

REPUBLIQUE DU SENEGAL  
ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES  
Département Génie Electromécanique



sagesse devoir

Em. 0112

# **PROJET DE FIN D'ETUDES**

(En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur de Conception)

Titre:

## **REFONTE DES CIRCUITS D'EAU DE LA LAVERIE DES INDUSTRIES CHIMIQUES DU SENEGAL, ICS-TAIBA**

Auteur:

**MOUHAMED THIOYE**

Directeur interne :

**SENI TAMBA**

Co-Directeur interne :

**PAUL DEMBA**

Directeur externe :

**THIERNO DIONE**

*Juillet 1999*

## DÉDICACES

Je dédie ce rapport de projet de fin d'études à mon illustre grand père feu Saliou Saleh Sarr ; Que la terre lui soit légère Et que Dieu nous guide, comme lui, dans le chemin de tous ceux qui l'ont craint durant toute leur vie sur terre.

Mes dédicaces vont également à l'endroit des artisans de ma réussite, j'ai nommé :

Ma chère mère dite joli coeur, pour ses prières

Mon père, un modèle

Mes frères et sœurs

Mon ami, mon frère Al Assane Séne et à toute sa famille

Mes tantes Rokhaya Séne et Fatou Bintou Séne

Spéciales dédicaces :

A ma future épouse

A mes enfants

A toutes ces personnes , retrouvez votre participation effective dans ma réussite et soyez en remercié.

## REMERCIEMENTS

Nous exprimons notre reconnaissance à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Nous pensons notamment à :

- Mr Jean Noëlle Diouf, chef de département du G.E.M des ICS-Taïba, pour l'octroi de ce sujet de PFE
- Mr Moussa Diouf, chef des installations fixes des ICS-Taïba, pour sa disponibilité, ses idées pertinentes
- Mr Séni Tamba, professeur à l'ESP et directeur du présent projet, pour son encadrement et son assistance sans faille
- Mr Paul Demba, professeur à l'ESP pour sa disponibilité
- Mlle Astou Diagne et Mlle Ngima Seydi secrétaires stagiaires à l'ESP , pour la saisie de ce rapport

Une mention spéciale est réservée à Mr Thierno Dione , chef du bureau technique des ICS-Taïba, qui n'a ménagé aucun effort pour que ce projet soit mené dans de bonnes conditions.

A travers lui , nous exprimons notre gratitude au personnel des ICS-Taïba

## SOMMAIRE

Pour mener à bien notre étude de la refonte des circuits d'eau de la laverie des ICS-Taïba, nous abordons dans un premier temps la présentation de l'existant avec sa description, son fonctionnement et ses problèmes.

Le chapitre II reprend le cahier de charges tel qu'il nous a été soumis, tandis que le chapitre III traite des propositions de solutions avec le dimensionnement des conduites, des supports de conduites, des radeaux et des accessoires.

L'évaluation des différentes variantes de solution du point de vue technique et financier est mentionnée au chapitre IV.

A la fin du document la conclusion résume nos différents résultats obtenus et quelques recommandations sont émises

Toutefois pour compléter notre rapport de projet de fin d'études, nous joignons nos références bibliographiques et des annexes.

# TABLES DES MATIERES

	page
REMERCIEMENTS-----	I
SOMMAIRE-----	II
TABLES DES MATIERES -----	III
LISTE DES TABLEAUX -----	V
LISTE DES FIGURES -----	VI
LISTE DES ANNEXES -----	VII
INTRODUCTION-----	1
Chapitre I :PRESENTATION DE L'EXISTANT-----	3
1-1-DESCRIPTION-----	3
1-2-FONCTIONNEMENT-----	4
1-3-PROBLEMES LIES AU FONCTIONNEMENT-----	6
Chapitre II :CAHIER DE CHARGES-----	7
2-1-REMARQUES SUR LE CAHIER DE CHARGES-----	10
Chapitre III :PROPOSITION DE SOLUTIONS-----	13
3-1-METHODOLOGIE DE RESOLUTION-----	18
3-1-1-DIMENSIONNEMENT DES CONDUITES-----	19
3-1-1-1-EXEMPLES DE CALCUL-----	22
3-1-1-1 a-Variante 1-----	22
3-1-1-1-b-Variante 2-----	29
3-1-1-1-c-Variante 3-----	33
3-1-1-1-d-Variante 4-----	37
3-1-2-DIMENSIONNEMENT DES SUPPORTS DE CONDUITES AERIENNES-----	42
3-1-2-1-EXEMPLES DE CALCUL-----	47

3-1-2-1-a-Variante 1-----	47
3-1-2-1-b- Variante 2-----	49
3-1-2-1-c- Variante 3-----	50
3-1-2-1-d- Variante 4-----	50
3-1-3-DIMENSIONNEMENT DES RADEAUX-----	51
3-1-4-DIMENSIONNEMENT DES ACCESSOIRES-----	55
Chapitre IV : EVALUATION DES SOLUTIONS-----	57
4-1-RESUME DES DIFFERENTES SOLUTIONS-----	57
4-1-1- Variante 1-----	58
4-1-2- Variante 2-----	59
4-1-3- Variante 3-----	60
4-1-4- Variante 4-----	61
4-2-EVALUATION FINANCIERE-----	62
4-2-1- Variante 1-----	62
4-2-2- Variante 2-----	62
4-2-3- Variante 3-----	63
4-2-4- Variante 4-----	63
4-3-CHOIX-----	64
CONCLUSION-----	66
RECOMMANDATIONS-----	67
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES-----	68
ANNEXE-----	69

## LISTE DES TABLEAUX

	page
Tableau 1-1 :Débits actuels-----	5
Tableau 2-1 :Débits et pressions requis-----	11
Tableau 3-1 :Calcul de diamètre entre R1 et J-----	23
Tableau 3-2 : Calcul de diamètre entre R2 et J-----	24
Tableau 3-3 : Calcul de diamètre entre Jet P1-----	25
Tableau 3-4 : Calcul de diamètre entre J et S-----	26
Tableau 3-5 : Calcul de diamètre entre S et Sf-----	27
Tableau 3-6 : Calcul de diamètre entre S et Sp-----	28
Tableau 3-7 :Distance entre les supports-----	46
Tableau 3-8 :Sollicitations dues au poids entre R1et F1-----	48
Tableau 3-9 : Sollicitations dues au vent entre R1et F1-----	48
Tableau 3-10 Sollicitations dues au poids entre R2et J-----	48
Tableau 3-11 :Sollicitations dues au vent entre R2et J-----	49
Tableau 3-12 :Résumé des sollicitations de la variante 2-----	49
Tableau 3-13 : Résumé des sollicitations de la variante 3-----	50
Tableau 3-14 : Résumé des sollicitations de la variante 4-----	51
Tableau 3-15 : Hauteur immergée de la variante 1-----	53
Tableau 3-16 : Hauteur immergée de la variante 2-----	53
Tableau 3-17 : Hauteur immergée de la variante 3-----	54
Tableau 3-18 : Hauteur immergée de la variante 4-----	54
Tableau 4-1 : Coût de la variante1-----	62
Tableau 4-2 : Coût de la variante2-----	62
Tableau 4-3 : Coût de la variante3-----	63
Tableau 4-4 :Coût de la variante4-----	63

## LISTE DES FIGURES

	page
Figure 1-2 : Schéma de l'existant-----	3
Figure 3-1 : Schéma de la variante 1-----	14
Figure 3-2 : Schéma de la variante 2 -----	15
Figure 3-3 : Schéma de la variante 3 -----	16
Figure 3-4 : Schéma de la variante 4-----	17
Figure 4-1 : Schéma final de la variante 1-----	58
Figure 4-2 : Schéma final de la variante 2-----	59
Figure 4-3 : Schéma final de la variante 3 -----	60
Figure 4-4 : Schéma final de la variante 4-----	61

## LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 :Spécifications techniques et courbe de performance des pompes  
2500 m<sup>3</sup>/h , 2 à 4 bars et 1000 m<sup>3</sup>/h, 8 à 10 bars
- Annexe 2 : Tableaux de calculs des diamètre des différentes conduites pour  
les variantes 1 à 4
- Annexe 3 :Tableaux des sollicitations dues au poids , au vent et fluide  
soumises aux supports des conduites aériennes

# INTRODUCTION

Le process d'obtention du phosphate commercialisable peut être découpé en quatre grandes parties :

- La mine
- L'usine de prétraitement
- La laverie

Elle est composée de deux usines :

- La préparation
- La flottation

Le phosphate est obtenu à la sortie de cette usine après plusieurs manipulations chimiques.

Nous notons aussi l'utilisation de beaucoup d'eau dans tout le processus d'obtention du phosphate commercialisable. Cette eau provient des différents forages profonds et du circuit fermé de l'installation.

Au niveau de la laverie ( flottation et préparation), l'utilisation de l'eau reste primordiale voire sine qua non pour l'obtention du phosphate. Ainsi une station de pompage est installée à l'entrée de la laverie avec deux bassins de décantations de 15 000 et 5000 m<sup>3</sup>.

Actuellement le réseau de distribution d'eau de la laverie pose des problèmes qui sont l'objet de notre étude.

Il s'agit de la modernisation ou refonte des circuits d'eau de la laverie des ICS-TAIBA.. Les installations datent de 1958, les pompes sont obsolètes, les conduites enterrées sont pourries et leur réparation reste longue, les soutirages des cuves ne sont pas efficaces, les pertes de charge sont élevées.

La refonte de ces circuits d'eau conduira au remplacement des équipements existants : pompes, collecteurs, vannes, conduites ... avec la contrainte majeure de continuité de production.

Toutefois, toutes les conduites ne sont pas à changer mais seulement celles qui ne répondent pas au diamètre requis et celles qui sont actuellement enterrées.

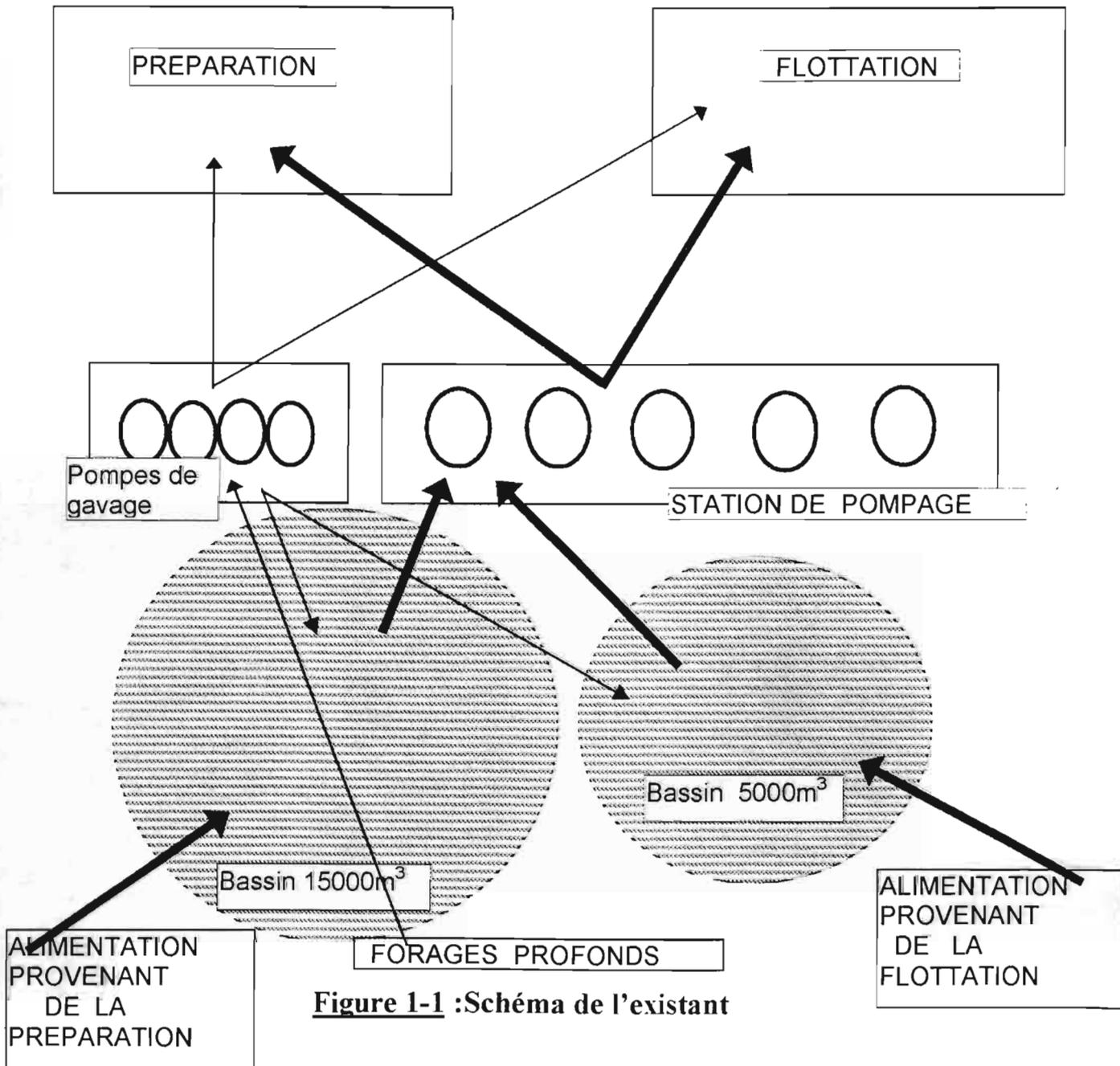
L'étude de la refonte de ces circuits d'eau est menée en conformité avec les obligations et prescriptions d'un cahier de charge

**CHAPITRE 1 :**

**PRESENTATION DE L'EXISTANT**

**1-1 DESCRIPTION**

L'existant pourrait être schématisé comme suit :



**Figure 1-1 : Schéma de l'existant**

Le schéma de principe montre que :

- L'apport d'eau au niveau des bassins 5 000 m<sup>3</sup> et 15 000 m<sup>3</sup> se fait à travers les différents bassins de décantation de la préparation et de la flottation mais aussi des sept forages profonds.
  - Les pompes de gavage qui servent pour les presse-étoupes des pompes de reprise à l'intérieur de la laverie sont alimentées par les forages. Le trop plein alimente les bassins 5000 m<sup>3</sup> et 15 000 m<sup>3</sup>
  - A la sortie de la station de pompage, toutes les conduites de refoulement sont enterrées. Cependant les conduites de refoulement des pompages de gavage sont actuellement en aérien.
  - La laverie dispose de 2 réseaux : un réseau haute pression (HP) et un réseau basse pression (BP). L'alimentation en HP et BP se fait depuis les deux bassins de décantation de 15 000 et 5 000 m<sup>3</sup> avec des pompes HP et des pompes BP installées sur la station de pompage même.
- Enfin nous remarquons de manière générale que toutes les installations, pompes et conduites enterrées, existent depuis l'installation de l'usine c'est - à - dire en 1958.

## **1.2- FONCTIONNEMENT**

Actuellement nous avons

- 1 réseau haute pression (HP) pour les deux usines (préparation et flottation) à partir du bassin 15 000 m<sup>3</sup>, à la pression de 3 à 3,5 bars
- 1 réseau basse pression (BP) pour la préparation à partir du bassin 15 000 m<sup>3</sup>, à la pression de 2 bars

-1 réseau BP alimentant la flottation à partir du bassin 5 000 m<sup>3</sup>, à la pression de 2 bars. Ce réseau BP de la flottation se fait à partir du bassin 5000 m<sup>3</sup> parce que ce bassin reste riche en produits chimiques

le tableau de débits actuel est le suivant :

Réseau	Destination	Débit actuel en m <sup>3</sup> /h
HP	Préparation-	2500
HP	Préparation	800
HP	Flottation	1700
BP	Préparation-	4300
BP	Préparation	2600
BP	Flottation	1700

**Tableau 1-1 : Débits actuels**

Pratiquement, les pompes sont doublées dans la majorité des cas avec une des pompes en service et l'autre en réservoir by-pass ; ceci pour pallier les pannes et assurer ainsi la continuité de production.

Le fonctionnement de ces pompes est conditionné par les huit configurations de marche possibles suivantes:

- 1- Préparation et Flottation en marche
- 2- Broyage arrêté, classification et flottation en service
- 3- Broyage et reprise digue à l'arrêt, classification et circuits principaux en service
- 4- Flottation arrêtée, préparation en service
- 5- Flottation et classification arrêtées, Broyage en service
- 6- Préparation arrêtée, Flottation en service
- 7- Digue arrêtée, Préparation et circuits principaux en service
- 8- Circuits principaux seuls en service.

### **1-3 PROBLÈMES LIÉS AU FONCTIONNEMENT**

L'ensemble de ces problèmes est repris dans le cahier de charge qui nous sert de guide pour notre étude (voir Chapitre 2). Cependant un problème non moins important reste le taux de schlamms, assez élevé noté au niveau des bassins de 5000 m<sup>3</sup> et 15000 m<sup>3</sup> malgré les décantations périodiques effectuées. Ce schlamms empêche un bon pompage et cela peut conduire à l'arrêt de la production.

## CHAPITRE II : -

# CAHIER DE CHARGES

Pour résoudre les différents problèmes liés à l'exploitation actuelle, les ICS-Taïba ont proposé un cahier de charges. Il nous sert de guide pour notre étude et fait ressortir les nouveaux besoins en pressions et en débits de la laverie.

Nous reprenons le cahier de charges ci-après tel qu'il nous a été soumis :

### MODERNISATION DU CIRCUIT EAU DE LA LAVERIE

( Proposition de débits et pressions)

#### 1 - Situation actuelle

= 1 réseau HP alimentant les deux ateliers à partir du 15 000 m<sup>3</sup>, (pression 2 à 3,5 bars).

= 1 réseau BP alimentant la préparation à partir du 15 000 m<sup>3</sup>, (pression # 2 bars).

= 1 réseau BP alimentant la flottation à partir du 5 000 m<sup>3</sup>, (pression # 2 bars).

#### 2 - Proposition

= Un circuit de BP alimentant l'atelier de préparation et débitant environ 6 700 m<sup>3</sup>/h à 2 bars l'entrée d'une station de Haute Pression en Préparation.

= Cette Haute Pression prélèverait environ 3 200 m<sup>3</sup>/h pour alimenter les deux ateliers à 8 ou 10 bars (1 000 m<sup>3</sup>/h en Préparation et 2 200 m<sup>3</sup>/h en Flottation).

= Les 3 500 m<sup>3</sup>/h restant desserviront le réseau BP de la Préparation.

= Un circuit de basse Pression alimentant l'atelier Flottation à partir du 5 000 m<sup>3</sup> à une pression de 2 bars.

### 3 - Avantages :

- + Renouvellement des pompes dont la plupart sont obsolètes ;
- + Passer en aérien toutes les conduites d'eau enterrées depuis le démarrage de l'usine (conduites pourries et réparations toujours longues) ;
- + Supprimer les pompes 85 puisque l'alimentation en eau des presse-étoupes pourra être assurée par une Haute Pression plus performante ;
- + Minimiser les risques de bouchage des pissettes et florides et assurer un meilleur repulpage, donc une meilleure efficacité au soutirage des cuves.

### 4 - Tableau des débits

Circuit eau	Destination	Débit actuel en m <sup>3</sup> /h	Débit souhaité en m <sup>3</sup> /h
HP	Prép. +Flott.	2500	3200
HP	Préparation	800	1000
HP	Flottation	1700	2200
BP	Préparation	2600	3500
BP	Flottation	1700	2150

N. B : On considère que quelle que soit la configuration de marche, nous aurons toujours la possibilité d'assurer le nettoyage des ateliers par la HP, soit 300 m<sup>3</sup>/h pour la Préparation, 155 m<sup>3</sup>/h pour la flottation.

La Basse Pression vers la Préparation fera donc 6 700 m<sup>3</sup>/h dont :

- 1000 m<sup>3</sup>/h seront surpressés à 8 ou 10 bars pour servir de HP à la Préparation,
- 2 200 m<sup>3</sup>/h à 8 ou 10 bars pour servir de HP à la Flottation.
- 3 500 m<sup>3</sup>/h alimentation tels quels le réseau BP de la Préparation à 2 bars.

### 5 - Configurations de marche possibles :

#### 1 - Préparation et Flottation en marche :

HP - Préparation = 1000 m <sup>3</sup> /h	BP-Préparation = 3500 m <sup>3</sup> /h
HP- Flottation = 2200 m <sup>3</sup> /h	BP - Flottation = 2150 m <sup>3</sup> /h

#### 2 - Broyage arrêté, Classification et Flottation en service

HP - Préparation = 1000 m <sup>3</sup> /h	BP- Préparation = 2300 m <sup>3</sup> /h
HP - Flottation = 2200 m <sup>3</sup> /h	BP - Flottation = 2150 m <sup>3</sup> /h

#### 3 - Bravage et Reprise Digue à l'arrêt, Classification et Circuits Principaux en service

HP - Préparation = 1000 m <sup>3</sup> /h	BP- Préparation = 1200 m <sup>3</sup> /h
HP - Flottation = 1950 m <sup>3</sup> /h	BP- Flottation = 1900 m <sup>3</sup> /h

#### 4 - Flottation arrêtée, Préparation en service

HP-Préparation = 1000 m <sup>3</sup> /h	BP - Préparation = 3500 m <sup>3</sup> /h
HP- Préparation = 155 m <sup>3</sup> /h	BP - Flottation = 0 m <sup>3</sup> /h

#### 5 - Flottation et classification arrêtés, Broyage en service

HP - Préparation = 300 m <sup>3</sup> /h	BP - Préparation = 2200
HP - Flottation = 2200 m <sup>3</sup> /h	BP - flottation = 0 m <sup>3</sup> /h

### 6 - Préparation arrêtée, Flottation en service

HP - Préparation = 300 m<sup>3</sup>/h

BP - Préparation = 0 m<sup>3</sup>/h

HP - Flottation = 2200 m<sup>3</sup>/h

BP - Flottation = 2150 m<sup>3</sup>/h

### 7 - Digue arrêtée, Préparation et Circuits Principaux en service

HP - Préparation = 1000 m<sup>3</sup>/h

BP - Préparation = 3500 m<sup>3</sup>/h

HP - Flottation = 1950 m<sup>3</sup>/h

BP - Flottation = 1900 m<sup>3</sup>/h

### 8 - Circuits Principaux seuls en service

HP - Préparation = 300 m<sup>3</sup>/h

BP - Préparation = 0 m<sup>3</sup>/h

HP - Flottation = 950 m<sup>3</sup>/h

BP - Flottation = 1900 m<sup>3</sup>/h

## **2 - 1 REMARQUES SUR LE CAHIER DE CHARGES**

Nous résumons les prescriptions du cahier de charges comme suit :

- Les débits actuels sont jugés insuffisants ;
- Les pressions du réseau HP de la préparation et de la flottation sont faibles ;
- L'obsolescence des pompes datant de 1958 pose de sérieux problème de maintenance surtout pour les pièces de rechange ;
- Les conduites enterrées depuis le démarrage de l'usine sont pour la plupart pourries et leurs réparations restent longues ;
- Les risques de bouchage des pissettes et des florides à la haute pression actuelle de 3,5 bars ;
- Mauvais repulpage pour le soutirage des cuves toujours dû à la haute pression actuelle de 3,5 bars

En résumant les propositions de débits et de pressions mentionnées dans le cahier de charge nous aboutissons au tableau suivant :

circuit eau	Destination	débit en m <sup>3</sup> /h	Pression en bar
HP	préparation et flottation	3200	8 à 10
HP	préparation	1000	8 à 10
HP	flottation	2200	8 à 10
BP	préparation et flottation	5600	2 à 4
BP	préparation	3500	2 à 4
BP	flottation	2150	2 à 4

**Tableau 2-1 : Débits et pressions requis**

- Le cahier de charge limite vraisemblablement les possibilités de solutions. Cependant nous prenons la liberté d'exploiter d'autres voies de solution tout en respectant les contraintes de débits et de pression mentionnées dans le tableau ci-haut.

- Le renouvellement des pompes reste plus que nécessaire

- De même les conduites en aérien restent intéressantes puisque la solution avec les conduites enterrées n'offre aucun avantage. Seulement les conduites aériennes risquent de gêner le passage.

Nous y reviendrons lors des calculs au chapitre 3

- L'augmentation de pression pour le réseau HP est pertinente mais elle ne peut justifier la suppression des pompes 85 qui sont des pompes de gavage. En effet pour l'alimentation en eau des presse-étoupes des pompes il faut de l'eau noble (eau de forage) pour éviter leur usure car l'eau issue de la "haute

pression plus performante" est une eau chargée avec beaucoup de particules.

- Aussi nous notons que le cahier de charge ne mentionne nullement comment régler le taux de schlamms quelquefois important dans les bassins 15.000 m<sup>3</sup> et 5000 m<sup>3</sup>.

## **CHAPITRE III :**

# PROPOSITION DE SOLUTIONS

Sur la base du cahier de charges et des remarques formulées, deux scénarios sont envisagés.

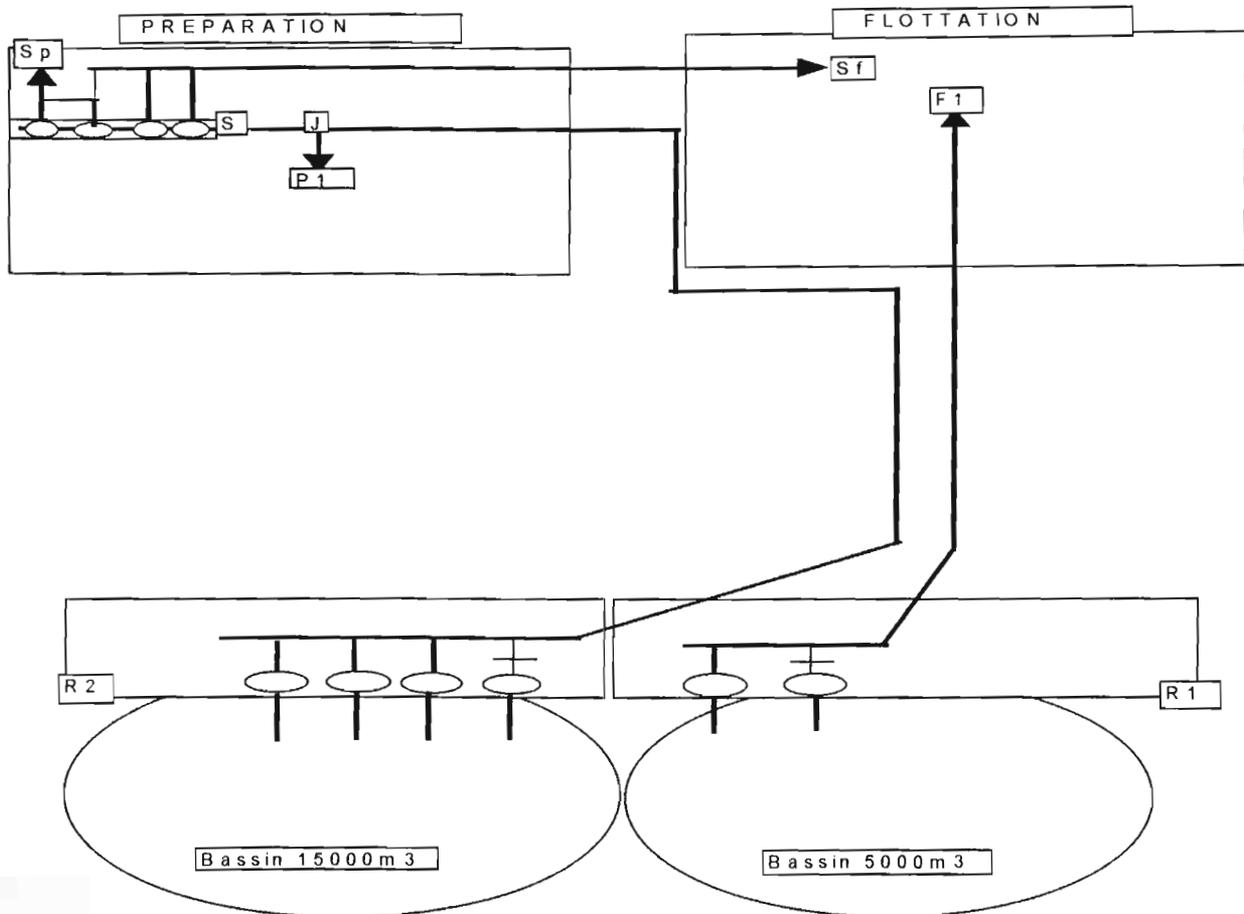
- alimentation avec des conduites aériennes
- alimentation avec des conduites enterrées

Avec ces deux scénarios nous obtenons une multitude de variantes dont :

## Variante 1

La variante 1 peut être schématisée comme suit :

VARIANTE 1



**Figure 3-1 : Schéma de la variante 1**

Nous avons 2 conduites aériennes :

l'une véhiculant les besoins en HP et BP de la flottation et de la préparation à partir du bassin 15000 m<sup>3</sup> avec installation de pompes surpresseuses au niveau de la préparation même et l'autre alimentant la BP de la flottation à partir du bassin 5000 m<sup>3</sup>.

Le tracé des deux circuits va suivre le rack des pompes 85 (pompes de gavage) existant

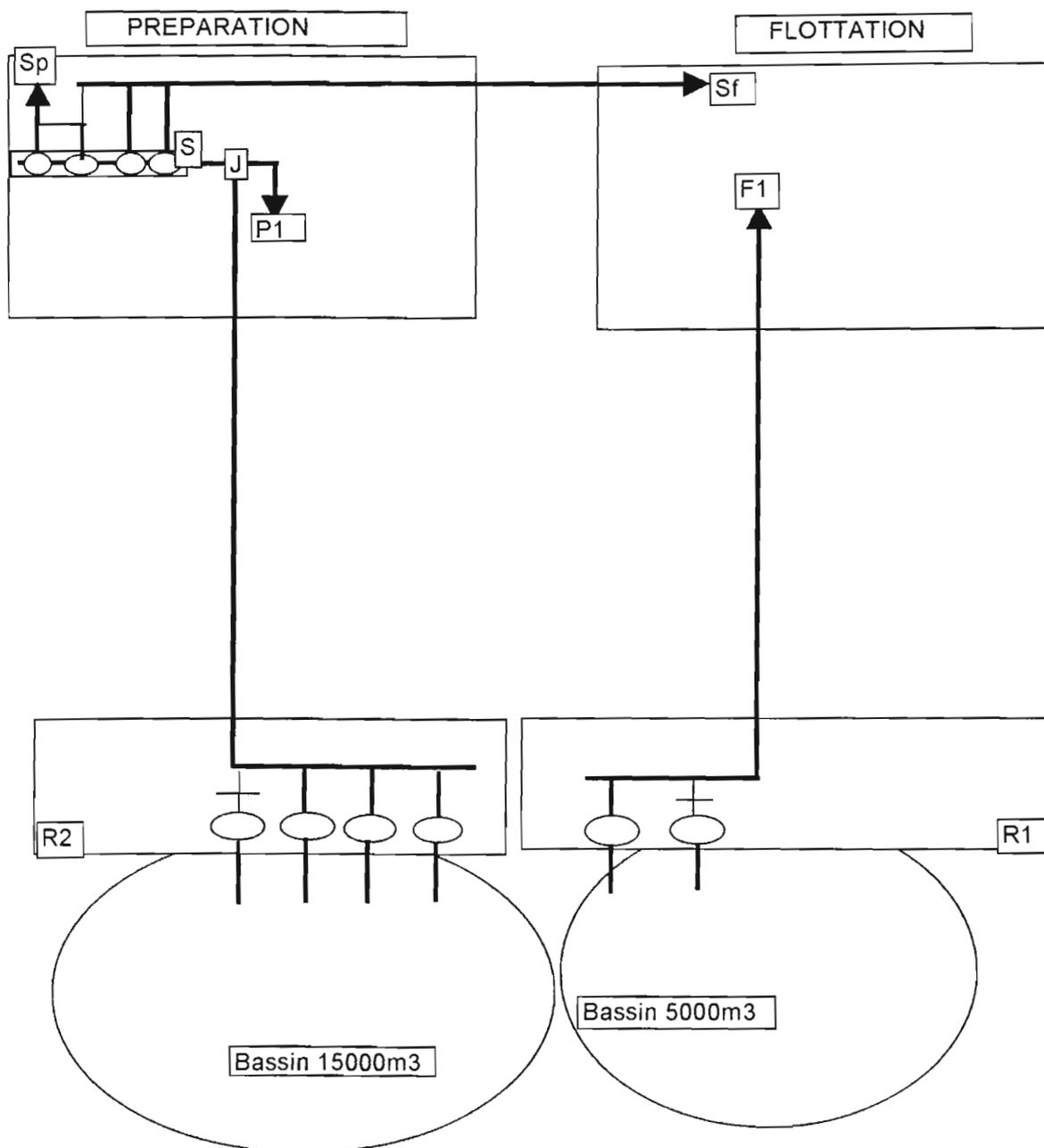
- Les pompes sont installées sur des radeaux ou fixées sur des bâtis

## Variante 2

C'est globalement le même principe que pour la variante 1 sauf qu'ici le tracé du réseau diffère. En effet l'alimentation en BP de la préparation et en HP de la préparation et de la flottation va nécessiter la construction d'un nouveau rack.

Le schéma de principe est le suivant :

### VARIANTE 2



**Figure 3-2 : Schéma de la variante 2**

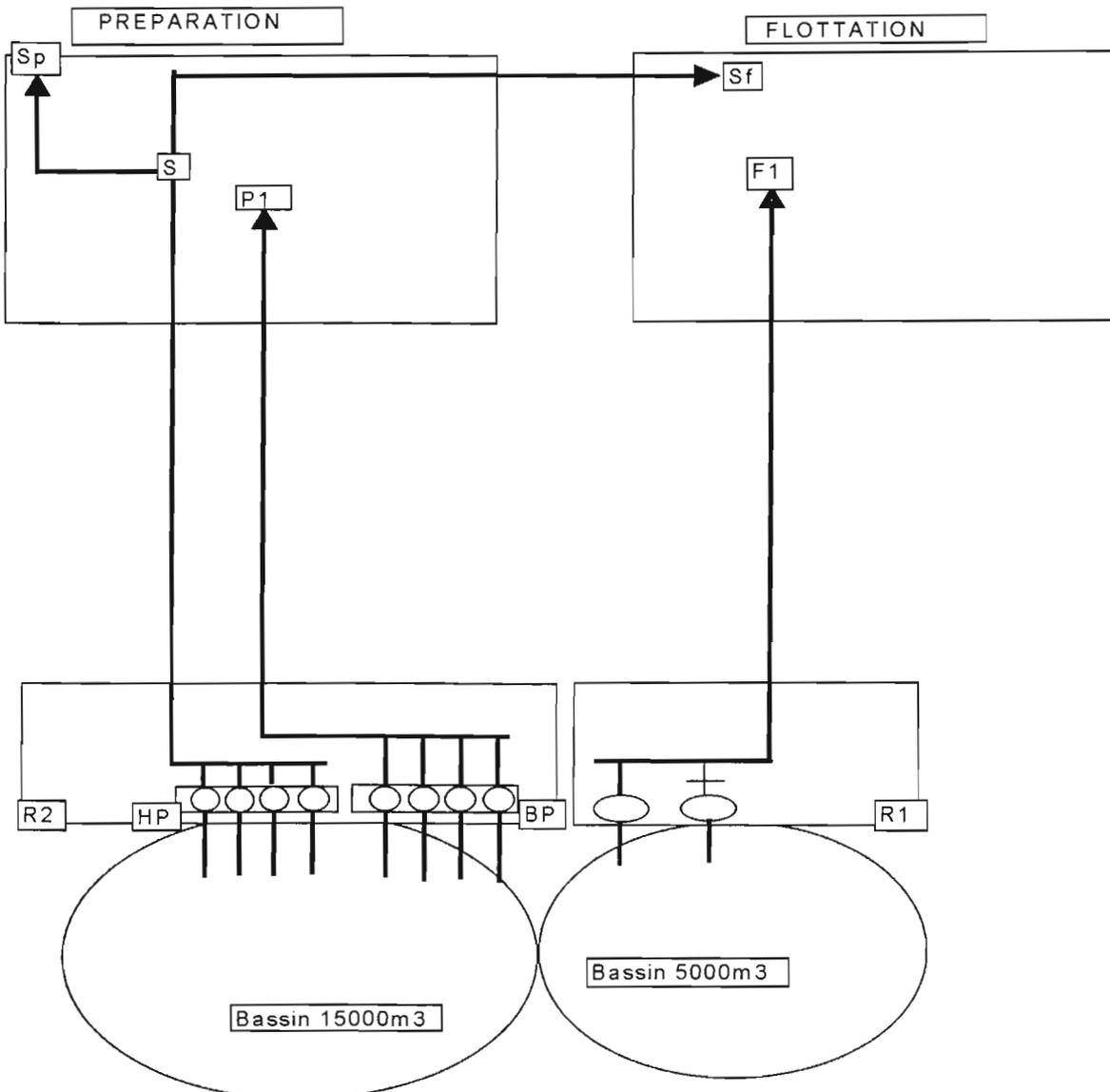
### Variante 3

Nous proposons 3 conduites aériennes :

- une pour la BP de la flottation,
- une pour la BP de la préparation
- et une pour la HP de la Flottation et de la préparation ;
- Les pompes sont installées sur des radeaux ou fixées sur des bâtis

Le schéma de cette variante est le suivant :

#### VARIANTE 3



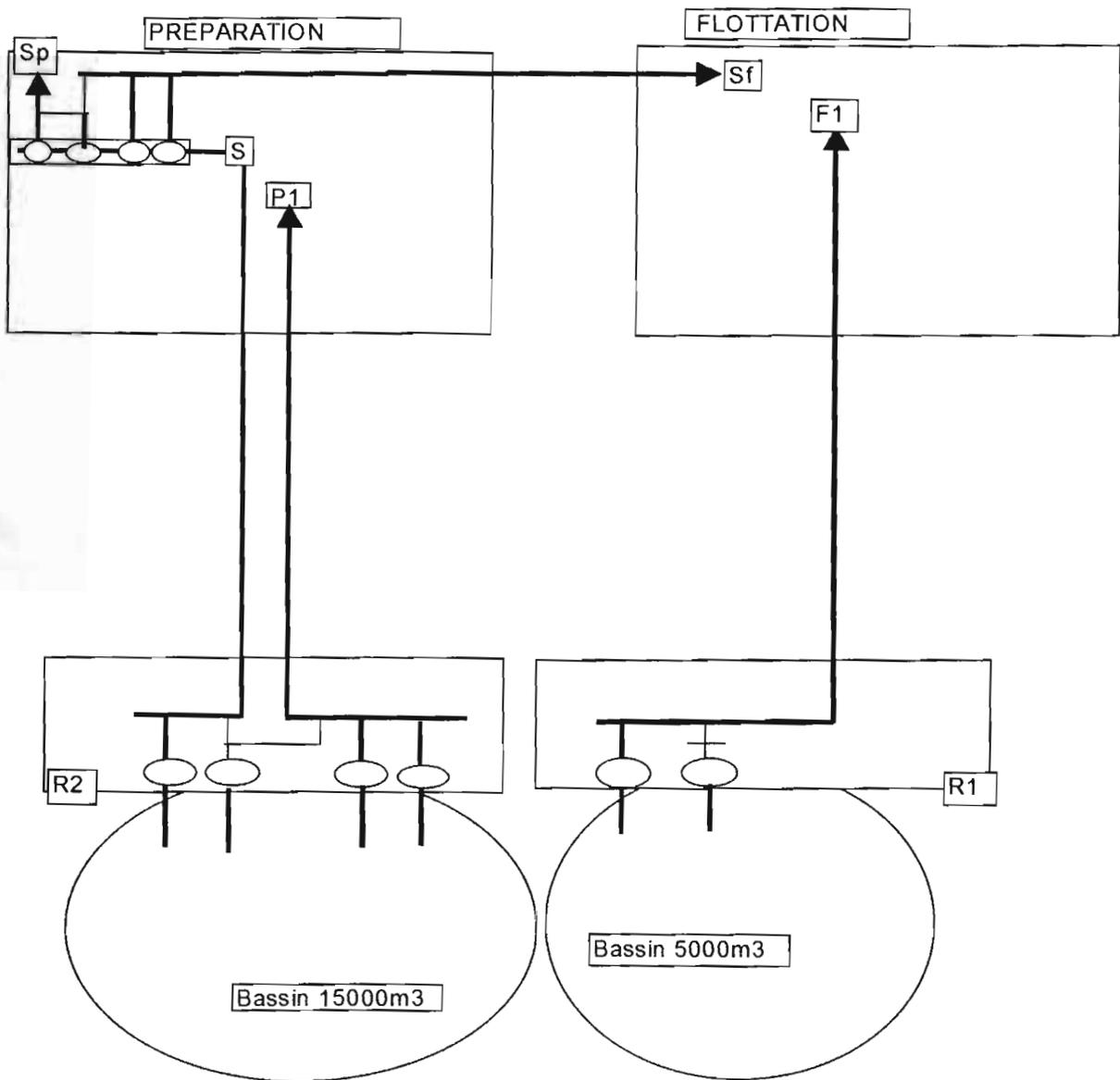
**Figure 3-3 : Schéma de la variante 3**

### Variante 4

Pour cette variante nous avons le schéma suivant avec 3 conduites aériennes :

- une pour la BP de la préparation,
- une pour la BP de la flottation,
- et une BP qui sera supprimée à l'intérieur de la préparation même pour desservir la HP de la flottation et la HP de la préparation.
- Les pompes sont installées sur des radeaux ou fixées sur des bâtis

#### VARIANTE 4



**Figure 3-4 : Schéma de la variante 4**

### **Variante 5**

- Toutes les conduites sont enterrées comme c'est le cas avec l'existant
- Les pompes sont installées sur des radeaux ou fixées sur des bâtis

N.B :

Cette variante 5 n'offre pas beaucoup d'avantages sinon qu'elle n'est pas encombrante alors que ses inconvénients sont nombreux : détection des fuites lente, réparations difficiles et longues,... En plus elle ne permet pas un gain d'énergie car à l'approche de la laverie, ces conduites enterrées seront en aérien.

Nous mentionnons cette variante par souci d'objectivité mais elle ne sera pas étudiée conformément au cahier de charges.

### **3 - 1 METHODOLOGIE DE RESOLUTION.**

Chacune des variantes regroupe un ensemble d'éléments à dimensionner à savoir:

- Les conduites
- Les supports de conduites aériennes
- Les radeaux
- Les accessoires

### 3 - 1 - 1 - DIMENSIONNEMENT DES CONDUITES :

Il s'agit de déterminer le diamètre D des conduites de transport du fluide. Ainsi pour chacune des variantes proposées, nous allons écrire les équations d'énergie des différents tronçons de circuits d'eau (voir chapitre I),

L'équation d'énergie s'écrit de manière générale comme suit :

$$E_i - \sum H_f + E_p = \frac{P_j}{\gamma} + \frac{V_j^2}{2g} + Z_j \text{ avec}$$

$E_i$  = énergie en un point

$E_p$  = Hmt de la pompe utilisée

$\frac{P_j}{\gamma}$  = pression relative requise en un point

$$\frac{V_j^2}{2g} = \frac{4.Q}{3600.\pi.D^2} \quad \text{où } D \text{ est en m}$$

Q en m<sup>3</sup>/h

$V_j$  = vitesse dans la conduite

$Z_j$  = hauteur d'un point par rapport au datum 0

$\sum H_f$  = pertes de charge totale (singulières et linéaires) dans la conduite

En utilisant l'équation de Darcy - Weishbach, nous avons :

$$\Sigma Hf = \frac{0,0826 \cdot f \cdot L^* \cdot Q^2}{D^5}$$

où  $L^*$  = longueurs de la conduite linéaire + les longueurs équivalentes

$Q$  = débit requis en un point

$D$  = diamètre de la conduite à déterminer

$f$  = coefficient de frottement

En prenant la formule de Colebrook - White pour  $\varepsilon/D < 0,01$  qui reste valable pour tout type de conduites lisse ou rugueux, nous écrivons :

$$f = 0,0055 \left[ 1 + \left( 2 \cdot 10^4 \varepsilon / D + 10^6 / Re \right)^{1/3} \right] \text{ avec}$$

$\varepsilon/D$  = rugosité relative où  $\varepsilon/D = 10^{-3} \varepsilon/D$

avec  $D$  est en m

$\varepsilon = 0,1$  pour le cas le plus défavorable

$$Re = \frac{4 \cdot 10^6 Q}{3600 \cdot \pi \cdot \mu \cdot D}$$

avec  $D$  en m

$Q$  en m<sup>3</sup>/h

$\mu = 1,01$  centistoke (cst)

Ainsi en remplaçant  $Re$  et  $\varepsilon/D$  dans l'équation de Colebrook - White nous aurons :

$$f = 0,0055 \left[ 1 + \left( \frac{2}{D} + \frac{3600 \cdot \Pi \cdot \mu \cdot D}{4 \cdot Q} \right)^{1,3} \right] \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} D \text{ en m ;} \\ Q \text{ en m}^3/\text{h ;} \\ u = 1,01 \text{ cst} \end{array}$$

En réécrivant l'équation de Darcy - Weisbach avec les transformations sur  $f$ , nous obtenons :

$$\sum Hf = 0.0826 * L^* * \left( \frac{Q}{3600} \right)^* \left[ 0.0055 * \left( 1 + \left( \frac{2}{D} + \frac{3600 * \pi * D}{4 * Q} \right)^{1,3} \right) \right]$$

avec  $L^*$  en m ;  $D$  en m ;  $Q$  en m<sup>3</sup>/h.

Nous effectuons ces transformations pour adapter ces équations à notre étude.

Tous les termes de l'équation d'énergie nous sont connus à l'exception du diamètre. La détermination du diamètre se fera en tenant compte de toutes les contraintes de pressions et de débits aux différents points du réseau d'eau.

Ces contraintes sont :

- vitesse du fluide inférieure à 4m/s ;
- diamètre des conduites minimisant les pertes de charge ;
- pertes de charge tolérables permettant de respecter les besoins en pressions et en débits

Ainsi pour chacune des variantes nous écrivons son équation d'énergie en explicitant les différents termes.

### 3-1-1-1-EXEMPLES DE CALCUL

#### 3-1-1-1-a-Variante 1

##### Besoins en débit et en pression

Au point F1, il faut:

\_débit : 2150 m<sup>3</sup>/h

\_pression : 2 à 4 bars en BP

En P1, il faut:

\_débit : 3500 m<sup>3</sup>/h

\_pression : 2 à 4 bars en BP

En Sf, il faut:

\_débit : 2200 m<sup>3</sup>/h

\_pression : 8 à 104 bars en HP

En Sp, il faut:

\_débit : 1000 m<sup>3</sup>/h

\_pression : 8 à 10 bars en HP

##### Entre R1 et F1

L'équation d'énergie s'écrit : Energie en R1 = Energie en F1

$$E_{R1} - \Sigma H_F + E_P = P_{F1}/g + V_{F1}^2/(2*g) + Z_{F1}$$

avec  $E_{R1} = 0$

$$E_P = 20 \text{ m ou } 30 \text{ m ou } 40 \text{ m}$$

$$Z_{F1} = 7.6 \text{ m}$$

En faisant varier le diamètre, on obtient un tableau des différentes valeurs de pression, de vitesse, de pertes de charge et de l'énergie en F1. Ce tableau peut être consulté en annexe.

Une partie de ce tableau est la suivante :

Diamètre D m	0,5	0,5	0,5
Longueur L m	112	112	112
débit Q m <sup>3</sup> /h	2500	2500	2500
E en R1	0	0	0
Vitesse V m/s	3,5386	3,5386	3,5386
$V^2/(2*g)$	0,6382	0,6382	0,6382
Z en F1 m	7,6	7,6	7,6
E <sub>p</sub> m	20	30	40
F	0,0146	0,0146	0,0146
£Hf	2,506	2,506	2,506
P/v en F1 m	9,2558	19,256	29,256
P en F1 bar	0,9256	1,9256	2,9256
E en F1	17,494	27,494	37,494

**Tableau 3-1 : Calcul de diamètre entre R1 et F1**

Nous proposons pour une E<sub>p</sub> = 40 m de la pompe:

- diamètre de la conduite = 500 mm
- longueur de la conduite = 112 m
- vitesse dans la conduite = 3.54 m/s
- pertes de charges = 2.5 m
- pression en F1 = 2.93 bar
- énergie en F1 = 37.494 m

Entre R2 et J

L'équation d'énergie s'écrit : Energie en R2 = Energie en J

$$E_{R2} - \Sigma H_F + E_P = P_J/g + V_J^2/(2*g) + Z_J$$

avec  $E_{R2} = 0$

$E_P = 20 \text{ m ou } 30 \text{ m ou } 40 \text{ m}$

$Z_J = 7.6 \text{ m}$

En faisant varier le diamètre , on obtient un tableau des différentes valeurs de pression ,de vitesse ,de pertes de charge et de l'énergie en F1.Ce tableau peut être consulté en annexe.

Une partie de ce tableau est la suivante :

Diamètre D m	0,8	0,8	0,8
Longueur L m	178	178	178
Débit Q m <sup>3</sup> /h	7500	7500	7500
E en R2	0	0	0
Vitesse V m/s	4,1468	4,1468	4,1468
$V^2/(2*\rho)$	0,8764	0,8764	0,8764
Z en J m	7,6	7,6	7,6
Ep m	20	30	40
F	0,0133	0,0133	0,0133
fHf	3,0979	3,0979	3,0979
P/v en J m	8,4257	18,426	28,426
Pression en J	0,8426	1,8426	2,8426
E en J	16,902	26,902	36,902

**Tableau 3-2 : Calcul de diamètre entre R2 et J**

Nous proposons pour une Ep= 40 m de la pompe:

- diamètre de la conduite = 800 mm
- longueur de la conduite = 178 m
- vitesse dans la conduite = 4.15 m/s
- pertes de charges = 3.1 m
- pression en J = 2.84 bar
- énergie en J = 36.9 m

Entre J et P<sub>1</sub>

Nous avons :

Energie en J = Energie en P<sub>1</sub>

$$E_J - \Sigma H_f + E_P = P_{P1} / g + V_{P1}^2 / (2 * g) + Z_{P1}$$

avec  $E_J = 16.9 \text{ m}$  ou  $26.9 \text{ m}$  ou  $36.9 \text{ m}$

$$E_P = 0$$

$$Z_{P1} = 7,6 \text{ m}$$

En faisant varier le diamètre, on obtient un tableau des différentes valeurs de pression, de vitesse, de pertes de charge et de l'énergie en F1. Ce tableau peut être consulté en annexe.

Une partie de ce tableau est la suivante:

Diamètre D m	0,6	0,6	0,6
Longueur L m	15	15	15
Débit Q m <sup>3</sup> /h	3500	3500	3500
E en J	16,902	26,902	36,902
Vitesse V m/s	3,4403	3,4403	3,4403
$V^2/(2 \cdot g)$	0,6032	0,6032	0,6032
Z en P1 m	7,6	7,6	7,6
E <sub>p</sub> m	0	0	0
F	0,0141	0,0141	0,0141
fHf	0,2548	0,2548	0,2548
P/v en P1 m	8,4439	18,444	28,444
Pression en	0,8444	1,8444	2,8444
E en P1	16,647	26,647	36,647

**Tableau 3-3 : Calcul de diamètre entre J et P1**

Nous proposons pour une  $E_p = 40 \text{ m}$  de la pompe:

- diamètre de la conduite = 600 mm
- longueur de la conduite = 15 m
- vitesse dans la conduite = 3.44 m/s
- pertes de charges = 0.25 m
- pression en  $P_1 = 2.84 \text{ m}$
- énergie en  $P_1 = 36.65 \text{ m}$

Entre J et S

L'équation d'énergie s'écrit : Energie en R2 = Energie en J

$$E_J - \Sigma H_f + E_P = P_S/g + V^2_S/(2*g) + Z_S$$

avec  $E_J = 16.9 \text{ m}$      $26.9 \text{ m}$     ou  $36.9 \text{ m}$

$$E_P = 0$$

$$Z_S = 7.6 \text{ m}$$

En faisant varier le diamètre , on obtient un tableau des différentes valeurs de pression ,de vitesse ,de pertes de charge et de l'énergie en F1.Ce tableau peut être consulté en annexe.

Une partie de ce tableau est la suivante:

diamètre D m	0,6	0,6	0,6
longueur L m	15	15	15
débit Q m <sup>3</sup> /h	3200	3200	3200
E en J	16,902	26,902	36,902
vitesse V m/s	3 1454	3 1454	3 1454
$V^2/(2*\sigma)$	0,5043	0,5043	0,5043
Z en S m	7,6	7,6	7,6
E <sub>p</sub> m	0	0	0
f	0,0141	0,0141	0,0141
fHf	0,2135	0,2135	0,2135
P/v en S m	8,5842	18,584	28,584
Pression en S	0,8584	1,8584	2,8584
E en S	16,688	26,688	36,688

**Tableau 3-4 : Calcul de diamètre entre J et S**

Nous proposons pour une  $E_p = 40 \text{ m}$  de la pompe :

- diamètre de la conduite = 600 mm
- longueur de la conduite = 15 m
- vitesse dans la conduite = 3.14 m/s
- pertes de charges = 0.21 m
- pression en S = 2.86 bar<sup>2</sup>
- énergie en S = 36.688 m

Entre S et S<sub>p</sub>

L'équation d'énergie est la suivante : Energie en S = Energie en S<sub>p</sub> avec

$$E_S - \Sigma H_f + E_P = P_{Sp}/g + V_{Sp}^2/(2*g) + Z_{Sp}$$

avec  $E_S = 16.688 \text{ m}$  ou  $26.688 \text{ m}$  ou  $36.688 \text{ m}$

$E_P = 80 \text{ m}$  en relative

$Z_{Sp} = 7.6 \text{ m}$

En faisant varier le diamètre, on obtient un tableau des différentes valeurs de pression, de vitesse, de pertes de charge et de l'énergie en F1. Ce tableau peut être consulté en annexe.

Une partie de ce tableau est la suivante :

diamètre D m	0,4	0,4	0,4
longueur L m	15	15	15
débit Q m <sup>3</sup> /h	1050	1050	1050
E en S (Ds= 6)	16,688	26,688	36,688
vitesse V m/s	2,3222	2,3222	2,3222
$V^2/(2*\sigma)$	0,2748	0,2748	0,2748
Z en S <sub>p</sub> m	7,6	7,6	7,6
E <sub>p</sub> m	80	80	80
f	0,0155	0,0155	0,0155
fHf	0,192	0,192	0,192
P/v en S <sub>p</sub> m	88,621	98,621	108,62
Pression en S	8,8621	9,8621	10,862
E en S <sub>p</sub>	96,496	106,5	116,5

**Tableau 3-1 : Calcul de diamètre entre S et S<sub>p</sub>**

Nous proposons pour une E<sub>p</sub> = 40 m de la pompe:

- diamètre de la conduite = 400 mm
- longueur de la conduite = 15 m
- vitesse dans la conduite = 2.32 m/s
- pertes de charges = 0.192 m
- pression en S<sub>Fp</sub> = 10.862 m
- énergie en S<sub>p</sub> = 116.5 m

Entre S et S<sub>F</sub>

L'équation d'énergie est la suivante : Energie en S = Energie en S<sub>F</sub> avec

$$E_S - \sum SH_f + E_P = P_{Sf}/g + V_{Sf}^2/(2 \cdot g) + Z_{Sf}$$

avec  $E_S = 16.688 \text{ m}$  ou  $26.688 \text{ m}$  ou  $36.688 \text{ m}$

$$E_P = 80 \text{ m}$$

$$Z_{Sf} = 7.6 \text{ m}$$

Nous obtenons le tableau suivant :

diamètre D m	0.5	0.5	0.5
longueur L m	50	50	50
débit Q m <sup>3</sup> /h	2200	2200	2200
E en S (Ds=6)	16.688	26.688	36.688
vitesse V m/s	3.114	3.114	3.114
$V^2/(2 \cdot g)$	0.4942	0.4942	0.4942
Z en Sf m	7.6	7.6	7.6
E <sub>p</sub> m	78	78	78
f	0.0146	0.0146	0.0146
fHf	0.8694	0.8694	0.8694
P/v en Sf m	85.725	85.725	85.725
Pression en S	8.5725	8.5725	8.5725
E en Sf	93.819	103.82	113.82

**Tableau 3-6 : Calcul de diamètre entre S et S<sub>f</sub>**

Nous proposons pour une E<sub>p</sub> = 40 m de la pompe:

- diamètre de la conduite = 500 mm
- longueur de la conduite = 50 m
- vitesse dans la conduite = 3.11 m/s
- pertes de charges = 0.87 m
- pression en S<sub>F</sub> = 10.57 bars
- énergie en S<sub>F</sub> = 113.82 m

**3-1-1-1-b- Variante 2**Besoins en débit et en pression

Au point F1, il faut:

\_débit : 2150 m<sup>3</sup>/h

\_pression : 2 à 4 bars en BP

En P1, il faut:

\_débit : 3500 m<sup>3</sup>/h

\_pression : 2 à 4 bars en BP

En Sf, il faut:

\_débit : 2200 m<sup>3</sup>/h

\_pression : 8 à 104 bars en HP

En Sp, il faut:

\_débit : 1000 m<sup>3</sup>/h

\_pression : 8 à 10 bars en HP

Entre R1 et F1

L'équation d'énergie s'écrit : Energie en R1=Energie en F1

$$E_{R1} - \Sigma H_F + E_P = P_{F1}/g + V_{F1}^2/(2*g) + Z_{F1}$$

avec  $E_{R1} = 0$

$$E_P = 20 \text{ m ou } 30 \text{ m ou } 40 \text{ m}$$

$$Z_{F1} = 7.6 \text{ m}$$

En faisant varier le diamètre , on obtient différentes valeurs de pression ,de vitesse ,de pertes de charge et de l'énergie en F1.

Le tableau des différentes valeurs se trouvent en annexe.

Nous proposons :

- diamètre de la conduite = 500 mm
- longueur de la conduite = 112 m
- vitesse dans la conduite = 3.54 m/s
- pertes de charges = 2.5 m
- pression en F1 = 2.93 bars
- énergie en F1 = 37.494 m

Entre R2 et J

L'équation d'énergie s'écrit : Energie en R2 = Energie en J

$$E_{R2} - \Sigma H_F + E_P = P_J/g + V_J^2/(2*g) + Z_J$$

avec  $E_{R2} = 0$

$$E_P = 20 \text{ m ou } 30 \text{ m ou } 40 \text{ m}$$

$$Z_J = 7.6 \text{ m}$$

En faisant varier le diamètre , on obtient différentes valeurs de pression ,de vitesse ,de pertes de charge et de l'énergie en J.

Le tableau des différentes valeurs se trouvent en annexe.

Nous proposons :

- diamètre de la conduite = 800mm
- longueur de la conduite = 112 m
- vitesse dans la conduite = 4.15 m/s
- pertes de charges = 1.95 m
- pression en J = 2.96 bar
- énergie en J = 38.05 m

Entre J et P<sub>1</sub>

\_Nous avons

Energie en J = Energie en P<sub>1</sub>

$$E_J - \Sigma H_f + E_P = P_{P1} / g + V_{P1}^2 / (2 * g) + Z_{P1}$$

avec  $E_J = 18.05 \text{ m}$  ou  $28.05 \text{ m}$  ou  $38.05 \text{ m}$

$$E_P = 0$$

$$Z_{P1} = 7,6 \text{ m}$$

En faisant varier le diamètre , on obtient différentes valeurs de pression , de vitesse , de pertes de charge et de l'énergie en J.

Le tableau des différentes valeurs se trouvent en annexe.

Nous proposons :

- diamètre de la conduite = 600 mm
- longueur de la conduite = 15 m
- vitesse dans la conduite = 3.44 m/s
- pertes de charges = 0.25 m
- pression en P<sub>1</sub> = 2.96 m
- énergie P<sub>1</sub> = 37.8 m

Entre J et S

\_L'équation d'énergie s'écrit : Energie en R2 = Energie en J

$$E_J - \Sigma H_f - E_P = P_S / g + V_S^2 / (2 * g) + Z_S$$

avec  $E_J = 18.05 \text{ m}$  ou  $28.05 \text{ m}$  ou  $38.05 \text{ m}$

$$E_P = 0$$

$$Z_S = 7.6 \text{ m}$$

Nous proposons :

- diamètre de la conduite = 600 mm
- longueur de la conduite = 15 m
- vitesse dans la conduite = 3.14 m/s
- pertes de charges = 0.21 m
- pression en S = 2.97 m/s
- énergie en S = 37.74 m

Entre S et S<sub>p</sub>

L'équation d'énergie est la suivante : Energie en S = Energie en S<sub>p</sub> avec

$$E_S - \Sigma H_f + E_P = P_{S_p}/g + V_{S_p}^2/(2*g) + Z_{S_p}$$

avec  $E_S = 17.84 \text{ m}$  ou  $27.84 \text{ m}$  ou  $37.84 \text{ m}$

$E_P = 80 \text{ m}$  en relative

$Z_{S_p} = 7.6 \text{ m}$

Le tableau des différentes valeurs se trouvent en annexe.

Nous proposons :

- diamètre de la conduite = 400 mm
- longueur de la conduite = 15 m
- vitesse dans la conduite = 2.32 m/s
- pertes de charge = 0.192 m
- pression en S<sub>p</sub> = 10.98 bars
- énergie en S<sub>p</sub> = 117.64 m

Entre S et S<sub>F</sub>

L'équation d'énergie est la suivante : Energie en S = Energie en S<sub>F</sub> avec

$$E_S - \Sigma H_f + E_P = P_{SF}/g + V_{SF}^2/(2*g) + Z_{SF}$$

avec  $E_S = 17.84 \text{ m}$  ou  $27.84 \text{ m}$  ou  $37.84 \text{ m}$

$$E_P = 80 \text{ m}$$

$$Z_{SF} = 7.6 \text{ m}$$

Le tableau des différentes valeurs se trouvent en annexe.

Nous proposons :

- diamètre de la conduite = 500 mm
- longueur de la conduite = 50 m
- vitesse dans la conduite = 3.11 m/s
- pertes de charges = 0.87 m
- pression en S<sub>F</sub> = 10.69 bars
- énergie en S<sub>F</sub> = 114.97 m

**3-1-1-1-c- Variante 3**Besoins en débit et en pression

Au point F1, il faut:

\_débit : 2150 m<sup>3</sup>/h

\_pression : 2 à 4 bars en BP

En P1, il faut:

\_débit : 3500 m<sup>3</sup>/h

\_pression : 2 à 4 bars en BP

En Sf, il faut:

\_débit : 2200 m<sup>3</sup>/h

\_pression : 8 à 104 bars en HP

En Sp, il faut:

\_débit : 1000 m<sup>3</sup>/h

\_pression : 8 à 10 bars en HP

### Entre R1 et F1

L'équation d'énergie s'écrit : Energie en R1 = Energie en F1

$$E_{R1} - \Sigma H_F + E_P = P_{F1}/g + V_{F1}^2/(2*g) + Z_{F1}$$

avec  $E_{R1} = 0$

$$E_P = 20 \text{ m ou } 30 \text{ m ou } 40 \text{ m}$$

$$Z_{F1} = 7.6 \text{ m}$$

En faisant varier le diamètre , on obtient différentes valeurs de pression , de vitesse , de pertes de charge et de l'énergie en F1.

Le tableau des différentes valeurs se trouvent en annexe.

Nous proposons :

- diamètre de la conduite = 500 mm
- longueur de la conduite = 112 m
- vitesse dans la conduite = 3.44 m
- pertes de charges = 2.5 m
- pression en F1 = 2.9 bars
- énergie en F1 = 37.94 m

Entre R2 et P<sub>1</sub>

Nous avons

Energie en R2 = Energie en P<sub>1</sub>

$$E_{R2} - \Sigma H_f + E_P = P_{P1}/g + V_{P1}^2/(2*g) + Z_{P1}$$

avec  $E_{R2} = 0$

$$E_P = 20 \text{ m ou } 30 \text{ m ou } 40 \text{ m}$$

$$Z_{P1} = 7,6 \text{ m}$$

En faisant varier le diamètre , on obtient différentes valeurs de pression , de vitesse , de pertes de charge et de l'énergie en P<sub>1</sub>.

Le tableau des différentes valeurs se trouvent en annexe.

Nous proposons :

- diamètre de la conduite = 600 mm
- longueur de la conduite = 112 m
- vitesse dans la conduite = 3.44 m/s
- pertes de charges = 1.9 m
- pression en P<sub>1</sub> = 2.98 bars
- énergie P<sub>1</sub> = 38.01 m

Entre R2 et S

L'équation d'énergie s'écrit : Energie en R2 = Energie en S

$$E_{R2} - \Sigma H_f + E_P = P_S/g + V_S^2/(2*g) + Z_S \text{ avec}$$

avec  $E_{R2} = 0$

$$E_P = 78 \text{ m}$$

$$Z_S = 7.6 \text{ m}$$

Le tableau des différentes valeurs se trouvent en annexe.

Nous proposons :

- diamètre de la conduite = 600 mm
- longueur de la conduite = 112 m
- vitesse dans la conduite = 3.24 m/s
- pertes de charge = 1.69 m

- pression en S = 6.82 bars
- énergie en S = 76.306 m

Entre S et S<sub>p</sub>

L'équation d'énergie est la suivante : Energie en S = Energie en S<sub>p</sub> avec

$$E_S - \Sigma H_f + E_P = P_{S_p}/g + V_{S_p}^2/(2 * g) - Z_{S_p}$$

avec  $E_S = 76.306 \text{ m}$

$$E_P = 0 \text{ m}$$

$$Z_{S_p} = 7.6 \text{ m}$$

:

Le tableau des différentes valeurs se trouvent en annexe.

Nous proposons :

- diamètre de la conduite = 400mm
- longueur de la conduite = 15 m
- vitesse dans la conduite = 2.21 m/s
- pertes de charge = 0.17 m
- pression en S<sub>p</sub> = 6.83 bars
- énergie en S<sub>p</sub> = 76.13 m

Entre S et S<sub>F</sub>

L'équation d'énergie est la suivante : Energie en S = Energie en S<sub>F</sub> avec

$$E_S - \Sigma H_f + E_P = P_{SF}/g + V_{SF}^2/(2*g) + Z_{SF}$$

avec  $E_S = 76.306 \text{ m}$

$$E_P = 0 \text{ m}$$

$$Z_{SF} = 7.6 \text{ m}$$

Le tableau des différentes valeurs se trouvent en annexe.

Nous proposons :

- diamètre de la conduite = 500 mm
- longueur de la conduite = 50 m
- vitesse dans la conduite = 3.11 m/s
- pertes de charges = 0.87 m/s
- pression en S<sub>F</sub> = 6.73 bar
- énergie en S<sub>F</sub> = 75.44 m

**3-1-1-1-d- Variante 4**Besoins en débit et en pression

Au point F1, il faut:

\_débit : 2150 m<sup>3</sup>/h

\_pression : 2 à 4 bars en BP

En P1, il faut:

\_débit : 3500 m<sup>3</sup>/h

\_pression : 2 à 4 bars en BP

\_débit : 2200 m<sup>3</sup>/h

\_pression : 8 à 104 bars en HP

En Sp, il faut:

\_débit : 1000 m<sup>3</sup>/h

\_pression : 8 à 10 bars en HP

### Entre R1 et F1

L'équation d'énergie s'écrit : Energie en R1=Energie en F1

$$E_{R1} - \Sigma H_F + E_P = P_{F1}/g + V_{F1}^2/(2*g) + Z_{F1}$$

$$\text{avec } E_{R1} = 0$$

$$E_P = 20 \text{ m ou } 30 \text{ m ou } 40 \text{ m}$$

$$Z_{F1} = 7.6 \text{ m}$$

En faisant varier le diamètre , on obtient différentes valeurs de pression ,de vitesse ,de pertes de charge et de l'énergie en F1.

Le tableau des différentes valeurs est consigné en annexe.

Nous proposons :

- diamètre de la conduite = 500 mm
- longueur de la conduite = 112 m
- vitesse dans la conduite = 3.54 m/s
- pertes de charges = 2.506 m
- pression en F1 = 2.9 bars
- énergie en F1 = 37.494 m

Entre R2 et P<sub>1</sub>

Nous avons

Energie en R2 = Energie en P<sub>1</sub>

$$E_J - 14 \Sigma H_f + E_P = P_{P1} / g + V_{P1}^2 / (2 * g) + Z_{P1}$$

avec  $E_{R2} = 0$

$$E_P = 20 \text{ m ou } 30 \text{ m ou } 40 \text{ m}$$

$$Z_{P1} = 7,6 \text{ m}$$

En faisant varier le diamètre , on obtient différentes valeurs de pression , de vitesse , de pertes de charge et de l'énergie en R2.

Le tableau des valeurs est en annexe:

Nous proposons :

- diamètre de la conduite = 600 mm
- longueur de la conduite = 112m
- vitesse dans la conduite = 3.44 m/s
- pertes de charges = 1.9 m
- pression en P<sub>1</sub> = 1.90 bars
- énergie P<sub>1</sub> = 38.097 m

Entre R2 et S

L'équation d'énergie s'écrit : Energie en R2 = Energie en S

$$E_{R2} - \Sigma H_f + E_P = P_S / g + V_S^2 / (2 * g) + Z_S$$

avec  $E_{R2} = 0$

$$E_P = 20 \text{ m ou } 30 \text{ m ou } 40 \text{ m}$$

$$Z_S = 7.6 \text{ m}$$

Nous mentionnons le tableau de valeurs en annexe.

Nous proposons :

- diamètre de la conduite = 600 mm
- longueur de la conduite = 112 m
- vitesse dans la conduite = 3.14 m/s
- pertes de charges = 1.59 m
  
- pression en S = 3.03 bars
- énergie en S = 38.41 m

Entre S et S<sub>p</sub>

L'équation d'énergie est la suivante: Énergie en S = Énergie en S<sub>p</sub> avec

$$E_S - \Sigma H_f + E_P = P_{S_p}/g - V_{S_p}^2/(2*g) + Z_{S_p}$$

avec  $E_S = 18.406 \text{ m}$  ou  $28.406 \text{ m}$  ou  $38.406 \text{ m}$

$$E_P = 80 \text{ m}$$

$$Z_{S_p} = 7.6 \text{ m}$$

Le tableau de valeurs se trouvent en annexe.

Nous proposons :

- diamètre de la conduite = 400 mm
- longueur de la conduite = 15 m
- vitesse dans la conduite = 2.21 m/s
- pertes de charges = 0.17 m
- pression en S<sub>p</sub> = 11.04 bars
- énergie en S<sub>p</sub> = 118.23 m

Entre S et S<sub>F</sub>

L'équation d'énergie est la suivante: Energie en S = Energie en S<sub>F</sub>

$$\text{avec } E_S - \Sigma H_f + E_P = P_{S_F}/g + V_{S_F}^2/(2 \cdot g) + Z_{S_F}$$

$$\text{avec } E_S = 18.406 \text{ m ou } 28.406 \text{ m ou } 38.406 \text{ m}$$

$$E_P = 78 \text{ m}$$

$$Z_{S_F} = 7.6 \text{ m}$$

Le tableau de valeurs se trouve en annexe.

Nous proposons :

- diamètre de la conduite = 500 mm
- longueur de la conduite = 50 m
- vitesse dans la conduite = 3.11 m/s
- pertes de charges = 0.87 m
- pression en S<sub>F</sub> = 10.74 bars
- énergie en S<sub>F</sub> = 115.534m

**DISCUSSION DES RESULTATS**

Les différents tableaux obtenus nous donnent suivant les diamètres différentes valeurs de vitesses, de pertes de charges, de pressions et d'énergie aux différents points de jonction. Ces tableaux peuvent être consultés en annexe.

Nous proposons en chaque point de jonction un diamètre, une longueur de conduite, une vitesse, une pression, une énergie, les pertes de charge compte tenu des contraintes précitées au tableau du paragraphe 2-1-1.

Ces propositions donnent le diamètre qui minimise les pertes de charge et la vitesse tout en respectant les besoins en débit et en pression des différents points.

Ces propositions ne sont pas figées, par conséquent d'autres choix de diamètre peuvent être effectués

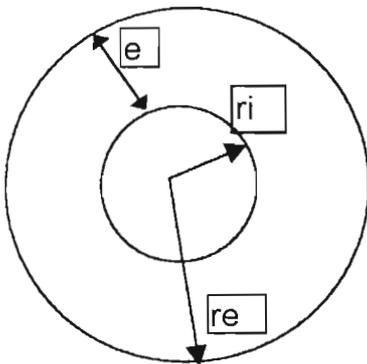
Cependant nous n'avons mentionné que les données relatives aux pressions maximales des pompes. Ainsi il faudrait que les pompes débitent à leur pression maximale pour obtenir les valeurs susmentionnées.

### 3 -1- 2 DIMENSIONNEMENT DES SUPPORTS DE CONDUITES

#### AERIENNES

Nous nous intéressons au supportage des conduites parce que dans toutes nos options (variantes) de solution, les conduites sont aériennes.

#### Sollicitations dues au poids.



e = épaisseur du tube

ri = rayon intérieur du tube

re = rayon extérieur du tube

- Le poids propre de la conduite  $W_c$  est donné par :

$$W_c = \rho_c * g * \pi * (D_{ext}^2 - D_{in}^2) / 4$$

$$= g * \rho_c * \pi * (D_{in} - e) e \quad \text{avec } W_c = \text{poids du tube en N/m}$$

$\rho_c$  = masse volumique en Kg/m<sup>3</sup> de l'acier

$D_{in}$  = diamètre intérieur du tube en m

$D_{ext}$  = diamètre extérieur du tube en m

e = épaisseur du tube en m

Selon la norme ISO 25B1 , l'épaisseur de la conduite peut aussi être calculée par la formule :

$$e = k (0,5 + 0,001 * DN) \quad \text{avec } K = 12, \text{ coefficient de la série}$$

DN = diamètre nominale de la conduite

- Le poids du fluide véhicule  $W_f$  est donné par :

$$W_f = \frac{\rho_f * g * \pi * D_{in}^2}{4} \quad \text{avec} \quad W_f \text{ en N/m}$$

$\rho_f$  = masse volumique du fluide.

$D_{in}$  = diamètre intérieure du tube

Ainsi le poids total de la conduite remplie d'eau est donné par :

$$W_t = W_c + W_f$$

$$W_t = \pi * g * \left[ \rho_c * (D_m - e) * e + \rho_f * \frac{D_{in}^2}{4} \right]$$

Ce poids  $W_t$  se comporte comme une charge uniformément répartie ainsi la tuyauterie subit une flexion et un effort tranchant.

Soit le moment de flexion :

$$m_{jp} = \frac{W_t * L^2}{10}$$

avec  $W_t$  = poids total en N /m linéaire du tube plein

L = distance en m entre les supports

La contrainte de flexion est alors donné par :

$$n_{fp} = \frac{m_{fp}}{I/v} = \frac{W_t * L^2}{10 * I/v} \quad \text{avec} \quad n_{fp} \text{ en Pa}$$

$I/v$  = module de résistance du tube en m<sup>3</sup>

$$= 9.8175 * 10^{-6} * (D_{ext}^4 - D_{int}^4) / D_{ext}^4$$

L'effort tranchant  $T_p$  est maximal au droit des supports et la contrainte de cisaillement qui en résulte a pour valeur :

$$n_{c_p} = \frac{2T_p}{S} \quad \text{avec}$$

$T_p$  = réaction des supports ( distants de  $L$ ) =  $Wt \times L$

$S$  = Section de métal de tube en  $m^2$  avec

$$= S.(\text{symbol } 112 \setminus f \text{"Symbol"} \setminus s 14\pi - e ).e$$

### Sollicitations dues au vent

Si  $S$  est la surface de l'obstacle perpendiculaire au vent, la force exercée par ce dernier s'écrit théoriquement :

$$F_v = \rho.S.V^2 / 2$$

Mais cette expression est à corriger par un coefficient  $C_x$  appelé coefficient de traînée ou de résistance.

Pour un cylindre de longueur  $L$  et de diamètre  $D$  :

$C_x = 0,63$	pour	$L / D = 1$
$C_x = 0,74$	pour	$L / D = 5$
$C_x = 0,30$	pour	$L / D = 20$
$C_x = 1,2$	pour	$L / D = \infty$

Ces valeurs sont valables pour des vitesses de vent courantes de 20 à 30 m / s.

Ainsi :

$$F_v = C_x * \rho * S * \frac{V^2}{2} \quad \text{soit} \quad \text{pour} \quad L=1 \text{ et } S=L*D, \text{ la force unitaire est}$$

$$\text{donnée par :} \quad F_{vu} = C_x * \rho * D_{ext} * \frac{V}{2}$$

avec

S = surface caractéristique

$\rho$  = masse volumique de l'air à 25° c

v = vitesse du vent en m / s

Cette force Fvu se comportera comme une charge uniformément répartie et son effet sera analogue à celui du poids (flexion et effort tranchant), mais dans la direction du vent.

$$\text{Le moment de flexion est donnée par :} \quad m_{fv} = \frac{Fvu * L^2}{10} \quad \text{avec}$$

L = distance entre les supports

$$\text{d'où la contrainte de flexion :} \quad n_{fv} = \frac{m_{fv}}{I/V} = \frac{Fvu L^2}{10F/v}$$

Soit Tv la réaction au niveau des supports.

Si Tv = Fvu est la réaction des supports distants de L, la contrainte de cisaillement aura pour valeur :

$$n_{cv} = \frac{2T_v}{S} = \frac{2Fvu L}{S}$$

Ces deux contraintes, nfv et ncv, sont négligeables.

### Sollicitations due à la vitesse du fluide

Nous ne prenons en compte que l'effort dans les coudes dû à la vitesse du fluide. Nous aurons ainsi :

$$F_c = 2 * S * \gamma * \frac{V^2}{g} * \sin \left( \frac{\theta}{2} \right)$$

avec S = Section intérieure du tube

$\gamma$  = Poids volumique du fluide

V = Vitesse du fluide.

g = accélération de la pesanteur

$\theta$  = angle du coude

Nous notons que cet effort n'est important que dans le cas de grande vitesse du fluide.

### Charge entre les supports

Nous utilisons ici la règle de répartition des charges entre les supports.

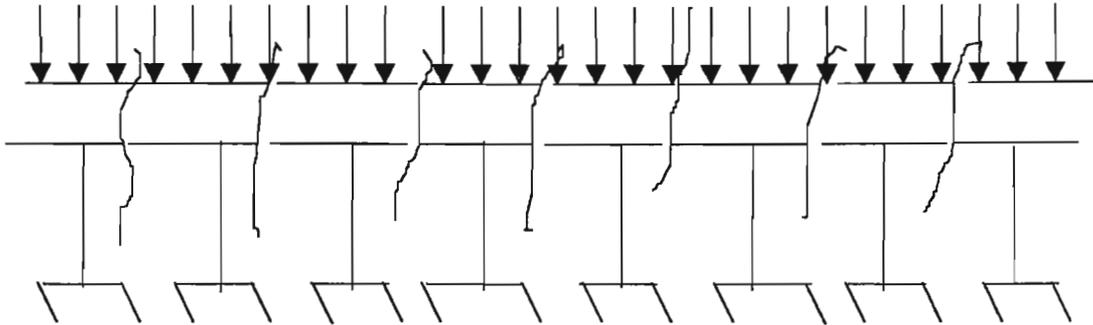
Le tableau suivant donne les distances entre les supports pour les tuyauteries transportant de l'eau :

diamètre du tube (mm)	33,4	60,3	88,9	114,3	165,3	219,1	323,8
distance entre supports(m)	2,1	3	3,7	4,3	5,2	5,8	7

diamètre du tube (mm)	406	508	610	702,5	750,5	798,2	847,5
distance entre supports(m)	8,2	9,1	9,8	11	11,4	11,9	12,5

**Tableau 3-7 : Distance entre les supports**

Connaissant l'écartement entre les supports, nous déterminons pour chaque variante, les contraintes que doivent supporter les poteaux de supportage des conduites



En spécifiant tous les paramètres de dimensionnement, les catalogues des constructeurs nous permettront de choisir les types de supports appropriés.

### 3-1-2-1-EXEMPLE DE CALCUL

#### 3-1-2-1-a-Variante 1

Nous déterminons pour les conduites aériennes les éléments de dimensionnement du supportage.

Nous regroupons toutes les sollicitations dues au poids, au vent à la vitesse du fluide dans le tableau suivant :

ENTRE R1 et F1 : du bassin 5000 m<sup>3</sup> à la flottation

Sollicitations dues au poids et coudes	
Longueur entre les supports, m	9,1
Diamètre intérieur , m	0,5
Epaisseur, m	0,045
Diamètre extérieur , m	0,545
Poids de la conduite $W_c$ , N/m	5,3917
Poids du fluide $W_f$ , N/m	1925.2

Poids total $W_t$ , N/m	1930.6
Moment de flexion $M_{fp}$ , Nm	15987
Contrainte de flexion $n_{fp}$ , Pa	5 E+10
Contrainte de cisaillement $n_{cp}$ , Pa	5 E+6
Force dans les coudes $F_c$ , N	2457.2

**Tableau 3-8 : Sollicitations dues au poids entre R1 et F1**

Sollicitations dues au vent	
Longueur entre les supports, m	9.1
Coefficient de traînée $C_x$	1.2
Force due au vent $F_{vu}$ , N/m	326.92
Moment de flexion $M_{fv}$ , Nm	2507.2
Contrainte de flexion $n_{fv}$ , Pa	8 E+9
Contrainte de cisaillement $n_{cv}$ , Pa	1296

**Tableau 3-9 : Sollicitations dues au vent entre R1 et F1**

L'écartement entre les supports étant de : 9.1 m, la répartition des charges pour chaque support est de :

- contrainte de flexion : 5 E+10 Pa = 500 hbar
- contrainte de cisaillement : 5 E+6 Pa = 0.5 hbar

ENTRE R2 et J : du bassin 15000 m<sup>3</sup> à la préparation

Sollicitations dues au poids et coudes	
Longueur entre les supports, m	12.5
Diamètre intérieur, m	0.8
Epaisseur, m	0.060096
Diamètre extérieur, m	0.860096
Poids de la conduite $W_c$ , N/m	11.5197
Poids du fluide $W_f$ , N/m	4928.54
Poids total $W_t$ , N/m	4940.06
Moment de flexion $M_{fp}$ , Nm	77188.5
Contrainte de flexion $n_{fp}$ , Pa	2.7 E+11
Contrainte de cisaillement $n_{cp}$ , Pa	8256028
Force dans les coudes $F_c$ , N	7371.61

**Tableau 3-10 : Sollicitations dues au poids entre R2 et J**

Sollicitations dues au vent	
Longueur entre les supports, m	12,5
Coefficient de trainée Cx	1,2
Force due au vent Fvu , N/m	522,288
Moment de flexion Mfv , Nm	8160,75
Contrainte de flexion nfv , Pa	2,8 E+10
Contrainte de cisaillement ncv , Pa	1296

**Tableau 3-11 : Sollicitations dues au vent entre R2 et J**

L'écartement entre les supports étant de : 12.5 m, la répartition des charges pour chaque support est de :

- contrainte de flexion :  $3 \text{ E}+11 \text{ Pa} = 3000 \text{ hbar}$
- contrainte de cisaillement :  $8257324 \text{ Pa} = 0.83 \text{ hbar}$

### 3-1-2-1-b-Variante 2

Nous regroupons toutes les sollicitations dues au poids, au vent à la vitesse du fluide dans les tableaux en annexe.

L'écartement entre les supports étant de :

- 9.1 m pour la conduite BP allant du bassin  $5000 \text{ m}^3$  à la flottation (R1 et F1)
- 12.5 m pour la conduite BP allant du bassin  $15000 \text{ m}^3$  à la préparation (R2 et J)

La répartition des charges pour chaque support est de :

	Entre R1 ET F1	Entre R2 et J
- contrainte de flexion en hbar	500	3000
- contrainte de cisaillement hbar	0.5	0.83

**Tableau 3-12 : Résumé des sollicitations de la variante 2**

### **3-1-2-1-c-Variante 3**

Nous regroupons toutes les sollicitations dues au poids, au vent à la vitesse du fluide dans les tableaux en annexe.

L'écartement entre les supports étant de :

-9.1 m pour la conduite allant du bassin 5000 m<sup>3</sup> à la flottation (R1 et F1)

-9.8 m pour la conduite BP allant du bassin 15000 m<sup>3</sup> à la préparation (R2 et P1)

-9.8 m pour la conduite HP allant du bassin 15000 m<sup>3</sup> à la préparation (R2 et S)

la répartition des charges pour chaque support est de :

	Entre R1 et F1	Entre R2 et P1	Entre R2 et S
- contrainte de flexion en hbar	500	9500	850
- contrainte de cisaillement hbar	0.5	0.58	0.58

**Tableau 3-13 :Résumé des sollicitations de la variante 3**

### **3-1-2-1-d-Variante 4**

Nous regroupons toutes les sollicitations dues au poids, au vent à la vitesse du fluide dans les tableaux en annexe.

L'écartement entre les supports étant de :

-9.1 m pour la conduite allant du bassin 5000 m<sup>3</sup> à la flottation (R1 et F1)

-9.8 m pour la conduite BP allant du bassin 15000 m<sup>3</sup> à la préparation (R2 et P1)

-9.8 m pour la conduite HP allant du bassin 15000 m<sup>3</sup> à la préparation (R2 et S)

la répartition des charges pour chaque support est de :

	Entre R1 et F1	Entre R2 et P1	Entre R2 et S
- contrainte de flexion en hbar	5 E+10	9.5 E+10	8.3 E+10
- contrainte de cisaillement hbar	5 E+06	5833143	5833143

**Tableau 3-14 :Résumé des sollicitations de la variante 4**

### DISCUSSION DES RESULTATS

Nous avons pris toutes les sollicitations que les supports devront supporter. Cependant seules celles dues au poids restent significatives. Dans la pratique, nous surdimensionneront tous les supports.

Ces sollicitations représentent les éléments de dimensionnement qui permettront avec l'aide des fournisseurs de choisir les types de supports.

### 3 -1-3 : DIMENSIONNEMENT DES RADEAUX

Quel que soit le type de radeaux choisi, nous aurons deux contraintes majeures.

- 1)- les radeaux doivent pouvoir supporter le poids des pompes et des accessoires tout en restant en flottaison.
- 2)- la longueur des conduites d'aspiration des pompes doit être supérieure à la hauteur immergée des radeaux.

La condition d'équilibre du radeau, en plus des pompes et des accessoires, s'écrit en négligeant la poussée d'Archimède dans l'air :

$$\text{poids du solide} = \text{poussée d'Archimède dans l'eau.}$$

Ainsi :

$$\rho_r * g * V_r = \rho_e * g * V_e \quad \text{avec} \quad \rho_r = m_t / V_r ;$$

nous obtenons finalement :  $m_t = \rho_e V_e$

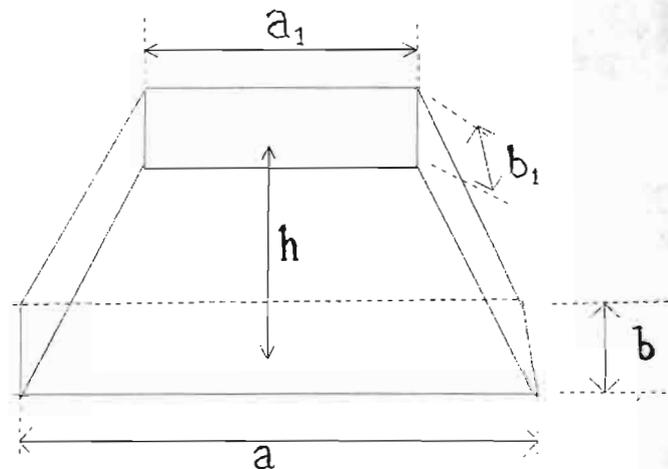
avec

$m_t$  = masse totale du radeau, pompes, accessoires et main-d'œuvre supportés par le radeau.

$$\rho_e = \text{masse volumique de l'eau} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$V_e$  = volume d'eau déplacé

$$= h/6 [ (2a + a_1) b + (2a_1 + a) b_1 ]$$



Pour respecter la contrainte 1°, il faut que :

$$h_{im} < h_t \quad \text{avec} \quad h_{im} = \text{hauteur immergée du tronc de cône}$$

$$h_t = \text{hauteur total du tronc de cône}$$

$$= 1.5 \text{ m}$$

La seconde contrainte sera respectée dans le cas où :

$$L_{asp} > (h_t - h_{im}) \quad \text{avec} \quad L_{asp} = \text{longueur de la conduite d'aspiration des pompes}$$

$$= 3 \text{ m de plonge}$$

Les spécifications des pompes de  $2500\text{m}^3/\text{h}$ , pression 2 à 4 bars donnent :

- Poids total unitaire = 4725 kg
- Longueur de plonge = 3m

Celles des pompes de  $1100\text{m}^3/\text{h}$ , pression 8 à 10 bars donnent :

- Poids total unitaire = 2100 kg
- Longueur de plonge = 3m

Les tableaux suivants nous donnent la valeur de la hauteur immergée ( $h_{im}$ ) pour toutes les quatre variantes.

#### VARIANTE 1

	Radeau avec 4 pompes BP (bassin $15000\text{ m}^3$ )	Radeau avec 2 pompes BP (bassin $5000\text{ m}^3$ )
masse des tôles et accessoires	12217,96	9445,2
masse pompes	18900	9450
masse totale	36355,144	23023,28
masse supportée par chaque tronc de cône	18177,572	11511,64
hauteur immergée	0,89958291	0,56969515

**Tableau 3-15 : Hauteur immergée pour la variante 1**

#### VARIANTE 2

	Radeau avec 4 ppes BP (bassin $15000\text{ m}^3$ )	Radeau avec 2 ppes BP (bassin $5000\text{ m}^3$ )
masse des tôles et accessoires	12217,96	9445,2
masse pompes	18900	9450
masse totale	36355,144	23023,28
masse supportée par chaque tronc de cône	18177,572	11511,64
hauteur immergée	0,89958291	0,56969515

**Tableau 3-16 : Hauteur immergée pour la variante 2**

VARIANTE 3

	Radeau avec 4 ppes BP (bassin 15000 m <sup>3</sup> )	Radeau avec 4 ppes HP (bassin 15000 m <sup>3</sup> )	Radeau avec 2 ppes BP (bassin 5000 m <sup>3</sup> )
masse des tôles et accessoires	12217,96	9445,2	9445,2
masse pompes	18900	8400	9450
masse totale	36355,144	21973,28	23023,28
masse supportée par chaque tronc de cône	18177,572	10986,64	11511,64
hauteur immergée	0,89958291	0,543713626	0,56969515

**Tableau 3-17 : Hauteur immergée pour la variante 3**VARIANTE 4

	Radeau avec 4 ppes BP (bassin 15000 m <sup>3</sup> )	Radeau avec 2 ppes BP (bassin 5000 m <sup>3</sup> )
masse des tôles et accessoires	12217,96	9445,2
masse pompes	18900	9450
masse totale	36355,144	23023,28
masse supportée par chaque tronc de cône	18177,572	11511,64
hauteur immergée	0,89958291	0,56969515

**Tableau 3-18 : Hauteur immergée pour la variante 4****DISCUSSION DES RESULTATS**

Pour toutes les quatre variantes proposées, nous respectons d'après les valeurs des tableaux ci-haut nos deux contraintes. La valeur de la hauteur immergée maximale lue est de 0.9 m quel que soit le type de variante de solution.

Ainsi :

1)-  $h_{im} = 0.9 \text{ m} < h_t = 1.5 \text{ m}$  :

2)-  $L_{asp} = 3 \text{ m} > (h_t - h_{im}) = 1.5 - 0.9 = 0.6 \text{ m}$

Nous pouvons donc affirmer que les radeaux vont pouvoir supporter le poids des pompes , accessoires et autres charges tout en restant en flottaison . En plus les pompes vont pouvoir aspirer sans difficulté.

### **3 -1-4 DIMENSIONNEMENT DES ACCESSOIRES**

La liste des accessoires que nous établissons à présent n'est pas exhaustive. Cependant nous nous bornerons à donner tous les accessoires qui nous semblent nécessaires :

- \_ Les tuyaux avec des revêtement adaptés
- \_ Les brides de raccordement et d'arrêt
- \_ Les coudes
- \_ Les tés à deux ou trois emboîtements
- \_ Les pièces de réduction et d'arrêt
  - cône à emboîtements ou à brides
  - plaques pleines
  - les vannes
  - les clapets anti-retour
  - les réservoirs anti-belier
- \_ Les manomètres
- \_ Les flexibles

Tous ces équipements seront spécifiés de façon plus précis après le choix de la variante donc du profil des conduites, des caractéristiques de l'installation et de concert avec les fournisseurs.

Par exemple pour les réservoirs anti-bélier, il faut tenir compte du débit ,de la section et du profil de la canalisation à protéger .

Il faut également prendre en compte le temps d'arrêt des pompes ou la fermeture d'une vanne, de la pression statique du réseau, de la surpression admissible et des pertes de charge dues à la qualité et au profil de la conduite . Enfin il faut consulter les catalogues des fournisseurs pour le choix d'un type de réservoirs anti-bélier répondant aux exigences de l'installation.

Il en est de même pour les autres accessoires.

## CHAPITRE IV :

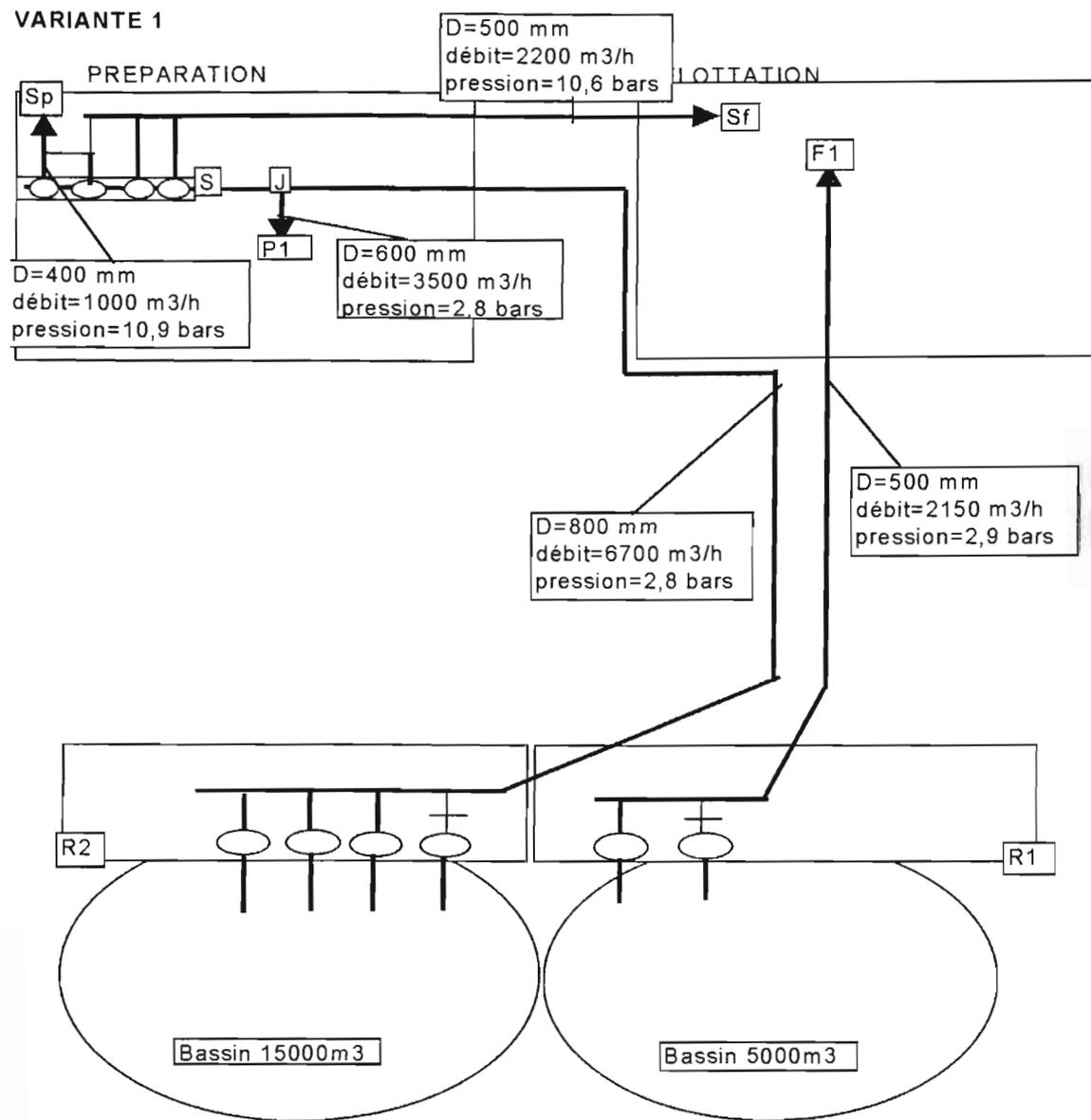
# EVALUATION DES SOLUTIONS

## 4-1-RESUME DES DIFFERENTES SOLUTIONS

Nous nous proposons de donner sous forme de schémas les différents résultats obtenus dans notre chapitre 3

### 4-1-1-Variante 1

#### VARIANTE 1



**Figure 4-1 : Schéma final de la variante 1**

#### Légende

R1 : pompage sur le bassin  $5000$  m<sup>3</sup> avec 2 pompes BP de  $2500$  m<sup>3</sup>/h dont une en réserve

R2 : pompage sur le bassin  $15000$  m<sup>3</sup> avec 4 pompes BP de  $2500$  m<sup>3</sup>/h dont une en réserve

F1 : point de jonction pour la BP de la flottation

J : point de jonction pour la BP de la préparation et la HP de pompes surpresseuses

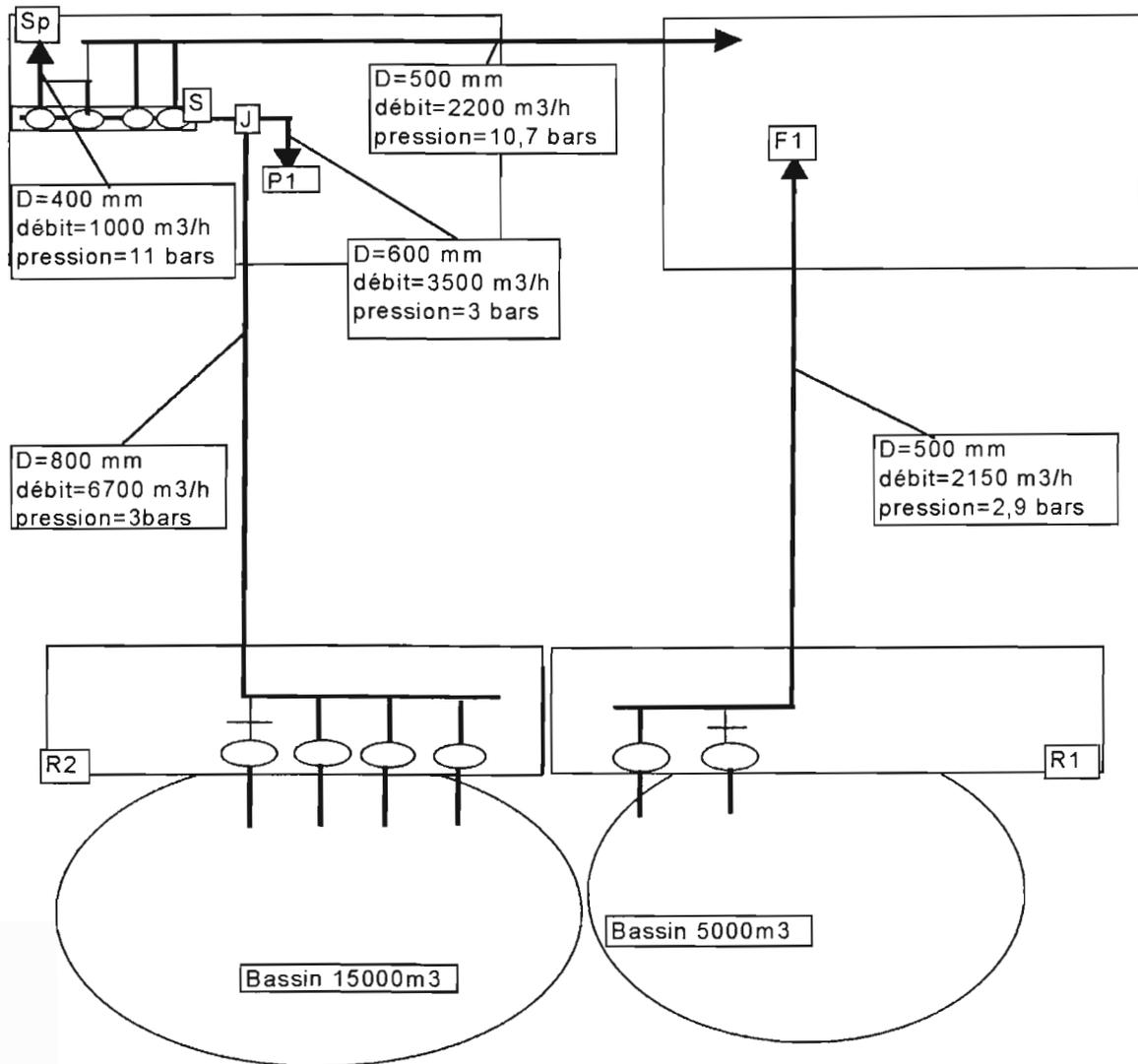
P1 : point de jonction pour BP de la préparation

S : point de jonction pour la HP de la préparation et de la flottation

Sp : point de jonction pour la HP de la préparation

Sf : point de jonction pour la HP de la flottation

### 4-1-2- Variante 2



**Figure 4-2 : Schéma final de la variante 2**

#### Légende

R1: pompage sur le bassin 5000 m<sup>3</sup> avec 2 pompes BP de 2500 m<sup>3</sup>/h dont une en réserve

R2: pompage sur le bassin 15000 m<sup>3</sup> avec 4 pompes BP de 2500 m<sup>3</sup>/h dont une en réserve

F1: point de jonction pour la BP de la flottation

J: point de jonction pour la BP de la préparation et la HP de pompes surpresseuses

P1: point de jonction pour BP de la préparation

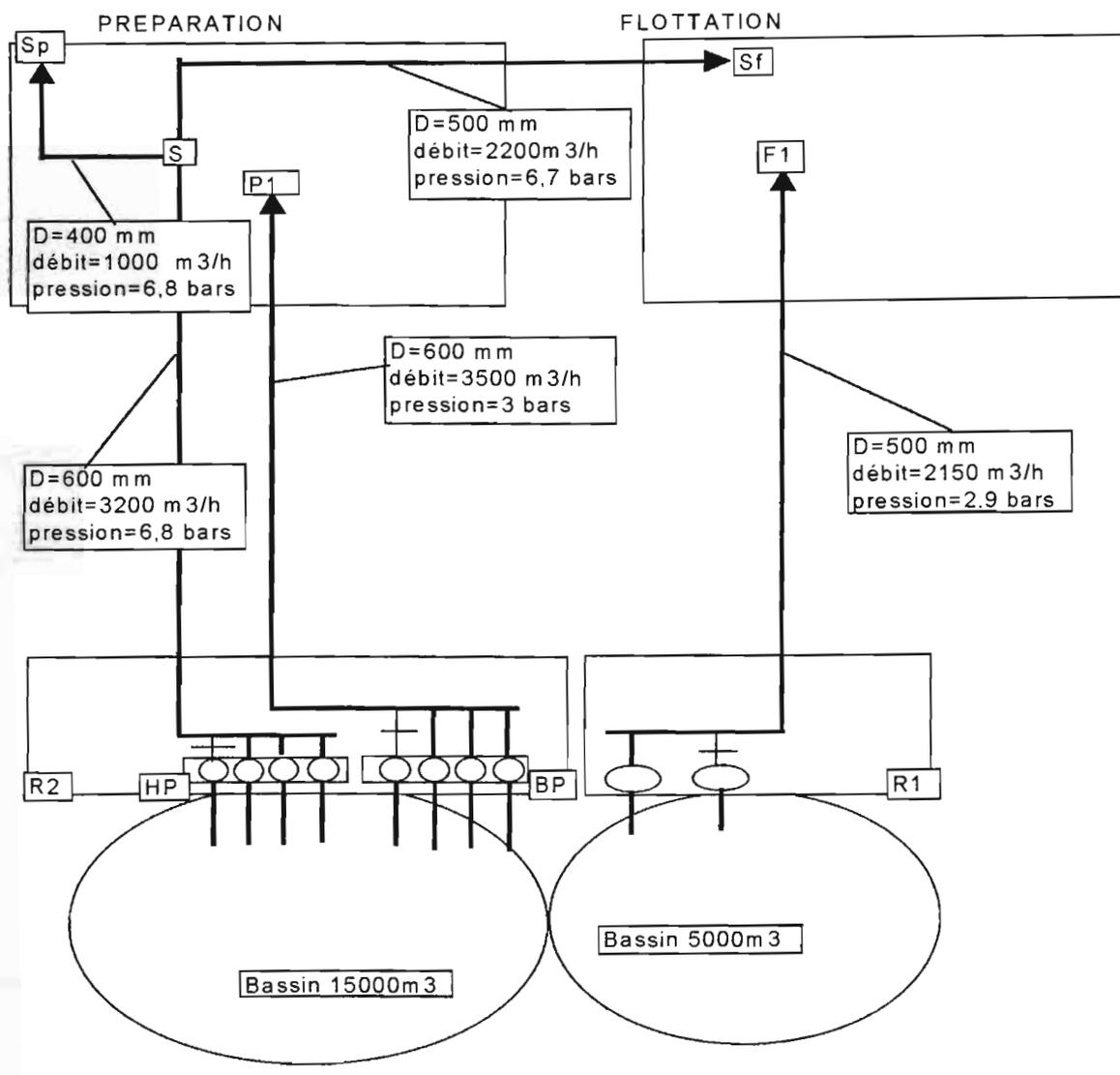
S: point de jonction pour la HP de la préparation et de la flottation

Sp: point de jonction pour la HP de la préparation

Sf: point de jonction pour la HP de la flottation

### 4-1-3- Variante 3

#### VARIANTE 3



**Figure 4-3 : Schéma final de la variante 3**

#### Légende

R1: pompage sur le bassin 5000 m<sup>3</sup> avec 2 pompes BP de 2500 m<sup>3</sup>/h dont une en réserve

R2: pompage sur le bassin 15000 m<sup>3</sup> avec 4 pompes BP de 2500 m<sup>3</sup>/h dont une en réserve

R2: pompage sur le bassin 15000 m<sup>3</sup> avec 4 pompes HP de 1000 m<sup>3</sup>/h dont une en réserve

F1: point de jonction pour la BP de la flottation

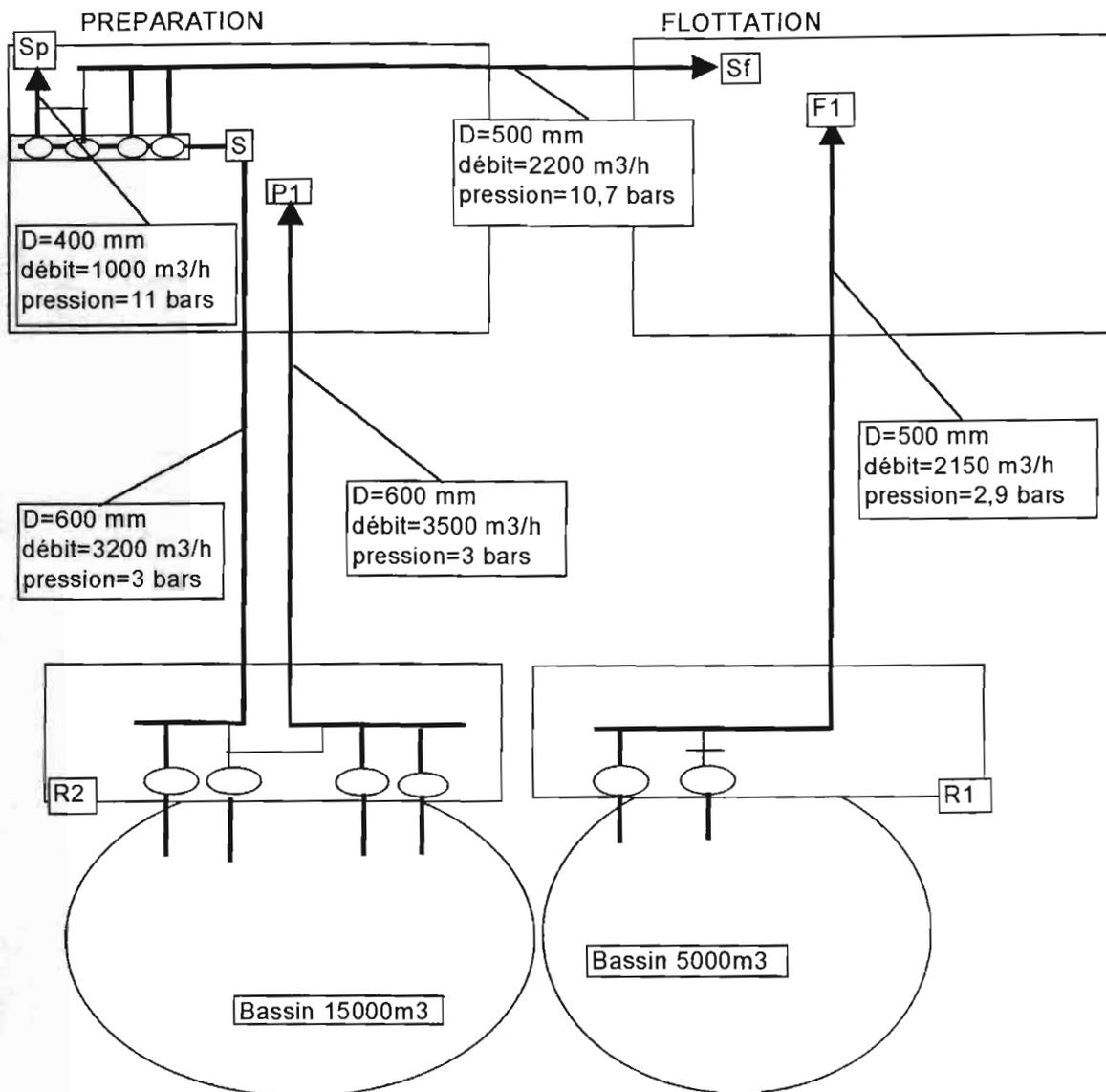
P1: point de jonction pour BP de la préparation

S: point de jonction pour la HP de la préparation et de la flottation

Sp: point de jonction pour la HP de la préparation

Sf: point de jonction pour la HP de la flottation

## VARIANTE 4



**Figure 4-4 : Schéma final de la variante 4**

Légende

R1: pompage sur le bassin  $5000$  m<sup>3</sup> avec 2 pompes BP de  $2500$  m<sup>3</sup>/h dont une en réserve

R2: pompage sur le bassin  $15000$  m<sup>3</sup> avec 4 pompes BP de  $2500$  m<sup>3</sup>/h dont une en réserve

F1: point de jonction pour la BP de la flottation

P1: point de jonction pour BP de la préparation

S: point de jonction pour la HP de la préparation et de la flottation

Sp: point de jonction pour la HP de la préparation

Sf: point de jonction pour la HP de la flottation

## 4-2-EVALUATION FINANCIERE

Nous faisons sous forme de tableaux une estimation des coûts des différentes variantes

### 4-2-1-Variante 1

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix totaux
Tuyauterie DN 400	m/l	15	135 000	2 025 000
Tuyauterie DN 500	m/l	162	147 000	23 814 000
Tuyauterie DN 600	m/l	15	150 000	2 250 000
Tuyauterie DN 800	m/l	178	180 000	32 040 000
Pompes 2500 m <sup>3</sup> /h	-----	7	10 502 500	73 517 500
Pompes 1000 m <sup>3</sup> /h	-----	4	12 092 000	48 368 000
Clapet AR		15	500 000	7 500 000
Flexible	m/l	30	840 000	25 200 000
Réservoirs A-B	-----	3	1 000 000	3 000 000
M-O réalisation	-----	-----	8 000 000	8 000 000
Radeau	-----	2	10 000 000	20 000 000
<b>Total brut</b>				245 714 500
<b>Total avec 20 %</b>				<b>294 857 400</b>

**Tableau 4-1 : Coût de la variante 1**

### 4-2-2-Variante 2

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix totaux
Tuyauterie DN 400	m/l	15	135 000	2 025 000
Tuyauterie DN 500	m/l	162	147 000	23 814 000
Tuyauterie DN 600	m/l	15	150 000	2 250 000
Tuyauterie DN 800	m/l	112	180 000	20 160 000
Pompes 2500 m <sup>3</sup> /h	-----	7	10 502 500	73 517 500
Pompes 1000 m <sup>3</sup> /h	-----	4	12 092 000	48 368 000
Clapet AR	-----	15	500 000	7 500 000
Flexible	m/l	30	840 000	25 200 000
Réservoirs A-B		3	1 000 000	3 000 000
M-O réalisation	-----	-----	8 000 000	8 000 000
Radeau	-----	2	10 000 000	20 000 000
<b>Total brut</b>				233 834 500
<b>Total avec 20 %</b>				<b>280 601 400</b>

**Tableau 4-2 : Coût de la variante 2**

4-2-3-Variante 3

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix totaux
Tuyauterie DN 400	m/l	15	135 000	2 025 000
Tuyauterie DN 500	m/l	162	147 000	23 814 000
Tuyauterie DN 600	m/l	224	150 000	33 600 000
Tuyauterie DN 800	m/l-	-----	-----	-----
Pommes 2500 m <sup>3</sup> /h	-----	7	10 502 500	73 517 500
Pommes 1000 m <sup>3</sup> /h	-----	4	12 092 000	48 368 000
Clanet AR	-----	15	500 000	7 500 000
Flexible	m/l	30	840 000	25 200 000
Réservoirs A-B	-----	3	1 000 000	3 000 000
M-O réalisation	-----		8 000 000	8 000 000
Radeau	-----	2	10 000 000	20 000 000
<b>Total brut</b>				245 024 500
<b>Total avec 20 %</b>				294 029 400

Tableau 4-3 : Coût de la variante 34-2-4-Variante 4

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix totaux
Tuyauterie DN 400	m/l	15	135 000	2 025 000
Tuyauterie DN 500	m/l	162	147 000	23 814 000
Tuyauterie DN 600	m/l	224	150 000	33 600 000
Tuyauterie DN 800	m/l	-----	-----	-----
Pommes 2500 m <sup>3</sup> /h	-----	7	10 502 500	73 517 500
Pommes 1000 m <sup>3</sup> /h	-----	4	12 092 000	48 368 000
Clanet AR	-----	15	500 000	7 500 000
Flexible	m/l	45	840 000	37 800 000
Réservoirs A-B	-----	3	1 000 000	3 000 000
M-O réalisation	-----		8 000 000	8 000 000
Radeau	-----	2	10 000 000	20 000 000
<b>Total</b>				225 624 500
<b>Total avec 20 %</b>				270 749 400

Tableau 4-4 : Coût de la variante 4

## **DISCUSSION DES RESULTATS**

Du point de vue des coûts de réalisation , la variante 4 est la moins chère suivie de la variante 2. La variante 1 quant à elle reste la plus coûteuse de toutes.

Cette estimation des coûts doit être approfondie en intégrant les coûts de maintenance ; d'entretien, de réparation qui peuvent être élevés surtout avec les pompes installées sur radeaux.

### **4-3-CHOIX**

Nous nous fixons les critères d'évaluation suivantes :

- la sécurité
- l'encombrement
- la facilité d'accès
- l'entretien
- le confort des intervenants
- l'esthétique
- le coût de réalisation.

Ainsi en soumettant toutes les variantes de solutions à ces critères d'évaluation nous avons la variante 4 et la variante 2 qui retiennent notre attention .

En soumettant ces variantes aux obligations du cahier de charges, à savoir que

le débit de  $6700 \text{ m}^3/\text{h}$  doit être transporté dans un seul collecteur , la variante 2 doit être retenue. Mais le diamètre de sa conduite est trop élevé (800 mm) .

Finalement nous optons pour la variante 4.

Cependant les pompes installées sur les radeaux vont poser d'énormes problèmes de maintenance, d'entretien, de réparation, de facilité d'accès, de sécurité qui nous poussent à porter notre choix sur des pompes installées sur des bâtis fixes.

# CONCLUSION

La modernisation des circuits d'eau de la laverie des ICS-Taïba reste une priorité pour les exploitants.

Un cahier de charge a constitué un guide pour notre étude.

Nos hypothèses , de même que les prescriptions du cahier de charges nous ont conduit à quatre variantes de solution

Nous avons ainsi proposé des diamètres de conduites permettant de véhiculer les besoins de pressions et de débits en des points spécifiques du circuit tout en minimisant les pertes de charge et les vitesses dans ces conduites.

Le choix des pompes , de ses fixations et du mode de pompage ont été étudiés.

Ainsi l'hypothèse des pompes installées sur radeaux nous laisse septique.

Pour ce qui est des conduites , nous avons opté pour un transport en aérien pour pallier les réparations fastidieuses des conduites enterrées. Cette option aérienne a nécessité l'étude du supportage de ces conduites.

L'étude des accessoires n'est pas complète mais un listing de celles-ci est proposée.

Pour chaque variante, nous spécifions le tracé du réseau d'eau, des diamètres des différentes conduites et du supportage de ces dernières. Une discussion des résultats obtenus nous a permis de les interpréter et de les confronter aux contraintes du cahier de charges.

Une estimation des coûts pour chaque variante, nous a permis de dégager un budget prévisionnel de réalisation.

Toutefois pour affiner notre étude , les recommandations suivantes devront être mises en pratique.

## RECOMMANDATIONS

- Après un choix définitif d'une des variantes , le budget prévisionnel proposé devra être révisé en prenant en compte par exemple les coûts de maintenance.
- Le mode de fixation des pompes est à étudier avec soin et il faut que ces dernières débitent à leur pression maximale pour un meilleur rendement.
- Les conduites aériennes constituent un danger et l'étude de leur encombrement sera sérieusement envisagée.
- Les configurations de marche possibles mentionnées dans le cahier de charges induisent une étude d'asservissement et d'automatisation des circuits d'eau.
- Une des limites majeures de notre étude est de ne pas intégrer les circuits intérieurs d'eau de la laverie dans nos calculs. Les différents piquages à effectuer nécessitent d'autres calculs pour vérifier si les débits et pressions requis aux points d'utilisation sont satisfaits.
- Enfin avant la réalisation , un planning des travaux sera défini avec la contrainte majeure de continuité de la production.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Notes de cours de MACH 322 ( Systèmes de pompage ) , Ecole Polytechnique de Thies, 1997
- Notes de cours de MEC 511 ( Plomberie sanitaire et industrielle ) , EPT , 1999
- V.L Streeter et E.B Whyllie, Fluid Mechanics, Mc Graw Hill book company, 1979
- Traités de Génie Civil de l'école polytechnique fédérale de Lausanne :
  - Richard O. Sinniger et Willi H. Stager, Ecoulements stationnaires, Volume 15, 1989
  - Walter H. Graf, Ecoulement permanent uniforme et non uniforme, Volume 16 tome 1, 1993
- Techniques de l'ingénieur : Tuyauteries-Réservoirs-A4, sous la direction de Richard Glodkowski, 1982
- Catalogues SNRI, SERSEG
- Documentation ICS-Taïba

# ANNEXE

**Annexe 1** : Spécifications techniques et courbe de performance des pompes 2500 m<sup>3</sup>/h , 2 à 4 bars et 1000 m<sup>3</sup>/h, 8 à 10 bars

Copie MM Gaye  
Dine

24-09-1998 18:16

P.01

## POMPES MORET

Chemin des Pont & Chaussées  
02100 SAINT-QUENTIN  
Tél : 03 23 62 91 00 - Fax : 03 23 62 03 30

Date : 24.04.98  
Nombre de feuilles : 17  
(y compris cette page)

EXPEDITEUR : FRANCK LEVE / STÉPHANIE BURIEZ

DESTINATAIRE : ICS TAIBA  
A l'attention de : Mr THIerno DIONE  
Télécopie : 00.221.955.61.60  
V/REF : Demande de Prix - URGENTE

Devis n° 228074 bis

Monsieur,

En réponse à votre demande de prix, nous vous prions de trouver ci joint notre offre ci-dessus référencée établi selon les options suivantes :

- P1 : **POMPES VERTICALES 1100 m3/h - Pression 8 à 10 bars - Plonge 3 m** ✓
  - P2 : **POMPES VERTICALES 1100 m3/h - Pression 8 à 10 bars - Plonge 6 m** ✗
  - P3 : **POMPES HORIZONTALES 1100 m3/h - Pression 8 à 10 bars** ✗
  - P4 : **POMPES HORIZONTALES 2500 m3/h - Pression 2 à 4 bars** ✗
  - P5 : **POMPES VERTICALES 2500 m3/h - Pression 2 à 4 bars - Plonge 3 m**
  - P6 : **POMPES VERTICALES 2500 m3/h - Pression 2 à 4 bars - Plonge 6 m** ✗
- Fluide : EAU TRQUBLE ( eau industrielle)

En espérant avoir répondu à vos attentes,  
**SINCERES SALUTATIONS**

Stéphanie BURIEZ  
Assistante Service Export Industrie

**SPECIFICATION TECHNIQUE POMPE VERTICALE - P5**

<b>SOCIETE : ICS TAIBA</b>	<b>POMPES MORET - 02100 ST-QUENTIN</b>
V/Réf. : conversation téléphonique du 22.9.98	TEL 03.23.62.91.00 / FAX 03.23.62.02.30
Date : 24.9.98	Affaire suivie par Franck LEVE / Stéphanie BURTEZ
	REF DEVIS : FL/SB 228074 bis

**CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT**

<b>PRODUIT VEHICULE</b>	EAU INDUSTRIELLE
<b>TEMPERATURE</b>	40°C
<b>DENSITE</b>	1.079
<b>VISCOSITE</b>	4.17 cst
<b>PH</b>	

**CARACTERISTIQUES**

<b>DEBIT</b>	2500 m³/h	<b>RENDEMENT</b>	87 %
<b>HMT</b>	37 mcl / 4b	<b>PUISSANCE ABSORBEE</b>	290 kW
<b>VITESSE</b>	770 t/mn	<b>NPSH REQUIS</b>	3.5 m

<b>TYPE DE POMPE</b>	<b>MRVO 500.450.700</b>
	verticale sans palier de pied ni coussinets immergés
<b>NOMBRE</b>	6

**CONSTRUCTION**

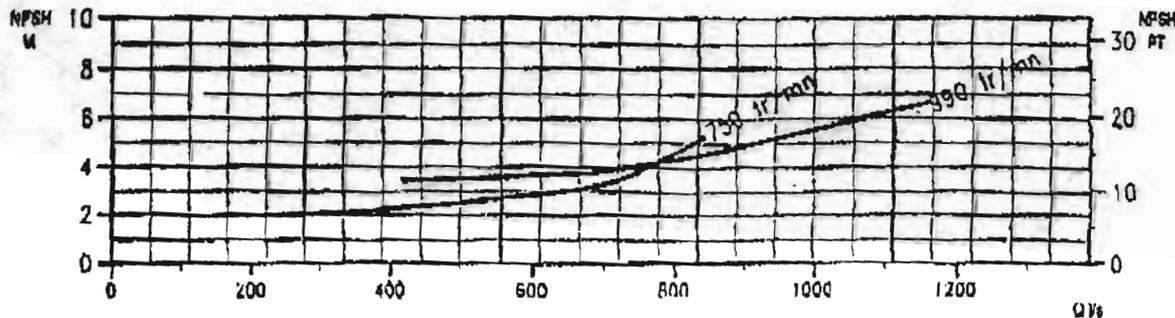
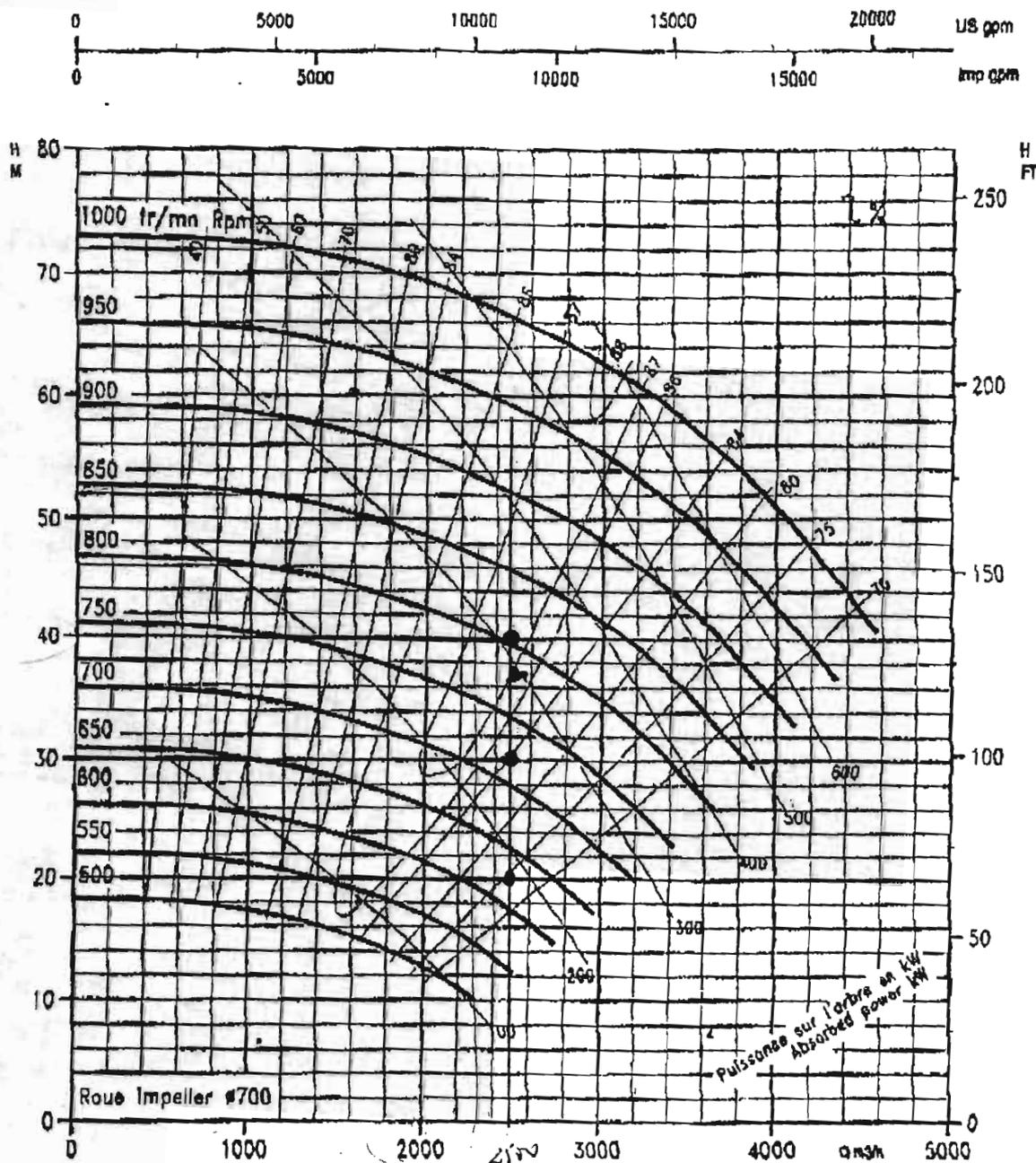
<b>CORPS</b>	FONTE FT25
<b>ROUE FERMEE</b>	FONTE FT25
<b>DISQUE D'USURE AV.</b>	INOX 316
<b>COURONNE D'USURE AR.</b>	INOX 316
<b>FOND</b>	FONTE FT25
<b>ARBRE</b>	XC38
<b>COLONNE ET TULIPE ASP</b>	ACIER
<b>DIAMETRE DE ROUE</b>	MAXI 700 mm
<b>PALIER</b>	Taille 105 / 160 avec roulements NU 322 140 côté commande et 6328 110 côté pompe, lubrifiées à la graisse
<b>LONGUEUR DE PLONGE</b>	Hauteur de la plaque de pose / bride d'aspiration pompe : 1500 mm Hauteur de la tulipe d'aspiration : 1500 mm. Hauteur totale : 3000 mm

**LIMITE DE FOURNITURE**

<b>TRANSMISSION</b>	POULIES-COURROIES
<b>CHASSIS SUPPORT</b>	MECANO-SOUDE - ACIER
<b>CARTER DE PROTECTION</b>	ACIER
<b>PLAQUE DE POSE</b>	ACIER - 1800 x 1800 mm - Epaisseur : 22 mm
<b>TUYAUTERIE DE REFOULEMENT</b>	Ø 450 mm - ACIER
<b>MOTEUR ABB, Leroy Somer ou Siemens, 355 kW à 1490 t/min, carcasse fonte, IP 55, B3, 380/400v, 50 Hz</b>	

**CONDITIONS DE VENTE**

<b>PRIX POMPE + CHASSIS + PLAQUE DE POSE + TUYAUTERIE :</b>	156060 FF unitaire
<b>PRIX TRANSMISSION + CARTER :</b>	14080 FF unitaire
<b>PRIX DU MOTEUR :</b>	105025 FF unitaire - TOTAL : 275165 FF - POIDS NET UNITAIRE : 4725 KG
<b>POIDS TOTAL NET :</b>	28350 KG / Délai de livraison : 5,5 mois à réception de commande EXW



Caractéristiques obtenues pour un fonctionnement en liquide de densité 1 et viscosité cinématique de 150 cSt  
 Characteristics obtained for operation with a liquid of specific gravity 1 and kinematic viscosity of around 150 cSt

**SPECIFICATION TECHNIQUE POMPE VERTICALE - P1**

**CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT**

PRODUIT VEHICULE	EAU INDUSTRIELLE
TEMPERATURE	40°C
DENSITE	1.079
VISCOSITE	4,17 cst

**CARACTERISTIQUES**

DEBIT	1100 m <sup>3</sup> /h	RENDEMENT	83 %
MTU	1100 m <sup>3</sup> /h	PUISSANCE ABSORBE	362 kW
VERTICALE sans palier de pied ni connecteurs immergés			
NOMBRE	5		

**CONSTRUCTION**

ROULI LUBRIF	PONTE FI23 / PASSAGE : 48 mm
DISQUE D'USURE AV.	INOX 316
COURONNE D'USURE AR.	INOX 316
FOND	FONTE FT25
ARBRE	XC38
COLONNE ET TULIPE ASP	ACIER
DIAMETRE DE ROUE	MAXI 500 mm
CHASSIS SUPPORT	MECANO-SOUDE - ACIER
CARTER DE PROTECTION	ACIER
PLAQUE DE POSE	ACIER - 1400 x 1400 mm - Epaisseur : 20 mm
TUYAUTERIE DE REFOULEMENT	Ø 250 mm - ACIER
MOTEUR ABB, Leroy Somer ou Siemens, 400 kW à 1490 t/min, carcasse fonte, IP 55, B3, 380/400v, 50 Hz	

**CONDITIONS DE VENTE**

PRIX POMPE + CHASSIS + PLAQUE DE POSE + TUYAUTERIE : 122870 FF unitaire  
 PRIX TRANSMISSION + CARTER : 8180 FF unitaire  
 PRIX DU MOTEUR : 120920 FF unitaire - TOTAL : 251970 FF - POIDS NET UNITAIRE : 2100 KG  
 POIDS TOTAL NET : 10500 KG / Délai de livraison : 2,5 mois à réception de commande BXW





**Annexe 2** : Tableaux de calculs des diamètres des  
différentes conduites pour les variantes 1 à 4

## VARIANTE 1

Entre R1 et F1

diamètre D,m	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
longueur L,m	112	112	112	112	112	112	112	112	112
débit Q, m3/h	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
E en R1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vitesse V,m/s	9,82936	9,8294	9,82936	5,52902	5,529	5,52902	3,53857	3,5386	3,53857
V <sup>2</sup> /(2*g)	4,92438	4,9244	4,92438	1,55811	1,5581	1,55811	0,6382	0,6382	0,6382
Z en F1, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	20	30	40	20	30	40	20	30	40
f	0,01603	0,016	0,01603	0,01518	0,0152	0,01518	0,01463	0,0146	0,01463
£Hf	35,3074	35,307	35,3074	7,93796	7,938	7,93796	2,506	2,506	2,506
P/y en F1,m	-27,832	-17,832	-7,8318	2,90393	12,904	22,9039	9,2558	19,256	29,2558
P en F1, bar	-2,7832	-1,7832	-0,7832	0,29039	1,2904	2,29039	0,92558	1,9256	2,92558
E en F1	-15,307	-5,3074	4,69262	12,062	22,062	32,062	17,494	27,494	37,494

diamètre D,m	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
longueur L,m	112	112	112	112	112	112	112	112	112
débit Q, m3/h	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
E en R1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vitesse V,m/s	2,45734	2,4573	2,45734	1,80539	1,8054	1,80539	1,38225	1,3823	1,38225
V <sup>2</sup> /(2*g)	0,30777	0,3078	0,30777	0,16613	0,1661	0,16613	0,09738	0,0974	0,09738
Z en F1, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	20	30	40	20	30	40	20	30	40
f	0,01424	0,0142	0,01424	0,01397	0,014	0,01397	0,01378	0,0138	0,01378
£Hf	0,98069	0,9807	0,98069	0,4451	0,4451	0,4451	0,22516	0,2252	0,22516
P/y en F1,m	11,1115	21,112	31,1115	11,7888	21,789	31,7888	12,0775	22,077	32,0775
P en F1, bar	1,11115	2,1112	3,11115	1,17888	2,1789	3,17888	1,20775	2,2077	3,20775
E en F1	19,0193	29,019	39,0193	19,5549	29,555	39,5549	19,7748	29,775	39,7748

Entre R2 et J

diamètre D,m	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
longueur L,m	178	178	178	178	178	178	178	178	178
débit Q, m3/h	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500
E en R2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vitesse V,m/s	29,4881	29,488	29,4881	16,587	16,587	16,587	10,6157	10,616	10,6157
V <sup>2</sup> /(2*g)	44,3194	44,319	44,3194	14,0229	14,023	14,0229	5,7438	5,7438	5,7438
Z en J, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	20	30	40	20	30	40	20	30	40
f	0,01591	0,0159	0,01591	0,015	0,015	0,015	0,01437	0,0144	0,01437
£Hf	501,38	501,38	501,38	112,169	112,17	112,169	35,2059	35,206	35,2059
P/y en J,m	-533,3	-523,3	-513,3	-113,79	-103,79	-93,792	-28,55	-18,55	-8,5497
Pression en J, bar	-53,33	-52,33	-51,33	-11,379	-10,379	-9,3792	-2,855	-1,855	-0,855
E en J	-481,38	-471,38	-461,38	-92,169	-82,169	-72,169	-15,206	-5,2059	4,79412

diamètre D,m	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
longueur L,m	178	178	178	178	178	178	178	178	178
débit Q, m3/h	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500
E en R2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vitesse V,m/s	7,37202	7,372	7,37202	5,41618	5,4162	5,41618	4,14676	4,1468	4,14676
V <sup>2</sup> /(2*g)	2,76996	2,77	2,76996	1,49516	1,4952	1,49516	0,87643	0,8764	0,87643
Z en J, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	20	30	40	20	30	40	20	30	40
f	0,0139	0,0139	0,0139	0,01354	0,0135	0,01354	0,01326	0,0133	0,01326
£Hf	13,6879	13,688	13,6879	6,16909	6,1691	6,16909	3,09789	3,0979	3,09789
P/y en J,m	-4,0579	5,9421	15,9421	4,73576	14,736	24,7358	8,42568	18,426	28,4257
Pression en J, bar	-0,4058	0,5942	1,59421	0,47358	1,4736	2,47358	0,84257	1,8426	2,84257
E en J	6,31206	16,312	26,3121	13,8309	23,831	33,8309	16,9021	26,902	36,9021

Entre J et P1

diamètre D,m	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
longueur L,m	15	15	15	15	15	15	15	15	15
débit Q, m3/h	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
E en J	16,9021	26,902	36,9021	16,9021	26,902	36,9021	16,9021	26,902	36,9021
vitesse V,m/s	13,7611	13,761	13,7611	7,74062	7,7406	7,74062	4,954	4,954	4,954
V <sup>2</sup> /(2*g)	9,65179	9,6518	9,65179	3,05389	3,0539	3,05389	1,25087	1,2509	1,25087
Z en P1, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f	0,01598	0,016	0,01598	0,01511	0,0151	0,01511	0,01452	0,0145	0,01452
£Hf	9,23973	9,2397	9,23973	2,07304	2,073	2,07304	0,65288	0,6529	0,65288
P/y en P1,m	-9,5894	0,4106	10,4106	4,17518	14,175	24,1752	7,39835	17,398	27,3983
Pression en P1, bar	-0,9589	0,0411	1,04106	0,41752	1,4175	2,41752	0,73983	1,7398	2,73983
E en P1	7,66237	17,662	27,6624	14,8291	24,829	34,8291	16,2492	26,249	36,2492

diamètre D,m	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
longueur L,m	15	15	15	15	15	15	15	15	15
débit Q, m3/h	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
E en J	16,9021	26,902	36,9021	16,9021	26,902	36,9021	16,9021	26,902	36,9021
vitesse V,m/s	3,44028	3,4403	3,44028	2,52755	2,5276	2,52755	1,93516	1,9352	1,93516
V <sup>2</sup> /(2*g)	0,60324	0,6032	0,60324	0,32561	0,3256	0,32561	0,19087	0,1909	0,19087
Z en P1, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f	0,0141	0,0141	0,0141	0,01379	0,0138	0,01379	0,01356	0,0136	0,01356
£Hf	0,25482	0,2548	0,25482	0,11533	0,1153	0,11533	0,05818	0,0582	0,05818
P/y en P1,m	8,44404	18,444	28,444	8,86116	18,861	28,8612	9,05306	19,053	29,0531
Pression en P1, bar	0,8444	1,8444	2,8444	0,88612	1,8861	2,88612	0,90531	1,9053	2,90531
E en P1	16,6473	26,647	36,6473	16,7868	26,787	36,7868	16,8439	26,844	36,8439

Entre J et S

diamètre D,m	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
longueur L,m	15	15	15	15	15	15	15	15	15
débit Q, m3/h	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200
E en J	16,9021	26,902	36,9021	16,9021	26,902	36,9021	16,9021	26,902	36,9021
vitesse V,m/s	12,5816	12,582	12,5816	7,07714	7,0771	7,07714	4,52937	4,5294	4,52937
V <sup>2</sup> /(2*g)	8,06811	8,0681	8,06811	2,5528	2,5528	2,5528	1,04563	1,0456	1,04563
Z en S, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f	0,01599	0,016	0,01599	0,01512	0,0151	0,01512	0,01454	0,0145	0,01454
£Hf	7,72925	7,7293	7,72925	1,735	1,735	1,735	0,54673	0,5467	0,54673
P/y en S,m	-6,4953	3,5047	13,5047	5,01431	15,014	25,0143	7,70974	17,71	27,7097
Pression en S, bar	-0,6495	0,3505	1,35047	0,50143	1,5014	2,50143	0,77097	1,771	2,77097
E en S	9,17285	19,173	29,1728	15,1671	25,167	35,1671	16,3554	26,355	36,3554

diamètre D,m	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
longueur L,m	15	15	15	15	15	15	15	15	15
débit Q, m3/h	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200
E en J	16,9021	26,902	36,9021	16,9021	26,902	36,9021	16,9021	26,902	36,9021
vitesse V,m/s	3,1454	3,1454	3,1454	2,3109	2,3109	2,3109	1,76929	1,7693	1,76929
V <sup>2</sup> /(2*g)	0,50426	0,5043	0,50426	0,27219	0,2722	0,27219	0,15955	0,1595	0,15955
Z en S, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f	0,01413	0,0141	0,01413	0,01384	0,0138	0,01384	0,01362	0,0136	0,01362
£Hf	0,21353	0,2135	0,21353	0,09671	0,0967	0,09671	0,04882	0,0488	0,04882
P/y en S,m	8,58432	18,584	28,5843	8,93321	18,933	28,9332	9,09373	19,094	29,0937
Pression en S, bar	0,85843	1,8584	2,85843	0,89332	1,8933	2,89332	0,90937	1,9094	2,90937
E en S	16,6886	26,689	36,6886	16,8054	26,805	36,8054	16,8533	26,853	36,8533

Entre S et Sp

diamètre D,m	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
longueur L,m	15	15	15	15	15	15	15	15	15
débit Q, m3/h	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050
E en S(Ds=,6)	16,689	26,689	36,689	16,689	26,689	36,689	16,689	26,689	36,689
vitesse V,m/s	9,28875	9,2887	9,28875	4,12833	4,1283	4,12833	2,32219	2,3222	2,32219
V <sup>2</sup> /(2*g)	4,3976	4,3976	4,3976	0,86866	0,8687	0,86866	0,27485	0,2748	0,27485
Z en Sp, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	80	80	80	80	80	80	80	80	80
f	0,01756	0,0176	0,01756	0,01626	0,0163	0,01626	0,01554	0,0155	0,01554
£Hf	6,9408	6,9408	6,9408	0,84619	0,8462	0,84619	0,19198	0,192	0,19198
P/y en Sp,m	77,7506	87,751	97,7506	87,3741	97,374	107,374	88,6222	98,622	108,622
Pression en S, bar	7,77506	8,7751	9,77506	8,73741	9,7374	10,7374	8,86222	9,8622	10,8622
E en Sp	89,7482	99,748	109,748	95,8428	105,84	115,843	96,497	106,5	116,497

diamètre D,m	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,1	0,1	0,1
longueur L,m	15	15	15	15	15	15	15	15	15
débit Q, m3/h	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050
E en S(Ds=,6)	16,689	26,689	36,689	16,689	26,689	36,689	16,689	26,689	36,689
vitesse V,m/s	1,4862	1,4862	1,4862	1,03208	1,0321	1,03208	37,155	37,155	37,155
V <sup>2</sup> /(2*g)	0,11258	0,1126	0,11258	0,05429	0,0543	0,05429	70,3615	70,362	70,3615
Z en Sp, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	80	80	80	80	80	80	80	80	80
f	0,01512	0,0151	0,01512	0,01488	0,0149	0,01488	0,0205	0,0205	0,0205
£Hf	0,06122	0,0612	0,06122	0,02421	0,0242	0,02421	259,244	259,24	259,244
P/y en Sp,m	88,9152	98,915	108,915	89,0105	99,011	109,011	-240,52	-230,52	-220,52
Pression en S, bar	8,89152	9,8915	10,8915	8,90105	9,9011	10,9011	-24,052	-23,052	-22,052
E en Sp	96,6278	106,63	116,628	96,6648	106,66	116,665	-162,55	-152,55	-142,55

Entre S et Sf

diamètre D,m	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
longueur L,m	50	50	50	50	50	50	50	50	50
débit Q, m3/h	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
E en S(Ds=,6)	16,689	26,689	36,689	16,689	26,689	36,689	16,689	26,689	36,689
vitesse V,m/s	19,4621	19,462	19,4621	8,64984	8,6498	8,64984	4,86553	4,8655	4,86553
V <sup>2</sup> /(2*g)	19,3055	19,306	19,3055	3,81344	3,8134	3,81344	1,2066	1,2066	1,2066
Z en Sf, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	78	78	78	78	78	78	78	78	78
f	0,01745	0,0175	0,01745	0,01605	0,016	0,01605	0,01522	0,0152	0,01522
£Hf	100,935	100,94	100,935	12,224	12,224	12,224	2,7509	2,7509	2,7509
P/y en Sf,m	-33,152	-23,152	-13,152	71,0515	81,052	91,0515	83,1315	93,132	103,132
Pression en S, bar	-3,3152	-2,3152	-1,3152	7,10515	8,1052	9,10515	8,31315	9,3132	10,3132
E en Sf	-6,2461	3,7539	13,7539	82,465	92,465	102,465	91,9381	101,94	111,938

diamètre D,m	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
longueur L,m	50	50	50	50	50	50	50	50	50
débit Q, m3/h	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
E en S(Ds=,6)	16,689	26,689	36,689	16,689	26,689	36,689	16,689	26,689	36,689
vitesse V,m/s	3,11394	3,1139	3,11394	2,16246	2,1625	2,16246	1,58875	1,5887	1,58875
V <sup>2</sup> /(2*g)	0,49422	0,4942	0,49422	0,23834	0,2383	0,23834	0,12865	0,1287	0,12865
Z en Sf, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	78	78	78	78	78	78	78	78	78
f	0,01468	0,0147	0,01468	0,01431	0,0143	0,01431	0,01406	0,0141	0,01406
£Hf	0,86941	0,8694	0,86941	0,34064	0,3406	0,34064	0,1548	0,1548	0,1548
P/y en Sf,m	85,7254	95,725	105,725	86,51	96,51	106,51	86,8056	96,806	106,806
Pression en S, bar	8,57254	9,5725	10,5725	8,651	9,651	10,651	8,68056	9,6806	10,6806
E en Sf	93,8196	103,82	113,82	94,3484	104,35	114,348	94,5342	104,53	114,534

**VARIANTE 2**

ENTRE R2 et J

diamètre D,m	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
longueur L,m	112	112	112	112	112	112	112	112	112
débit Q, m3/h	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500
E en R2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vitesse V,m/s	29,4881	29,488	29,4881	16,587	16,587	16,587	10,6157	10,616	10,6157
V <sup>2</sup> /(2*g)	44,3194	44,319	44,3194	14,0229	14,023	14,0229	5,7438	5,7438	5,7438
Z en J, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	20	30	40	20	30	40	20	30	40
f	0,01591	0,0159	0,01591	0,015	0,015	0,015	0,01437	0,0144	0,01437
£Hf	315,475	315,47	315,475	70,578	70,578	70,578	22,152	22,152	22,152
P/y en J,m	-347,39	-337,39	-327,39	-72,201	-62,201	-52,201	-15,496	-5,4958	4,50419
Pression en J, bar	-34,739	-33,739	-32,739	-7,2201	-6,2201	-5,2201	-1,5496	-0,5496	0,45042
E en J	-295,47	-285,47	-275,47	-50,578	-40,578	-30,578	-2,152	7,848	17,848

diamètre D,m	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
longueur L,m	112	112	112	112	112	112	112	112	112
débit Q, m3/h	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500
E en R2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vitesse V,m/s	7,37202	7,372	7,37202	5,41618	5,4162	5,41618	4,14676	4,1468	4,14676
V <sup>2</sup> /(2*g)	2,76996	2,77	2,76996	1,49516	1,4952	1,49516	0,87643	0,8764	0,87643
Z en J, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	20	30	40	20	30	40	20	30	40
f	0,0139	0,0139	0,0139	0,01354	0,0135	0,01354	0,01326	0,0133	0,01326
£Hf	8,61264	8,6126	8,61264	3,88167	3,8817	3,88167	1,94923	1,9492	1,94923
P/y en J,m	1,0174	11,017	21,0174	7,02317	17,023	27,0232	9,57433	19,574	29,5743
Pression en J, bar	0,10174	1,1017	2,10174	0,70232	1,7023	2,70232	0,95743	1,9574	2,95743
E en J	11,3874	21,387	31,3874	16,1183	26,118	36,1183	18,0508	28,051	38,0508

Entre J et P1

diamètre D,m	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
longueur L,m	15	15	15	15	15	15	15	15	15
débit Q, m3/h	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
E en J	18,051	28,051	38,051	18,051	28,051	38,051	18,051	28,051	38,051
vitesse V,m/s	13,7611	13,761	13,7611	7,74062	7,7406	7,74062	4,954	4,954	4,954
V <sup>2</sup> /(2*g)	9,65179	9,6518	9,65179	3,05389	3,0539	3,05389	1,25087	1,2509	1,25087
Z en P1, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f	0,01598	0,016	0,01598	0,01511	0,0151	0,01511	0,01452	0,0145	0,01452
£Hf	9,23973	9,2397	9,23973	2,07304	2,073	2,07304	0,65288	0,6529	0,65288
P/y en P1,m	-8,4405	1,5595	11,5595	5,32408	15,324	25,3241	8,54725	18,547	28,5472
Pression en P1, bar	-0,8441	0,1559	1,15595	0,53241	1,5324	2,53241	0,85472	1,8547	2,85472
E en P1	8,81127	18,811	28,8113	15,978	25,978	35,978	17,3981	27,398	37,3981

diamètre D,m	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
longueur L,m	15	15	15	15	15	15	15	15	15
débit Q, m3/h	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
E en J	18,051	28,051	38,051	18,051	28,051	38,051	18,051	28,051	38,051
vitesse V,m/s	3,44028	3,4403	3,44028	2,52755	2,5276	2,52755	1,93516	1,9352	1,93516
V <sup>2</sup> /(2*g)	0,60324	0,6032	0,60324	0,32561	0,3256	0,32561	0,19087	0,1909	0,19087
Z en P1, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f	0,0141	0,0141	0,0141	0,01379	0,0138	0,01379	0,01356	0,0136	0,01356
£Hf	0,25482	0,2548	0,25482	0,11533	0,1153	0,11533	0,05818	0,0582	0,05818
P/y en P1,m	9,59294	19,593	29,5929	10,0101	20,01	30,0101	10,202	20,202	30,202
Pression en P1, bar	0,95929	1,9593	2,95929	1,00101	2,001	3,00101	1,0202	2,0202	3,0202
E en P1	17,7962	27,796	37,7962	17,9357	27,936	37,9357	17,9928	27,993	37,9928

Entre J et S

diamètre D,m	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
longueur L,m	15	15	15	15	15	15	15	15	15
débit Q, m3/h	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200
E en J	18,051	28,051	38,051	18,051	28,051	38,051	18,051	28,051	38,051
vitesse V,m/s	12,5816	12,582	12,5816	7,07714	7,0771	7,07714	4,52937	4,5294	4,52937
V <sup>2</sup> /(2*g)	8,06811	8,0681	8,06811	2,5528	2,5528	2,5528	1,04563	1,0456	1,04563
Z en S, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f	0,01599	0,016	0,01599	0,01512	0,0151	0,01512	0,01454	0,0145	0,01454
£Hf	7,72925	7,7293	7,72925	1,735	1,735	1,735	0,54673	0,5467	0,54673
P/y en S,m	-5,3464	4,6536	14,6536	6,16321	16,163	26,1632	8,85864	18,859	28,8586
Pression en S, bar	-0,5346	0,4654	1,46536	0,61632	1,6163	2,61632	0,88586	1,8859	2,88586
E en S	10,3217	20,322	30,3217	16,316	26,316	36,316	17,5043	27,504	37,5043

diamètre D,m	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
longueur L,m	15	15	15	15	15	15	15	15	15
débit Q, m3/h	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200
E en J	18,051	28,051	38,051	18,051	28,051	38,051	18,051	28,051	38,051
vitesse V,m/s	3,1454	3,1454	3,1454	2,3109	2,3109	2,3109	1,76929	1,7693	1,76929
V <sup>2</sup> /(2*g)	0,50426	0,5043	0,50426	0,27219	0,2722	0,27219	0,15955	0,1595	0,15955
Z en S, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f	0,01413	0,0141	0,01413	0,01384	0,0138	0,01384	0,01362	0,0136	0,01362
£Hf	0,21353	0,2135	0,21353	0,09671	0,0967	0,09671	0,04882	0,0488	0,04882
P/y en S,m	9,73322	19,733	29,7332	10,0821	20,082	30,0821	10,2426	20,243	30,2426
Pression en S, bar	0,97332	1,9733	2,97332	1,00821	2,0082	3,00821	1,02426	2,0243	3,02426
E en S	17,8375	27,837	37,8375	17,9543	27,954	37,9543	18,0022	28,002	38,0022

Entre S et Sp

diamètre D,m	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
longueur L,m	15	15	15	15	15	15	15	15	15
débit Q, m3/h	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050
E en S(Ds=.6)	17,837	27,837	37,837	17,837	27,837	37,837	17,837	27,837	37,837
vitesse V,m/s	9,28875	9,2887	9,28875	4,12833	4,1283	4,12833	2,32219	2,3222	2,32219
V <sup>2</sup> /(2*g)	4,3976	4,3976	4,3976	0,86866	0,8687	0,86866	0,27485	0,2748	0,27485
Z en Sp, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	80	80	80	80	80	80	80	80	80
f	0,01756	0,0176	0,01756	0,01626	0,0163	0,01626	0,01554	0,0155	0,01554
£Hf	6,9408	6,9408	6,9408	0,84619	0,8462	0,84619	0,19198	0,192	0,19198
P/y en Sp,m	78,8986	88,899	98,8986	88,5221	98,522	108,522	89,7702	99,77	109,77
Pression en S, bar	7,88986	8,8899	9,88986	8,85221	9,8522	10,8522	8,97702	9,977	10,977
E en Sp	90,8962	100,9	110,896	96,9908	106,99	116,991	97,645	107,65	117,645

diamètre D,m	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,1	0,1	0,1
longueur L,m	15	15	15	15	15	15	15	15	15
débit Q, m3/h	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050
E en S(Ds=.6)	17,837	27,837	37,837	17,837	27,837	37,837	17,837	27,837	37,837
vitesse V,m/s	1,4862	1,4862	1,4862	1,03208	1,0321	1,03208	37,155	37,155	37,155
V <sup>2</sup> /(2*g)	0,11258	0,1126	0,11258	0,05429	0,0543	0,05429	70,3615	70,362	70,3615
Z en Sp, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	80	80	80	80	80	80	80	80	80
f	0,01512	0,0151	0,01512	0,01488	0,0149	0,01488	0,0205	0,0205	0,0205
£Hf	0,06122	0,0612	0,06122	0,02421	0,0242	0,02421	259,244	259,24	259,244
P/y en Sp,m	90,0632	100,06	110,063	90,1585	100,16	110,159	-239,37	-229,37	-219,37
Pression en S, bar	9,00632	10,006	11,0063	9,01585	10,016	11,0159	-23,937	-22,937	-21,937
E en Sp	97,7758	107,78	117,776	97,8128	107,81	117,813	-161,41	-151,41	-141,41

Entre S et Sf

diamètre D,m	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
longueur L,m	50	50	50	50	50	50	50	50	50
débit Q, m3/h	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
E en S(Ds=,6)	17,837	27,837	37,837	17,837	27,837	37,837	17,837	27,837	37,837
vitesse V,m/s	19,4621	19,462	19,4621	8,64984	8,6498	8,64984	4,86553	4,8655	4,86553
$V^2/(2*g)$	19,3055	19,306	19,3055	3,81344	3,8134	3,81344	1,2066	1,2066	1,2066
Z en Sf, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	78	78	78	78	78	78	78	78	78
f	0,01745	0,0175	0,01745	0,01605	0,016	0,01605	0,01522	0,0152	0,01522
£Hf	100,935	100,94	100,935	12,224	12,224	12,224	2,7509	2,7509	2,7509
P/y en Sf,m	-32,004	-22,004	-12,004	72,1995	82,2	92,1995	84,2795	94,28	104,28
Pression en S, bar	-3,2004	-2,2004	-1,2004	7,21995	8,22	9,21995	8,42795	9,428	10,428
E en Sf	-5,0981	4,9019	14,9019	83,613	93,613	103,613	93,0861	103,09	113,086

diamètre D,m	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
longueur L,m	50	50	50	50	50	50	50	50	50
débit Q, m3/h	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
E en S(Ds=,6)	17,837	27,837	37,837	17,837	27,837	37,837	17,837	27,837	37,837
vitesse V,m/s	3,11394	3,1139	3,11394	2,16246	2,1625	2,16246	1,58875	1,5887	1,58875
$V^2/(2*g)$	0,49422	0,4942	0,49422	0,23834	0,2383	0,23834	0,12865	0,1287	0,12865
Z en Sf, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	78	78	78	78	78	78	78	78	78
f	0,01468	0,0147	0,01468	0,01431	0,0143	0,01431	0,01406	0,0141	0,01406
£Hf	0,86941	0,8694	0,86941	0,34064	0,3406	0,34064	0,1548	0,1548	0,1548
P/y en Sf,m	86,8734	96,873	106,873	87,658	97,658	107,658	87,9536	97,954	107,954
Pression en S, bar	8,68734	9,6873	10,6873	8,7658	9,7658	10,7658	8,79536	9,7954	10,7954
E en Sf	94,9676	104,97	114,968	95,4964	105,5	115,496	95,6822	105,68	115,682

**VARIANTE 3**

ENTRE R2 et P1

diamètre D,m	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
longueur L,m	112	112	112	112	112	112	112	112	112
débit Q, m3/h	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
E en R2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vitesse V,m/s	13,7611	13,761	13,7611	7,74062	7,7406	7,74062	4,954	4,954	4,954
V <sup>2</sup> /(2*g)	9,65179	9,6518	9,65179	3,05389	3,0539	3,05389	1,25087	1,2509	1,25087
Z en J, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	20	30	40	20	30	40	20	30	40
f	0,01598	0,016	0,01598	0,01511	0,0151	0,01511	0,01452	0,0145	0,01452
EHf	68,99	68,99	68,99	15,4787	15,479	15,4787	4,87486	4,8749	4,87486
P/y en J,m	-66,242	-56,242	-46,242	-6,1326	3,8674	13,8674	6,27427	16,274	26,2743
Pression en J, bar	-6,6242	-5,6242	-4,6242	-0,6133	0,3867	1,38674	0,62743	1,6274	2,62743
E en J	-48,99	-38,99	-28,99	4,52132	14,521	24,5213	15,1251	25,125	35,1251

diamètre D,m	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
longueur L,m	112	112	112	112	112	112	112	112	112
débit Q, m3/h	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
E en R2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vitesse V,m/s	3,44028	3,4403	3,44028	2,52755	2,5276	2,52755	1,93516	1,9352	1,93516
V <sup>2</sup> /(2*g)	0,60324	0,6032	0,60324	0,32561	0,3256	0,32561	0,19087	0,1909	0,19087
Z en J, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	20	30	40	20	30	40	20	30	40
f	0,0141	0,0141	0,0141	0,01379	0,0138	0,01379	0,01356	0,0136	0,01356
EHf	1,90267	1,9027	1,90267	0,86115	0,8611	0,86115	0,43437	0,4344	0,43437
P/y en J,m	9,89409	19,894	29,8941	11,2132	21,213	31,2132	11,7748	21,775	31,7748
Pression en J, bar	0,98941	1,9894	2,98941	1,12132	2,1213	3,12132	1,17748	2,1775	3,17748
E en J	18,0973	28,097	38,0973	19,1389	29,139	39,1389	19,5656	29,566	39,5656

ENTRE R2 et S

diamètre D,m	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
longueur L,m	112	112	112	112	112	112	112	112	112
débit Q, m3/h	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
E en R2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vitesse V,m/s	12,9748	12,975	12,9748	7,2983	7,2983	7,2983	4,67091	4,6709	4,67091
V <sup>2</sup> /(2*g)	8,58024	8,5802	8,58024	2,71484	2,7148	2,71484	1,112	1,112	1,112
Z en J, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	78	78	78	78	78	78	78	78	78
f	0,01598	0,016	0,01598	0,01512	0,0151	0,01512	0,01453	0,0145	0,01453
EHf	61,3594	61,359	61,3594	13,771	13,771	13,771	4,33867	4,3387	4,33867
P/y en J,m	0,46036	0,4604	0,46036	53,9141	53,914	53,9141	64,9493	64,949	64,9493
Pression en J, bar	0,04604	0,046	0,04604	5,39141	5,3914	5,39141	6,49493	6,4949	6,49493
E en S	16,6406	16,641	16,6406	64,229	64,229	64,229	73,6613	73,661	73,6613

diamètre D,m	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
longueur L,m	112	112	112	112	112	112	112	112	112
débit Q, m3/h	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
E en R2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vitesse V,m/s	3,24369	3,2437	3,24369	2,38312	2,3831	2,38312	1,82458	1,8246	1,82458
V <sup>2</sup> /(2*g)	0,53627	0,5363	0,53627	0,28946	0,2895	0,28946	0,16968	0,1697	0,16968
Z en J, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	78	78	78	78	78	78	78	78	78
f	0,01412	0,0141	0,01412	0,01382	0,0138	0,01382	0,0136	0,0136	0,0136
EHf	1,6941	1,6941	1,6941	0,76709	0,7671	0,76709	0,38711	0,3871	0,38711
P/y en J,m	68,1696	68,17	68,1696	69,3435	69,343	69,3435	69,8432	69,843	69,8432
Pression en J, bar	6,81696	6,817	6,81696	6,93435	6,9343	6,93435	6,98432	6,9843	6,98432
E en S	76,3059	76,306	76,3059	77,2329	77,233	77,2329	77,6129	77,613	77,6129

Entre S et Sp

diamètre D,m	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
longueur L,m	15	15	15	15	15	15	15	15	15
débit Q, m3/h	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
E en S(Ds=,6)	76,306	76,306	76,306	76,306	76,306	76,306	76,306	76,306	76,306
vitesse V,m/s	8,84643	8,8464	8,84643	3,93174	3,9317	3,93174	2,21161	2,2116	2,21161
V^2/(2*g)	3,98875	3,9887	3,98875	0,7879	0,7879	0,7879	0,2493	0,2493	0,2493
Z en Sp, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f	0,01757	0,0176	0,01757	0,01628	0,0163	0,01628	0,01557	0,0156	0,01557
£Hf	6,29922	6,2992	6,29922	0,76844	0,7684	0,76844	0,17446	0,1745	0,17446
P/y en Sp,m	58,418	58,418	58,418	67,1497	67,15	67,1497	68,2822	68,282	68,2822
Pression en S, bar	5,8418	5,8418	5,8418	6,71497	6,715	6,71497	6,82822	6,8282	6,82822
E en Sp	70,0068	70,007	70,0068	75,5376	75,538	75,5376	76,1315	76,132	76,1315

diamètre D,m	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,1	0,1	0,1
longueur L,m	15	15	15	15	15	15	15	15	15
débit Q, m3/h	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
E en S(Ds=,6)	76,306	76,306	76,306	76,306	76,306	76,306	76,306	76,306	76,306
vitesse V,m/s	1,41543	1,4154	1,41543	0,98294	0,9829	0,98294	35,3857	35,386	35,3857
V^2/(2*g)	0,10211	0,1021	0,10211	0,04924	0,0492	0,04924	63,82	63,82	63,82
Z en Sp, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f	0,01517	0,0152	0,01517	0,01493	0,0149	0,01493	0,0205	0,0205	0,0205
£Hf	0,05567	0,0557	0,05567	0,02203	0,022	0,02203	235,18	235,18	235,18
P/y en Sp,m	68,5482	68,548	68,5482	68,6347	68,635	68,6347	-230,29	-230,29	-230,29
Pression en S, bar	6,85482	6,8548	6,85482	6,86347	6,8635	6,86347	-23,029	-23,029	-23,029
E en Sp	76,2503	76,25	76,2503	76,284	76,284	76,284	-158,87	-158,87	-158,87

Entre S et Sf

diamètre D,m	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
longueur L,m	50	50	50	50	50	50	50	50	50
débit Q, m3/h	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
E en S(Ds=,6)	76,306	76,306	76,306	76,306	76,306	76,306	76,306	76,306	76,306
vitesse V,m/s	19,4621	19,462	19,4621	8,64984	8,6498	8,64984	4,86553	4,8655	4,86553
V^2/(2*g)	19,3055	19,306	19,3055	3,81344	3,8134	3,81344	1,2066	1,2066	1,2066
Z en Sf, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f	0,01745	0,0175	0,01745	0,01605	0,016	0,01605	0,01522	0,0152	0,01522
£Hf	100,935	100,94	100,935	12,224	12,224	12,224	2,7509	2,7509	2,7509
P/y en Sf,m	-51,535	-51,535	-51,535	52,6685	52,669	52,6685	64,7485	64,749	64,7485
Pression en S, bar	-5,1535	-5,1535	-5,1535	5,26685	5,2669	5,26685	6,47485	6,4749	6,47485
E en Sf	-24,629	-24,629	-24,629	64,082	64,082	64,082	73,5551	73,555	73,5551

diamètre D,m	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
longueur L,m	50	50	50	50	50	50	50	50	50
débit Q, m3/h	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
E en S(Ds=,6)	76,306	76,306	76,306	76,306	76,306	76,306	76,306	76,306	76,306
vitesse V,m/s	3,11394	3,1139	3,11394	2,16246	2,1625	2,16246	1,58875	1,5887	1,58875
V^2/(2*g)	0,49422	0,4942	0,49422	0,23834	0,2383	0,23834	0,12865	0,1287	0,12865
Z en Sf, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f	0,01468	0,0147	0,01468	0,01431	0,0143	0,01431	0,01406	0,0141	0,01406
£Hf	0,86941	0,8694	0,86941	0,34064	0,3406	0,34064	0,1548	0,1548	0,1548
P/y en Sf,m	67,3424	67,342	67,3424	68,127	68,127	68,127	68,4226	68,423	68,4226
Pression en S, bar	6,73424	6,7342	6,73424	6,8127	6,8127	6,8127	6,84226	6,8423	6,84226
E en Sf	75,4366	75,437	75,4366	75,9654	75,965	75,9654	76,1512	76,151	76,1512

**VARIANTE 4**

ENTRE R2 et P1

diamètre D,m	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
longueur L,m	112	112	112	112	112	112	112	112	112
débit Q, m3/h	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
E en R2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vitesse V,m/s	13,7611	13,761	13,7611	7,74062	7,7406	7,74062	4,954	4,954	4,954
V <sup>2</sup> /(2*g)	9,65179	9,6518	9,65179	3,05389	3,0539	3,05389	1,25087	1,2509	1,25087
Z en J, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	20	30	40	20	30	40	20	30	40
f	0,01598	0,016	0,01598	0,01511	0,0151	0,01511	0,01452	0,0145	0,01452
£Hf	68,99	68,99	68,99	15,4787	15,479	15,4787	4,87486	4,8749	4,87486
P/y en J,m	-66,242	-56,242	-46,242	-6,1326	3,8674	13,8674	6,27427	16,274	26,2743
Pression en J, bar	-6,6242	-5,6242	-4,6242	-0,6133	0,3867	1,38674	0,62743	1,6274	2,62743
E en J	-48,99	-38,99	-28,99	4,52132	14,521	24,5213	15,1251	25,125	35,1251

diamètre D,m	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
longueur L,m	112	112	112	112	112	112	112	112	112
débit Q, m3/h	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
E en R2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vitesse V,m/s	3,44028	3,4403	3,44028	2,52755	2,5276	2,52755	1,93516	1,9352	1,93516
V <sup>2</sup> /(2*g)	0,60324	0,6032	0,60324	0,32561	0,3256	0,32561	0,19087	0,1909	0,19087
Z en J, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	20	30	40	20	30	40	20	30	40
f	0,0141	0,0141	0,0141	0,01379	0,0138	0,01379	0,01356	0,0136	0,01356
£Hf	1,90267	1,9027	1,90267	0,86115	0,8611	0,86115	0,43437	0,4344	0,43437
P/y en J,m	9,89409	19,894	29,8941	11,2132	21,213	31,2132	11,7748	21,775	31,7748
Pression en J, bar	0,98941	1,9894	2,98941	1,12132	2,1213	3,12132	1,17748	2,1775	3,17748
E en J	18,0973	28,097	38,0973	19,1389	29,139	39,1389	19,5656	29,566	39,5656

ENTRE R2 et S

diamètre D,m	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
longueur L,m	112	112	112	112	112	112	112	112	112
débit Q, m3/h	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200
E en R2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vitesse V,m/s	12,5816	12,582	12,5816	7,07714	7,0771	7,07714	4,52937	4,5294	4,52937
V <sup>2</sup> /(2*g)	8,06811	8,0681	8,06811	2,5528	2,5528	2,5528	1,04563	1,0456	1,04563
Z en J, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	20	30	40	20	30	40	20	30	40
f	0,01599	0,016	0,01599	0,01512	0,0151	0,01512	0,01454	0,0145	0,01454
£Hf	57,7118	57,712	57,7118	12,9546	12,955	12,9546	4,08228	4,0823	4,08228
P/y en J,m	-53,38	-43,38	-33,38	-3,1074	6,8926	16,8926	7,27209	17,272	27,2721
Pression en J, bar	-5,338	-4,338	-3,338	-0,3107	0,6893	1,68926	0,72721	1,7272	2,72721
E en S	-37,712	-27,712	-17,712	7,04537	17,045	27,0454	15,9177	25,918	35,9177

diamètre D,m	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
longueur L,m	112	112	112	112	112	112	112	112	112
débit Q, m3/h	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200
E en R2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vitesse V,m/s	3,1454	3,1454	3,1454	2,3109	2,3109	2,3109	1,76929	1,7693	1,76929
V <sup>2</sup> /(2*g)	0,50426	0,5043	0,50426	0,27219	0,2722	0,27219	0,15955	0,1595	0,15955
Z en J, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	20	30	40	20	30	40	20	30	40
f	0,01413	0,0141	0,01413	0,01384	0,0138	0,01384	0,01362	0,0136	0,01362
£Hf	1,59434	1,5943	1,59434	0,72209	0,7221	0,72209	0,36449	0,3645	0,36449
P/y en J,m	10,3014	20,301	30,3014	11,4057	21,406	31,4057	11,876	21,876	31,876
Pression en J, bar	1,03014	2,0301	3,03014	1,14057	2,1406	3,14057	1,1876	2,1876	3,1876
E en S	18,4057	28,406	38,4057	19,2779	29,278	39,2779	19,6355	29,636	39,6355

Entre S et Sp

diamètre D,m	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
longueur L,m	15	15	15	15	15	15	15	15	15
débit Q, m3/h	1050	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
E en S(Ds=,6)	18,406	28,406	38,406	18,406	28,406	38,406	18,406	28,406	38,406
vitesse V,m/s	9,28875	8,8464	8,84643	3,93174	3,9317	3,93174	2,21161	2,2116	2,21161
V^2/(2*g)	4,3976	3,9887	3,98875	0,7879	0,7879	0,7879	0,2493	0,2493	0,2493
Z en Sp, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	80	80	80	80	80	80	80	80	80
f	0,01756	0,0176	0,01757	0,01628	0,0163	0,01628	0,01557	0,0156	0,01557
£Hf	6,9408	6,2992	6,29922	0,76844	0,7684	0,76844	0,17446	0,1745	0,17446
P/y en Sp,m	79,4676	90,518	100,518	89,2497	99,25	109,25	90,3822	100,38	110,382
Pression en S, bar	7,94676	9,0518	10,0518	8,92497	9,925	10,925	9,03822	10,038	11,0382
E en Sp	91,4652	102,11	112,107	97,6376	107,64	117,638	98,2315	108,23	118,232

diamètre D,m	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,1	0,1	0,1
longueur L,m	15	15	15	15	15	15	15	15	15
débit Q, m3/h	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
E en S(Ds=,6)	18,406	28,406	38,406	18,406	28,406	38,406	18,406	28,406	38,406
vitesse V,m/s	1,41543	1,4154	1,41543	0,98294	0,9829	0,98294	35,3857	35,386	35,3857
V^2/(2*g)	0,10211	0,1021	0,10211	0,04924	0,0492	0,04924	63,82	63,82	63,82
Z en Sp, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	80	80	80	80	80	80	80	80	80
f	0,01517	0,0152	0,01517	0,01493	0,0149	0,01493	0,0205	0,0205	0,0205
£Hf	0,05567	0,0557	0,05567	0,02203	0,022	0,02203	235,18	235,18	235,18
P/y en Sp,m	90,6482	100,65	110,648	90,7347	100,73	110,735	-208,19	-198,19	-188,19
Pression en S, bar	9,06482	10,065	11,0648	9,07347	10,073	11,0735	-20,819	-19,819	-18,819
E en Sp	98,3503	108,35	118,35	98,384	108,38	118,384	-136,77	-126,77	-116,77

Entre S et Sf

diamètre D,m	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
longueur L,m	50	50	50	50	50	50	50	50	50
débit Q, m3/h	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
E en S(Ds=,6)	18,406	28,406	38,406	18,406	28,406	38,406	18,406	28,406	38,406
vitesse V,m/s	19,4621	19,462	19,4621	8,64984	8,6498	8,64984	4,86553	4,8655	4,86553
V^2/(2*g)	19,3055	19,306	19,3055	3,81344	3,8134	3,81344	1,2066	1,2066	1,2066
Z en Sf, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	78	78	78	78	78	78	78	78	78
f	0,01745	0,0175	0,01745	0,01605	0,016	0,01605	0,01522	0,0152	0,01522
£Hf	100,935	100,94	100,935	12,224	12,224	12,224	2,7509	2,7509	2,7509
P/y en Sf,m	-31,435	-21,435	-11,435	72,7685	82,769	92,7685	84,8485	94,849	104,849
Pression en S, bar	-3,1435	-2,1435	-1,1435	7,27685	8,2769	9,27685	8,48485	9,4849	10,4849
E en Sf	-4,5291	5,4709	15,4709	84,182	94,182	104,182	93,6551	103,66	113,655

diamètre D,m	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
longueur L,m	50	50	50	50	50	50	50	50	50
débit Q, m3/h	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
E en S(Ds=,6)	18,406	28,406	38,406	18,406	28,406	38,406	18,406	28,406	38,406
vitesse V,m/s	3,11394	3,1139	3,11394	2,16246	2,1625	2,16246	1,58875	1,5887	1,58875
V^2/(2*g)	0,49422	0,4942	0,49422	0,23834	0,2383	0,23834	0,12865	0,1287	0,12865
Z en Sf, m	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Ep, m	78	78	78	78	78	78	78	78	78
f	0,01468	0,0147	0,01468	0,01431	0,0143	0,01431	0,01406	0,0141	0,01406
£Hf	0,86941	0,8694	0,86941	0,34064	0,3406	0,34064	0,1548	0,1548	0,1548
P/y en Sf,m	87,4424	97,442	107,442	88,227	98,227	108,227	88,5226	98,523	108,523
Pression en S, bar	8,74424	9,7442	10,7442	8,8227	9,8227	10,8227	8,85226	9,8523	10,8523
E en Sf	95,5366	105,54	115,537	96,0654	106,07	116,065	96,2512	106,25	116,251

**Annexe 3** : Tableaux des sollicitations dues au poids,  
au vent et fluide soumise aux supports  
des conduites aériennes

## VARIANTE 1

### ENTRE R1 et F1

#### Sollicitations dues au Poids et à la vitesse du fluide

Longueur entre supports,m	9,1
Epaisseur de la conduite , m	0,0045
Diamètre intérieur , m	0,5
Diamètre extérieur , m	0,5045
Poids de la conduite $W_c$ , N/m	5,3917
Poids du fluide $W_f$ , N/m	1925,2
Poids total $W_t$ , N/m	1930,6
Moment de flexion $M_{fp}$ , Nm	15987
Contrainte de flexion $n_{fp}$ , Pa	5E+10
Contrainte de cisaillement $n_{cp}$ ,Pa	5E+06
Force au niveau des coudes $F_c$ ,N	2457,2
Moment dû à $F_c$ , Nm	18675

#### Sollicitations dues au Vent

Longueur entre supports,m	9,1
Coefficient de traînée $C_x$	1,2
Force unitaire due au vent $F_{vu}$ , N/m	326,92
Moment de flexion $M_{fv}$ , Nm	2707,2
Contrainte de flexion $n_{fv}$ ,Pa	8E+09
Contrainte de cisaillement $n_{cv}$ ,Pa	1296

#### Répartition des charges pour chaque support

Contrainte de flexion totale	5E+10
Contrainte de cisaillement totale	5E+06
Moment dû au fluide	18675

### ENTRE R2 et J

#### Sollicitations dues au Poids et à la vitesse du fl

Longueur entre supports,m	12,5
Epaisseur de la conduite , m	0,006
Diamètre intérieur , m	0,8
Diamètre extérieur , m	0,806
Poids de la conduite $W_c$ , N/m	11,5197
Poids du fluide $W_f$ , N/m	4928,54
Poids total $W_t$ , N/m	4940,06
Moment de flexion $M_{fp}$ , Nm	77188,5
Contrainte de flexion $n_{fp}$ , Pa	2,7E+11
Contrainte de cisaillement $n_{cp}$ ,Pa	8256028
Force au niveau des coudes $F_c$ ,N	7371,61
Moment dû à $F_c$ , Nm	56024,2

#### Sollicitations dues au Vent

Longueur entre supports,m	12,5
Coefficient de traînée $C_x$	1,2
Force unitaire due au vent $F_{vu}$ , N/m	522,288
Moment de flexion $M_{fv}$ , Nm	8160,75
Contrainte de flexion $n_{fv}$ ,Pa	2,8E+10
Contrainte de cisaillement $n_{cv}$ ,Pa	1296

#### Répartition des charges pour chaque support

Contrainte de flexion totale	3E+11
Contrainte de cisaillement totale	8257324
Moment dû au fluide	56024,2

## VARIANTE 2

### ENTRE R1 et F1

#### Sollicitations dues au Poids et à la vitesse du fluide

Longueur entre supports,m	9,1
Epaisseur de la conduite , m	0,0045
Diamètre intérieur , m	0,5
Diamètre extérieur , m	0,5045
Poids de la conduite Wc , N/m	5,3917
Poids du fluide Wf , N/m	1925,2
Poids total Wt , N/m	1930,6
Moment de flexionMfp , Nm	15987
Contrainte de flexion nfp , Pa	5E+10
Contrainte de cisaillement ncp ,Pa	5E+06
Force au niveau des coudes Fc ,N	2457,2
Moment dû à Fc , Nm	18675

#### Sollicitations dues au Vent

Longueur entre supports,m	9,1
Coefficient de traînée Cx	1,2
Force unitaire due au vent Fvu , N/m	326,92
Moment de flexion Mfv , Nm	2707,2
Contrainte de flexion nfv ,Pa	8E+09
Contrainte de cisaillement ncv ,Pa	1296

#### Répartition des charges pour chaque support

Contrainte de flexion totale	5E+10
Contrainte de cisaillement totale	5E+06
Moment dû au fluide	18675

### ENTRE R2 et J

#### Sollicitations dues au Poids et à la vitesse du fl

Longueur entre supports,m	12,5
Epaisseur de la conduite , m	0,006
Diamètre intérieur , m	0,8
Diamètre extérieur , m	0,806
Poids de la conduite Wc , N/m	11,5197
Poids du fluide Wf , N/m	4928,54
Poids total Wt , N/m	4940,06
Moment de flexionMfp , Nm	77188,5
Contrainte de flexion nfp , Pa	2,7E+11
Contrainte de cisaillement ncp ,Pa	8256028
Force au niveau des coudes Fc ,N	7371,61
Moment dû à Fc , Nm	56024,2

#### Sollicitations dues au Vent

Longueur entre supports,m	12,5
Coefficient de traînée Cx	1,2
Force unitaire due au vent Fvu , N/m	522,288
Moment de flexion Mfv , Nm	8160,75
Contrainte de flexion nfv ,Pa	2,8E+10
Contrainte de cisaillement ncv ,Pa	1296

#### Répartition des charges pour chaque support

Contrainte de flexion totale	3E+11
Contrainte de cisaillement totale	8257324
Moment dû au fluide	56024,2

### VARIANTE 3

#### ENTRE R1 et F1

##### Sollicitations dues au Poids et à la vitesse du fluide

Longueur entre supports,m	9,1
Epaisseur de la conduite , m	0,0045
Diamètre intérieur , m	0,5
Diamètre extérieur , m	0,5045
Poids de la conduite Wc , N/m	5,3917
Poids du fluide Wf , N/m	1925,2
Poids total Wt , N/m	1930,6
Moment de flexionMfp , Nm	15987
Contrainte de flexion nfp , Pa	5E+10
Contrainte de cisaillement ncp ,Pa	5E+06
Force au niveau des coudes Fc ,N	2457,2
Moment dû à Fc , Nm	18675

##### Sollicitations dues au Vent

Longueur entre supports,m	9,1
Coefficient de traînée Cx	1,2
Force unitaire due au vent Fvu , N/m	326,92
Moment de flexion Mfv , Nm	2707,2
Contraite de flexion nfv ,Pa	3E+08
Contrainte de cisaillement ncv ,Pa	1296

##### Répartition des charges pour chaque support

Contrainte de flexion totale	5E+10
Contrainte de cisaillement totale	5E+06
Moment dû au fluide	18675

#### ENTRE R2 et P1

##### Sollicitations dues au Poids et à la vitesse du fl

Longueur entre supports,m	9,8
Epaisseur de la conduite , m	0,005
Diamètre intérieur , m	0,6
Diamètre extérieur , m	0,605
Poids de la conduite Wc , N/m	7,19375
Poids du fluide Wf , N/m	2772,31
Poids total Wt , N/m	2779,5
Moment de flexionMfp , Nm	26694,3
Contrainte de flexion nfp , Pa	8,3E+10
Contrainte de cisaillement ncp ,Pa	5831847
Force au niveau des coudes Fc ,N	3440,08
Moment dû à Fc , Nm	26144,6

##### Sollicitations dues au Vent

Longueur entre supports,m	9,8
Coefficient de traînée Cx	1,2
Force unitaire due au vent Fvu , N/m	392,04
Moment de flexion Mfv , Nm	3765,15
Contraite de flexion nfv ,Pa	1,2E+10
Contrainte de cisaillement ncv ,Pa	1296

##### Répartition des charges pour chaque support

Contrainte de flexion totale	9,5E+10
Contrainte de cisaillement totale	5833143
Moment dû au fluide	26144,6

#### ENTRE R2 et S

##### Sollicitations dues au Poids et à la vitesse du fluide

Longueur entre supports,m	9,8
Epaisseur de la conduite , m	0,005
Diamètre intérieur , m	0,6
Diamètre extérieur , m	0,605
Poids de la conduite Wc , N/m	7,1937
Poids du fluide Wf , N/m	2772,3
Poids total Wt , N/m	2779,5
Moment de flexionMfp , Nm	26694
Contrainte de flexion nfp , Pa	8E+10
Contrainte de cisaillement ncp ,Pa	6E+06
Force au niveau des coudes Fc ,N	2680,6
Moment dû à Fc , Nm	20372

##### Sollicitations dues au Vent

Longueur entre supports,m	9,8
Coefficient de traînée Cx	1,2
Force unitaire due au vent Fvu , N/m	392,04
Moment de flexion Mfv , Nm	3765,15
Contraite de flexion nfv ,Pa	1,2E+09
Contrainte de cisaillement ncv ,Pa	1296

##### Répartition des charges pour chaque support

Contrainte de flexion totale	8,5E+10
Contrainte de cisaillement totale	5833143
Moment dû au fluide	20372,4

## VARIANTE 4

### ENTRE R1 et F1

#### Sollicitations dues au Poids et à la vitesse du fluide

Longueur entre supports,m	9,1
Epaisseur de la conduite , m	0,0045
Diamètre intérieur , m	0,5
Diamètre extérieur , m	0,5045
Poids de la conduite Wc , N/m	5,3917
Poids du fluide Wf , N/m	1925,2
Poids total Wt , N/m	1930,6
Moment de flexionMfp , Nm	15987
Contrainte de flexion nfp , Pa	5E+10
Contrainte de cisaillement ncp ,Pa	5E+06
Force au niveau des coudes Fc ,N	2457,2
Moment dû à Fc , Nm	18675

#### Sollicitations dues au Vent

Longueur entre supports,m	9,1
Coefficient de traînée Cx	1,2
Force unitaire due au vent Fvu , N/m	326,92
Moment de flexion Mfv , Nm	2707,2
Contraite de flexion nfv ,Pa	8E+09
Contrainte de cisaillement ncv ,Pa	1296

#### Répartition des charges pour chaque support

Contrainte de flexion totale	5E+10
Contrainte de cisaillement totale	5E+06
Moment dû au fluide	18675

### ENTRE R2 et P1

#### Sollicitations dues au Poids et à la vitesse du fl

Longueur entre supports,m	9,8
Epaisseur de la conduite , m	0,005
Diamètre intérieur , m	0,6
Diamètre extérieur , m	0,605
Poids de la conduite Wc , N/m	7,19375
Poids du fluide Wf , N/m	2772,31
Poids total Wt , N/m	2779,5
Moment de flexionMfp , Nm	26694,3
Contrainte de flexion nfp , Pa	8,3E+10
Contrainte de cisaillement ncp ,Pa	5831847
Force au niveau des coudes Fc ,N	3440,08
Moment dû à Fc , Nm	26144,6

#### Sollicitations dues au Vent

Longueur entre supports,m	9,8
Coefficient de traînée Cx	1,2
Force unitaire due au vent Fvu , N/m	392,04
Moment de flexion Mfv , Nm	3765,15
Contraite de flexion nfv ,Pa	1,2E+10
Contrainte de cisaillement ncv ,Pa	1296

#### Répartition des charges pour chaque support

Contrainte de flexion totale	9,5E+10
Contrainte de cisaillement totale	5833143
Moment dû au fluide	26144,6

## ENTRE R2 et S

#### Sollicitations dues au Poids et à la vitesse du fluide

Longueur entre supports,m	9,8
Epaisseur de la conduite , m	0,005
Diamètre intérieur , m	0,6
Diamètre extérieur , m	0,605
Poids de la conduite Wc , N/m	7,1937
Poids du fluide Wf , N/m	2772,3
Poids total Wt , N/m	2779,5
Moment de flexionMfp , Nm	26694
Contrainte de flexion nfp , Pa	8E+10
Contrainte de cisaillement ncp ,Pa	6E+06
Force au niveau des coudes Fc ,N	3145,2
Moment dû à Fc , Nm	23904

#### Sollicitations dues au Vent

Longueur entre supports,m	9,8
Coefficient de traînée Cx	1,2
Force unitaire due au vent Fvu , N/m	392,04
Moment de flexion Mfv , Nm	3765,15
Contraite de flexion nfv ,Pa	1,2E+10
Contrainte de cisaillement ncv ,Pa	1296

#### Répartition des charges pour chaque support

Contrainte de flexion totale , Pa	8,3E+10
Contrainte de cisaillement totale, Pa	5833143
Moment dû au fluide , N/m	23903,7