

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

DEPARTEMENT : GENIE MECANIQUE

P R O J E T

D E

E T U D E

GM.0343

TITRE : ETUDE COMPLETE D'UNE UNITE DE STOCKAGE D'HEXANE

AUTEUR : THIAKOYE COULIBALY

DIRECTEUR INTERNE : MAURICE DUVAL, Ph. D.

CO-DIRECTEUR EXTERNE : M. VRINAT, SONACOS-EID

ANNÉE ACADÉMIQUE : 1984-1985



ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

DÉPARTEMENT : GÉNIE MÉCANIQUE

Gm. 0343

P R O J E T

D E

E I N D ' E T U D E S

TITRE : ETUDE COMPLÈTE D'UNE UNITÉ DE STOCKAGE D'HEXANE

AUTEUR : THIAKOYE COULIBALY

DIRECTEUR INTERNE : MAURICE DUVAL, Ph. D.

CO-DIRECTEUR EXTERNE : M. VRINAT, SONACOS-EID

ANNÉE ACADÉMIQUE : 1984-1985

*Si ce modeste travail peut apporter quelque chose d'utile à la
la Société, c'est grâce à vous :*

ma mère ;

mon père ;

mes frères et soeurs ;

mes parents (proches ou non) ;

mes amis ;

mes camarades de tous les temps et

de tous mes cycles d'études ;

mes maîtres et professeurs ;

*vous qui oeuvrez tous les jours pour un meilleur devenir
l'homme.*

C'est donc à vous que la Société le doit ; c'est le vôtre.

IL VOUS EST DEDIE

=====

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à :

- M. Maurice DUVAL, professeur à l'Ecole Polytechnique de Thiès, pour avoir accepté de parrainer ce projet et aussi pour tout le soutien qu'il a eu à nous apporter durant l'étude,
- M. VRINAT de la SONACOS-EID et co-directeur de ce projet, pour toute sa disponibilité et l'attention qu'il nous a toujours accordée. Les informations que nous avons pu avoir grâce à sa collaboration nous ont été d'une très grande utilité.
- La Direction Technique de la SONACOS-EID, de la confiance qu'elle nous a faite en nous confiant ce projet,
- MM. CAMARA, KABA et NDOUR à la SONACOS-EID, pour ne citer que ceux-là.
- Tout le personnel de la Société Africaine de Raffinage (S A R) et particulièrement celui du "Service Inspection", sans le concours duquel cette étude n'aurait pas pu aboutir,
- Toute la direction académique de l'EPT et du corps professoral, pour sa contribution multiforme au bon déroulement de cette étude.

Nous remercions aussi très vivement Mlle Anne-Marie SARR, secrétaire au Service de la Direction des Etudes Adjoint et avec elle l'ensemble du personnel du Service de la Scolarité de l'EPT, pour le travail immense consenti pour la dactylographie du texte de ce projet qui a nécessité beaucoup de sacrifices de leur part.

Enfin nos remerciements vont à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué au bon déroulement de ce projet.

S O M M A I R E

Ce projet a pour objectif une étude économique comparative entre deux sites différents susceptibles d'accueillir les installations d'un éventuel stockage d'hexane de la Société Nationale de Commercialisation des Oléagineux du Sénégal (SONACOS) :

- . le premier site est au Port de Dakar ;
- . le deuxième se trouve à côté de l'usine de Dakar (SONACOS-EID) derrière son nouvel atelier d'extraction.

Les points développés dans cette étude peuvent se regrouper en deux parties principales :

- . la première concerne l'étude technique : choix du réservoir de stockage, dimensionnement des conduites d'hexane, du réseau de lutte contre l'incendie, des installations électriques...
- . La deuxième partie présente l'étude comparative et de rentabilité.

Il y a aussi une partie annexe dans laquelle le lecteur pourra trouver la démarche utilisée pour le calcul des coûts : coût initial du projet, détermination des frais d'exploitation.

Dans la première partie il s'agit d'un choix de réservoir suivi de calculs (parfois simples mais longs) dont les résultats sont présentés autant que possible sous forme de tableaux. Les bases de ces calculs sont souvent les méthodes classiques mais aussi et surtout les normes des pétroliers. Des plans, le plus souvent schématiques, permettront au lecteur de mieux comprendre certains points jugés importants du texte.

La deuxième partie, du point de vue des calculs, ne comporte rien d'extraordinaire ; seules les méthodes classiques d'analyse financière sont employées.

Pour la détermination des coûts nous avons recours aux différents fournisseurs de la place et aux entreprises spécialisées.

Les résultats obtenus sont l'objet de recommandations à la fin du texte de ce rapport.

TABLE DES MATIERES

	<u>PAGES</u>
DEDICACE -----	i
REMERCIEMENTS -----	ii
SOMMAIRE -----	iii
TABLE DES MATIERES -----	iv
INTRODUCTION -----	1
PREMIERE PARTIE : ETUDE TECHNIQUE	
CHAPITRE I : CHOIX DU RESERVOIR -----	3
1.1 - Critères de choix -----	3
1.2 - Matériaux de construction -----	4
1.3 - Terminologie concernant les réservoirs de stockage -----	4
CHAPITRE II : CALCUL DU RESERVOIR -----	8
2.1 - Calcul des viroles -----	8
2.2 - Longueur des viroles -----	10
2.3 - Calcul du toit -----	10
2.4 - Epaisseur des tôles de fond et de l'écran -----	10
2.5 - Fixation du toit à la robe -----	11
2.6 - Stabilité de la robe sous le vent -----	11
2.7 - Assise du réservoir -----	11
2.8 - Poids du bac -----	12
2.9 - Accessoires du réservoir -----	12
CHAPITRE III : CUVETTE DE RETENTION -----	17
CHAPITRE IV : CANALISATION DE L'HEXANE -----	20
4.1 - Liaison Port-Réservoir -----	20
4.2 - Liaison bac-dépotage -----	29
4.3 - Liaison bac-Nouvelle Extraction -----	32
4.4 - Utiliaation des pompes de dépotage comme agitateurs (ou pompage en circuit fermé) -----	33
4.5 - Vidange de la cuvette de retention en	

	cas de pluie et/ou de dommage du réservoir -----	34
	4.6 - Détermination du nombre de support en béton pour la tuyauterie aérienne d'hexane -----	39
CHAPITRE V	: PROTECTION CONTRE L'INCENDIE -----	42
	5.1 - Distribution d'eau et/ou de mousse -----	42
	5.2 - Répartition des extincteurs -----	51
	5.3 - Précision à propos de certains choix faits dans certaines parties de cette étude -----	53
CHAPITRE VI	: PEINTURE -----	54
	6.1 - Calcul des surfaces -----	54
	6.2 - Calcul des besoins -----	54
	6.3 - Nature de la peinture -----	55
CHAPITRE VII	:: ELECTRICITE -----	58
	7.1 - Estimation de la puissance à installer -----	58
	7.2 - Choix du type de distribution -----	59
	7.3 - Localisation physique des appareils -----	59
	7.4 - Canalisations électriques -----	63
	7.5 - Protection des biens et des personnes -----	69
DEUXIEME PARTIE : ETUDE COMPARATIVE STOCKAGE PORT/ STOCKAGE USINE		
CHAPITRE I	: HYPOTHESES -----	77
CHAPITRE II	: ETUDE COMPARATIVE -----	80
	2.1 - Méthode du point mort -----	80
	2.2 - Délai de récupération -----	84
	2.3 - Taux de rendement interne (TRI) -----	89

CONCLUSION ET RECOMMANDATION

A	-	ETUDE TECHNIQUE -----	93
B	-	ETUDE COMPARATIVE ET DE RENTABILITE -----	93
C	-	RECOMMANDATIONS -----	95

ANNEXES

A	-	DETERMINATION DU COUT INITIAL DU PROJET -----	97
	A.1	- Introduction -----	97
	A.2	- Méthode d'estimation du coût d'un projet -----	97
	A.3	- Estimation du coût du réservoir -----	98
	A.4	- Coût du réseau de l'hexane -----	102
	A.5	- Coût du génie civil -----	105
	A.6	- Coût des installations de lutte contre l'incendie -----	110
	A.7	- Coût des installations électriques -----	117
	A.8	- Coût du terrain de stockage -----	118
	A.9	- Coût initial du projet -----	121
	AA.10	- Coût initial pour un stockage au Port -----	121
B	-	CALCUL DES FRAIS -----	
	B.1	- Introduction -----	123
	B.2	- Frais fixes -----	123
	B.3	- Frais variables -----	127
	B.4	- Frais totaux -----	131
C	-	CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE L'HEXANE TECHNIQUE -----	132

BIBLIOGRAPHIE -----	134
---------------------	-----

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

A/ AVANT PROPOS

L'arachide, au Sénégal, a été et a des chances de l'être pour longtemps encore, la principale source de devises étrangères puisqu'elle occupe une place de choix en matière d'exportation et même de consommation locale. L'huile qui est l'élément le plus recherché dans la graine d'arachide résulte d'un processus plus ou moins long depuis la réception des graines à l'usine de trituration jusqu'au produit prêt pour la consommation.

A cause de l'impossibilité pratique d'atteindre l'optimum d'extraction de l'huile (de la graine) par la méthode des presses industrielles, on utilise un processus que l'on peut dénommer chimique pour résoudre le problème. Cette seconde solution qui porte le nom d'"extraction" consiste à "laver" les écales résultant de la presse (première opération) par un liquide ayant le double avantage de pouvoir se combiner facilement à l'huile d'arachide (solvant liquide-liquide) et de s'évaporer à des températures relativement basses ; permettant ainsi de recueillir toute l'huile résiduelle des écales.

Ce liquide s'appelle hexane et fera l'objet de l'étude qui va suivre.

B/ ENONCE DU PROBLEME

A l'heure actuelle la source de ravitaillement de la SONACOS en hexane est le marché local. Le fournisseur étant unique (à notre connaissance) l'effet de concurrence qui pourrait être bénéfique pour elle (la SONACOS) n'a pu être obtenu.

Les dépenses annuelles pour l'achat de l'hexane étant devenues considérables avec la conjoncture actuelle, l'idée de trouver une autre méthode de ravitaillement en ce produit a pu voir le jour.

La solution envisagée est la réalisation d'une unité de stockage devant permettre de constituer une réserve propre à la Société.

Le produit devra être acheté directement de l'extérieur du pays ; ce qui diminuera considérablement son prix de revient.

L'étude ci-après devrait aider à la prise éventuelle de décision vis à vis de l'endroit qui convient le mieux - économiquement - pour la mise sur pied des installations de la dite unité.

P-REMIERE PARTIE

E T U D E

T E C H N I Q U E

C H A P I T R E I

CHOIX DU RESERVOIR DE STOCKAGE

1.1 - CRITERES DE CHOIX

Les critères de choix d'un type de réservoir à installer dans un site sont assez nombreux. Cependant on peut retenir ceux-ci :

1.1.1 - L'implantation

Ce sont les besoins en capacité et les règles officielles définissant les distances à respecter qui guident le choix du lieu d'implantation en tenant compte du diamètre normalisé le mieux approprié. L'implantation générale de notre réservoir et de toutes les unités annexes qui l'accompagnent est donnée dans le plan I.I.

1.1.2 - Nature du sol

Au niveau du lieu d'installation (assise) du réservoir, aucune étude n'a été portée à notre connaissance ; cependant, non loin des lieux, les études réalisées par le Centre Expérimental de Recherche et d'Etudes pour l'Equipement (CEREEQ) sur le site de la "Nouvelle Extraction" (cf plan II) révèle la présence de tufs argileux qui sont caractérisés par des tassements importants sous certaines contraintes. Même avec une hauteur du bac égale à 12.6 mètres(*) il est plus prudent d'avoir une assise sous forme de radier en béton.

(*) D'après "S.P.S.B. Memento Technique Travaux/Etablissement" ; "14.40 mètres est la hauteur standard admissible pratiquement. Quelque soit la nature du sol, à partir de $\emptyset = 8$ mètres". Donc pour un diamètre $\emptyset = 16$ m et une hauteur $h = 12.6$ mètres, La stabilité ne poserait pas beaucoup de problèmes. Cela permettra de réduire les dimensions du radier en béton armé. Le couple $(\emptyset, h) = (16 \text{ m}, 12.6 \text{ m})$ étant celui qui répond le mieux à nos besoins de 2500 m^3 , le réservoir aura donc ces dimensions-là. (voir aussi tableau I.1.1 : Réservoirs verticaux, normalisés) ($\emptyset, h, \text{capacités}$).

1.1.3 - Type de construction

Le réservoir sera à toit fixe (type auto porteur). A l'intérieur on aura un écran flottant du fait de la volatilité du produit à stocker. Le montage se fera par soudure. Le schéma de la fig. 1.1.1 donne une idée sur la forme extérieur du bac.

1.2 - MATERIAUX DE CONSTRUCTION

Les matériaux de construction retenus figurent au tableau I.1.2 qui est un extrait du tableau 4.1.2 des règles générales d'études de construction des réservoirs de stockage sans pression interne RG12-01 classe D.

1.3 - TERMINOLOGIE CONCERNANT LES RESERVOIRS DE STOCKAGE

RESERVOIR DE STOCKAGE : le réservoir de stockage est constitué par une enveloppe en tôles supportée ou raidie par un ensemble constituant sa charpente.

On l'appelle aussi bac de stockage.

ROBE : partie cylindrique de l'enveloppe.

FOND : partie inférieure de l'enveloppe formant la base de la robe.

TOIT-COUVERTURE : partie supérieure de l'enveloppe (couverture) et charpente qui la porte.

CHARPENTE : raidisseur, fermes, longrines et chevrons portant la couverture - supports sous longrines - entretoisements divers.

POTEAUX : supports verticaux, entre toit et fond.

VIROLE : fraction de la robe correspondant à la hauteur d'une tôle. Le numérotage des viroles s'effectue du bas vers le haut.

CORNIERE DE TETE (OU DE RIVE) : liaison entre robe et couverture.

CORNIERE DE PIED : liaison entre robe et fond.

JOINT : liaison entre 2 tôles, entre profilé et tôle, entre deux profilés.

SOUDURE : apport de métal assurant un joint.

Tableau I.1.1 : Réservoirs verticaux, normalisés (Ø, h, capacités)

Diamètre Ø (mm)	3	45	6	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	Surface Hauteur pond. H (mm)	
																		7	16
Niche de 1.80 m de hauteur	1.8	12.5	30	50															
	3.60	25	60	100	150														
	5.40	37.5	90	150	220														
	7.20	50	110	200	360	810	1450												
	9.00		140	250	450	1020	1810	2830	4070										
10.80			310	540	1220	2170	3390	4880	6650	8960									
	12.60			630	1420	2530	3960	5700	7760	10730	12830								
14.40				720	1630	2900	4520	6520	8870	11580	14650	18100	21900	26060	30380	35470	40715		
	Virde de 2.40 m de hauteur																		
14.40				720	1630	2900	4520	6520	8870	11580	14650	18100	21900	26060	30380	35470	40715		
16.80				845	1905	3395	5300	7635	10405	13595	17220	21275	25760	30680	36025	41815	48040		
19.20						3880	6055	8720	11885	15525	19660	24290	29410	35025	41120	47715	54825		
22.60							7135	10190	12915	17945	22670	27930	33350	40135	56620	53005	62025		

Tableau I - 1. - 2 : Qualités à retenir pour le calcul des différentes parties du réservoir (basé sur les spécifications des "Règles générales de construction des réservoirs sans pression interne"

R G 12 - 01

Désignation(desination)	Nuances	Qualités
Robe (y compris trou d'hommes et tubulures) : viroles \leq 20 mm	E 24 - E 26	1
Toit fixe	E 24 - E 26	1
Ecran flottant	E 24 *	2
Fond		
- partie centrale	E 24 - E 26	1
- tôle marginale	E 24 - E 26	2
Profilé cornière dérivé	E 24 - E 26	1
Tuyauterie de raccordement	API 5L ou ASTM A 106	Grade A ou B ou équivalent

(*) Il est recommandé d'utiliser pour l'écran flottant de l'acier dans le cas des produits volatiles, ce qui est le cas de l'hexane. Il existe cependant des écrans en aluminium et aussi des écrans à panneaux de mousse de Polyuréthane.

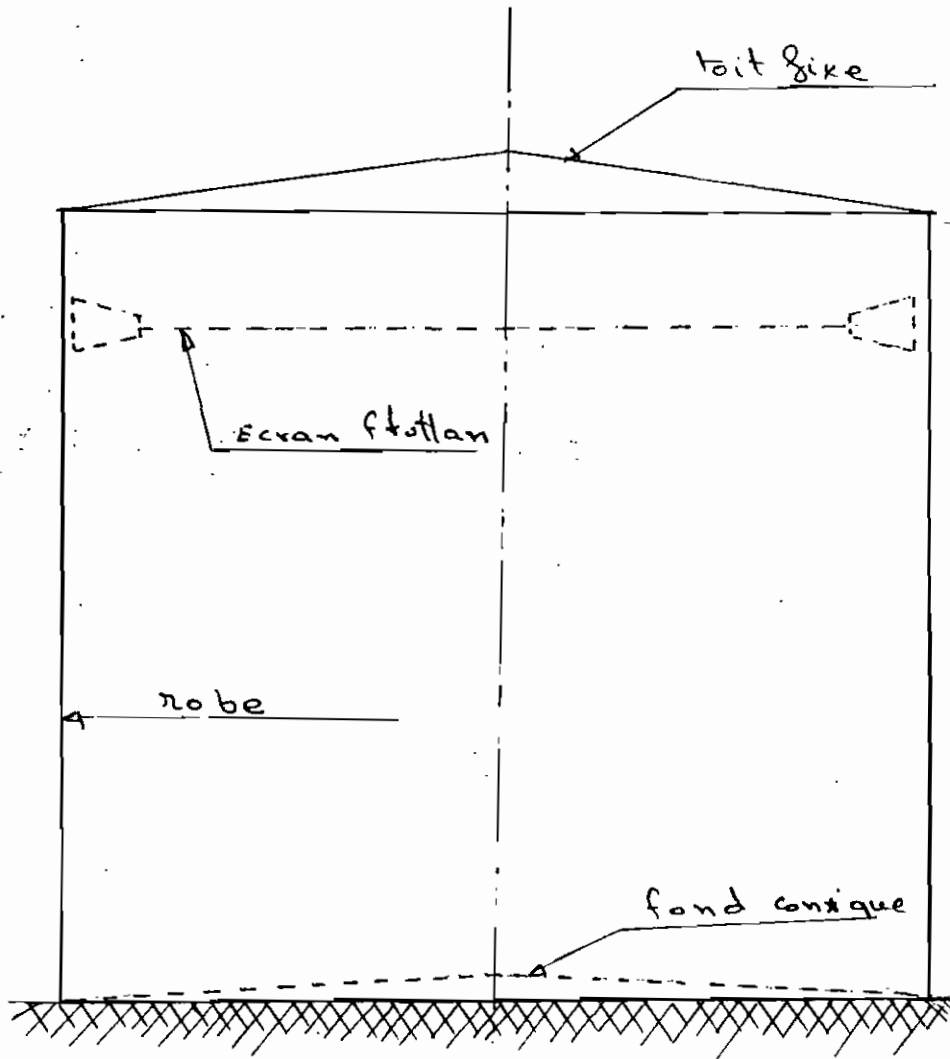


FIGURE I.1.1 : Schéma du réservoir,

CHAPITRE II

CALCUL DU RESERVOIR

Conformément au but du projet qui n'est pas de faire un dimensionnement complet du réservoir, les calculs qui vont suivre devront juste nous permettre de faire une estimation assez fiable du coût du réservoir. En fait grâce à l'expérience acquise dans ce domaine par les constructeurs, la connaissance du poids total du bac suffit pour faire une bonne estimation du coût de celui-ci (monté nu, c'est-à-dire non peint). Pour cette méthode d'estimation, nous y reviendrons un peu plus loin au niveau de l'étude des coûts. Les calculs qui vont suivre seront surtout axés sur la détermination des épaisseurs de viroles qui constituent la partie principale d'un réservoir de stockage.

2.1 - CALCUL DES VIROLES

Conformément au code de calcul API 650, les valeurs des contraintes admissibles pour le calcul des viroles sont :

- Acier E26 (ancien A42) :
 - 0.425 R pour la virole inférieure
 - 0.46 R pour les autres viroles

R est la charge de rupture mini de la norme.

Pour l'acier E26 $R = 410 \text{ N/mm}^2$ (41.79 kgf/mm^2) donc les limites admissibles pour les contraintes dans les viroles seront 17.762 kgf/mm^2 et 19.225 kgf/mm^2 pour respectivement les viroles inférieures et les autres.

L'épaisseur des tôles de virole est déterminée par la contrainte hydraulique. Elle se calcule par la formule suivante :

$$e = \frac{D(H - 0.3)d}{2 \times 3 \times K \times S} + C + T \quad (1) \quad (2.1.1)$$

où

e = épaisseur en mm

D = diamètre du réservoir en mètres

H = hauteur de remplissage en mètres

d = densité du liquide (étant donné que le réservoir doit être éprouvé à l'eau, on prendra $d=1$ pour le calcul des viroles

Si le liquide en question est moins dense que l'eau

S = contrainte admissible kgf/mm^2

K = coefficient de joint soudé (2)

T = tolérance en moins admissible sur (3) l'épaisseur des tôles
suivant Normes (en mm)

C = sur épaisseur de corrosion en mm (4)

Tableau I.2.1 : Détermination des épaisseurs de viroles

Viroles	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	V ₇
Épaisseur calculée mm	5.79	4.62	3.87	3.12	2.37	1.62	0.87
Épaisseur retenue mm (6)	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0

Le tableau ci-dessus présente les résultats de calcul des épaisseurs des viroles pour l'acier E26 (5)

(1) tirée de "Règle Générale d'Etude et de Construction - Réservoirs de Stockage Sans Pression Interne" (RG-12-01 classe D).

(2) le coefficient de joint sera égal à 1 dans le cas de contrôle radiographique des soudures tel que défini par le code API650. Ce qui est le cas ici.

(3) T est pris ici égal à 0.25 mm

(4) pour un liquide comme l'hexane non corrosif C sera pris égal à 0 mm.

(5) l'utilisation de l'acier E24 augmente les épaisseurs des viroles.

(6) l'épaisseur minimale de virole pour un réservoir de diamètre D tel que $50 \leq D \leq 100$ pieds est de $\frac{1''}{4}$. Soit 6.0 mm ; ce qui est le cas ici.

2.2 LONGUEUR DE TOLES DE VIROLES

L'idéal serait d'avoir une seule tôle par virole car le travail de soudure serait réduit et le montage rapide. Mais à cause des limitations d'ordre technique (fabrication, mise en forme et transport) on essaye de choisir la longueur des tôles de façon à avoir un nombre entier de tôles de même longueur pour chaque virole.

Avec des tôles de longueur unitaire de 2011 mm on obtient un nombre total égal à 25 tôles par virole.

2.3 - CALCUL DU TOIT

Pour un réservoir à toit fixe, ce dernier doit être dimensionné de manière à pouvoir supporter :

- une surpression de 5 mbar.
- une dépression de 2.5 mbar.

Sans pour autant que cette épaisseur de toit soit inférieure à 3/16 pouce (4.76 mm) selon les prescriptions du code API650.

Les calculs que nous n'avons pas effectués ici donnent, pour des conditions atmosphériques comme les nôtres (pas de surcharge due à la neige, surcharge minimale uniforme de 12.2 mbar) une valeur de l'épaisseur de toit toujours inférieure à 4.76 mm. Cela nous permet de choisir 5 mm (valeur normalisée immédiatement supérieure à 4.76 mm) comme épaisseur des tôles de toit.

Donc $e_{\text{toit}} = 5.0 \text{ mm}$

2.4 - EPAISSEUR DES TOLES DE FOND ET DE L'ECRAN

Comme pour les tôles de toit, la détermination des tôles de fond est soumise aux restrictions du code API650. Les valeurs des tôles (en épaisseur) seront les suivantes :

- 6 mm pour les tôles du milieu
- 12 mm pour les tôles marginales (voir fig 2.1)

- EPAISSEUR DES TOLES DE L'ECRAN FLOTTANT

Du fait que l'écran ne sera soumis à aucune charge importante, on prendra la valeur minimale exigée de 5.0 mm.

2.5 - FIXATION DU TOIT A LA ROBE

Le mode de fixation du toit est fonction de beaucoup de paramètres parmi lesquels la nature du sol occupe une place importante.

Le sol dont nous avons déjà parlé de la nature (tufs argileux) nous oblige, pour éviter les problèmes que pourraient causer un tassement éventuel, d'adopter le type de toit auto-porteur : c'est un toit présentant sensiblement la surface d'un cône droit supporté uniquement à sa périphérie.

La fixation du toit à la robe sera donc assurée par une cornière de rive. Pour un toit d'une pente 1/3 une cornière 75 x 75 x 6 est conforme aux exigences de la norme API650. Elle peut donc être retenue pour nos besoins.

2.6 - STABILITE DE LA ROBE SOUS LE VENT

On la calcule suivant les règles officielles Neige et Vent (NV65 révisé en 1967) qui définissent entre autres la répartition des zones de vent sur le territoire français. Cependant cela n'empêche pas pour autant de les utiliser pour d'autres pays comme le Sénégal, car suivant les critères de répartition de ces zones, on trouve toujours des équivalences où que l'on se trouve.

On distingue trois types de zones : I, II, III et trois types de sites pour chacune des zones : site abrité, site normale et site exposé (cf NV65 rév.67). Dans le cas de cette étude, il s'agit de la zone II en site normal.

Dans la RG 12-01 classe D, page 4 il est précisé que : "Dans le cas des réservoirs autre que ceux "dits à toit fixé" le constructeur tiendra compte des efforts dûs au vent et au vide (cas des bacs sans toit ou à toit flottant)". Ce qui signifie en d'autres termes que nous n'aurons pas à dimensionner la poutre au vent puisqu'avec un bac à toit fixe la stabilité de la robe ne nécessite pas de contreventement.

2.7 - ASSISE DU RESERVOIR

Nous avons déjà vu au paragraphe 1.1.2 que la solution ici sera

un radier en béton pour l'assise du bac.

2.8 - POIDS DU BAC

La connaissance des épaisseurs des tôles et des surfaces des différentes parties du bac nous permet de faire une assez bonne estimation du poids de celui-ci. Pour cela, il nous suffira de connaître la densité du ou des matériaux de construction. Pour l'acier la densité est environ 7.85.

La surface du fond est calculée en tenant compte du taux de recouvrement des tôles exigé par la norme ce qui fait que cette surface (celle du tableau I.2.2) est supérieure à la surface réelle. Ce tableau présente un résumé des calculs aboutissant à la détermination du poids total (estimé) du bac.

2.9 - ACCESSOIRES DU RESERVOIR

Il a été jugé inutile une fois de plus d'entrer dans les détails pour cette partie ou du moins de les présenter dans ce texte. La détermination(*) des accessoires (nombre, dimension, positionnement sur le bac) est résumé sur les plans de spécifications à la fin du rapport. Ces plans sont conformes aux formulaires de spécifications exigés pour la passation d'une commande de réservoir,

2.9.1 - Agitateurs

Pour les agitateurs montés sur trou d'homme de ϕ 30" (760 mm) la puissance à installer est :

$$P = 3 \left(\frac{\phi_m}{10} \right) \text{ en chevaux } (1)$$

ϕ_m est le diamètre du réservoir en mètres

Le nombre de ces agitateurs est de deux pour un bac de 16 mètres de diamètre. Le but de ceux-ci est d'éviter la décantation du produit stocké et aussi d'assurer une homogénéisation satisfaisante de la température du produit évitant ainsi certains problèmes comme celui de la dilatation non uniforme des tôles du réservoir avec les conséquences indésirables qui peuvent en résulter. Nous verrons un peu plus loin comment on peut se passer de ces agitateurs.

(1) - Formule tirée de la RG 12-01 classe D. Annexe III page 1

(*) La connaissance du diamètre et de la hauteur du bac permet de

Tableau I - 2 - 2 : Estimation du poids du réservoir monté nu.

Désignation	Epaisseur (mm)	Surface (m ²)	Volume (m ³)	masse volumique kg/m ³	Poids (kg)
Vidole	6.0	633.35	3.8	7850	29830.6
Fond	6.0	202	1.212	"	9514.2
Tôle marginale	12.0	18.7	0.224	"	1761.5
Tôle fixe	5.0	221.6	1.108	"	8697.8
Toit flottant	5.0	221.17	1.10.6	"	8681
SOUS TOTAL					56723.3
AUTRES (*)	10 %				5672.33
TOTAL GLOBAL					62396

(*) Il s'agit notamment des : passerelles, béquilles du toit flottant, cornière de rive...

déterminer le nombre et les dimensions de la majeure partie de ses accessoires (cf RG 12-01 classe D).

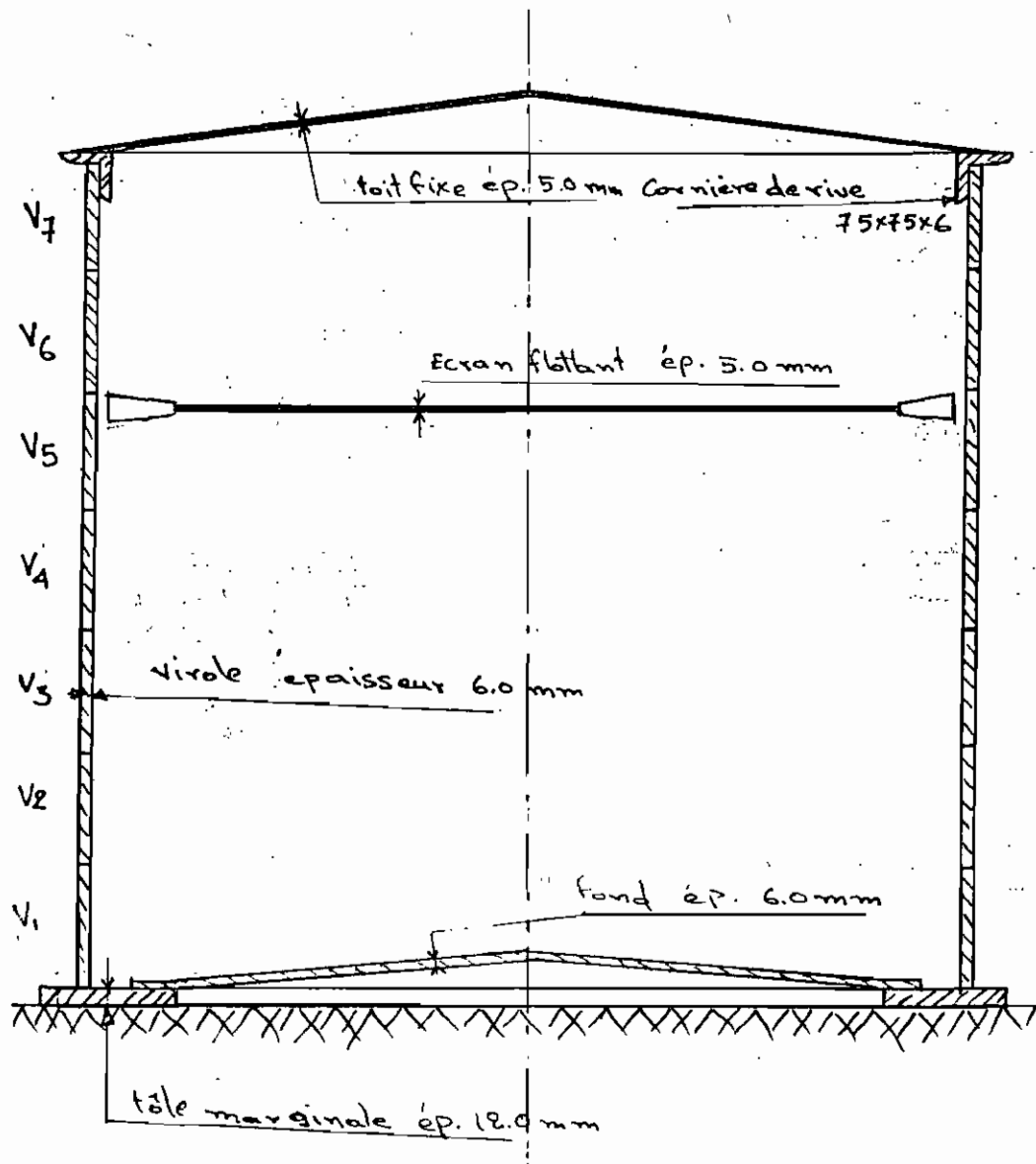
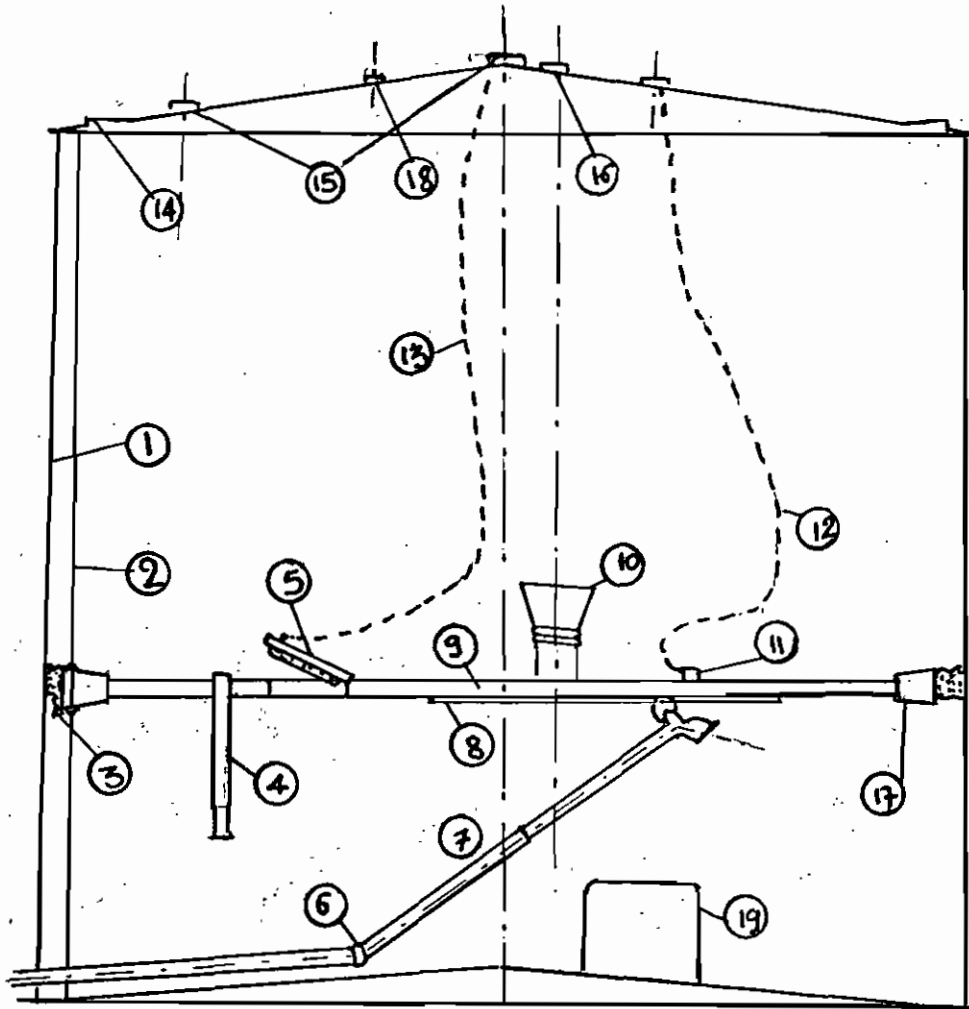


FIGURE I.2.1 : Schéma de disposition des tôles constituant les parties principales du bac.
(voir aussi plan n° 1R)

FIGURE I.2.2 : Vue d'ensemble du bac et quelques accessoires



- | | | | |
|----|---------------------------|----|-------------------------------------|
| 1 | Robe | 16 | Trous de jaugeage |
| 2 | Dispositif antirotatif | 17 | Caisson annulaire (pour flottaison) |
| 3 | Joint périphérique | 18 | Soupape casse-vide |
| 4 | Pieds réglable | 19 | Porte de nettoyage |
| 5 | Trappe dégazage | | |
| 6 | Joint tournant | | |
| 7 | Aspiration flottante | | |
| 8 | Monorail | | |
| 9 | Tôles de l'écran | | |
| 10 | Cône de jaugeage | | |
| 11 | Attache antistatique | | |
| 12 | Câble antistatique | | |
| 13 | Câble de trappe | | |
| 14 | Reniflard (pour aération) | | |
| 15 | Trous d'homme de toit | | |

C H A P I T R E I I I

CUVETTE DE RETENTION

CAPACITE ET SYSTEME D'EVACUATION

Les normes exigent que : "lorsqu'une cuvette contient un seul réservoir fixe, sa capacité utile doit être au moins égale à la capacité nominale du réservoir". Nous aurons donc besoin d'une cuvette de capacité minimale égale à 2500 m³. Pour la hauteur aussi la limite inférieure est de 1 m mesurée à partir du fond intérieur.

Pour éviter d'avoir une cuvette qui occupera trop d'espace ou qui sera difficile à exploiter parce que trop haute, nous avons retenu une valeur de 1.8 m pour la hauteur ; mesurée à partir du fond intérieur.

La section du mur de cuvette devra être trapézoïdale et constitué du sable argileux obtenu directement sur les lieux lors de l'aménagement de l'assise du bac et du fond de la cuvette. Les parois intérieures seront étanches pour éviter l'infiltration du produit en cas de fuite. Des supports en béton (voir fig. I.3.1) seront aménagés pour la pose des conduites d'incendie. Le fond de la cuvette aura une certaine inclinaison pour faciliter le drainage des eaux pluviales ou du produit vers l'extérieur de la cuvette.

Le dispositif d'évacuation des eaux de pluies doit être commandé de l'extérieur de la cuvette. Pour cela nous avons prévu une conduite d'évacuation dont l'extrémité intérieure est fermée (en temps normal) par un bouchon ignifugé actionné par un bras (cf fig. I.3.2) Un dispositif identique pourra commander l'ouverture ou la fermeture de la conduite d'évacuation de l'hexane vers les cuves de l'atelier d'extraction.

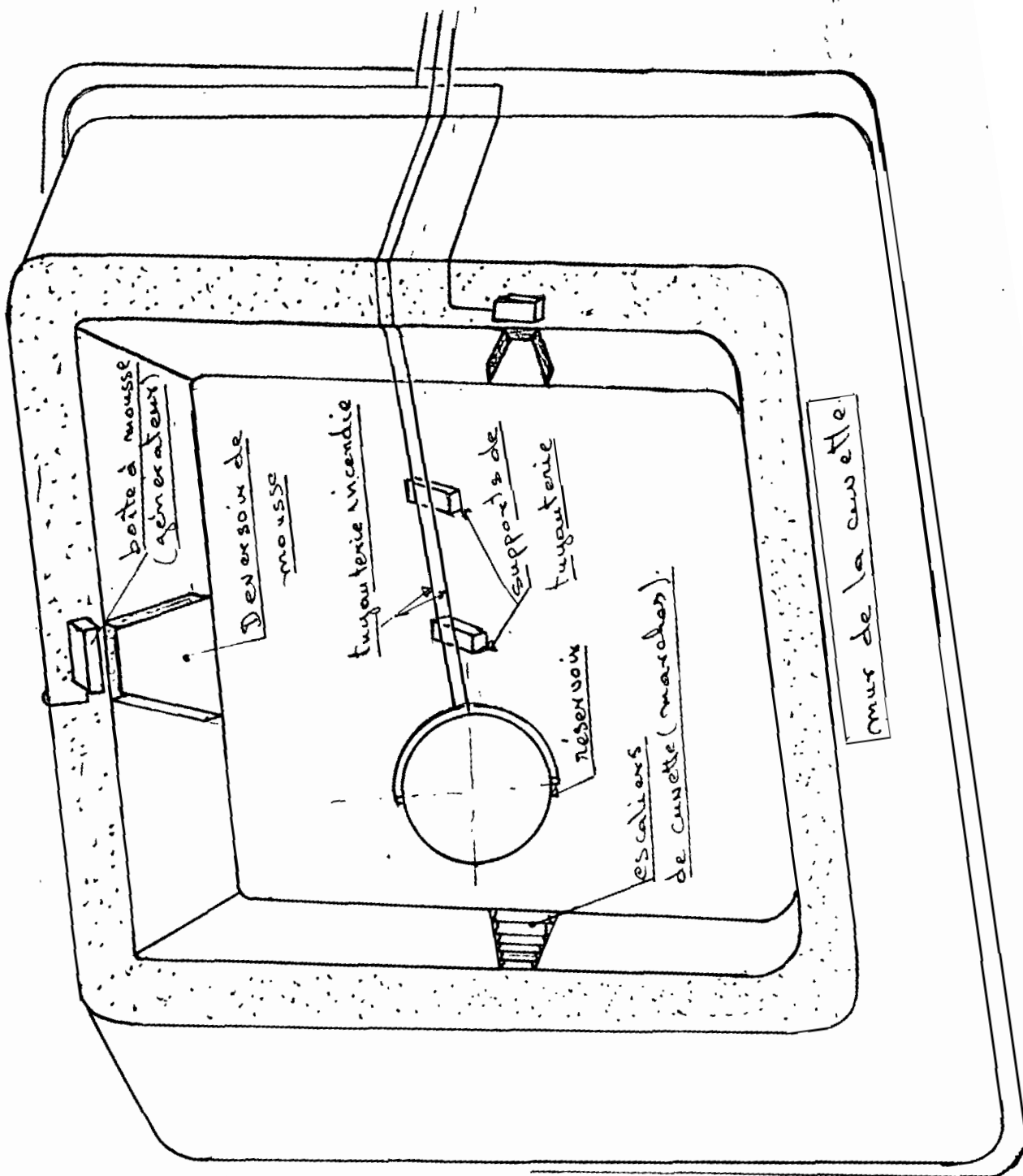
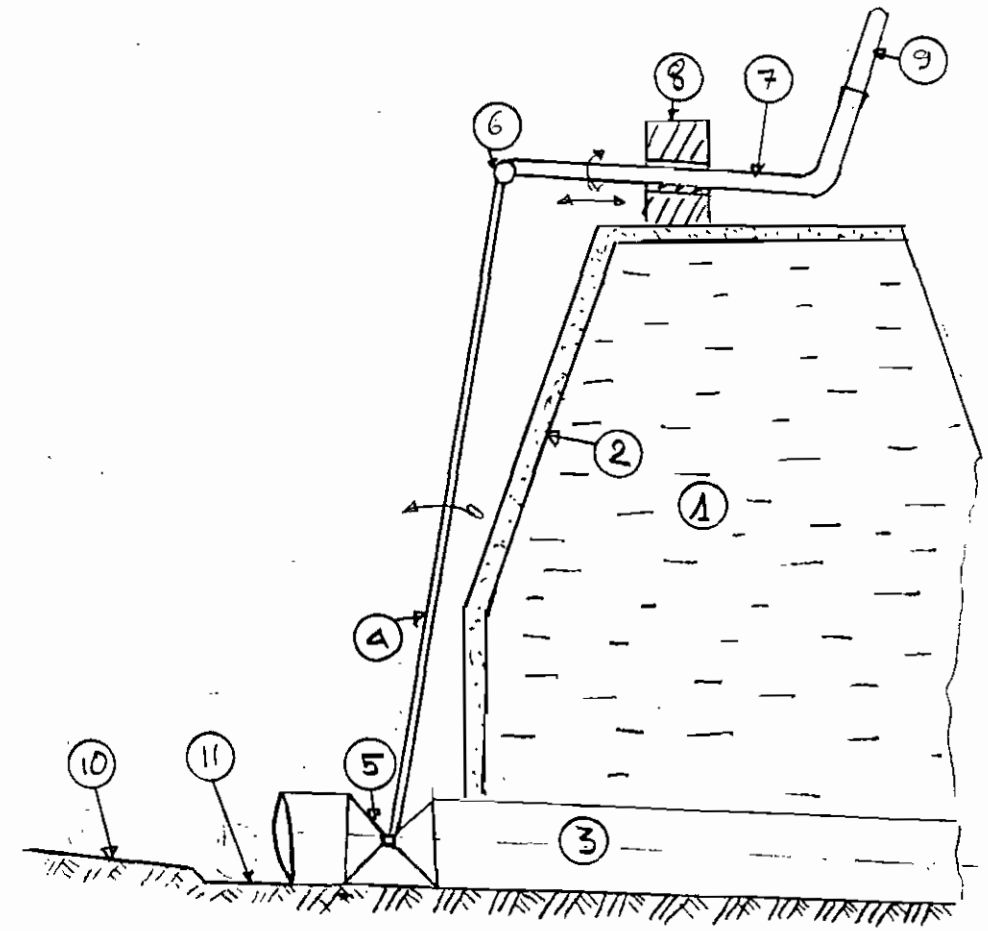


Figure I-3-1
Schéma de la
Cuvette de rétention.

Figure I.3.2 : Dispositif d'ouverture et de fermeture de la conduite d'évacuation des eaux (ou de l'hexane : schéma de principe (voir aussi Plan n° 1A-C)

1. mur de la cuvette de rétention (étanche)
2. paroi intérieure (en béton)
3. conduite d'évacuation
4. bras d'ouverture ou de fermeture du bouchon
5. bouchon à 2 positions : ouvert/fermé
6. articulation
7. bras de commande avec système d'ancrage
8. support
9. Poignet
10. fond de cuvette incliné (en béton)



C H A P I T R E I V

CANALISATION DE L'HEXANE

4.1 - LIAISON PORT-RESERVOIR

Le mode de liaison le plus approprié entre la station de pompage du navire de ravitaillement au niveau du port et le réservoir de stockage est la liaison par tuyauterie. Parmi les nombreux avantages que comporte ce système d'alimentation du bac on peut noter ceux-ci :

- rapidité dans l'acheminement du produit
- sécurité
- frais de livraison moindres
- etc

4.1.1 - Détermination du diamètre de la conduite de liaison

Les facteurs à intégrer dans le choix du diamètre de la conduite sont principalement :

- les facteurs d'ordre technique en l'occurrence les pertes de charge qui augmentent avec le débit et dans le sens inverse du diamètre ;
- les facteurs économiques qui imposent d'avoir le diamètre le plus petit possible ;
- le facteur temps puisque le navire n'aura pas à stationner indéfiniment au port.

Ces trois types de facteurs introduisent les paramètres suivants dans les calculs qui vont suivre :

- . le diamètre D de la conduite
- . le débit Q à adopter.

Ce dernier étant limité par la capacité des pompes du navire ; il s'agira donc de choisir le diamètre qui rencontre les contraintes techniques d'abord (pertes de charges surtout) ensuite les contraintes économiques et de temps.

4.1.1.1 - Calcul des pertes de charge en fonction diamètre de la conduite

La base mathématique de calcul des pertes de charges dans une conduite dérive de l'équation de Bernouilli dite de la conservation de l'énergie et qui s'écrit :

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \text{pertes} \quad (*) \quad (4.1.1)$$

P_1, P_2 = pressions statiques aux points 1 et 2 distincts de la conduite (en P_a)

V_1, V_2 = Vitesses du fluide en 1 et 2 (en m/s)

Z_1, Z_2 = altitudes des points 1 et 2 (en m)

γ = poids volumique du fluide (N/m^3), (**)

Pertes = chute de pression entre 1 et 2 (m)

Pour un écoulement permanent et une section de conduite constante on peut écrire $V_1 = V_2$; et les pertes J deviennent :

$$J_{\text{tot}} = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + Z_1 - Z_2 \quad m \quad (*) \quad (4.1.2)$$

Le terme $\frac{P_1 - P_2}{\gamma}$ représente les pertes linéaires dans la conduite. Elles dépendent de sa rugosité, son diamètre, sa longueur et de la vitesse du fluide véhiculé.

Sans avoir à connaître les valeurs de P_1 et P_2 on peut grâce à l'équation de Darcy déterminer la valeur de $\frac{P_1 - P_2}{\gamma}$.

L'équation de Darcy s'écrit :

$$J = f \cdot \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (*) \quad m \text{ de fluide} \quad (4.1.3)$$

f = coefficient de pertes de charges dépend de la rugosité ξ de la conduite et du nombre de Reynold R_e

J = pertes de charges en m de fluide

g = accélération de la pesanteur m/s^2

L = longueur de la conduite en m

D = diamètre de la conduite en m.

Le coefficient f est fonction du régime de l'écoulement :

- Pour un régime dit laminaire $R_e \leq 2000$

$$f = \frac{64}{R_e} \quad (*) \quad (4.1.4)$$

- Pour un régime turbulent $R_e > 2000$ f est fonction de $\frac{\epsilon}{D}$ et de R_e

Le nombre de Reynold $R_e = \frac{V \times D}{\nu} \quad (**) \quad (4.1.5)$

où

V = vitesse d'écoulement en m/s

ν = viscosité cinématique du fluide en m^2/s

D = diamètre de la conduite m/s

Calculs :

Les calculs qui seront effectués et devant permettre un choix final du diamètre seront répétés pour plusieurs diamètres afin de connaître le diamètre qui convient le mieux.

Une deuxième méthode consistera à faire varier le débit aussi bien qu'il soit pratiquement imposé. Du fait de l'influence non négligeable des irrégularités de la conduite (coude, vannes etc.) il convient d'en tenir compte. Puisque le nombre de coudes ne peut pas être déterminé avec exactitude au stade actuel du projet, nous avons majoré (par excès) de 20 % les pertes linéaires pour avoir les pertes totales dans ce qu'on peut appeler la conduite développée.

Etant donné la dépendance du nombre de Reynold de la viscosité cinématique du fluide et que cette dernière varie avec la température, il a été jugé bon de considérer les cas extrêmes qui sont :

$t_1 = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ valeur maximale de la température dans l'année (valeur qui est rarement dépassée)

$t_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ valeur jugée minimale

(*) Cf cours de mécanique de fluide de D. VO NGOC, professeur à l'EPT.

(**) cf caractéristiques physiques de l'hexane technique : annexe C

4.1.1.2 - Exemple de calcul

$$Q = 100 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$T = 35 \text{ }^\circ\text{C} = 0.451 \text{ Cst (ou } 0.451 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s)}$$

1er choix

$$D = 100 \text{ mm (arbitraire)}$$

$$V = \frac{Q}{\pi \times \frac{D^2}{4}} = \frac{100}{3600} \times \frac{1}{\pi \times \frac{(0.1)^2}{4}} = 3.537 \text{ m/s}$$

$$R_e = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{3.537 \times 0.1}{0.451 \cdot 10^{-6}} = 7.84 \cdot 10^5$$

A l'aide du diagramme de Moody (voir fig. I.4.1.) on trouve pour une conduite en acier avec un diamètre de 100 mm (4") :

$$f = 0.017$$

d'où

$$J = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} = 249.17 \text{ m d'hexane}$$

Les résultats des différents calculs effectués sont regroupés aux tableaux I.4.1, I.4.2 et I.4.3

On pourra noter que pour les températures de 35 °C et 20 °C les valeurs des pertes de charges diffèrent très peu. Cela permet de conclure que la température n'aura pas d'effet sensible du point de vue pertes de charges lors du pompage du produit.

4.1.2 - Choix final

En plus des contraintes soulignées au début de cette section, il y a d'autres que nous avons intégrées pour opérer le choix final. Il s'agit :

- des normes ;
- des disponibilités du marché.

. Pour ce qui concerne les normes, les contraintes sont que les conduites d'hydro-carbure doivent être en tuyauterie API.5L ou en ASTM106 grade A ou B. Cela élimine la possibilité d'utiliser les tubes comme le Tarif 10 (TU37b).

. La première contrainte engendre la deuxième car les possibilités offertes par le Tarif 10 sur l'éventail des diamètres sont assez nom-

nombreuses tandis qu'avec l'API 5 L les diamètres disponibles sont ceux qui figurent au tableau I.4.4

Concernant les pertes de charges, avec une conduite de diamètre nominal DN150 et un débit de $100 \text{ m}^3/\text{h}$ (*) on aura $J = 34$ mètres d'hexane. La différence d'altitude entre le niveau supérieur du liquide dans le réservoir plein et celui des pompes du navire est estimé à 21 mètres au maximum. Cela correspond à une hauteur de refoulement minimale de la pompe de :

$$h_{\text{pompe min}} = 34 + 21 = 55 \text{ mètres d'hexane}$$

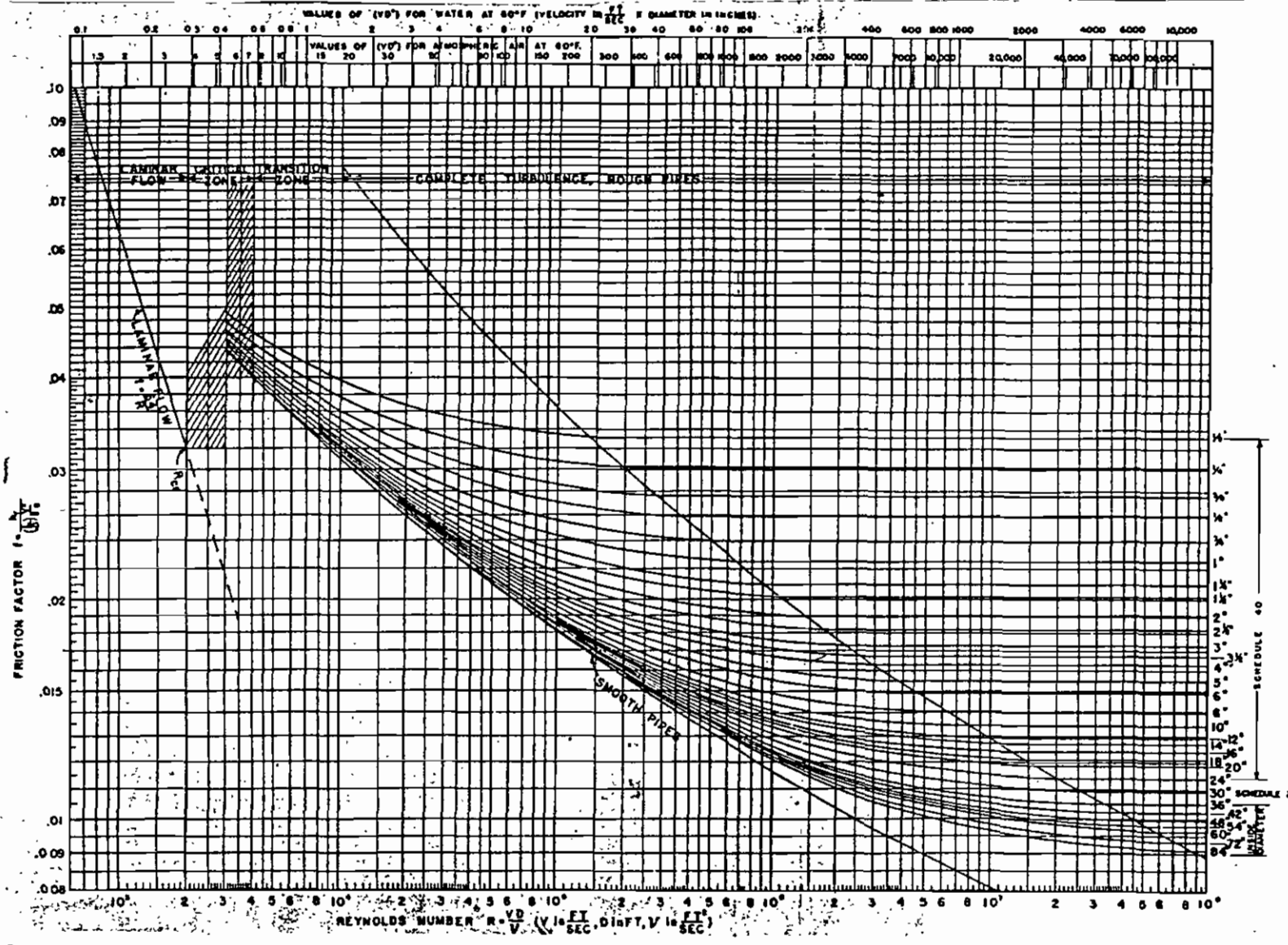
Les pompes du navire ayant une hauteur de refoulement nominale de 8 bars soit $\frac{80}{0.68} = 117.65$ mètres d'hexane à $100 \text{ m}^3/\text{h}$ (**), on n'aura donc aucun problème technique avec la tuyauterie DN150. Une conduite de diamètre plus petit (parmi celles qui figurent sur le tableau I.4.4) occasionnerait beaucoup de pertes ce qui rendrait impossible le pompage dans les conditions nominales des pompes. La solution dans ce cas serait la diminution du débit augmentant énormément le temps de pompage. Avec un diamètre plus grand (DN200 par exemple) on diminuerait les pertes de charges, sans pour autant y gagner puisque c'est le coût de la tuyauterie qui va augmenter ; le temps de pompage ne diminue pas puisque le débit ne va pas augmenter sans occasionner une diminution de la hauteur manométrique totale de la pompe.

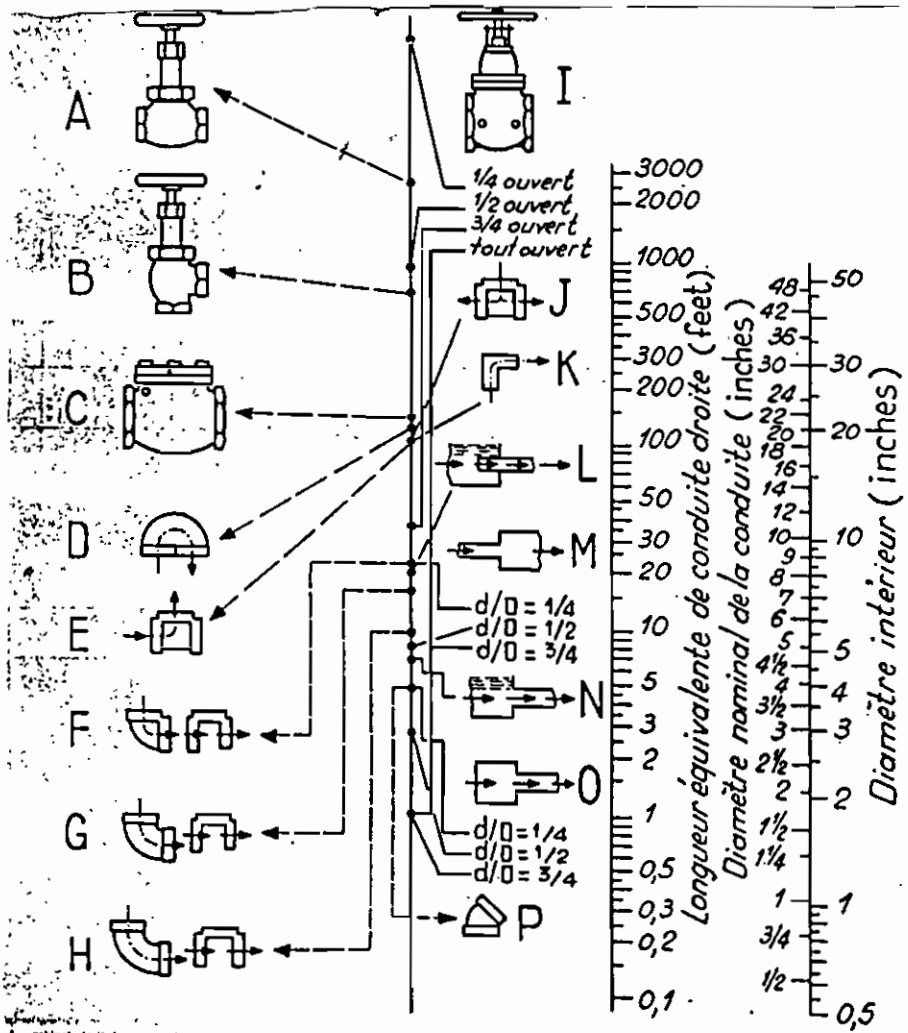
(*) D'après les informations reçues concernant les caractéristiques des pompes du navire.

(**) D'après le tableau I.4.3 le débit dans la conduite peut atteindre $175 \text{ m}^3/\text{h}$ sans que les pertes puissent gêner le fonctionnement de la pompe.

Figure I.4.1.
 Diagramme de Moody
 pour le calcul du
 coefficient de pertes
 de charges f .

(doc. Hydraulic Ins-
 titute)





- A robinet droit à coupe (ouvert)
 - B robinet d'angle à coupe (ouvert)
 - C clapet de retour à battant (ouvert)
 - D coudé à 90°
 - E té fermé d'un côté
 - F coudé horizontal ou té renversé 1/2
 - G anneau de soudeuse enroulé de 1/4
 - H anneau de soudeuse enroulé de 1/2
 - I coudé de grande courbure ou té
 - J robinet vase
 - K té
 - L équerre
 - M ajutage restreint
 - N ajutage ordinaire
 - O ajutage restreint
 - P anneau de soudeuse enroulé de 1/4
- Rappelons que :
 1 inch (pouce) = 25,4 mm
 1 inch (pouce) = 25,4 mm

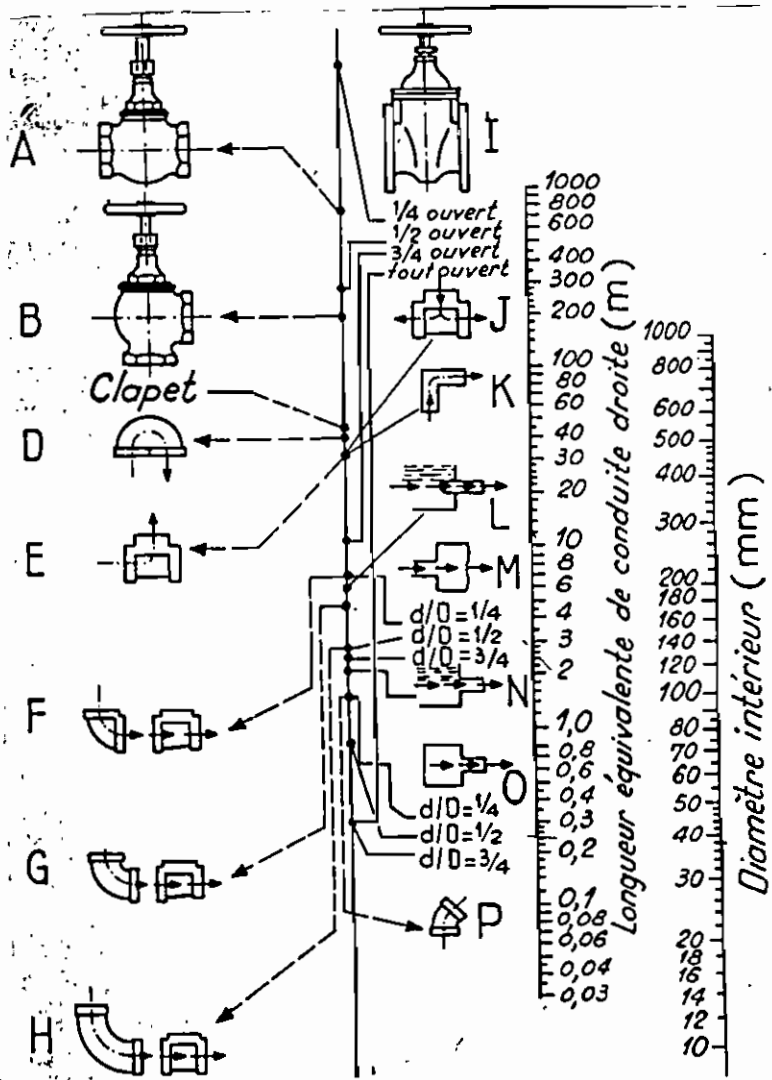


FIG.I.4.1'
 Pertes de charges approxi-
 matives dans
 les pièces
 spéciales
 de conduite
 (doc.CRANE
 Co, F.C55)

Tableau : I - 4 - 1 : Pertes de charges en fonction du diamètre pour différents débits.

T = 35°C

Q m^3/h	100			200			N O T A
DN (mm)Ø	100	150	200	100	150	200	(*) - non inclus la dénivellation (différence d'habitude: pompes-niveau maxi du liquide dans le bac) $\Delta H = 20$ m (**) - Turbulent. (***) - Tuyauterie API, T = 35°C $\nu = 0.451$ cst (****) - Pertes secondaires
V ($m.s^{-1}$)	3.537	1.49	0.86	7.073	2.98	1.72	
$R_e \times 10^{-5}$	7.85	5.09	3.88	15.7	10.2	7.73	
Régime	T**	T	T	T	T	T	
f	0.0169	0.0162	0.016	0.0165	0.0155	0.0151	
J^{***} (m hexane)	249	27.4	6.3	968	105	26	
J'^{****} (m hexane)	50	5.5	1.3	193	21	5.2	
J^* Total (m hexane)	299	32.9	7.6	1161	126	31.2	

Tableau I - 4 - 2 : Pertes de charges en fonction du diamètre pour différents débits T = 20°C. (ν = 0.480 CST).

Q ₃ m ³ /h.	100			200			<u>NOTA</u>
	DN (mm)	100	150	200	100	150	
V (m.s ⁻¹)		3.537	1.49	0.86	7.073	2.98	1.72
R _c x 10 ⁵		7.37	4.65	3.6	14.7	9.3	7.17
Régime		T	T	T	T	T	T
		0.017	0.0163	0.0161	0.0165	0.0157	0.0152
J (m hexane)	249.3	28.3	7	968	109	26	
J' (m hexane)	50	5.7	1.4	193.6	21.8	5.2	
J _{tot} (m hexane)	299.3	34	8.4	1161.6	130.8	31.2	

Tableau I - 4 - 3 : $J(\text{m hexane}) = f(Q, \text{DN})$. $T = 35^\circ\text{C}$ ($\nu = 0.451 \text{ CST}$).

$(J_{\text{tot}} = 1.2 \text{ J})$

DN (mm) \ Q (m^3/n)	25	50	75	100	125	150	175	200
100	17	64.15	141	233	*	-	-	-
125	4.12	16.2	34.7	61	94.3	134.2	181.3	-
150	2.3	8.4	18.25	31.5	48.3	68.6	92.8	190.5
160	1.6	6.2	13.3	23.3	35.7	50.5	67.8	88.6
200	0.46	1.65	3.55	6.1	9.4	13.35	17.9	23.13

NOTA :

* Valeur de J trop grande.

Attention !

Ces valeurs sont calculées pour des tubes tarif 10 (Tu 37 B)

4.2 - LIAISON BAC-DEPOTAGE

4.2.1 - Dimensionnement de la conduite

4.2.1.1. - Choix du débit

Il a été jugé qu'un temps de vingt (20) minutes est acceptable pour faire le plein d'une citerne de 30 mètres cubes. Un temps plus court n'aura pratiquement pas de retombée économique positive, au contraire cela entraîne l'utilisation d'une pompe plus puissante et en même temps une augmentation du diamètre de la conduite pour éviter les problèmes d'aspiration des pompes.

Avec une durée de vingt minutes on trouve pour une citerne de 30 m³ de capacité un débit de 90 m³/h. Ce qui nous amène à adopter un débit nominal de 100 m³/h.

4.2.1.2 - Choix du diamètre de la conduite

De la même façon que dans la section 4.1, ce sont surtout les pertes de charges qui déterminent en définitive le diamètre de la conduite. Le schéma de la fig. 4.2 montre la façon dont le liquide sera pompé. Avant de passer aux calculs il serait nécessaire de définir certaines notations. Nous adopterons donc les notations suivantes :

H = hauteur énergétique totale (en m)

h_c = hauteur géométrique de charge (m)

h_r = hauteur géométrique de refoulement (m)

H_a = hauteur énergétique d'aspiration (m)

H_c = hauteur énergétique de charge (m)

$J_{a,r}$ = pertes de charge à l'aspiration (J_a) ou au refoulement (J_r) (m)

$L_{a,r}$ = longueur développée à l'aspiration (L_a) ou au refoulement (L_r) (m)

H_{ca} = hauteur de charge nette absolue (ou NPSH= net positive suction head en anglais).

P_b = pression barométrique en bars ;

P_v = tension de vapeur de l'hexane en bars .

d = densité du liquide pompé (hexane)

Q = débit de la pompe en m^3/s (ou en m^3/h selon le cas)

P_u = puissance utile de la pompe.

Les relations entre les variables définies ci-haut dans le système de pompage de la fig. I.4.2 découlent de l'équation de Bernoulli vue dans la section 4.1 et sont les suivantes :

$$H = H_1 + H_2 \quad (4.2.1)$$

avec

$$H_1 = -h_c + J_a$$

$$H_2 = h_r + J_r$$

En remplaçant H_1 et H_2 par leur valeur dans (4.2.1) on obtient la relation :

$$- H = -h_c + h_r + J_a + J_r \quad m \quad (4.2.2)$$

$$- H_c = h_c - J_a \quad m \quad (4.2.3)$$

Les valeurs numériques de h_c et h_r ne dépendent que de l'installation. Pour notre cas il y a deux situations à envisager :

- quand le réservoir est plein ;
- quand le réservoir est au niveau le plus bas.

. Pour la première situation $h_c = h_{cmax} \approx 15$ m (voir fig. I.4.2) et $h_r = 3$ mètres.

. Pour la seconde situation $h_c = h_{cmin} = 4$ m.

Les calculs des pertes de charges pour un diamètre de 4" ont donné les résultats suivants :

. $J_a = 12.06$ m d'hexane toutes pertes secondaires comprises

. $J_r = 8.3$ m d'hexane

. d'où : - en position réservoir plein 1 $H = 8.3$ mètres d'hexane.
- en position basse 2 : $H = 19.26$ mètres d'hexane

. $H_c = 2.94$ m d'hexane en position 1

$H_c = -7.96$ m d'hexane en position 2

. $P_b = 1.013$ bars (l'effet de l'écran est négligeable)

. $P_v = 0.4053$ bar (à 35 °C)

$$\cdot \text{NPSH}_{\text{disponible}} = 10.2 \times \frac{P_b - P_v}{0.68} + H_c \quad (\text{m}) \quad (4.2.4)$$

$$- \text{NPSH}_{\text{disp}} = 12.06 \text{ m en position 1}$$

$$- \text{NPSH}_{\text{disp}} = 1.16 \text{ m d'hexane en 2}$$

On remarque qu'avec une telle valeur du NPSH disponible il sera difficile de trouver une pompe qui n'aura pas de problème de cavitation en position basse du niveau du liquide dans le réservoir.

Avec une conduite de diamètre 150 (DN150) on obtient :

$$- J_a = 2.04 \text{ m d'hexane}$$

$$- J_r = 9.05 \text{ m d'hexane}$$

d'où

$$\cdot H_1 = 2.99 \text{ m d'hexane}$$

$$\cdot H_2 = 16.25 \text{ m d'hexane}$$

$$\cdot H_{c1} = 12.96 \text{ m d'hexane}$$

$$\cdot H_{c2} = 2.06 \text{ m d'hexane}$$

$$\cdot \text{NPSH}_{\text{disp 1}} = 22.08 \text{ m d'hexane}$$

$$\cdot \text{NPSH}_{\text{disp 2}} = 11.06 \text{ m d'hexane.}$$

Le diamètre qu'il convient d'adopter est celui de 6" (DN150).

4.2.2 - Puissance utile de la pompe

La pompe sera choisie en fonction de la situation la plus défavorable c'est à dire en position 2. La puissance utile sera alors :

$$P_{\text{umax}} = 9.810 \times d \times Q \times H_2 \quad (\text{kW}) ; \quad (Q \text{ en } \text{m}^3/\text{s})$$

$$\text{Soit } P_{\text{umax}} = 9.81 \times 0.68 \times \frac{100}{3600} \times 16.25 = 3.0 \text{ kw}$$

La pompe Guinard NE8 x 31 1450 RPM avec un $\text{NPSH}_{\text{requis}} = 4.41 \text{ m}$ d'hexane à 100 m³/h et une hauteur manométrique totale $H_{\text{mt}} = 24.5 \text{ m}$ nous conviendra .

4.3 - LIAISON BAC-NOUVELLE EXTRACTION

4.3.1 - Position géographique du bac par rapport à l'atelier d'extraction

- Distance horizontale estimée à 55 m (cf plan n° 1.I)
- Différence d'altitude entre l'assise du bac et les cuves d'hexane de l'atelier d'extraction :

$$H = (+8) - (+5) = 3 \text{ m}$$

4.3.2 - Alimentation des cuves de l'atelier d'extraction

Grâce à la différence d'altitude minimale de 3 mètres on pourra profiter de l'effet de la gravité pour faire le plein des cuves.

4.3.2.1 - Diamètre de la conduite

Il sera fonction du débit souhaité. Les pertes de charges ne doivent pas dépasser la différence d'altitude (d'ailleurs dans ce cas le débit diminuerait automatiquement pour que le liquide puisse couler).

On considérera pour déterminer le diamètre de la conduite, un débit moyen de 100 m³/h.

Méthode utilisée

A partir de l'équation de Darcy pour les pertes de charges

$$J = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

on fait des transformations permettant d'isoler l'inconnue D de la façon suivante :

sachant que $V = \frac{Q}{\pi \frac{D^2}{4}}$ on aura

$$J = f \times L \times \frac{Q^2}{\left(\pi \times \frac{D^2}{4}\right)^2} \times \frac{1}{2g} \tag{4.3.1}$$

d'où on tire :

$$D^5 = \frac{8 \times L \times Q^2}{J \times g \times \pi^2} \times f = C_1 \times f \tag{4.3.2}$$

avec

$$C_1 = \frac{8 \times L \times Q^2}{J \times g \times \pi^2} \tag{4.3.3}$$

partant de $R_e = \frac{V D}{\nu}$; $(V = \frac{Q}{D^2/4})$

On a $R_e = \frac{4Q}{\pi \nu} \times \frac{1}{D} = \frac{C_2}{D}$ (4.3.4)

d'où $C_2 = \frac{4Q}{\pi \nu}$ (4.3.5)

Le diamètre est obtenu par itération de la façon suivante :

- i) - supposer le coefficient f
- ii) - calculer C_1 et C_2 connaissant J et Q
- iii) - calculer D avec (4.3.2)
- iv) - calculer R_e (nombre de Reynold)
- v) - avec D et R_e lire f' sur le diagramme de Moody (cf fig. I.4.1)
- vi) - calculer $\frac{f-f'}{f} = \frac{\Delta f}{f}$

. Si $\frac{|\Delta f|}{f} \leq 1\%$ le diamètre choisi est correct

. si $\frac{|\Delta f|}{f} > 1\%$ remplacer f par f' et retourner à l'étape ii).

Les différentes itérations effectuées ont abouti à $D = 100$ mm

4.4 - UTILISATION DES POMPES DE DEPOTAGE COMME AGITATEUR (ou pompage en circuit fermé)

Nous avons vu dans la partie concernant les accessoires (section 2.9) que pour éviter une décantation du produit, il fallait utiliser des agitateurs. Il existe une deuxième solution qui permet d'aboutir au même résultat. Il suffit, pour ce faire, de pomper du bac et de refouler dans le bac. Cette solution est plus économique dans une certaine mesure puisqu'elle évite l'installation d'agitateurs mécaniques qui sont des ensembles comprenant un moteur actionnant une hélice qui brasse le liquide. Les calculs effectués pour le montage montré à la fig. I.4.2 nous permettent de conclure que la puissance de chaque pompe est suffisante pour assurer ce pompage en circuit fermé (il s'agit bien de la puissance utile calculée dans la section 4.2).

4.5 - VIDANGE DE LA CUVETTE DE RÉTENTION EN CAS DE PLUIE ET/OU DE DOMMAGE DU RÉSERVOIR

La méthode la plus efficace pour vidanger la cuvette en cas de dommage du réservoir et utilisée au niveau des raffineries est l'usage d'un bassin central appelé Bassin API. Ce bassin API fonctionne comme suit :

- toute fuite observée au niveau d'un réservoir quelconque est canalisée directement vers le bassin qui est muni d'une pompe actionnée par un flotteur. Si le niveau du liquide emmagasiné dépasse une certaine limite la pompe entre en marche et évacue son contenu vers un réservoir de pétrole brut. Pour notre cas cela n'est pas possible puisque le stockage se fait dans un seul réservoir. La solution (*) de moindre mal consistera à évacuer une partie du contenu de la cuvette vers les cuves de l'atelier d'extraction, une autre partie pourrait être rechargée dans les camions-citernes (**), le reste puisqu'il en restera toujours, sera couverte d'une couche de mousse pour éviter une inflammation éventuelle. Notons aussi qu'une évaporation excessive de l'hexane n'a pas seulement comme inconvénient l'augmentation du risque d'incendie, il y a aussi que le produit est très toxique pour l'être humain (la concentration admissible de ce produit aux postes de travail est de 100 PP m , soit 360 mg/m^3 (***)). L'hexane étant très volatile, il serait donc très dangereux qu'il soit exposé à l'air libre pour un temps assez long.

Pour drainer une partie du produit vers les cuves, il sera plus convenable d'utiliser une conduite d'un assez grand diamètre pour qu'elle ne puisse au moment de l'évacuation du produit être bouchée par les matières solides en suspension. Avec une conduite de diamètre DN150 le produit pourra couler par gravité du fait de la différence d'altitude de trois mètres (3 m).

En cas de pluie uniquement, des canalisations faites au niveau de la cuvette du côté le plus incliné et qui en temps normal devront être bouchées, seront ouvertes pour drainer l'eau vers l'extérieur de celle-ci. On s'assurera au préalable qu'il n'y a pas d'hexane dans la cuvette susceptible d'être véhiculé vers l'extérieur (réseau d'égout de l'usine) par l'eau. (voir aussi le chapitre III sur la cuvette).

Nota : (*) Il existe une autre solution plus efficace qui consiste à faire un stockage avec deux réservoirs de capacités unitaires égales à la moitié de celle du bac qui fait l'objet de cette étude. En dehors du fait qu'elle réduit le risque en cas de dommage d'un réservoir, il y a beaucoup d'autres avantages concernant la sécurité incendie, la facilité d'homogénéisation du produit avant le chargement des camions-citerne, la réduction des dimensions de la cuvette. Au niveau du coût la différence si elle existe n'est pas très appréciable, et cette différence n'est pas forcément à l'avantage du réservoir unique. Cette solution n'a pas été approfondie dans cette étude, cependant quelques calculs comparatifs effectués donnent des résultats qui militent en sa faveur. Il s'agit notamment de :

- la diminution très nette des débits d'eau du réseau incendie
- l'augmentation du facteur de sécurité de la robe qui avec une hauteur plus faible aura les mêmes épaisseurs de viroles
- des dimensions exigées de la cuvette qui vont baisser de moitié
- etc.

(**) En cas de non coupure du courant électrique, sinon les pompes ne pourront pas fonctionner.

(***) Tiré de "Manuel pratique du génie climatique", Recknagel Sprenger, PYC Edition, 1980, page 53

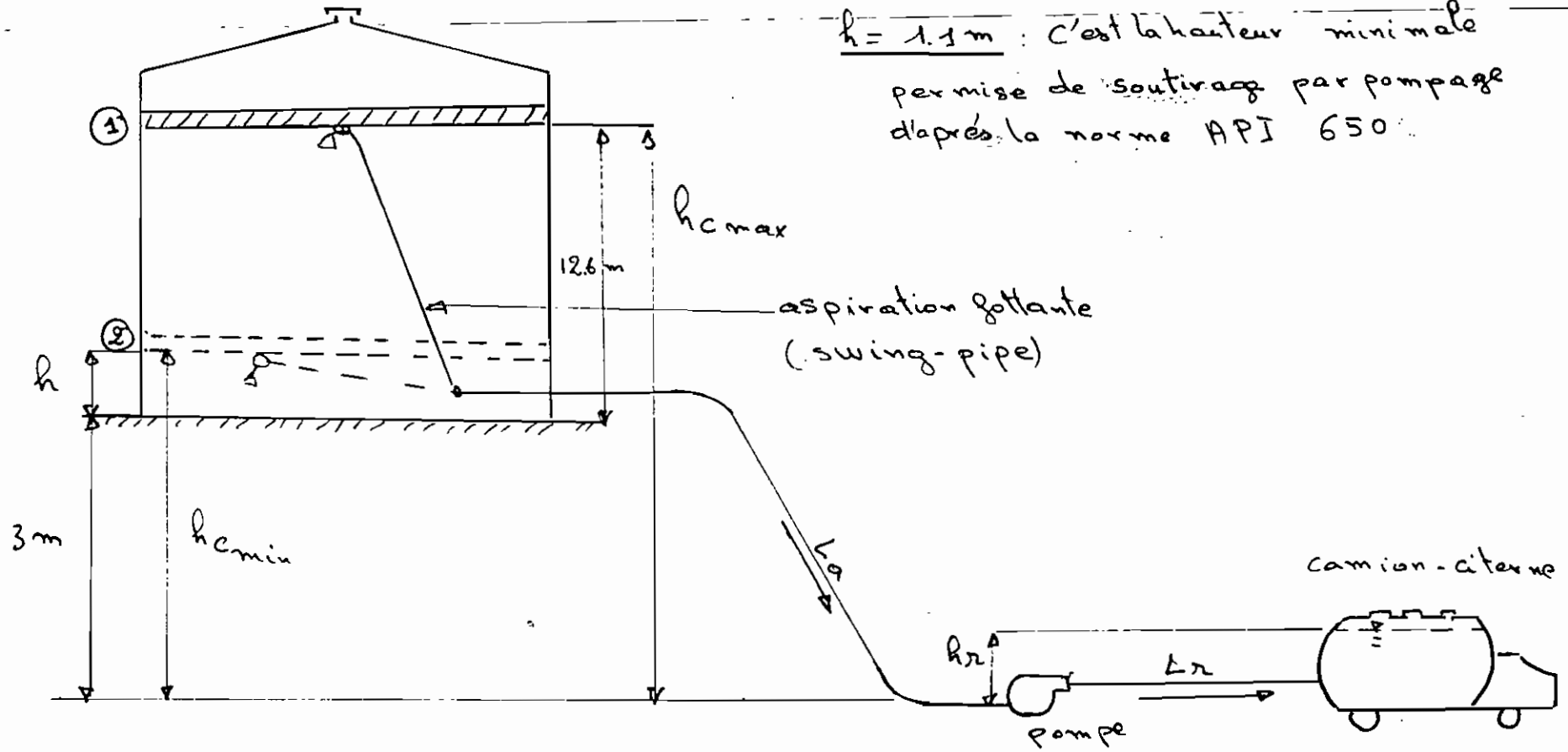


figure I-4.2 : schéma de l'installation de pompage de l'hexane

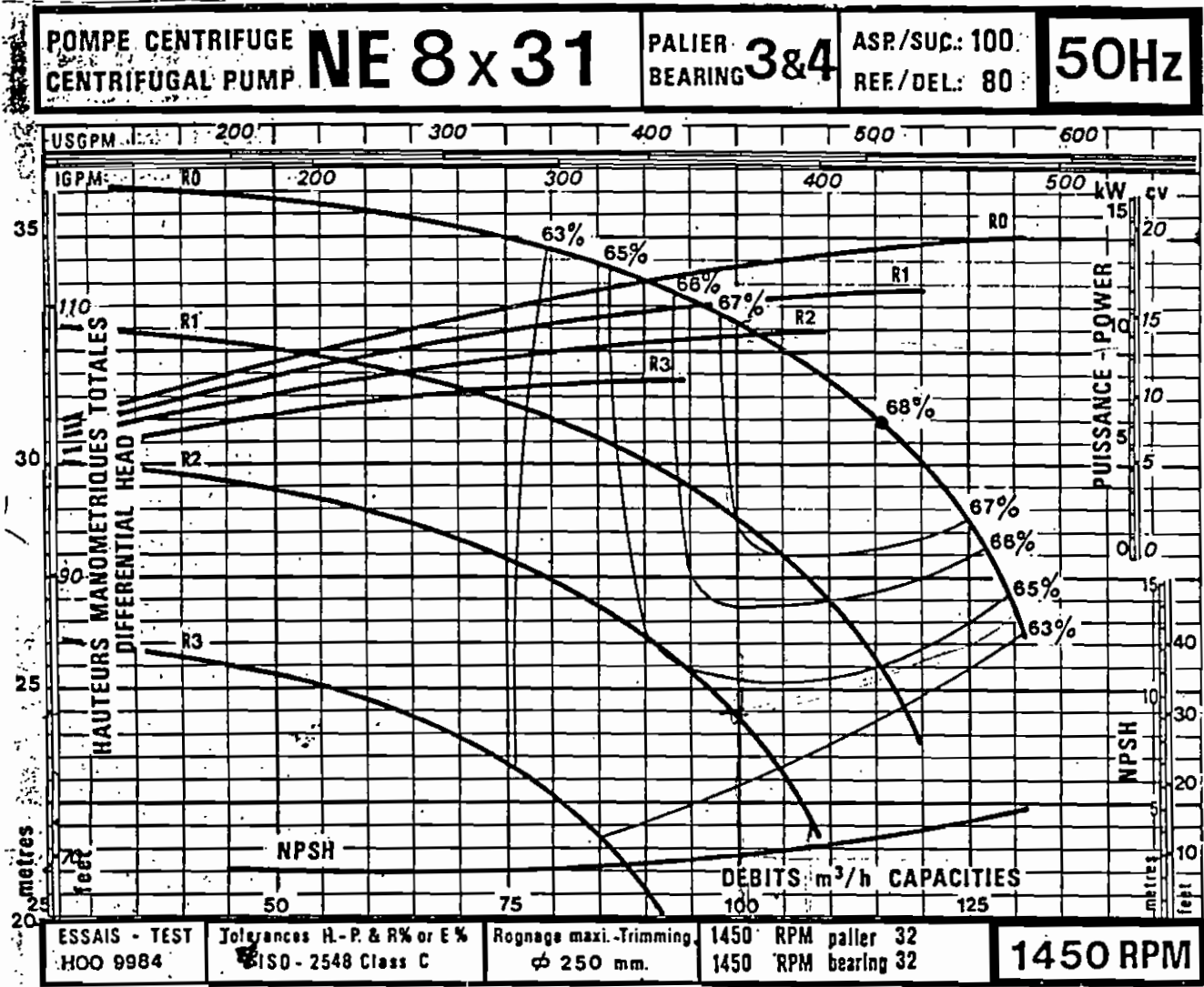


Figure I.4.3 : choix des pompes d'hexane : caractéristiques des pompes centrifuges : pompes GUI-NARD NE 8 x 31 .

Tableau I - 4 - 4 : Diamètres disponibles actuellement
sur le marché selon "Brossette"-tubes
API 5 L

DN		Série(Schedule)	
pouces	mm	Standard (40)	Extra-fort (80)
1/2	15	-	+
3/4	20	-	+
1	25	-	+
1 1/2	40	-	+
2	50	+	-
3	80	+	-
4	100	+	-
6	150	+	-
8	200	+	-

+ = Disponible

- = Non disponible en stock

4.6 - DETERMINATION DU NOMBRE DE SUPPORTS EN BETON POUR LA TUYAU- TERIE AERIENNE D'HEXANE

Afin d'assurer une certaine horizontalité de la tuyauterie posée sur le sol, il convient d'utiliser des supports en béton dont le nombre est fonction de l'espacement ; ce dernier dépendant de la flèche admissible pour la tuyauterie.

4.6.1 - Calcul de la flèche pour un espacement donné (travée)

La fig. I.4.4 illustre le mode de chargement et la déformation de la conduite pleine de liquide.

- Les forces qui s'appliquent sont :

- . le poids propre de la conduite
- . le poids du liquide.

Pour un tube de 6" (DN150) API5L on a un poids unitaire de 28.23 kg/m soit 276.94 N/m.

Le poids de l'hexane est égal à :

$$\begin{aligned} 1 \times S \times \rho &= \pi \times \frac{D^2}{4} \times (1000 \times 0.68) \times 9.81 = \\ &= \pi \times \frac{0.154^2}{4} \times 680 \times 9.81 = 124.25 \text{ N/m} \end{aligned}$$

Le chargement de la conduite

$$w = 276.94 + 124.25 = 401.2 \text{ N/m}$$

En utilisant la méthode des déplacements et la méthode de superposition on trouve la flèche maximale entre les appuis (entre 2 appuis quelconques). Cette méthode étant extrêmement longue et fastidieuse (calcul par ordinateur) si le nombre d'appuis est élevé, nous avons utilisé la méthode de la flèche maximale(*).

La flèche trouvée sera supérieure à la flèche réelle et permet d'être plus sécuritaire même si cela augmente le nombre d'appuis.

La flèche maximale f sera donc

$$f = \frac{5 w L^4}{384 E I} \quad (**) \quad (4.5.1)$$

où w = charge uniforme = $401.2 \cdot 10^{-3}$ N/mm

E = module d'élasticité = $200 \cdot 10^3$ N/mm²

I = moment d'inertie de la section de la conduite par rapport à l'axe xx' (cf fig. I.4.5) (mm^4)

L = travée (ou distance entre les deux appuis) (mm)

. Les itérations effectuées donnent pour $L = 5000$ mm une flèche maximale de 1.39 mm (acceptable).

La distance entre deux appuis quelconques sera donc

$$L = 5 \text{ mètres}$$

Cette distance nous permet, en connaissant la longueur totale de la conduite à supporter, de déterminer le nombre d'appuis nécessaires.

Nota : (*) On considère que pour chaque travée, la conduite fléchie comme si elle était posée sur deux appuis simples uniquement.

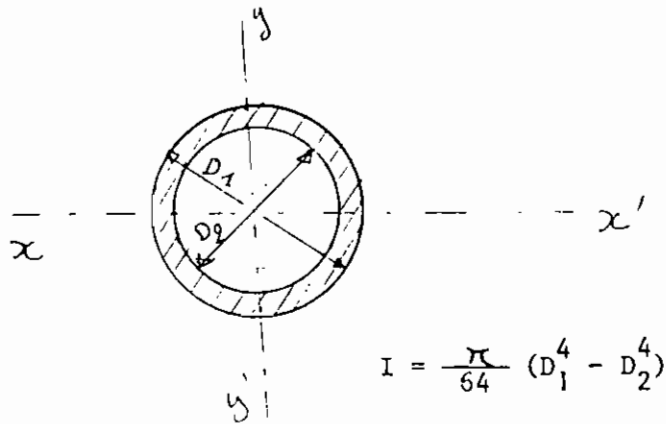
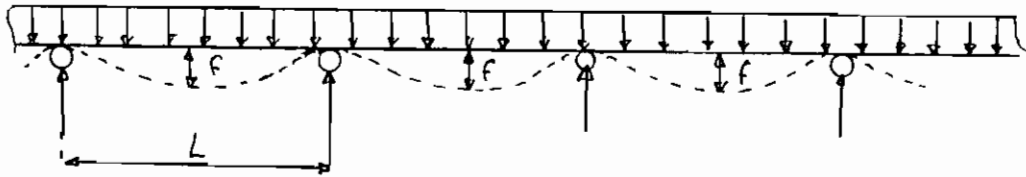
(**) cf "mécanique des matériaux" Ch. Massonnet et S. Cescoto.

4.6.2 - Nombre d'appuis

La longueur de la conduite aérienne est d'environ 1200 mètres.
Le nombre d'appuis sera donc :

$$n = \frac{1200}{5} = 240$$

Figure I.4.4 Schéma du mode de sollicitation de la conduite



$$I = \frac{\pi}{64} (D_1^4 - D_2^4)$$

Figure I.4.5 Calcul du moment d'inertie de la section du tube par rapport à xx'

PROTECTION CONTRE L'INCENDIE (*)

5.1 - DISTRIBUTION D'EAU ET/OU DE MOUSSE

5.1.1 - Bilan des débits d'eau (**)

5.1.1.1 - Au niveau des réservoirs

Le débit total au niveau du réservoir est le résultat de la somme suivante :

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad \text{m}^3/\text{h}$$

où

Q = débit total nécessaire au niveau du réservoir en m^3/h

Q_1 = débit d'arrosage du réservoir supposé en feu en m^3/h

Q_2 = débit d'arrosage du réservoir voisin en m^3/h

Q_3 = débit d'eau pour la mousse en m^3/h

$Q_1 = 15 \text{ l/mn/mètre de circonférence du bac.}$

Pour $D = 16 \text{ m}$ $Q_1 = 45.23 \text{ m}^3/\text{h}$ (par le calcul)

Les courbes Q VS D donnent $Q_1 = 47 \text{ m}^3/\text{h}$ valeur que nous avons utilisée pour la suite des calculs.

$Q_2 = 0$ puisqu'il n'y a pas de réservoir voisin pour cette étude.

$Q_3 = 43 \text{ m}^3/\text{h}$ pour $D = 16 \text{ m}$

d'où $Q = 90 \text{ m}^3/\text{h}$.

Nota : (*) Voir les précisions de la section 5.3

(**) Selon les R G 32-04 : "dispositif de protection contre l'incendie et R G 32-01 "installations fixes de protection et de lutte contre l'incendie".

5.1.1.2 - Au niveau de la cuvette de rétention

Le débit de mousse sera :

$$Q'_c = 15 \text{ cm de mousse en } 30 \text{ mm}$$

Avec une cuvette de 1.5 m de haut(*) nous aurons une surface minimale de $\frac{2500}{1.5} = 1666.67 \text{ m}^2$ ce qui correspond à $500 \text{ m}^3/\text{h}$ de mousse.

En tenant compte du foisonnement qui est de 6 on obtient le débit de prémélange $Q''_c = 83.33 \text{ m}^3/\text{h}$.

Le prémélange contient 3 % d'émulsifiant donc il faut un débit d'eau

$$Q_c = 83.33 \times 0.97 = 81 \text{ m}^3/\text{h}$$

5.1.1.3 - Alimentation des lances autour de la cuvette (**)

La cuvette doit être ceinturée par des poteaux d'incendie pour alimenter les lances d'eau en cas d'incendie. Si les lances doivent fonctionner en même temps que les autres appareils, il convient d'en tenir compte dans le débit global. Selon les normes il nous faudrait un minimum de trois poteaux d'incendie autour de la cuvette dont nous disposerons, pouvant alimenter les lances de $54 \text{ m}^3/\text{h}$ de capacités nominales. D'où un débit total de $3 \times 54 = 162 \text{ m}^3/\text{h}$.

5.1.1.4 - Alimentation du poste de dépotage

Vue les dimensions réduites du dépotage une bouche d'incendie pouvant alimenter une lance de $54 \text{ m}^3/\text{h}$ est jugée suffisante.

Nota : (*) La profondeur réelle est de 1.8 m mais pour que le liquide n'atteigne pas les bords de la cuvette en cas de dommage du réservoir, les dimensions de celle-ci sont telles que le niveau maximum soit à 1.5 m du fond.

(**) Cf plan N° 2SI

5.1.1.5 - Alimentation du poste de pompage pour eau incendie

Pour la protection des pompes contre l'incendie il faudrait pouvoir assurer une production de 20 cm de mousse en 10 mn. Pour une surface d'environ $6 \times 5 = 30 \text{ m}^2$ le débit de mousse nécessaire est de $36 \text{ m}^3/\text{h}$ au foisonnement 6; soit un débit de prémélange de $6 \text{ m}^3/\text{h}$ d'où un besoin en eau de $5.7 \text{ m}^3/\text{h}$ (0.97×6).

5.1.1.6 - Alimentation du dépotage en mousse

A cause des fuites du produit qui se déverse sur le sol, il est prévu de répandre de la mousse sur le sol en cas d'incendie. Le débit est de 20 cm de mousse en 10 mn. Pour une surface d'environ 200 m^2 (10×20) le débit de mousse correspondant est $200 \times 0.2 \times 6 = 240 \text{ m}^3/\text{h}$ au foisonnement 6 avec un pourcentage d'émulsifiant égale à 3 %. Le débit d'eau nécessaire sera donc de $38.8 \text{ m}^3/\text{h}$.

5.1.1.7 - Besoin total en eau

En supposant que tous les postes d'eau et de distribution de mousse fonctionnent simultanément (cas limite), le besoin total en eau sera :

$$Q_{\max} = (47 + 43) + 81 + 162 + 54 + 57 + 38.8 = 431.5 \text{ m}^3/\text{h} \quad (*)$$

c'est le débit que doit fournir les pompes d'eau pour l'incendie.

Nota : (*) Avec deux réservoirs d'hexane de 1220 m^3 chacun, le besoin en eau pour l'incendie passe de 431.5 à $342 \text{ m}^3/\text{h}$

5.1.2 - Bilan des débits d'émulsifiant

L'émulsifiant est un liquide assez visqueux qui, mélangé avec de l'eau sous un certain rapport, permet d'obtenir de la mousse qui absorbe l'oxygène de l'atmosphère en feu afin d'arrêter la progression des flammes. Pour les différents postes devant être alimentés en mousse, les débits d'émulsifiant sont les suivants :

. Pour le réservoir

$$Q_R = Q_3 \times 0.03 = 43 \times 0.03 = 1.29 \text{ m}^3/\text{h}$$

. Pour la cuvette de retention

$$Q_{cu} = 83.33 \times 0.03 = 2.5 \text{ m}^3/\text{h}$$

. Pour le dépotage

$$Q_d = 40 \times 0.03 = 1.2 \text{ m}^3/\text{h}$$

. Pour le poste de pompage eau incendie

$$Q_p = 6 \times 0.03 = 0.18 \text{ m}^3/\text{h}$$

. Débit total pour la même hypothèse que celle du sous paragraphe 5.1.1.7

$$Q_{max} = 1.29 + 2.5 + 0.18 + 1.2 = 5.17 \text{ m}^3/\text{h}$$

5.1.3 - Calcul des diamètres de la tuyauterie incendie

Les calculs effectués pour la détermination des diamètres de la tuyauterie sont basés sur les règles générales RG32-04 classe Y qui sont conformes aux exigences du TITRE V des "Arrêtés Ministériels . Relatifs aux Règles d'Aménagements et d'Exploitation des Dépôts d'Hydrocarbures Liquides" lequel titre est intitulé "Protection Contre l'Incendie". (*)

Il s'agit principalement de calculs de pertes de charges qui constituent l'élément fondamental dans le choix des diamètres des conduites d'eau ou de prémélange. En fait il ne s'agit pas uniquement de pouvoir disposer de l'eau ou du prémélange au poste voulu,

il s'agit aussi et surtout de les avoir à des pressions bien déterminées. Le minimum à ne pas manquer est 9 bars(**) pour l'eau, au poste le plus défavorisé. Au niveau de la couronne d'arrosage du bac il faut une valeur minimale de 4 bars pour actionner les pulvérisateurs dont la pression de fonctionnement est de 3.5 bars. Ces calculs étant indentiques à ceux de la section 4.1, il ne sera présenté ici que les tableaux de résultats. La valeur minimale de la pression au poste le plus défavorisé (dernier pulvérisateur) est de l'ordre de 8.8 bars pour une pression de refoulement de 13 ou 14 bars d'après nos calculs.

5.1.4 - Choix des pompes

La hauteur énergétique totale de pompes est à 144.55 m d'eau pour une hauteur de refoulement de 14 bars. La puissance utile totale sera :

$$P_u = \frac{9.81 \times Q \times l \times 144.5}{3600} = 170 \text{ kw}$$

Le $NPSH_{disp} = 5.8$ m d'eau cette valeur assez faible du $NPSH_{disp}$ est due au débit assez important qui engendre beaucoup de pertes à l'aspiration qui est constituée par une conduite qui du reste est assez longue (205 m).

Si on tient compte du fait que le coefficient de simultanéité de fonctionnement de tous les postes est en réalité inférieur à l'unité, on peut dire que le $NPSH_{disp}$ réel est bien supérieur à 5.8 m d'eau. Il s'agira surtout de choisir une pompe ayant une faible $NPSH_{requis}$.

Avec deux groupes moto-pompe de 200 m³/h chacun les besoins en eau pour l'incendie peuvent être couverts sans difficultés.

Le type de moto-pompe indiqué est le NIR 12 x 35 ; 2 étages 2000 RPM (pompe GUINARD). 250 m³/h, 14 bars (cf fig. I.5.1)

Nota : (*) Arrêté du 19 novembre 1975, J.O. du 23 janvier 1976.

(**) Dans les réseaux d'incendie de grandes dimensions tels ceux des raffineries de pétrole, il est obligatoire de disposer d'une pompe de maintien en pression commandé par un pressostat. Cette pompe fonctionne uniquement quand la pression du réseau baisse jusqu'à une certaine limite (6 bars), elle s'arrête automatiquement quand la valeur de 9 bars est atteinte.

Tableau I - 5 - 1

Réseau d'eau incendie : Conduites de refoulement des pompes

Tronçon	Q_3 m ³ /n	∅ Conduite DN (mm)	V m/s	f	L ~ Réelle (m)	J _{tot} (*) (mce)	
Pompe-cuvette de retention	302	150	4,5	0,0165	70	27	
Cuvette - bac hexane	47	80	2,73	0,0205	25	6	
Montée unique	47	80	2,73	0,0205	12	12,41	
Couronne d'arrosage	23,5	80	1,366	0,0225	25	0,722	
Alimentation dépotage distance	bouche d'incendie						
Alimentation poteaux (prise) d'incendie au- tour de la cuvette	Branche 1	54	100	1,83	0,0206	45	1,9
	Branche 2	105 puis 54	180	3,66 puis 1,83	0,0185 puis 0,0206	5 puis 62	3,5

Tableau I - 5 - 2 : Distribution du prémélange depuis le proportionneur

Tronçon	$Q_{3/n}$ m ³ /n	Ø Conduite DN (mm)	V (ms ⁻¹)	f	L réelle 2 (m)	J _{tot} (*) (mcB)
Pomperie-cuvette de rétention	43	100	1.52	0.021	63	2.5
Montée double	21.5	50	3.04	0.0222	12.4	15
Alimentation générateurs de mousse autour de la cuvette	41.67	100	1.416	0.0205	40	09
Alimentation depotage	40	80	2.32	0.021	10	0.74
Pomperie incendie (arrosage de protection des pompes)	5.7	32	1.85	0.0265	10	2.52

(*) J_{total} tient compte des pertes secondaires et de la différence d'altitudes non figurées dans ce tableau

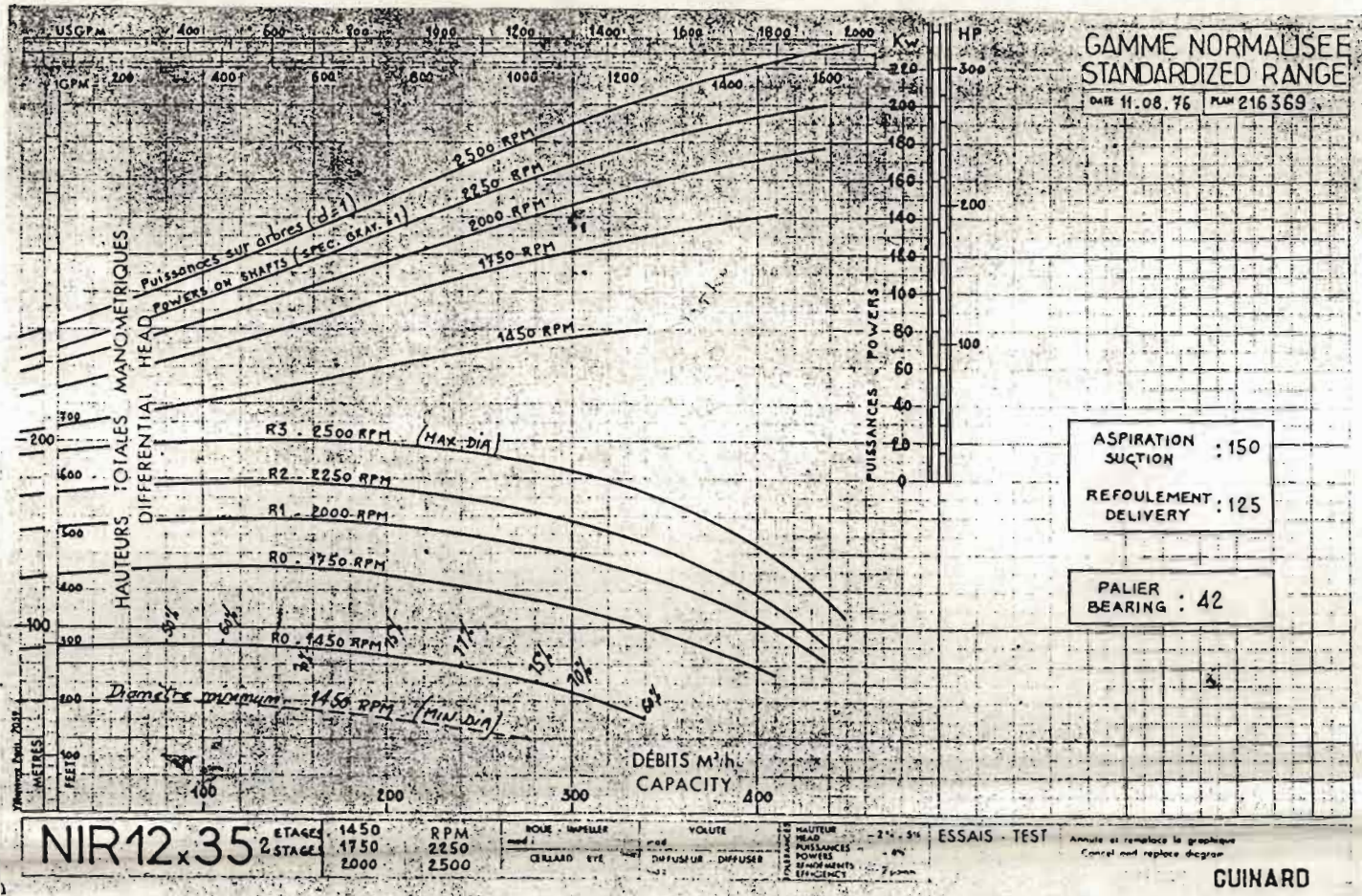
Tableau I - 5 - 3

Conduites d'aspiration d'eau et d'émulsifiant

<u>E A U</u>						
Tronçon	Q_3 (m^3/h)	Ø Conduite DN (mm)	v (ms^{-1})	f	L réelle ~ (m)	J_{tot} (*) (mcE)
1	432	250	2.44	0.015	150	13.16
2	432	200	3.82	0.0165	55	
<u>E M U L S I F I A N T</u>						
Cuve-proportionneur	5.3	80	0.308	0.532	3.5	0.12 (*) (mc Emul- sifiant)

(*) - mètre colonne d'eau (m c E)
 - mètre colonne d'émulsifiant mcEmulsifiant

Figure I.5.1 Choix des pompes d'eau incendie : courbes caractéristiques des pompes GUINARD NIR 12 x 35



Cela permet de pouvoir disposer de l'eau sous pressions le plus rapidement possible. Dans notre cas cette pompe n'est pas nécessaire cependant, dans le dimensionnement des installations électriques nous l'inclurons pour plus de sécurité même si de notre avis elle ne sera pas installée.

5.2 - REPARTITION DES EXTINCTEURS

En plus de l'eau et de la mousse les normes prévoient des extincteurs à certains points stratégiques de l'installation. Les types qui sont utilisés sont :

- les extincteurs en poudre de 8, 10, 50, 100, 150 et 250 kg
- les extincteurs au CO₂ de 2,6 et 30 kg
- les extincteurs à eau.

Les postes qui seront pourvus pour notre installation devront uniquement disposer d'extincteurs en poudre.

Il sera prévu aussi une réserve minimale pour chaque catégorie de poids.

Le tableau I.5.4 donne la répartition de ces extincteurs.

Tableau I.5.4 Répartition des extincteurs sur les différents postes de l'installation.

Poste à garnir	extincteurs à poudre de			
	8ou10kg(*)	50kg	100kg	150kg
Pomperie hexane (**)	1	1		1
(*) Poste de chargement camions	2		11	
Pompes eau-incendie avec moteur thermique	4	1		
Cuvette de réservoir	2			
Réserve mini	6	1	1	
Total	15	3	2	1

Nota (*) Pour ce cas-ci il s'agit d'extincteur de 10 kg ; les extincteurs de 8 kg n'étant pas disponible immédiatement sur le marché selon les informations fournies par Peyrissac.

(**) Le nombre d'extincteurs pour ces postes est plus bas que ce qui est prévu par les "Règles Générales" du fait des dimensions très réduites de l'installation par rapport au cas des raffineries de pétroles.

5.3 - PRECISIONS A PROPOS DE CERTAINS CHOIX FAITS DANS CERTAINES PARTIES DE CETTE ETUDE

Il nous semble nécessaire de préciser au lecteur de ce rapport que les calculs effectués tout au long de cette étude sont quasiment basés sur les "Arrêtés ministériels relatifs aux règles d'aménagement et d'exploitation des dépôts d'hydrocarbures liquides". Ces règles étant élaborés pour des dépôts assez importants des raffineries de pétrole ou des compagnies de commerce de produits pétroliers, le stockage à l'échelle unitaire comme c'est le cas ici n'est pratiquement pas prévu ou du moins sur certains points. Cela fait que dans certaines situations (comme le cas des extincteurs) soit on considère les minimas prescrits dans ces arrêtés, et donc on surdimensionne l'élément en question affectant ainsi les coûts de réalisation du projet ; soit on fait une extrapolation, ce qui aboutit à des résultats qui courent le risque d'être hors-normes.

Pour cette étude nous avons respectés les normes partout où cela s'imposait. Les points où les minimas n'ont pas été respectés sont uniquement ceux qui concernent les extincteurs et quelques rares points dont l'importance n'est pas de premier ordre. Les écarts ne sont cependant pas assez importants et les facteurs de sécurité sont toujours raisonnables.

CHAPITRE VI

PEINTURE

Les besoins en peinture dépendent des paramètres suivants :

- la surface à protéger
- l'épaisseur de la couche de peinture
- caractéristiques physiques de la peinture : densité, rendement au litre...

6.1 - CALCUL DES SURFACES

1) Pour la robe : la surface extérieure totale est égale à la surface intérieure $S_R = \pi DH = 634 \text{ m}^2$

2) Pour le toit : la surface de toit $S_T = \pi R \sqrt{R^2 + h^2}$

$R = \text{rayon de base} = \frac{D}{2} = 8 \text{ mètres}$

h est fonction de la pente du toit ; pour une pente de $\frac{1}{3}$ on aura pour $R = 8 \text{ m}$: $h = 2.67 \text{ m}$ d'où $S_T = 212 \text{ m}^2$ (*)

3) Pour le fond : avec une pente de 12 mm/m on trouve :

$$S_{\text{fond}} = 201 \text{ m}^2 (*)$$

4) Tuyauterie incendie (pose aérienne) total estimé à 197 m^2

6.2 - CALCUL DES BESOINS

Conformément aux exigences des normes et des "Règles Générales d'Etude et de Construction des réservoirs", les épaisseurs des couches de peinture sont les suivantes :

- . Couche primaire : $40 \mu\text{m} \cdot \text{sec}$; (min $35 \mu\text{m} \cdot \text{sec}$)
- . Couche intermédiaire : $40 \mu\text{m} \cdot \text{sec}$; "
- . Couche de finition : $30 \mu\text{m} \cdot \text{sec}$; (min $20 \mu\text{m} \cdot \text{sec}$)

- $1 \mu\text{m} \cdot \text{sec}$ = épaisseur d'une couche de peinture valant $1 \mu\text{m}$ quand le film est mesuré après séchage.

Nota :

(*) Ces valeurs concernent une seule face pour chaque toit. Pour le toit flottant $S_{TF} = 2 \times 201$

6.3 - NATURE DE LA PEINTURE

Elle dépend de la partie à protéger et de la position de la couche (primaire, secondaire, finition). Les types indiqués et retenus pour nos besoins sont présentés au tableau I.6.1.

Tableau I.6.1 : Types de peintures à utiliser (*)

Désignation	Densité	Rendement pour 50 $\mu\text{m sec}$ $9\text{m}^2/1$	Utilisation
DEVTRAN 201 Vert	1.34 \pm 0.03	9	Couche primaire (toit, robe)
DEVTRAN 204	1.34	9	Couche intermédiaire (toit, robe)
DEVTRAN 215	1.34	9	Finition extérieure
DEVTRAN 229	1.18 \pm 0.03	9	Finition extérieure
VIGOR BUTIME Noir	-	5 m^2/kg	Fond du bac

(*) Source d'information : La Seigneurie Afrique

Tableau I - 6 - 2 :

Répartition des besoins en peinture .

Désignation (et surface par couche)	Face intérieure						Face extérieure					
	Couche Primaire P		Couche Intermédiaire I		Couche de définition F		Couche P		Couche I		Couche F	
	V (1)	W (kg)	V (1)	W (kg)	V (1)	W (kg)	V (1)	W (kg)	V (1)	W (kg)	V (1)	W (kg)
Robe (634 m ²)	56.36	77.2	56.36	77.2	42.27	57	56.36	77.2	56.36	77.2	42.27	51.14
Toit	35.825	49.07	35.825	49.07	26.87	36.23	35.827	49.07	35.825	49.07	26.87	32.51
Fond (402 m ²)	35.74	48.95	35.74	48.95	28.80	36.14	35.74	48.95	35.74	48.95	28.80	36.14
Tuyauterie (197 m ²)	-	-	-	-	-	-	17.5	24.0	17.5	24.0	13.13	16.0

Tableau I - 6 - 3 : Besoins totaux en peinture.

Destination	P (*)		I (*)		F ₁ (**) F (---) F ₂	
	V _T (1)	W _T (kg)	V _T (1)	W _T (kg)	V _T (1)	W _T (kg)
Robe	113	154.4	113	154.4	42.27 ----- 42.27	57 ----- 51.14
Toit fixe	78.83	98.144	71.65	98.14	26.87 ----- 26.87	36.23 ----- 32.51
Toit flottant (écran)	71.48	97.9	71.48	97.9	57.6 ----- 0	72.28 ----- 0
Fond	-	(40.2)	-	(40.2)	-	(40.2)
Tuyauterie	17.5	24	17.5	24	0 ----- 13.13	0 ----- 16.0
Total couches P et I	281	375 + (40.2)	281	375 + (40.2)		
Total F ₁					127	166 + (40.2)
Finition F ₂					82.3	100 + (40.2)

(*) P = Couche primaire ép 40 μ m sec
 I = Couche intermédiaire
 F = Couche de finition (en F₁ ou F₂) 30 μm :
 . F₁ pour faces intérieures (toit robe)
 . F₂ " " extérieures (" ")

(**) Lire F₁ au-dessus des pointillés et F₂ en dessous.

CHAPITRE V.I.I

ELECTRICITE

7.1 - ESTIMATION DE LA PUISSANCE A INSTALLER

Cette étape qui est la première dans l'étude d'une installation électrique permet en général de déterminer la puissance du transformateur qui convient le mieux pour les besoins immédiats et futurs (si on envisage une évolution de la demande en énergie électrique). Pour ce cas bien précis il ne s'agira pas de dimensionner un transformateur de branchement mais de voir surtout si la disponibilité d'un transformateur existant dans les lieux est suffisante pour satisfaire nos besoins. L'estimation que nous avons faite est présentée au tableau I.7.1.

Notations

P = puissance installée en kw ; c'est la puissance nominale de l'appareil concerné

$P_{u\max}$ = puissance d'utilisation maximale en kw

$k_{u\max}$ = facteur d'utilisation maximale ; il est en général inférieur ou égal à l'unité, il est supérieur à un si le récepteur est surchargé

$k_{s1,2,3}$ = facteur de simultanéité du premier, deuxième et troisième niveau.

Le premier niveau concerne des récepteurs d'un même atelier et à peu près identiques.

Le deuxième niveau concerne l'ensemble des récepteurs d'un même atelier.

Le troisième niveau concerne l'ensemble des ateliers.

Les puissances P_{u1} , P_{u2} , P_{u3} sont les puissances résultant des effets de simultanéité cités ci-haut.

T_2 représente ici le transformateur de tension BT/BT, il permet d'abaisser la tension de 380 à 220 V pour l'éclairage et les prises de courant. Sa présence se justifie par le régime du neutre. Pour tenir compte des possibilités d'extension on a majoré la valeur de la

puissance estimée pour l'éclairage de 40 % environ. (cf tableau I.7.1)

$$P_{T_2} = 1.4 \times \frac{7.2}{\cos\varphi} = 1.4 \times \frac{7.2}{0.8} = 12.6 \text{ kVA}$$

Le résultat de notre estimation montre que le transformateur existant est suffisant pour assurer la charge supplémentaire du stockage d'hexane. En effet, ce dernier a une puissance nominale de 630 kVA et alimentera l'atelier d'extraction dont la puissance est de 400 kVA. La puissance disponible, si on peut se permettre une sommation algébrique des voltampères est donc de 230 kVA. Le stockage d'hexane n'absorbera pas plus de 40 kVA car si on suppose une majoration de 40 % avec un $\cos\varphi = 0.8$ on aura une demande exacte de

$$\frac{19.8 \times 1.4}{0.8} = 34.65 \text{ kVA}$$

7.2 - CHOIX DU TYPE DE DISTRIBUTION

Comme le montre le schéma de la fig. I.7.1 l'installation comprendra deux branches principales:

- La première branche alimentera les moteurs sous une tension de 380 volts triphasé.
- La deuxième branche assurera l'éclairage sous 220 volts triphasé.

L'utilisation d'un transformateur BT/BT (380/220vV) se justifie par le fait que l'installation est à neutre impédant communément appelé schéma IT et dont la technique d'exploitation est la suivante :

- signalisation du premier défaut d'isolement ;
- recherche et élimination obligatoire du défaut ;
- coupure si deux défauts se produisent simultanément.

7.3 - LOCALISATION PHYSIQUE DES APPAREILS

Le schéma de la fig. I.7.2 donne un aperçu de la répartition spatiale des différents récepteurs à alimenter. L'idéal serait de placer le tableau de distribution et le transformateur 380/220 V au niveau du dépotage, mais à cause des risques d'incendie nous avons tout centralisé au niveau du local abritant les pompes incendie. Une simple cabine permettra d'isoler l'appareillage de commande et de protection par rapport à l'atmosphère ambiante où les vapeurs

Tableau I.7. Evaluation de la puissance de l'installation

Utilisation	P (kw)	K _u max	P ^u _{max} (kw)	K _{s1}	P ^{u1} (kw)	K _{s2}	P _{u2} (kw)	K _{s3}	P _{u3} (kw)	T ₂ (KVA)
Eclairage										
4 Fluos 2 x 40 w	0.432	1	0.432	1						
2 Fampes 1 x 60 w	0.120	1	0.180	1	4.904					
4 Projecteur 1 Kw	4x1.088	1	4.352	1		0.9	7.2			12.5
5 prises 10 A.	11	1	11	0.28	3.08					
Total éclairage	15.9							0.9	19.8	
Force motrices										
1 pompe de pression	5.5	1	5.5	1	5.5					
2 Pompes hexane	11	0.62	6.82	0.5	3.41	0.9	14.8			
2 agitateurs	8	0.84	6.72	1	6.72					
2 extracteurs d'air	1.1	0.7	0.75	1	0.75					
Total Force motrice	25.6									
Total global	41.5									

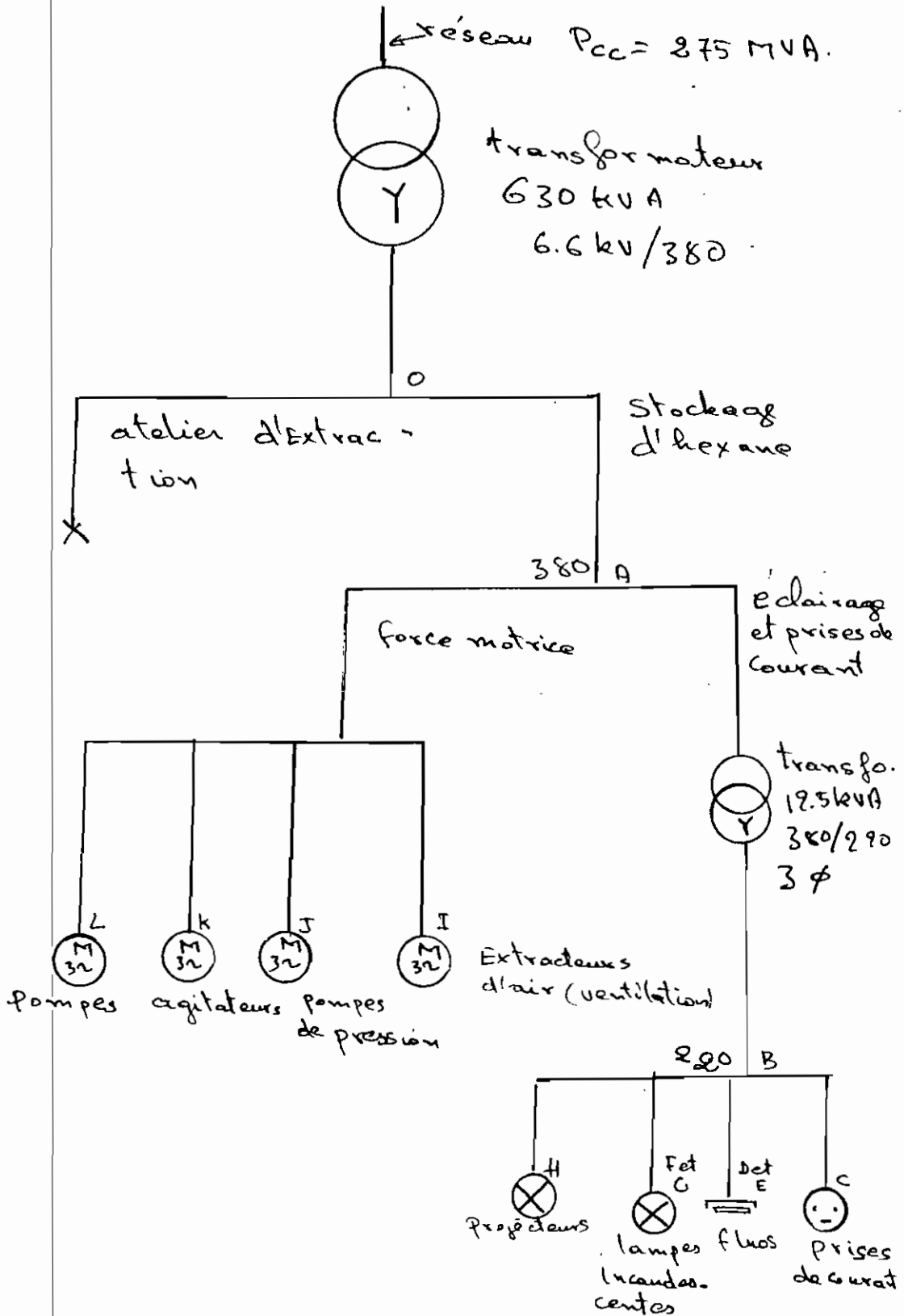
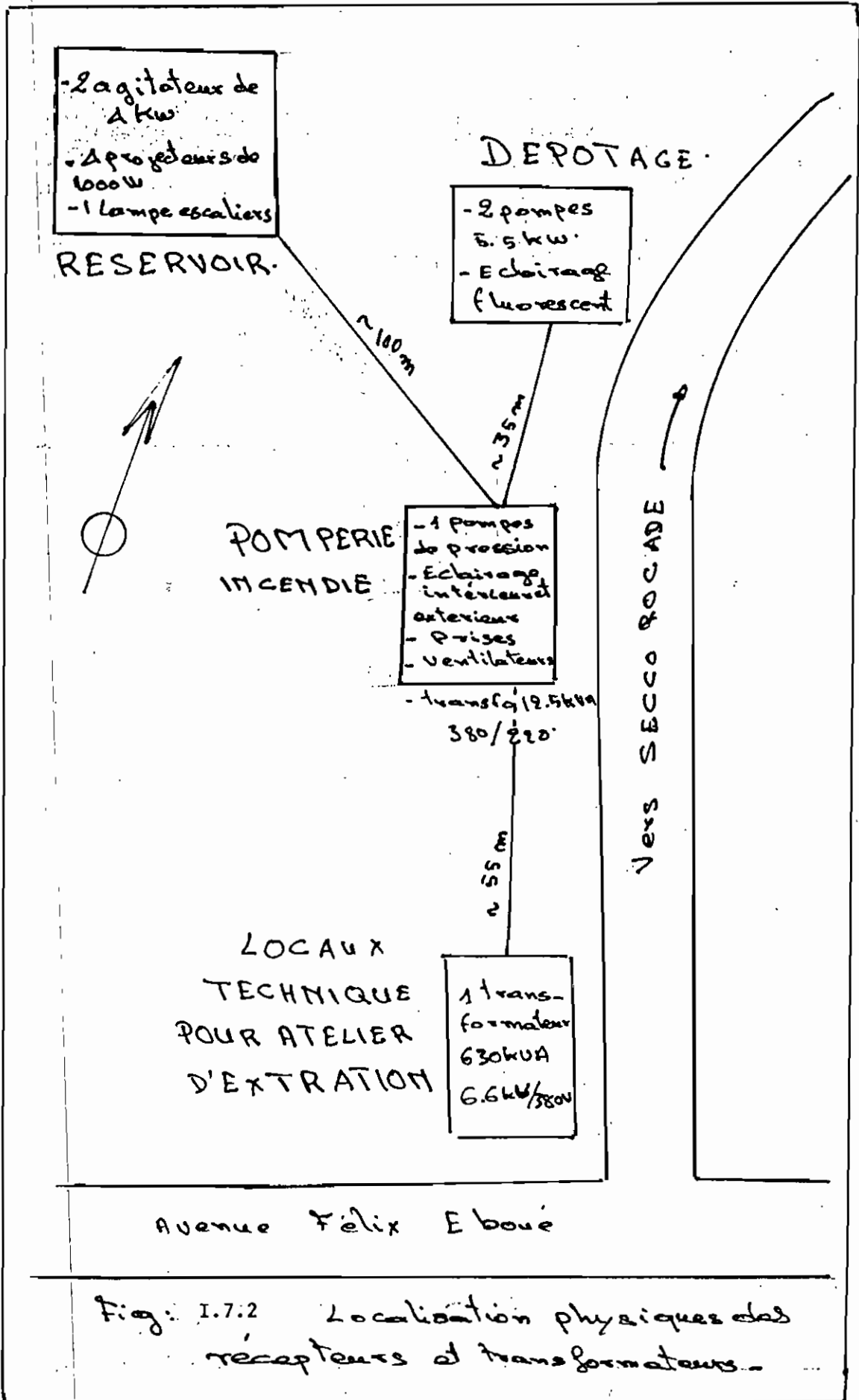


Figure I.7.1 : schéma de connexion au réseau. type radial.



d'hexane ne manqueront sûrement pas du fait de la proximité de l'atelier d'extraction et du dépotage.

7.4 - CANALISATIONS ELECTRIQUES(*)

7.4.1 - Courants d'emploi des câbles et récepteurs

Le courant d'emploi dans un câble ou d'un récepteur est obtenu par la formule suivante :

$$I_b = \frac{P_a}{k \times U \times \cos\varphi} \quad \text{A} \quad (7.4.1)$$

I_b = courant d'emploi en A

P_a = puissance absorbée ou transportée en w

k = facteur qui dépend du type de distribution (k=1) en monophasé, k = 3 en triphasé...)

φ = déphasage entre le courant et la tension en radians

U = tension d'alimentation en volts

Le courant d'emploi permet de dimensionner les conducteurs d'alimentation.

Le tableau I.7.2 donne les courants d'emploi des différents récepteurs utilisés dans notre installation. Les valeurs de P_n , I_n et η de ce tableau désignent respectivement :

- la puissance nominale du récepteur;
- l'intensité nominale;
- le rendement.

Nota : (*) Les calculs effectués dans cette partie sont basés principalement sur le Guide Merlin Gérin de l'installation électrique et des notes de cours du professeur Roger Martin, professeur à l'E.P.T.

Tableau I - 7 - 2 : Puissance et courants absorbés par les récepteurs.

Appareils	P_n (kw)	P_a (kw)	U (V)	I_n (A)	η	(1) $\cos \varphi$	I_b (2) (A)
Fluo 2 x 40 w	$80 \cdot 10^{-3}$	0.108	220	0.52		0.86	0.52
Lampe	$60 \cdot 6^{-3}$	$60 \cdot 10^{-3}$	220	0.273	1	1	0.273
Projecteur	1.000	1088	220	5.5			5.5
Prise	2.2	2.2	220	10			10
Pompe	55	6.6	380	11.8	0.63	0.85	118
Agitateur	4.0	3.36	"	8.6	0.83	0.82	5.105
Ventilateurs	0.55	0.8	"	1.58	0.7	0.75	0.44

- (1) Le $\cos \varphi$ considéré pour le calcul du courant I_b est celui qui correspond au régime normal.
- (2) I_b est le courant d'emploi, nous l'avons calculé à titre indicatif. Puisque tous les moteurs sont appelés à fonctionner en dessous de leur régime normal (nominal), la détermination des sections de câble en supposant les conditions nominales aboutit à un léger sur-dimensionnement qui augmente la marge de sécurité aux dépens des charges économiques. Puisque le réseau n'est pas très important cette supposition n'affectera pas les coûts de façon sensible.

7.4.2 - Détermination des sections de câbles

La section minimum que l'on doit utiliser est la plus grande des trois valeurs suivantes :

S_i = section due à l'intensité (en mm^2)

S_u = section due à la chute de tension (mm^2)

S_c = section fonction du courant de court-circuit (mm^2).

En basse tension les disjoncteurs sont suffisamment rapides pour que le calcul de S_c ne soit pas nécessaire.

7.4.2.1 - Calcul de S_i

S_i est obtenue (par lecture dans les tableaux) en connaissant le courant I_z qui est donné par la formule :

$$I_z = K \frac{I_r}{f} \quad \text{A} \quad (7.4.2)$$

où

K est fonction du type de protection (disjoncteur ou fusible)

f = facteur de déclassement global du aux effets de la température du milieu du type d'isolant, du mode de pose et du type de câble (unipolaire ou multipolaire)

I_r = calibre de la protection en A ($I_r \gg I_b$).

Le courant I_z doit être inférieur ou égal au courant admissible du câble I_{adm} (A).

L'intensité I_r d'un appareil de protection baisse quand la température du milieu où il est installé augmente, ce qui fait qu'on doit tenir compte de ce déclassement dans le choix des disjoncteurs et de leur courant de réglage I_r . (voir tableau 7.I.6)

7.4.2.2 - Calcul de S_u

La chute de tension dans un câble de longueur L (m) traversé par un courant I_b (A) est donnée par :

$$\Delta U = k I_b \times L (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (7.4.3)$$

ΔU = chute de tension en volts .

I_b = courant dans le câble en A

L = longueur du câble en m

R = résistance du conducteur en Ω

X = réactance du conducteur en Ω

φ = déphasage entre le courant et la tension (rad)

k = facteur dépendant du type de distribution

k = 2 en biphasé ou monophasé

= $\sqrt{3}$ en triphasé équilibré (entre phases)

= 1 en triphasé équilibré (entre phase et neutre).

Les catalogues des fabricants donnent toujours des tableaux qui permettent à partir de la chute de tension admissible, de la longueur du câble et de I_b de déterminer ΔU et S_u .

Pour notre cas nous partirons de S_i calculée à l'étape précédente, connaissant I_b , L, on peut connaître la chute de tension en service normal et/ou au démarrage (pour les moteurs). Cette chute sera comparée avec la valeur admissible.

Si $\Delta U > \Delta U$ admissible on change de section, la nouvelle section sera celle qui sera trouvée par la méthode des catalogues.

Si $\Delta U \leq \Delta U$ admissible on conserve S_i .

Signalons que ΔU admissible est :

. 8 % pour la force motrice;

. 6 % pour l'éclairage ;

pour notre cas.

7.4.2.3 - Câble de protection

Dans le régime à neutre isolé (IT) impédant la protection est assurée par un conducteur appelé conducteur PE. Dans un tel régime le câble PE a une section qui se calcule de la façon suivante :

. Cas général

$$S_{PE} = S_{phase} \quad \text{si } S_{phase} \leq 16 \text{ mm}^2 \quad (7.4.4)$$

C'est le bien le cas ici.

. Calcul économique

$$S_{PE} = \frac{I \sqrt{t}}{k} \quad (*) \quad (7.4.5)$$

Nous préférons ne pas expliciter cette formule puisque le calcul économique n'est applicable que pour les installations en schéma TT (neutre à la terre). Un tel calcul, donnant des sections trop faibles par rapport aux exigences d'impédance des boucles de défaut, est déconseillé en schéma IT.

. Lecture du tableau I.7.3

$L, I_b, I_r, I_s, S_i = S_{ph}; I_{adm}, \frac{\Delta U}{U}, S_u$ sont les valeurs définies antérieurement.

D = disjoncteur

F = fusible.

7.4.3 - Courants de court-circuit

Pour choisir les appareils de protection des différents circuits contre les surintensités, il faudrait envisager dans les différentes branches du système de distribution des court-circuits. Cela devra nous permettre de déterminer le mode de protection qui convient le mieux. Dans nos calculs, nous avons envisagé les cas les plus défavorables qu'on appelle court-circuit franc (ou court-circuit boulonné).

Les différentes étapes du calcul des courants de court-circuit peuvent être résumées comme suit :

. Détermination de l'impédance de court-circuit

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2} \quad (7.4.6)$$

Z_T = impédance de court-circuit (Ω)

R_T = résistance totale du tronçon (Ω)

X_T = réactance totale du tronçon (Ω)

(*) cf Guide Merlin Gérin, page 69

Le courant de court-circuit bouloonné

$$I_{cc\ tvi} = \frac{U_0}{\sqrt{3} Z_T} \quad A \quad (7.4.7)$$

U_0 = tension entre phases à vide (volts).

Une méthode plus rapide et que nous avons utilisée pour le calcul du court-circuit est celle dite des impédances relatives.

En partant d'une puissance arbitraire dite de base on calcule une impédance de base Z_b qui, divisant les impédances réelles pour une tension donnée, donne les impédances relatives. Ce sont :

Z_{pu} , X_{pu} et R_{pu} .

$$R_{pu} = \frac{R}{Z_b} \quad R = \text{résistance réelle } (\Omega) \quad (7.4.8)$$

$$X_{pu} = \frac{X}{Z_b} \quad X = \text{réactance réelle } (\Omega) \quad (7.4.9)$$

$$Z_{pu} = \sqrt{R_{pu}^2 + X_{pu}^2} = \frac{Z}{Z_b} \quad (7.4.10)$$

A partir de Z_{pu} on calcule la puissance de court-circuit au point considéré :

$$P_{cc} = \frac{\text{Puissance de base}}{Z_{pu}} \quad VA \quad (7.4.11)$$

L'intensité de court-circuit symétrique

$$I_{cc\ sy} = \frac{P_{cc}}{kU} \quad A \quad (7.4.12)$$

$k = \sqrt{3}$ en triphasé.

L'intensité de court-circuit de la crête asymétrique est :

$$I_{cc\ asy} = k' \sqrt{2} I_{cc\ sy} \quad A \quad (7.4.13)$$

où

k' est fonction du rapport $\frac{R}{X}$ du tronçon considéré ($1 \leq k' \leq 2$)

Indications

. Le tableau I.7.4 résume le calcul des impédances réelles et relatives.

. Le tableau I.7.5 résume le calcul des intensités de court-circuit.

Le schéma de la fig. I.7.3 illustre les impédances relatives des différents tronçons de l'installation.

7.5 - PROTECTIONS DES BIENS ET DES PERSONNES

Nous avons en gros trois (3) types de protection :

a) Protection des conducteurs contre les courants de surcharge et de court-circuit.

Ce type de protection est assuré par disjoncteur ou fusible. Si on a :

I_b = courant d'emploi ;

I_{adm} = courant admissible dans le conducteur .

le conducteur est protégé contre les surcharges si :

$I_b \leq I_r \leq I_{adm}$ où I_r est le courant de réglage de l'appareil de protection.

b) Si I_{cc} est le courant de court-circuit présumé dans le câble et P_{dc} le pouvoir de coupures de l'appareil de protection, le câble est à l'abri des courants de court-circuit si $P_{dc} > I_{cc}$.

c) Protection des personnes contre les contacts indirects.

Elle est assurée par l'utilisation de dispositifs différentiels à courant résiduel ou par un réglage convenable des déclencheurs magnétiques des disjoncteurs.

Lecture du tableau I.7.6

I_b , I_{adm} , I_{cc} , L , $I_r = I_{rh}$, P.d.c. sont les valeurs définies dans le texte un peu plus haut.

S_{ph} = section du conducteur de phase mm^2

I_{rm} = intensité de réglage magnétique A

Pour les points O, A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, voir schéma électrique de la fig. I.7.3.

Tableau I - 7 - 3 : Détermination des sections de câble des différents circuits.

Tronçon	Circuit	L'estimée (m)	I_b (A)	Protection par par :	$I_r = I_{rth}$ (A)	I_z (A)	S_i/S_{PE} (mm ²)	I adm. du câble choisi	$\frac{\Delta U}{U}$ max %	S_u (mm ²)
Transfo T ₁ - Pomperie Incendie	Force motrice + Eclairage + prises	55	61	D	80	85	16/16	100	1.8	16
Transfo T ₂	Primaire	-	33	D	38	40	4/4	46		4
	Secondaire	-	57	D	63	66.7	16/16	76		16
Pomperie incendie	Extract. d'air	10	1.58	D	2	2.2	1.5/1.5	15		1.5
	Pompe de pres.	3	11.8	D	15	16.1	1.5/1.5	16.5	2.6	1.5
	Fluo (duo)	10	1.04	F	5	9.3	1.5/1.5	15		1.5
	Lampe incand.	10	0.273	F	5	9.3	1.5/1.5	15		1.5
	Prises de cou- rant	10	10	F	10	11.1	1.5/1.5	15		1.5
Pomperie - bac d'hexane	Agitateurs	100	8.6	D	10	11.4	1.5/1.5	26.5	7.34	1.5
	Projecteurs	100	44	D	50	64.1	10/10	79	3	10
	Lampes esca- liers	100	0.26	F	5	6.4	1.5/1.5	26.5	3	1.5
Pomperie-dépo- tage.	Pompes	35	11.8	D	15	19.2	1.5/1.5	26.5	4	1.5
	Fluo	35	1.04	F	5	6.4	1.5/1.5	26.5	0.4	1.5

Tableau I - 7 - 4 : Impédances réelles et impédances relatives des composantes du réseau.

Machine ou câble	(*) Impédance réelle mini ($m\Omega$)			puis- sance de base (KVA)	Impédan- ce de base $Z_b (\Omega)$	(*) Impédance relative $10^{-4} \Omega$		
	X	R	Z			X_{pu}	R_{pu}	Z_{pu}
Réseau amont	158.4	23.76	160.17	12.5	3884.4	4.54	0.0682	4.5405
Transfo T1	9.82	2.62	10.16	12.5	11.552	8.5	3.274	8.799
DG	0.15	0	0.15	"	11.552	0.3906	0	0.3906
Câble OA	6.26	77.3	77.6	"	11.552	5.42	66.9	67.119
Transfo.T2	557.6	82.6	583.5	"	3.872	1476	213.6	1491.37
Câble BC	0.434	45	45.0	"	3.872	1.12	116.22	116.22
Câble BD	5.06	525	525.02	"	3.872	13.068	1356	1356.06
Câble BE	0.723	75	75.0	"	3.872	1.867	193.7	193.71
" BF	1.446	150	150.0	"	3.872	3.734	587.4	387.42
" BG	14.46	1500	1500.07	"	3.872	37.345	3874	3874.18
" BH	0.119	225	225.0	"	3.872	0.307	581	581.00
" AI	0.723	75	75.0	"	11.552	0.627	65.10	65.103
" AJ	0.434	45	45.0	"	11.552	0.377	39.06	39
" AK	5.06	525	525.0	"	11.552	4.39	455.7	456
" AL	14.46	1500	1500.07	"	11.552	12.55	1302.0	1302.06
Ext. d'air	52510	10502	53550	"	11.552	45581.1	9116.3	46485.1
Agitateur	8840	1805	9025	"	11.552	7673.6	1567	7732
Surpresseur	6430	1312	6562.5	"	11.552	5581.6	1139.1	5697
Pompe	6430	1312	6562.5	"	11.552	5581.6	1139	5697

* Ces impédances minimales correspondant aux courants de court-circuits maxi.

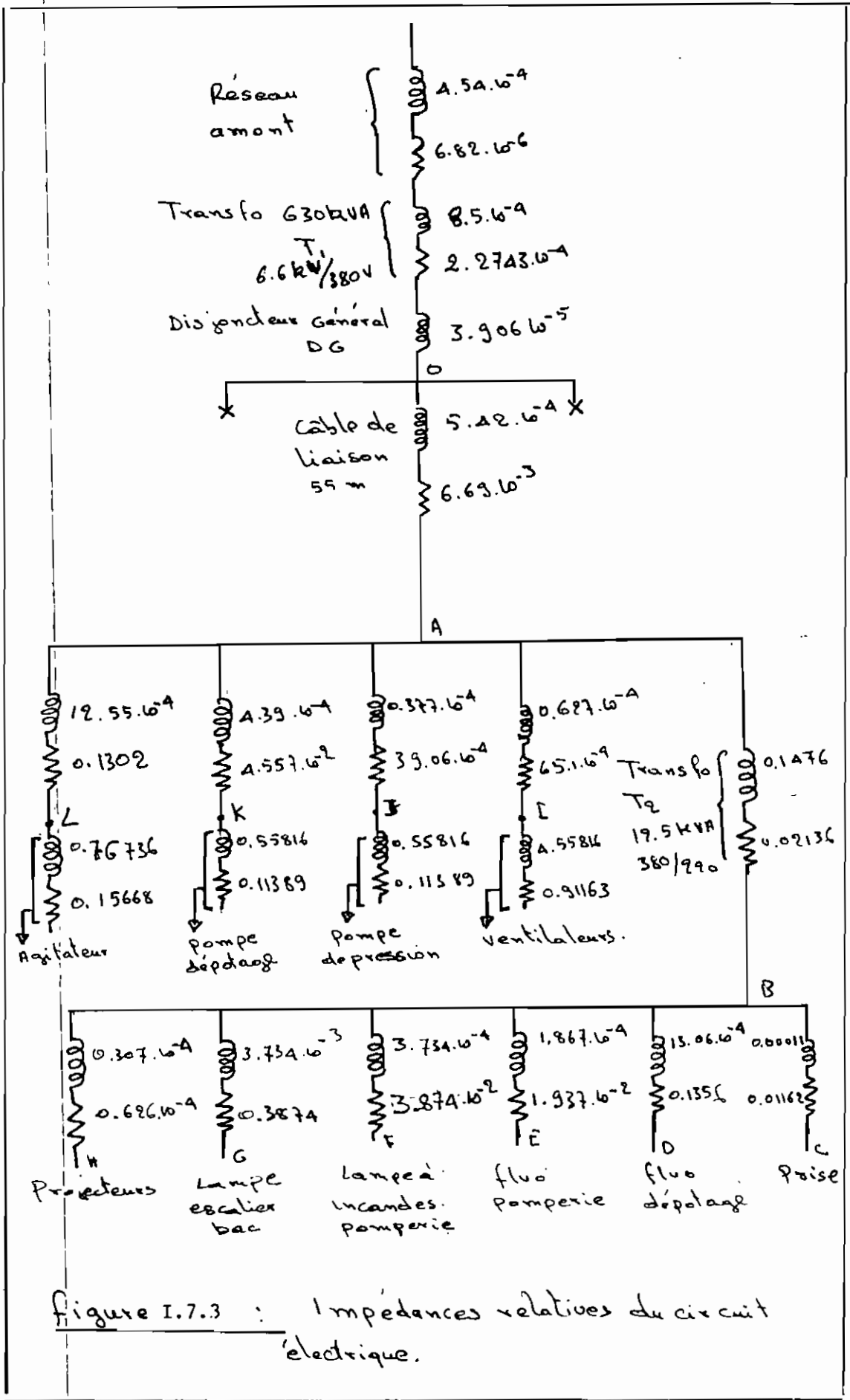


Figure I.7.3 : Impédances relatives du circuit électrique.

Tableau I.7.5 : Intensités de court-circuit aux différents points de l'installation (courant de retour des moteurs compris)

COURT-CIRCUIT EN	IMPEDANCE RELATIVE TOTALE ($m\Omega$)			$\frac{R_{pu}}{X_{pu}}$	k'	Pcc (KVA)	Icc Symé- trique (A)	Icc assymé- trique (A)
	X_{pu}	R_{pu}	Z_{pu}					
A	0.93	6.97	7.03	7.5	1	1777	2820	4000
B	162.62	34.27	166.2	0.21	1.54	75.21	380	840
C	162.74	41.24	167.79	0.25	1.48	74.457	370	790
D	163.92	169.06	236.06	1.036	1.06	52.95	240	360
E	162.926	53.64	171.529	0.33	1.4	72.874	330	660
F	162.998	73.01	178.6	0.45	1.206	69.99	320	545
G	166.35	421.67	453.3	2.5	1	27.58	125	180
H	162.35	92.37	186.79	0.57	1.2	66.92	310	520
I	0.993	13.516	13.516	13.6	1	924.83	1410	1990
J	0.9677	10.876	10.92	11.24	1	1144.7	1740	2460
K	1.369	52.54	52.56	38.4	1	237.82	400	560
L	2.185	137.176	137.19	62.8	1	91.114	190	265

Tableau I : 7 - 6 Choix des appareils de protection. (voir aussi plan n° 1E)

Position	I_b (A)	I_{adm} câble (A)	I_{cc} crête (A)	I_{cc} (A)	$S_{pn} = S_{PE}$ (mm ²)	L (m)	I_{rth} (A)	P.d.C. (kA)	I_{rm} (A)	Protection
Ligne principale (OA)	61	100	4 000 (4)	2.820	16	55	80	10.0	Courbe U	C 100 tri cal 80
Primaire T ₂ .	33	46	600	425	4	410	40	10.0	Courbe D	C 100 tri cal 40
Secondaire T ₂ .	57	76	840	380	16	210	63	10.0	Courbe L	C 100 cal 63 + diff.
Circuit prises (B C)	14	21	790	370	2.5	10	20	16	Courbe L	C 32 N cal 20 + diff.
Fluos pomperie (BE)	1.04	15	660	330	1.5	5	5		-	Fusible g' cal 5
Lampe incand. pomperie	0.273	15	545	320	1.5	10	5		-	"
Fluo dépotage (BD)	1.04	26.5	360	240	1.5	35	5		-	"
Lampe escalier Tank (AG)	0.26	26.5	180	125	1.5	100	5		-	"
Projecteurs (BH)	44	79	520	310	10	100	50	9.0	Courbe L	C 100 cal 63+ diff.
Ventilateurs (AJ)	1.58	15	1.990	1.410	1.5	10	-	50.0	20	C 32 L MA 2.5
Pompe de pression(AJ)	11.8	16.5	2.460	1.740	1.5	5	-	50.0	160	C 32 L MA 12.5
Pompe Hexane (AK)	11.8	26.5	560	400	1.5	35	-	50.0	160	C 32 L MA 12.5
Agitateur (A L)	8.6	26.5	265	198	1.5	100	-	50.0	125	C 32 L MA 10

DEUXIEME PARTIE

ETUDE COMPARATIVE

STOCKAGE USINE / STOCKAGE PORT

C H A P I T R E I

HYPOTHESES

L'étude technique que nous avons menée jusqu'ici ne concernait qu'une seule de deux alternatives à propos du stockage d'hexane.

En fait il existe un autre site où l'unité de stockage pourrait être installée si les "difficultés" actuelles(*) concernant l'autorisation sont surmontées. Il s'agit du Port de Dakar.

Les informations recueillies n'étant pas assez complètes à notre avis pour mener convenablement une étude comparative, il a été jugé nécessaire, pour contourner ce manquement (indépendant de nous), de faire des suppositions que nous justifierons un peu plus loin.

En effet, pour faire un bon jugement, il faudrait le fonder sur les rentabilités respectives de chacune des deux alternatives. Or actuellement nous ne pouvons comparer que les coûts initiaux. Cette méthode est insuffisante pour ce genre de projet puisqu'elle n'intègre pas tous les facteurs de rentabilité.

Si nous désignons par P la solution "stockage au Port" et U la solution "stockage en usine" on aura :

a) Coût initial de la solution P (CSp)

CSp = 285 000 KCFA () ; (cf Annexe tableau A.1.12)

b) Coût initial de la solution U (CSu) ; (cf Annexe A tableau A.1.11)

CSu = 318000 KCFA

(*) Il y a des possibilités que le Port refuse d'accorder à la SONACOS l'autorisation de faire un stockage d'hexane sur ses aires .

Une comparaison entre CSp et CSu donne l'avantage à la solution P. Cependant celle-ci comporte des charges dont nous n'avons pas pu déterminer la valeur financière. Il s'agit notamment du coût de location du terrain - qui est à l'origine de la supériorité de CSp à CSu - et des assurances qui peuvent ne pas être les mêmes d'un site à l'autre.

En effet, à propos des charges induites par le terrain, nous les avons comptabilisées dans la solution U - bien que celui-ci (le terrain) soit déjà acquis alors que dans la solution P ces charges n'apparaissent pas au niveau de CSp, mais plutôt dans les frais fixes d'exploitation.

Si nous raisonnons sur la base des fonds à déboursier à partir de maintenant pour mettre l'unité de stockage en place, la solution U devient plus avantageuse (moins coûteuse). Ce raisonnement se justifierait par le fait que, quel que soit le choix final, le terrain acquis - à moins d'être revendu - restera toujours un investissement déjà effectué. Si toutefois celui-ci n'est pas utilisé pour d'autres fins génératrices d'intérêts (directement ou indirectement) et auxquelles serait imputé son coût, il restera une charge supplémentaire dont la conséquence sera la diminution sûre du coût du capital (k) de la société ; d'autant plus que la solution P ne bénéficiera pas d'un espace gratuit et qu'un terrain de ce genre ne s'amortit pas.

Le choix donc, pour être bien fait, doit être fondé sur d'autres considérations que nous allons examiner et qui nécessitent les hypothèses suivantes :

Première Hypothèse

Si nous notons par R_p et R_u les revenus bruts annuels respectifs relatifs aux solutions P et U on aura :

$$R_p = R_u$$

Deuxième Hypothèse

La différence des frais se situe uniquement au niveau des frais fixes ; les amortissements et le coût de la location du terrain étant à l'origine de cette inégalité.

(*) 1 KCFA = 1000 francs CFA

Troisième Hypothèse

- Toutes les autres charges telles que l'assurance(*) sont identiques.
- La durée de vie du projet ne change pas en fonction du site.

Le chapitre suivant examine les différentes méthodes d'évaluation des projets et à chaque fois qu'une méthode sera étudiée, la comparaison s'en suivra immédiatement.

(*) Puisque nous n'avons pas de valeurs chiffrées concernant les charges d'assurance pour l'un ou l'autre des deux solutions, nous n'en tiendrons pas compte dans notre analyse de rentabilité.

C H A P I T R E I I

ETUDE COMPARATIVE

2.1 - METHODE DU POINT MORT

2.1.1 - Introduction

La méthode du point mort ou seuil de rentabilité est une méthode d'analyse qui permettra de savoir à partir de quel niveau de trituration de l'arachide, le projet devient rentable. En effet, une telle analyse s'impose du fait de l'imprécision des données statistiques et surtout du caractère très aléatoire des ressources en graines d'arachide. Le nombre de facteurs qui détermine le niveau de la quantité de graines triturables est très grand et souvent on observe des phénomènes très rares ou jamais vus dans le passé - comme la fuite ou la rétention des graines pour d'autres fins - qui affectent sérieusement les revenus des unités de production industrielle d'huile d'arachide.

2.1.2 - Formulation mathématique

Dans cette étude nous utilisons la méthode linéaire qui suppose que les relations entre :

- d'une part les revenus et la production ;
 - d'autre part les coûts variables et la production, ..
- sont linéaires.

Définition

Nous appellerons revenus la différence entre le prix d'achat de l'hexane avec le système de ravitaillement actuel et le prix d'achat futur avec la réalisation du projet-ci.

Equations mathématiques

a) Equation des revenus

$$R = (287.5 - 119.5) v = 168 V \quad (2.1.1)$$

R = revenus en KCFA

V = volume d'hexane consommé dans l'année (m^3)

287.5 = prix actuel au litre de l'hexane (CFA/l)

119.5 = prix de référence futur pour la meilleure offre (CFA/l)

On aura donc :

$$R_p = R_u = 168 V \quad (2.1.1)$$

b) Equation des frais totaux (fixes + variables)

$$F_t = \frac{FF_t}{\text{frais fixes}} + \frac{66.896 V}{\text{frais variables}} \quad (2.1.2)$$

. Pour la solution U

$$F_u = 23100 + 66.896 V \quad (2.1.2')$$

(cf annexe B-4)

. Pour la solution P

$$F_p = (15834 + 5465 + m) + 66.896 V \quad (*)$$
$$F_p = 21300 + m + 66.896 V \quad (2.1.2'')$$

Comparaison

Si on compare les bénéfices brutes, on aura :

. Pour la solution U

$$B_{bu} = R_u - F_u = 101.104 V - 23100 \quad (2.1.3)$$

. Pour la solution P

$$B_{bp} = 101.104 V - 21300 - m \quad (2.1.4)$$

m est l'inconnue résultant des frais de location du terrain au Port.

Nota : (*) Les amortissements pour la solution U se chiffrent à 17 635 k CFA. Si on considère cette valeur comme une moyenne, on peut dire que les amortissements se feront sur environ 18 ans = $T_u = \frac{31800}{17635}$

En vertu de l'hypothèse 3 nous aurons $T_p = 18$ ans et la valeur des amortissements sera 15834 k CFA/an.

Les deux solutions sont équivalentes du point de vue des bénéfices bruts si :

$$B_{bu} = B_{bp} \text{ soit :}$$

$$m = 1800 \text{ k CFA}$$

c) Equation du point mort

Le point mort est atteint s'il y a égalité entre (2.1.1) et (2.1.2) soit :

$$168 V = FF_t + 66.896 V \quad (2.1.5)$$

Ce qui nous donne le volume d'hexane consommé au seuil de rentabilité.

$$V_o = \frac{FF_t}{101.104} \quad (2.1.6)$$

. Pour la solution U

$$V_{ou} = \frac{23100}{101.104} = 228.5 \text{ m}^3$$

Le projet devient rentable - dans cette alternative - si la production d'arachide (production triturée) permet une consommation de 228 500 litres d'hexane dans l'année.

Avec une consommation spécifique de 71/tonne d'huile brute il faudra que le niveau de production soit au moins égal à 32 640 tonnes d'huile ou encore 98 908 tonnes de graines-coques. L'huile brute soutirable de la graine-coque représente environ 33 % du poids de cette dernière. La fig. II.2.1 illustre la situation.

. Pour la solution P

$$V_{op} = \frac{21300 + m}{101.104} \quad (2.1.7)$$

Comparaison

- Si $m = 1800$ alors $V_{ou} = V_{op}$ et les deux solutions se valent.
- Si $m < 1800$ alors $V_{ou} > V_{op}$, le point mort sera donc plus bas pour la solution P d'où elle sera meilleure.
- Si $m > 1800$ alors $V_{ou} < V_{op}$, la solution U sera donc meilleure.

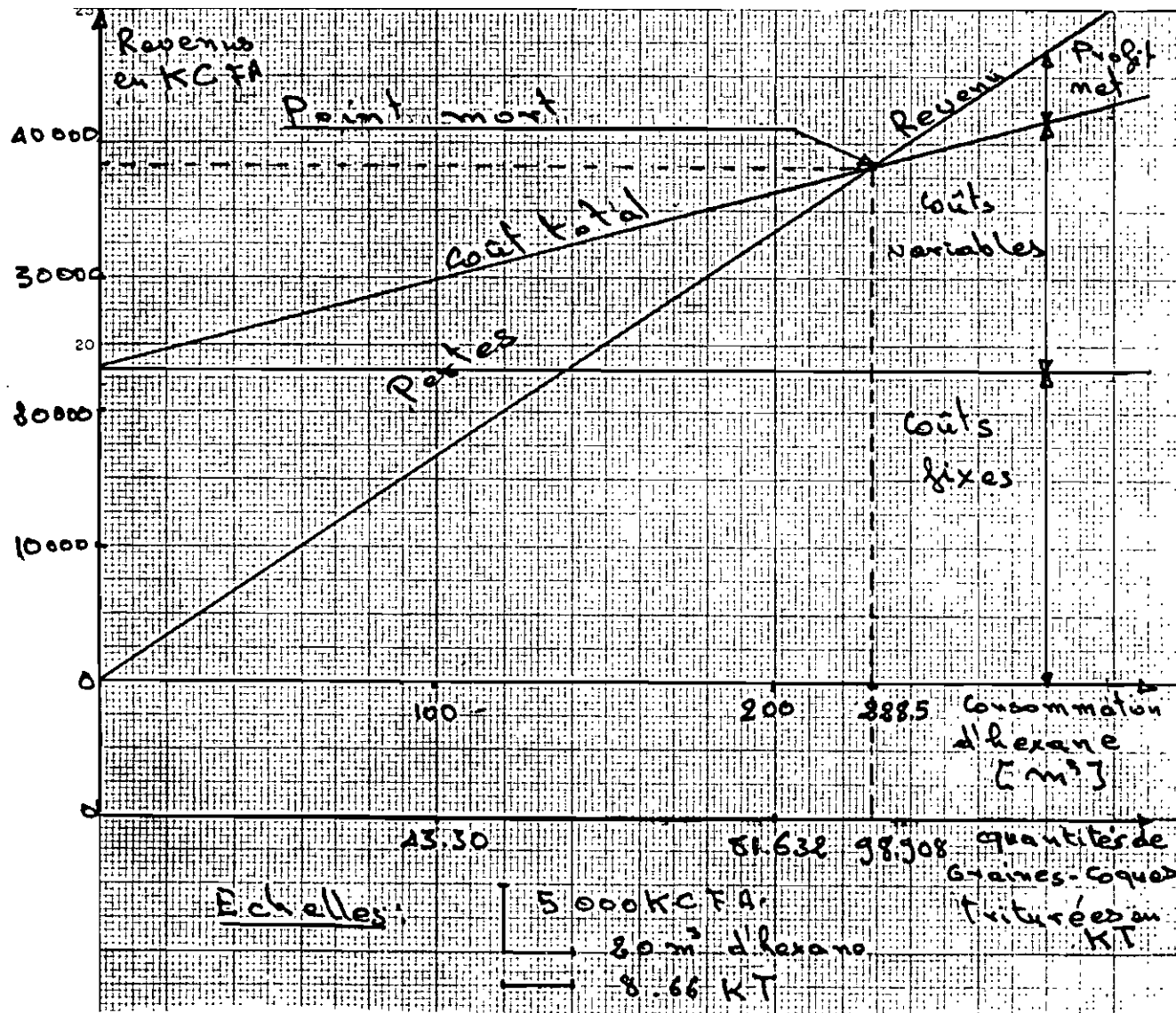


Figure II.2.1 Graphique du point mort pour le stockage en usine

2.2 - DELAI DE RECUPERATION

Le délai de récupération est le nombre d'années nécessaires pour que les rentrées de fonds (cash-flow) cumulées puissent permettre de reconstituer le capital investi.

La connaissance de ce nombre d'années permet de savoir jusqu'à quand l'entreprise court le risque de perdre une partie des sommes investies dans le projet.

2.2.1 - Calcul des rentrées de fonds annuelles (ou cash-flow)

Un tel calcul suppose déjà que la production annuelle est connue et reste la même pour toutes les années à venir. Puisque nous sommes dans une situation où le volume de cette production est difficile à prévoir, nous ferons des hypothèses sur la base des données statistiques dont nous disposons. Ces données variant sensiblement d'une source d'information à l'autre, nous avons choisi celles qui nous semblent les plus sûres (celles utilisées pour l'étude qui a précédé la nôtre, cf tableau II.2.1).

A propos du choix relatif au nombre d'années à retenir pour espérer avoir une moyenne assez proche de la réalité, il nous a été notifié que seuls les chiffres allant de 1981 à 1985 sont conformes à la situation actuelle. En fait si nous faisons une analyse sur la base des tonnages triturés par le groupe SONACOS (Dakar, Lyndiane et Ziguinchor), une telle considération peut être juste puisqu'après cette date la production est répartie entre quatre huileries au lieu de cinq antérieurement (avant la fusion entre PETERSEN et la SEIB). Mais il convient de noter qu'avec le changement qui est entrain de s'opérer actuellement (il s'agit notamment de l'unification des différentes unités de production d'huile sous une seule direction générale), une analyse séparée risque de ne pas être conforme à la réalité future. Les données que nous avons ne concernant que le groupe SONACOS, nous avons, pour contourner le problème, supposé que la répartition se fait à peu près au prorata des capacités de trituration respectives (*) des différentes unités.

Cela nous a permis de dresser le tableau II.2.1. Les capacités en kilotonnes des différentes huileries sont :

Dakar	SONACOS EID	320/an	}	soit
Kaolack	SONACOS EIL	280/an		78.2 % du
Ziguinchor	SONACOS-EIZ	120/an		total
Diourbel	SEIB	200/an		soit 21.74% de total .

Nota (1) Si la production ne permet à l'ensemble des unités de fonctionner à pleine capacité cette considération comporte une erreur puisqu'en ce moment la SEIZ de Ziguinchor se charge de toute la production de la Casamance. Si c'est le cas contraire, l'équilibre se rétablit puisque le surplus de la Casamance va être récupérée par les autres huileries sauf en cas de surproduction nationale dépassant la capacité totale de toutes les unités réunies.

Tableau II - 2 - 1 Estimation du tonnage moyen

Année	tonnage Groupe SONACOS (K tonnes)	Facteur de correction	tonnage total (Ktonnes)
71	300	1.278	383
72	566	"	723
73	294	"	376
74	333	"	426
75	560	"	716
76	833	"	1.064
77	673	"	860
78	208	"	266
79	495	"	633
80	196	"	250
81	87	"	111
82	386	"	493
83	530	"	677
84	150	"	192
85	94	"	120
MOYENNE			499*

(*) Les années 76, 81 et 85 ont été considérées comme des points aberrants et donc ne font pas partie de la moyenne. Si on en tenait compte la moyenne serait pratiquement la même puisqu'elle est dans ce cas 486 kilo tonnes.

Nous considérons une moyenne annuelle de 500 KT pour la suite de l'analyse.

2.2.1.1 - Besoins en hexane

Avec une trituration moyenne de 500 000 T/an et une consommation spécifique de 7 litres d'hexane par tonne d'huile, le besoin annuel en hexane s'élève à 1155 m³ (1155000 litres).

2.2.1.2 - Calcul du cash-flow annuel

. Le revenu total

$$R = R_p = R_u = 168 \times 1155 = 194\ 040 \text{ kCFA}$$

$$R_p = R_u = 19040 \text{ kCFA}$$

. Les frais totaux

$$F_u = 23100 + 66.896 \times 1155 = 100\ 365 \text{ kCFA}$$

$$F_p = 21300 + m + 66.896 \times 1155 \quad (2.2.1)$$

$$F_p = 98565 + m \text{ kCFA}$$

. Bénéfices bruts

$$B_{bu} = R_u - F_u = 93675 \text{ kCFA}$$

$$B_{bp} = R_p - F_p = 95475 - m \text{ kCFA} \quad (2.2.2)$$

. Impôts

$$I_u = B_{bu} \times \frac{1}{3} = 31225 \text{ kCFA}$$

$$I_p = B_{bp} \times \frac{1}{3} = 31825 - \frac{m}{3} \text{ kCFA}$$

. Bénéfices nets

$$B_{nu} = B_{bu} - I_u = \frac{2}{3} B_{bu} = 62450 \text{ kCFA}$$

$$B_{np} = \frac{2}{3} B_{bp} = 63650 - \frac{2}{3} m \text{ kCFA} \quad (2.2.3)$$

. Cash-flow

$$CF = \text{Amortissement} + B_n \quad (2.2.4)$$

$$CF_u = 17635 + 62450 = 80\ 085 \text{ kCFA}$$

$$CF_p = 15834 + 63650 - \frac{2}{3} m \text{ kCFA}$$

Comparaison

Si on fait la différence des cash-flows on obtient :

$$CF_u - CF_p = 601 + \frac{2}{3} m \quad (2.2.5)$$

Cette différence n'est nulle ou négative que si m prend des valeurs négatives. Cela signifierait que la SONACOS va être payée pour qu'elle réalise l'unité de stockage au Port, ce qui est impossible.

On voit donc que quel que soit le coût de location du terrain au Port, la solution U est la meilleure du point de vue des rentrées de fonds nettes annuelles.

2.2.2 - Délai de récupération D

$$D = \frac{\text{coût initial}}{\text{cash-flow}} \quad (2.2.6)$$

$$D_u = \frac{318000}{80085} = 3.97078 \text{ ans}$$

Soit 3 ans, 11 mois et 20 jours.

$$D_p = \frac{285\,000}{79484 - \frac{2}{3} m} \quad (2.2.7)$$

Comparaisons

$$D_u - D_p = \frac{30614 - 2.65 m}{79484 - \frac{2}{3} m} \quad (2.2.8)$$

$$D_u - D_p = 0 \text{ si } m = 11565 \text{ kCFA}$$

Dans ce cas les deux solutions correspondent au même délai de récupération.

- . Si $m < 11565$ alors $D_u > D_p$
- . Si $m > 11565$ alors $D_u < D_p$.

Les résultats de ce chapitre nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

- . Quels que soient les frais de location au Port, les rentrées de fonds nettes annuelles sont plus importantes pour la solution U.
- . Si les frais de location sont inférieures à 11.565 millions de CFA

par an, le délai de récupération est plus court dans le cas de la solution P.

Ces résultats viennent de révéler l'une des faiblesses de la méthode de comparaison basée sur le délai de récupération. En fait on constate aisément que 4 ans après la réalisation du projet, les "bénéfices" sont plus importants dans le cas de la solution U.

Si la vie du projet atteint une vingtaine d'années, et que tout se passe comme prévu, la solution U reste de loin la meilleure.

2.3 - TAUX DE RENDEMENT INTERNE (TRI)

Le taux de rendement interne (TRI) est le taux d'intérêt pour lequel la valeur actualisée des recettes futures escomptées est égale au capital investi. Il est donné par la formule :

$$\sum_{i=1}^N \frac{R_i}{(1+r)^i} - \text{CTI} = 0 \quad (*) \quad (2.3.1)$$

où

CTI = coût total initial

R_i = flux monétaire (cash-flow) à l'an i

N = durée de vie utile espérée

r = TRI

Si nous supposons que le cash-flow annuel est pratiquement le même pour toute la vie utile, l'équation (2.3.1) devient :

$$R \times \sum_{i=1}^N \frac{1}{(1+r)^i} - \text{CTI} = 0 \quad (2.3.2)$$

ou encore

$$\frac{\text{CTI}}{R} = \frac{1 - (1+r)^{-N}}{r} \quad (*) \quad (2.3.3)$$

. Pour la solution U

$$\frac{1 - (1+r_u)^{-N}}{r_u} = \frac{318}{80,085} = 3.97078$$

La vie espérée étant prise égale à 18 ans on aura $N = 18$ et $r = 24.7\%$

. Pour la solution P

$$\frac{1 - (1+r_p)^{-18}}{r_p} = \frac{285\ 000}{79484 - \frac{2}{3}m} \quad (2.3.4)$$

Comparaison

. Si $m = 11565$ kCFA alors $r_p = r_u = 24.7 \%$.

Les deux solutions se valent du point de vue du TRI ;

. Si $m > 11565$ kCFA alors $r_p < r_u$

Le stockage en usine (solution U) devient plus rentable,

. Si $m < 11565$ kCFA alors $r_p > r_u$

Le stockage au Port (solution P) devient plus rentable.

Le tableau II.2.2 résume les différentes étapes de comparaison.

(*) cf "gestion financière" ; WESTON-BRIGHAM-HALPEN, les Editions HRW Ptée, 1981, PP 264 à 269.

Tableau II.2.2 : Tableau de comparaison de la rentabilité du projet pour les deux solutions possibles.

Critère de comparaison	La meilleure solution est la :	
	Solution P	Solution U
Coûts initiaux	Oui	Non
Bénéfices bruts	si $m < 1800$ k CFA	si $m > 1800$ k CFA
Point mort	si $m < 1800$ k CFA	si $m > 1800$ k CFA
Bénéfices nets	si $m < 1800$ k CFA	si $m > 1800$ k CFA
Cash-flow	non quel que soit m	oui quel que soit m
Délai de récupération	si $m < 11565$ k CFA	si $m > 11565$ k CFA
Taux de rendement interne TRI	si $m < 11565$ k CFA, TRI $> 24.7\%$	si $m > 11565$ k CFA, TRI $= 24.7\%$

C O N C L U S I O N

E T

R E C O M M A N D A T I O N S

CONCLUSION

Cette conclusion s'articulera sur les trois points essentiels de cette étude :

- Etude technique
- Etude comparative et de rentabilité
- Recommandations

A/ ETUDE TECHNIQUE

Il est bon d'attirer l'attention du lecteur de ce texte sur le fait que le but de ce modeste travail n'était pas une conception très détaillée de chacune des composantes de l'unité de stockage d'hexane (le temps dont nous disposions ne nous l'aurait même pas permis), mais plutôt une élaboration de calculs et choix devant permettre une estimation - proche de la réalité - du coût global du projet. C'est pourquoi certains éléments qui entraient dans les détails de construction ou de mise en place n'ont pas été examinés à fond. Ce sont surtout les systèmes de mise en marche du réseau incendie en cas de feu, la protection éventuelle des conduites par courant de circulation (protection cathodique)....

Pour tenir compte de l'incidence de ces détails dans le coût total du projet, nous avons majoré la valeur globale estimée du projet (coût initial) de dix pour cent (10 %).

B/ ETUDE COMPARATIVE ET DE RENTABILITE (*)

C'est l'un des points les plus importants de cette étude car elle devrait en fin de compte guider le choix à faire (si choix il y aura) concernant les deux sites possibles à l'heure actuelle - de la future unité de stockage d'hexane de la SONACOS.

Le problème de données, auquel nous nous sommes confronté et que nous n'avons pas eu le temps et les moyens de surmonter en temps voulu, nous a obligé, pour continuer l'étude, de poser un certain nombre d'hypothèses sur la base desquelles toute la suite de l'étude a été élaborée.

(*) Sur la base de nos hypothèses.

Les critères d'évaluation et de comparaison étant très importants, il nous a semblé nécessaire au début de l'étude comparative d'attirer l'attention du lecteur sur les objectifs éventuels des Propriétaires. Objectifs qui peuvent influencer dans une large mesure la comparaison. Il serait important de savoir si ce sont :

- les besoins en matière de financement (fonds supplémentaires à déboursier) qui guideront le choix ou bien ;
- un souci d'amélioration des profits nets dans un contexte de gestion analytique des coûts qui passe en priorité.

L'approche par les hypothèses que nous avons faites nous a permis de voir que l'inconnue majeure - à savoir le coût de location du terrain pour le stockage au Port - pourra influencer largement le choix à faire.

Pour mieux examiner les effets des inconnues sur la rentabilité du projet d'un site à l'autre nous avons fait un tour d'horizon des principales méthodes d'évaluation des projets vis-à-vis du problème ; mise à part la méthode de la valeur actualisée nette qui d'ailleurs ne diffère pas beaucoup du taux de rendement interne.

Cela nous a permis de procéder tout à tour à :

. L'analyse du point mort

Elle nous permettra de conclure que si les frais annuels de location du terrain sont supérieurs à 1.8 millions de francs CFA, on a plus intérêt à choisir le stockage en usine qui comporte dans ce cas le plus bas seuil de rentabilité ; la deuxième solution étant plus avantageuse dans le cas contraire.

. La détermination du délai de recouvrement

D'après cette méthode, le stockage en usine prend un recul important par rapport à l'autre solution (stockage au Port) car elle ne devient plus avantageuse que quand le coût de location du terrain dépasse la valeur de 11.565 millions de francs CFA/ an. Cela est due surtout à la différence des coûts initiaux qui est largement en faveur du stockage au Port.

. L'analyse du taux de rendement interne (TRI)

Elle a donné le même résultat concernant les limites entre lesquelles l'une des solutions prend le dessus sur l'autre.

Ce survol des différents critères d'évaluation des projets nous amène à faire les recommandations du paragraphe ci-après.

C/ RECOMMANDATIONS

Les résultats auxquels nous avons abouti nous permettent de conclure avec peu de risque de nous tromper que :

- 1 - Le projet de stockage d'hexane de la SONACOS est rentable quel que soit le site choisi ;
- 2 - Le point mort étant inférieur à 100 mille tonnes (*) de graines-coques triturées par an, il pourrait être atteint à l'issue de la pire des campagnes agricoles ;
- 3 - Quatre (4) ans au maximum après sa mise sur pied (le projet), tous les capitaux investis seront récupérés y compris le terrain d'implantation (dans le cas de stockage en usine) acquis antérieurement ;
- 4 - Le taux de rendement interne du projet est bon à notre avis. Même si nous n'avons pas le coût du capital pour faire une comparaison. Sa valeur minimale de 24.7 % serait difficilement dépassé quand on sait que le coût du capital est en général entre 10 et 15 %. Ce TRI contribuerait à relever le coût du capital au cas où il lui serait supérieur. Si par ce critère d'évaluation, le stockage au Port devenait plus rentable les 24.7 % seraient dépassés.
- 5 - Au-delà de quatre (4) ans, les profits annuels engendrés par le projet seront au minimum égaux à 80 millions de francs CFA.

Notre recommandation est la réalisation du projet le plus tôt possible car chaque campagne agricole qui passe avant sa mise à jour emporte avec elle près d'une centaine de millions qui auraient été des bénéfices de la SONACOS.

(*) à l'échelle nationale.

A N N E X E S

A

DETERMINATION DU COUT INITIAL DU PROJET

A-1 INTRODUCTION

Dans le chapitre II de la première partie de cette étude, nous avons parlé des méthodes d'estimation des coûts des travaux, nous avons promis de revenir sur cette méthode d'estimation. Ce ne pouvait être que dans l'étude des coûts qu'on devrait avoir recours à de telles méthodes. En fait les contacts effectués au niveau des entreprises privées de la place nous ont permis de faire une estimation dont la valeur sera à la mesure de la précision et de la fiabilité des informations reçues.

A-2 METHODE D'ESTIMATION DU COUT D'UN PROJET

Les éléments à tenir en considération dans le coût d'un projet sont nombreux et un bon nombre d'entre eux est difficile à quantifier, plus difficile encore si on n'a aucune expérience pratique dans ce domaine. Le résultat de ce manque d'expérience se traduit souvent par le fait que le coût estimé est :

- soit trop grand par rapport à la réalité et dans ce cas le projet peut paraître non rentable alors qu'il l'est, ou bien quand on arrive à un résultat positif, on sous-estime sa rentabilité réelle ;
- soit trop petit par rapport à la réalité et c'est là où se produit la plus grave erreur car si le projet n'est pas rentable contrairement au résultat de l'étude, sa réalisation occasionnera sûrement des pertes. Si on a la chance qu'il soit effectivement intéressant, sa rentabilité est sur-estimée et peut conduire à des prévisions peu réalistes et décevantes après.

Pour en venir aux éléments entrant en ligne de compte dans le coût d'un projet nous pouvons retenir ceux-ci :

- a) coût des appareillages, des matériaux de construction et des équipements ;
- b) coût de réalisation qui comprend :
 - le prix de la main-d'oeuvre proprement dite (agents de

maîtrise, ouvriers spécialisés, manoeuvres ...) ;

- le prix d'imputation du matériel de travail ;
- le prix des consommables (essence, gaz-oil, courant électrique...)

- c) coût du contrôle ;
- d) coût des honoraires ;
- e) coûts divers.

Nous parlerons de la quantification des éléments composant le coût total au fur et à mesure de l'abord des différents points du projet.

A-3 ESTIMATION DU COUT DU RESERVOIR (*)

A-3-1 Coût des matériaux: CMat

Les informations que nous avons recueillies près des entreprises compétentes dans le domaine du montage des réservoirs, et des fournisseurs nous permettent de situer le coût du matériau (plaques de tôles notamment) entre 480 et 600 CFA/kg en hors taxes - hors douanes - hors TVA. Pour une estimation pessimiste nous considérons que le prix sera de 600 CFA/kg pour des tôles formées, sablées et prépeintes.

A-3-2 Coût du montage: C Mon

Il dépend des installations existantes : sources d'électricité, facilités d'accès au terrain, ravitaillement en carburant....

Pour ce cas-ci le problème ne se pose pas puisque nous sommes en zone urbaine et industrielle.

A-3-2-1 Main-d'oeuvre proprement dite: C M o

Les informations dont nous disposons nous permettent de situer le rendement de la main-d'oeuvre entre 60 et 70 h/tonne montée; là aussi nous avons considéré 70 h/tonne.

Le taux à appliquer pour connaître le coût de la main-d'oeuvre se situe entre 1500 et 2000 CFA par heure de travail.

Le coût de la main d'oeuvre :

$$CMo = \frac{70h/tonne \times 62.5 \text{ tonnes} \times 2000 \text{ CFA/h}}{62\,500 \text{ kg}} = 140 \text{ CFA/kg}$$

$$CMo = 140 \text{ CFA/kg}$$

A-3-2-2 Imputation du matériel : CIm

Il s'agit de : - Grues, soudure, meuleuses, outillage etc.

Nous l'avons estimé à 100 % de CMo soit

$$CIm = 140 \text{ CFA/kg}$$

A-3-2-3 Coût des consommables : CCo

CCo = 5 à 15 % de CMo soit

$$CCo = 21 \text{ CFA/kg}$$

Le coût du montage sera donc :

$$CMon = CMo + CIm + CCo$$

$$CMon = 140 + 140 + 21 = 301 \text{ CFA/kg}$$

Le coût du réservoir monté nu sera alors

$$CRn = CMat + CMon$$

$$CRn = 600 + 301 = 901 \text{ CFA/kg}$$

Nota : (*) Le coût estimé ici correspond à un montage normal donc aucun coût crash n'intervient.

A-3-3 Charges de peinture

A partir des besoins estimés dans la première partie de cette étude (section 6.2) on calcule facilement les charges induites par la peinture et son application.

A-3-3-1 Coût de la peinture proprement dite :

Le tableau II.1.1 donne le prix total de la peinture

$$CP = 61.24 \text{ CFA/kg}$$

A-3-3-2 Coût de l'application : CA_p

Le rendement d'un opérateur est d'environ 10m²/heure/couche.

- La surface totale estimée est de 2072 m² (intérieur + extérieur)

Pour une application de trois couches on aura 2072 m²/couche x 3 couches = 6216 m².

- Le temps total est donc $\frac{6216}{10} = 621.6 \text{ h}$

En appliquant un taux de 2000 CFA/h on trouve

$$CA_p = \frac{621.6 \times 2000}{62500 \text{ kg}} = 20 \text{ CFA/kg}$$

La charge totale de la peinture sera alors

$$CT = CP + CA_p = 81.2 \text{ CFA/kg}$$

A-3-4 Le coût total du réservoir monté et peint CTR

$$CTR' = CR_n + CT = 982.24 \text{ CFA}$$

En supposant une précision de 10 % on aura donc

$$CTR = 1.1 CTR' = 1080 \text{ CFA/kg}$$

$$CTR = 67\,500\,000 \text{ CFA}$$

Tableau A.1.1 : Coût de la peinture (main-d'oeuvre non comprise)

DESIGNATION	Prix Unitaire (CFA/kg) (*)	Poids Total (kg)	Coût Total (CFA)
DEVTRAN 201	3 200	350.5	1 121 600
DEVTRAN 204	3 800	350.5	1 331 900
DEVTRAN 215	4 000	166	664 000
DEVTRAN 229	4 600	75.82	348 772
VIGOR BUTIME NOIR	1 497	241.2	361 076
T O T A L			3 827 348

(*) Prix hors-taxes, d'après la Seigneurie Afrique

A-4 COUT DU RESEAU DE L'HEXANE

A-4-1 Coût du matériel

Nous entendons par matériel les éléments suivants : tuyauterie, robinetterie, enrobage, pompes, compteurs etc...

Le tableau A-1-2 nous donne un total de 67590.8 K CFA non compris les supports. Pour faciliter l'étude nous allons inclure les supports dans cette partie. N'ayant pas la valeur exacte des coûts des composantes d'un support (la main d'oeuvre surtout) nous avons supposé qu'un support nous reviendra à 2500 CFA (matériaux + main-d'oeuvre + consommables + matériels confondus). Cela nous amène à une valeur de 2500 x 240

Soit 600.000 CFA.

Le coût total du matériel sera alors :

$$CTM = 68191 \text{ K CFA .}$$

A-4-2 Coût de la main-d'oeuvre pour la pose de la tuyauterie et de ses accessoires

. Calcul du temps de travail

Pour la pose aérienne nous supposons qu'il faut environ vingt minutes (20) pour souder deux tuyaux bout-à-bouts (arrangement, foisonnement et réalisation de la soudure confondus) donc pour la pose aérienne et souterraine pris ensemble - l'excavation mis à part on aura un temps de :

$$T_1 = \frac{2450}{8} \times 20 = 6195 \text{ mn soit } 102.08 \text{ heures}$$

(la longueur unitaire de la tuyauterie étant 8 m).

Pour le montage de la robinetterie nous considérons le même rendement donc :

$$T_2 = \frac{25 \times 20}{60} = 8.33 \text{ heures}$$

Pour l'excavation, du fait de la traversée de l'usine qui entraîne beaucoup de pertes nous partirons sur une base de 5 mètres par jour et par opérateur (excavation plus fermeture de la tranchée après la pose toutes confondues). Avec 1250 m, le temps d'opération sera :

$$T_3 = \frac{1250}{5} = 250 \text{ heures}$$

Pour l'enrobage, nous utilisons le même rendement que pour l'application de la peinture.

. La surface à enrober est $S = \pi \times D \times l$. (*)

$$S = \pi \times 0.16827 \times 2450 = 1295.16 \text{ m}^2$$

Le rendement est de $10 \text{ m}^2/\text{h}$ donc le temps d'application de l'enrobage est :

$$T_4 = 129.516 \text{ heures}$$

. Coût total de la main-d'oeuvre CTMo

$$\text{Le temps total est } T = T_i = 490 \text{ heures}$$

Pour un taux de 2000 CFA/heure (moyen) on obtient :

$$\text{CTMo} = 980000 \text{ CFA}$$

A-4-3 Imputation du matériel Cim

Elle est prise égale à 100 % CTMo soit

$$- \text{CIm} = 980.000 \text{ CFA}$$

A-4-4 Coût des consommables. CCo

Il est de 15 % x CTMo soit

$$\text{CCo} = 147000 \text{ CFA}$$

Le coût total du réseau de l'hexane toutes liaisons confondues est :

$$\begin{aligned} \text{CTR}_e &= \text{CTM} + \text{CTMo} + \text{CIm} + \text{CCo} \\ &= 68191 + 980 + 980 + 147 \end{aligned}$$

$$\text{CTR}_e = 70298 \text{ K CFA}$$

(*) Pour un tube API5L DN150 le diamètre extérieur vaut 168.27 mm (ou 0.16827 m)

Tableau A.1.2 : Coûts des appareillages et accessoires du réseau d'hexane

Cu = Coût Unitaire ; n = nombre d'unités ; C_T = Coût Total

DESIGNATION	C _u KCFA	n estimé	C _T KCFA	Source du prix
Conduite DN				
150	16.575	2450	40608.75	Brossette
100	8.585	55	472.175	"
300	35.53	15	532.95	"
Vannes				
150	238.0	9	2142	"
100	141.95	11	1561.45	"
Clapets non retour				
150	183.6	2	367.2	"
Filtres				
150	495.8	2	991.6	"
Brides				
150	8.755	10	87.59	"
100	5.525	10	59.85	"
Jointes				
150	1.955	20	39.1	"
100	1.53	20	30.6	"
Enorbage				
150	3.213	2450	7871.85	"
100	2.55	55	140.25	"
Compteur (type METRA)	6000.0	2	12000.0	SONACOS
Pompes	324.03	2	648.06	SOFICA
Manomètres flexibles	21.0	2	42.0	Brossette
T O T A L			67590.8	

A-4-3 Imputation du matériel : CIm

Elle est prise égale à 100 % CTMo soit

$$CIm = 980\ 000\ \text{CFA}$$

A-4-4 Coût des consommables : CCo

Il est de 15 % x CTMo soit

$$CCo = 147\ 000\ \text{CFA}$$

Le coût total du réseau de l'hexane toutes liaisons confondues est :

$$\begin{aligned}CTR'_e &= CTM + CTMo + CIm + CCo \\ &= 68191 + 980 + 980 + 147\end{aligned}$$

$$CTR'_e = 70298\ \text{K CFA}$$

Pour tenir compte du foisonnement qui peut augmenter sensiblement le temps des travaux, arrondissons le coût total à 71000 K CFA

A-5 COUT DU GENIE CIVIL

A-5-1 Cuvette de rétention : CTC

La méthode d'estimation des coûts dans cette partie sera différente de celle utilisée dans les rubriques précédentes. Les coûts ne sont plus calculés en fonction des heures de travail ou des accessoires et outils utilisés. Ce sont plutôt les paramètres volume et surface qui interviennent.

Les taux appliqués pour le calcul des différents éléments tiennent compte de tous les postes que nous avons l'habitude de séparer lors des estimations précédentes. Les différents calculs effectués et résumés dans le tableau II.1.3 donnent le coût global de la cuvette et de l'assise du réservoir. Pour la partie "études et honoraires" nous y reviendrons un peu plus loin. Le coût total est donc :

$$CTC = 30750\ \text{K CFA}$$

Tableau A.1.3 : Estimation du coût de la cuvette de rétention et de l'assise du réservoir (★)

Eléments de coût	Intérieur cuvette	Mur de rétention	Fon de cuvette	Assise du réservoir	Total	Coût Uni-taire(CFA)	Coût Total (KCFA)	
Volume du déblai m ³	2.500	-	-	-	2.500	800	2.000	
Volume de terrassement m ³	2.500	-	-	-	2.500	2.200	5.500	
Surface de coffrage m ²		295	-	25	320	2.000	640	
Volume du béton m ³		768	290	92	458,8	35.000	16.058	
Poids du fer d'armature kg (100 kg/m ³ de béton)			-	9200	9200	320	2.944	
Sable de fond m ³			300	40	340	2.000	680	
Etanchéité m ²		150	1478	202	1830	1.600	9.928	
TOTAL GLOBAL								30.750

(*) Estimation sur la base des taux fournis par le C.D.E. et qui tiennent compte de toutes les charges :
matières et main d'oeuvre

A-5-2 Coût du dépotage et de la station de pompage de l'hexane

Ici aussi nous ne présenterons pas de détail de calcul. La méthode précédente sera utilisée mais de façon plus abrégée. En effet d'après les informations recueillies auprès des entreprises (le CDE notamment) il suffit pour le dépotage, d'utiliser un taux unique de 6400 CFA (*) par m² - pour aire de stationnement butimé - pour connaître le coût global. Cela nous donne avec une surface de 200 à 250 m² un coût maximum égal à 1 600 000 CFA. Pour tenir compte des travaux de la cabine des pompes et compteur nous avons arrondi la valeur de la charge totale à 2 000 000 CFA. Donc coût dépotage + cabine pompes = 2 000 000 CFA.

A-5-3 Coût de la pomperie (locaux techniques)

Portant des informations recueillies au CDE (consortium d'Entreprises) nous avons dressé le tableau A-1.4. Le coût du génie civil pour la pomperie s'élève à :

$$C_p = 4000 \text{ K CFA}$$

A-5-4 Routes d'accès CR_a

Ici nous avons fait nos estimations sur la base de la surface totale à aménager. Les routes d'accès-de notre avis-n'ont pas besoin de bitumage. Néanmoins, afin de garder une certaine marge de sécurité, les coûts sont estimés de la même façon que pour le dépotage. Avec deux voies d'accès au réservoir : l'une partant de l'Extraction et l'autre du dépotage ; la longueur totale sera au maximum égale à 200 mètres y compris les alentours de la cuvette qui doivent être aménagés pour une plus grande accessibilité au bac.

Si chaque route a une largeur de 5 mètres, la surface totale sera $5 \times 200 = 1000$ mètres carrés. Le taux étant de 6400 CFA/m², le coût sera :

$$CR_a = 6400 \text{ K CFA}$$

(*) Le coût réelle dans certaines situations pourrait être plus élevé surtout si le terrain à aménager demande des travaux préliminaires importants (déblai, remblai,)

Tableau A.1.4 : Estimation du coût des locaux techniques (pomperie)

DESIGNATION	QUANTITES ESTIMEES	COUT UNITAIRE (CFA)	COUT TOTAL (CFA)
1. Fouille pour semelle	21 m3	2 200	46 200
béton de propreté	1.6 m3	30 000	48 000
2. Béton pour semelle filante	2.4 m3	35 000	84 000
coffrage pour semelle filante	10 m2	3 000	30 000
ferrailage pour semelle filante	240 kg	320	76 800
3. Agglos plein pour soubassement	13 m2	5 500	71 500
4. Béton pour chaînage soubassement	1.3 m3	3 500	45 500
coffrage pour chaînage soubassement	13 m2	3 000	39 000
ferrailage pour chaînage soubassement	130 kg	320	41 600
5. Béton pour poteau en élévation	1 m3	35 000	35 000
coffrage pour poteau en élévation	24 m2	3 000	72 000
ferrailage pour poteau en élévation	100 kg	320	32 000
6. Maçonnerie agglos de 15	90 m2	5 000	450 000

Tableau A.1.4 : (suite)

DESIGNATION	QUANTITES ESTIMEES	COUT UNITAIRE (CFA)	COUT TOTAL (CFA)
7. Béton pour chaînage supérieur	1,3 m3	37 000	48 100
coffrage pour chaînage supérieur	13 m2	3 000	39 000
ferrailage pour chaînage supérieur	130 kg	320	41 600
8. Béton pour auvent et acrotère	3,46 m3	38 000	131 480
coffrage pour auvent et acrotère	51 m2	3 000	153 000
ferrailage pour auvent et acrotère	346 kg	320	110 720
9. Plancher hourdis 16 + 4	48 m2	10 000	48 000
10. Enduit sous plancher	48 m2	1 300	62 400
11. Enduit muraux	140 m2	1 300	182 000
12. Enduit sous auvent	18 m2	1 300	23 400
13. Béton pour dallage + armature	5 m3	50 000	250 000
Sous total			2 593 300
14. Travaux annexe (peinture, plomberie, etc)	40 % du sous total		1 037 320
TOTAL Général			3 630 620
TOTAL Général arrondi			4 000 000

A.5.5 Honoraires études et contrôles CHec

Les informations que nous détenons chiffrent cette charge à 8500 K CFA. Donc

$$\text{CHec} = 8500 \text{ K CFA}$$

A-5-6 Coût total du génie civil CTGc

$$\text{CTGc} = \text{CTCr} + 2000 + \text{Cp} + \text{CRa} + \text{CHec}$$

$$\text{CTGc} = 51650 \text{ K CFA}$$

A-6 COUT DES INSTALLATIONS DE PROTECTION ET DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE

A-6-1 Coût du matériel

Le tableau A-1-8 donne les coûts totaux des composantes de l'installation :

$$\text{CMat} = 32915.67 \text{ K CFA}$$

A-6-2 Coût de réalisation

A-6-2-1 Temps d'opération

Pour la pose des conduites nous prendrons le même rendement que celui du réseau d'hexane. Soit 20 minutes par point de soudure. Avec une longueur estimée de 450 m on obtient un temps de :

$$T_1 = \frac{450}{8} \times \frac{20}{60} = 18,75 \text{ heures}$$

Pour la robinetterie

$$T_2 = 33 \times \frac{20}{60} = 11 \text{ heures (même taux que précédemment)}$$

Pose des pompes et de la cuve

Nous estimons qu'une équipe de 5 opérateurs (1 agent de maîtrise + 4 ouvriers qualifiés) peut réaliser la pose des 2 moto-pompes en 3 heures de temps au maximum, soit un temps total de $3 \times 5 = 15 \text{ H.}$

Peinture de la tuyauterie

La surface est estimée à 197 m² au total.

Pour une application de 3 couches on a :

$$S_{\text{total}} = 591 \text{ m}^2$$

Avec un rendement de 10 m²/h, le temps d'application de la peinture sera : $T_A = 59.1$ heures

Le temps total d'opération

$$T = \sum_1^4 T_i = 103.85 \text{ heures}$$

A-6-2-2 Coût de la main d'oeuvre C_{Mo}

$$C_{Mo} = T \times \text{taux}$$

avec un taux de 2000 CFA/h on aura :

$$C_{Mo} = 207700 \text{ CFA}$$

A-6-2-3 Imputation du matériel C_{Im}

$$C_{Im} = C_{Mo} = 207700 \text{ CFA}$$

A-6-2-4 Coût des consommables C_{Co}

$$C_{Co} = 0.15 C_{Mo} = 31155 \text{ CFA}$$

A-6-2-5 Coût des supports de tuyauterie en béton (pose aérienne) C_S

$$C_S = 2500 \times n$$

n = nombre de supports = $\frac{1}{5} = 90$ supports

$$C_S = 225000 \text{ CFA}$$

Le coût total de réalisation sera :

$$CTR = C_{Mo} + C_{Im} + C_{Co} + C_S$$

$$CTR = 671555 \text{ CFA}$$

Tableau A.1.5 : Coût des conduites d'eau incendie Type Tarif 10 (TU 37 b)
(TU 37 b)

DESIGNATION	$C_u^{(*)}$ (KCFA)	n (**) estimé	C_T (KCFA)	Source d'information sur le prix
Conduite D N				
200	19.125	55	1051.875	Brossette
150	13.175	70	922.25	"
100	5.1	255	1300.5	"
80	4.76	100.5	478.38	"
50	3.91	49.5	173.745	"
32	2.805	10	28.05	"
TOTAL			3954.8	

(*) Ces coûts unitaires sont donnés en hors-taxes, hors-douanes, hors-T.V.A. moins 15 % de remise dont bénéficie la SONACOS auprès de Brossette (fournisseur).

(**) est l'unité de mesure de l'élément considéré, il désignera dans la suite du rapport indifféremment des longueurs ou des nombres d'appareils ou tout autre élément quantifiable.

Tableau A.1.6 : Répartition et valeur totale des charges de peinture de la tuyauterie incendie

DESIGNATION	C _u (KCFA)	n	C _T (*) (KCFA)	Source d'information
Conduite D N				
200	-	55	41.24	La Seigneurie Afrique
150	-	70	38.09	
100	-	255	94.25	
80	-	100.5	30.575	
50	-	49.5	9.15	
32	-	10	1.15	
TOTAL			214.5	

(*) Les coûts totaux sont calculés à partir de la surface totale à couvrir qui est la somme des différentes surfaces liées à chaque type de conduite du point de vue des diamètres.

La répartition des coûts totaux s'obtient par la règle de trois puisque la nature et les épaisseurs des couches de peinture seront les mêmes.

Tableau A.1.7 : Accessoires des conduites, Pompes, extincteurs, cuves....

DESIGNATION	C _u (KCFA)	n estimé	C _T (KCFA)	Source des prix
Vannes DN				
200	253.3	5	1 266.5	Brossette
150	119.0	8	952.0	"
100	59.5	8	476.0	"
80	41.65	6	249.9	"
50	38.25	0		"
32	15.3	2	30.6	"
Clapets				
150	310.25	2	620.50	
Jointes				
200	2.68	}	100.0 (estimé)	"
150	1.96			
100	1.53			
80	1.28			
90	0.867			
32	0.53			
Brides				
200	11.9	}	50.0 (estimé)	"
150	8.67			
100	4.51			
80	4.17			
50	3.4			
32	2.55			
Réducteur. 150/125	-	2		
Sous total			3 745.5	

Tableau A.1.7 : (suite)

DESIGNATION	Cu (KCFA)	n	C _T (KCFA)	Source du prix
Coudes DN				Brosette
200	21.675			"
150	12.75			
100	5.1		400.0	"
80	2.72			
50	1.36			
32	1.66			
Filtres				
200	820.93	2	1 641.86	"
Tès	-	-	-	
Manomètres	21.0	2	42.0	"
Groupe moto-pompe (125 kw)	8 010.0	2	1 602.0	SOFICA
Cuve emulseur	475.0	1	475.0	SONACOS
Extincteur 10 kg	31.22	15	468.35	PEYRISSAC
" 50 kg	203.0	6	1 218.06	PEYRISSAC
Prémélangeu				
Type A.D.A.	860.2	1	860.2	PEYRISSAC
Emulsifiant	900	3 500	3 150	
Générateurs de mousse pour :				
- Réservoir	- (*)	2	voir page	
- cuvette	-	2	116	
Pulvérisateur de :				
- mousse	- (*)	6		
- eau	-	50		
TOTAL			28 020.37	

Tableau A.1.8 : Coût du matériel de lutte contre l'incendie par eau et/ou par mousse

DESIGNATION	COUTS TOTAUX (KCFA)
Tuyauterie	3954.8
Robinetterie, pompes, extincteurs, cuve d'émulsifiant et autres	28020.37
Peinture	214.5
Sous total	29039.67
Imprévus et indéterminés (**) 2.5 %	726.0
TOTAL	32915.67

(*) Nous n'avons pas pu avoir ces prix auprès des fournisseurs de la place (comme Peryssac par exemple)

(**) Les indéterminés concernent les éléments dont nous ne disposons pas - soit du prix, soit du nombre exact d'unités (boulons, écrous, ...)

A-6-3 Coût total des installations (opérationnelles)

$$CTI = CMat + CTR = 33587.2 \text{ k CFA}$$

A-7 COUT DES INSTALLATIONS ELECTRIQUES

A-7-1 Coût du matériel

Le bilan du tableau A-1-9 donne

$$CMat = 1.2 \times 5321.6 = 6386 \text{ K CFA} \quad (*)$$

A-7-2 Coût de réalisation

A-7-2-1 Coût de la main-d'oeuvre

Le temps total de réalisation est estimé à 15 jours (foisonnement compris) avec une équipe composée de :

- 1 agent de maîtrise au taux de 3000 CFA/h. (* *) ;
 - 2 ouvriers qualifiés au taux de 1500 CFA/h ;
 - 2 manoeuvres au taux de 750 CFA/j
- soit un taux moyen de 1500 CFA/j et par opérateur.

Le coût de la main-d'oeuvre sera donc

$$CMo = 5 \times 1500 \text{ CFA/h} \times 8\text{h/j} \times 15 \text{ j}$$

$$CMo = 900 \text{ 000 CFA}$$

A-7-2 Imputation du matériel

$$CI_m = CMo = 900 \text{ 000 CFA}$$

A-7-2-2 Consommables

$$CCo = 0.15 \times CMo = 135 \text{ 000 CFA}$$

Le coût de réalisation sera donc

$$CTR = 900 \text{ 000} + 900 \text{ 000} + 135 \text{ 000}$$

$$CTR = 1 \text{ 935 000 CFA}$$

Nota : (*) Du fait de l'incertitude assez grande sur certains appareils antidéflagrants comme les moteurs, les projecteurs etc., nous avons jugé qu'il était plus prudent de majorer les coûts de 20 %

(**) D'après la COSELEC.

A-7-3 Coût total des installations opérationnelles

$$\begin{aligned} \text{CTI} &= \text{CMat} + \text{CTR} \\ &= 6386 + 1935 = 8321 \text{ KCFA} \end{aligned}$$

A-8 COUT DU TERRAIN DE STOCKAGE

L'unité de stockage de l'hexane devrait être implantée sur une partie d'un terrain d'une surface totale de 3091 m². Le coût total de ce terrain est de 250.590 millions (*).

L'espace réservé au stockage de l'hexane occupe 7035 m² soit 22.77 % de la surface totale. En appliquant la règle de la proportionnalité directe (**), le coût de notre terrain de stockage sera :

$$\text{CT}_s = 57068 \text{ KCFA} ,$$

Nota : (*) Chiffre fourni par le service de la comptabilité de l'usine

(**) Ce calcul n'est pas très exact puisque le terrain a été acquis par portions. En faisant un calcul précis on devrait trouver des différences au niveau du coût au mètre carré du terrain d'une portion à l'autre. Les informations que nous avons reçues ne nous permettent pas de faire un tel calcul.

Tableau A.1.9 : Coût de l'appareillage électrique

DESIGNATION	C _u (KCFA)	n	C _T (KCFA)	Source d'informations
Moteur 5.5 kw, 3 Ø 1500 RPM anti déflag.	400.0	2	800.0	S A R
Ventilateurs 0.55 kw, 3 d anti déflag.	150.0	2	300.0	"
Agitateur (moteur) Akw 3 Ø anti déflag.	268.300	2	537.0	"
Transfo 12.5 kVA 380/220, 3 Ø + N à séparation de circuit	270.0	1	270.0	C G E
Projecteur AD	150.0	4	600.0	
Lampe fluo 2 x 40 w	137.0	4	548.0	SONACOS
Lampe incandescente 60 W anti défl.	100.0	2	200.0	"
Lampe incandescente 40 W anti défl.	75	1	75	"
Prise de courant calibre 10 A	-	5	-	"
<u>Disjoncteurs :</u> - C 100 tri cal 80	52.635	1	52.635	SENEMATEL
(à suivre)				

Tableau A.I.10 : (suite tableau A.1.9)

DESIGNATION	C _u (KCFA)	n	CT (KCFA)	Source d'in- formations
€ 100 tri, cal. 40	52.635	2	52.635 x 2	SENEMATEL
" " " 63	52.635	2	52.635 x 2	"
C 32 N, cal. 20	11.715	1	11.715	"
C 32 L, MA 2.5	29.462	2	58.924	"
C 32 L, MA 12.5	48.387	2	96.774	"
C 32 L, MA 10	29.462	2	58.924	"
C 32 a, bi cal 15	11.715	4	46.86	"
<u>Fusibles</u>				
g \bar{I} cal 6(14x51)	7.690	4	30.76	"
aM U (14x15)	7.690	4	30.76	"
Sectionneur tri.	172.935	2	345.87	"
Contacteur LC1-D09	24.3	4	97.2	"
LC1-D12	24.3	2	48.6	"
Relais LR1-D09	37.17	4	148.62	"
LR1-D12	37.17	2	148.62	"
Interrupteur horaire	16.225	1	16.225	C G E
Coffret répart.	16.5	1	16.5	C G E
Câbles S Y E 2				
4 x 16 mm ²	1.730	200	346.0	C G E
4 x 1.5 mm ²	0.448	300	134.4	"
3 x 1.5 mm ²	0.369	150	55.35	"
Câbles U1000R02V				
4 x 1.5 mm ²	0.448		20	"
3 x 1.5 mm ²	0.369	45	16.605	"
Pylônes	-	4	-	"
TOTAL			5321.6	

A-9 COÛT TOTAL INITIAL DU PROJET

Pour connaître le coût initial, il nous suffit de faire tout simplement la somme des coûts totaux déterminés dans les paragraphes précédents

Tableau A.I.11 : Bilan des coûts totaux pour le stockage en usine

ELEMENT	COÛT (KCFA)
1 - Réservoir d'hexane	67 500
2 - Réseau de canalisation de l'hexane	71 000
3 - Génie civil	51 650
4 - Lutte contre l'incendie	33 587.2
5 - Electricité	8 321
6 - Terrain	57 068
<u>Sous total</u>	289 126
Imprévus 10 %	28 912.6
TOTAL	318 038.6
Total Arrondi	318 000

A-10 COÛT TOTAL INITIAL POUR UN STOCKAGE AU PORT

Une étude détaillée de notre part n'a pu être effectuée pour déterminer le coût du stockage au Port, le tableau A.1.12 est le résultat d'une étude antérieure. Nous l'utiliserons pour notre étude comparative (voir partie II du présent rapport)

Tableau A.I.12 : Coût du stockage au Port (Extrait des documents reçues à l'usine)

	DESIGNATION	COUT (KCFA)
	Génie civil	
	- dalle pour bac + mur de retention	35 000
	- routes d'accès	
	- Locaux techniques	5 000
	- Honoraires études + contrôle	4 000
	Matériel	
		75 000
	- peinture tank	6 500
	- pompes de reprise	12 000
	- pompes de chargement	6 000
	- robinetterie	10 000
	- compteurs	21 000
	- flexibles	
	- tuyauterie	
	- nettoyage môle 9/ppes ou R28	ppes 4 500
	- liaison bac/extraction	DN10070 000
	- Electricité	2 500
	- installation incendie	5 000
	Sous total	256 500
	Divers imprévus (10 %)	25 650
	TOTAL Général	282 150
	TOTAL Arrondi	285 000

B

CALCUL DES FRAIS

B-1 INTRODUCTION

La détermination des différents frais (fixes et variables) nous permettra par la suite de déterminer la rentabilité du projet par différentes approches notamment la méthode du point mort, le délai de récupération, etc...

B-2 FRAIS FIXES

Ce sont les charges financières liées au stockage de l'hexane et qui ne varient pas quelle que soit la quantité stockée.

B-2-2-1 Frais de réception fr

La documentation qui nous a été fournie au niveau de la SONACOS ElD nous a permis de déterminer les frais de réception. En fait ce sont des charges encourues lors de la réception du tanker (navire de livraison). Elles s'élèvent à 22000 CFA .

$$\text{fr} = 22000 \text{ CFA } (\star)$$

B-2-2-2 Frais de personnel fp

Il faut dire qu'à ce niveau il nous est très difficile de connaître exactement les dépenses nécessaires puisque les salaires du personnel dépendent de beaucoup de paramètres que nous ne maîtrisons pas. Il s'agit notamment des primes, indemnités, anciennetés, charges sociales... C'est pourquoi nous nous sommes contentés du chiffre retenu dans le rapport de la première étude faite en 1984. Les frais de personnel seraient d'environ 4 millions.

$$f_p = 4\ 000\ 000 \text{ CFA/an}$$

B-2-3 Eclairage, ventilation (extracteurs d'air)

Pour l'éclairage il s'agit principalement de l'éclairage extérieure : aire de stockage, dépotage et pomperic incendie.

Avec une puissance totale de 4600 W :

- . 4000 W pour les projecteurs ;
- . 600 W pour les autres types d'éclairage,

on aura une consommation de 16560 kwh par an (sur la base de 10 h de fonctionnement par jour).

Le coût du kilowatt-heure consommé est prix égal à 70.3 (* *) CFA (prix SENELEC) ce qui donne tous calculs faits une valeur de :

$$f_e = 1164170 \text{ CFA/an}$$

Pour la ventilation nous avons utilisé le même taux de fonctionnement soit 10h/j à pleine capacité. Avec une puissance installée de 1.1 kw on a une consommation annuelle de :

$$10 \times 1.1 \times 360 = 3960 \text{ kwh}$$

soit une charge financière $f_v = 278390 \text{ CFA}$.

B-2-4 Frais d'amortissement f_a

Tenant compte des différences de taux d'amortissement applicables aux différentes composantes de l'unité de stockage d'hexane, nous avons dressé le tableau II-2-1 donnant la valeur totale de la charge d'amortissement à considérer pour nos calculs. Dans le calcul de cette charge nous avons tenu compte des taux permis par la loi et aussi de la durée de vie probable de certains équipements.

Le réseau de lutte contre l'incendie par exemple est jugé amortissable sur vingt ans (20) dû au fait que ces équipements ne fonctionneront qu'en cas d'incendie. Il en est de même pour la canalisation de l'hexane, sauf les pompes et les compteurs que nous avons amortis au taux de 10 % (dix ans) etc. La valeur finale de l'amortissement sera donc :

$$f_a = 17633.43 \text{ K CFA/an}$$

Nota : (*) Les frais de réception sont considérés comme fixes cependant leur valeur dépend dans une certaine mesure de la consommation de l'hexane car si on n'atteint pas un niveau de production qui permet de consommer la quantité stockée dans l'année mais en deux ou trois ans par exemple, les frais f_r devront être considérés pour ces deux ou trois ans et donc divisés par 2 ou 3 selon le cas.

(*) Le coût du kilowatt heure d'énergie électrique fait intervenir beaucoup d'éléments dans le cas de l'application de la comptabilité analytique pour la gestion des coûts. Une estimation plus réaliste fait appel à beaucoup d'éléments :

. Si l'énergie est fournie par la SENELEC-là le calcul est simple, on applique directement le coût unitaire de 70.3 CFA ;

. Si l'énergie est produite par l'usine même c'est là qu'intervient les difficultés dans le calcul.

En effet pour calculer le prix de l'énergie dans ce cas il faut tenir compte des frais liés à :

- l'entretien de la centrale électrique de l'usine ;
- l'entretien de la chaufferie qui produit de la vapeur d'eau ;
- les frais de personnel de tous les secteurs qui interviennent dans le processus de production de l'énergies électrique ;
- etc...

Ces charges n'étant pas disponibles actuellement, nous avons considéré le prix SENELEC qui permet de maximiser le coût du courant consommé par notre unité de stockage (sécurité oblige).

. Il y a une troisième situation qui est intermédiaire des deux précédentes ; il s'agit du cas où une fraction de l'énergie consommée dans l'année est produite par l'usine et le reste par la SENELEC. C'est surtout quand la production d'arachide n'assure pas une trituration annuelle normale. Là aussi le coût du courant est difficile à calculer car les prix SENELEC et SONACOS ne sont pas les mêmes.

B-2-5 Frais fixes totaux FF_t

$$\begin{aligned} FF_t &= f_r + f_p + f_e + f_v + f_a \\ &= 22.0 + 1164.17 + 278.39 + 17633.46 \end{aligned}$$

$$FF_t = 23100 \text{ K CFA}$$

Tableau B-I-1 : Calcul de l'amortissement annuel

DESIGNATION	Coût (KCFA)	Taux d'amor- tisse- ment(%)	Amortissement (KCFA)
réservoir de stockage	67 500	5	3 375
cuvette de rétention + dépotage + + études et contrôle + routes	51 650	5	2 582.5
Canalisation de l'hexane	570 000	6.67	3 800
- installations de lutte l'incendie	30 437.2	6.67	2 029.15
- installations électriques	6 035	10	603.5
- pompes hexane	648	10	64.8
- moteurs éclairage	2 286	20	457.2
- émulsifiant (*)	3 150	20	630
- compteurs hexane	12 000	10	1 200
- divers	28 912.26	10	2 891.226
TOTAL			17 633.43

(*) En cas d'incendie, la consommation de l'émulsifiant constitue une charge à considérer pour l'année en question. Pour notre étude nous supposons (et c'est notre souhait le plus absolu) qu'il n'y aura pas d'incendie pour toute la durée de vie de l'émulsifiant qui est de cinq ans au moins.

Cinq années durant lesquelles ce produit doit être amorti régulièrement afin qu'il puisse être renouvelé après.

B-3 FRAIS VARIABLES F_v

Ils dépendent directement des besoins annuels en hexane. Ce sont :

- le droit fiscal ;
- les droits douane ;
- les taxes COSEC (Compagnie Sénégalaise des Chargeurs) ;

Ces quatre premiers types de frais constituent ce que l'on appelle les frais d'approche.

- Les frais dues aux pertes de stockage ;
- Les frais de transport pour acheminer l'hexane au niveau des autres unités à Kaolack, Ziguinchor et éventuellement à Diourbel ;
- les frais financiers...

Examinons l'un après l'autre ces différents types de charges variables.

B-3-1 Frais d'approche f_{ap}

Ils s'établissent comme suit :

- . Droit fiscal $D_f = 10 \%$
- . Droits de douane $D_d = 15 \%$
- . Taxes COSEC $T_c = 0.3 \%$
- . Frais de transit $f_t = 5 \text{ CFA/l d'hexane.}$

La valeur chiffrée de chacun des trois premiers points se calcule sur la base du prix de référence de l'hexane. L'étude dont nous avons fait mention un peu plus haut chiffre ce prix à 119.5 (*) CFA.

Ce qui nous donne les valeurs suivantes :

$$D_f = 0.1 \times 119.5 = 11.95 \text{ VFA/l}$$

$$D_d = 0.15 \times 119.5 = 17.925 \text{ CFA/l}$$

$$T_c = 0.003 \times 119.5 = 0.3585 \text{ CFA/l}$$

soit $f_{ap} = 35.24 \text{ CFA/l}$

Nota : (*) Le prix de référence de l'hexane (le plus offrant) est de 435 dollars la tonne. Les calculs faits sur cette base au taux actuel du dollar donne un prix au litre supérieur à 119.5 CFA. Cependant, pour faire la part des choses il serait plus juste de tenir compte de l'augmentation fort probable du prix d'achat du produit actuellement au niveau du fournisseur habituel. Or nous n'avons pas ce prix, ce qui nous oblige pour être cohérent, de faire nos calculs à partir des deux prix donnés à la même date qui sont :

- 119.5 CFA pour l'achat par Tanker ;
- 2875 CFA pour l'achat par le fournisseur actuel.

B-3-2 Frais dus aux pertes (ou freintes en cours de stockage)

Les informations que nous avons reçues auprès des pétroliers et notamment à la Société Africaine de Raffinage (S A R) nous donnent un taux maximal de 1.4 %. Ce sont des pertes encourues après l'acquisition du produit donc calculables sur la base du prix de référence augmenté des frais d'approche et de stockage

$$f_p = 0.014 \text{ l/litre stocké soit } 2.2 \text{ CFA/l}$$

B-3-3 Frais de transport f_{tr}

Si nous faisons une considération d'ordre globale (c'est à dire que l'ensemble des unités forme un seul élément et que les pertes comme les profits reviennent à la même société (le groupe SONACOS), nous pouvons calculer facilement les charges de transport en faisant une moyenne pondérée.

Le coût du transport pour l'acheminement de l'hexane est le suivant pour les différents endroits (d'après la STAR) :

- Diourbel 663.3 CFA/hl soit 6.63 CFA/l - Capacité $280 \cdot 10^3 \text{ T/an}$;
- Ziguinchor 22.968 CFA/l - Capacité $120 \cdot 10^3 \text{ T/an}$;
- Dakar 0 CFA/l - Capacité $320 \cdot 10^3 \text{ T/an}$.

En faisant une moyenne pondérée on trouve :

$$f_{tr} = 7.03 \text{ CFA/l consommé.}$$

B-3-4 Frais de pompage et de maintenance

Ce sont les frais occasionnés par :

- l'agitation avant pompage
- le pompage proprement dit
- la maintenance de ces machines qui dépend de leur taux d'utilisation.

. Une agitation complète requiert un temps de marche des agitateurs t_m

$$t_m = \frac{5.V}{q} \text{ heures } (*)$$

(*) cf Règles Générales : Methode ELF d'estimation du coût des réservoir ; (doc. S A R).

$$\dot{q} = \text{débit des agitateurs} = 1190 \times 2 = 2380 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V = \text{contenance du bac en m}^3$$

On aura donc

$$t_m = 2.521 \cdot 10^{-6} \text{ h/l}$$

Soit une consommation d'énergie de

$$C_e = t_m \times 8 \text{ kw} = 2.0 \cdot 10^{-5} \text{ kwh/l}$$

Le coût sera donc

$$C'_a = C_e \times 70.3 = 1.42 \cdot 10^{-3} \text{ CFA/l agité.}$$

Ce coût n'est pas fonction de la quantité consommée, mais dépend plutôt du niveau du stock. Pour connaître le coût lié à la quantité consommée, il faut déterminer le nombre d'agitations, la quantité moyenne agitée et la quantité soutirée nécessitant une agitation.

Les estimations effectuées nous donnent un volume moyen agité de 1000 m^3 à la fois. On aura donc un coût de 1420 CFA/agitation. Si pour chaque agitation on livre en moyenne $4 \times 30 (\star) = 120 \text{ m}^3$ on obtient le coût de l'agitation.

$$C_a = \frac{1420}{120 \cdot 10^3} = 0.012 \text{ CFA/l}$$

. De la même façon on obtient $3.866 \cdot 10^{-3} \text{ CFA/l}$ pour le pompage et la maintenance.

(\star) Pour le ravitaillement des autres unités il est prévu d'utiliser des citernes de 30 m^3 , les autres 30 m^3 concerne une éventuelle alimentation de la SONACOS-Dakar dont les cuves ont chacune une capacité de 55 m^3 . Il ne s'agit là que d'une hypothèse de calcul basée sur une moyenne probable.

B-3-5 Frais financiers f_f

Ils s'élèvent à 14.5 % capitalisés annuellement et sont calculés sur le montant du prix de référence + frais d'approche.

Soit $(119.5 + 35.24) \times 0.145 = 22.44$ CFA/1

$$f_f = 22.44 \text{ CFA/1}$$

Les frais variables s'élèvent donc à :

$$F_v = f = f_{ap} + f_p + f_{tr} + C_a + 3,87.10^{-3} + F_f$$

$$F_v = 35.24 + 2.2 + 7.03 + 0.012 + 3.87.10^{-3} + 22.44$$

$$F_v = 66.896 \text{ CFA/1 consommé .}$$

B-4 FRAIS TOTAUX

C'est la somme $FF_t + F_v$ qui constitue les frais totaux. Pour plus de détails voir 2e partie au paragraphe 2.1.2 (Formulation mathématique).

C

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE L'HEXANE TECHNIQUE

- Température d'ébullition	:	64 à 68 °C (à la pression atmosphérique)
- Tension de vapeur	:	voir courbe
- Densité de vapeur/air	:	3.09
- Densité	:	0.68 (à 15 °C)
- Chaleur spécifique	:	0.6 kcal/kg °C
- Chaleur latente de vaporisation	:	80 kcal/kg (à la pression atmosphérique)
- Indice de réfraction	:	1.387 (à 20 °C)
- Point éclair	:	- 25 °C
- Limites d'inflammabilité	:	1.2 à 6.9 %
- Température d'explosivité	:	- 20 à + 15 °C
- Température d'auto-ignition	:	+ 260 °C
- Solubilité dans l'eau	:	0.138 mg/l
- Viscosité cinématique	:	0.480 cSt (à 20 °C)

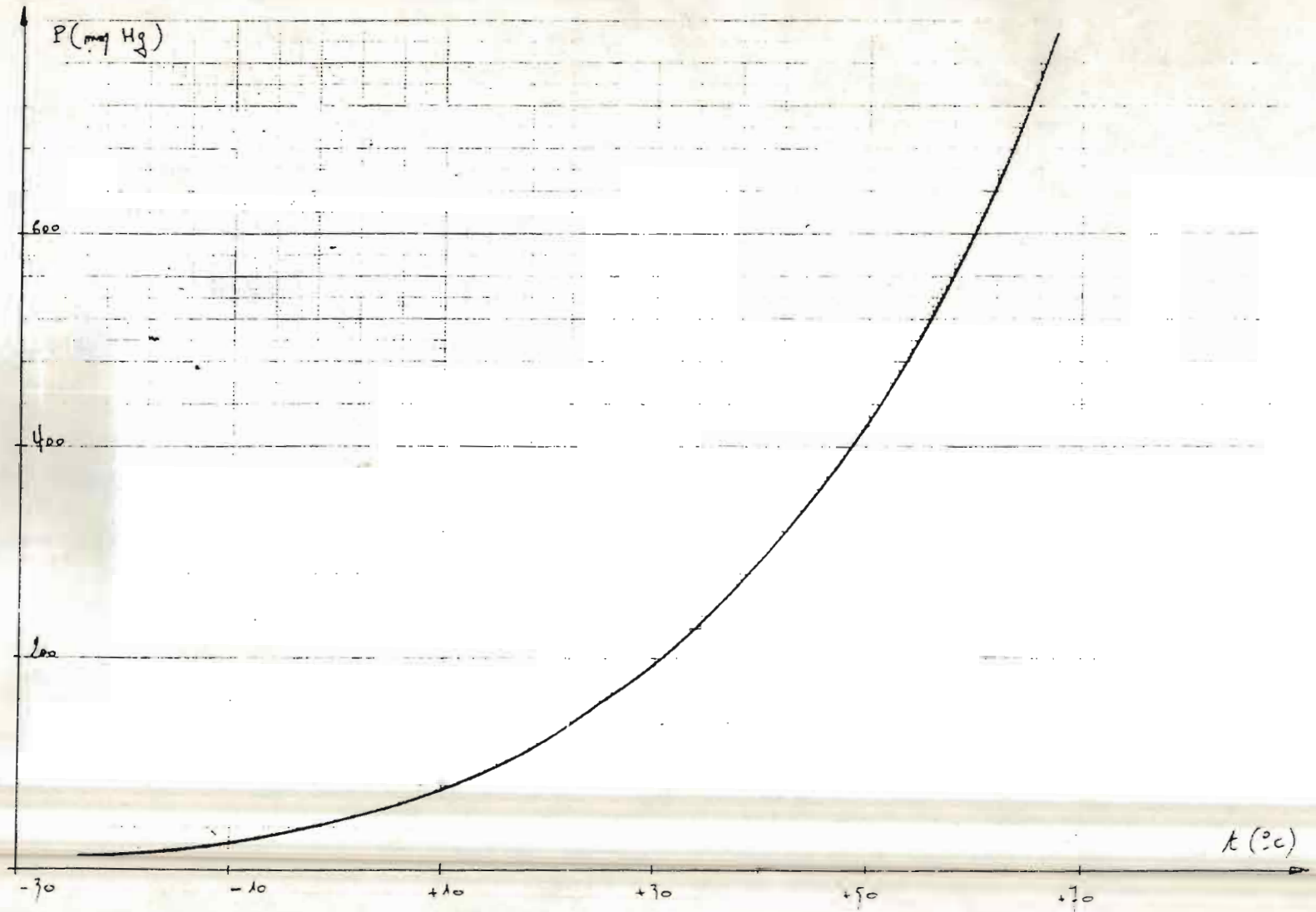


FIGURE C-1

Hexane technique:
tension de vapeur:

$$P_v = f(T^{\circ}\text{C})$$

BIBLIOGRAPHIE

A P I S T D 6 5 0 : Réservoirs de stockage d'hydrocarbure en acier soudé, T₁, T₂, T₃, 5e édition, juillet 1973.

C O D E E L F : règles générales et plans standards

REGLES GENERALES

RG 12-01 : réservoirs de stockage sans pression interne
RG 27-01 : fondation des réservoirs de stockage
RG 23-10 : mise à terre des équipements
RG 22-04 : peinture
RG 32-01 : installations fixes de protection et de lutte contre l'incendie
RG 32-04 : dispositif de protection contre l'incendie

PLANS STANDARD

STD D 12-005 : couvercle des trappes de visite des caissons annulaires de toit flottant
STD D 12-007 : plaque d'identification des réservoirs
STD D 12-009 : event pour réservoir
STD D 12-013 : potence de levage à toit fixe et à toit flottant sans poutre raidisseuse
STD Y 32-038 : protection incendie - eau de refroidissement
STD Y 32-099 : protection des dispositifs fixes de mise de mousse
STD Y 32-100 : alimentation eau et mousse

Révision Générale Janvier 1979, EIF UNION,

L A R C O : écran flottant coverflote, instruction de montage, LARCO, Septembre 1981.

JOURNAL OFFICIEL (France) : extraits de l'arrêté du 19 novembre 1975 relatifs aux règles d'aménagement et

d'exploitation des dépôts d'hydrocarbures liquides, J.O. du 23 janvier 1976 (France).

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION ; fire protection handbook,
thirteenth edition, NFPA, 1969.

TECHNIQUES DE L'INGENIEUR, J₂, K₁, B₄.

HYDRAULIC INSTITUTE ; pipe frictionnal manual, third edition, Hydraulic
institute, 1975 .

D. VO NGOC ; notes de cours de mécanique des fluides, EPT, 1983-1984

P. MARKON, ROGER MARTIN ; notes de cours sur les installations élec-
triques , EPT, 1985 .

MERLIN GERIN ; guide de l'installation électrique, 3e édition, Merlin
Gérin, Janvier 1982 .

MERLIN GERIN ; catalogue Multi 9 , 1984 .

MERLIN GERIN ; catalogue distribution HT/BT , 1981 .

TELEMECANIQUE : catalogue international , 1983 .

COMPAGNIE GENERALE D'ELECTRICITE : CGE catalogue branchements et instal-
tion, CGE distribution , 1984 .

PHILIPS : philarama, lumière , 1982 .

I E E E : recommanded practice for electric power distribution for
industrial plants, 5th edition, the Institute of Electrical
and Electronics Engineers, Inc, S t d 141-1976 .

LE RECKNAGEL-SPRENGER : manuel pratique du génie climatique , PYC Edi-
tion, 1980.

CH. MASSONNET-S.CESCOTO : mécanique des matériaux, 3e édition, Sciences
Et Lettres - Liège, 1980 .

WESTON-BRIGHAM-HALPEN : gestion financière, 3e édition, les Editions
H R W ltée, 1981.

J.M. DE THOOR - JL. GROBOILLOT : La vie des équipements (investisse-
ment, renouvellement, maintenance),
DUNOD Editeur, 1967.

P.GILLIER et P. SILVESTRE : l'arachide, G.P., Maisonnnet & Larose,
1969.

ROBERT TELLER : Comptabilité des entreprises sénégalaises, les Nouvelles
Editions Africaines, 1980.

C R C : Handbook Qf chemistry and physics, 56th Edition, CRC Press, 1975-
1976.

S.P.S.B. : Memento technique - Travaux/Etablissement, documents Montage-
Tuyauterie-Soudure-Sénégal (MTS-SN) .