBE[8,j,0]*SQR(CUBE[10,j,0]);

        IF CUBE[11,j,0]<0 THEN
          CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]+CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]);

        IF CUBE[11,j,0]>=0 THEN
          CUBE[14,j,0]:= CUBE[14,j,0]-CUBE[9,j,0]*SQR(CUBE[11,j,0]);

          CUBE[14,j,0]:=CUBE[14,j,0]+CUBE[12,j,0]; {Psj}

```

```

{ CUBE[14,j,0]:=CUBE[12,j,0]-CUBE[13,j,0]; } {Psj}
    END; {3}
END; {2}
CUBE[9,0,0]:= Qp; {CUBE[7,0,0];} {Débit a l'entrée}
CUBE[11,0,0]:=CUBE[9,0,0]-CUBE[10,0,0]; {Débit a la sortie}
CUBE[14,0,0]:=CUBE[3,0,0]; {Pression a la sortie}
CUBE[12,0,0]:=CUBE[12,1,0];
    {Pression l'entrée de sa première conduite}

(** Pour les canalisations Ramifiées s'il y en a)

IF Taille>0 THEN

FOR i:=1 TO Taille DO
    BEGIN {Taille}
        {Pour les cumuls}
        CUBE[8,0,i]:=0; {Longueur totale}
        CUBE[10,0,i]:=0; {Somme des prélèvements}
        CUBE[13,0,i]:=0; {Somme des pertes de charge}
        FOR j:=1 TO TRUNC(CUBE[2,0,i]) DO
            BEGIN {2}
                CUBE[10,j,i]:=CUBE[7,0,i]+CUBE[7,j,i]; {Qej}
                CUBE[11,j,i]:=CUBE[10,j,i]-CUBE[5,j,i]; {Qsj}
                CUBE[8,0,i]:=CUBE[8,0,i]+CUBE[3,j,i]+CUBE[4,j,i];
                CUBE[10,0,i]:=CUBE[10,0,i]+CUBE[5,j,i];
                IF j=1 THEN {&}
                    BEGIN {3}
                        CUBE[12,j,i]:=CUBE[14,1,0]; {Pe = r principal pour j=1}
                        CUBE[13,j,i]:=CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i])
                            +CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]); {Hfj}
                    { CUBE[14,j,i]:=CUBE[12,j,i]-CUBE[13,j,i]; } {Psj}
                        CUBE[13,0,i]:=CUBE[13,0,i]+CUBE[13,j,i];

                        CUBE[14,j,i]:=0;
                            {pour tenir compte du sens de
l'écoulement}
                    IF CUBE[10,j,i]>=0 THEN
                        CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]-CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i]);

                    IF CUBE[10,j,i]<0 THEN
                        CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]+CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i]);

                    IF CUBE[11,j,i]<0 THEN
                        CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]+CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]);

                    IF CUBE[11,j,i]>=0 THEN
                        CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]-CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]);

                            CUBE[14,j,i]:=CUBE[14,j,i]+CUBE[12,j,i]; {Psj}

                    END {3}
                ELSE {&}

```

```

BEGIN {3}
  CUBE[12,j,i]:=CUBE[14,j-1,i]; {Pej = Psj-1}
  CUBE[13,j,i]:=CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i])
  +CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]); {Hfj}
{ CUBE[14,j,i]:=CUBE[12,j,i]-CUBE[13,j,i]; } {Psj}
  CUBE[13,0,i]:=CUBE[13,0,i]+CUBE[13,j,i];

  CUBE[14,j,i]:=0;
                                     {pour tenir compte du sens de
l'écoulement)
IF CUBE[10,j,i]>=0 THEN
  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]-CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i]);

IF CUBE[10,j,i]<0 THEN
  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]+CUBE[8,j,i]*SQR(CUBE[10,j,i]);

IF CUBE[11,j,i]<0 THEN
  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]+CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]);

IF CUBE[11,j,i]>=0 THEN
  CUBE[14,j,i]:= CUBE[14,j,i]-CUBE[9,j,i]*SQR(CUBE[11,j,i]);

  CUBE[14,j,i]:=CUBE[14,j,i]+CUBE[12,j,i]; {Psj}
  END;{3}
  END; {2}
  CUBE[9,0,i]:=CUBE[7,0,i]; {Débit a l'entrée}
  CUBE[11,0,i]:=CUBE[9,0,i]-CUBE[10,0,i]; {Débit a la sortie}
  CUBE[14,0,i]:=CUBE[3,0,i]; {Pression a la sortie}
  CUBE[12,0,i]:=CUBE[12,1,i]; {Pression à l'entrée de sa
première conduite}
  END; {Taille}
  END; {CASE -1}

  END;{Case OF}

END; {PROCEDURE}

PROCEDURE CIMP(C1,C2:BYTE;VAR C : BYTE;VAR Mess : STRING);
  VAR Contr : BYTE;
  BEGIN
    INC(C);
    IF C>C2 THEN
      BEGIN
        C:=C1;
        WRITELN(LST, ' ');
        WRITELN(LST, ' ');
        WRITELN(LST, ' ');
        WRITELN(LST, ' ');
        WRITELN(LST,Mess);
      END;
    END;
  END;

PROCEDURE AFFICHE_ELEMENT_CUBE(VAR doup : INTEGER;

```

```

VAR CUBE      : CANALRESUL;
VAR i         : INTEGER);

```

```

(** fait l'affichage des éléments du cube suivant que l'on veut
voir les débits ou les pressions (i = indice de l'élément a
afficher)*****)

```

```

VAR j : INTEGER;

```

```

BEGIN

```

```

CASE doup OF

```

```

1 : BEGIN (CASE = 1 pour les pressions)

```

```

WRITEln (lst, ' Longueur
:',':41,CUBE[8,0,i]:4:3,'(m)');{longueur totale}
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN (LST, ' P totale Entrée
:',':41,CUBE[12,0,i]:4:3,'(mce)');{Pression Entrée}
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN (LST, ' Pertes de charge
:',':41,CUBE[13,0,i]:4:3,'(mce)');{Pertes de charge}
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN (LST, ' P totale Sortie
:',':41,CUBE[14,0,i]:4:3,'(mce)');{Pression Sortie}
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN(lst);
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN(LST, ' Conduites Composantes ');
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN(LST, ' ----- ');
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN(LST);
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN(LST, ' N° D(m) S1 S2 ', ' Pe(mce)
Hf(mce) Ps(mce) ');
CIMP(1,28,CI,MESS);

```

```

FOR j:=1 TO TRUNC(CUBE[2,0,i]) DO
BEGIN {1}

```

```

write(lst, ' ',j:1, ' ', CUBE[2,j,i]:4:2, '
',CUBE[8,j,i]:4:2, ' ');

```

```

writeln(lst,CUBE[9,j,i]:4:2, ' ',CUBE[12,j,i]:4:3, '
',CUBE[13,j,i]:4:3, ' ',CUBE[14,j,i]:4:3);
CIMP(1,28,CI,MESS);

```

```

END;{1}

```

```

writeln(lst, ' '); CIMP(1,28,CI,MESS);

```

```

END;{CASE = 1}

```

```

2 : BEGIN (CASE = 2 Pour les Débits)
WRITEln (1st, ' Longueur
:','':41,CUBE[8,0,i]:4:3,'(m)');{longueur totale}
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN (LST, ' Débit à l ' ' entrée
:','':41,CUBE[9,0,i]:4:3,'(MC/s)');{Débit Entrée}
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN (LST, ' Prélèvements
:','':41,CUBE[10,0,i]:4:3,'(MC/s)');{Prélèvements}
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN (LST, ' Débits à l a
sortie:','':41,CUBE[11,0,i]:4:3,'(MC/s)');{Débit Sortie}
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN(1st);
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN(LST,'          Conduites Composantes ');
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN(LST,'          ----- ');
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN(LST);
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN(LST,' N° D(m)          L1(m)          L2(m) ', ' Qe(MC/s)
q(MC/s) Qs(MC/s) ');
CIMP(1,28,CI,MESS);

FOR j:=1 TO TRUNC(CUBE[2,0,i]) DO

    BEGIN {1}

write(1st,' ',j:1,' ',CUBE[2,j,i]:4:2,'
',CUBE[3,j,i]:4:2,' ');
writeln(1st,CUBE[4,j,i]:4:2,' ',CUBE[10,j,i]:4:3,'
',CUBE[5,j,i]:4:3,' ',CUBE[11,j,i]:4:3);
CIMP(1,28,CI,MESS);

    END; {1}
writeln(1st,' '); CIMP(1,28,CI,MESS);
END; {CASE = 2}

END;{CASE OF }

END;

PROCEDURE RESULTATS_POUR_CANALISATIONS (sgne:INTEGER);

BEGIN
IF sgne=1 then
begin
Tail:=0;

REPLICUB(sgne,CUBASPI,tail);
TRAITERCUBE_CAS(sgne,CUBASPI,Tail,Qsta,Easpi,Erefl);
writeln(1st,' '); CIMP(1,28,CI,MESS);writeln(1st,'
');CIMP(1,28,CI,MESS);

```

CANALISATIONS

```

WRITELN(LST, '
D' 'ASPIRATION');
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN(LST, '=====');

CIMP(1,28,CI,MESS);

l:=0;
m:=2;
WRITELN(LST, ' ');CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN(LST, ' RESULTATS POUR LES DEBITS');
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN(LST, '-----');
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN(LST, ' ');
CIMP(1,28,CI,MESS);

REPEAT;

WRITELN(LST, 'N' : ',':41,
l:1);CIMP(1,28,CI,MESS);
AFFICHE_ELEMENT_CUBE(m,CUBASPI,l);
INC(l);
UNTIL l>tail;

l:=0;
m:=1;
WRITELN(LST, ' ');CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN(LST, ' RESULTATS POUR LES HAUTEURS
PIEZOMETRIQUES');
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN(LST, '-----');
CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN(LST, ' ');
CIMP(1,28,CI,MESS);

REPEAT;
WRITELN(LST, 'N' : ',':41,l:1);CIMP(1,28,CI,MESS);
AFFICHE_ELEMENT_CUBE(m,CUBASPI,l);
INC(l);

UNTIL l>tail;
end;

IF sgne=-1 then
begin
Tail:=0;
REPLICUB(sgne,CUBASPI,tail);
TRAITERCUBE_CAS(sgne,CUBASPI,Tail,Qsta,Easpi,Erefl);
WRITELN(LST, ' ');CIMP(1,28,CI,MESS); WRITELN(LST, '
');CIMP(1,28,CI,MESS);
WRITELN(LST, ' CANALISATIONS DE

```

```

REFOULEMENT');
  CIMP(1,28,CI,MESS);
  WRITELN(1st, '
-----');

  CIMP(1,28,CI,MESS);

  l:=0;
  m:=2;
  writeln(1st, ' ');CIMP(1,28,CI,MESS);
  writeln(1st, '                                RESULTATS POUR LES DEBITS');
  CIMP(1,28,CI,MESS);
  writeln(1st, '                                -----');
  CIMP(1,28,CI,MESS);
  writeln(1st, ' ');
  CIMP(1,28,CI,MESS);

REPEAT;

  WRITELN(LST, 'N°                                : ',':41,
1:1);CIMP(1,28,CI,MESS);
  AFFICHE_ELEMENT_CUBE(m,CUBASPI,1);
  INC(1);
UNTIL 1>tail;

  l:=0;
  m:=1;
  writeln(1st, ' ');CIMP(1,28,CI,MESS);
  writeln(1st, '                                RESULTATS POUR LES HAUTEURS
PIEZOMETRIQUES');
  CIMP(1,28,CI,MESS);
  writeln(1st, '
-----');
  CIMP(1,28,CI,MESS);
  writeln(1st, ' ');
  CIMP(1,28,CI,MESS);

REPEAT;
  WRITELN(LST, 'N°                                : ',':41,1:1);CIMP(1,28,CI,MESS);
  AFFICHE_ELEMENT_CUBE(m,CUBASPI,1);
  INC(1);

UNTIL 1>tail;
end;

END;(RESULTATS_POUR_CANALISATION)

BEGIN (SBF3)

  RAPPEL_CONSTANT3;

```

```
WITH PARTOUT DO Chemin:=lect+':\'+Nomsta;
```

```
CLRSCR;  
GOTOXY(20,10);  
WRITE(' Préparer l'imprimante et appuyer sur une touche ...');  
REPEAT UNTIL KEYPRESSED;  
CLRSCR; GOTOXY(20,10);  
WRITE(' Un instant : Impression en cours ...');  
Mess:=' * E.P.T_POMPE - Résultats (suite)* '  
CI:=0;
```

```
WRITELN(LST, '  
*****');  
CIMP(1,28,CI,MESS);  
WRITELN(LST, ' * Programme E.P.T_POMPE -  
Résultats *') ;  
CIMP(1,28,CI,MESS);  
WRITELN(LST, '  
*****');  
CIMP(1,28,CI,MESS);  
WRITELN(LST, '');WRITELN(LST, '');  
CIMP(1,28,CI,MESS);
```

```
writeln(lst, ' CONSTANTES GENERALES');  
CIMP(1,28,CI,MESS);  
writeln(lst, ' =====');  
CIMP(1,28,CI,MESS);  
WITH PARTOUT DO  
BEGIN
```

```
write(lst, ' Nom du système -----> ');  
writeln(lst, '(' ,Nomsta, ')');  
CIMP(1,28,CI,MESS);  
write(lst, ' débit (de la station) ----->  
) ;  
writeln(lst, Qfon:2:3, '(MC/S)');  
CIMP(1,28,CI,MESS);  
write(lst, ' Haut totale (de la station) ----->  
) ;  
writeln(lst, Hfon:3:3, '(mce)');  
CIMP(1,28,CI,MESS);  
write(lst, ' Haut totale (entrée station) -----> ');  
writeln(lst, Easpp:3:3, '(mce)');  
CIMP(1,28,CI,MESS);  
write(lst, ' Nombre de valeurs discrètes ----->  
) ;  
writeln(lst, Discret);  
CIMP(1,28,CI,MESS);  
write(lst, ' Précision sur le débit ----->  
) ;  
writeln(lst, PrecisurQQ:2:4, '(MC/s)');  
CIMP(1,28,CI,MESS);  
write(lst, ' Nombre d'approximation ----->
```

```
);  
writeln(1st,Dichotom);  
CIMP(1,28,CI,MESS);  
write(1st,' Viscosite cinématique -----> ');  
writeln(1st,Viscocene:2);  
CIMP(1,28,CI,MESS);  
  
END;  
  
CIMP(1,28,CI,MESS);  
RESULTATS_POUR_CANALISATIONS(1);  
CIMP(1,28,CI,MESS);  
RESULTATS_POUR_CANALISATIONS(-1);  
clrscr;  
  
END. {PROGRAMME}
```

Le listing de toutes les unités, procédures modules du programme fait 212 pages de texte !. C'est la raison pour laquelle nous choisissons de fournir le listing du programme principal (SBF) et des modules (SBF1, SBF2, SBF3, et SBF3P). Quant aux différentes unités, nous annexons à ce document, une disquette contenant leurs textes respectifs (convertis de .PAS en .WP). Les noms de ces unités ainsi que les fichiers de texte correspondants sont les suivants:

Noms Unités	Fichiers	Noms Unités	Fichiers
CADRE	U1	BIGNON	U2
CONSTANT	U3	BIBILO	U4
VICTOR	U5	VARIGLOB	U6
VARIPRIN	U7	SIMON	U8
LEONIE	U81	PO_INSERT	U811
CARPOMPE	U812	CORPOMPE	U813
MODASSO	U814	CONDSTA	U815
CONDASPI1	U82	CONDREF1	U83
SSTATION	U9	SOEUR	U10
CANPLUS	U101	FENETRE	U102
DELTA_E	U103	HQFONC	U104
ENTETEC1	U11	BERNARD	U12

Le contenu de chacune de ces unités ainsi que la description des procédures qu'elle renferment sont contenus dans les textes correspondants. Cependant, le résumé de la description des unités les plus importantes est présenté ci-après.

* Au niveau du module SBF1, l'unité SIMON est la plus

importante. En tant qu'unité, elle appelle aussi d'autres unités dont les plus importantes sont:

- / CONDASP1 et CONDREF1 contenant respectivement, les procédures des chiffriers d'enregistrement des canalisations d'aspiration et de refoulement.

- / LEONIE : Contient les procédures d'enregistrement de toutes les données relatives à la station. L'unité LEONIE appelle donc les cinq unités suivantes contenant chacune, les procédures relatives aux chiffriers indiqués (et décrit au chapitre 5).

- 1 CARPOMPE : Pompes disponibles et caractéristiques.
- 2 PO_INSERTER : Mise en place des pompes disponibles.
- 3 MODASSO : Codes des divers groupements de pompes.
- 4 CORPOMPE : Positions et conduites de correction.
- 5 CONDSATA : Caractéristiques des conduites de correction .

* Au niveau du module SBF2 :

- / l'unité SSTATION contient toutes les procédures de la détermination de la pompe équivalente.

- / l'unité SOEUR contient les procédures de recherche du point de fonctionnement, et du calcul et stockage des débits (voir description de SBF2). SOEUR appelle l'unité HQFONC qui contient entre autres la procédure donnant une approximation du point de fonctionnement. HQFONC appelle l'unité DELTA_E contenant les procédures de calcul des termes E_e , E_s , $\hat{\Delta}E$, et δ . Certaines procédures de DELTA_E sont puisées dans l'unité BERNARD. Cette dernière renferme les procédures traduisant les formules du chapitre 3 , le lecteur y trouvera aussi la programmation des

systemes d'equations lineaires et la programmation de la methodes
iterative de Newton-Raphson.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1° Association des hygiénistes et techniciens municipaux
" LES STATIONS DE POMPAGE D'EAU",
Technique de documentation Lavoisier (3° édition).

- 2° Robert L. Daugherty, Joseph B. Franzzini
"FLUID MECHANICS WITH ENGINEERING APPLICATIONS"
(7° édition)

- 3° SHaw S. Kuo, "COMPUTER APPLICATIONS OF NUMERICAL METHODS"
Adison, Wesley Publishing Company.

- 4° Steven C. Hapara, Raymond P. Canal, "NUMERICAL METHODS FOR
ENGINEER WITH PERSONAL COMPUTER APPLICATION"
McGrawll_Hill book Company

- 5° N. Piscounov, "CALCUL DIFFERENCIEL ET INTEGRAL I et II"
Edition MIR Moscou

- 6° Borland Software "TURBO PASCAL REFERENCE MANUAL"