

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL



ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIÈS

PROJET
DE
FIN D'ÉTUDES

Gm. 0376

Titre IRRIGATION DE LA FERME AGRICOLE
ABY-SAMKHINE

Auteur NDongo FAYE

Génie mécanique

Date JUIN 1983

ECOLE POLYTECHNIQUE DE
THIES

IRRIGATION DE LA
FERME AGRICOLE
ABY-SAMKHINE

N'DONGO FAYE

REMERCIEMENTS

Que messieurs Christian Rousseau et Dinh Vo-NGOCK respectivement directeur et co-directeur de mon projet veuillent bien trouver ici mes sincères remerciements pour leur disponibilité constante, leurs encouragements continuels et les suggestions toujours pertinentes qu'ils n'ont cessé de me prodiguer tout au long de mes travaux.

De même, nous ne saurions passer sous silence la participation à divers points de vue de MM.

- Rejean Boisclair professeur de comptabilité.
- Amadou Coulibaly étudiant en 5^{ème} Mécanique.
- Moctar Diop professeur de construction mécanique.

Mes remerciements particuliers iront à ma bien-aimée Duman Khairy Sy pour son soutien moral.

SOMMAIRE

Dans cette étude, nous nous sommes proposé d'établir un réseau d'irrigation à lequel pour une ferme agricole de quelques (70) hectares.

Les systèmes d'irrigation par installations fixes et mobiles ont été étudiés

Face à la grosse demande en eau par rapport à la capacité limitée des forages, diverses méthodes ont été observées pour satisfaire la demande dans les délais requis.

L'utilisation d'une réserve d'eau et de pompes de distribution dont les caractéristiques ont été déterminées a été dégagée comme moyen unique de parvenir à l'irrigation des 70 hectares.

Face aux multiples variantes, seule une étude de la rentabilité du projet pourra dicter le meilleur choix.

L'étude s'est surtout limitée à l'aspect technique du projet.

TABLE DES MATIERES.

	Page.
Ramerciements.	i
Sommaire.	ii
<u>Chapitre 1</u> : Présentation de la situation actuelle	1
1.1 Aperçu géographique du domaine	1
1.2 Ressources en eau.	1
1.3 Caractéristiques du réseau d'arrosage.	2
1.3.1 Schéma d'implantation.	3
1.3.2 Inconvénients des circuits hydrauliques.	4
1.4 Equipement disponible.	4
1.5 Quelques chiffres de l'exercice 1981-1982.	5
1.5.1 Arrosage.	6
 <u>Chapitre 2</u> : Etude technique.	 7
2.1 But.	7
- 2 - 2.2 Démarches suivies pour résoudre les problèmes techniques.	7
- 2.1 A. Choix d'un système d'arrosage et d'irrigation.	9
A1. Introduction	9
- 3 + A2. Arrosage par installations fixes.	9
A3. Arrosage par installations mobiles.	10

A ₄ - système d'arrosage retenu.	11
A ₅ - Description détaillée du système.	11
A.5.1 Conduites artérielles	11
A.5.2 Conduites secondaires	12
A.5.3 Raccords principaux.	14
A.5.4 Lance d'arrosage.	15
A.5.5 Principe d'arrosage.	16
A.5.6 Déplacement des conduites secondaires.	16
B. Evaluation des besoins en eau.	18
B1. Introduction.	18
B2. Données de base.	18
B3. Facteur d'utilisation d'une parcelle.	20
B4. Caractéristiques des parcelles	20
B5. Limitations.	21
C. Méthodologie d'irrigation.	23
C1. Introduction	23
C2. Sectionnement du circuit.	23
C3. Période et ordre d'arrosage des parcelles dans la journée	23
C4. Calcul des durées et débits d'arrosage.	24
D. Obtention de la demande en eau à partir des forages.	26
D1. Introduction	26
D2. Irrigation par alimentation directe.	26

021 Evaluation de la capacité des forages par rapport à la demande en eau.	27
022 Inconvénients majeurs.	28
03. Irrigation mixte.	29
031 Utilisation des pompes.	29
032 Inconvénients majeurs.	29
04 Irrigation à partir d'une réserve	29
041 schéma du principe.	30
042 Localisation du réservoir	32
043 Calcul du réservoir.	32
044 Cas d'un réservoir à surélever	34

Chapitre 3: Calculs hydrauliques pour la choix des pompes.

3.1 Introduction	36
3.2 Détermination des pressions sur une ligne d'alimentation.	36
3.2.1 Equation de Bernoulli.	
3.3 Charges nécessaires aux pom- pes alimentant le réservoir	36
3.4 Calcul de la pompe de distribu- tion.	43
3.4.1 Domaine d'action de la pom- pe de distribution.	43
3.4.2 Principe de calcul.	43
3.4.3 Pressions nécessaires à l'a- limentation des parcelles cri- tiques.	43

344	Recapitulation.	50
<u>Chapitre 4: Nature de la reserve</u>		
	d'eau et organes annexes.	51
4.1	Nature de la reserve d'eau	51
4.2	Irrigation a partir d'un reser voir de surface.	51
4.2.1	Nombre de pompes de refoulement	51
4.2.2	^{necessaire} Design du reservoir	52
4.3	Irrigation en incluant un chateau d'eau.	55
4.3.1	Nombre de chateau d'eau.	55
	Design du chateau d'eau.	55
<u>Chapitre 5: Plan de developpement</u>		
5.1	Introduction	57
5.2	Phases du developpement.	57
5.2.1	Etapes du developpement	58
	conclusions et recommandations.	59
	Bibliographie.	61
	Annexes -	62

chapitre 1

Presentation de la situation actuelle

1.1. Aperçu géographique du domaine.

Présentement, la ferme agricole couvre une superficie totale de quelque 70 hectares (ha) dont :

- 5 ha de sol Niayes.
Exploitable à toute saison sans irrigation.
- 20 ha déjà exploités
les parcelles en question constituant la partie la plus uniforme du domaine.
- 45 ha à irriguer (nouvelles terres)
Cette partie du terrain se trouve très accidentée du fait de la présence de nombreux dunes de sable. (11a).

1.2. Ressources en eau.

L'alimentation en eau se fait à partir de forages dont les caractéristiques sont les suivantes.

11a: la relevé topographique en planche III donne les altitudes du domaine.

Forage	(m) Prof	(m) N.S	(m ³ /h) Debit	(m) R	(g/l) R.S	(mg/l) F
F ₁	31	10.8	26.6	2.2	0.22	<0.1
F ₂	33	15.9	22.5	1.9	-	-
F ₃	27	5.4	51.4	7.3	0.22	<0.1

R = Rabattement.

R.S: Residu sec.

F = teneur au fluor

N.S: Niveau statique.

Prof: Profondeur.

1.3. Caracteristiques du raseau d'arrosage

Il est installé sur une parcelle de terre quasi-uniforme.

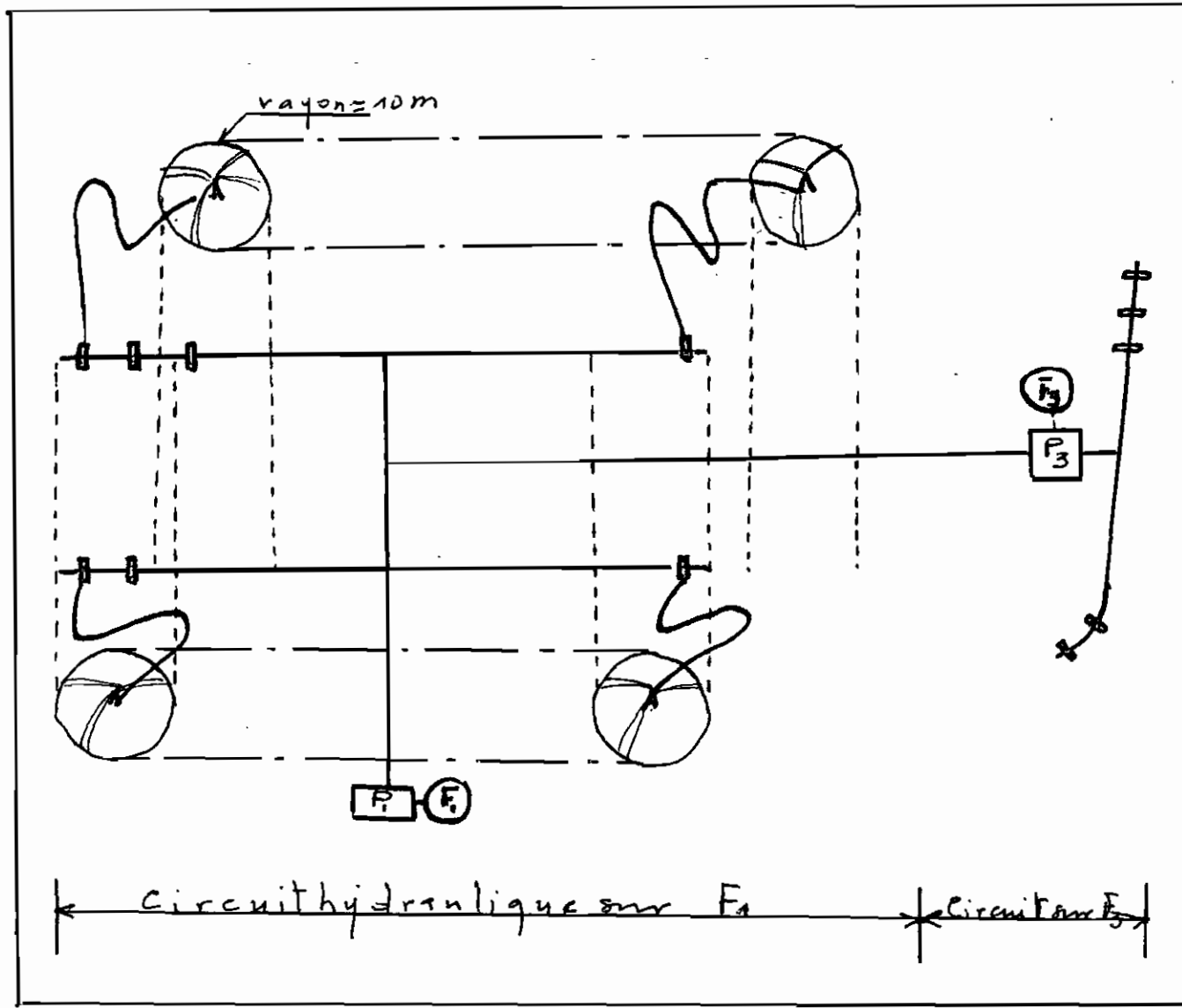
Les installations sont de type fixe avec arroseurs sprinkler mobiles.

Par leur debit et leur portée, ces sprinklers se rapprochent dans la serie 20A-SEPPIC d'arroseurs ayant les caracteristiques suivantes:

. Diametre buse	= 5.55 mm
. Pression necessaire	=
. Portée	= 9.6 m
. Debit	= 1.37 m ³ /h

1.3.1 Schema d'implantation.

(20)



- Désignation.	
A	tourniquet
T	Prise d'eau
M	flexible.
P _{1,3}	Pompes.

En annexe: Planches
Où trouve le dessin
de ces circuits à l'échelle
1/2000.

Figure 1

1.3.2 Inconvénients des circuits hydrauliques

- Investissement coûteux.

Pour une superficie de 10 ha il a été évalué à

- Canalisations P.V.C.

1632 m - diamètre 100 mm.

122 m - diamètre 63 mm.

- Tourniquets.

30 unités.

- flexibles.

30 unités de 50 m chacune.

- Prise d'eau.

30 unités.

- Vanne.

2 unités.

- Rayon d'action faible.

Chaque prise d'eau alimente un rayon maximum de 50 m (longueur du flexible).

- Non flexible et encombrant.

les 10 ha ne peuvent être utilisés à d'autres fins.

1.4 Equipement disponible

- 2 tracteurs.

- 2 Wagonnets

- tuyauterie.

ϕ 100 : 1632 m

ϕ 63 : 122 m.

- tourniquets

- 30 unités
- Vannes.
2 unités.
- Immobilisations.
terrain : 70 ha
Entrepôt.
habitations.
- Disques.
2 unités.
- 3 unités de pompage dont les caractéristiques sont les suivantes.

Forage	Type de pompe	Puissance
F ₁	Electrique à étage immergée	11 Kw
F ₂	Groupe moto-pompe centrifuge	38 ch
F ₃	Groupe moto-pompe centrifuge	38 ch.

- Outillage pour entretien et traitement du sol.

1.5 Quelques chiffres de l'exercice 81-82.
Ces chiffres portent sur l'exploitation d'une superficie de 10 ha.

- Dépenses directes.

Engrais	340000	c.F.A.
Carburant	472500	
Personnel	<u>200000</u>	
	1.012500	c.F.A.

- Recettes

11.000.000 c.F.A.

Face aux chiffres dépenses directes et recettes, une forte rentabilité de la ferme agricole semble se dégager.

Cependant seules une étude du marché et une étude économique compte tenu de l'équipement disponible, de sa durée de vie et de son amortissement devraient permettre de dégager la rentabilité réelle de la ferme.

1.5.1 Avantissement.

Une étude économique avant c'est la base de tout projet, celle-ci devra donc être réalisée au préalable pour décider de la rentabilité réelle du projet d'exploitation de la ferme agricole.

Chapitre 2.

Etude technique

2.1. But

Cette étude vise essentiellement à

- étudier un système d'irrigation et d'arrosage adéquat.
- à évaluer les besoins en eau et à dégager la méthodologie d'irrigation adéquate
- à étudier le système d'alimentation à partir des forages pour satisfaire la demande en eau.

2.2. Démarches suivies pour résoudre les problèmes techniques.

A. Choix d'un système d'arrosage et d'irrigation.

Deux systèmes d'arrosage seront à évaluer pour le choix d'un système selon les critères suivants:

- . topographie du terrain.
- . coût de l'investissement.
- . facilité de mise en œuvre du système
- . facilité de modification du système

Par suite le système retenu sera décrit dans ses moindres détails.

B. Evaluation des besoins en eau.

C. Methodologie d'irrigation adequate.

Une analyse des besoins en eau compte tenu de la reserve en eau des forages nous dictera la methodologie d'irrigation a adopter.

A ce niveau, les contraintes sont multiples. Entre autres on distingue :

- la contrainte liee au facteur temps. dans la journee l'arrosage devant se faire a des heures preferentielles.
- la contrainte liee a l'ampleur du domaine. Le projet vise une alimentation de quelques 70 ha.
- la contrainte liee aux forages. ceux-ci ont des caracteristiques specifiques (debit de pompage maximum) a respecter pour preserver les nappes aquiferes.

Une analyse axee sur ces points fondamentaux devra nous dicter le volume d'eau journalier necessaire pour l'exploitation globale du domaine.

D. Obtention de la demande en eau a partir des forages.

Divers systemes d'alimentation a partir des forages seront observes pour le choix du systeme d'alimentation le plus efficace. devant permettre d'obtenir la demande globale en eau.

2

A. Choix d'un système d'arrosage et d'irrigation.

A.1 Introduction.

Ce système porte sur les nouvelles terres, caractérisées par une topographie très accidentée. Le système d'arrosage par installations fixes devra donc être comparé à un nouveau système d'arrosage par installations mobiles. Selon les critères de choix énoncés au début de chapitre, un système sera retenu.

A.2 Arrosage par installations fixes (2.9).

Ce système analogue à l'installation du circuit sur le forage F₁ implique les investissements suivants :

- tuyauterie.
 - + 4558 m - diamètre 100mm.
 - + 240 m - diamètre 150mm.
- Prise d'eau.
 - + 124 unités.
- Lance d'arrosage.
 - + 36 unités.
- d'énormes travaux de terrassement.

Ces travaux de terrassement se révéleront nécessaires dans cette partie du domaine très accidentée.

De nombreux dunes de sable sillonnent

2a: Voir le schéma du système en annexe planche II.

les terres neuves empêchant ainsi toute installation souterraine de conduites sans travaux de terrassement au préalable.

Il convient de noter également que ces installations fixes ne sont favorables.

- ni à d'éventuelles modifications du circuit
- ni à l'utilisation du circuit à d'autres fins.

A.3. Arrosage par installations mobiles (3a)

Ce système présente la particularité d'être mobile. Il implique les investissements suivants.

• tuyauterie.

+ 2394 m

- diamètre 100 mm.

+ 240 m

- diamètre 150 mm.

+ 1700 m

- diamètre 100 mm.

Canalisation antiruisseau

• Prise d'eau.

+ 32 unités.

• Lance d'arrosage.

+ 50 unités.

Par rapport au système précédent, il permet d'éviter.

- des travaux de terrassement trop coûteux.
- un investissement excessif en tuyauterie.

3a: Voir le schéma du système en annexe.
planche III

En outre il présente l'avantage d'être fonctionnel dans un terrain aussi accidenté.
Il se prête également à d'éventuelles modifications du circuit ou à l'utilisation du terrain à d'autres fins.

A.4 Systeme d'arrosage raténu.

Par rapport aux critères de choix.

- topographie du terrain.
- coût de l'investissement
- facilité de mise au œuvre.
- facilité de modification du système

le système le plus favorable est l'arrosage par installations mobiles.

A.5 Description détaillée du système (5.9).

Il se compose

- de conduites artérielles ou principales
- de conduites secondaires mobiles.
- de connexions rapides entre conduites artérielles et conduites secondaires.
- de vannes.
- de lances d'arrosage.

A.5.1 Conduites artérielles.

Elles sont au nombre de (4) dont (3) pour l'alimentation des nouvelles parcelles et

as: Voir le schéma du système en annexe
Planche III

na d'4cm au niveau des lances d'arrosage, cette dimension se révèle appropriée pour résister aux pressions dans le circuit en impliquant de légères pertes de charge.

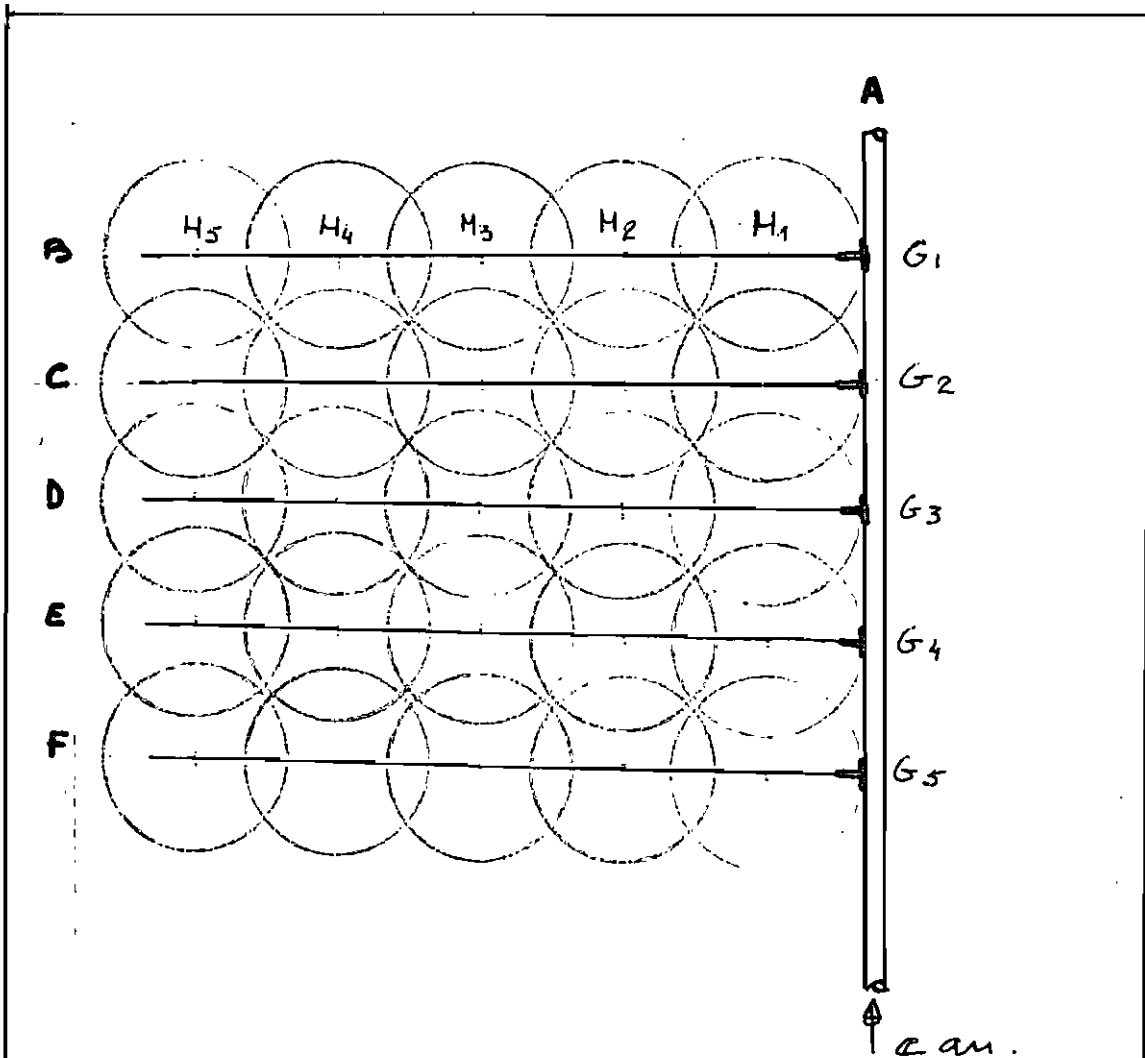
Le coût de cette classe de tuyauterie en P.V.C est inférieur au coût de la classe supérieure.

A.5.2 Conduites secondaires.

Elles sont branchées sur les conduites artérielles et assurant l'arrosage des parcelles par le biais des lances d'arrosage qui leur sont solitaires.

Ces conduites sont destinées à être mobiles. Cette particularité implique le choix de canalisations en tissu léger et facilement déplaçable.

Plan type d'arrosage d'une parcelle.



Echelle: 1 mm = 2 m.

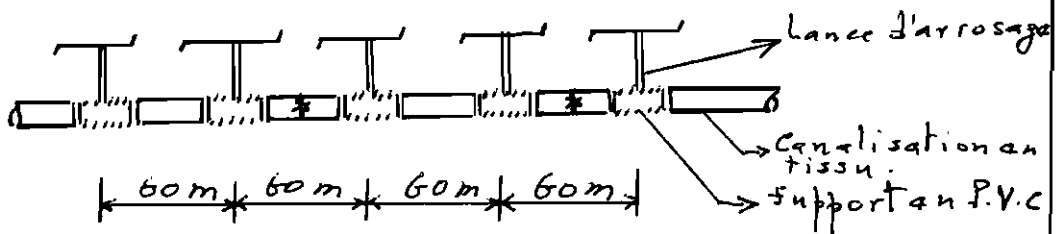
A: conduite arterielle.

B - C - D - E - F: conduites secondaires.

raccords principaux

G1 - G2 - G3 - G4 - G5
H1 - H2 - H3 - H4 - H5

schema d'une conduite secondaire



†: connexion sur 3/4 de tour.

□: joint demontable.



Choix des conduites secondaires.

Matériau: Canalisation en tissu.

Du fait de leur mobilité, ces conduites ont besoin d'une facilité de manutention donc d'un faible poids.

Dimensionnement.

Devant recevoir des débits de 5 l/sec à 25 l/sec la dimension 100 mm (dimension courante) a été retenue parce que moins coûteuse et impliquant de faibles pertes de charge.

A.5.3 Raccords principaux - (5.3.a).

Conduites arborées et conduites secondaires

Du fait de la mobilité des conduites secondaires, ces connexions doivent être à montage et démontage rapides pour éliminer les temps improductifs.

Caractéristiques de ces connexions. (5.3.b).

- Ensemble constitué d'un mâle et d'une femelle avec femelle montée sur conduite d'amenée
- Montage et démontage rapide et manuel sur 3/4 de tour.
- femelle maintient la canalisation

5.3.a: voir plan type d'arrosage d'une parcelle.

5.3.b: selon le responsable de l'aménagement des domaines agricoles de Thies.

d'aménée normalement fermée -
Conduite secondaire - Lance d'arrosage.
 Voir le schéma d'une conduite secondaire.

A.5.4 Lance d'arrosage.

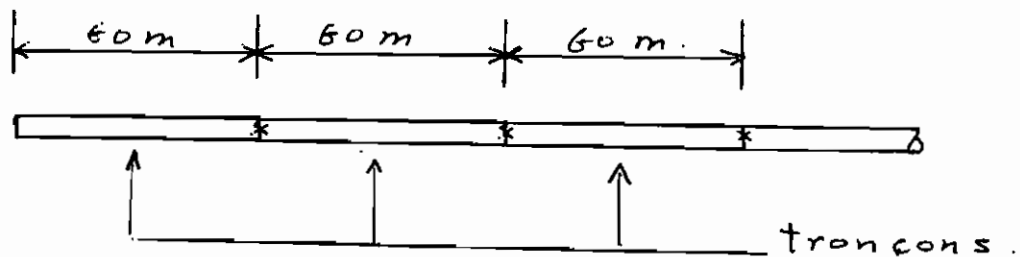
Caractéristiques.

- Pression nécessaire = 39,8 m.
- rayon d'action = 36 m.
- débit = 1 l/sec.

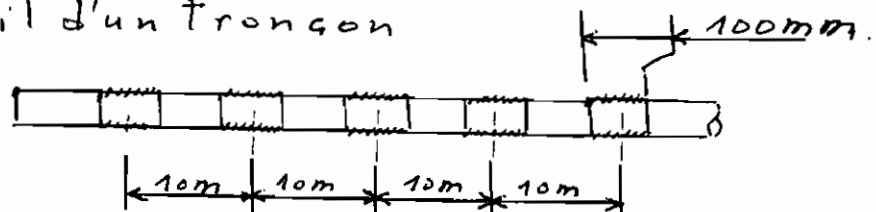
Ces caractéristiques correspondent à un cas critique et servent de base à nos calculs. Pour l'adaptation des conduites secondaires à toutes les situations c'est-à-dire à l'usage de lances d'arrosage de caractéristiques inférieures.


- Pression nécessaire inférieure à 30 m
- rayon d'action dizaine de mètres
- débit inférieur à 1 l/sec

les conduites secondaires seront ainsi conçues



détail d'un tronçon



 : support en P.V.C.

fonction des supports en P.V. c.

- Pour des arroseurs puissants.
rayon d'action supérieure à 10m.
les supports sont fermés sur le rayon d'action de l'arroseur.
- Pour des arroseurs à faible rayon d'action. (10m).

Chaque support reçoit un arroseur.

A.5.5 Principe d'arrosage -

Le principe retenu sera le suivant (5.5.4)
On n'arrose pas plus d'une parcelle à la fois
à moins que la somme des débits nécessaires aux deux parcelles ne soit inférieure à 25 l/sec. Ainsi les séquences de montage et d'arrosage des parcelles seront les suivantes pour éliminer les temps improductifs.

Alors qu'une parcelle sera en arrosage, la parcelle suivante devrait être en installation à la suite.

Pour procéder à cette alternance, on aura besoin de (2 x 5) canalisations mobiles.

Une parcelle devant recevoir en moyenne 5 canalisations mobiles de (172m) chacune avec 5 lances d'arrosage par canalisation mobile.

A.5.6 Déplacement des conduites secondaires

5.5.4: pour réduire le nombre de canalisations mobiles.

Les bronettes classiques sont peu commo-
-des pour ce transport et les tracteurs
trop encombrants pour circuler dans les
plantations.

La choix de ceux donc porter sur les bronet-
-tes chinoises ^(5.7.9) favorables à la récolte
et à toute manutention dans le cadre du
domaine.

5.7.9 : voir le schéma des bronettes chinoises
en annexe - constructeur : SISHAR -

B. Evaluation des besoins en eau.

B.1 Introduction.

Cette partie constitue la fondement de l'étude.

En effet, face à la grande superficie à irriguer (70 ha) et à la capacité limitée des forages ($28,9 \text{ m}^3/\text{h}$), la méthodologie d'irrigation et la façon de répondre à la demande en eau pour une exploitation optimale du domaine et du potentiel d'eau seront fonction de cette évaluation.

B.2 Données de base.

Selon les spécialistes du centre de recherches maraîchères de Camberène, il faut couvrir l'évapotranspiration pour pratiquer la culture maraîchère.

Celle-ci est de 6 mm/jour dans la région de Thies soit de $6 \text{ l/m}^2 \cdot \text{jour}$. Compte tenu d'une marge sécuritaire nous avons adopté $7 \text{ l/m}^2 \cdot \text{jour}$ pour nos calculs.

Pour une parcelle donnée, son besoin en eau s'exprime par le produit de son aire et de l'évapotranspiration.

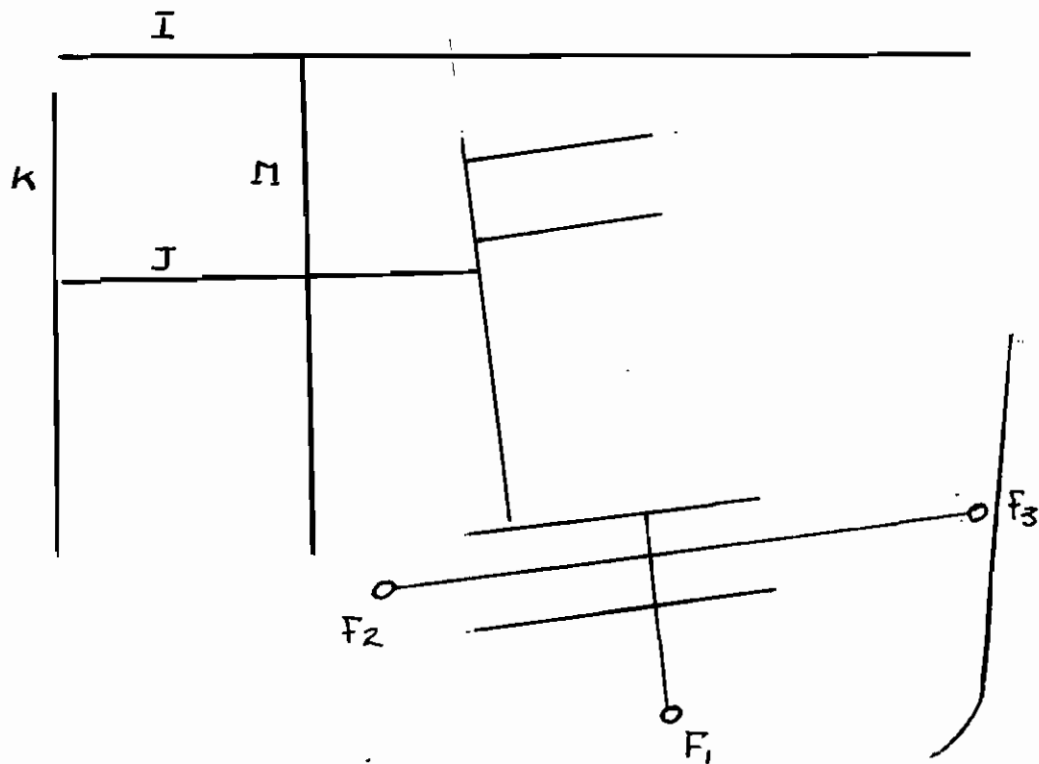
Repartition des parcelles sur le domaine.

Se référer à la planche III en annexe pour situer les frontières réelles de chaque parcelle.

Schématiquement, elles sont disposées comme suit:

une conduite d'amenée interconnectant
le circuit des nouvelles parcelles et les
circuits déjà installés.

Disposition schématique.



Dimensionnement.

$$l_I = 820 \text{ m.}$$

$$l_J = 218 \text{ m.}$$

$$l_K = l_M = 548 \text{ m.}$$

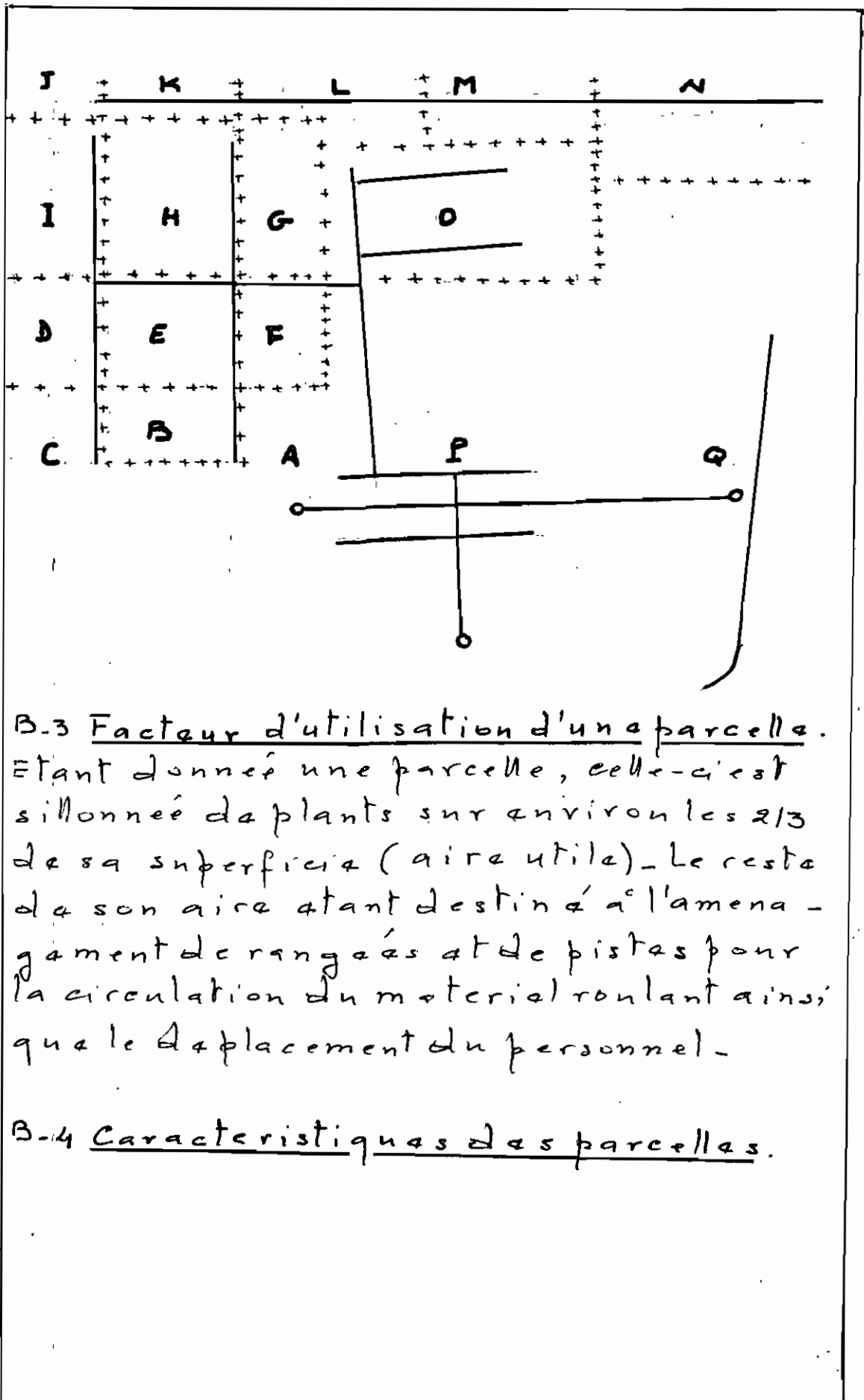
$$\phi_I = \phi_J = \phi_K = \phi_M = 100 \text{ mm.}$$

Épaisseur des canalisations.

Elles seront déterminées après calcul
des pressions de refoulement dans
le circuit.

Critère de choix du diamètre 100 mm.

Pour un débit de 25 l/sec circulant
pour l'alimentation des parcelles et
pour une pression de (40m) de colon-



B.3 Facteur d'utilisation d'une parcelle.

Etant donné une parcelle, celle-ci est sillonnée de plants sur environ les $\frac{2}{3}$ de sa superficie (aire utile). Le reste de son aire est destiné à l'aménagement de rangées et de pistes pour la circulation du matériel roulant ainsi que le déplacement du personnel.

B.4 Caractéristiques des parcelles.

Parcelle	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Aire (m ²)	38600	26112	39442	18000	34500	30240	32256	36864	19200
Aire utile	25733	17408	26295	12000	23000	20160	21504	24576	12800
Besoin (m ³)	180	122	184	84	161	141	152	172	90
← Besoin total 731 m ³					→ Besoin total 554 m ³				
Parcelle	J	K	L	M	N	O	P	Q	
Aire (m ²)	17520	10080	12000	41800	22400	41360	100000	100000	
Aire utile	11680	6720	8000	27867	14133	2753	66667	66667	
Besoin (m ³)	82	47	56	115	105	193	467	467	
← Besoin total 678 m ³					→ Besoin total 934 m ³				

Besoin total an. à an pour les 70 ha.
 $B = 2897 \text{ m}^3/\text{jour.}$

B.5 Limitations.

Face au besoin réel de $2897 \text{ m}^3/\text{jour}$ l'analyse des contraintes liées à l'exploitation du domaine devra dicter l'exploitation optimale des terres et du potentiel an. à an -

Contraintes liées aux forages.

Ceux-ci disposent de débits caractéristiques pour la préservation des nappes aquifères.

Ces débits étant:

$$\begin{aligned}
 F_1 &: 26.6 \text{ m}^3/\text{h} &= 7,4 \text{ l/sec} \\
 F_2 &: 22.5 \text{ "} &= 6,3 \text{ "} \\
 F_3 &: \underline{51.4 \text{ "}} &= 14,3 \text{ "} \\
 & \underline{100.5 \text{ m}^3/\text{h}} &= 28 \text{ l/sec.}
 \end{aligned}$$

Volume fourni en 24 heures

$$\begin{aligned}
 V &= 100.5 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} &= 2412 \text{ m}^3 \\
 \text{Besoin réel} & &= 2897 \text{ m}^3 \\
 \text{Déficit} & &= 485 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Conclusion: Même en distribution continue, les forages se révèlent insuffisants pour satisfaire à la demande en eau.

Contrainte liée à la pratique maraîchère

Pour un maintien et une amélioration constante de la qualité des terres, la pratique maraîchère dicte une mise au jachère des parcelles après une année d'exploitation.

Conclusion

Face à ces deux contraintes, un sectionnement du circuit s'impose pour la réduction de la demande globale en eau et le maintien de la qualité des terres.

C. Methodologie d'irrigation.

C.1 Introduction.

La methodologie suggerée repose sur un sectionnement du domaine en deux circuits pour + reduire la demande en eau.

+ ameliorer la qualite des terres

Alors qu'un circuit serait en exploitation, l'autre serait en jachere pour le maintien et l'amelioration de sa qualite'.

C.2 Sectionnement du circuit.

Circuit	Parcelles	Besoin eau ^(m³)
I	A-B-C-D-E-F-G-H-I	1285
II	J-K-L-M-N-O-P-Q	1612

Ce sectionnement tient compte de la position géographique des parcelles et de leurs localisations par rapport au circuit d'irrigation.

Pour répondre aux besoins ci-dessus, notre raisonnement et nos calculs porteront sur un circuit en exploitation alors que l'autre serait en jachère.

Le cumul des resultats individuels obtenus dictera le volume d'eau necessaire pour l'exploitation optimale du domaine.

C.3 Periodes et ordre d'arrosage des parcelles dans la journée

Pour la pratique maraîchère, les périodes d'arrosage favorables sont :

- Matinée de 6h à 11h.
- Après-midi de 16h à 20h.

L'ordre d'arrosage des parcelles sera dicté par leurs positions relatives pour minimiser le déplacement des canalisations mobiles.

Circuit.	Parcelles -				(m^3) Besoin total
	6h - 11h	(m^3) Besoin	16h - 20h	(m^3) Besoin	
I	A-B-C-D-E	731	F-G-H-I	554	1285
II	J-K-L-M-N-O	678	P-Q.	934	1612

C.4 Calcul des durées et débits d'arrosage

Selon le tableau précédent, chaque parcelle doit être arrosée en un temps déterminé et à un débit correspondant pour répondre à la demande en eau exprimée dans la période (matinée ou après-midi).

Pour une parcelle (i) donnée :

- soit (d_i) sa durée d'arrosage.
- (Q_i) le débit d'arrosage de cette parcelle.

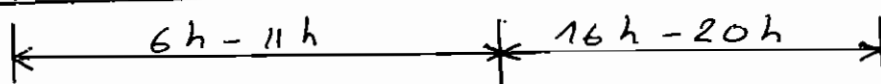
$$d_i = \left[\frac{18000 \text{ sec}}{14400 \text{ sec}} \right] \times \frac{\text{besoin-eau de la parcelle}}{\text{besoin total dans la période}}$$

(4-a).

$$Q_i = \frac{\text{Besoin} - \text{eau de la parcelle}}{d_i}$$

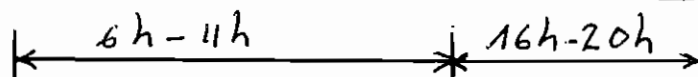
Circuit I

Parcelle	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Besoin (m^3)	180	122	184	84	161	142	152	172	90
d_i (sec)	4432	3004	4531	2068	3964	3065	3925	4471	2339
Q_i (l/sec)	40	40	40	40	40	40	40	40	40



Circuit II

Parcelle	J	K	L	M	N	O	P	Q
Besoin (m^3)	82	47	56	195	105	193	467	467
d_i (sec)	2177	1248	1487	5177	2778	5424	7200	7200
Q_i (l/sec)	40	40	40	40	40	60	60	60



$$4-9: [6h-11h] \equiv 18000 \text{ sec} - [16h-20h] \equiv 14400 \text{ sec}$$

D. Obtention de la demande en eau à partir des forages.

D.1 Introduction.

Cette partie vise à déterminer la méthode la plus efficace et la plus sécuritaire pour satisfaire les besoins en eau des circuits (I) et (II) dans les délais d'arrosage établis dans la matinée et dans l'après-midi. Les possibilités suivantes seront observées.

- Irrigation par alimentation directe à partir des forages.
- Irrigation mixte.
- Irrigation à partir d'une réserve.

Compte tenu de leurs avantages, inconvénients et limites respectifs, une solution sera retenue pour l'exploitation optimum des forages et des groupes moto-pompes.

D.2 Irrigation par alimentation directe.

Cette méthode repose sur l'irrigation des parcelles à partir des forages avec les pompes existant sur ceux-ci.

S'il est vrai que les pompes sont suffisamment puissantes pour fournir l'énergie nécessaire, la question est de savoir si les forages peuvent satisfaire ainsi directement la demande en eau des circuits.

(I) et (II) -

D.2.1 Évaluation de la capacité des forages par apport à la demande en eau.

Capacité des 3 forages $100,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

Volume soutiré dans la matinée
 $5 \text{ h} \times 100,5 \text{ m}^3/\text{h} = 502,5 \text{ m}^3$

Volume soutiré dans l'après-midi
 $4 \text{ h} \times 100,5 \text{ m}^3/\text{h} = 402 \text{ m}^3$

Volume total soutiré par jour
 $502,5 \text{ m}^3 + 402 \text{ m}^3 = 904,5 \text{ m}^3$

Déficit en eau enregistré.

• Circuit (I)
 $1285 \text{ m}^3 - 904,5 \text{ m}^3 = 380,5 \text{ m}^3$

• Circuit (II)
 $1612 \text{ m}^3 - 904,5 \text{ m}^3 = 707,5 \text{ m}^3$

Superficies correspondant à ces déficits

• Circuit (I)
 $\frac{380,5 \text{ m}^3}{7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}} = 54357 \text{ m}^2$

• Circuit (II)
 $\frac{707,5 \text{ m}^3}{7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}} = 10107 \text{ m}^2$

Superficie totale non irriguée

$54357 \text{ m}^2 + 10107 \text{ m}^2 = 155428 \text{ m}^2$

Pourcentage d'utilisation des terres cultivables.

$$P = \frac{155428}{65 \times 10000} = 24\%$$

Les terres cultivables ne peuvent être utilisées qu'à 24% de leur potentiel

9200

pendant les 9 mois - de la saison sèche -

D.2.2 Inconvénients majeurs.

- Risque de bris des conduites

En effet pour les parcelles éloignées des pompes, les charges nécessaires sont de l'ordre de (55 m) de colonne d'eau. (2.2.a)

Les canalisations existantes étant de faibles dimensions (épaisseur) seront exposées à des risques de destruction, ce qui constitue un danger pour un circuit ramifié.

- Toute panne intervenant sur une des pompes entraîne la privation de certaines parcelles d'eau.

D.3 Irrigation mixte.

Cette solution vise à combler le déficit en eau de la solution précédente.

A l'alimentation directe des parcelles à partir des forages et des pompes existantes, elle associe une irrigation en parallèle à partir d'une réserve en eau et d'une pompe de distribution.

D.3.1 Utilisation des pompes

Pompes existant sur les forages.

R.2.a: se référer au calcul des pressions pour l'alimentation des parcelles (chap III).

- Aux heures d'arrosage, elles alimentent directement les parcelles.
- Aux heures creuses, elles alimentent la réserve en eau.

Temps de distribution.

A partir de la réserve d'eau, elle alimentera directement les parcelles.

3.3.2 Inconvénients majeurs.

En plus de ceux (3.2.a) de la méthode précédente il convient de noter.

- Investissement supplémentaire - Achat d'une pompe de distribution qui refoulera à des pressions de quelque (50m) de colonne d'eau (3.2.b).
- Gros risque d'interférence des pompes entre elles.

Le personnel n'est pas qualifié pour faire face aux exigences techniques de cette méthode.

- Limitation du circuit.

Celui-ci par sa simplicité ne se prête pas à une alimentation en parallèle.

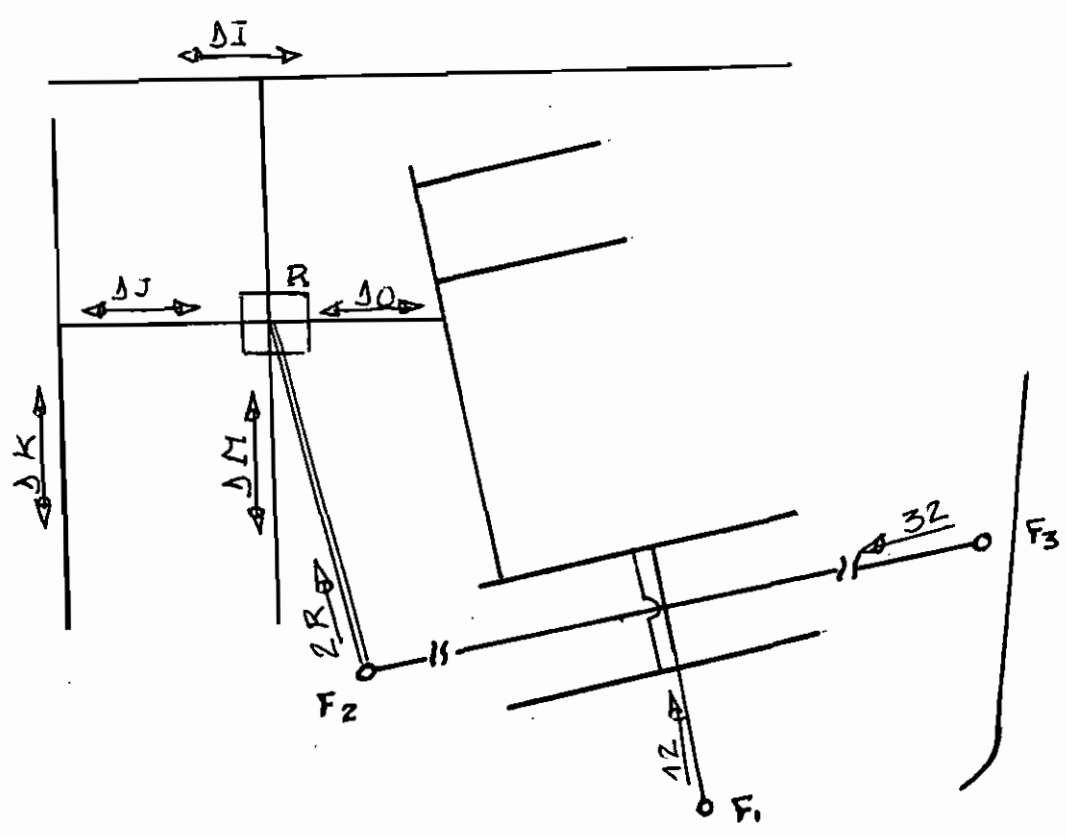
3.4 Irrigation à partir d'une réserve.

3.2.a: risque de bris des conduites.

3.2.b: Par rapport à la localisation de la réserve (voir section suivante) la charge nécessaire pour l'alimentation des parcelles est en moyenne de 50m (c.é) pour un débit de

Cette solution vise à contourner les inconvénients (bris de conduite, interférence des pompes) des deux solutions précédentes. Dans son principe, elle ne requiert pas de qualification particulière du personnel. Les pompes existant sur les forages devront alimenter uniquement une réserve globale en eau (sauf pour les parcelles proches des forages). À partir de laquelle une pompe de distribution assurera l'irrigation des parcelles.

0.4.1 Schema du principe -



Designation.

- 1.2 → : Pompage à partir de F_1 vers F_2 .
- 3.2 → : " " " F_3 " F_2
- 2.R → : " " " F_2 " Reservoir (R).

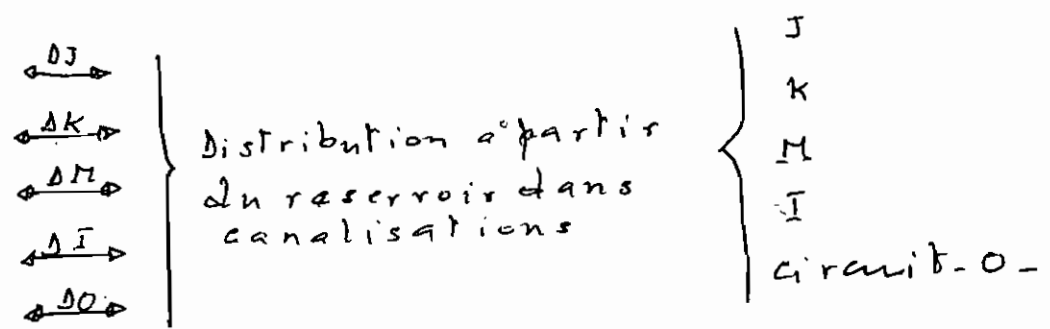


Figura 2

D-4.2 Localisation du réservoir.

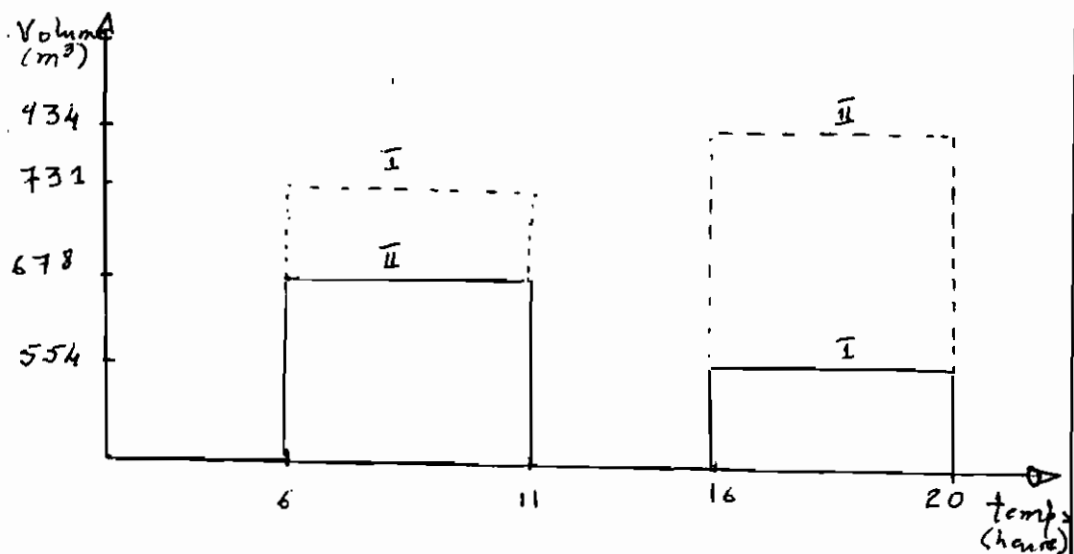
La localisation du réservoir est faite en tenant compte des critères suivants :

- Point d'altitude élevée
- Proche du centre de gravité des circuits.
- Nécessitant le minimum de canalisations.
- favorable à l'extension des circuits.

D-4.3 Calcul du réservoir

Il s'agit de déterminer le volume maximal d'eau à stocker par jour pour satisfaire à la demande des circuits (I) et (II) aux heures d'arrosage -

Demande en eau des circuits (I) et (II).



Debit d'alimentation du réservoir à partir des forages

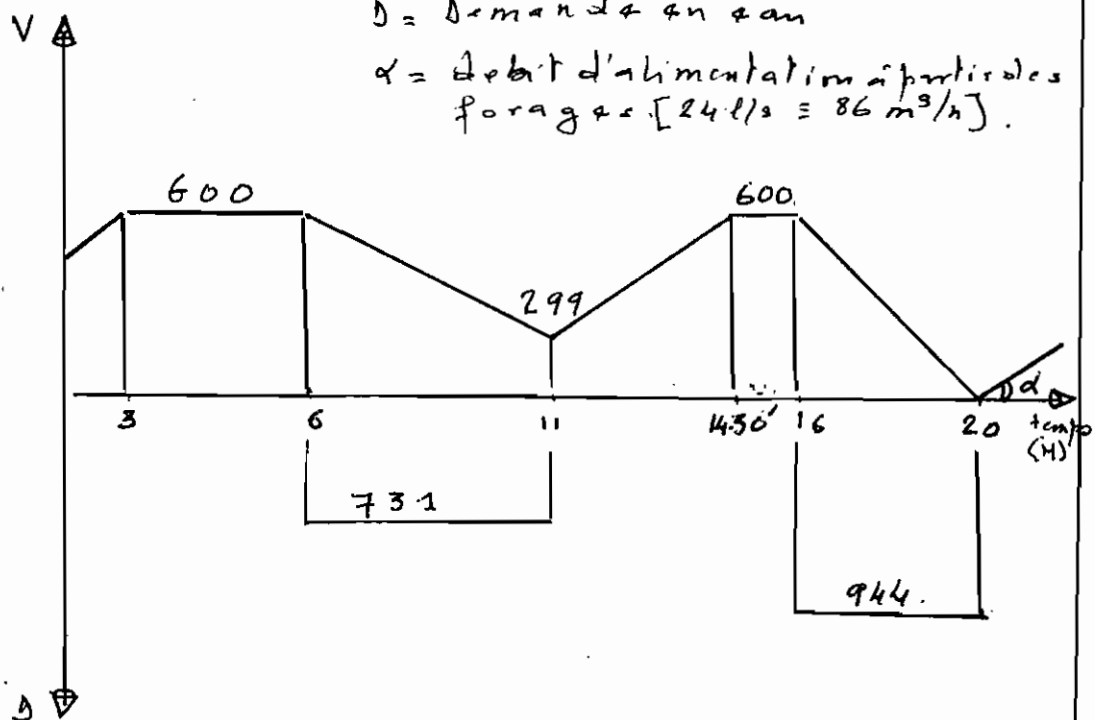
La capacité réelle des forages étant (28 l/s),
Le débit d'alimentation du réservoir a été
établi à (24 l/s) pour tenir compte du ren-
dement des pompes existant sur les forages

Variation journalière du volume d'eau -

V = volume stocké

D = demande en eau

α = débit d'alimentation à partir des
forages [24 l/s \approx 86 m³/h].



Commentaires

Au débit d'alimentation de (86 m³/h), le vo-
lume maximal à stocker pour satisfaire
aux demandes maximales est

$$731 \text{ m}^3 \longrightarrow [6\text{H} - 11\text{H}].$$

$$944 \text{ m}^3 \longrightarrow [16\text{H} - 20\text{H}].$$

est de 600 m³.

A ce rythme, les pompes seront au repos
pendant [4,5 H] dans 24 H soit

de 6H - 11H
et de 16,5H - 16H.

Pourcentage d'utilisation des puits.

$$P = 1 - \frac{5}{24} = 80\%$$

Les forages sont exploités à (80%) de leur potentiel en eau.

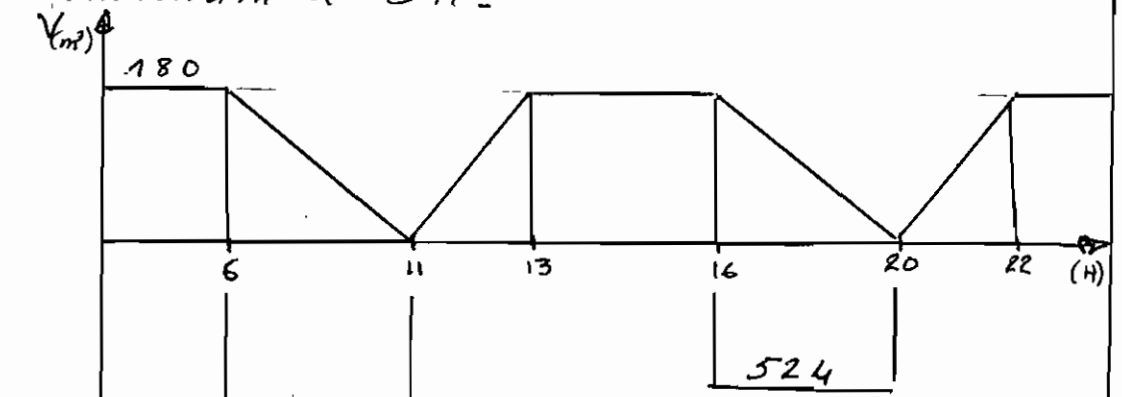
D-4.4 Cas d'un reservoir à surélever

Le volume de 600 m³ est trop grand pour être surélevé, il y a lieu d'observer le pourcentage d'utilisation des puits pour un volume raisonnable d'eau surélevé.

Reference : Chateau d'eau installé à l'école polytechnique d'une capacité de 180 m³ et valant 10 millions en moyenne.

Variation journalière du volume d'eau

Les mêmes contraintes seront retenues soit niveau de stockage nul à 20H et maximum à 6H.



V = volume stocké (m³)
C = consommation maximale (m³)



Commentaires -

Avec un château d'eau d'une capacité de 180 m^3 , les volumes maximum d'eau obtenus sont:

- matinée : 610 m^3
- après-midi : 524 m^3

Déficits enregistrés

- matinée : $731 - 610 = 121 \text{ m}^3$
- après-midi : $934 - 524 = 410 \text{ m}^3$
- Total = 531 m^3

Les pompes d'alimentation du château d'eau seront au repos pendant 11 h.
soit de 22 h - 6 h.
13 h - 16 h.

Pourcentage d'utilisation des forages

$$P = 1 - \frac{11}{24} = 54\%$$

Les forages ne sont exploités qu'à (54%) de leur potentiel en eau.

Ainsi s'offre la possibilité d'utiliser un autre château d'eau pour combler le déficit de 531 m^3 .

Chapitre 3

Calculs hydrauliques pour le choix des pompes

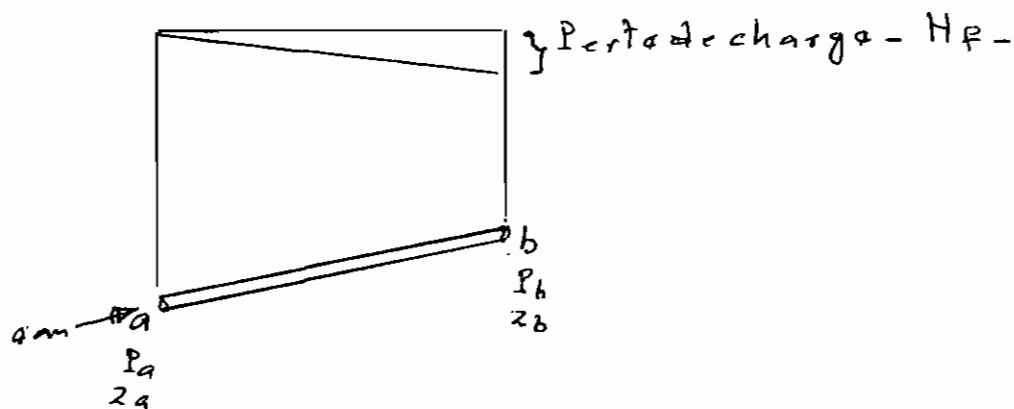
3.1 Introduction.

Le choix d'une unité de pompage ne doit pas se faire au hasard ou sur un coup de dé. En effet dans les circuits où des pompes sont interconnectées soit en série soit en parallèle, le rendement des pompes dépend de l'interaction de l'une sur l'autre. Or un mauvais rendement implique qu'il faut un moteur et une pompe plus puissants et implique une surconsommation d'énergie qui coûte très très cher. C'est pourquoi ce chapitre va s'occuper de calculer les caractéristiques hydrauliques de la solution où les trois puits vont alimenter le réservoir à partir de la même conduite et du choix d'une unité de pompage qui fera la distribution sur le réseau d'irrigation.

3.2 Détermination des pressions sur une ligne d'alimentation.

3.2.1: Equation de Bernouilli

soit une ligne d'alimentation (ab)



La détermination de la pression à une extrémité de la conduite s'obtient par l'équation de Bernoulli - soit :

$$\frac{P_b}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + (z_a - z_b) - M_f \quad (2.1-a).$$

Cette équation fondamentale servira de base à nos calculs.

3.2.2. Unités de pression.

Dans l'équation ci-dessus, les termes $(\frac{P_a, b}{\gamma})$ sont équivalents à des mètres de colonne d'eau (m.c.e.).

D'autre part l'abaque de Hazen-Williams utilise pour déterminer les pertes de charge s'exprime en mètre par 100 mètres. L'unité de pression utilisée sera donc le mètre de colonne d'eau.

$$1 \text{ m.c.e.} = 0,1 \text{ bar.}$$

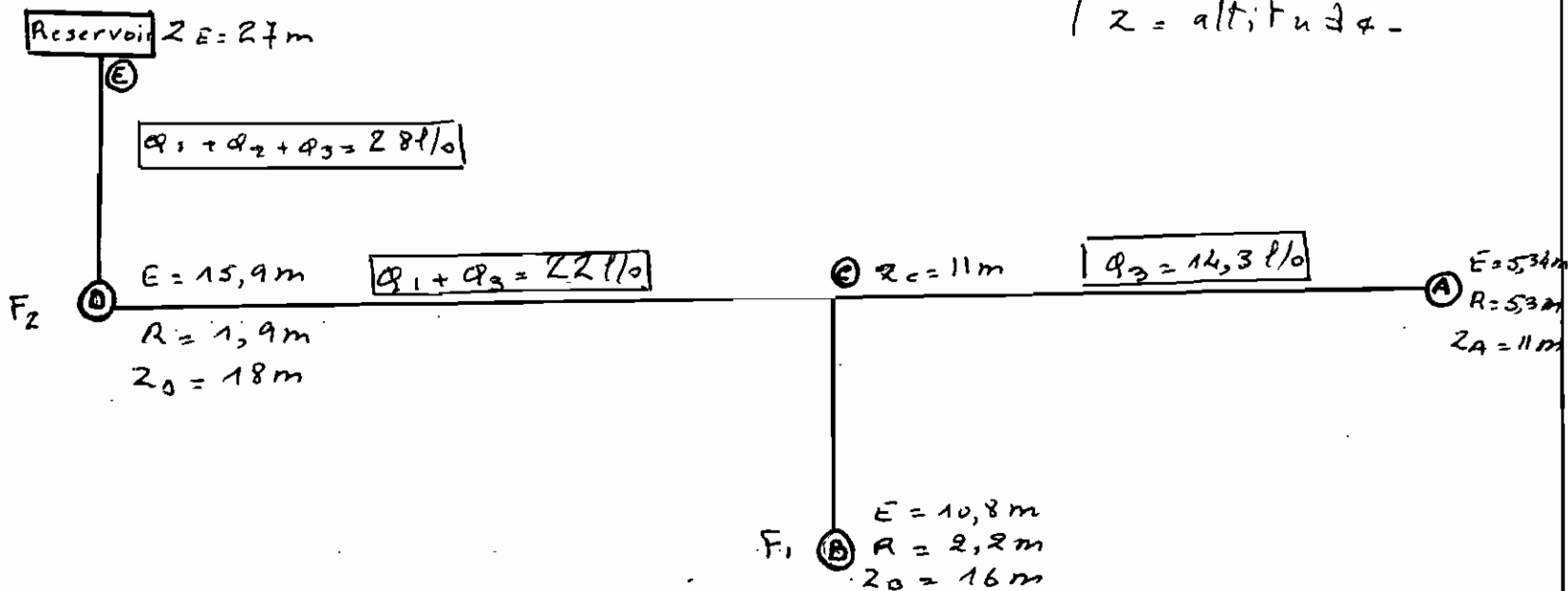
3.3 Charges nécessaires aux pompes alimentant le réservoir.

2.1-a : se reporter à l'annexe pour déterminer (H_f) avec l'abaque de Hazen-Williams.

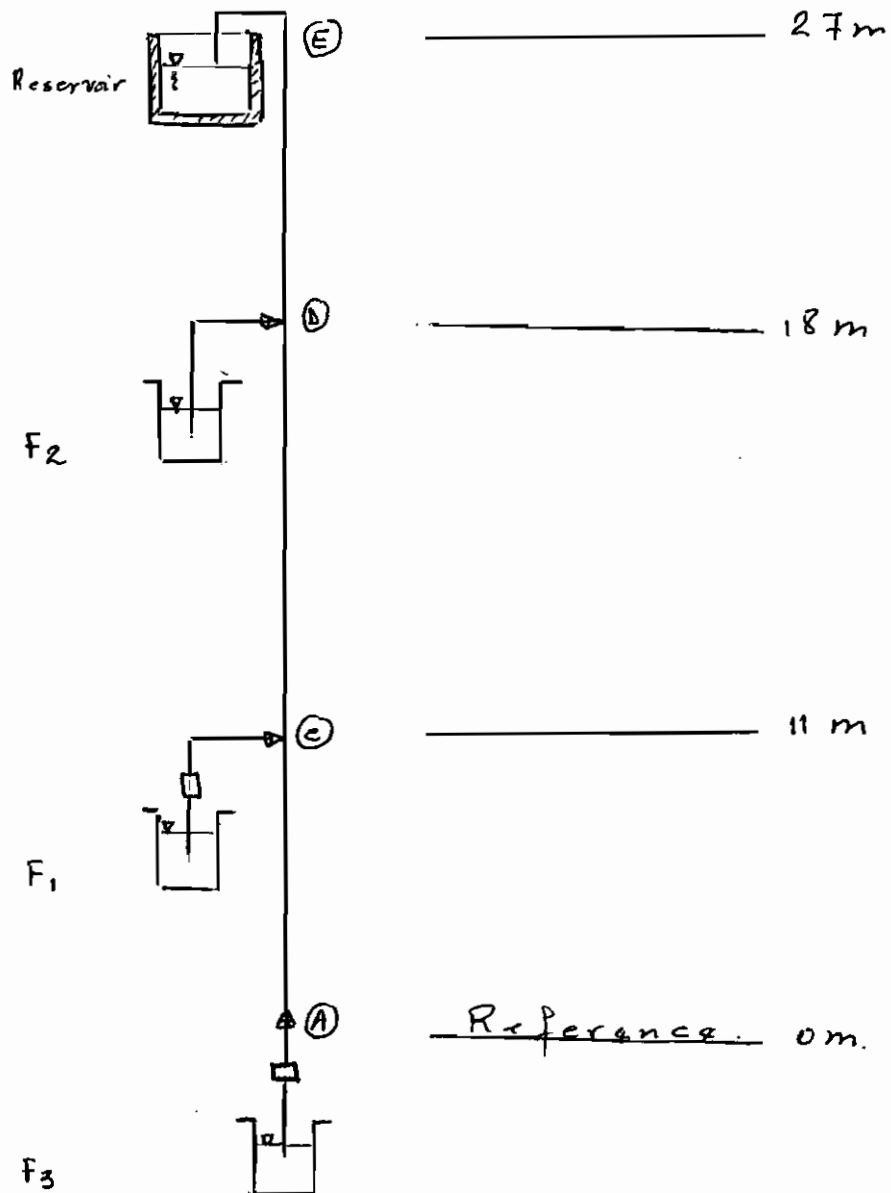
Les pompes $F_1 - F_2 - F_3$ alimentent le réservoir en E selon la ligne ACDE

Dimensions $\left\{ \begin{array}{l} L_{AC} = 250m \quad \phi = 100mm \\ L_{CD} = 312m \quad \phi = 100mm \\ L_{DE} = 248m \quad \phi = 150mm \end{array} \right.$

Désignation $\left\{ \begin{array}{l} E = \text{élévation nappes} \\ R = \text{rabattement} \\ z = \text{altitude} \end{array} \right.$



Altitude des points d'injection par rapport au niveau du puits (3) = $E_3 - R_3 = 0$

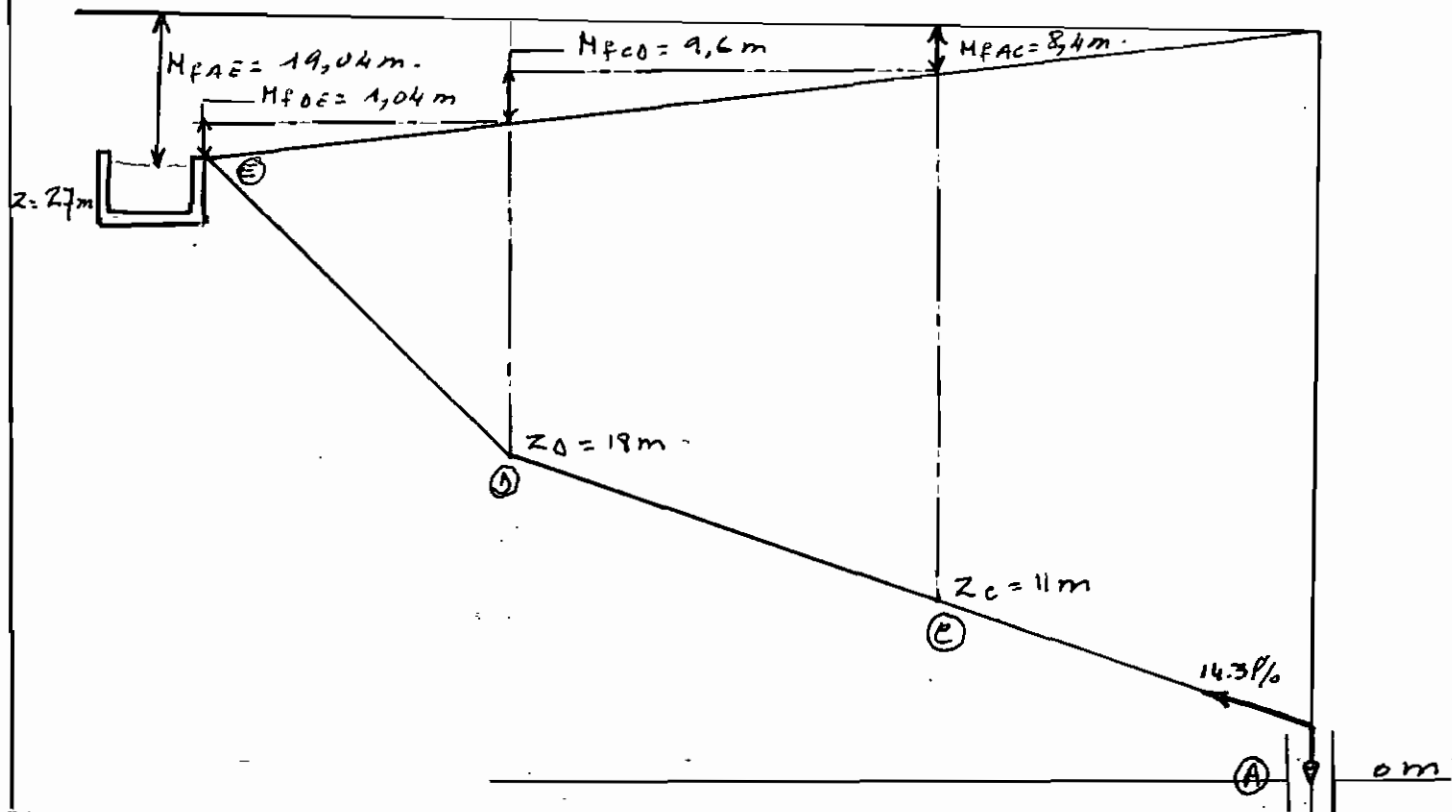


47

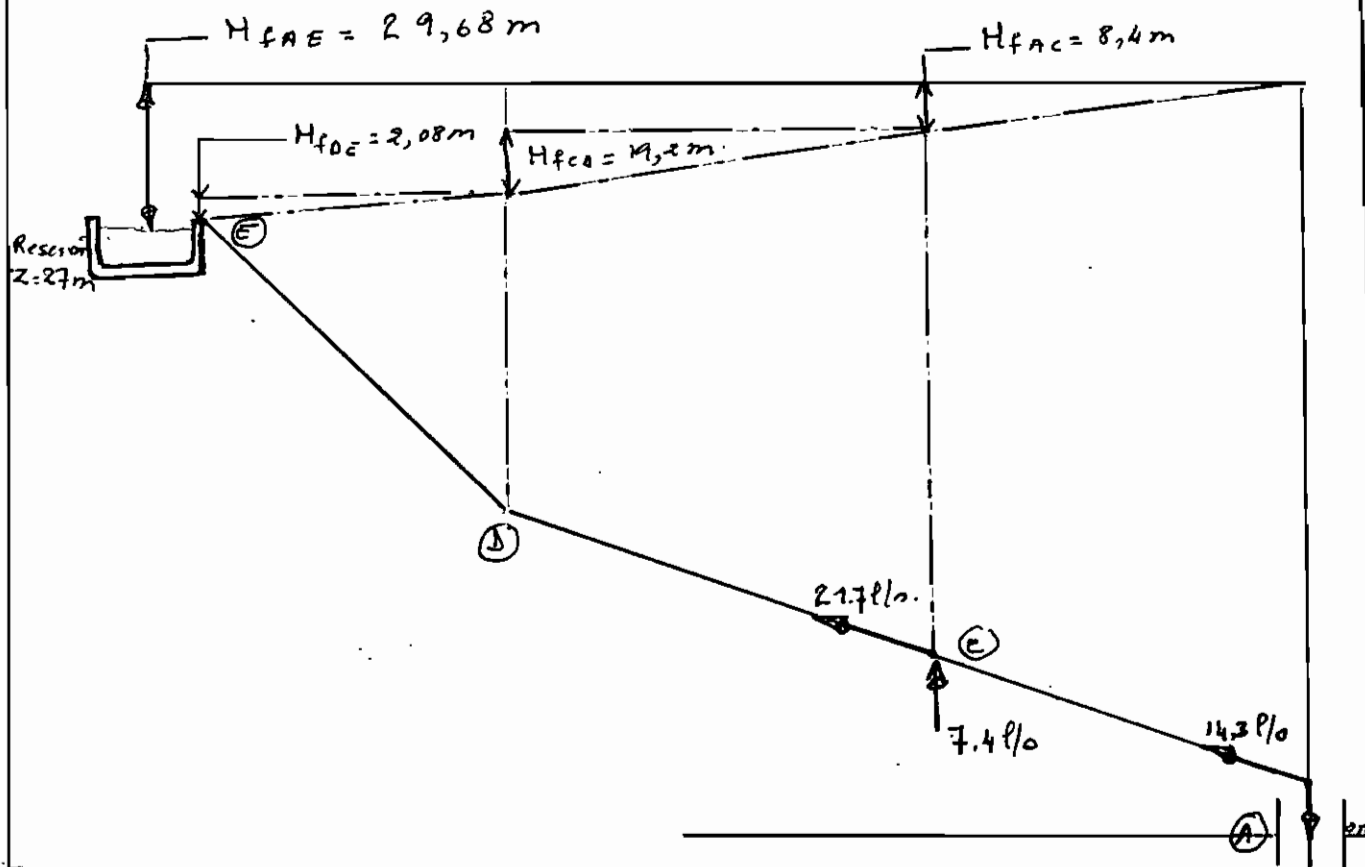
Charge necessaire au puits #3
pour pomper 14,3 l/s au reservoir.

Pression necessaire

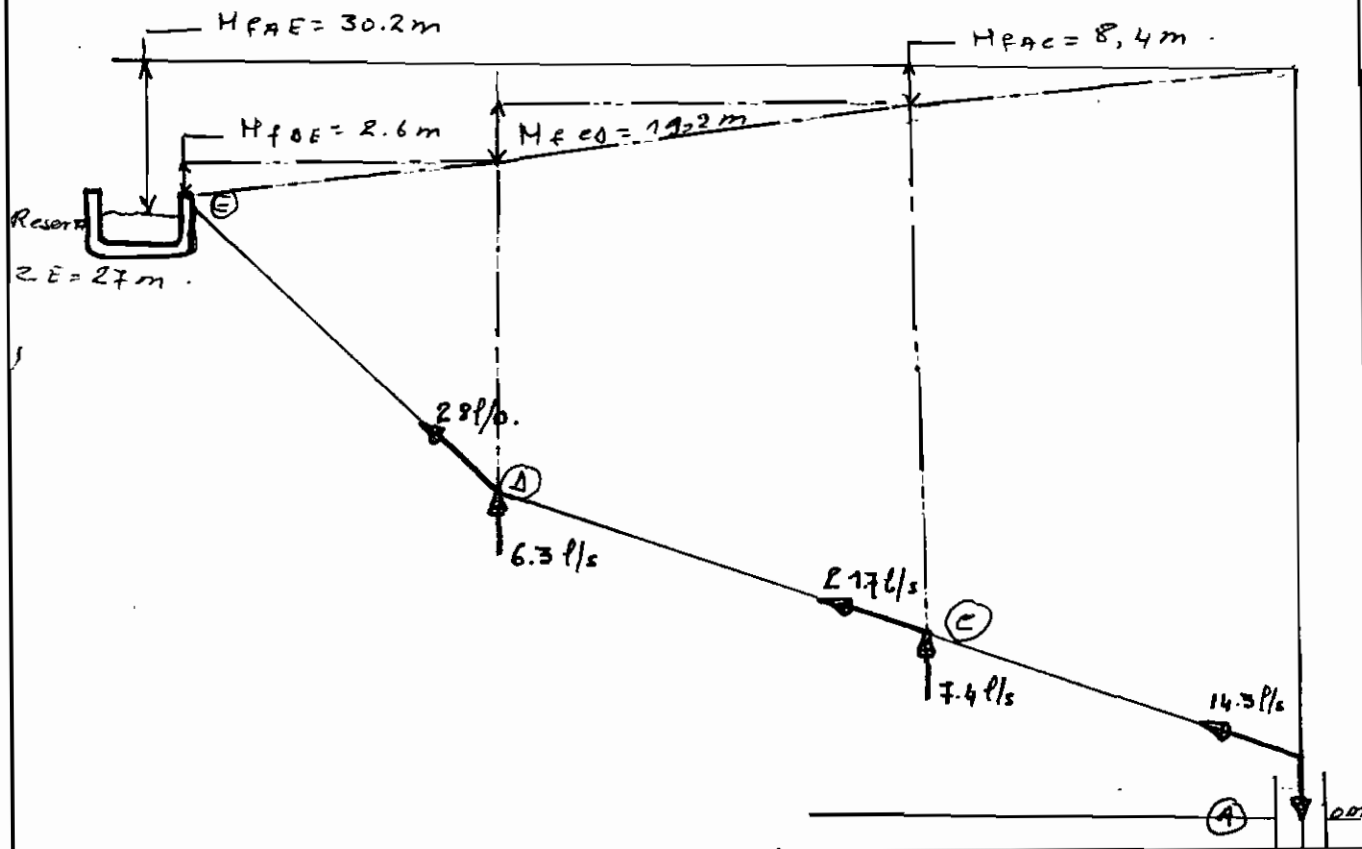
$$\begin{aligned} P &= \Delta Z_{AE} + H_{FAE} \\ &= 27\text{m} + 19,04\text{m} \\ &= 46,04\text{ m.C.E} \end{aligned}$$



surcharga entraînée par l'injection
de 7.4 l/s en c au puits #2



surcharges entraînés par l'injection
de 7.4 l/s en C et 6.3 l/s en D.



Pression d'injection en C

$$P_C = 27\text{ m} - 8.4\text{ m} - 11\text{ m}$$

$$= 7.6\text{ m c.e.}$$

Pression d'injection en D

3.4 Calcul de la pompe de distribution.

3.4.1 Domaine d'action de la pompe de distribution

Elle devra alimenter toutes les parcelles du domaine à partir de la réserve en eau (4.1.a) - Elle devra donc fournir les pressions nécessaires à l'alimentation de ces parcelles.

3.4.2 Principe de calcul.

Il s'agit de tester les points les plus critiques en altitude et en éloignement par rapport à la localisation de la pompe de distribution. Les résultats obtenus par ce test fourniront la gamme de pressions à laquelle la pompe sera soumise.

3.4.3 Pressions nécessaires à l'alimentation des parcelles critiques

La détermination des pressions nécessaires à la pompe de distribution pour l'alimentation des parcelles se fera à l'aide de l'équation de Bernoulli - (4.3.a)

Les pertes de charge (h_f) seront déterminées à l'aide d'abaques de Hazen-Williams.

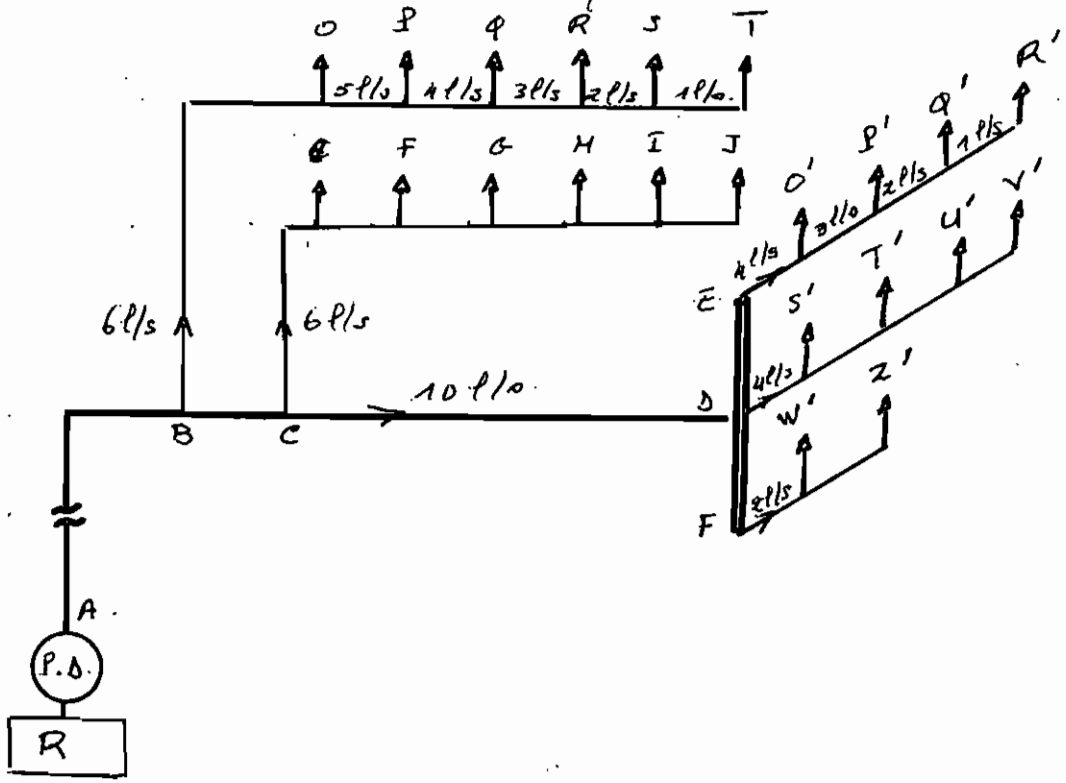
4.1-a : se reporter à la figure 2. section 0.4.1.

4.3-a : se reporter à la section 3.2.1.

Pour les canalisations en P.V.C, le coefficient de Hazen-Williams $C = 130$. Pour les canalisations en tesson $C = 80$ (4-3-b).
 Sans mention, les caractéristiques des arroseurs utilisés sont :

- Pression nécessaire = 39,8 m
- rayon d'action = 36 m.
- débit = 1 l/s.

3431 Alimentation des parcelles M et N.



Alimentation du point T.

$$\Delta H_{AT} = \begin{cases} \Delta H_{AB} \\ + \Delta H_{BO} + \Delta H_{OP} + \Delta H_{PQ} + \Delta H_{QR} + \Delta H_{RS} + \Delta H_{ST} \end{cases}$$

4-3-b: se reporter à l'annexe pour les abaques correspondants à ces coefficients.

$$\Delta H_{AT} = \left. \begin{array}{l} 24,3 \text{ m} \\ + (1,6 + 0,5 + 0,3 + 0,2 + 0,07 + 0,02) \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$= 27 \text{ m c.E}$$

$$P_T = 39,8 \text{ m c.E}$$

Bernoulli entre A et T.

$$\Rightarrow P_A = P_T + \Delta H_{AT} - (Z_A - Z_T)$$

$$= 39,8 + 27 - (27 - 18)$$

$$= 57,8 \text{ m c.E}$$

$$\approx 5,7 \text{ bars.}$$

Alimentation du point J.

$$\Delta H_{AJ} = \Delta H_{AB} + \Delta H_{BC} + \Delta H_{CD} + \Delta H_{DJ}$$

$$= 24,3 + 0,7 + 0,8 + 3,09$$

$$= 27,7 \text{ m c.E}$$

$$P_J = 39,8 \text{ m c.E}$$

Bernoulli entre A et J.

$$\Rightarrow P_A = P_J + \Delta H_{AJ} - (Z_A - Z_J)$$

$$= 39,8 + 27,7 - (27 - 18)$$

$$= 58,5 \text{ m c.E}$$

$$\approx 5,7 \text{ bars.}$$

Alimentation du point R'

$$\Delta H_{AR'} = \Delta H_{AB} + \Delta H_{BC} + \Delta H_{CD} + \Delta H_{DE} + \Delta H_{ER'}$$

$$= 24,3 + 0,7 + 4 + 0,08 + 0,59$$

$$= 29,7 \text{ m c.E}$$

$$P_{R'} = 39,8 \text{ m c.E}$$

Bernoulli entre A et R'

$$\Rightarrow P_A = P_{R'} + \Delta H_{AR'} - (Z_A - Z_{R'})$$

$$= 39,8 + 29,7 - 15$$

$$= 54,5 \text{ m c.E}$$

$$\approx 5,4 \text{ bars.}$$

Bernoulli entre A et R'

$$\begin{aligned} \Rightarrow P_A &= P_{R'} + \Delta H_{AR'} - (Z_A - Z_{R'}) \\ &= 39,8 + 77 - 2 \\ &= 46,5 \text{ m c.e.} \\ &= 4,5 \text{ bars.} \end{aligned}$$

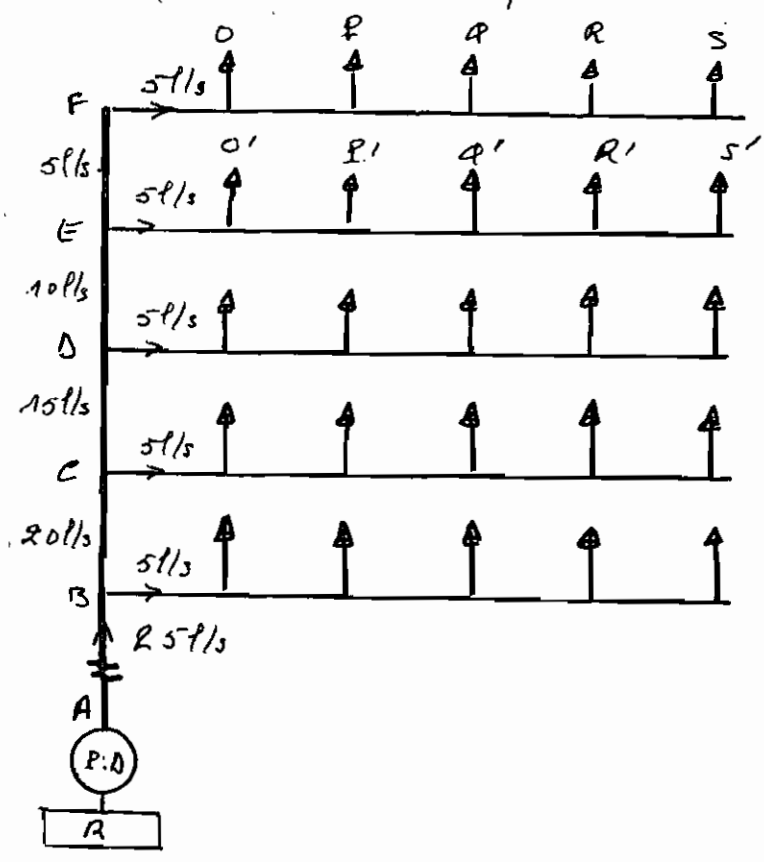
Alimentation du point Z.

$$\begin{aligned} \Delta H_{AF} &= \Delta H_{AB} + \Delta H_{BC} + \Delta H_{CD} + \Delta H_{DE} + \Delta H_{FZ} \\ &= 6,6 + 0,2 + 0,5 + 0,2 + 0,02 \\ P_Z &= 39,8 \text{ m.} \end{aligned}$$

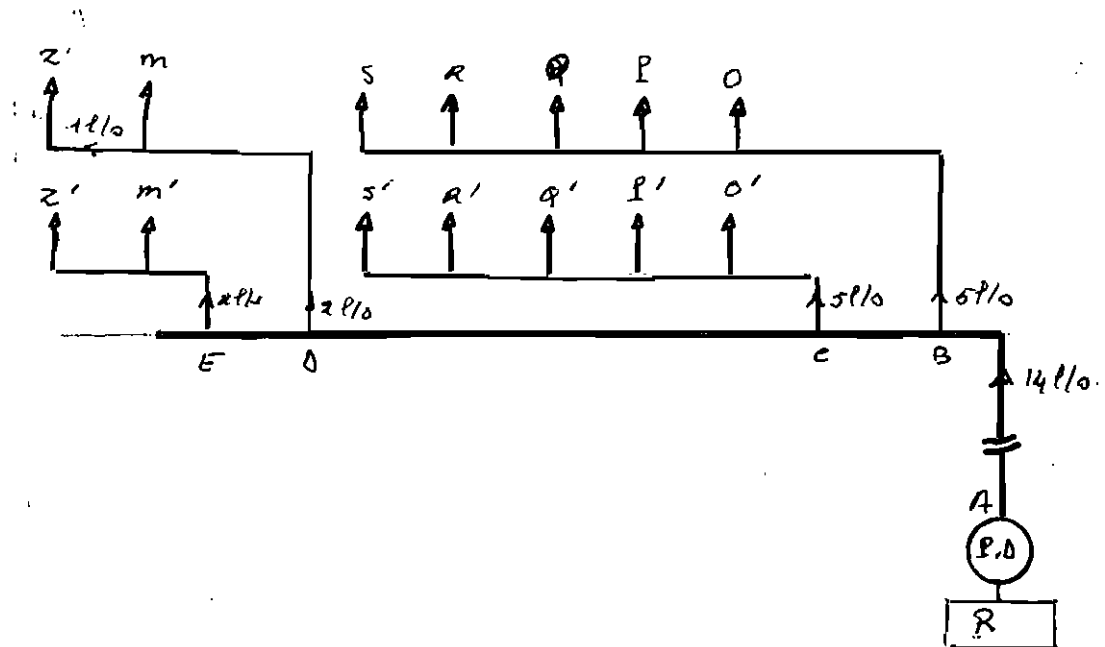
Bernoulli entre A et Z.

$$\begin{aligned} \Rightarrow P_A &= P_Z + \Delta H_{AZ} - (Z_A - Z_Z) \\ &= 39,8 + 7,5 - 5 \\ &= 42,3 \text{ m c.e.} \\ &= 4,1 \text{ bars.} \end{aligned}$$

3433 : Alimentation de la parcelle B et d'une portion de la parcelle A.



3432 : Alimentation de la parcelle J.



Alimentation au point s

$$\begin{aligned} \Delta H_{AS} &= \Delta H_{AB} + \Delta H_{BO} + \Delta H_{OE} + \Delta H_{PE} + \Delta H_{QR} + \Delta H_{RS} \\ &= 6,6 + 0,5 + 0,3 + 0,2 + 0,07 + 0,02 \\ &= 7,7 \text{ m c.e.} \end{aligned}$$

$$P_s = 39,8 \text{ m c.e.}$$

Bernoulli: $\rho_1 v_1^2 + \rho_2 v_2^2 = A \text{ et } s.$

$$\begin{aligned} \Rightarrow P_A &= P_s + \Delta H_{AS} - (Z_A - Z_s) \\ &= 39,8 + 7,7 - (27 - 25) \\ &= 45,5 \text{ m c.e.} \\ &= 4,4 \text{ bar} \end{aligned}$$

Alimentation au point R'

$$\begin{aligned} \Delta H_{AR'} &= \Delta H_{AB} + \Delta H_{BC} + \Delta H_{CO'} + \Delta H_{O'R'} \\ &= 6,6 + 0,2 + 0,3 + 0,3 + 0,2 + 0,07 \\ &= 7,7 \text{ m.} \end{aligned}$$

$$P_{A'} = 39,8 \text{ m.}$$

Alimentation au point S

$$\begin{aligned} \Delta H_{AS} &= \Delta H_{AB} + \Delta H_{BC} + \Delta H_{CD} + \Delta H_{DE} + \Delta H_{EF} + \Delta H_{FS} \\ &= 20,4 + 1,3 + 1,2 + 0,6 + 0,2 + 0,7 + 0,09 \\ &= 24,49 \text{ m} \end{aligned}$$

$$I_s = 39,8 \text{ m}$$

Bernoulli entre A et S.

$$\begin{aligned} \Rightarrow P_A &= I_s + \Delta H_{AS} - (Z_A - Z_S) \\ &= 39,8 + 24,5 - (27 - 18) \\ &= 55,3 \text{ m c.e} \\ &= 5,4 \text{ bars} \end{aligned}$$

Alimentation au point S'

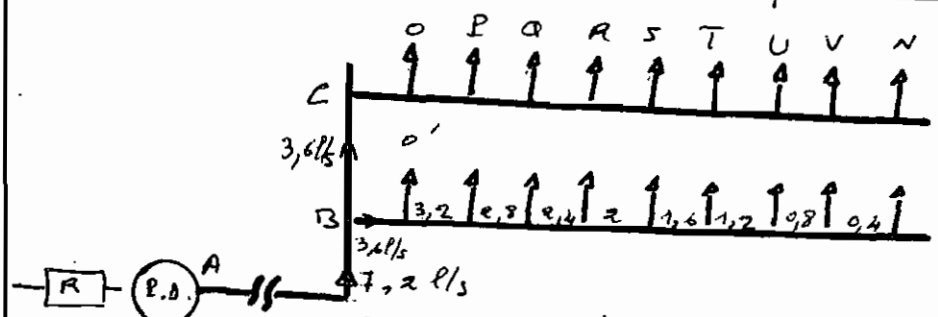
$$\begin{aligned} \Delta H_{AS'} &= \Delta H_{AE} + \Delta H_{ES'} \\ &= 23,5 + 0,79 \\ &= 24,29 \text{ m c.e} \end{aligned}$$

$$I_{s'} = 39,8 \text{ m c.e}$$

Bernoulli entre A et S'

$$\begin{aligned} \Rightarrow P_A &= I_{s'} + \Delta H_{AS'} - (Z_A - Z_{S'}) \\ &= 39,8 + 24,29 - (27 - 16) \\ &= 53,1 \text{ m c.e} \\ &= 0,2 \text{ bars} \end{aligned}$$

3434 Alimentation de la parcelle O-



Caractéristiques des arroseurs
 Pression nécessaire = 15,3 m c.e
 Débit = 0,4 l/s.

Alimentation du point N:

$$\Delta H_{AN} = \Delta H_{AB} + \Delta H_{BC} + \Delta H_{CO} + \Delta H_{OP} + \Delta H_{PQ} + \Delta H_{QR} + \Delta H_{RS} + \Delta H_{ST} + \Delta H_{TU} + \Delta H_{UV} + \Delta H_{VN}$$

$$\approx 3 \text{ m.c.e}$$

$$P_N = 15,3 \text{ m.c.e}$$

Bernoulli entre A et N

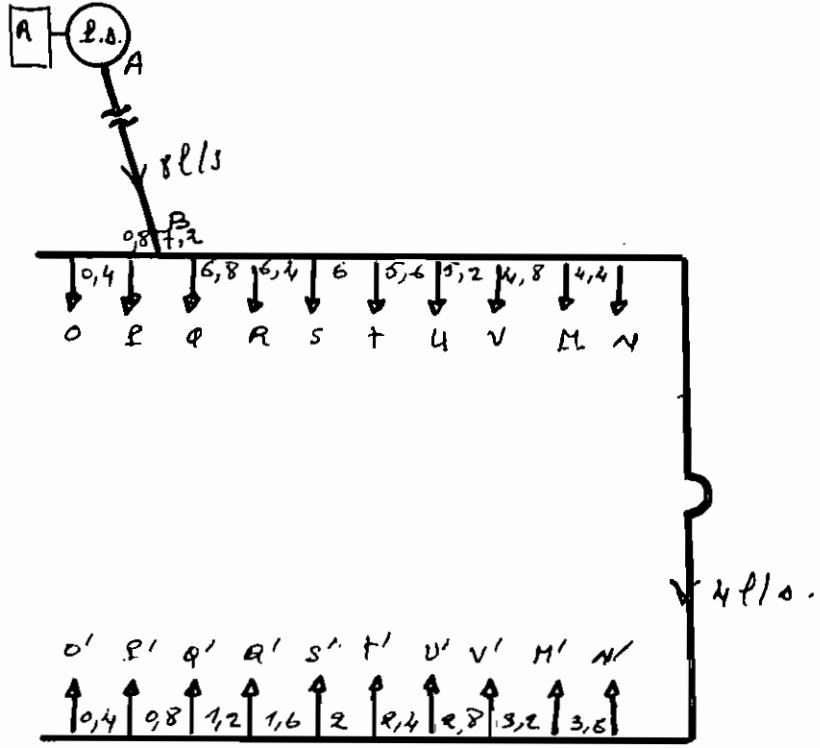
$$\rightarrow P_A = P_N + \Delta H_{AN} - (Z_A - Z_N)$$

$$= 15,3 + 3 - (27 - 19,2)$$

$$= 10,5 \text{ m}$$

$$\approx 2 \text{ bar}$$

3435 Alimentation de la parcelle P.



Alimentation du point O'.

$$\Delta H_{AO'} = \Delta H_{AB} + [\Delta H_{BN}] + [\Delta H_{NN'}] + [\Delta H_{N'O'}]$$

$$\approx 8 \text{ m.c.e}$$

$$P_{O'} = 15,3 \text{ m.c.e}$$

Bernouilli entre A et O'

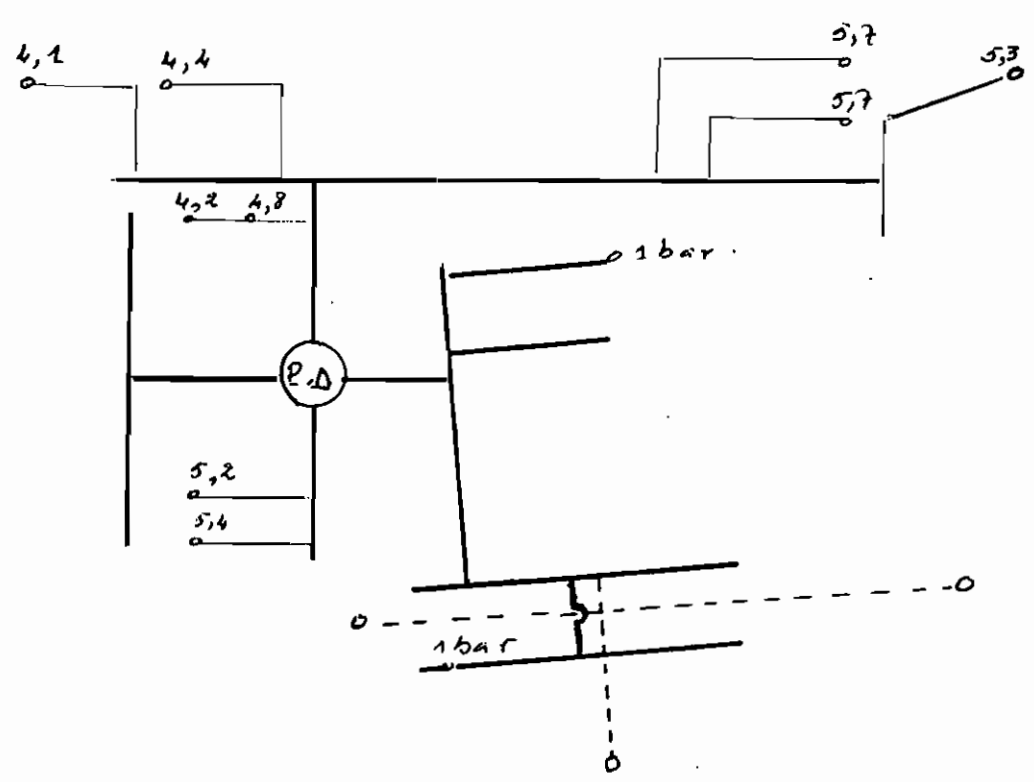
$$P_A = P_{O'} + \Delta H_{AO'} - (Z_A - Z_{O'})$$

$$= 15,3 + 9 - (27 - 12)$$

$$= 9,3 \text{ m c.e.}$$

$$\approx 1 \text{ bar}$$

3.4.4 Récapitulation -



Les chiffres indiqués correspondent aux pressions calculées en bar.

Caractéristiques de la pompe de distribution

- Pression de refoulement [1 bar à 5,7 bar]
- Débit maximum 25 l/sec.

Épaisseur des canalisations du circuit
se référer au tableau suivant.

Chapitre 4

Nature de la réserve d'eau et organes annexes

4.1 Nature de la réserve d'eau.

Dans la section - 0.4 - du chapitre 2, l'irrigation du domaine a° partir d'une réserve d'eau s'est dégagée comme unique solution pouvant répondre à la demande globale en eau. Cette réserve dont la localisation, le volume, les variations journalières ont été déterminés sera

- un réservoir de surface
- ou un château d'eau.

4.2 Irrigation à partir d'un réservoir de surface -

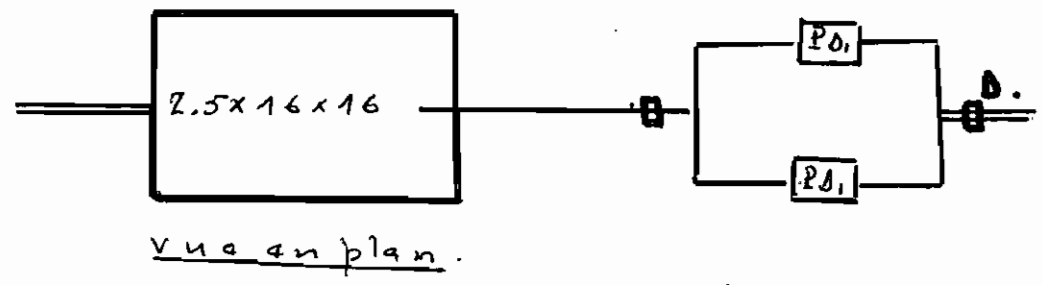
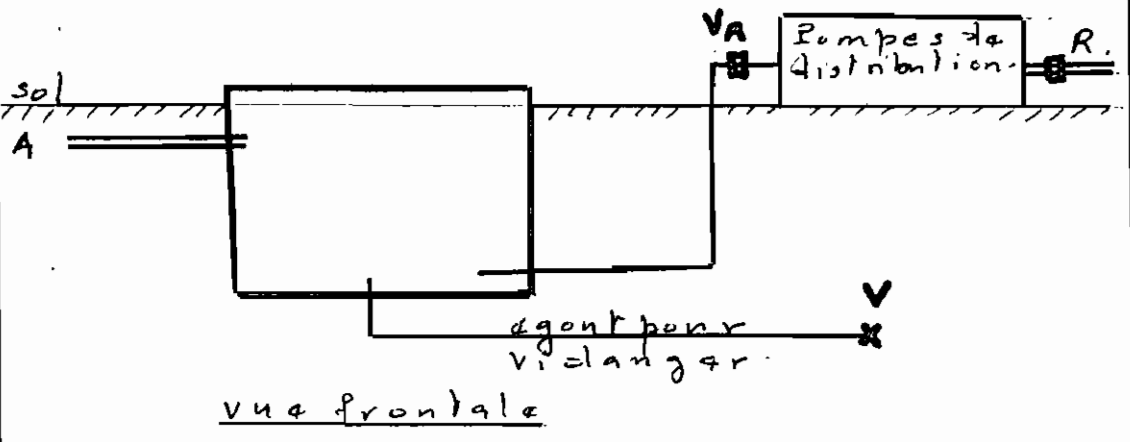
4.2-1 : Nombre de pompes de refoulement nécessaire.

Dans la section - 0.4 - du chapitre 2, le débit d'arrosage nécessaire pour répondre à la demande globale en eau des parcelles dans les délais requis est de (40 l/s) - Le circuit hydraulique a été conçu pour un débit maximum de (25 l/s) (2.1.9) - Ainsi pour répondre et répondre.

2.1.9 : le débit de 25 l/s requiert des conduites moins grosses -

à la demande en eau des parcelles dans les délais requis, deux pompes de distribution d'un débitant chacune de 25 l/s avec une pression de refoulement de 5,7 bar seront nécessaires.

4.2.2 Design du réservoir.



- Designation:
- A: Eau arrivant des forages.
 - V: valve.
 - VR: Valve de retenue.
 - P_{01,2}: pompes de distribution.
 - D: debit metre.

Construction du réservoir.



Celle-ci relève de spécialistes du génie civil.
Commande électrique des pompes
 existant sur les forages.

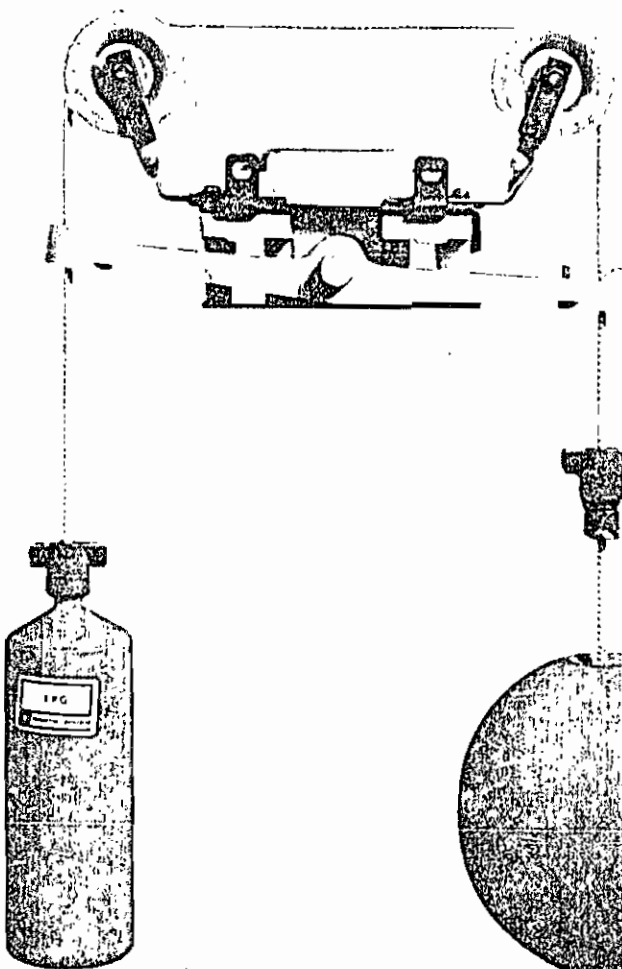
Ces pompes dont la mise en marche et le
 repos ont été déterminés en section 0.4.3-
 par la variation journalière du volume d'eau
 devront être à commande automatique
 pour le remplissage du réservoir.

En page suivante, les systèmes de coman-
 -de référencés XLI-AB12

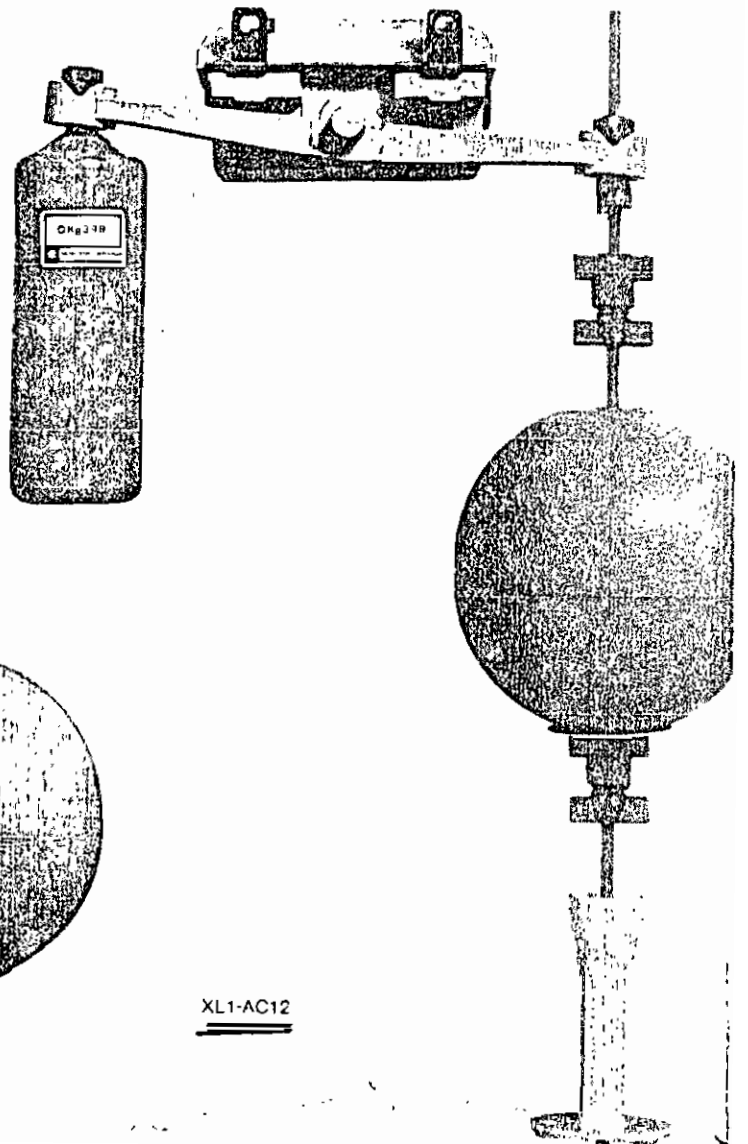
XLI-AC12

sont conçus à cette fin. (2.2.9) - Le principe
 de connexion au réservoir et aux pompes est
 offert par le fournisseur.

2.2.9 : fournisseur SENE MATEL.



XL1-AB12



XL1-AC12

4.3 Irrigation en incluant un château d'eau.

En section 0.4.4 - l'étude d'un réservoir à surélever (château d'eau) en prenant pour référence une capacité de 180 m^3 a abouti aux conclusions suivantes.

- Déficit : 531 m^3 d'eau par jour
- Pourcentage d'utilisation des forages = 54% .

4.3.1 Nombre de châteaux d'eau

On prend comme référence le château mentionné ci-haut (capacité : 180 m^3 coût = 10 millions).

Le nombre de châteaux d'eau nécessaires.

$$\text{est } N = \frac{600}{180}$$

$$= 3 \text{ châteaux d'eau.}$$

Avec ce nombre, les besoins en eau du domaine entier seront couverts.

4.3.2 Design du château d'eau.

Emplacement: se référer à l'emplacement de la réserve d'eau.

Hauteur: Elle est égale à 57 m

Charges nécessaires au remplissage -

Aux charges nécessaires pour alimenter le réservoir en surface, doit s'ajouter la charge d'une nouvelle pompe.

qui acheminerait l'eau du sol au sommet du château d'eau. Cette pompe de remplissage sera fonctionnelle aux pompes de distribution de la section précédente.

Commande électrique des pompes
se référer aux commandes électriques mentionnées dans la section précédente.

Construction.

Celle-ci relève de spécialistes du génie civil.

Chapitre 5

Plan de développement.

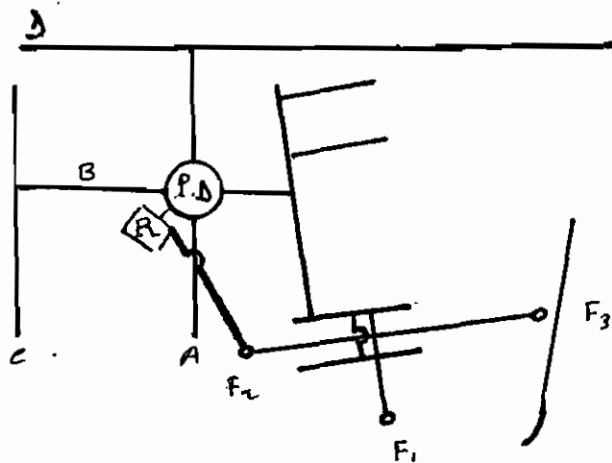
5.1 Introduction.

L'étude réelle de la rentabilité de la ferme n'ayant pas été abordée, le plan de développement suggéré s'appuiera sur une mailleur combinaison technique des divers éléments du circuit hydrique.

L'étude du marché et la détermination des bénéfices escomptés décideront par suite avec plus d'objectivité le plan de développement réel à court ou long terme.

5.2 Phases du développement.

Schema du circuit.



5.2.1 Etapes du développement

Etape 1: Realisations.

- + Reservoir.
- + connection du reservoir au puits - F₂ -
- + Interconnection avec l'ancien reseau.
et modifications sur ancien reseau.

Etape 2: Realisations.

- + conduites A - C - B.
- + Achat d'une pompe de distribution

Etape 3: Realisations

- + conduite - D -
- + Achat de la seconde pompe de distribution.

Conclusions et Recommendations.

Conclusion -

Tout au long du projet, diverses alternatives ont été observées. Chaque possibilité a été décrite dans ses avantages, inconvénients et limites. Sur certaines variantes, le choix est laissé au lecteur qui face aux tableaux dressés sera en mesure de choisir la solution la plus adéquate. Ainsi sur l'analyse des besoins en eau et la méthode d'irrigation, le texte est plus descriptif plutôt que décisif. Avec le manque de données financières pour aborder la question de la rentabilité du projet d'exploitation, le texte n'a pas voulu se prononcer une fois de plus sur le choix de certaines variantes.

Recommendations :

Le projet étant d'une grande envergure, la principale recommandation est la réunion des éléments essentiels nécessaires aux études préalables.

- Il s'agit :
- de procéder à une étude du marché
 - d'analyser les coûts d'investissement et d'exploitation nécessaires au projet.
 - de procéder à une étude de rentabilité du projet d'exploitation.

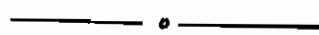
Ces divers éléments réunis permettront par

suite de « livrer » la réalisation du projet.

Encadrement et ressources en homme -
Il convient de noter la nécessité de recruter du personnel qualifié et compétent pouvant réunir tous les éléments nécessaires à la bonne marche de la ferme, autant au niveau interne qu'externe.

Utilisation des pompes manuelles -
Le domaine disposant de plusieurs puits de faible profondeur (7m en moyenne), la pompe manuelle de bronze serait d'un recours pour l'approvisionnement en eau. Le schéma de cette pompe est disponible en annexe.

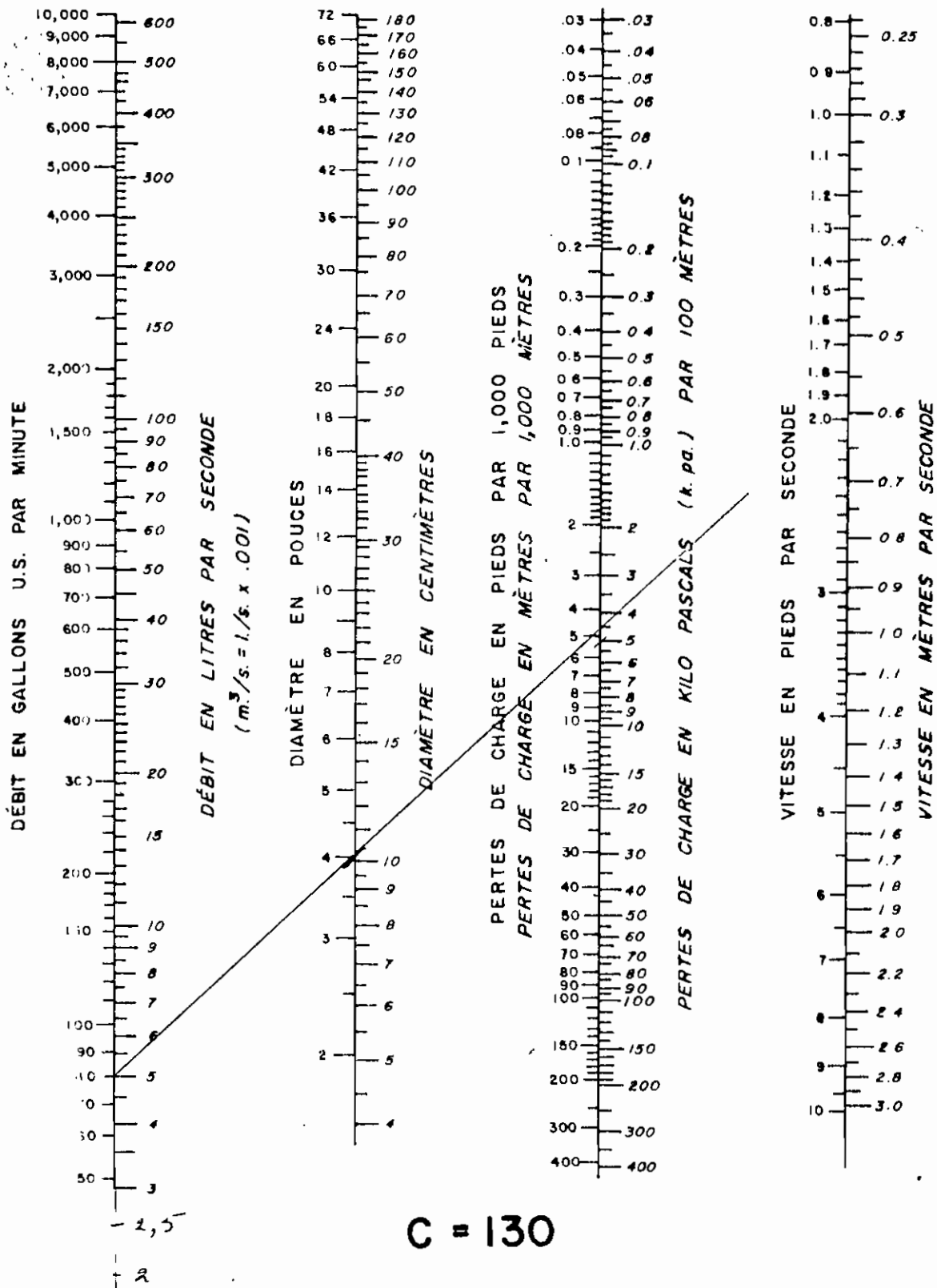
Bibliographie.



- 1 - R. Boisclair - Analyse des projets d'investissement - notes de cours et an 423 - 1982.
- 2 - V. Streater, E.B. Wylie, 'Fluid mechanics' 6^e édition.
- 3 - A. Dupont, 'Ouvrages de transport Elevation et distribution des eaux - tome 2 - 4^e édition.
- 4 - M. Poireá et Ch. Ollier, 'les reseaux d'irrigation theorie, technique et economie des arrosages - 4^e édition -
- 5 - Eyrolles, 'la plomberie et les equipements sanitaires - 1981 -

ANNEXE

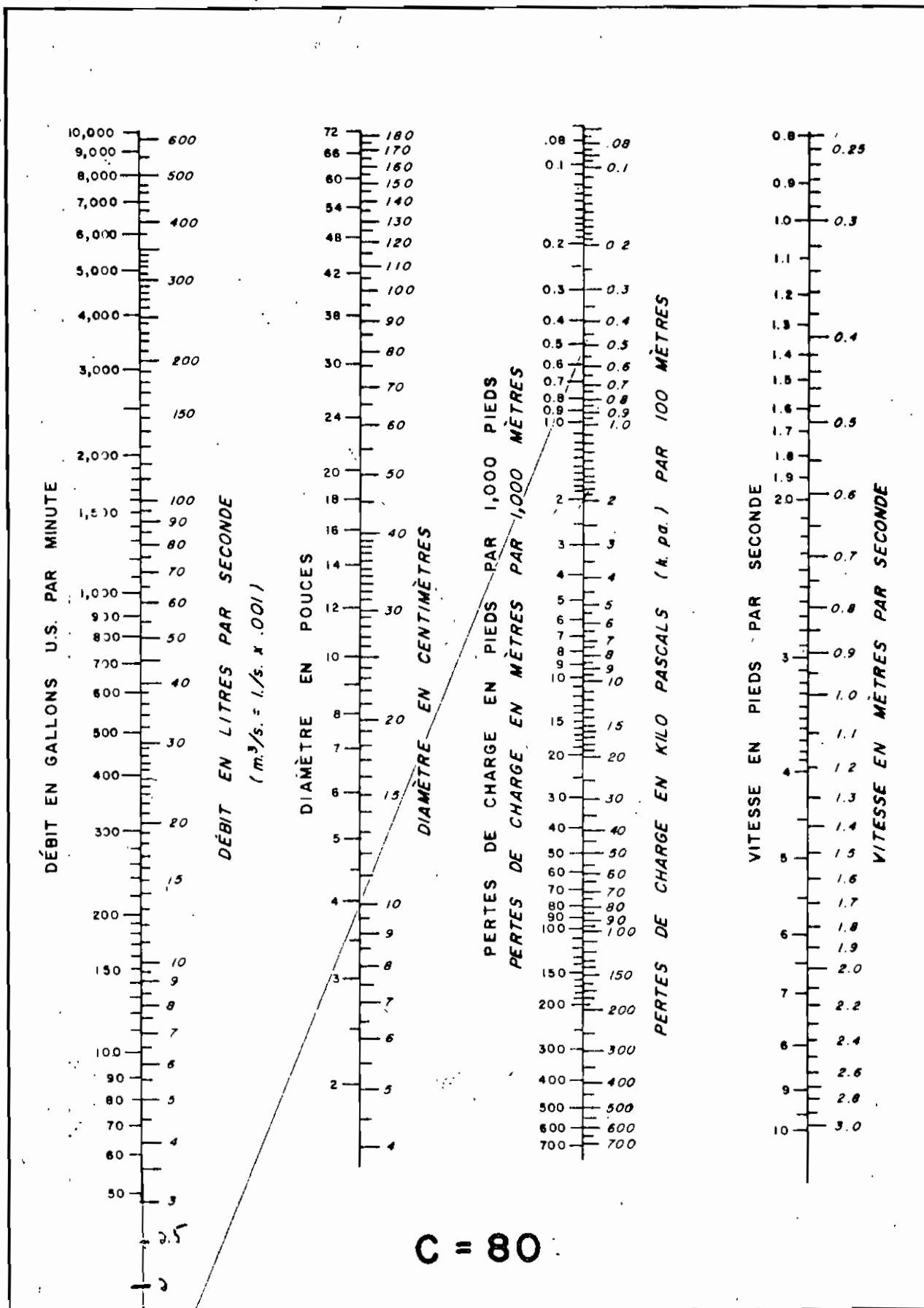
FORMULE DE HAZEN-WILLIAMS



DESSINÉ PAR 1,5

ÉCOULEMENT EN CONDUITE

FIGURE NO.

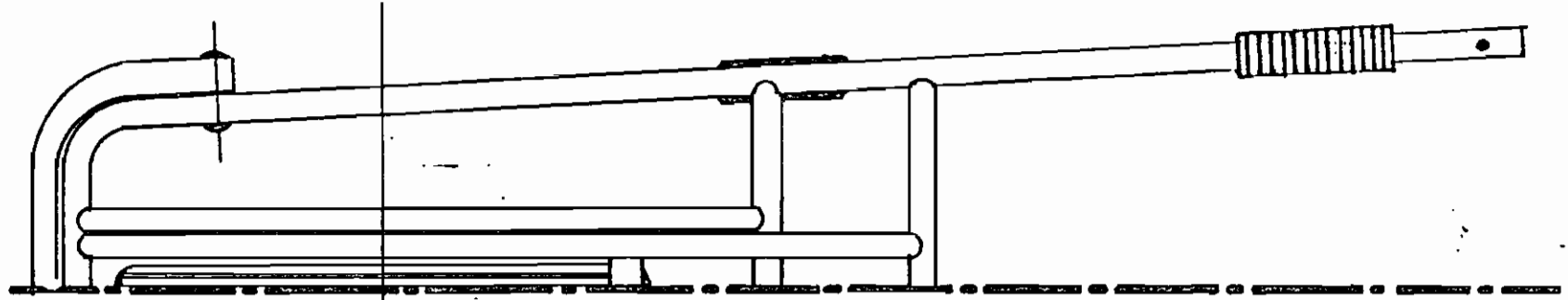
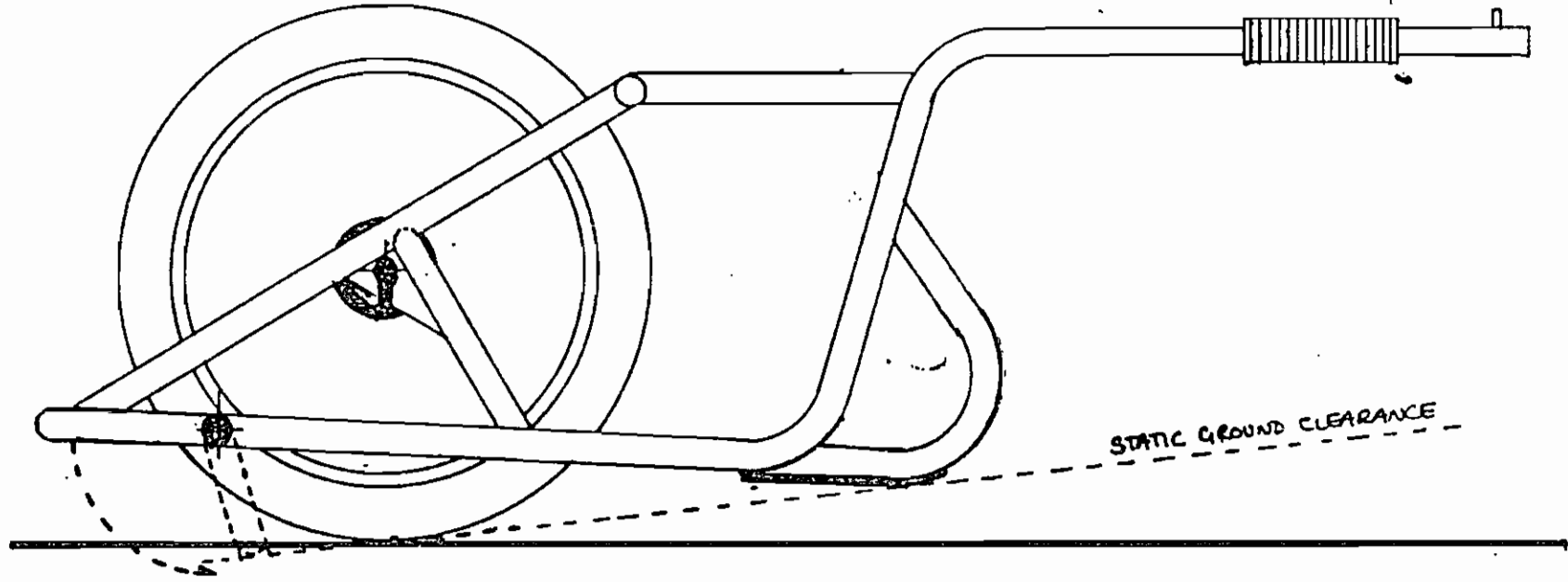


DESSINÉ PAR: 1.5

ÉCOULEMENT EN CONDUITE

FIGURE NO.:

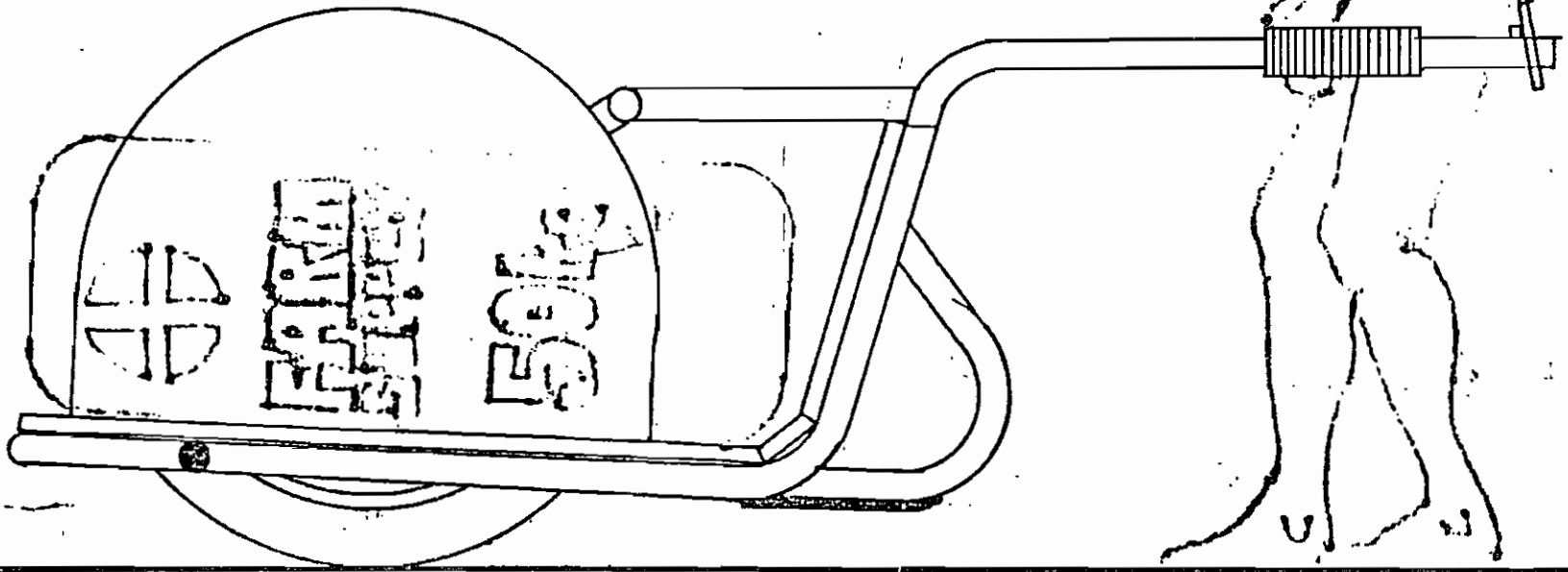
C = 80



12

0-1

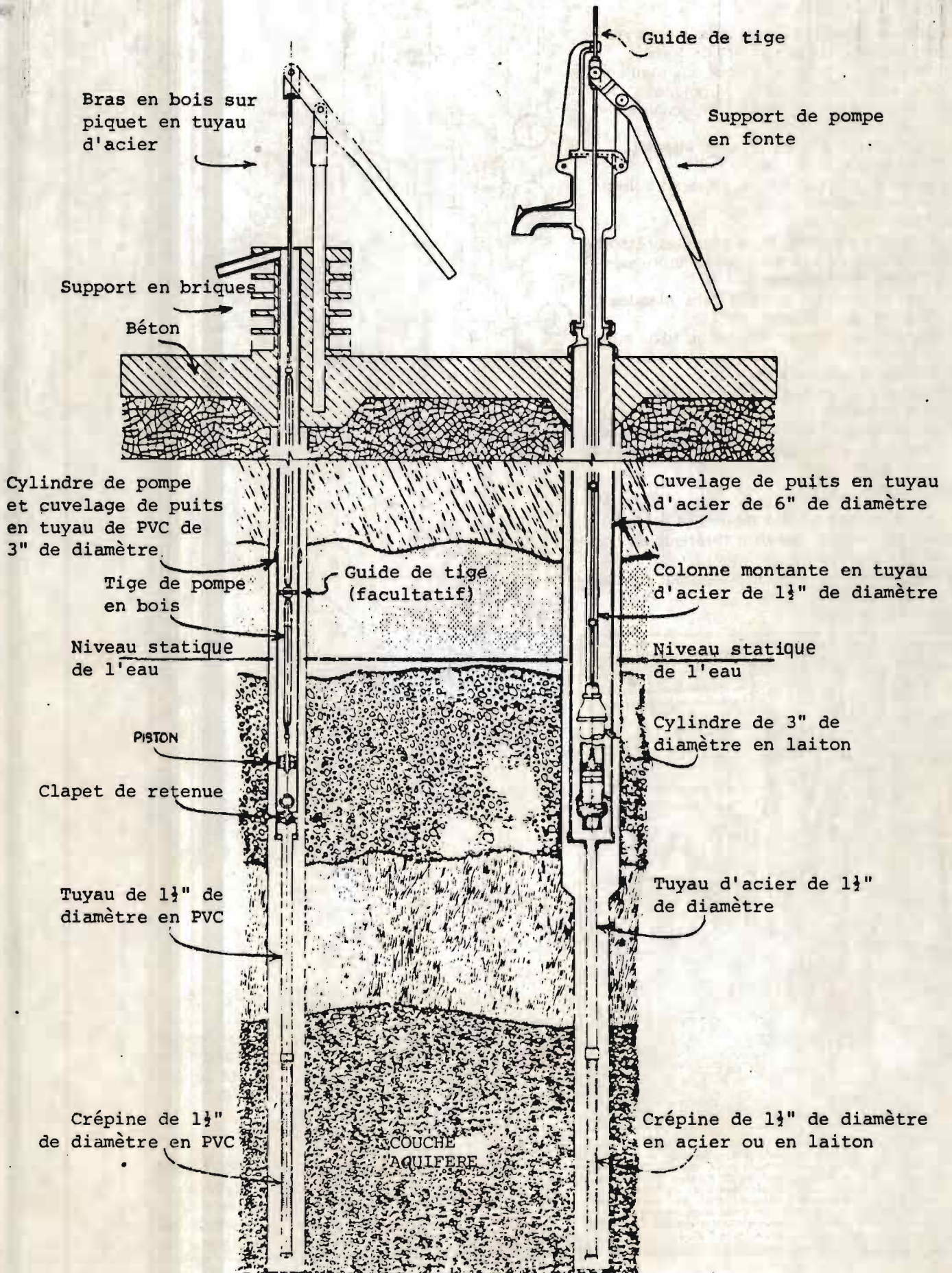
13



0.1

Sketch of general purpose SFTV design

Figure 1



POMPES:

PROPOSEE

TRADITIONNELLE

Figure 2

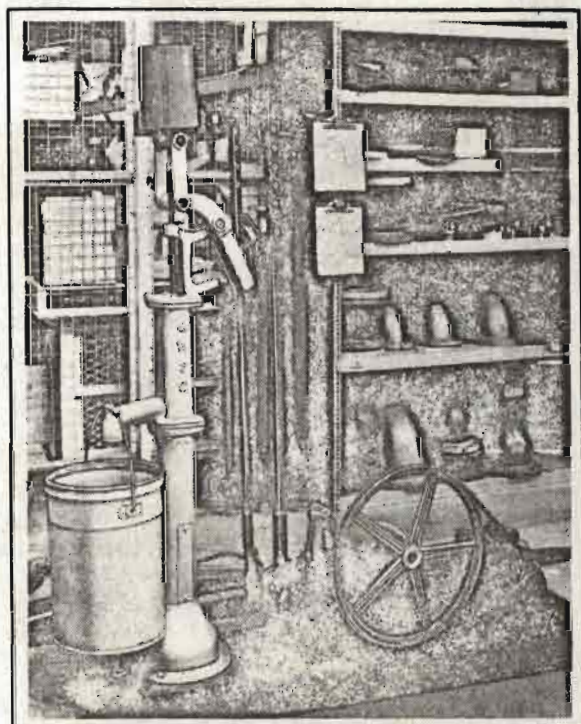
CARACTERISTIQUES

Construction en fonte solide avec pièces renforcées en fer doux aux points de force.

1. Roulements à billes fermés aux maillons de liaison et au support de la poignée
2. Boulons à épaulement de précision en acier trempé
3. Roulements à billes à usage intensif, fermés aux deux côtés
4. Le point d'appui est un arbre en acier, à usage intensif
5. Palier pare-choc
6. Ecrous à six pans, avec goupilles-ressort
7. Manchons de tige de guidage imprégnés d'huile, remplaçables
8. Tige de terre de guidage dure, plaquée chrome, de précision
9. Longue poignée en bois verni, fixée par 3 boulons
10. Plaque d'examen amovible
11. Lumière du puits pour éviter toute contamination
12. Large support renforcé pour une meilleure stabilité — s'adapte sur le coffret du puits pour éviter toute contamination

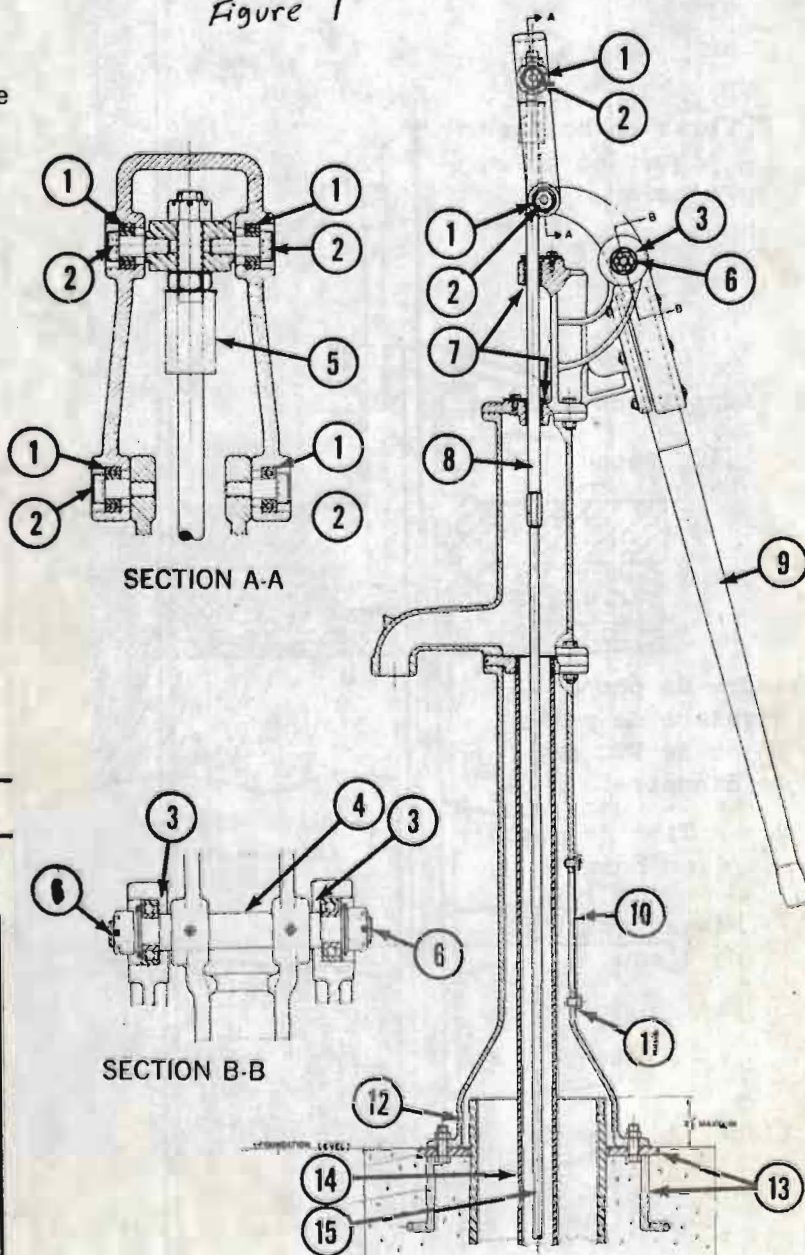
DIMENSIONS

Hauteur hors-tout — 1.4 mètres (4.6 pieds)
 Support de pompe, diamètre extérieur du bas — 28 cm (11 pouces)
 Support de pompe, diamètre intérieur du bas — 19 cm (7.5 pouces)
 Poids — 48 kg (105 liv.)



La pompe P3, à usage intensif, testée dans notre laboratoire, a été mise à l'épreuve pendant 4 876 heures et a pompé 11,074,290 litres (2,925,600 gallons) avec environ 15 millions de pompages sur un puits simulé de 23 mètres de profondeur (75 pieds). Ces pompes ont été sujettes à de rigoureux essais sur le terrain, en Afrique Occidentale, et ce, afin de leur assurer une longue durée, un rendement satisfaisant et pour prouver que, lors de ces essais, aucun entretien n'a été nécessaire.

Figure 1



EQUIPEMENT SUPPLEMENTAIRE

13. Plaque de fondation avec boulons de fixation et boulons de montage en acier, pour s'adapter à des coffrets de puits de 102mm, 127mm et 152mm (4, 5 et 6 pouces)
14. Tuyau galvanisé et couplages (filetés) de 1 1/2"
15. Tige de pompe et couplages (filetés) galvanisés ou en acier inoxydable
16. Cylindre (laiton ou fonte) pour des profondeurs atteignant 45 mètres (150 pieds)



1. LES DIFFERENTES ETAPES DE LA PREPARATION D'UN PROJET INDUSTRIEL

De manière générale, un investissement, industriel ou non, revient à consommer au cours du proche avenir des ressources rares ou tout au moins limitées (épargne locale, devises étrangères, main-d'œuvre spécialisée) dans l'espoir d'obtenir en contrepartie pendant une période d'une certaine durée un avantage, financier ou non, (recette résultant de la vente d'un produit, avantage « social » résultant de la disposition d'une école, d'un hôpital). La période pendant laquelle l'entreprise ou la collectivité bénéficiera de cet avantage devra être suffisamment longue pour justifier la consommation initiale de ressources rares.

Transformer un champ de blé en un verger revient à renoncer à l'usage d'une ressource rare, la terre, pendant quelques années, et donc du profit tiré de la vente du blé que l'on aurait pu y récolter, dans l'espoir que la production ultérieure de fruits procurera un bénéfice très supérieur à celui tiré de la culture du blé.

Réaliser un investissement consiste donc à échanger des dépenses immédiates contre des revenus monétaires (ou des avantages) futurs étalés sur une longue période dans le temps.

Certaines des ressources mises en œuvre dans un investissement (épargne locale, aide extérieure, main-d'œuvre spécialisée) sont rares principalement dans les pays en voie de développement. Il est donc particulièrement nécessaire d'étudier au mieux leur utilisation en préparant soigneusement les projets.

Le même projet sera étudié plusieurs fois avec des données de plus en plus précises. L'examen des résultats de l'étude du marché pourra conduire à étudier une variante technique supplémentaire permettant, par exemple, la valorisation d'un sous-produit de la fabrication principale.

Inversement, l'examen des techniques de production pourra se traduire par une limitation des marchés à prospector, ou l'examen de l'impact du projet pour la collectivité conduire à suggérer une nouvelle localisation de l'usine.

L'élaboration d'un projet est un processus itératif où interviennent techniciens, financiers et administrateurs et où l'économiste doit contribuer à clarifier les positions de chacun et aider à dégager, par un effort d'imagination, les différentes solutions à envisager.

Néanmoins, pour la clarté de l'exposé, nous distinguerons trois grandes phases différentes :

- la construction des différentes variantes du projet ;
- la comparaison des variantes et la décision ;
- la réalisation du projet.

1.1. LA CONSTRUCTION DES VARIANTES

La construction des différentes variantes d'un projet est un travail essentiel, malheureusement trop souvent négligé lors de la préparation des projets. Il consiste à rechercher les diverses solutions possibles pour répondre à un objectif donné de production : des kilowatt-heures pourront être produits par une centrale thermique (au fuel, au gaz ou au charbon) ou, si le régime des pluies et le relief le permettent, par un ou plusieurs barrages en divers sites. La localisation d'une usine, sa capacité de production, la date de

réalisation des tranches successives, la technique de production utilisée, la gamme des produits à réaliser, sont autant de questions auxquelles la réponse est souvent donnée de manière relativement rapide, sans étude réelle. Le problème posé devient trop souvent : « faut-il ou non réaliser tel projet ? ». Le vrai problème serait double : « parmi toutes les manières possibles d'atteindre tel objectif de production, quelle est la meilleure ? La rentabilité de cette solution est-elle suffisante pour justifier l'investissement ? ».

La construction des variantes reviendra donc à sélectionner un nombre limité de solutions que l'on étudiera plus à fond. Pour chacune d'elles, on essaiera de prévoir un échéancier de recettes et de dépenses liées à cette variante et on établira, pour chacune d'elles, un tableau donnant, pour chaque année, pendant toute la durée de vie escomptée du projet, les recettes et les dépenses de l'entreprise.

Reprenons plus longuement ces différents points.

Etude du marché

L'étude du marché devra permettre de répondre aux questions suivantes :

- Quelles quantités peut-on envisager de produire et à quel prix cette production pourra-t-elle être vendue ?
Les notions de prix et de quantité sont en effet indissolublement liées, une baisse de prix pouvant se traduire par exemple par une consommation locale accrue et des possibilités d'exportation.
- Quelles sont les conditions générales de commercialisation du produit ?
A côté du prix, de nombreux éléments peuvent affecter la vente d'un produit : les caractéristiques du réseau de distribution, la gamme des produits concurrents, des raisons sociologiques ou religieuses, etc. Ces éléments prennent une importance particulière pour les produits nouveaux dans le pays et pour les produits destinés à l'exportation.
- Quelle sera l'évolution dans le temps des différents facteurs précédents (niveau de consommation et prix), la prévision devant être établie pour une période égale à la durée de vie des équipements ?

Etude technique

Compte tenu des volumes de production que permet de prévoir l'étude de marché pour différentes hypothèses de prix et de conditions de commercialisation, l'étude technique aura pour but de définir les conditions techniques de réalisation du projet : besoins en matières premières, eau, énergie, main-d'œuvre, etc., équipements à envisager, localisation possible, durée de réalisation du projet, etc. On y ajoutera, éventuellement une prévision de l'évolution de la productivité par suite du progrès technique dans l'activité étudiée.

Analyse des coûts d'investissement et d'exploitation

A l'étude technique doit être associée une analyse des coûts correspondants à chacune des solutions envisagées : coût de l'équipement, coût

de la main-d'œuvre, des matières premières, de l'énergie, etc. Cette analyse des coûts doit être complétée par une prévision de leur évolution (évolution des salaires par exemple) et, très fréquemment, par une décomposition entre les coûts en monnaie locale et les coûts en devises étrangères.

Conditions juridiques, fiscales et financières

On définira le corps d'hypothèses, en particulier fiscales et financières, dans lequel les calculs seront conduits. On se contentera de prendre des hypothèses très simplifiées pour les premières estimations (régime fiscal général, financement du projet par des capitaux empruntés à un taux unique), mais on les complètera au fur et à mesure que les caractéristiques précises du projet seront mieux connues.

Encadrement et ressources en hommes

Différentes variantes peuvent présenter des besoins différents en cadres. Par exemple, pour une industrie nouvelle il peut y avoir un choix à opérer entre plusieurs petites usines et un vaste complexe industriel qui éventuellement demanderait un plus grand nombre de cadres dans la mesure où sa taille lui permettrait de faire appel à des méthodes de production plus évoluées. De la même façon différents procédés, de construction de l'usine ou de fabrication, peuvent conduire à des besoins différents en encadrement ou en main-d'œuvre qualifiée.

1.2. LA COMPARAISON DES VARIANTES

La phase précédente étant accomplie, on disposera de tableaux permettant de comparer l'évolution dans le temps des recettes et des dépenses liées à chaque variante du projet. Il n'y a pas de distinction bien nette entre ce qui est une variante et ce qui est un projet différent. Mais quelle que soit l'appellation utilisée, les comparaisons à faire restent les mêmes.

Deux questions se posent alors *du point de vue de l'entreprise et du point de vue de la collectivité* ; les réponses à ces deux questions pouvant être divergentes pour le même projet selon le point de vue adopté :

- Parmi les différentes solutions possibles, quelle est la plus intéressante ou la plus « rentable », le critère de cette rentabilité devant être défini par ailleurs ?
- La solution la plus « rentable » l'est-elle suffisamment pour justifier une décision d'aller de l'avant, compte tenu des possibilités d'investissement dans d'autres domaines et de la pénurie en capitaux, en devises et en main-d'œuvre qualifiée ?

La réponse à ces deux questions suppose la définition de critères de choix permettant de mesurer quantitativement la valeur d'un projet par rapport à un autre, du point de vue de l'entreprise et de celui de la collectivité.

Bien que le choix du point de vue de la collectivité ne soit pas envisagé dans ce volume, mais dans le Volume II, il est utile de préciser ici que la détermination d'un critère de choix pour les décisions du gouvernement dans le domaine économique devrait tenir compte des grandes décisions politiques et sociales (comme l'étendue des sacrifices que la génération présente devrait consentir pour les générations futures). Mais, même dans

47

cette optique, il n'y a aucun critère général qui permettrait, dans chaque cas particulier, de tenir compte de tous les facteurs intervenant dans le choix (par exemple les raisons stratégiques). Ainsi, tout choix résultant d'un critère exprimant le point de vue de la collectivité, peut toujours être remis en question en dernière analyse.

Mais du point de vue de la rentabilité d'une entreprise (publique ou privée) qui est notre point de vue dans ce volume, seules les considérations commerciales qui affectent la rentabilité peuvent être rationnellement prises en compte dans un critère de choix. Bien entendu le gouvernement fixe le cadre (système fiscal et monétaire, contrôle des prix, législation du travail, etc.) dans lequel les forces commerciales jouent leur rôle. L'entreprise peut, bien sûr, supputer quelle pourra être la politique gouvernementale en tenant compte des répercussions économiques, sociales et politiques pour la collectivité, mais en général l'entreprise n'aura pas elle-même à s'en préoccuper directement, si ce n'est dans la mesure où la législation l'y oblige.

Les critères étant choisis, on effectuera les calculs de rentabilité et on les complètera par une *analyse de la sensibilité* des conclusions obtenues à des erreurs d'estimation des valeurs numériques, qu'il s'agisse de variables techniques (rendement, productivité) ou économiques (prix de vente, coût des facteurs de production) ou à des modifications importantes du contexte général du projet (risques politiques, apparition d'une concurrence imprévue, etc.).

Les responsables pourront alors prendre en pleine connaissance de cause une décision motivée. Trois décisions sont possibles :

- Refus du projet, au moins tant qu'aucun élément nouveau important (technique nouvelle, marchés nouveaux) n'apparaîtra.
- Décision de reprendre les études soit pour obtenir des informations plus précises (nouveaux sondages géologiques pour mieux connaître les réserves d'un gisement, analyse plus sûre des coûts d'investissement) soit pour étudier des variantes nouvelles dont l'intérêt possible serait apparu au cours de l'examen des dossiers. Un délai et un budget seront alors fixés pour ces études complémentaires.
- Acceptation de l'une des variantes du projet.

Le processus même de décision sera analysé plus en détail dans le paragraphe 2.

1.3. LA RÉALISATION DU PROJET

Une fois la décision de principe acquise, l'organisme responsable engagera la phase finale de réalisation qui comprendra, entre autres :

- des études techniques établies en liaison avec des organismes spécialisés (sociétés d'engineering et fournisseurs d'équipement) ;
- des appels d'offre pour la réalisation effective du projet ;
- des négociations avec les investisseurs et les organismes financiers de prêt pour définir les modalités juridiques et financières de l'opération ;
- des négociations éventuelles entre les investisseurs et les pouvoirs publics pour définir les avantages accordés par ces derniers (protection douanière, exonérations fiscales, primes ou subventions, etc.) ;
- le recrutement et la formation de la main-d'œuvre spécialisée, et en particulier, la mise en place d'une équipe de direction.

Ces différentes tâches, selon les cas, relèveront directement ou non de l'organisme public chargé de promouvoir l'industrialisation du pays. Même si certaines sont à la charge de l'investisseur, l'organisme public veillera à leur bonne exécution car d'elles dépend souvent le succès du projet.

Comme nous l'indiquions au début de ce paragraphe, la préparation d'un projet ne se déroule pas toujours selon le schéma idéal que nous venons de décrire. En particulier, l'organisme chargé du développement industriel sera fréquemment amené à étudier des projets soumis par des organismes tiers (investisseurs étrangers ou éventuellement autres administrations nationales). Les dossiers présentés ne comporteront souvent qu'une partie des éléments précédemment décrits (étude très sommaire du marché, choix a priori d'une variante, étude financière inexistante etc). Le dossier devra alors être instruit en coopération avec l'investisseur avant la décision finale dont nous allons analyser plus précisément le contexte dans les pays en voie de développement.

2. LA RELATION ENTRE LA PLANIFICATION ET LA SÉLECTION DES PROJETS

La façon dont se complètent mutuellement la planification macro-économique, et les choix et emplois, par le gouvernement, de critères pour sélectionner les projets, sera développée dans le Volume II.

Mais même en adoptant le point de vue de l'entreprise, on ne peut passer sous silence la planification et ses effets sur l'élaboration des projets et sur l'estimation de leur rentabilité.

En général, le gouvernement cherchera à réaliser ses plans de deux façons. D'abord il modèlera le cadre général où s'inscrit l'activité économique. Il contrôle le système fiscal et monétaire; il peut agir sur les prix, à la fois directement par le contrôle des prix, et indirectement par le contrôle des importations. Il promulgue des lois sociales, une régulation des changes qui affectent la rentabilité, etc.

Que le projet étudié soit public ou privé, les calculs de rentabilité du point de vue de l'entreprise doivent prendre ce cadre comme une donnée, sauf dans la mesure où il peut être modifié par accord avec le gouvernement.

Ceci nous amène à la deuxième façon suivant laquelle le gouvernement essaie souvent d'harmoniser le développement avec ses plans. Il peut accorder ou refuser l'autorisation pour un projet. Il peut même accorder une dérogation spéciale au cadre économique général en faveur d'un projet particulier qu'il tient pour socialement souhaitable (taxe spéciale ou privilège tarifaire, accord de monopole, achats garantis par le gouvernement, etc.).

Evidemment, les négociations et les modalités suivant lesquelles les avantages sont accordés, peuvent varier selon que le projet appartient au secteur public ou au secteur privé (et dans ce deuxième cas selon qu'il s'agit d'investisseurs étrangers ou non). Mais, dans les deux cas, une étude de rentabilité doit être faite en fonction de l'issue des négociations avec le gouvernement. C'est antérieurement qu'apparaissent les différences principales entre les secteurs public et privé, mais même alors c'est une question de degré. L'investisseur privé sera bien avisé de s'informer aussi complé-

tement que possible des plans du gouvernement, de ses préférences politiques probables dans le cadre de ces plans, et de ne pas perdre son temps à soumettre des projets qui seront très vraisemblablement rejetés, ou qui dépendent d'avantages qui ne seront vraisemblablement pas accordés. La soumission devrait aussi comporter les informations que le gouvernement réclamera probablement pour prendre sa décision. Ceci inclura généralement des données qui n'influencent pas immédiatement sur les calculs de rentabilité propre de l'entreprise, telles que la distinction des dépenses et recettes entre devises étrangères et nationales, mais qu'il est néanmoins souhaitable pour l'entreprise, de son propre point de vue, de calculer séparément, puisque le taux de change peut varier, ou qu'un rationnement des devises peut être imposé.

Cela est encore très vrai pour les projets du secteur public soumis à la décision des autorités centrales par les départements ministériels ou par les sociétés nationales. Mais alors la liaison peut et doit être plus étroite entre les organes de décision et les organes de promotion. Ces derniers devraient être mieux au fait des préférences des autorités centrales, et des critères qu'elles retiendront en dehors de la rentabilité. En particulier, dans l'élaboration d'un projet, les décisions sur de nombreuses variantes mineures devront être prises par l'organisme promoteur avant décision. (Il n'y a que les variantes les plus importantes qui pourront être soumises à la décision à niveau supérieur). En principe, ces décisions devraient être prises en pleine connaissance des critères sociaux retenus par les autorités centrales. Ceci sera discuté dans le Volume II. Il faut ici souligner que, de même que pour le secteur privé, une étude de rentabilité doit être faite (outre l'étude des coûts et profits sociaux du Volume II) en tenant compte du cadre économique général, et de tous les avantages (ou pénalisations) que le gouvernement est décidé à octroyer (ou à imposer) au projet. Quelles que soient les motivations de la décision finale, la rentabilité du projet a des répercussions importantes sur les finances publiques et sur la façon dont le projet sera conduit.