

REPUBLIQUE DU SENEGAL
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



Gm. 0515

École Supérieure Polytechnique
Centre de Thiès

DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR DE CONCEPTION

**Titre : *Analyse et conception d'un système
d'information appliqué à la gestion de la
maintenance des stations de pompage de Touba***

**Auteurs : Ndiamé DIOP
Agnia DIAO**

**Directeurs internes : Paul DEMBA
Oumar NIANG**

Directeur externe : Daouda GNINGUE Ingénieur au Ministère de l'Hydraulique

Année académique : 2007 - 2008

SOMMAIRE

Le but de ce présent travail est de concevoir un système d'informations appliqué à la gestion de la maintenance des 17 stations de pompage de la ville de Touba.

Notre étude, qui s'inscrit dans le cadre global d'une amélioration de la maintenance des équipements des stations, présente dans sa première partie une analyse de la situation actuelle en vue d'identifier les difficultés auxquelles le système est confronté.

Ce diagnostic nous a permis d'aborder, dans la deuxième partie, les aspects liés à l'optimisation de l'exploitation des stations. La troisième partie décrit les concepts de base de la maintenance qui a abouti sur la présentation des différentes étapes de la mise en place du système d'informations.

Le suivi de la performance de 12 stations sur une période d'un mois a permis d'avoir une idée sur les conditions réelles de fonctionnement et de faire des propositions dans le sens de l'optimisation de l'exploitation des stations.

Cette optimisation porte essentiellement sur l'amélioration du rendement des pompes et la réduction du coût de l'énergie par la compensation de la puissance réactive.

A partir des besoins de l'unité de maintenance, les techniques d'analyse UMI basées sur l'identification des différents cas d'utilisation ont permis de définir les différentes composantes et fonctionnalités du système d'informations.

Par ailleurs, le suivi des indicateurs de performance, la méthode de codification utilisée ainsi que les plannings de maintenance des différents équipements sont bien définis. Les recommandations faites portent essentiellement sur la mise en place d'un mode de gestion rationnel. Elles visent également à renforcer les moyens et les pouvoirs des services de maintenance afin de leur permettre mieux répondre aux exigences de la maintenance de cette importante patrimoine.

TABLE DES MATIERES

<i>Remerciements</i>	<i>i</i>
<i>Sommaire</i>	<i>ii</i>
<i>Table des matières</i>	<i>iii</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>iv</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>v</i>
<i>Liste des sigles et abréviations</i>	<i>vi</i>
INTRODUCTION	01
CHAPITRE I- CONTEXTE	02
I HISTORIQUE	02
II ETAT DES LIEUX	07
II-1 Présentation du système d’approvisionnement en eau potable de Touba....	07
II-1-1 Caractéristiques des ouvrages de captage.....	08
II-1-2 Système de Stockage.....	09
II-1-3 Composition du système de pompage.....	10
II-2 Système de gestion appliqué.....	14
II-2-1 Historique de la gestion des forages.....	14
II-2-2 Organisation de la D.E.M.....	14
II-2-3 Les Associations des Usagers de forages.....	15
II-3 Modèle de gestion appliqué à Touba.....	17
II-4 Présentation de l’Unité de Maintenance de Touba.....	18
II-4-1 Moyens de l’Unité de maintenance de Touba.....	18
II-4-2 Organisation de la Maintenance.....	20
II-4-3 Difficultés de fonctionnement.....	20
II-5 Comité Initiative Eau de Touba.....	21
CHAPITRE II- THEORIE DE LA MAINTENANCE	
I INTRODUCTION A LA FONCTION MAINTENANCE	22
I-1 Définition de la Maintenance.....	22
I-2 Rôle de la Maintenance.....	22
II LES DIFFERENTES FORMES DE MAINTENANCE	23
II-1 La maintenance corrective.....	24

II-2	La maintenance préventive.....	24
II-3	Conclusion.....	25

CHAPITRE III- ETUDE SUR L'OPTIMISATION DU FONCTIONNEMENT DES STATIONS DE POMPAGE

I	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.....	26
II	CONSTITUTION DES GROUPES MOTO-POMPES IMMERGES.....	27
III	PROTECTION DES ELECTROPOMPES.....	30
IV	SYSTEME DE DEMARRAGE.....	30
V	OPTIMISATION DES SYSTEMES DE POMPAGE.....	34
V-1	La compensation de l'énergie réactive.....	34
V-1-1	Composantes actives et réactives du courant.....	35
V-1-2	Composantes actives et réactives de la Puissance.....	35
V-1-3	Le facteur de puissance	36
V-2	Détermination des pertes par effet Joule et de la capacité des condensateurs à installer.....	39
V-2-1	Capacité des condensateurs.....	39
V-2-2	Pertes par effet Joule et des Chutes de tension.....	39
V-3	Conclusion.....	41
VI	VERIFICATION DU CHOIX DES POMPES.....	45
VI-1	Cas des forages F2, F4.....	47
VI-2	Cas du forage F13.....	48
VI-3	Cas du forage F3.....	51
VII	FONCTIONNEMENT EN DEHORS DES HEURES DE POINTE.....	53

CHAPITRE IV ANALYSE ET CONCEPTION DU SYSTEME D'INFORMATIONS

I	SPECIFICATION DES BESOINS	56
I-1	Description des besoins.....	57
I-1-1	Les Objectifs généraux	58
I-1-2	Les besoins de type fonctionnel	58
I-1-2-1	Interventions.....	58
I-1-2-2	Les équipements	59
I-1-2-3	Les Stocks.....	59
I-1-2-4	La gestion des approvisionnements.....	60
I-1-2-5	La gestion du personnel	61

	I-1-2-6 Les indicateurs de performance.....	61
I-2	Spécification des Cas d'utilisation.....	62
	I-2-1 Modèle brut.....	62
	I-2-2 Modèle détaillé.....	64
	I-2-3 Diagramme des Cas d'utilisations.....	65
II	ANALYSE CONCEPTUELLE DES DONNEES.....	68
II-1	Diagramme de classe U.M.L.....	68
	II-1-1 Définition de quelques concepts de base.....	68
	II-1-2 Construction du diagramme de Classe.....	71
III	MODELE RELATIONNEL.....	73
III-1	Concepts de base.....	73
III-2	Contraintes d'intégrité fondamentales du modèle relationnel... ..	74
	III-2-1 Clé primaire et contrainte d'entité.....	74
	III-2-2 Contrainte d'intégrité référentielle.....	75
	III-2-3 Traduction du modèle conceptuel de données en schéma Relationnel.....	75
	III-2-4 Table et clé primaire	76
	III-2-4-1 Relation binaire (...n)(...1).....	76
	III-2-4-2 Relation binaire (0.1)(1.1).....	76
	III-2-4-3 Relation binaire et ternaire	76
IV	SCHEMA DE LA BASE DE DONNEES.....	76
V	SYSTEME DE CODIFICATION.....	78
V-1	Concept d'arborescence.....	78
V-2	Arborescence fonctionnelle	78
	V-2-1 L'arborescence structurale	79
	V-2-2 L'arborescence technologique	79
V-3	Liaison entre les arborescences.....	79
V-4	Proposition d'un système de codification.....	79
V-5	Conclusion	91
	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	92
	ANNEXES.....	95
	Annexe 1 : Compensation et point de fonctionnement pompe.....	96
	Annexe 2 : Documents de gestion et de suivi.....	100
	Annexe 3 : Indicateur de performance.....	105
	Annexe 4 : Système de codification.....	110
	Annexe 5 : Plannings de maintenance.....	114
	Annexe 6 : Documentation pompe Pleuger.....	120
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	124

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Présentation des ouvrages de captage.....	8
Tableau I.2 : Présentation des ouvrage de stockage ;.....	9
Tableau I.3 : Caractéristiques des électropompes installées Touba... ..	11
Tableau III.1 : Influence déséquilibre de phases sur les caractéristiques de Fonctionnement	43
Tableau IV.1 : Modèle brut des cas d'utilisation.....	62
Tableau IV.2 : Exemple d'un modèle détaillé.....	64

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Evolution de la superficie de la ville de Touba	3
Figure I.2 : Evolution de la population de la ville de Touba.....	4
Figure I.3 : Evolution de la capacité de production des forages de Touba.....	6
Figure I.4 : Evolution du système de stockage	7
Figure I.5 : Vue d'ensemble des équipements d'une station.....	13
Figure III.1 : Coupe d'une électropompe.....	28
Figure III.2 : Branchement d'un autotransformateur.....	32
Figure III.3 : Les types de couplage (3 temps)	33
Figure III.4 : Perte de couple due à une baisse de tension	44
Figure IV.1 : Cycle de vie d'un système d'informations.....	55
Figure IV.2 : Description des besoins.....	57
Figure IV.3 : Diagramme de séquence.....	65
Figure IV.4 : Diagramme des cas d'utilisation	66
Figure IV.5 : Illustration de concepts	70
Figure IV.6 : Illustration d'un schéma d'agrégation.....	71
Figure IV.7 : Diagramme de classe	72
Figure IV.8 : Menu général du système d'information.....	81
Figure IV.9 : Sous menu gestion des stocks.....	82
Figure IV.10 : Sous menu entrée données techniques.....	83
Figure IV.11 : Sous menu personnel	85
Figure IV.12 : Sous menu travaux.....	86
Figure IV.13 : Sous menu suivi performances des stations.....	89

LISTE DES ABREVIATIONS

A.E.P: Approvisionnement en eau Potable

AS.U.FOR: Association des Usagers de Forage

B.A: Béton Armé

B.T : Basse Tension

C.P : Chambre de Pompage

CR : Crépine

C.E : Colonne d'Exhaure

D.G.P.R.E: Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau

D.E.M: Direction de l'Exploitation et de la Maintenance

F1: Forage 1 : Darou Khoudoss

F2: Forage 2 : Touba Guédé

F3: Forage 3 : Ndamatou

F4: Forage 4 : Route de Darou Rakhmane

F5: Forage 5 : Khaïra

F6: Forage 6 : Sam Touba

F7: Forage 7 : Ngonane

F8: Forage 8 : Route de Darou Mousty

F9: Forage 9 : Université

F10: Forage 10 : Gouye Mbind

F11: Forage 11 : Darou Khadim

F12: Forage 12 : Ndame

F13: Forage 13 :Kébé

F14: Forage 14 : Hôpital

F15 : Al Azar

F16 . Ngabou

F17 : Tindody

Fm : Fréquence en marche :

Hmt : Hauteur Manométrique Totale

In : Intensité nominale

Im : Intensité en marche

M.T : Moyenne Tension

N.S : Niveau statique

N.R : Niveau Rabattu en Pompage

N : Vitesse de rotation

Pn : Puissance nominale

Pr : Pression Refoulement

Qn : Débit Nominal

Qm : Débit en marche

Ris : Résistance Isolement

Renr : Résistance Enroulement

R.S : Réservoir au sol

R.E.G.E.F.O.R: Réforme de la Gestion des Forages Ruraux

S.O.H.M: Subdivision d'Outillage Mécanique Hydraulique

S.G.B.D: Système de Gestion de la Base de Données

Un : Tension nominale

Um : Tension en Marche

INTRODUCTION

L'approvisionnement en eau potable des populations constitue une préoccupation majeure des grands centres urbains.

La ville de Touba, un des plus grands centres religieux du pays, a connu ces dernières années une démographie galopante.

Ainsi, nous assistons à une demande croissante en eau, particulièrement lors des grandes cérémonies.

Par ailleurs, la ville a connu ces dernières années une extension rapide de son réseau d'adduction et a bénéficié d'importants programmes de réalisation de stations de pompage. Les investissements importants réalisés dans le domaine de l'hydraulique fait de Touba la deuxième ville après Dakar de par sa production en eau.

La maîtrise de l'outil de production constitue sans nul doute un préalable à la mise en place d'un système de gestion en vue d'optimiser l'exploitation des ouvrages et d'assurer un service de qualité.

Cette présente étude n'est qu'une étape du processus de modernisation du système de maintenance des stations de pompage et vise à faire des propositions sur la gestion des données relatives aux équipements gérés, et sur le système de maintenance.

A cette fin, il conviendra de faire l'état des lieux, d'identifier les insuffisances et de présenter des propositions en vue d'instaurer un modèle de maintenance adéquat.

Même si le sujet est surtout axé sur l'amélioration du système de maintenance, nous avons jugé nécessaire d'aborder les aspects liés à l'optimisation de l'exploitation des stations de pompage.

Chapitre I : CONTEXTE

I. HISTORIQUE

La ville sainte de Touba, un des plus grands centres religieux du pays, est le siège de la communauté rurale de Touba Mosquée qui se trouve dans l'arrondissement de Ndamé, département de Mbacké, région de Diourbel.

La ville a connu ces dernières années une extension rapide avec d'importants programmes de lotissements. L'occupation spatiale qui était seulement de 755 ha en 1887 est passée en 1975 à 1926 ha , elle avait déjà atteint 3600 ha en 1988 .

D'après les chiffres avancés par la communauté rurale, la superficie actuelle est estimée à 4000 ha.

Les habitations sont disposées de manière concentrique par rapport à la mosquée qui se présente comme le centre de la ville.

Cette communauté rurale présente aujourd'hui les caractéristiques réelles d'une zone urbaine dont l'urbanisation ne cesse de progresser.

Cette urbanisation rapide est accompagnée d'une croissance démographique exponentielle marquée par un exode massif des populations avoisinantes.

En effet, le rayonnement religieux de la capitale du mouridisme a favorisé une forte affluence des populations des localités voisines vers le centre de la ville.

L'importance de l'activité économique et les infrastructures réalisées ont beaucoup contribué aux flux migratoires des populations.

La ville est devenu un pôle d'attraction et un lieu de pèlerinage marqué par la convergence des fidèles lors des grandes cérémonies de Magal et de Ziarra.

L'évolution de la population donnée par les résultats des recensements effectués en 1976 et 1988 se présente comme suit :

Année	1958	1970	1976	1988	2005	2008
Population	2127	7640	27487	138604	580457	697220

L'application d'un taux de croissance $T_c = 6,1/\text{an}$, permet d'avoir les chiffres pour 2008 :

En effet,
$$P_{2008} = P_{2005} \left(1 + \frac{T_c}{100}\right)^3 \quad [1]$$

Les chiffres avancés par la communauté rurale font état de 697 220 habitants en temps normal et près de 3 000 000 habitants lors des grandes cérémonies.

Les courbes représentatives de l'évolution de la population et de l'occupation spatiale montrent une croissance exponentielle entre 1976 et les débuts des années 2000.

Figure I-1 : Evolution de la superficie de la ville de Touba

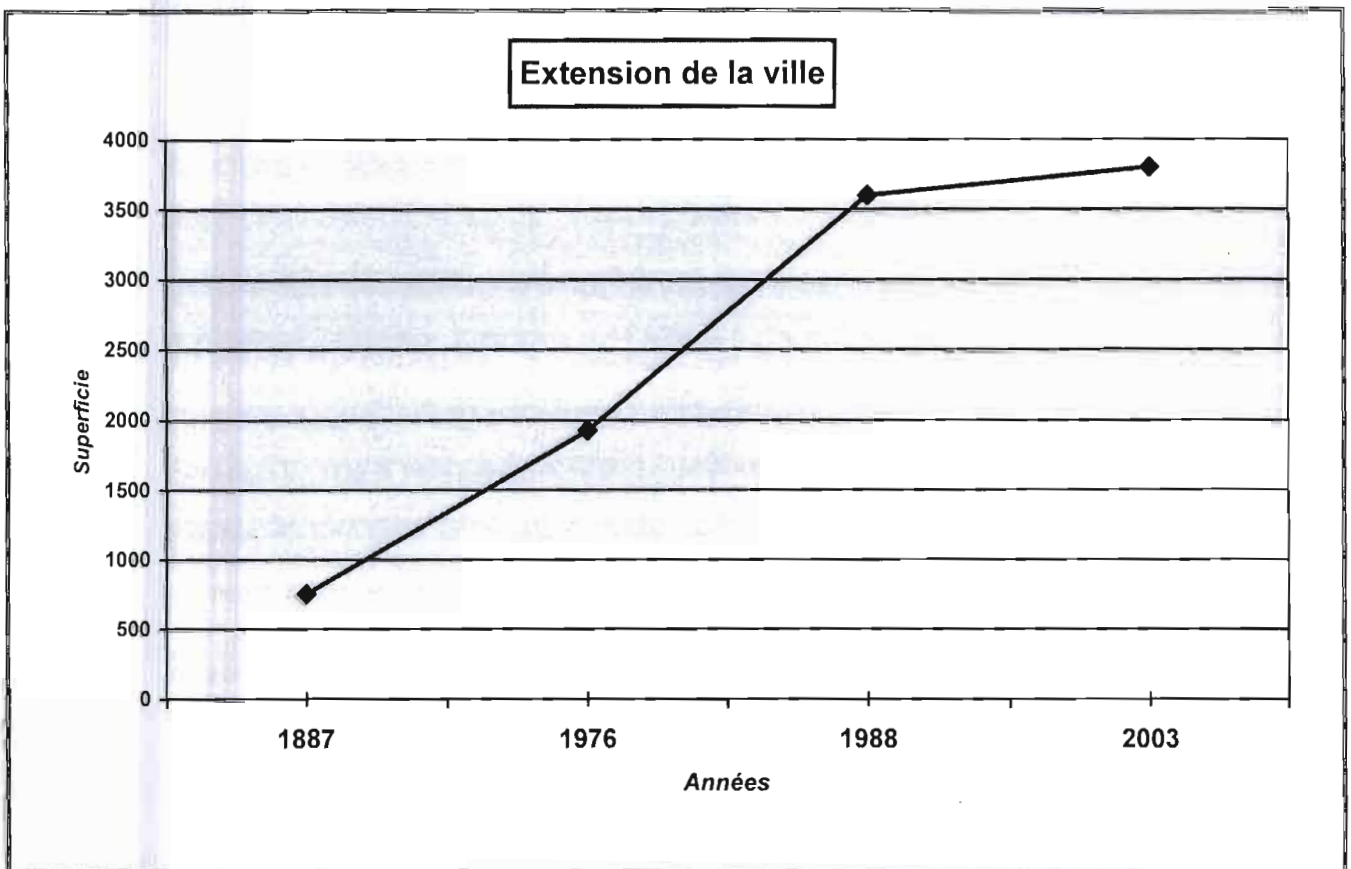
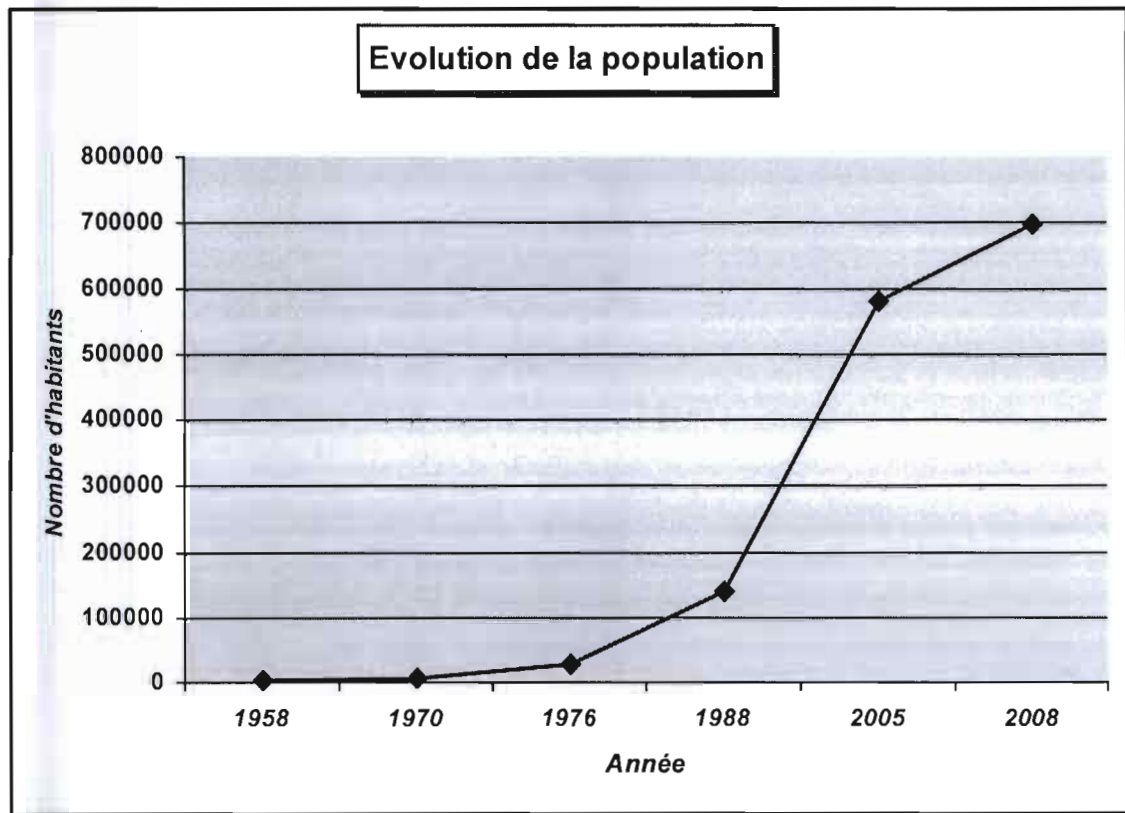


Figure I- 2 : Evolution de la population de la ville de Touba



L'alimentation en eau potable de cette ville était principalement assurée par des puits traditionnels jusqu'en 1948 date de la réalisation du premier forage F N dame.

La capacité de production de ces puits était devenue insuffisante pour satisfaire les besoins en eau des populations, particulièrement lors des cérémonies de Grand Magal. Pour répondre à cette demande croissante en eau, le gouvernement a exécuté d'importants programmes de réalisation de stations de pompage répartis en plusieurs étapes.

- **La période de 1931 à 1979** a été marquée par la réalisation des 7 premiers forages (F N dame, F1, FKébé, F2, F3,F4, F5) et du premier noyau du réseau d'adduction d'eau.

Ces programmes comportaient également l'implantation d'un système de stockage constitué de 5 châteaux d'eau et d'un réservoir au sol.

Ces forages ont une production de 1323m³/h avec un volume de stockage de 3850 m³.

- 1979 à 1997 , la ville a bénéficié de trois nouveaux forages (F6, F7, F Kébé) et de deux châteaux d'eau portant ainsi la capacité de production à 1794 m³/h et un volume de stockage à 5 550m³

Durant cette période, nous avons assisté à une croissance exponentielle de la population qui est passée de 2127 habitants en 1958 à 38000 hts en 1976 et à près 450 000 en 2003.

La production des 9 forages ne permettait plus de faire face à la demande croissante en eau particulièrement en période de forte affluence.

- 1997-2008 :

Afin d'apporter une solution à cette situation, le gouvernement du Sénégal a initié deux grands programmes :

- o en 2002 le programme d'urgence pour le renforcement du réseau d'AEP de Touba comprenant entre autre :
 - La réalisation de quatre nouveaux forages ,F8 (Route de Darou Mousty), F9 (Université), F10(Gouye Mbind), F11(Darou Khadim), F15(Ndamal Azar) et F16(Ngabou) présentant respectivement des débits de 360, 265, 340, 200, 257 et 285 m³/h.
 - La réalisation de trois nouveaux châteaux d'eau dont un de 1000m³ au F9 et F15 et deux de 500m³ au F11(Darou Khadim) et F8 (Route de Darou Mousty).
 - La réalisation de deux nouveaux réservoirs au sol de capacité 2 000 m³ localisés à Darou Khadim (F11) et Darou Tanzil (F7).
 - La réhabilitation du château d'eau de 1000 m³ de Ndamatou et du réservoir de 800 m³ de Ndame âgés tous deux de plus de 20 ans.
 - La fourniture et l'installation de matériel de pompage.

- En 2007 le Projet de Rénovation de la Ville Sainte de Touba, volet A.E.P. qui a permis de renforcer le parc avec la réalisation de :
 - Un château d'eau de 1000 m³ au F10 (Gouye Mbind)
 - Une nouvelle station à Tindody équipée d'un forage de 259 m³/h et d'un réservoir au sol de 6000m³ avec possibilité de refoulement direct dans le réseau, à l'aide de surpresseur, en période de pointe.
 - Un forage, non encore équipé, sur l'axe routier Ndiourour Touba.

En 2008, la capacité de production des ouvrages de captage est portée à 90 240 m³/jour et le stockage à 19 550 m³.

Figure I-3 : Evolution de la capacité de production des forages de Touba

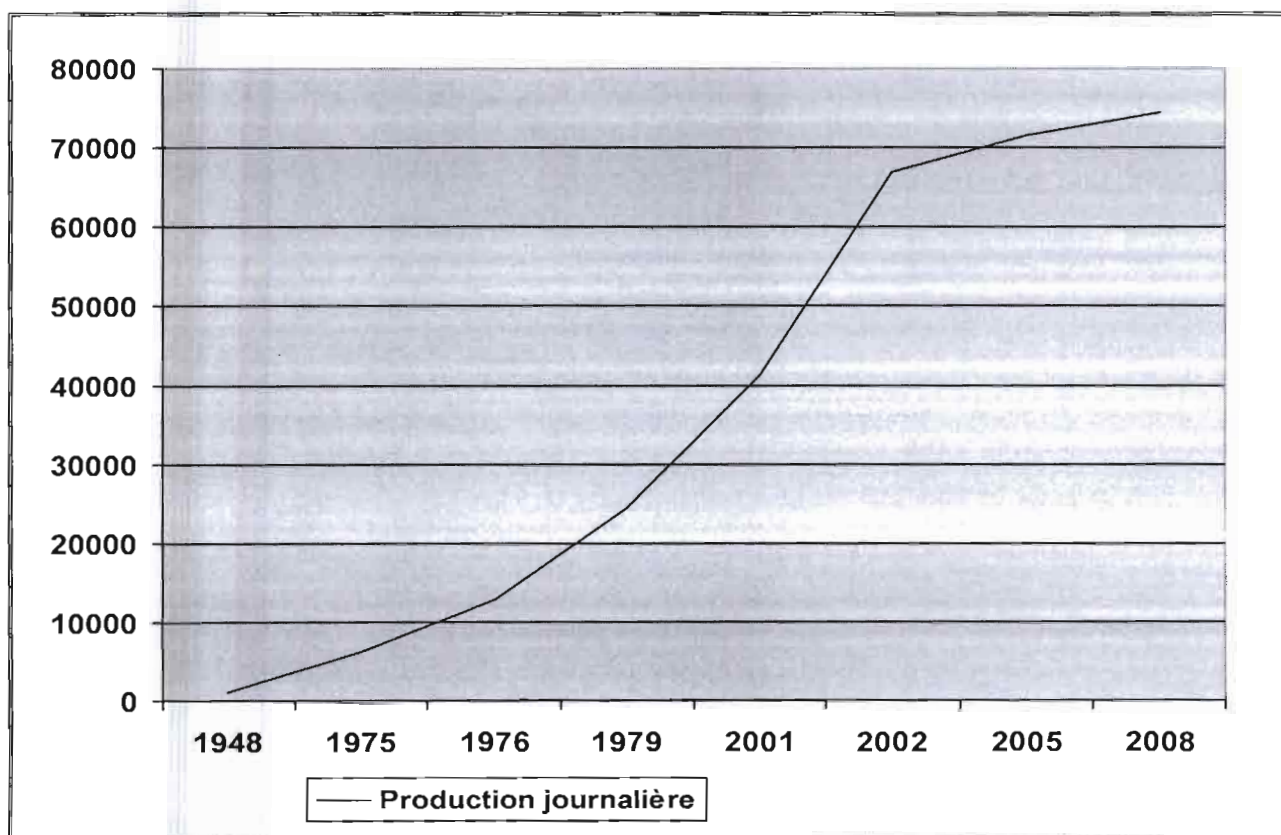
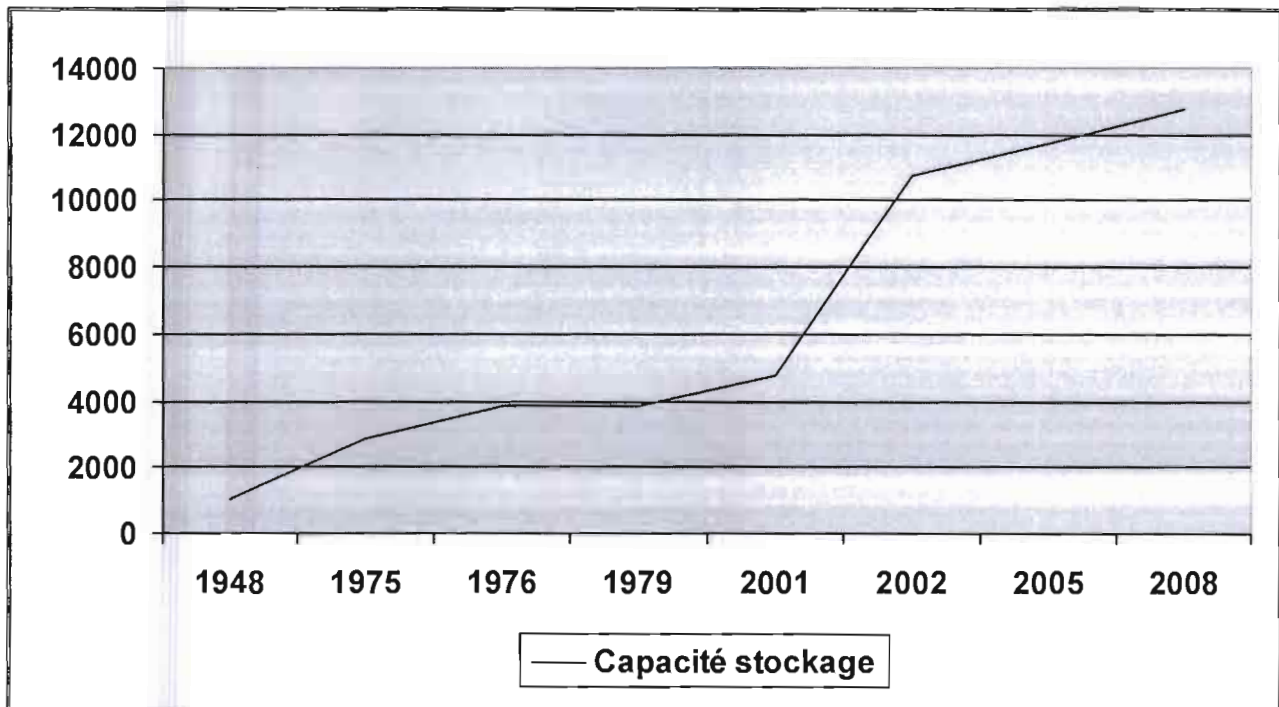


Figure I-4 : Evolution du système de stockage

II. ETAT DES LIEUX

II.1. Présentation du système d'approvisionnement en eau potable

Le système d'approvisionnement en eau potable de la ville de Touba est assuré par l'exploitation de 17 forages profonds interconnectés.

Il existe en plus 2 forages non comptabilisés dans la production :

- Aïnou Rakhmati, appelé forage d'eau bénite situé à proximité de la mosquée
- Le forage de l'hôpital.

Les forages sont tous raccordés au réseau de la SENELEC par l'intermédiaire d'un transformateur MT/BT.

Cependant, pour faire face aux perturbations du réseau de la SENELEC, toutes les stations sont équipées de groupes électrogènes de secours à l'exception des forages F6, Al Azar et Ngabou

II.1.1. Caractéristiques des ouvrages de captage

Les principales sources d'eau sont les forages qui exploitent la nappe aquifère profonde du Maestrichtien située à environ 250m de profondeur. Les débits fournis par ces forages se situent entre 100 et 350 m³/heure.

Les caractéristiques des 15 forages sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau I-1 : Présentation des ouvrages de captage

SITE	Emplacement	Année de réalisation	Profondeur Totale (m)	Débit Récept° (m ³ /h)	NS (m)
F1	Darou khoudoss	1970	286	150	40,55
F2	Touba Guédé	1978	301	150	42,48
F3	Ndamatou	1979	280	180	39,5
F4	Route de darou Rakhane	1979	306	250	33,3
F5	Khaira	1979	322	233	38,53
F6	Sam Touba	1982	324	141	43,96
F7	Ngomnane	1996	295	210	43,2
F8	Rte Darou Mousty	2002	311	360	48,2
F9	Université	2002	292	265	49,7
F10	Gouye Mbinde	2002	270	340	45,03
F11	Darou Khadim	1978	273	200	45,5
F12	Ndame	1998	295	300	44,61
F13	Kébé	1998	290	180	49,1
F14	Hopital				

F15	AL Azar	2005	302	257	45,72
F16	Ngabou	2006	300	285	26,65
F17	Tindody	2008	324	259	53,45

Un nouveau forage réalisé sur l'axe Touba Ndiourour vient d'être réceptionné mais n'est encore mis en service.

Les valeurs de débits sont extraites des rapports d'activités de l'Unité de Maintenance Touba et des répertoires de données de la DGPPE. [2]

II.1.2. Systèmes de stockage

Le système de stockage est essentiellement composé de châteaux d'eau et de réservoirs au sol en B.A. de grande capacité. Le tableau ci-après présente les caractéristiques des différents réservoirs ainsi que leur année de réalisation.

Tableau I-2 : Présentation des ouvrages de stockage

Nom site	Année de réalisation	Capacité(m3)		Hauteur Sous-radier(m)
		Réservoirs au sol	Château d'eau	
F12 (Ndame)	1948	800	250	12
F1	1970		1000	20
F3	1976		1000	20
F13 (Kébé)	1975		800	20
F6	1982		100	15
F7	1996		800	20
F8	2002		500	20
F9	2002		1000	20
F10	2008		1000	20
F11	2002	2000	500	20
Darou Tanzim	2002	2000		

F15 (Ndamal AZAR)	2003		1000	20
F16 (Ngabou)	2003		800	20
F17 (Tindody)	2008	6000		20
Total		10 800	8 750	

II.1.3.Composition du système de pompage

Les forages sont équipés de systèmes de pompage composés chacun de :

- une électropompe immergée constituée d'un moteur asynchrone accouplé à une pompe centrifuge multicellulaire.
- Un ensemble de pièces spéciales placées sur la conduite de refoulement et comprenant généralement une vanne, un compteur volumétrique, un manomètre, un clapet de décharge etc...
- De colonnes en acier galvanisé avec système assemblage par brides ou à vis.
- D'un transformateur MT/BT sur cabine ou aérien selon la puissance demandée.
- Une armoire de commande et de protection équipée d'un système de démarrage par auto-transfo ou par résistance statorique. Le système de protection appliqué est composé essentiellement de :
 - de sectionneur porte fusible contre les courts circuits
 - de relais magnéto-thermiques contre les surcharges
 - de relais de protection contre les manques, absences et déséquilibres de phases
 - de relais de protection contre la marche à sec
 - de relais contre les inversions de phase.

Les caractéristiques des électropompes sont présentées dans le tableau ci-après :

Tableau I-3 : Caractéristiques des électropompes [2]

Forage	Date inst	Marque et type moteur	Pn (Kw)	Intensité Nominal (A)	Tension (V)	Marque e Type pompe	Qn (m3/h)	HMT Nominal (m)	Débit Moy Fonct (m3/h)
F1	2000	Pleuger MI-1042-20	64	133	400	Pleuger PN 101-5A	110	130	132
F2	2002	Pleuger M8-530-2	48	100	400	Pleuger QN81-8A	119	100	84
F3	2006	Pleuger M8-710-2	64	133	400	Pleuger PN102-4A	140	132	180
F4	2005	Pleuger MI110-600-2	83	176	400	Pleuger PN104-4A	200	100	222
F5	2000	KSB UMA 250 87/22	82	165,8	400	KSB UPA250 41/A			198
F6	2006	Pleuger M8-650-2	47,5	98	400	Pleuger PN101-4	110	102	90
F7	2002	Pleuger M8-820-3	72	136	400	Pleuger	180	86	Compteur bloqué
F8	2002	Pleuger MI110-1070-2	129	285	400	Pleuger	300	110	240
F9	2007	Pleuger MI110-600-2	83	166	400	Pleuger PN 104-4A	200	100	200
F10	2007	Pleuger MI110-740-2	118	230	400	Pleuger QN 101-4	260	85	Compteur bloqué
F11	2002	KSB UMA-150-21	85	162	400	KSB UPA 250B			180
F12 Ndamé	2006	Pleuger MI110-600-2	83	176	400	Pleuger PN104-4A	200	100	168
F13 Kébé	2008	Pleuger MI110-490	90	185	400	Pleuger QN101-4A	200	95	156
F 15 AL Azar	2005	Pleuger MI110-740	118	230	400	Pleuger QN101-5A	251	110	216
F16 Ngabou	2006		30		400				75,6
F17 Tindody	2008	Pleuger MI110-490	90	185	400	Pleuger QN101-4A	200	95	200

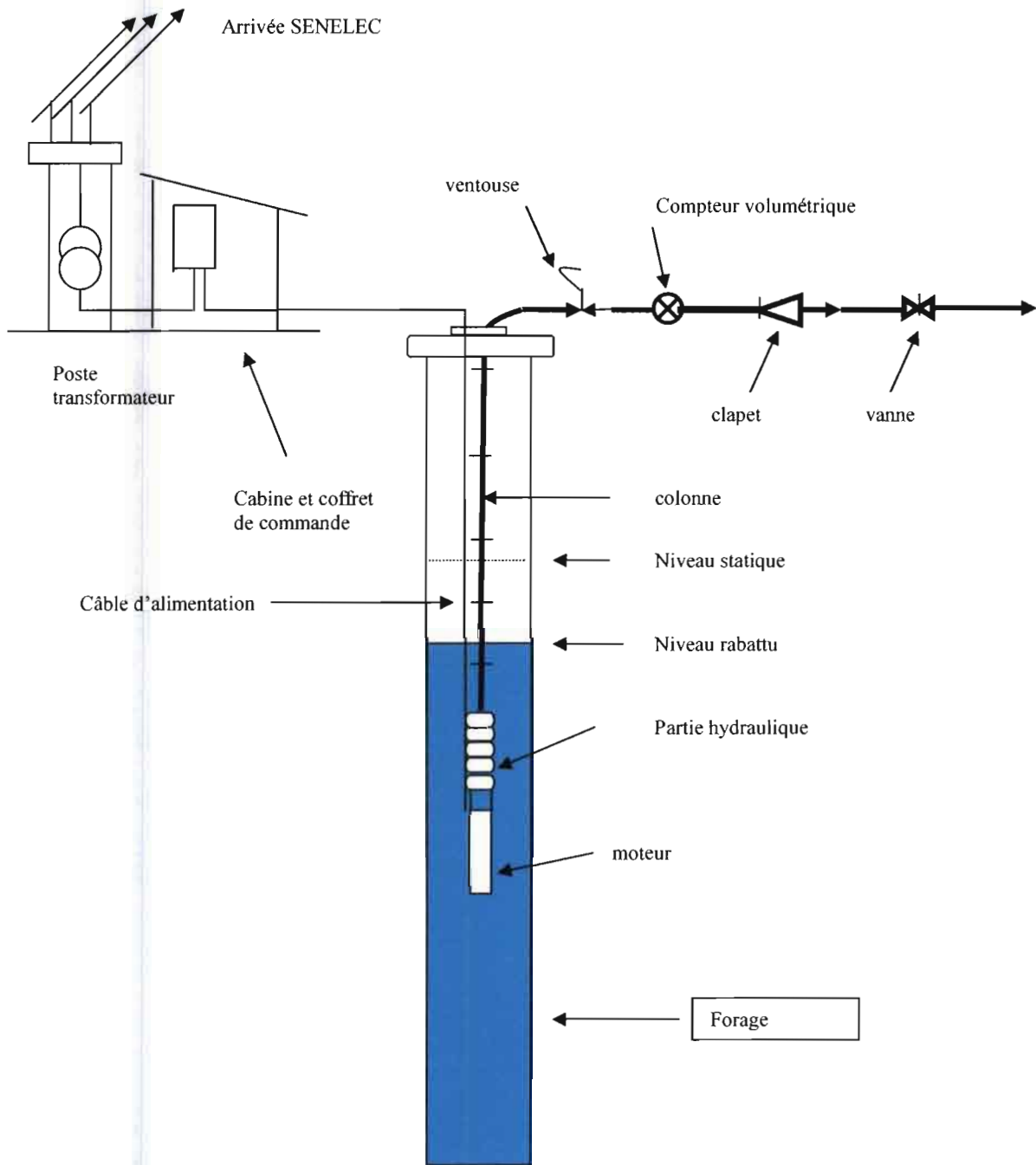
La production est estimée à 2506 m³/h soit une production journalière de 60 144 m³/jour.

Il convient de signaler que les productions du F16 et F17 ne sont pas comptabilisées car leur mise en service n'est pas encore effective.

Les groupes électrogènes sont constitués de moteurs diesel refroidi à eau accouplé à un alternateur

Les puissances des groupes électrogènes varient de 120KVA à 300KVA.

Figure I- 5 : Vue d'ensemble des équipements d'une station



II.2. Système de gestion appliqué

II.2.1. Historique de la gestion des forages

La Direction de l'exploitation et de la Maintenance a été créée en 1983 au sein du Ministère de l'Hydraulique. Elle reprenait les activités de la Subdivision d'Outillage Mécanique Hydraulique (S.O.M.H.) basée à Louga et qui était chargée depuis 1949 de l'exploitation et de la maintenance des forages ruraux.

Pour faire face à l'augmentation du nombre d'ouvrages passé de 150 en 1983 à plus de 700 en 1994, la DEM s'est fortement décentralisée, ainsi le nombre de brigades chargées de la maintenance des équipements est passé de 4 à 13 dans la même période.

II.2.2. Organisation de la D.E.M.

Les attributions de la Direction de l'exploitation et de la Maintenance ont été fixées en 2003 par le décret portant organisation du Ministère de l'Hydraulique et se présentent comme suit :

- Garantir la bonne maintenance du patrimoine national
- Participer au choix des équipements en rapport avec la Direction de l'Hydraulique qui a en charge la réalisation des travaux neufs.
- Mettre en place et assister les Associations des Usagers de forages (A.S.U.F.O.R.) dans leur organisation et leur fonctionnement.

Pour mener à bien cette mission, la D.E.M. s'appuie sur un ensemble de structures installées à travers le pays.

Les Brigades de Maintenance des Puits et Forages :

Les brigades de maintenance des Puits et Forages : au nombre de 16, ces structures sont implantées au niveau des chefs lieux de région ou départemental et sont sous la tutelle des Divisions Régionales.

Elles ont en charge la maintenance de premier niveau, l'encadrement des ASUFOR, le contrôle des stations et la formation continue des conducteurs.

En plus de ces brigades, la D.E.M. dispose de trois Subdivisions Maintenance implantées à Louga, Kaolack et Tamba.

Ces unités sont équipées de matériel et d'engins lourds leurs permettant d'assurer les grosses réparations sur les pompes, la réhabilitation des ouvrages de captage et les travaux sur les ouvrages de stockage et de distributions.

Chaque subdivision dispose d'un centre de formation des conducteurs.

Les élèves-conducteurs reçoivent au niveau de ces centres une formation théorique et pratique de six mois pourtant sur la conduite et l'entretien des équipements de pompage ainsi que sur la tenue des documents d'exploitation.

Le territoire est ainsi subdivisé en trois zones :

- La zone nord couvert par la Subdivision de Louga
- La zone centre couverte par Kaolack
- La zone Sud-Est couverte par la Subdivision de Tamba.

II.2.3. Les Associations des Usagers de Forage (A.S.U.F.O.R)

Devant l'accroissement du nombre de stations de pompage dans le pays, surtout à partir de 1980 et à cause de la lourdeur des charges liées à leur fonctionnement, l'Etat du Sénégal décide dès 1984 de responsabiliser les populations à la gestion des ouvrages hydrauliques en milieu rural.

Ainsi, il a été institutionnalisé par l'arrêté interministériel n°001 du 1^{er} Janvier 1984, les Comités de Gestion de forage.

Ces comités sont installés et encadrés par les Brigades de Maintenance dans tous les sites de forages. Ils sont chargés entre autres :

- De la collecte des participations mensuelles ou annuelles des usagers,
- D'assurer le fonctionnement, l'entretien et le gardiennage des installations,
- D'organiser des réunions périodiques et présenter des bilans,
- De travailler en collaboration avec la brigade de tutelle pour le suivi technique des installations ainsi que l'encadrement et le renforcement de capacité de ses membres.

Malgré les résultats réalisés, ces comités de gestion n'étaient pas toujours représentatifs et leur mode d'organisation et de gestion posaient souvent problèmes.

Au regard des insuffisances relevées dans le fonctionnement des comités de gestion, l'état a opté pour la refonte du système de gestion des forages ruraux motorisés.

Le Projet de Réforme du Système de Gestion des Forages Ruraux Motorisés (REGFOR) a été lancée en 1999 dans une zone test qui couvre les régions de Thiès, Diourbel, Kaolack et Fatick

Il repose sur les principes suivants :

- La refonte de l'organisation des usagers pour une gestion efficace du forage ;
- La création de conditions d'exploitation viables au plan technico-économique ;
- La promotion du secteur privé et le recentrage des activités de l'Etat sur des missions de régulation.

Les principaux acteurs sont :

- Les A.S.U.F.O.R.
- La D.E.M
- Les opérateurs privés financiers (les banques, mutuels...)
- Les gérants, qui sont sous l'autorité des ASUFOR.
- Les opérateurs de maintenance qui assure l'exécution de la maintenance préventive et curative conformément aux dispositions prévues dans le contrat de maintenance.
- La communauté rurale, qui est membre de la commission de contrôle des comptes et assiste l'ASUFOR au plan administratif.

II.3. Model de gestion appliqué à Touba

Le système de gestion appliqué au niveau des forages ruraux et présenté ci-dessus, n'a pu être appliqué à Touba.

En effet, les usagers de cette ville continuent à bénéficier de la gratuité de l'eau en dépit du prix des investissements et des coûts récurrents d'exploitation, lesquels continuent à être supportés par l'Etat.

Initialement, la gestion de la maintenance des stations était assurée par la Subdivision Maintenance de Louga.

Les interventions sur les équipements électromécaniques nécessitaient le déplacement des techniciens de Louga.

Le réseau était géré par un seul plombier qui devait assurer la réparation des fuites et la surveillance du réseau.

L'Etat avait également placé un conducteur au niveau de chaque station. Mais ces derniers n'avaient reçu aucune formation auparavant et ne disposaient pas de compétences requises pour assurer ces responsabilités.

En l'absence d'un personnel d'intervention qualifié et d'un modèle réglementé de gestion des ressources et des infrastructures à Touba, tout le système d'AEP se voit affecté par :

- des pertes énormes dues au gaspillage, fuites et casses ;
- des pannes répétitives ;
- des lenteurs dans les interventions de dépannage;
- des problèmes de suivi et d'entretien préventif des stations.

Après analyse des différents problèmes évoqués ci-dessus, et compte tenu de la spécificité de cette ville, l'Etat a créé en 1995 l'Unité de Maintenance de Touba.

II.4. Présentation de l'unité de maintenance de Touba

La gestion de cet important patrimoine est confiée à une unité de maintenance rattachée à la Direction de l'Exploitation et de la Maintenance du Ministère en charge de l'Hydraulique.

L'Unité de Maintenance des forages est chargée de la gestion technique des installations.

Sa mission s'articule autour des points suivants :

- la surveillance permanente des stations
- L'entretien et la réparation de premier niveau des équipements
- La gestion des stocks
- La planification des interventions
- La gestion du réseau de distribution d'eau potable

II.4.1. Les moyens de l'Unité de Maintenance

- Moyens humains :

Pour mener cette mission, l'unité dispose de moyens humains composés de 33 agents dont :

- un technicien Supérieur (chef d'unité)

- Un électromécanicien
- 04 plombiers
- 05 aides plombiers
- 05 Chauffeurs
- 17 Conducteurs de forage

Selon leur statut, la répartition du personnel se présente comme suit :

- 04 fonctionnaires
- 18 contractuels
- 11 bénévoles

- Moyens matériels

Les moyens matériels sont composés d'outillages légers, d'appareils de mesure et de moyens logistiques. Ces derniers sont composés de :

- 02 camionnettes double cabines dont une en panne
- 04 citernes dans un état passable dont une en panne

Par ailleurs, elle dispose d'un lot de pièces et d'équipements de rechange fournies par la Direction de l'Exploitation composé de :

- composants électriques
- pièces et accessoires de plomberie
- équipements de réserve (électropompes, armoires etc...)
- Colonnes de rechange

- Moyens financiers

L'Unité de Maintenance des forages bénéficie d'une allocation de crédits d'un montant de Sept Cent Cinquante Mille (750 000) FCFA par an destinés à l'acquisition de fournitures de bureaux et de consommables informatiques.

II.4.2. Organisation de la maintenance

La maintenance opérée par l'Unité de Touba est essentiellement corrective et s'articule autour de 3 axes principaux :

- Electromécanique : l'agent électromécanicien effectue des visites périodiques de contrôle et d'inspection. Il est également chargé de la réparation des composants électrotechniques.
- Les grosses réparations sont effectuées par la Subdivision Maintenance de Louga.
- Une équipe de 4 plombiers assure la surveillance et les réparations sur le réseau.
- La surveillance et la conduite des stations de pompage sont confiées aux conducteurs qui sont des contractuels recrutés par la DEM.

II.4.3. Difficultés de fonctionnement

Il n'existe aucun document de gestion au niveau des stations pour le suivi de l'évolution des paramètres hydrauliques ou électriques.

Les conducteurs placés au niveau des stations n'ont pas reçu la formation requise pour relever les paramètres de marche et tenir correctement les fiches d'exploitation.

Leur niveau d'instruction ne leur permet pas de jouer un rôle déterminant dans le suivi des stations, ils assurent plutôt le rôle de gardien de forage.

On relève des insuffisances notoires dans l'organisation de la maintenance notamment l'absence de documents d'exploitation tels que :

- les historiques des pannes et des interventions
- les fiches de processus d'intervention
- des rapports d'intervention (situation mensuelle présentée par le chef d'unité)
- les fiches de données techniques.

Seules quelques informations sont disponibles sur l'historique des interventions.

Le système souffre d'un déficit notoire en outils de gestion et de suivi.

La communication entre les différents acteurs de la maintenance se fait jusqu'à présent de manière informelle.

En cas de défaillance constatée sur l'un des forages, le gardien saisit l'agent responsable par téléphone ou se rend au siège de l'unité de maintenance situé à Ndamatou par ses propres moyens.

Du fait des distances importantes entre les stations et de l'insuffisance des moyens logistiques, l'électromécanicien n'est pas en mesure de visiter les stations suivant une périodicité définie.

Les inspections se font de manière exceptionnelle et particulièrement à la veille de grands événements ou à la suite d'une déclaration de pannes.

L'insuffisance et la vétusté des moyens matériels, logistiques et financiers rendent encore plus difficile le déplacement des agents.

Ceci a pour conséquence le rallongement de la durée des pannes.

Par ailleurs, il n'existe pas de système de gestion des stocks.

La non disponibilité de certaines pièces d'usure courante tels que les composants électromécaniques et d'équipements de rechange constitue une contrainte majeure pour l'instauration d'un système de maintenance performant.

II.5. Comité Initiative Eau de Touba

Créé en 2006, sa mission est de faire participer de manière volontaire (Barkelou) les populations à la gestion de l'eau.

Les fonds collectés servent entre autre à appuyer l'Unité de maintenance en carburant pour le fonctionnement des véhicules et groupes électrogènes des stations en période de coupure.

Il participe également aux frais de réparation du réseau AEP.

Depuis l'année dernière, il a pris en charge le paiement des conducteurs de Juin à Décembre à raison de 25 000F par conducteur et par mois.

Chapitre II : LA THEORIE DE LA MAINTENANCE

I. INTRODUCTION DE LA FONCTION MAINTENANCE

Ceux qui assurent la fonction maintenance ont pour mission quelle que soit l'entreprise, d'accomplir toutes les tâches nécessaires pour que l'équipement soit maintenu ou rétabli en état et ceci afin de :

- Permettre une exécution normale des opérations dans les meilleures conditions de coût, de sécurité et de qualité (c'est le cas de la production) ;
- Obtenir un service dans les meilleures conditions de confort et de coût

I.1. Définition de la maintenance (extrait de norme NF X 60-010) : [3]

La maintenance est définie comme étant « l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».

Maintenir .c'est donc effectuer des opérations (dépannage, graissage, visite, réparation, amélioration, etc.) qui permettent de conserver les fonctionnalités du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût global optimum

I.2. Rôle de la maintenance

La maintenance doit assurer la rentabilité des investissements matériels de l'entreprise en maintenant le potentiel d'activité et en tenant compte de la politique définie par l'entreprise. La fonction maintenance sera donc amenée à considérer alors les :

- **Prévisions à long terme** : liées à la politique de l'entreprise et permettant l'ordonnement des charges, des stocks, des investissements en matériels
- **Prévisions à moyen terme** : La volonté de maintenir le potentiel d'activité de l'entreprise conduit à veiller à l'immobilisation des matériels à des moments qui perturbent le moins possible la production.
- **Prévisions à court terme** : Dans ce cas le service maintenance s'efforcera de réduire les durées d'immobilisation du matériel et les coûts de ses interventions.

Sachant que les réductions de coûts et d'immobilisation ne sont possibles que si le matériel et les interventions ont fait l'objet d'une étude préalable, il est donc nécessaire de préparer le travail et d'étudier les conditions de fonctionnement, les défaillances possibles et les conditions d'exécution des interventions.

II. LES DIFFERENTES FORMES DE MAINTENANCE

Le choix entre les méthodes de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance et doit s'opérer en accord avec la direction.

Pour choisir, il faut donc être informé des objectifs de la direction, des directions politiques de maintenance, mais aussi connaître le fonctionnement et les caractéristiques des matériels ; le comportement du matériel en exploitation ; les conditions d'application de chaque méthode ; les coûts de maintenance et les coûts de pertes de production.

II.1. La maintenance corrective

- **Définition (extrait de la norme X60-010) [3]**

Maintenance effectuée après défaillance

- **Défaillance** : « Altération ou cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise »

La maintenance corrective parfois appelée curative (appellation normalisée) a pour objet de redonner au matériel des qualités perdues nécessaires à son utilisation.

Les défauts, pannes ou avaries diverses, exigeant une maintenance corrective entraînent une indisponibilité immédiate ou à très brève échéance des matériels affectés et/ou une dépréciation en quantité ou /et en qualité des services rendus.

II.2. La maintenance préventive :

Elle doit permettre de réduire les défaillances des matériels en cours d'utilisation.

Le but de la maintenance préventive est de :

- Augmenter la durée de vie des matériels ;
- Diminuer la probabilité des défaillances en service ;
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne ;
- Prévenir et aussi prévoir les interventions de maintenance corrective coûteuse ;
- Eviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc. ;
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production (ambiance favorable, etc.)
- Diminuer le budget de maintenance ;
- Supprimer les causes d'accidents graves.

Cependant, il existe deux types de maintenance préventive appliqués au niveau des entreprises : la maintenance préventive systématique et la maintenance préventive conditionnelle.

II.2.1. La maintenance préventive systématique :

- **Définition :** Maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi sur la base du temps ou du nombre d'unités d'usage.

II.2.2. La maintenance préventive conditionnelle :

- **Définition :** maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, etc.)

II.3. Conclusion :

Une politique de maintenance, pour être efficace, doit dans tous les cas être comprise et admise par les responsables de production et avoir l'adhésion de tout le personnel.

Ces méthodes doivent être dans la mesure du possible standardisées entre les différents secteurs (production et périphériques). Ce qui n'exclut pas l'adaptation essentielle de la méthode au matériel (par exemple à un ensemble de machines, à une machine ou à un organe).

Chapitre III: ETUDE ET OPTIMISATION DU FONCTIONNEMENT DES STATIONS DE POMPAGE

Les pompes centrifuges multicellulaires constituent le principal moyen d'exhaure utilisé au niveau des forages de Touba.

Elles font partie de la famille des turbo-pompes qui sont les plus utilisées dans l'industrie.

Cependant il existe plusieurs types suivant le mode d'entraînement :

- Les pompes à axe vertical avec moteur en surface
- Les groupes moto-pompes immergés

Avec l'avènement de l'électricité, les électropompes immergées sont de plus en plus employées pour l'exploitation des forages profonds.

I. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES POMPES CENTRIFUGES:

[4] ; [5]

Il s'agit d'une application concrète de la force centrifuge .Le principe utilisé est celui de la roue à aubes courbe.

La roue est placée dans une enceinte (le corps de pompe) possédant deux ou plusieurs orifices, le premier dans l'axe de rotation (*aspiration*), le second perpendiculaire à l'axe de rotation (*refoulement*). Le liquide pris entre deux aubes se trouve contraint de tourner avec celle-ci, la force centrifuge repousse alors la masse du liquide vers l'extérieur de la roue où la seule sortie possible sera l'orifice de refoulement. L'énergie fluide est donc celle provenant de la force centrifuge.

Cependant la théorie du fonctionnement des pompes centrifuges montre qu'entre l'entrée et la sortie de roue, l'énergie mécanique totale de la veine liquide est augmentée. Cette augmentation provient :

- d'une part d'un accroissement d'énergie de pression (potentielle)

- d'autre part d'un accroissement d'énergie cinétique

Cette dernière est transformée en énergie de pression par un ralentissement progressif qui est obtenu dans une pièce placée à l'extérieur de la roue appelée diffuseur.

II. CONSTITUTION DES GROUPES MOTO-POMPES IMMERGES

Ils sont constitués de deux principales parties :

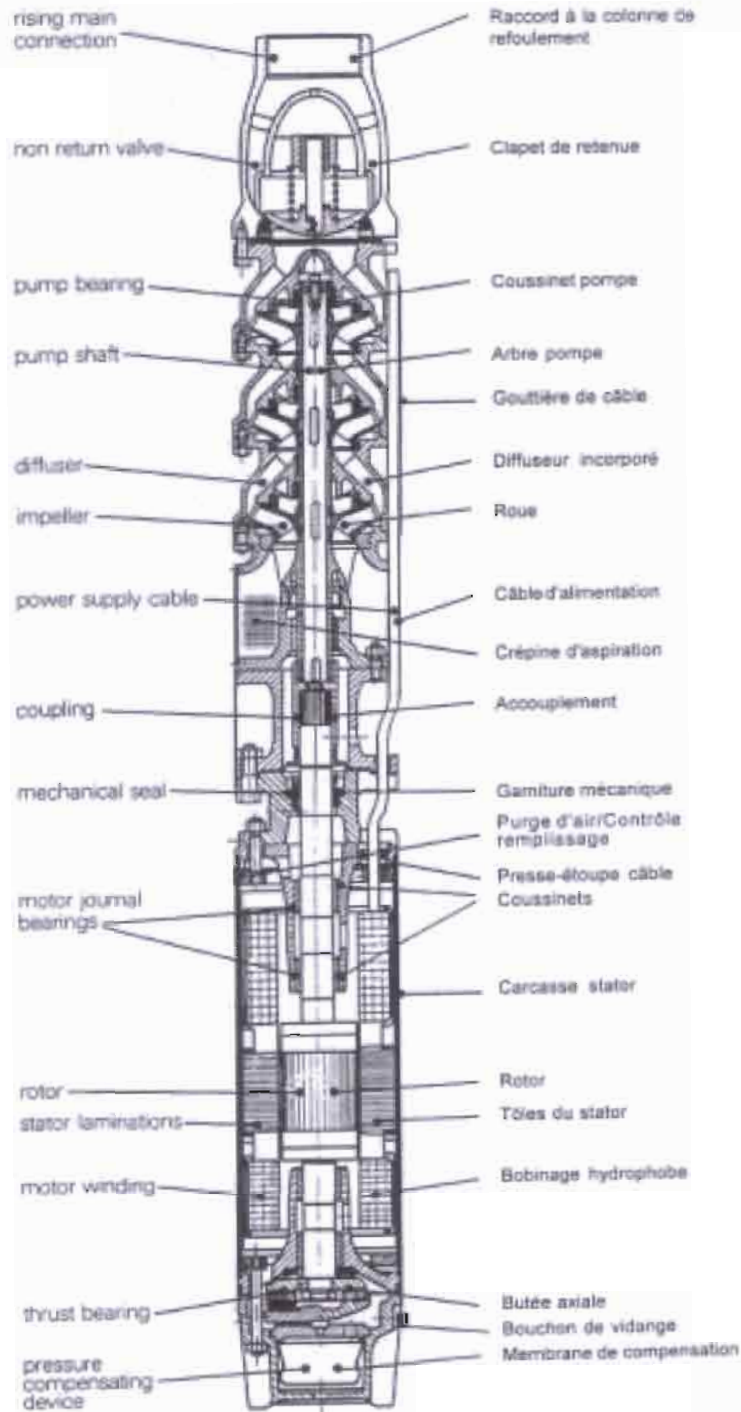
- la partie électrique qui est un moteur asynchrone à cage d'écureuil avec un rotor noyé et séparé du stator par une gaine cylindrique. La lubrification des paliers et butée est assurée par l'eau.
- La partie hydraulique formée par une pompe centrifuge multicellulaire accouplée directement au moteur asynchrone.

La photo ci-après présente les différentes composantes de l'électropompe.

FLOWERVE

Pump division
FLOWERVE
Pleuger SAS

IT 90.134



PLAN-COUCPE TYPE

Figure III-1 : Coupe d'une électropompe [6]

Ces types de pompes s'adaptent parfaitement à l'exploitation des forages profonds qui présentent des hauteurs de refoulement élevés.

Ils comportent par ailleurs plusieurs avantages notamment :

- entretien et réparation faciles
- Peuvent fonctionner sous une grande variété de conditions : hauteur de charge, température, vitesse, nature du liquide etc....
- Ecoulement continu
- Installation facile ne nécessitant pas d'outillage spécifique.
- Ne comporte pas beaucoup d'éléments en mouvement comme sur les pompes à ligne d'arbre.

Cependant tout moteur électrique entraînant une pompe a des limites de fonctionnement. Le dépassement de ces limites conduit, à plus ou moins long terme, à sa détérioration, mais aussi à celle des mécanismes qu'il anime, avec pour conséquence immédiate des arrêts et des pertes de production.

Ce type de récepteur, qui transforme une énergie électrique en énergie mécanique, peut être le siège d'incidents d'origine électrique ou mécanique.

- **Electrique** : surtension, chute de tension, déséquilibre et perte de phases, courts-circuits dont le courant peut atteindre des niveaux destructeurs pour le récepteur.
- **Mécanique** : calage du rotor, surcharge momentanée ou prolongée qui entraîne une augmentation du courant absorbé par le moteur, d'où un échauffement dangereux pour ses bobinages.

Le coût de ces incidents peut être élevé .IL doit prendre en compte les pertes de production, la remise en état de l'outil de production, la non qualité de la production.

Ces incidents peuvent avoir également des conséquences dramatiques sur la sécurité des personnes en contact direct ou indirect avec le moteur.

Il est question de connaître les différents défauts rencontrés dans un moteur afin de mieux se protéger.

III. PROTECTION DES ELECTROPOMPES

Les différentes visites effectuées au niveau des forages de toubas ont permis de constater que le niveau de protection est adéquat. La protection est composée généralement de :

- Sectionneur porte-fusible qui permet d'isoler le circuit en cas de besoin et d'assurer la protection contre les court-circuits.
- Disjoncteur qui permet aussi de protéger les installations contre les court-circuits.
- Les relais de surcharge : ils protègent les moteurs contre les surcharges qui se traduisent par des surintensités.
- Relais contre les déséquilibres de phase, les absences de phases, les inversions de phase
- Relais contre les marches à sec

IV. SYSTEME DE DEMARRAGE

Lors de la mise sous tension d'un moteur, l'appel de courant sur le réseau est important et peut, surtout si la section de la ligne d'alimentation est insuffisante, provoquer une chute de tension susceptible d'affecter le fonctionnement des récepteurs.

Pour remédier à ces inconvénients, les règlements de quelques secteurs interdisent, au dessus d'une certaine puissance, l'emploi de moteur démarrant en direct.

Pour le cas du Sénégal, les textes de la S.E.N.E.L.E.C n'autorisent pas le démarrage en direct au-delà de 11kw.

En fonction des caractéristiques du moteur et de la charge, plusieurs méthodes de démarrage sont utilisées au niveau des groupes motopompes immergées :

- **Le démarrage par autotransformateur**

C'est le type de démarrage adopté au niveau de toutes les stations à l'exception de F17 (Ngabou) qui est équipé de résistances statoriques.

Le moteur est alimenté sous tension réduite par l'intermédiaire d'un autotransformateur qui est mis hors circuit quand le démarrage est terminé.

Ce démarrage s'effectue en trois temps :

- au premier temps l'autotransformateur est d'abord couplé en étoile, puis le moteur est couplé au réseau à travers une partie des enroulements de l'autotransformateur. Le démarrage s'effectue sous une tension réduite qui est fonction du rapport de transformation.

L'autotransformateur est généralement muni de prises permettant de choisir le rapport de transformation, donc la valeur de la tension réduite la mieux adaptée.

- Avant de passer au couplage pleine tension, l'étoilage est ouvert. La fraction de bobinage raccordée au réseau constitue alors une inductance en série avec le moteur. Cette opération est effectuée lorsque la vitesse d'équilibre est atteinte à la fin du premier temps.
- Le couplage pleine tension intervient après le 2^{ème} temps généralement très court. La portion de bobinage de l'autotransformateur en série avec le moteur est court-circuitée puis l'autotransformateur est mis hors circuit. Le courant et le couple de démarrage varie dans les mêmes proportions, ils sont divisés par ($U_{\text{réseau}} / U_{\text{réduite}}$).

$I_{\text{démarrage}} = 1,7 \text{ à } 4 I_n$.

$C_{\text{démarrage}} = 0,5 \text{ à } 0,85 C_n$.

Le démarrage s'effectue sans qu'il y ait interruption de courant dans le moteur.

De ce fait le phénomène transitoire lié à une interruption n'existe pas. Ces phénomènes sont causées par une interruption de courant qui a pour conséquence une pointe transitoire de courant très brève mais très

importante due à la force contre électromotrice du moteur (rencontrées dans le démarrage étoile-triangle).

Le couple étant proportionnel au carré de la tension aux bornes du moteur, il augmente plus rapidement que dans le démarrage étoile-triangle ou la tension reste fixe pendant tout le temps du couplage étoile. [7]

$$I_{\text{démarrage}} = \frac{V}{LW\sqrt{1+g_{c\text{max}}^2}} \quad \text{avec} \quad g_{c\text{max}} = \frac{r}{LW}$$

r : résistance d'un enroulement rotorique

L : inductance totale des fuites ramenée au stator

W : pulsation du réseau

V : tension aux bornes d'un enroulement du moteur

En réduisant la tension on fait baisser le courant de démarrage dans les mêmes proportions.

Ce mode de démarrage convient donc bien aux machines centrifuges pour lesquelles le couple résistant est croissant avec la vitesse.

Cependant ce mode de démarrage est relativement coûteux du fait du coût élevé de l'autotransformateur.

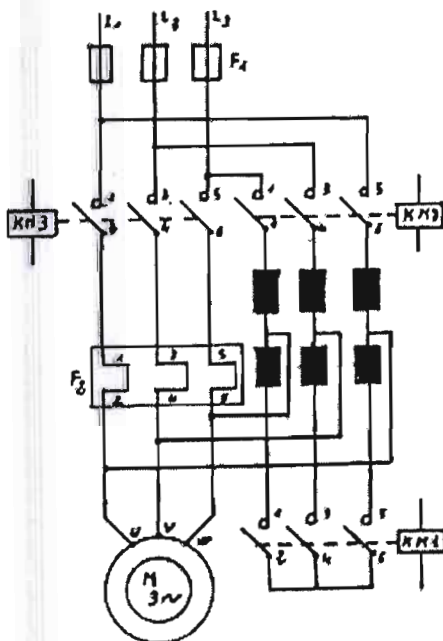


Figure III -2 : Branchement d'un autotransformateur

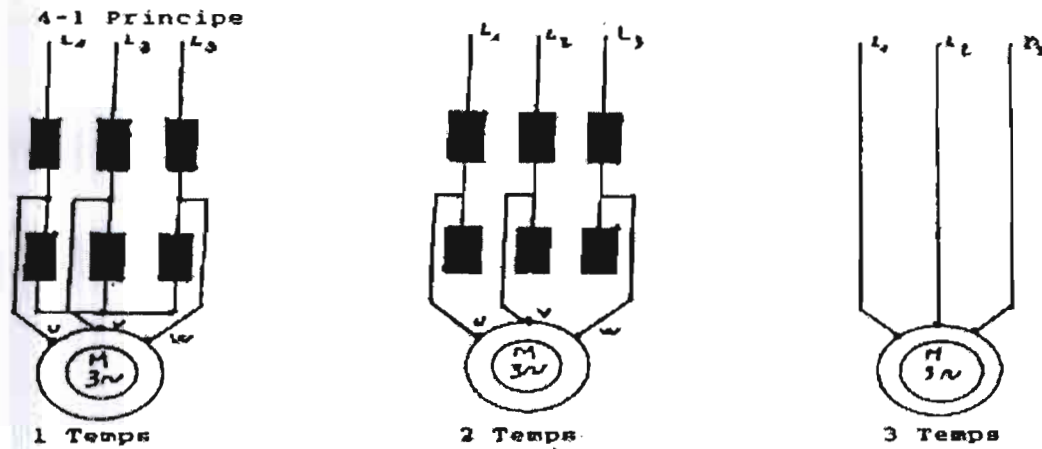


Figure III-3 : Les 3 types de couplage (les 3 temps)

Il convient de signaler par ailleurs qu'il existe d'autres types de démarrage utilisés au niveau des groupes motopompes immergés :

- **Le démarrage direct** : simple de constitution et peut être réalisé à faible coût, mais ne peut être appliqué que lorsque la puissance du moteur est faible par rapport à la puissance disponible sur le réseau. La SENELEC autorise ce type de démarrage pour les stations équipées d'électropompe de puissance inférieure à 11kw.
- **Le démarrage étoile-triangle** : ne peut être utilisé qu'avec un moteur sur lequel les deux extrémités de chacun des trois enroulements statoriques sont ramenées sur la plaque à bornes. Le passage du couplage étoile au couplage triangle s'accompagne d'une pointe de courant transitoire très brève mais très importante, due à la force contre-électromotrice du moteur. Il convient aux machines qui ont un faible couple résistant ou qui démarrent à vide.
- **Le démarrage par résistances statoriques**
Ce mode de démarrage s'adapte bien aux machines ayant un couple résistant croissant avec la vitesse, comme les pompes centrifuges. Il présente l'inconvénient d'une pointe de courant relativement importante au démarrage ($I_{\text{démarrage}} = 4,5 I_n$).

C'est le système utilisé présentement au F17(Ngabou) qui est équipé d'une électropompe de 30 Kw.

V. OPTIMISATION DES SYSTEMES DE POMPAGE DE TOUBA

L'optimisation de l'exploitation des groupes électropompes peut être appliquée à quatre niveaux différents:

- la compensation de l'énergie réactive
- La réduction des chutes de tension sur les conducteurs
- Le fonctionnement de la pompe au point optimal
- Le fonctionnement des pompes en dehors des heures de pointe

V.1. La compensation de l'énergie réactive

Les stations de pompage de Touba sont alimentées essentiellement en basse tension à l'aide de transformateur MT/BT.

L'énergie consommée sous forme alternative est composée d'une partie active, transformée en chaleur ou mécanique et d'une partie réactive transformée par les actionneurs électriques pour créer leurs propres champs électromagnétiques.

L'utilisateur ne bénéficie que de l'apport énergétique de la partie active ; la partie réactive ne peut pas être éliminée, mais doit être compensée par des dispositifs appropriés. L'énergie soutirée du réseau sera ainsi globalement réduite.

Les économies d'énergie réalisées peuvent dans certain cas représenter un pourcentage assez important de la consommation globale.

V.1.1. Composantes actives et réactives du courant : [8]

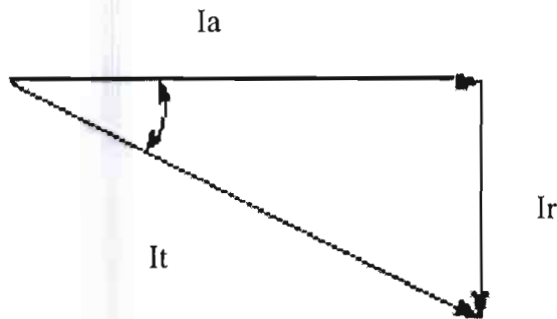
A chacune des énergies actives et réactives correspond un courant.

- Le courant actif (I_a) en phase avec la tension du réseau.
- Le courant réactif (I_r) est déphasé de 90° par rapport au courant actif, en arrière (récepteur inductif) ou en avant (récepteur capacitif).
- Le courant apparent (I_t) est le courant résultant qui parcourt le câble électrique depuis la source jusqu'au récepteur. Ce courant est déphasé d'un angle φ par rapport au courant actif (ou par rapport à la tension).

$$I_t = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}$$

$$I_a = I_t \cos(\varphi)$$

$$I_r = I_t \sin(\varphi)$$

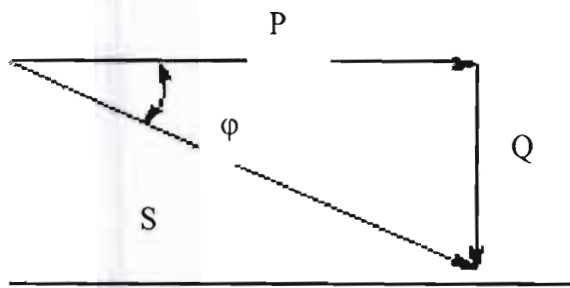


V.1.2. Les composantes actives et réactives de la puissance

Le diagramme précédent établi pour les courants est aussi valable pour les puissances ; il suffit de multiplier chaque courant par la tension du réseau.

On définit ainsi pour un circuit monophasé :

- La puissance active : $P = VI \cos \varphi$ (en W ou Kw)
- La puissance réactive : $Q = VI \sin \varphi$ (en VAR ou KVAR)
- La puissance apparente : $S = VI$ (en VA ou KVA)



V.1.3. Le facteur de puissance

Le facteur de puissance est égal par définition à $\cos(\varphi)$ (si les courants et tensions sont des signaux parfaitement sinusoïdaux).

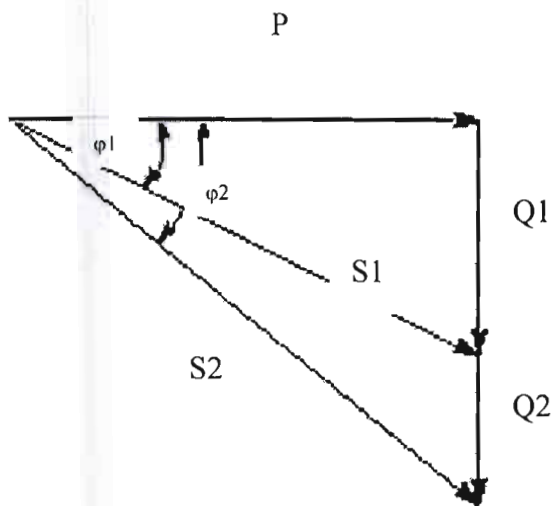
$$\text{Avec } FP = \cos \varphi = \frac{P}{S}$$

On utilise également la variable $\operatorname{tg}\varphi$, dans les mêmes conditions nous avons la relation

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q}{P}$$

L'objectif de la compensation d'énergie réactive est de réduire le courant appelé sur le réseau.

Il s'agit en effet d'avoir un $\cos(\varphi)$ le plus proche de 1 possible.



En effet la circulation de l'énergie réactive a des incidences techniques et économiques importantes.

En effet, pour une même puissance active P , la figure montre qu'il faut fournir d'autant plus de puissance apparente et donc de courant que la puissance réactive est importante.

Ainsi, du fait du courant appelé qui devient important, la circulation de l'énergie réactive sur le réseau de distribution entraîne :

- des surcharges au niveau des transformateurs
- l'échauffement des câbles d'alimentation
- des pertes supplémentaires
- des chutes de tension importantes

Pour éviter la circulation de cette énergie réactive dans le réseau, il faut la produire au plus près des consommateurs.

De façon pratique on installe des condensateurs qui sont proches des consommateurs.

Pour éliminer les conséquences d'une circulation d'énergie importante sur leur réseau, les distributeurs facturent généralement l'énergie réactive au-delà d'un

certain seuil ; ce qui peut inciter les utilisateurs à compenser l'énergie réactive qu'ils consomment.

Au Sénégal, les barèmes appliqués par la SENELEC se présente comme suit :

- **Minoration pour $\cos\phi > 0,95$: [9]**

- $\cos\phi = 0,96$ minoration 0,75%
- $\cos\phi = 0,97$ minoration 1,5%
- $\cos\phi = 0,98$ minoration 2,25%
- $\cos\phi = 0,99$ minoration 3,00%
- $\cos\phi = 01$ minoration 3,75%

- **Majoration pour $\cos\phi < 0,80$: [9]**

- $\cos\phi$ compris entre 0,79 et 0,75 majorations de 5%
- $\cos\phi$ compris entre 0,74 et 0,70 majorations de 10%
- $\cos\phi$ compris entre 0,69 et 0,65 majorations de 15%
- $\cos\phi$ compris entre 0,64 et 0,60 majorations de 20%
- $\cos\phi$ compris entre 0,59 et 0,55 majorations de 30%
- $\cos\phi$ compris entre 0,54 et 0,50 majorations de 40%
- $\cos\phi$ compris entre 0,49 et 0,45 majorations de 50%
- $\cos\phi$ compris entre 0,44 et 0,40 majorations de 65%
- Pour tout $\cos\phi < 0,39$ majorations de 80%

Donc il serait plus indiqué de porter le $\cos\phi$ à une valeur supérieur à 0,95 pour bénéficier des avantages de la SENELEC et réduire au minimum les pertes sur les conducteurs.

Ces pourcentages ci-dessus s'appliquent aux prix de l'énergie (sur les deux tranches K1 et K2) et à la prime fixe. (Voir description facture en annexe)

V.2. Détermination des pertes par effet joule et de la capacité des condensateurs à installer

V.2.1. Capacité des condensateurs :

Compenser une installation consiste à installer une source d'énergie réactive de compensation qui permet d'améliorer le facteur de puissance de l'installation. Cette puissance réactive de compensation peut être calculée par l'expression suivante:

$$Q_c = P(\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi')$$

Dans laquelle : P= puissance active

φ = Déphasage avant compensation

φ' = déphasage après compensation

V.2.2. Les pertes par effet Joule et des chutes de tension : [10]

La compensation permet de réduire certaines pertes notamment

- **les pertes par effet joule** qui sont proportionnelles au carré de l'intensité (pertes= RI^2) et qui diminuent au fur et à mesure que $\cos\varphi$ augmente.

En effet, supposons qu'un conducteur transporte une puissance apparentes,

avec :

$$S = VI$$

$$P = S \cos \varphi$$

$$Q = S \sin \varphi$$

Si on compense à puissance active constante, de façon à obtenir une puissance apparente S' tels que :

$$S' = VI'$$

$$P' = P = S' \cos \varphi'$$

$$Q' = S' \sin \varphi'$$

Ainsi nous aurons :

$$S^2 = P^2 + Q^2 = P'^2 + Q'^2 = S'^2 \cos^2 \varphi' + S'^2 \sin^2 \varphi'$$

d'où

$$\frac{S'^2}{S^2} = \frac{1 - \sin^2 \varphi}{\cos^2 \varphi'} = \frac{\cos^2 \varphi}{\cos^2 \varphi'}$$

$$\text{or } \frac{S'^2}{S^2} = \frac{I'^2}{I^2} \Rightarrow \frac{RI'^2}{RI^2} = \frac{\cos^2 \varphi}{\cos^2 \varphi'}$$

Les pertes sont inversement proportionnelles à $\cos^2 \varphi$.

▪ Chute de tension

Pour calculer la chute de tension de la ligne triphasée alimentant la pompe, il faut connaître la nature des conducteurs dans la ligne. Pour cela il convient de déterminer :

1. La résistance du câble :

La résistance (R) du câble dépend du type de matériau utilisé et de la température. Elle est obtenue par l'expression suivante : [10]

$$R = \rho_{20} \frac{1}{S} ((1 + \alpha(\vartheta - 20)))$$

$$\rho_{20} = \text{résistivité}(\Omega.m) \text{ à } 20^\circ c$$

Pour le cuivre : $\rho = 2,25 \cdot 10^{-8} \Omega m$

Le coefficient de température est :

- Cuivre : $\alpha = 3,93 \cdot 10^{-3}$

- Aluminium : $\alpha = 4,03 \cdot 10^{-3}$

2. L'inductance de la ligne

La chute de tension dépend aussi de l'inductance des conducteurs (XL) de la ligne alimentant la charge. Sa valeur est donnée par la formule ci-dessous :

$$X_L = 0.1736 \left(\frac{f}{60} \right) \log_{10} \left[\frac{D}{R} \right] \quad (\Omega/\text{km}) [10]$$

f : représente la valeur de la fréquence du réseau.

Soit le terme suivant : $0.1736 \left(\frac{f}{60} \right) \log_{10} [D]$ qui représente l'inductance due au flux magnétique externe compris entre la distance D séparant les centres de deux conducteurs.

Le second terme qui $0.1736 \left(\frac{f}{60} \right) \log_{10} \left[\frac{1}{R} \right]$ représente l'inductance magnétique externe à partir du centre du conducteur et son rayon R.

Ainsi la chute de tension de la ligne peut être calculée de la façon suivante :

$$\Delta U = \sqrt{3} (R \cos \varphi + X \sin \varphi) I$$

I représente le courant qui passe à travers les conducteurs.

Les calculs de la chute de tension, des pertes joules, l'économie d'énergie due à la compensation sont consignés dans le tableau en annexe 1 .

V.3. Conclusion

Sur la base du système de facturation appliqué par la SENELEC, le gain en énergie réalisé après compensation se chiffre en moyenne à 2 022 119 frs cfa par mois soit 24 265 424 frs Cfa par an.

Le coût d'investissement s'élève à 2 100 000 frs cfa.

Le délai de récupération de l'investissement est donné par formule suivante :

$$DRC = \frac{I}{CF} \quad \text{avec } I = \text{investissement, et } CF \text{ cash flow annuel. [10]}$$

Donc $DRC = 1,038$ mois (récupérable en moins de 2 mois).

Ces mêmes études peuvent être appliquées à l'ensemble des forages. Ceci pourrait permettre de réaliser des gains en énergie considérables.

Cette présente étude concerne uniquement les stations équipées de système de comptage SENELEC.

Les autres forages tels que F13, F10, F11 ne sont pas équipés de compteurs électriques et la facturation se fait sur la base d'une estimation à partir de la puissance souscrite.

A cet effet, il est très difficile de faire des études sur ces forages.

Par ailleurs, il a été noté sur l'échantillon des forages considérés des déséquilibres de phase qui atteignent dans certains cas 2% de la tension nominale.

Les conséquences d'un déséquilibre de phases sont la diminution du couple et augmentation des pertes.

En effet, les déséquilibres se traduisent par une composante inverse qui génère de forts courants rotoriques provoquant un échauffement très important du rotor et impliquant un sur-échauffement du moteur.

Le tableau ci-dessous met en exergue l'influence du déséquilibre sur les caractéristiques de fonctionnement.

Tableau III-1 :

Valeur de déséquilibre (%)	0	2	3,5	5
Courant statorique (A)	In	1,01*In	1,04*In	1,075*In
Augmentation des pertes (%)	0	4	12,5	25
Echauffement (%)	100	105	114	128

(Référence : Schneider Electric) : [7]

Norme CEI 60034-26.

Baisse de tension

Lors des différentes visites effectuées au niveau des stations de pompage, nous avons relevé des baisses importantes de tensions pouvant atteindre dans certains cas $17\%U_n$;(avec $U_n=400V$) sur une longue durée.

La norme française EN50160 définit la diminution de la tension à une valeur située entre 1 et 90% de la tension nominale pendant 10ms jusqu'à une minute. Les dysfonctionnements relevés au niveau des stations sortent du cadre de cette norme car la durée est très largement supérieure.

Lors d'une baisse de tension, il se crée un ralentissement qui est fonction de l'amplitude et de la baisse.

Le couple étant proportionnel au carré de la tension, il se crée une perte de couple provoquant un ralentissement car au voisinage du point de fonctionnement nominal le couple peut être approché à une fonction linéaire de la vitesse.

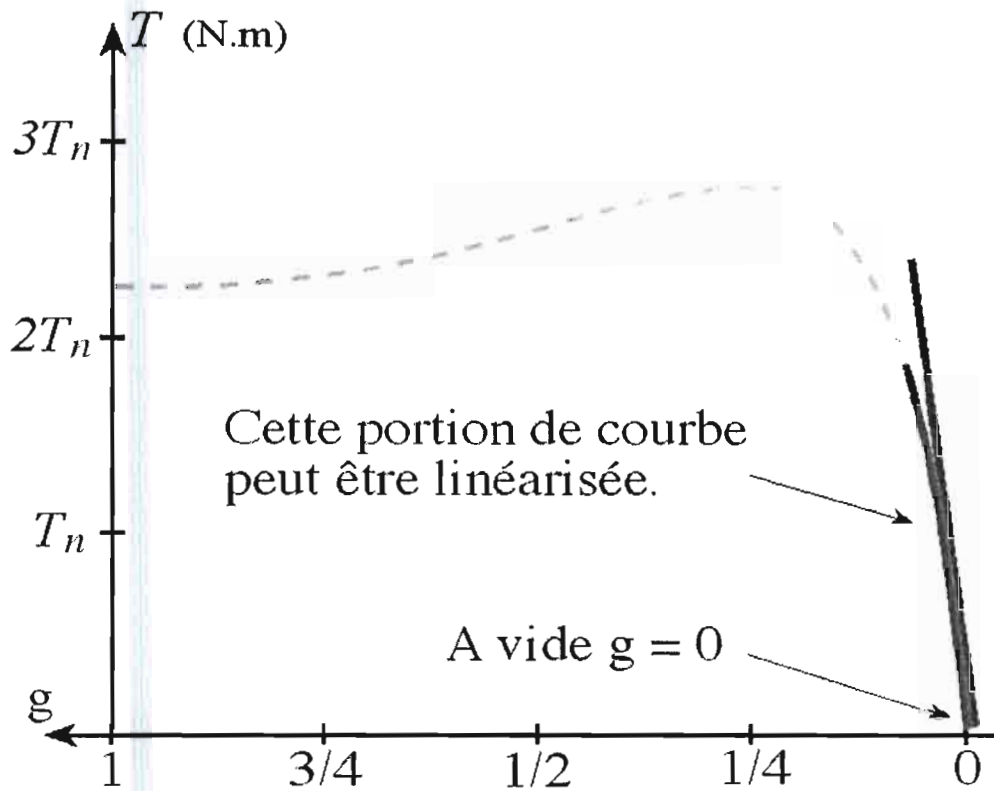


Figure III-4 : Perte de couple

Ce ralentissement crée une surcharge avec une augmentation du courant du moteur et donc un échauffement qui réduit la durée de vie du moteur et peut lui être fatal à plus ou moins long terme.

Par ailleurs ce ralentissement déplace le point de fonctionnement qui se traduit par une diminution du rendement et une augmentations des pertes.

Ces baisses de tension entraînent également des problèmes de démarrage vu qu'il faut un couple minimal pour entraîner la pompe.

Cependant, la plupart des stations de Touba sont équipées de relais de protection contre les déséquilibres de phases, les baisses de tension, et les absences de phases.

Les baisses de tension sont les principales causes d'arrêt de fonctionnement.

Baisse de tension

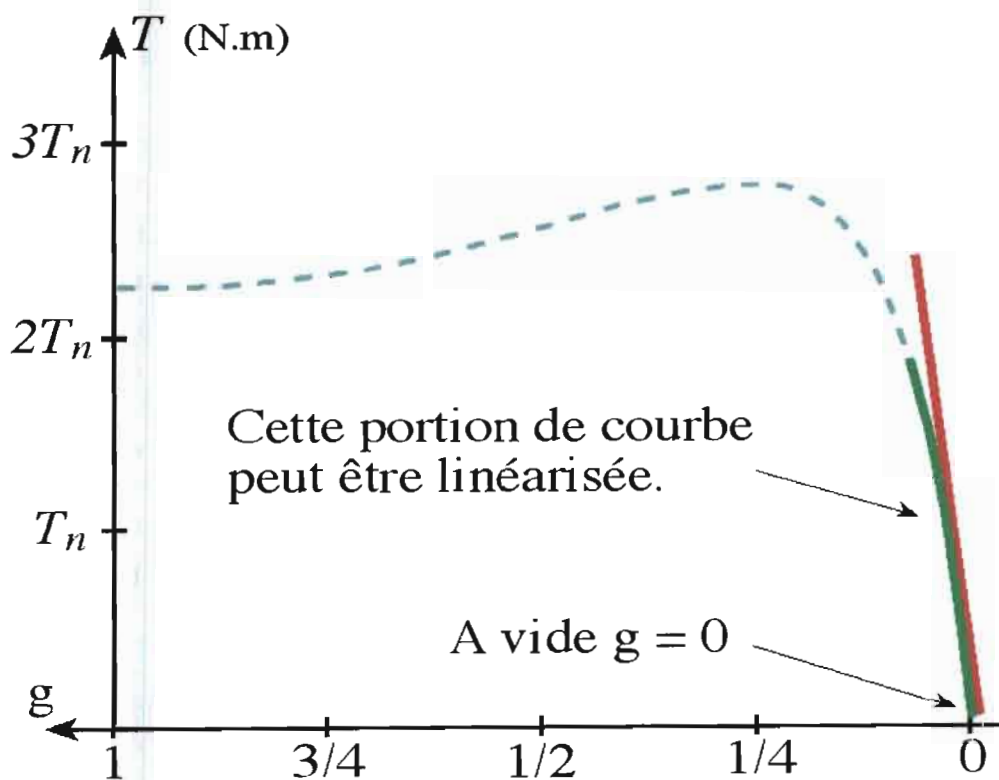
Lors des différentes visites effectuées au niveau des stations de pompage, nous avons relevé des baisses importantes de tensions pouvant atteindre dans certains cas $17\%U_n$;(avec $U_n=400V$) sur une longue durée.

La norme française EN50160 définit la diminution de la tension à une valeur située entre 1 et 90% de la tension nominale pendant 10ms jusqu'à une minute.

Les disfonctionnements relevés au niveau des stations sortent du cadre de cette norme car la durée est très largement supérieure.

Lors d'une baisse de tension, il se crée un ralentissement qui est fonction de l'amplitude et de la baisse.

Le couple étant proportionnel au carré de la tension, il se crée une perte de couple provoquant un ralentissement car au voisinage du point de fonctionnement nominal le couple peut être approché à une fonction linéaire de la vitesse.



En effet, en dessous de 360V les relais réagissent pour stopper le fonctionnement de la pompe. Ceci est à l'origine de beaucoup de pertes de production.

VI. VERIFICATION DES POINTS DE FONCTIONNEMENT DES POMPES

L'électropompe représente une dépense importante d'investissement et l'énergie consommée par cet équipement est la principale dépense d'exploitation de la station de pompage.

Il est donc important que le technicien chargé du choix de la pompe soit suffisamment informé sur cette question pour être à même de choisir les solutions techniques et économiques les meilleures.

Le choix d'une pompe doit répondre à un certains nombres de critères notamment :

- la nature du liquide pompé : eau claire non chargée (< 25mg/l pour Pleuger)
- la configuration des ouvrages : ce sont des puits profonds pouvant atteindre 250 à 350 m et les niveau statiques se situent environ à 45m.
- la capacité du forage : ce sont les caractéristiques déterminées durant la réalisation du forage. Parmi ces données nous avons le débit de réception, le niveau rabattu en pompage et les caractéristiques des équipements (diamètre tubage, longueur chambre de pompage, profondeur totale etc....)
- le débit recherché et les caractéristiques du réseau : Le débit est déterminé par la capacité du forage et les besoins de l'utilisateur.

Pour ce qui est des caractéristiques de réseau, elles dépendent de la nature de la conduite, des accessoires et de la hauteur géométrique.

- la source d'énergie disponible : c'est l'énergie utilisée pour entraîner la pompe. Pour le cas de ces stations, la principale source d'énergie est le réseau SENELEC basse tension.

A cet effet, des électropompes immergées multicellulaires ont été choisies pour l'exploitation de ces types d'installations.

Dans cette présente étude, nous essayerons de vérifier si les pompes installées fonctionnent au rendement maximal avec les débits d'exploitation actuels.

Pour cela nous allons adopter la méthode graphique qui consiste à représenter les débits d'exploitation sur les courbes H-Q fournies par le constructeur pour déterminer le point de fonctionnement (point d'équilibre du système).

En utilisant les courbes de performance, on peut déterminer les paramètres de fonctionnement de la pompe à ce point d'équilibre :

- E_p : charge produite par la pompe [11]

$$E_p = \Delta Z + \sum H_f \quad \text{avec}$$

ΔZ = hauteur géométrique d'élevation

$\sum H_f$ = pertes de charge linéaires et singulières

Les pertes de charge linéaires sont données par l'équation de Darcy – Weisbach

$$H_f = 0,0826 f \frac{L}{D^5} Q^2$$

Les pertes singulières dues à la présence de singularité (vannes, coudes, clapet...)

prend la forme $H_f = K \frac{V^2}{2g}$

Ceci montre que la courbe $H - Q$ est une fonction du deuxième degré de Q

avec V : la vitesse de l'eau dans la conduite en m/s

Q : le débit en m³/s

D : diamètre de la conduite en m

K : coefficient de perte de charge singulière

f : coefficient de perte de charge linéaire

- η_r : Le rendement du système

- P : La puissance motrice consommée est donnée par l'expression suivante :

$$P_M = \frac{\gamma QH}{\eta} \quad \text{avec } \gamma : \text{ poids volumique de l'eau en N/m}^3$$

H : hauteur manométrique totale en m

Le tableau en annexe 2 présente les valeurs obtenues au niveau de l'échantillon de forages choisi :

L'interprétation des résultats a donné les résultats suivants :

- Sur l'échantillon de forages choisis, les huit forages (F1, F6, F7, F8, F9, F10, F12, F15) fonctionnent dans une plage de rendement acceptable, soit une marge inférieure à 10% par rapport au rendement optimal.
- Cependant, les forages F2, F3, F4 et F13 fonctionnent avec des rendements inférieurs à 70% soit des marges supérieures à 10% par rapport au rendement optimal.

Pour chacun de ces forages, nous allons étudier la solution à adopter en vue d'améliorer le rendement.

VI.1. Cas des forages F2 et F4

Ces forages présentent la particularité de refouler directement sur le réseau.

Les charges hydrauliques dépendent du comportement du réseau c'est-à-dire la pression.

Les pompes présentement en service offrent de mauvais rendement avec les débits mesurés.

Ces débits fluctuent en fonction du niveau de pression du réseau.

Il est très difficile de déterminer la charge réelle que les pompes F2 et F4 doivent vaincre sans la présence d'un manomètre sur les refoulements.

Il convient à cet effet de placer un manomètre sur les conduites de refoulement afin de déterminer le comportement du réseau en terme de pression et de débit sur une période donnée.

La connaissance de ces paramètres permettra d'avoir une idée sur les plages de fonctionnement de ces pompes afin de procéder à un choix judicieux.

Concernant le forage F2, les essais avaient révélés une baisse importante de la nappe causant ainsi un déjaugement de la pompe. Pour remédier à cette situation, les techniciens avaient procédé à un étranglement de la vanne située sur le refoulement afin d'augmenter la charge et de réduire le débit pompé pour mieux répondre à la capacité de production de l'ouvrage.

Cependant, la pompe présente un mauvais rendement avec ce débit recherché.

VI.2. Cas du forage F13

L'électropompe installée avait fourni lors des essais un débit de 200m³/h.

Ce débit dépasse la capacité de production du forage qui est réceptionné à 180 m³/h.

Les techniciens étaient dans l'obligation de fermer la vanne située sur le refoulement pour amener le débit à 156m³/h qui répond mieux à la capacité du forage.

Pour ce cas, il convient de choisir une pompe capable de fournir ce même débit avec un rendement optimal.

- Détermination de la Hmt de la pompe

La hauteur géométrique H_{géo} est une constante : H_{géo} = Niveau Rabattu en pompage + hauteur château d'eau.

$$\text{Soit } H_{\text{géo}} = 57 + 25 = 82\text{m}$$

La perte de charge est donnée par $H_f = 0,0826f \frac{L}{D^5} Q^2$ [11]

Pour déterminer les pertes de charge, nous allons procéder de la manière suivante :

Le diamètre $D_1 = 125\text{mm}$ pour une longueur de 60 m représente la colonne de refoulement de la pompe en acier galvanisé avec $K_{s1} = 0,2\text{mm}$.

Diamètre $D_2 = 150\text{mm}$ sur une longueur de 25m en fonte (rouillée) avec $K_{s2} = 1,5$

Diamètre conduite de refoulement du CE, $D_3 = 200\text{ mm}$ sur une hauteur de 25 m en fonte avec $K_{s3} = 1,5$.

Le nombre de Reynolds est donné par $Re = \frac{4Q}{\pi D v}$

Avec $Q =$ débit refoulé en m^3/s

$D =$ diamètre de la conduite en m

$v =$ Viscosité cinématique en m^2/s

$$- Re_1 = \frac{4 \times 156}{\pi \times 0,125 \times 1,004 \times 10^{-6} \times 3600} = 4,39631 \cdot 10^5$$

$$K_{s1}/D_1 = 0,2/125 = 1,6 \cdot 10^{-3}$$

D'après le diagramme de Moody on a $f_1 = 0,024$

$$Re_2 = \frac{4 \times 156}{\pi \times 0,150 \times 1,004 \times 10^{-6} \times 3600} = 3,66359 \cdot 10^5$$

$$K_{s2}/D_2 = 1,5/150 = 0,01$$

D'après le diagramme de Moody on a $f_2 = 0,0355$

$$Re_3 = \frac{4 \times 156}{\pi \times 0,2 \times 1,004 \times 10^{-6} \times 3600} = 2,74769 \cdot 10^5$$

$$K_{s3}/D_3 = 1,5/200 = 7,5 \cdot 10^{-3}$$

D'après le diagramme de Moody on a $f_3 = 0,034$

Les pertes de charge locales :

- coudes : $K = 0,3$
- Robinet vanne $K = 0,2$
- Clapet anti-retour $K = D/2 = 0,075$
- Pour le compteur $J = 2mce$

$$\text{Donc } Hf_1 = 0,0826 \times (0,024 \times \frac{60 \times 156^2}{0,125^5 \times 3600^2} + 0,3 \times \frac{156^2}{0,125^4 \times 3600^2}) = 7,5m$$

$$Hf_2 = 0,0826 \times (0,0355 \times \frac{20 \times 156^2}{0,150^5 \times 3600^2} + 0,575 \times \frac{156^2}{0,150^4 \times 3600^2}) = 1,6m$$

$$Hf_3 = 0,0826 \times (0,034 \times \frac{25 \times 156^2}{0,2^5 \times 3600^2}) = 0,4m$$

La perte de charge totale $H_f = 11,5 \text{ m.c.e}$

$$\text{Hmt Totale} = 11,5 + 82 = 93,5m$$

Q recherché = 156m

En appliquant la méthode graphique sur les différentes courbes caractéristiques, nous obtenons une pompe multicellulaire 7 étages **Pleuger QN83-7+M8-580-2** avec

$$P_n = 55 \text{ kw}$$

$$I_n = 105 \text{ A}$$

$$Q = 150 \text{ m}^3 / \text{h} \text{ à } 93 \text{ m} \text{ avec un rendement de } 77\%.$$

Ce choix nous permet de passer d'une puissance nominale de 90 Kw à 55 Kw soit une baisse de puissance de 38% tout en maintenant pratiquement le même débit de production.

Si l'on se réfère aux charges hydrauliques, l'amélioration du rendement permettra de réaliser un gain d'énergie de : $2,7(156 \cdot 110/0,64 - 150 \cdot 93/0,77) = 2,7 \times (26,81 - 18,11) = 23,6$ Kw. Soit $23,6 \times 24 = 568,4$ kwh en terme de puissance mécanique.

Des économies pourraient également être réalisées au niveau des coûts d'acquisition et des prévisions pour le renouvellement.

VI.3. Cas du forage F3

- Détermination de la Hmt de la pompe

La hauteur géométrique $H_{géo}$ est une constante : $H_{géo} = \text{Niveau Rabattu en pompage} + \text{hauteur château d'eau}$.

$$\text{Soit } H_{géo} = 25 + 55 = 80\text{m}$$

Les pertes de charge sont données par $H_f = 0,0826 f \frac{L}{D^5} Q^2$

Pour déterminer les pertes de charge, nous allons suivre la méthode définie ci dessus :

Le diamètre $D_1 = 125\text{mm}$ pour une longueur de 60 m représente la colonne de refoulement de la pompe en acier galvanisé avec $K_{s1} = 0,2\text{mm}$.

Diamètre $D_2 = 150\text{mm}$ sur une longueur de 25m en fonte (rouillée) avec $K_{s2} = 1,5$

Diamètre conduite de refoulement du CE, $D_3 = 200$ mm sur une hauteur de 25 m en fonte avec $K_{s3} = 1,5$.

Le nombre de Reynolds est donné par $Re = \frac{4Q}{\pi D v}$

Avec $Q = \text{débit refoulé en m}^3/\text{s}$. On fixera la valeur de ce débit à 90% du débit de réception du forage qui est de 180 m³/h. Donc on prendra $Q = 160\text{m}^3/\text{h}$

$D = \text{diamètre de la conduite en m}$

$v = \text{Viscosité cinématique en m}^2/\text{s} = 1,004 \times 10^{-6}$ pour une température de 20°C.

$$- \text{Re}_1 = \frac{4 \times 160}{\pi \times 0,125 \times 1,004 \times 10^{-6} \times 3600} = 4,5 \cdot 10^5$$

$$K_{s1}/D_1 = 0,2/125 = 1,6 \cdot 10^{-3}$$

D'après le diagramme de Moody on a $f_1 = 0,023$

$$\text{Re}_2 = \frac{4 \times 160}{\pi \times 0,150 \times 1,004 \times 10^{-6} \times 3600} = 3,75 \cdot 10^5$$

$$K_{s2}/D_2 = 1,5/150 = 0,01$$

D'après le diagramme de Moody on a $f_2 = 0,038$

$$\text{Re}_3 = \frac{4 \times 160}{\pi \times 0,2 \times 1,004 \times 10^{-6} \times 3600} = 2,8 \cdot 10^5$$

$$K_{s3}/D_3 = 1,5/200 = 7,5 \cdot 10^{-3}$$

D'après le diagramme de Moody on a $f_3 = 0,034$

Les pertes de charge locales :

- coudes : $K = 0,3$
- Robinet vanne $K = 0,2$
- Clapet anti-retour $K = D/2 = 0,075$
- Pour le compteur $J = 2mce$

$$\text{Donc } H_{f1} = 0,0826 \times \left(0,026 \times \frac{60 \times 160^2}{0,125^5 \times 3600^2} + 0,3 \times \frac{160^2}{0,125^4 \times 3600^2} \right) = 8,5m$$

$$H_{f2} = 0,0826 \times \left(0,0356 \times \frac{20 \times 160^2}{0,150^5 \times 3600^2} + 0,575 \times \frac{160^2}{0,150^4 \times 3600^2} \right) = 1,72m$$

$$Hf_3 = 0,0826 \times (0,034 \times \frac{25 \times 160^2}{0,2^5 \times 3600^2}) = 0,43$$

La perte de charge totale $H_f = 12,65$ m.c.e

$$\text{Hmt Totale} = 12,65 + 80 = 92,65 \text{ m}$$

Q recherché=160 m

En appliquant la méthode graphique sur les différentes courbes caractéristiques, nous obtenons la même pompe multicellulaire 6 étages **Pleuger PN104-3+M8-710-2** avec

$P_n = 68$ kw

$I_n = 130$ A

$Q = 165$ m³ /h à 95m avec un rendement de 78%.

Ce choix nous permet de passer d'une puissance nominale de 64Kw à 68 Kw. Par ailleurs ce choix est recommandé pour préserver l'ouvrage de captage qui est réceptionné à 180m³/h.

Il serait recommandé dans l'immédiat de procéder à un vannage pour faire passer le débit de 180m³/h à 160 m³/h. Ceci a pour avantage d'améliorer le rendement (75%).

VII. Fonctionnement en dehors des heures de pointe

Le système de facturation appliqué par la SENELEC pour ces types d'abonnement porte sur 2 tranches :

- 1^{ère} tranche : hors pointe (de 23h à 24h et 0h à 19h) avec un tarif de 65,64frs/kwh.
- 2^{ième} tranche : heure de pointe (19h à 23h) avec un tarif de 94,73 frs/kwh

La situation actuelle de la ville de Touba est marquée par une demande forte qui dépasse la capacité de production des ouvrages. Il devient impossible de

constituer un stock dans les réservoirs qui est un préalable à toute planification de la production.

Face à cette situation, il n'est pas réaliste de procéder à des arrêts volontaires pour des raisons d'économie d'énergie.

Chapitre IV: ANALYSE ET CONCEPTION DU SYSTEME

D'INFORMATIONS

Le processus de développement d'un système d'informations est complexe. Afin de mieux maîtriser cette complexité, plusieurs méthodes ont été proposées. Ces méthodes sont généralement organisées en un ensemble d'étapes représentant le cycle de vie du système d'information. La figure 1 montre les étapes typiques du cycle de vie :

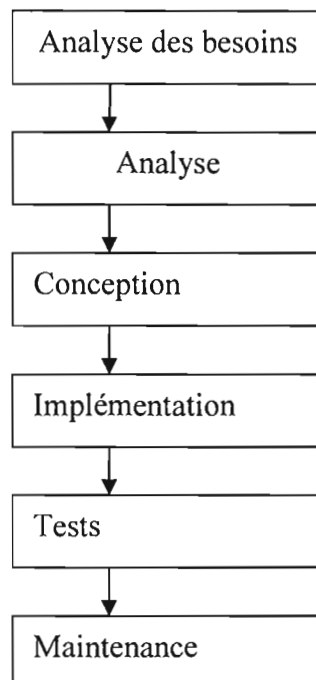


Figure IV-1 : Cycle de vie d'un système d'information [12]

UML (Unified Modeling Language), que l'on peut traduire par « langage de modélisation unifié » est une notation permettant de modéliser un problème de façon standard.

Ce langage est né de la fusion de plusieurs méthodes auparavant et est devenu désormais la référence de la modélisation orienté objet.

I. SPECIFICATION DES BESOINS

Le nombre important de stations de pompage et l'accroissement de la demande en eau de la ville de Touba nécessitent la mise en place d'un système informatisé de gestion de la maintenance.

Par ailleurs, le modèle de gestion appliqué présentement à Touba ne permet pas d'intégrer tous les aspects liés aux opérations de maintenance.

L'opportunité de ce système d'information est la maîtrise de l'outil de production et une meilleure gestion des flux de données.

Les bénéfices attendus sont :

- Une meilleure gestion et réduction des coûts
- Une amélioration de la fiabilité et de la disponibilité du matériel
- Une amélioration de la qualité, retour d'expérience grâce aux historiques
- Une meilleure planification des interventions
- Une optimisation de la gestion des stocks
- Une disponibilité des indicateurs de performances représentant des outils d'aide à la décision.

Le système à concevoir est destiné à l'unité de maintenance de Touba et sera principalement utilisé par le personnel.

Compte tenu du niveau d'instruction du personnel actuel, le système ne pourra être utilisé que par le chef d'unité et les techniciens chef d'équipe.

Cependant le système prend en compte l'évolution ultérieure du personnel et de l'organisation et reste flexible c'est-à-dire peut être étendu à tout moment aux nouveaux besoins de l'unité.

Un utilisateur peut entrer dans le système à partir de toute station équipée et sa responsabilité est limitée par sa fonction au sein de l'unité. A cet effet, il ne pourra accéder qu'à la partie qui lui concerne directement.

Le système de sécurité appliqué permet d'authentifier l'utilisateur avant d'autoriser son accès au système.

I.1 Description des besoins

Les besoins du service de maintenance en termes de système de gestion sont représentés par un schéma directeur défini comme suit :

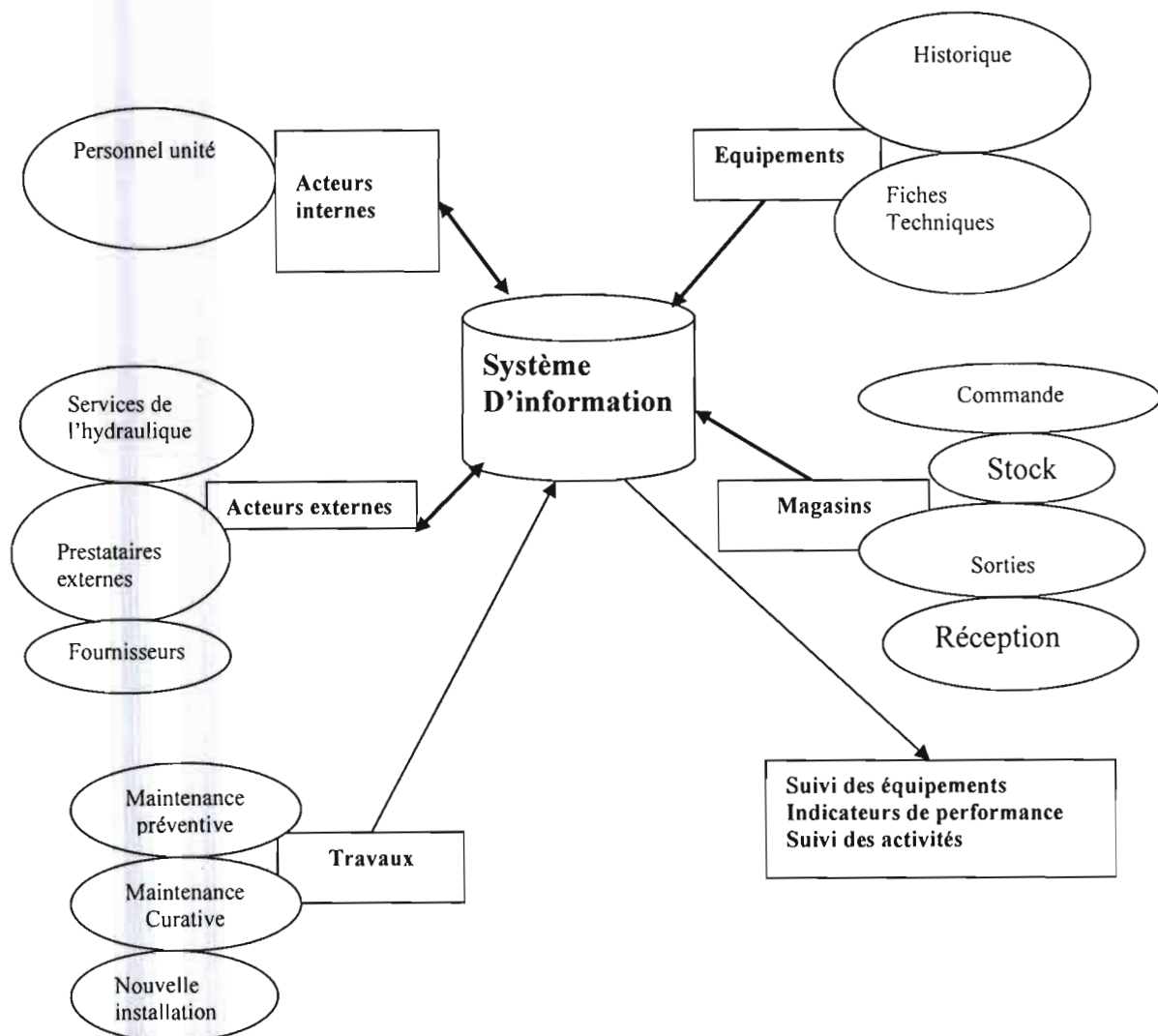


Figure IV.2 : Description des besoins

I.1.1 Les objectifs généraux

Ils peuvent se résumer comme suit :

- La gestion des équipements (codification, spécifications techniques, historique des interventions)
- La gestion des travaux curatifs et préventifs (réparation, archivage)
- La gestion des magasins (codification, stock, réception, sortie, fournisseurs)
- La gestion du personnel (qualification, performance)
- L'établissement de tableau de bord donnant les indicateurs de performance, d'activité.

I.1.2 Les besoins de type fonctionnel

Cette partie définit les principaux traitements et données que devrait gérer le futur système d'information en partant de l'activité principale du service de maintenance puis des différentes parties intervenant directement ou implicitement.

I.1.2.1 Interventions

Elles sont principalement consignées dans des rapports d'intervention.

Les références du rapport d'intervention sont :

- le numéro du rapport, la date
- les informations sur la station (code station, nom station,)
- L'équipement ; sa nature (pompe, GE, CE), son code, sa désignation, son état (à l'arrêt, donner l'heure d'arrêt, ou en marche).
- Nature de la panne (classification de la panne à choisir ou à définir)
- L'exécution du travail :
 - o La main d'œuvre interne : la qualification de l'exécutant, le nom, la tâche confiée, l'heure et date de début et de fin (durée).

- Les prestations externes : référence du prestataire (code et désignation), la tâche confiée, l'heure et date de début et de fin (durée), coût horaire, coût total.
- L'estimation du temps d'exécution ;
- La durée d'immobilisation
- Causes pannes, travaux effectués, résultats essai, observations.

I.1.2.2 Les équipements

Les équipements doivent être regroupés en famille et par station de pompage.

La famille comporterait essentiellement le nom comme propriété.

Les attributs d'une station de pompage seraient principalement son code et sa désignation (nom du forage), sa localisation (quartier), année de mise en service.

Les équipements sont définis par :

- les références : le code, la désignation, les données constructeurs (la marque, le type, le numéro de série, le fabricant), la date d'acquisition et de mise en service, la famille, la station, le fournisseur ;
- Un volet consommation énergétique : la source d'énergie (électricité, fuel), sa consommation horaire ou spécifique ;
- Des remarques éventuelles sur l'équipement.

I.1.2.3 Les stocks

La gestion des stocks comporte la gestion des pièces de rechange, de l'outillage, des inventaires et de l'espace de stockage.

Un élément en stock est défini par :

- sa nature (pièce, outillage ou consommable), son état (neuf, occasion ou récupération) ;
- ses références : la désignation et le code, la référence du fournisseur et du fabricant avec le prix unitaire associé ;
- Son appartenance : la famille, l'équipement de destination ;

- Un volet stockage comportant : l'unité de quantification (code et désignation), la valeur unitaire et totale, le secteur de stockage (le lieu de rangement défini par leurs codes et leurs désignations), la quantité en stock ;
- Un volet prévision avec : le seuil minimum de stock.

Les entrées et les sorties de magasin doivent faire l'objet d'un enregistrement sous un bon de sortie ou de réception.

Sur le bon de sortie magasin figurent :

- les références du bon : l'identifiant, la date et l'heure ;
- l'objet du bon (au cas où c'est un OT, donner référence OT) ;
- la liste des éléments sorties : leur code, leur désignation et les quantités ;
- les intervenants : les références de celui qui a effectué la sortie ou de celui qui reçoit la sortie.

Sur le bon de réception au magasin figurent :

- les références du bon : l'identifiant, la date et l'heure ;
- la référence du bordereau de livraison : le numéro, la date, le fournisseur ;
- un volet rangement qui devrait faire appel à l'entité « élément en stock » tout en utilisant le listing des éléments avec le code, la désignation, le coût unitaire et total, les quantités et le lieu de rangement.

Le système doit permettre de faire aussi l'inventaire périodique du stock avec possibilité d'ajuster les quantités en cas d'écart constaté. Cette mise à jour doit se faire directement sur le casier concerné en lui affectant automatiquement la valeur ajustée.

I.1.2.4 La gestion des approvisionnements

Elle est faite à travers la confection d'une fiche fournisseur qui comporte :

- ses références : le code et la désignation, la raison sociale, l'adresse

- les contacts avec option de prendre les références de trois contacts, le nom et prénom, la fonction, le numéro de téléphone fixe et portable et le numéro de fax.

L'unité de maintenance doit pouvoir émettre une demande d'approvisionnement adressée à la DEM ou à la structure compétente. Une demande d'approvisionnement comportera :

- les références de la demande : la date, le demandeur, le libellé de la demande
- le fournisseur ou la structure destinataire lieu d'achat
- les éléments commandés : les références fournisseurs, le code, la désignation, la quantité.

I.1.2.5 La gestion du personnel

Elle doit permettre de répertorier toutes les informations intrinsèques d'un personnel.

L'employé serait donc défini comme suit :

- son identification : matricule, nom, prénom, sa qualification.

I.1.2.6 Les indicateurs de performance

Il représente sans doute le module essentiel du logiciel et concerne la disponibilité et les indicateurs d'activités.

- Disponibilité : c'est la probabilité de bon fonctionnement qui est évaluée par la moyenne des temps de bon fonctionnement : référence de la définition : titre de l'ouvrage . [3]

Elle est déterminée pour chaque station à partir des données tirées des fiches de travaux.

L'évaluation se fait par défaut sur toute la durée de vie de l'équipement ; bien qu'il soit possible de fixer la période d'évaluation.

- Les indicateurs d'activité
 - o le taux de défaillance qui est évalué à partir des fiches de travaux. Il est globalement déterminé par famille d'équipements et par station ;
 - o la fréquence des pannes par cause ou par nature.

I.2 Spécification des Cas d'Utilisation :

Suite à l'étude d'opportunité, il est important de préciser de manière globale ce que le système doit faire en spécifiant les interfaces entre le système et les utilisateurs. Une approche assez répandue est la spécification des cas d'utilisation développée initialement par Jacobson en 1992.

Définition de Cas d'utilisation ou use case : il décrit l'interface au système d'un point de vue de son utilisation par les acteurs qui sont les entités externes qui interagissent avec le système.

Définition acteur : il représente une catégorie d'utilisateur et non pas un utilisateur physique. Les acteurs sont les utilisateurs directs du système.

Chacun des acteurs est associé aux cas d'utilisation qui le concerne par une association de communication. Un cas d'utilisation représente une façon particulière d'utiliser le système et correspond à une séquence de transactions reliées entre elles et produites par un dialogue avec l'acteur.

I.2.1 Model brut

Le modèle brut des cas d'utilisation se limite aux acteurs primaires et aux cas d'utilisation qui leurs sont associés, sans aucune relation entre les cas d'utilisation.

Tableau IV.1 : modèle brut des cas d'utilisation

N°	Désignation	Acteur primaire
01	Paramètres de marche Saisir les paramètres de marche	Technicien

02	Consulter les paramètres de marche	Technicien
03	Imprimer les paramètres de marche	Resp technique Resp. Tech. /Chef d'U
	Rapport d'intervention	
01	saisir rapport	Le Resp Technique
02	consulter	Le Resp Techn
03	imprimer	Resp Techn / ChefUM
	Fiche technique	Resp Techn / ChefUM
01	Créer	Resp technique
02	Consulter	Resp. Technique
03	modifier	Resp. Technique
04	imprimer	Le Resp Techn
	Bon de réception	Responsable gestion
01	Créer	Responsable gestion
02	modifier	Responsable gestion
03	imprimer	Responsable gestion
04	Consulter	Responsable gestion
	Bon de sortie de matériel	Responsable gestion
01	Créer	Responsable gestion
02	Modifier	Responsable gestion
03	Imprimer	Responsable gestion
04	Consulter	Responsable gestion
	Indicateur de performance	Chef d'unité
01	Disponibilité	Chef d'unité
02	Type d'intervention	Chef d'unité
03	Etat des consommations	Chef d'unité

I.2.2 Le modèle détaillé

Il décrit tous les acteurs primaires et secondaires, les cas d'utilisation qui leurs sont associés avec toutes les relations entre les cas d'utilisation. Le tableau suivant illustre un exemple du modèle détaillé des cas d'utilisation.

Tableau IV.2 : Exemple d'un modèle détaillé

Cas d'utilisation n°1 : créer un rapport d'intervention

Titre	créer un rapport d'intervention
Description détaillée	L'utilisateur sélectionne le menu responsable technique L'utilisateur sélectionne le sous menu gestion des travaux L'utilisateur appui sur le bouton saisir le rapport d'intervention et puis il entre les données.
Acteurs	Technicien
Préconditions	Station répertorié
Postconditions	Rapport créé

La suite du modèle détaillé des cas d'utilisation est présentée en annexe.

Une autre façon d'illustrer les relations entre acteurs et système est le diagramme de séquence dont un exemple est présenté ci dessous

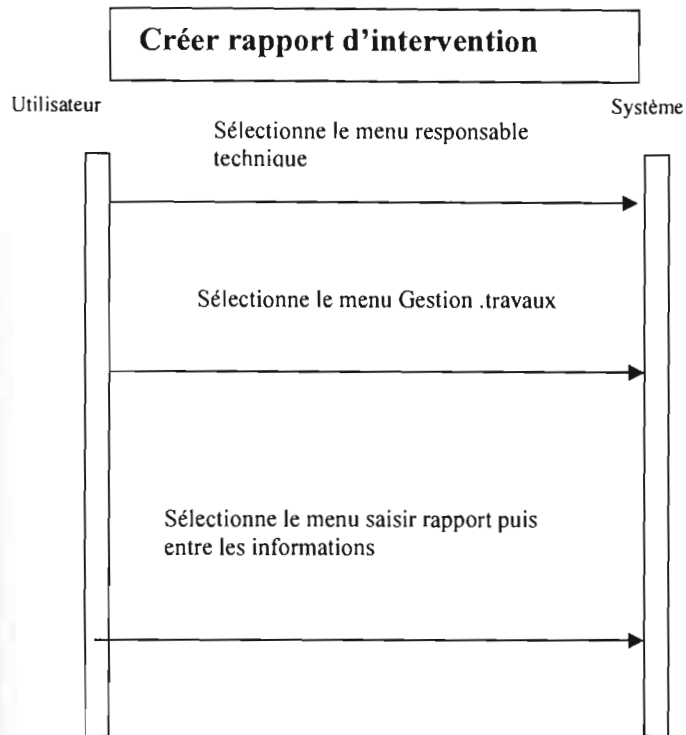


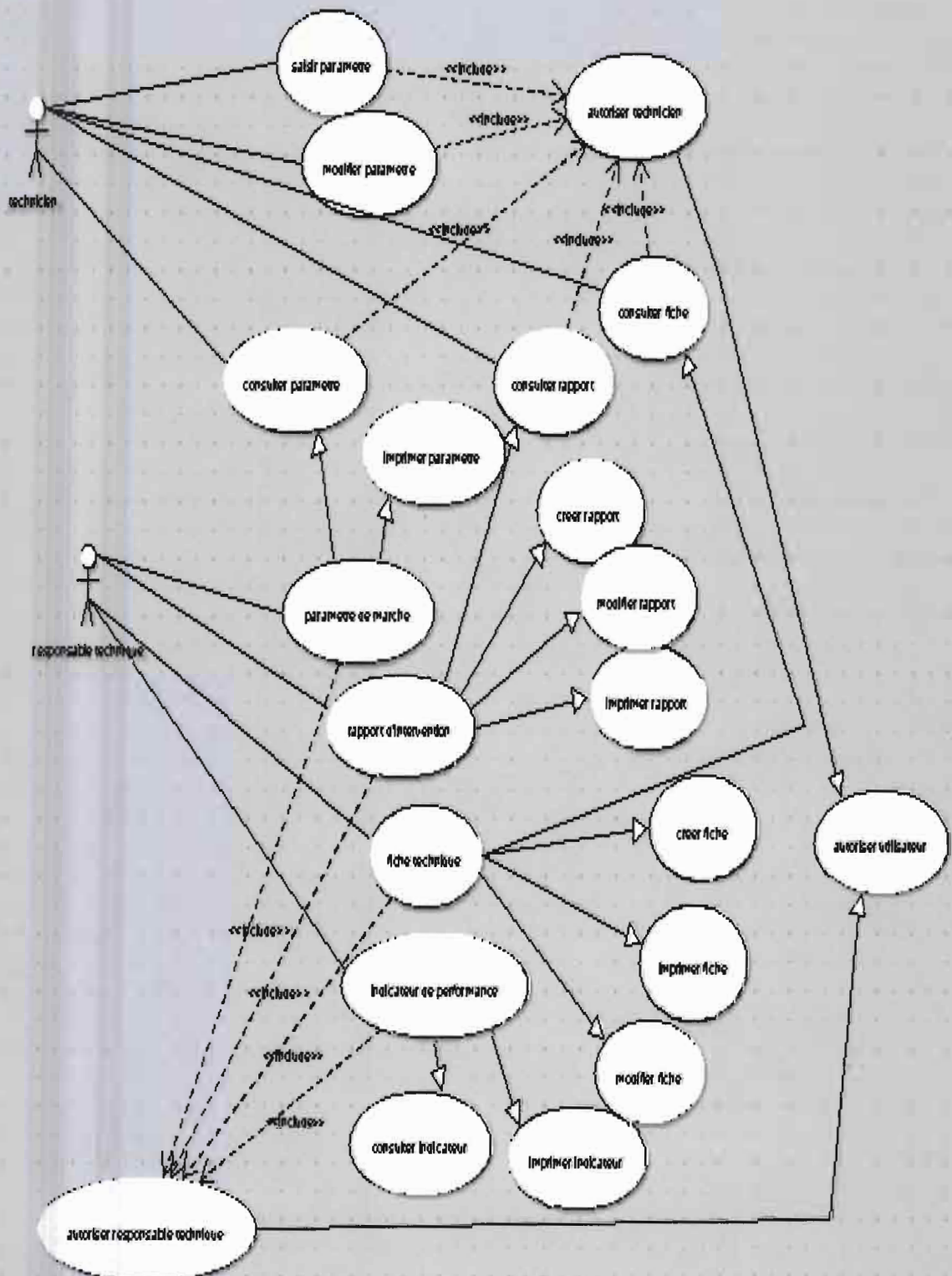
Figure IV.3 : Diagramme de séquence. [12]

I.2.3 Diagramme des cas d'utilisation

Le schéma ci après est une représentation des cas d'utilisation en UML .Chaque cas d'utilisation est présenté par un ovale étiqueté par le nom du cas d'utilisation. Un trait entre un acteur et un cas d'utilisation représente une association de communication. En général un cas d'utilisation peut faire intervenir plusieurs acteurs à la fois et inversement, un acteur peut participer à plusieurs cas d'utilisation.

Le diagramme des cas d'utilisation est fait avec le logiciel ARGO UML [12]

Organiser Génération Critique Outils Aide



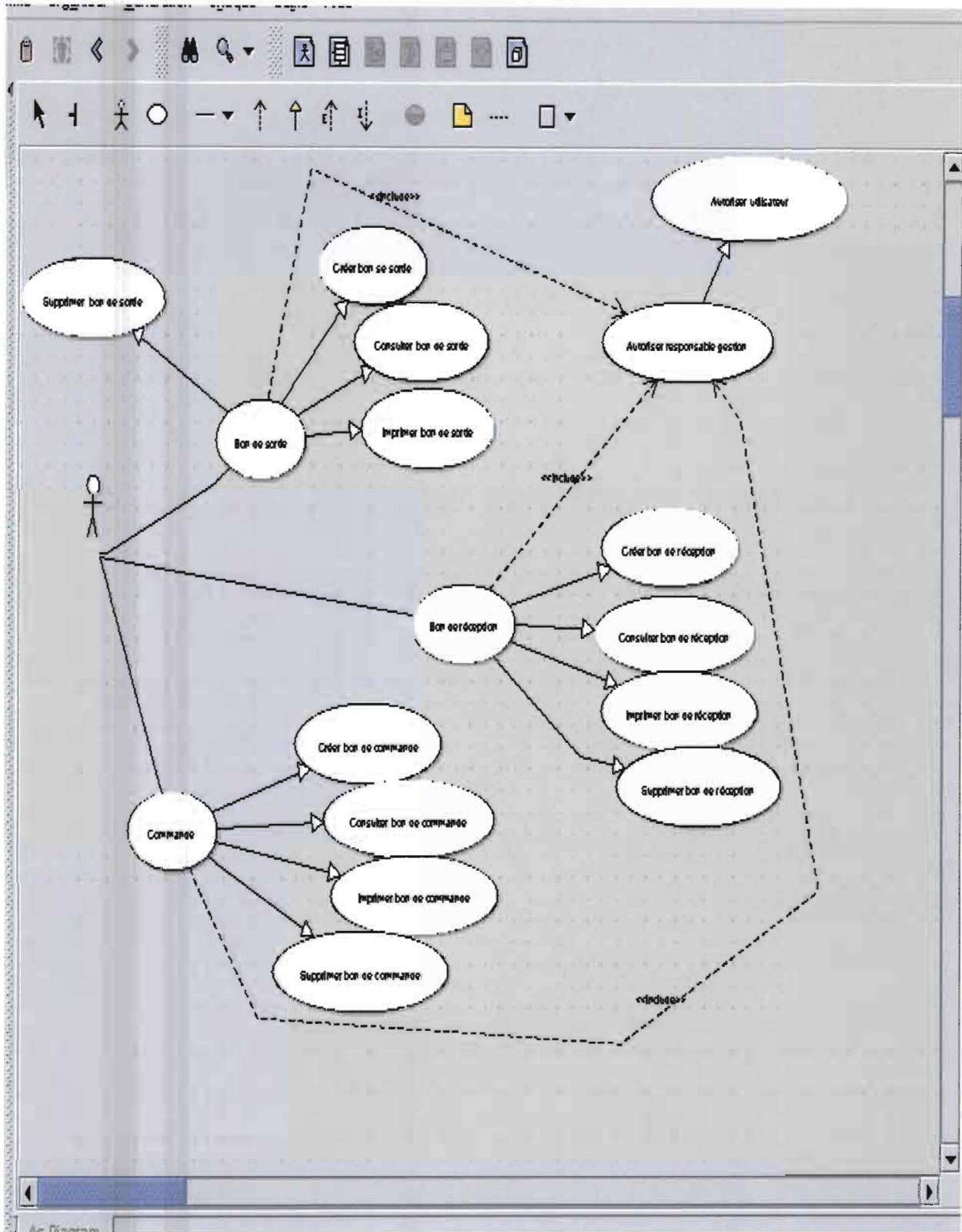
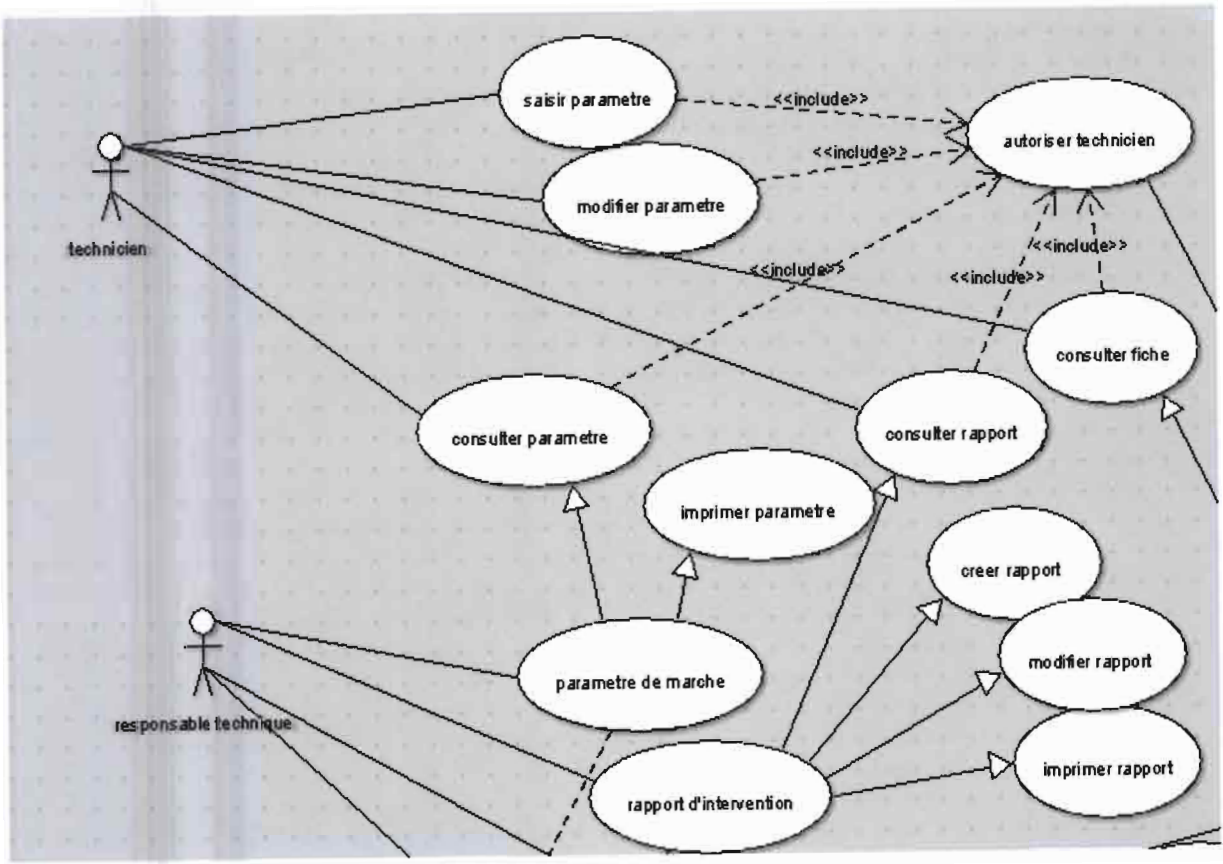


Figure IV.4 : Diagramme des cas d'utilisation



II. ANALYSE CONCEPTUELLE DE DONNEES

Une technique couramment employée pour la conception des bases de données consiste à produire dans un premier temps un modèle conceptuel de données.

Définition Modèle conceptuel de données : C'est une représentation abstraite des informations à placer dans la base de données qui est indépendante de la technologie utilisée pour l'implémentation.

II.1 Diagramme de classes UML

II.1.1 Définition de quelques concepts de base

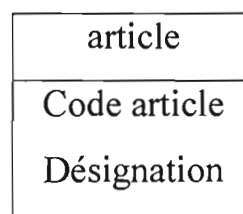
Le modèle conceptuel de données est exprimé à l'aide d'un formalisme qui permet de décrire les entités, leurs attributs, les associations entre entités et les contraintes d'intégrité. Les concepts de formalisme entité association peuvent être exprimés en UML avec les diagrammes de structure statique (diagramme de classe)

Cette sous section présente les différents concepts manipulés dans l'approche UML.

Notion d'objet et de classe UML : La modélisation conceptuelle avec UML repose sur l'identification des objets du domaine d'application

Objet (instance d'une classe) : C'est un élément significatif pour le domaine d'application. Un objet est caractérisé par une identité, un état, et un comportement. Un objet est représenté par un rectangle. La partie supérieure du rectangle contient le nom de l'objet. Une seconde partie optionnelle contient la liste des attributs, leur type et leur valeur correspondante.

Exemple :



Prix unitaire

Attribut (variable membre, variable d'instance) d'un objet : C'est un contenant pour une valeur. Les valeurs des attributs d'un objet représentent son état. L'état peut être modifié par un programme en modifiant les valeurs des attributs.

Classe : C'est une abstraction qui représente les caractéristiques communes (attributs, associations et opérations) à un ensemble d'objets. La classe représente non seulement la structure commune, mais aussi les associations et le comportement commun à un ensemble d'objets, dans le diagramme de classes, le nom de la classe n'est pas souligné.

Exemple de classe :

livre
Code :
Titre :
Annéeparution :

Identifiant d'objet : l'identifiant d'objet est un identificateur unique implicite associé à un objet

Identifiant pour une classe : Un identifiant d'une classe est un attribut ou un ensemble d'attributs minimal qui identifie chacun des objets de manière unique.

Notion de lien : Un lien entre des objets est une relation significative entre des objets.

Association : Une association entre classes représente l'abstraction qui correspond à un ensemble de liens qui ont une sémantique commune.

Association binaire : Une association binaire correspond à un ensemble de liens entre les objets de deux classes.

Rôle d'une association : un rôle d'une association correspond à une des extrémités de l'association.

Multiplicité d'un rôle pour une association : Pour un rôle donné d'une association binaire, la multiplicité représente le nombre minimal et le nombre maximal d'objets qui peuvent être liés à un objet du rôle opposé. La multiplicité peut s'appliquer aussi bien à un attribut qu'à une association.

Lorsque les deux maxima sont *, c'est une association **plusieurs à plusieurs** (* - *).

Lorsque les deux maximums sont 1, il s'agit d'une **association un à un** (1-1).

Exemple :

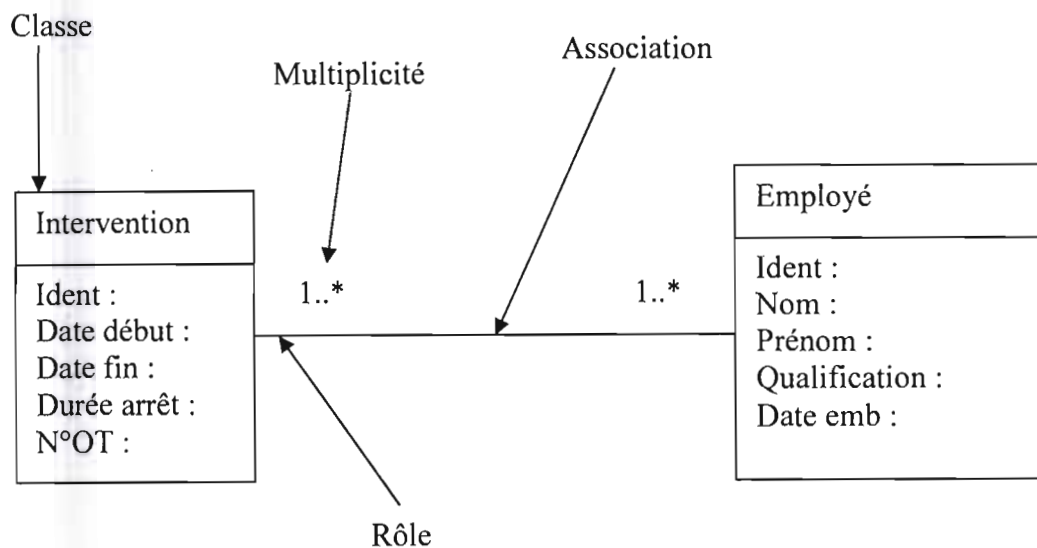


Figure IV.5 : illustration des concepts définis ci-dessus

Agrégation : Une agrégation est une association binaire entre un tout et ses parties. Une agrégation forte, appelée composition en UML, implique que la partie ne peut survivre au tout.

Exemple : Agrégation entre une station et une pompe. et les multiplicités.

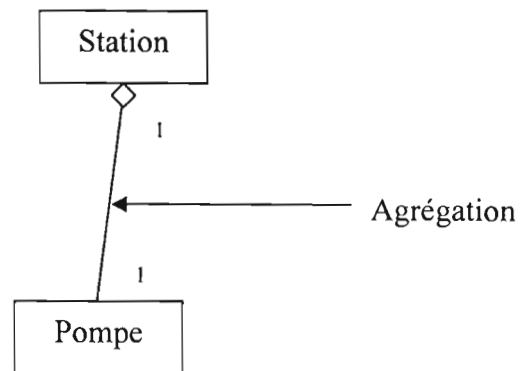


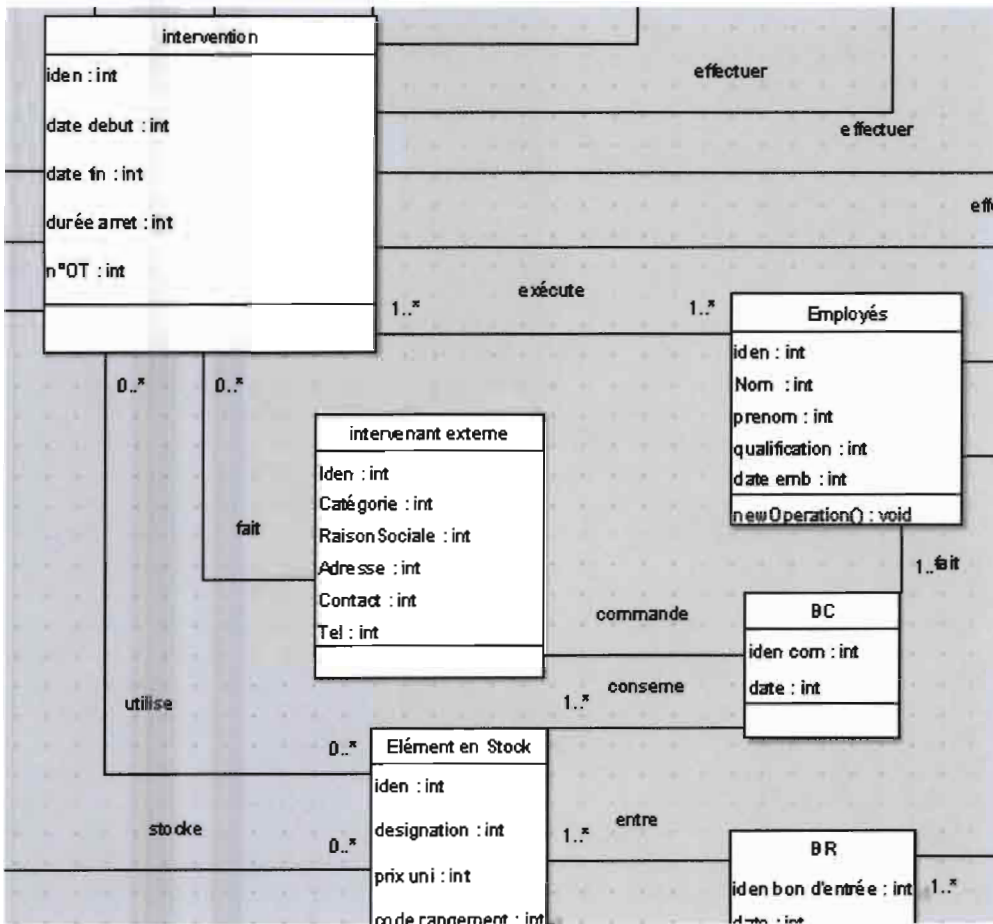
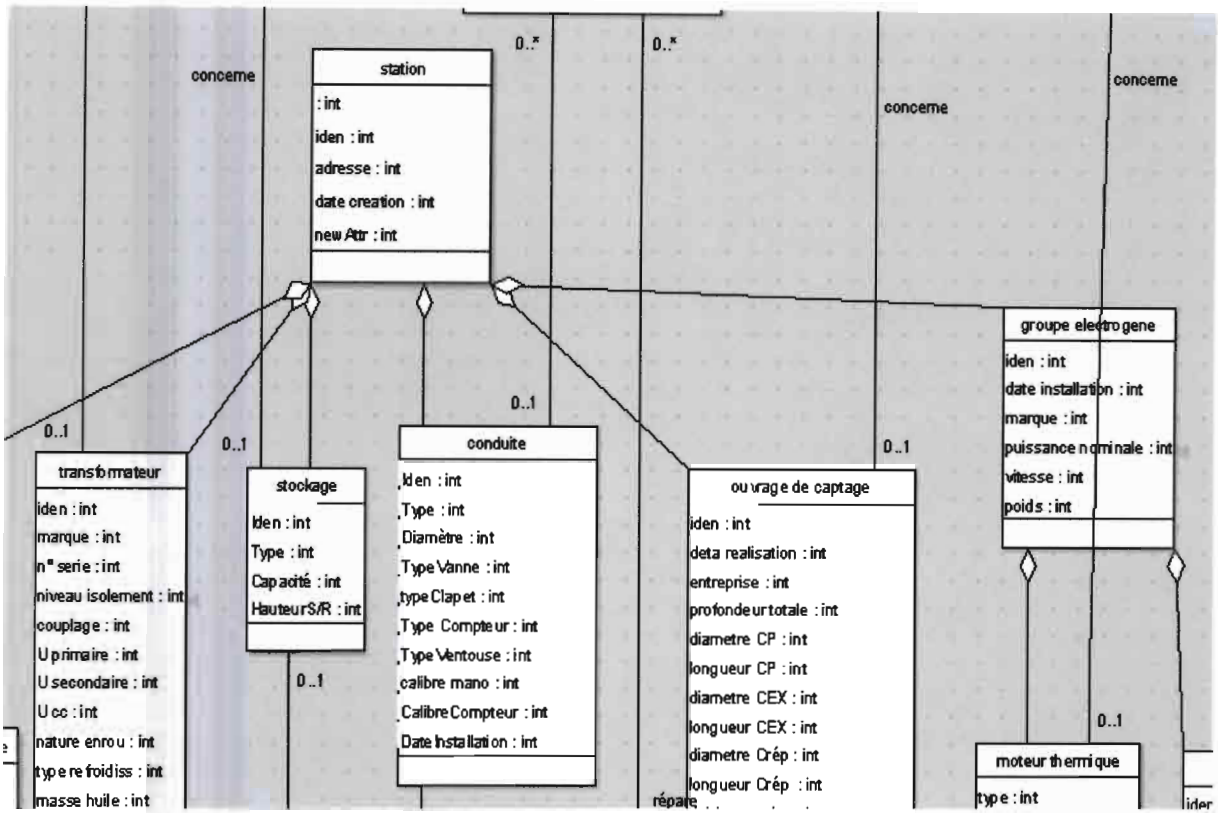
Figure IV.6 : illustration schématique de l'agrégation.

Généralisation/spécialisation : la relation de généralisation permet de faire ressortir les propriétés communes (attributs, associations, opérations) et les différences entre les classes. Les propriétés communes sont représentés par des classes plus générales. la spécialisation est l'inverse de la généralisation.

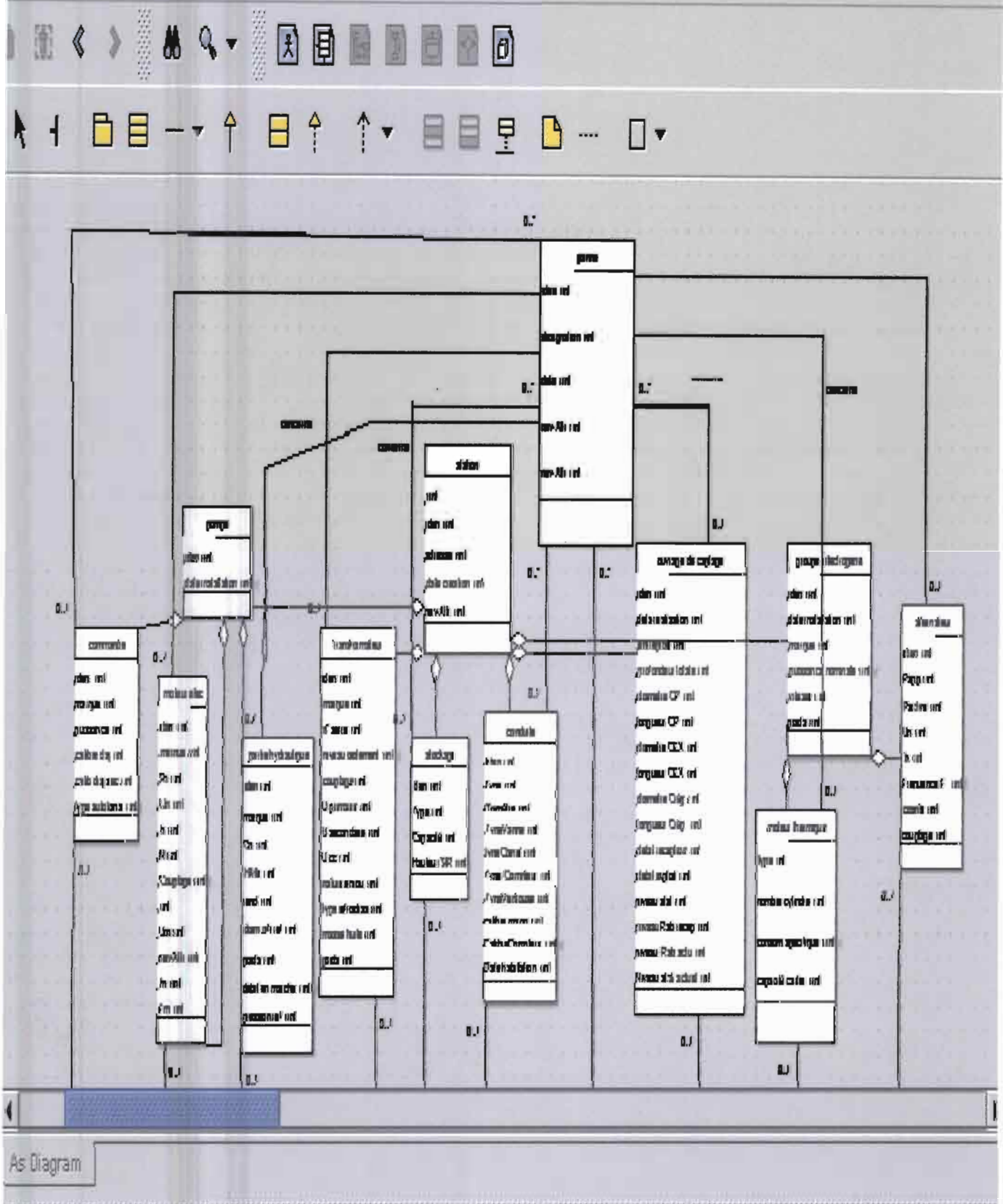
II.1.2 Construction du diagramme de classe

Voir diagramme page suivante.

Le diagramme de classes est fait avec le logiciel ARGO UML. [13]



Organiser Génération Critique Outils Aide



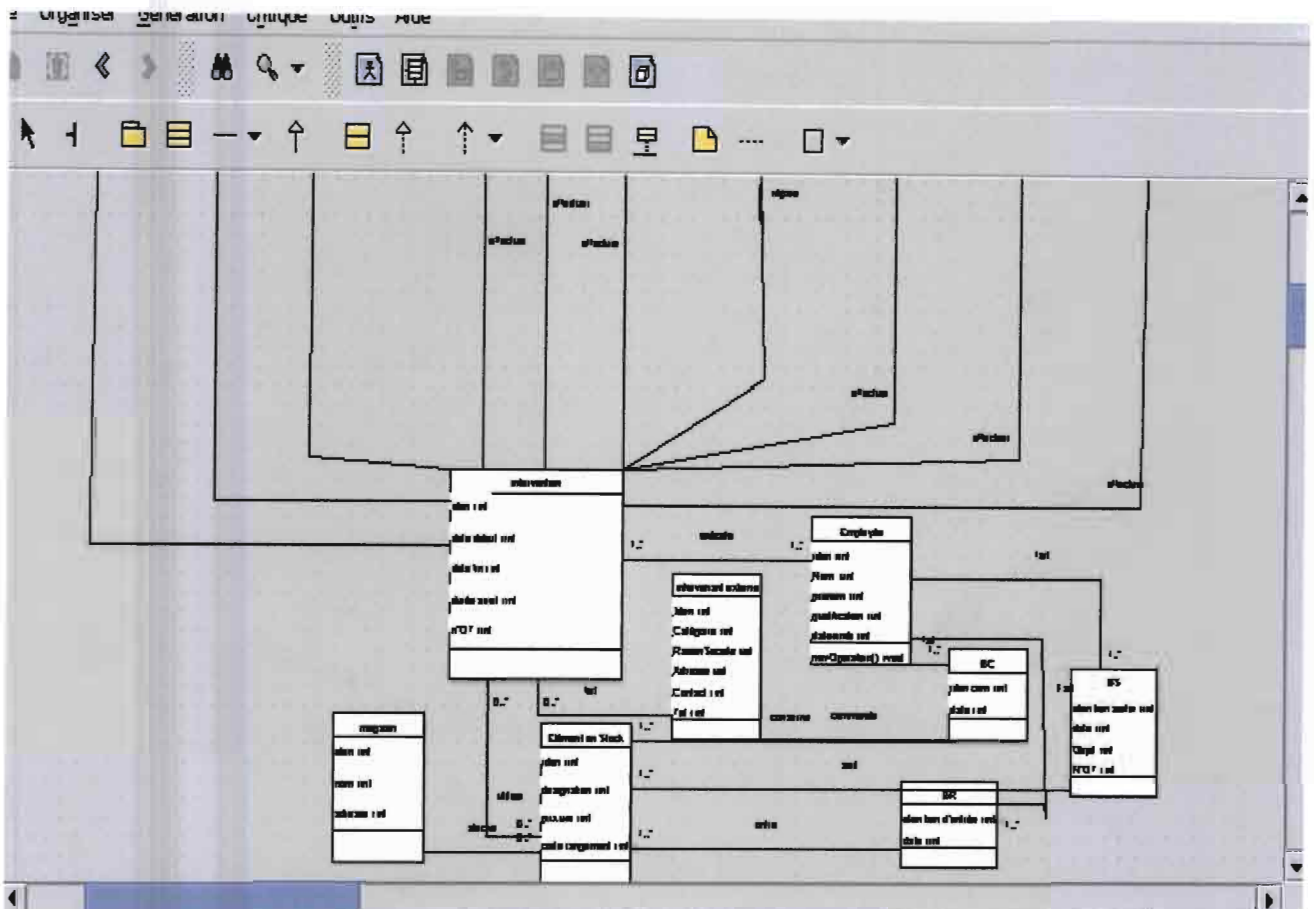


Figure IV.7 : Diagramme de classe

III. MODELE RELATIONNEL

Le modèle relationnel proposé par Codd [12] est le plus populaire des systèmes de gestion de base de données commerciaux actuels. Le modèle relationnel est un modèle de définition de données caractérisé par le fait que toutes les données sont représentées sous forme de tables.

Cette section présente le modèle relationnel, puis sa traduction d'un modèle conceptuel de données en un schéma relationnel.

III.1 Concepts de base

Afin de présenter le schéma de la base de données, il est utile de définir quelques concepts de base servant à mieux comprendre le passage du modèle conceptuel de données au modèle relationnel de données.

Table : il est utilisé dans le contexte des SGBD relationnels pour désigner une relation. Il est matérialisé par un fichier d'enregistrement.

Colonne : Chaque colonne de la table est aussi appelé un attribut. Une colonne possède habituellement un nom significatif qui permet d'interpréter le rôle de la colonne. Par analogie avec un enregistrement, une colonne correspond à un champ.

Ligne de la table : Une ligne est composée d'une valeur pour chaque colonne. Chaque valeur représente une donnée significative pour une application.

Schéma d'une table : Le schéma d'une table est la définition de son type (structure). Pour spécifier le schéma, il faut énumérer les noms des colonnes et leur domaine. La notation suivante est la plus utilisée

$T(A_1, A_2, \dots, A_n)$ où T est le nom de la table et A_1 le nom d'une colonne.

Schéma relationnel : l'ensemble des schémas des tables est appelé le schéma relationnel.

III- 2 - Contraintes d'intégrité fondamentales du modèle relationnel

Le schéma d'une table n'est pas défini uniquement par la liste de ses colonnes. Pour spécifier de façon complète la structure d'une table, il faut lui ajouter d'autres règles gouvernant les états (instances) valides de la table. Ces règles sont appelées contraintes d'intégrités. Parmi ces contraintes, certaines sont fondamentales au modèle relationnel : les contraintes de clés primaires et d'intégrité référentielle. Ces contraintes sont définies dans les sous sections suivantes :

III.2.1 Clé primaire et contrainte d'entité

Une différence importante entre le concept de d'enregistrement et de table est le fait qu'il ne peut y avoir deux lignes de la même table qui soient identiques, c'est-à-dire qui possèdent les mêmes valeurs pour toutes les colonnes de la table. Un ensemble de colonnes est une clé unique(ou superclé) de la table si deux lignes de cette table ne peuvent avoir les mêmes valeurs pour toutes les colonnes de la clé. En d'autres termes, une clé unique identifie de façon unique une ligne de la table.

Une clé candidate est une clé unique minimale. Parmi les clés candidates, il y en a une qui est désignée comme la clé primaire. La clé primaire est utilisée pour faire référence aux lignes de la table. La convention utilisée consiste à souligner la clé primaire dans le schéma d'une table.

La contrainte d'entité spécifie que toute table doit avoir une clé primaire et qu'aucune valeur d'une colonne de la clé primaire ne peut être nulle.

III.2.2. contrainte d'intégrité référentielle

Le concept de clé primaire est fondamental dans le modèle relationnel parce que les liens entre les tables sont exprimés à l'aide de colonnes qui font référence aux clés primaires.

Une clé étrangère est un ensemble d'une ou de plusieurs colonnes d'une table qui fait référence à une clé primaire d'une autre table. De ce fait, pour faire référence à une table, il faut dupliquer les colonnes de la clé primaire de cette table. Les colonnes ainsi dupliquées forment une clé étrangère dans la table où elles sont dupliquées. Le principe sous-jacent est que, dans le contexte du modèle relationnel, toute l'information est représentée explicitement par des valeurs. Les liens entre les tables sont exprimés par les valeurs des clés étrangères. Aucun autre concept n'est utilisé pour exprimer les liens entre les tables. Un avantage de cette approche est la simplicité conceptuelle et une grande indépendance physique des données. A noter que le nom de chacune des colonnes de la clé étrangère ne doit pas obligatoirement être le même que le nom de la colonne correspondante de la clé primaire.

La contrainte d'intégrité référentielle spécifie qu'une clé étrangère non nulle doit faire référence à une valeur existante de la clé primaire existante.

III.2.3 Traduction du modèle conceptuel de données en schéma conceptuel relationnel.

Dans cette section, nous exposerons les règles de passage du modèle conceptuel de données en un schéma relationnel au niveau conceptuel. Le niveau

conceptuel du schéma relationnel (ou plus simplement le schéma conceptuel) est constitué de l'ensemble des tables, de leurs colonnes, et des contraintes d'intégrités.

III.2.4 Table et clé primaire

Toute entité est transformé en table .Les propriétés de l'entité deviennent les attributs de la table.

III.2.4.1 Relation binaire (...,n) – (...,1)

La clé primaire de l'entité reliée par (...,n) devient clé étrangère de l'entité reliée par (... ,1)

III.2.4.2 Relation binaire (0,1) – (1,1)

La clé primaire de l'entité reliée par (0,1) devient clé étrangère de l'entité reliée par (1,1).

III.2.4.3 Relation binaire et ternaire

On crée une table supplémentaire ayant comme clé primaire une clé composée des clés primaires des 02 entités.

IV .SCHEMA DE LA BASE DE DONNEES

Le schéma suivant montre le schéma de la base de données du système

Station (iden, Nom, adresse, dateCréation)

Pompe(iden, dateInstall, *iden station*)

Transformateur(iden, marque, n°Serie, niveauIsolemt, Couplage, UPrimaire, USecondaire, Icc, NatureEnroulemt, TypeRefroidissement, MasseHuile, *iden Station*)

Stockage(iden, Type, Capacité, HauteurS/R, *iden Station*)

Conduite(iden, Type, Diamètre, TypeVanne, TypeClapet, TypeCompteur, TypeVentouse, CalibreMano, CalibreCompteur, DateInstallation, *Iden Station*)

Ouvrage de Captage(iden, DateRéalisation, Entreprise, ProfondeurTotale, DiamètreCP, LongueurCP, DiamètreCEX, DiamètreCrép,

LongueurCrép, BébitRéception, DébitExploitation, NS,
NR, NRActuel, NSActuel, *idenStation*)

Groupe Electrogène(*iden*, dateInstall, marque, Pn, N, Poids, *IdenStation*)

Commande(*Iden*, Marque, Pn, CalibreDisjPrincipal, CalibreDisjSecond,
typeAutotransfo, *Iden Pompe*)

Moteur Electrique(*iden*, Marque, Pn, Un, In, N, Couplage, Um, Im, Fm, *iden
Pompe*)

Partie Hydraulique(*iden*, Marque, Qn, Hmt, Rd, DiamOrifRef, Poids, Qm,
Pression, *IdenPompe*)

Moteur thermique(*Iden*, Type, Marque, NbreCyl, ConsSpécif, CapacitéCarter,
idenGE)

Alternateur(*Iden*, Papp, Pact, Un, In, F, Cosphi, Couplage, *Iden GE*)

Intervention(*iden*, DateDébut, DateFin, DuréeArrêt, N°OT, *idenCommande*,
IdenMoteurElectrique, *IdenPartieHydraulique*, *IdenTransfo*,
IdenOuvrageDeCaptage, *IdenConduite*,
idenStockage, *IdenMoteurThermique*,
IdenAlternateur, *idenIntervenantExterne*, *IdenElémentEnStock*)

Faire intervention(*idenIntervention*, *IdenEmployé*)

Utilisation élément(*idenInter*, *IdenElémentEnStock*)

Panne(*iden*, Désignation, Date, *idenCommande*, *IdenMoteurElectrique*,
IdenPartieHydraulique, *IdenTransfo*, *IdenOuvrageDeCaptage*,
IdenConduite, *iden Stockage*, *IdenMoteurThermique*, *IdenAlternateur*)

Employé(*iden*, nom, prénom, Qualification, DateEmbauche,)

BC(*Iden*, Date, *IdenEmployé*, *IdenElémentEnStock*)

BR(*IdenBR*, Date, *IdenEmployé*, *IdenElémentEnStock*)

BS(*Iden*, Date, Objet, N°OT, *IdenEmployé*, *IdenElémentEnStock*)

Elément en Stock(*Iden*, Désignation, PrixUnitaire, quantité, Etat, seuilMini,
CodeRangement, *IdenMagasin*, *IdenInterExterne*))

Magasin(*Iden*, Nom, Adresse) Intervenant externe(*Iden*, Type, raisonSociale,

Adresse, Contact, Tel)

V. SYSTEME DE CODIFICATION

La mise en place d'un modèle de gestion informatisée de la maintenance ne peut se faire sans l'existence d'une nomenclature du matériel.

La nomenclature est une énumération et une classification du matériel dont les objectifs sont :

- D'établir le fichier matériel : répertorier et énumérer le matériel
- De permettre la création et le classement d'une documentation technique et historique du matériel.
- De servir d'outil de base à l'analyse technique des coûts de maintenance.

La nomenclature doit se présenter d'une façon structurelle, d'où l'intérêt d'élaborer une arborescence du matériel.

V 1. Concept d'arborescence :

On distingue trois concepts pour construire une arborescence :

- **Le concept maintenance/production :**
 - La structure de l'arborescence suit le processus de production. Ce Concept donne naissance à l'arborescence fonctionnelle.

- **Le concept géographique**

Ce concept s'applique pour les installations dispersées dans des zones géographiquement vastes.

- **Le concept catégorie technique**

Ce concept est utilisé pour faciliter la gestion des articles du magasin et de la documentation relative aux équipements.

V-2- L'arborescence fonctionnelle

Elle se divise en deux étapes :

- l'arborescence structurelle ou découpage fonctionnel
- L'arborescence technologique ou décomposition fonctionnelle.

V-2-1- L'arborescence structurelle

La station sera décomposée en des ensembles d'installations, de machines qui assurent une mission complète de la production dont l'usure et la diminution de rendement sont fonction d'un même paramètre. C'est le paramètre d'usure.

Exemple :

- captage
- pompe
- transfo
- conduite
- stockage
- GE

V-2-2- L'arborescence technologique :

Elle permet d'avoir une connaissance parfaite de la machine sur laquelle on devra élaborer le plan de maintenance préventive.

Il s'agit de décomposer la machine (unité de maintenance) jusqu'au niveau organe.

- en unité fonctionnelle :
 - Moteur thermique
 - Alternateur
 - Commande
 - Moteur électrique
 - Partie hydraulique
 - Appareillage hydraulique
 - Conduite.

V-3- Liaison entre les arborescences

Les liens entre elles permettent l'axé à un équipement en cheminant par l'une des arborescences dont la logique appartient au chercheur d'information.

V.4- Proposition d'un système de codification

Cette démarche présentée ci-après n'est qu'une proposition, elle pourrait être améliorée en fonction des spécificités du système et à la suite d'une large concertation avec les différents acteurs (voir annexe 4).

L'implémentation du système d'information se fera avec Microsoft Access.

A la page suivante, nous vous présentons les diverses fonctionnalités du système d'information.

Présentation des diverses fonctionnalités du Système d'Informations

Figure IV. 8 :Menu général du système d'informations

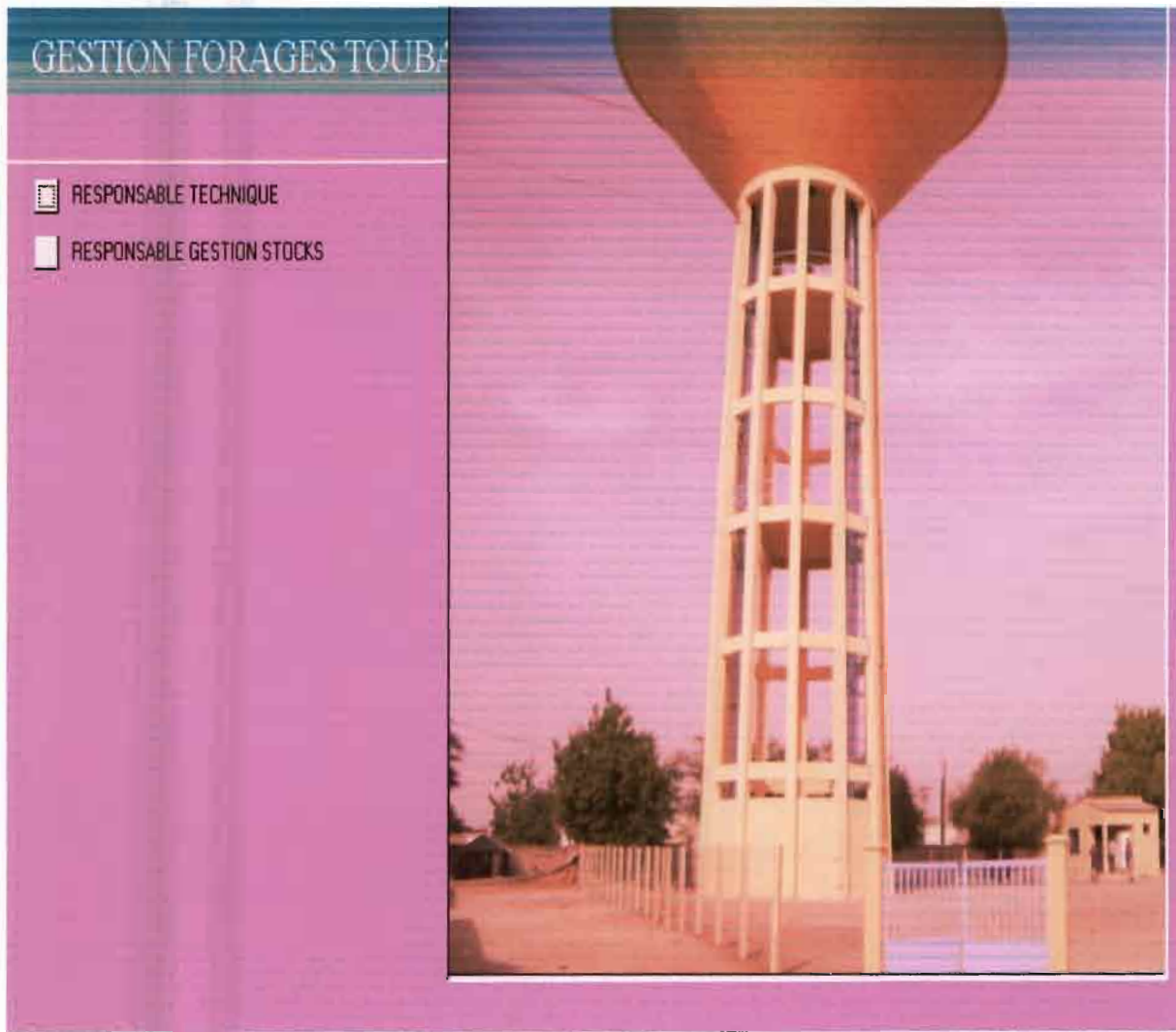


Figure IV.9 : Sous menu Gestion des Stocks

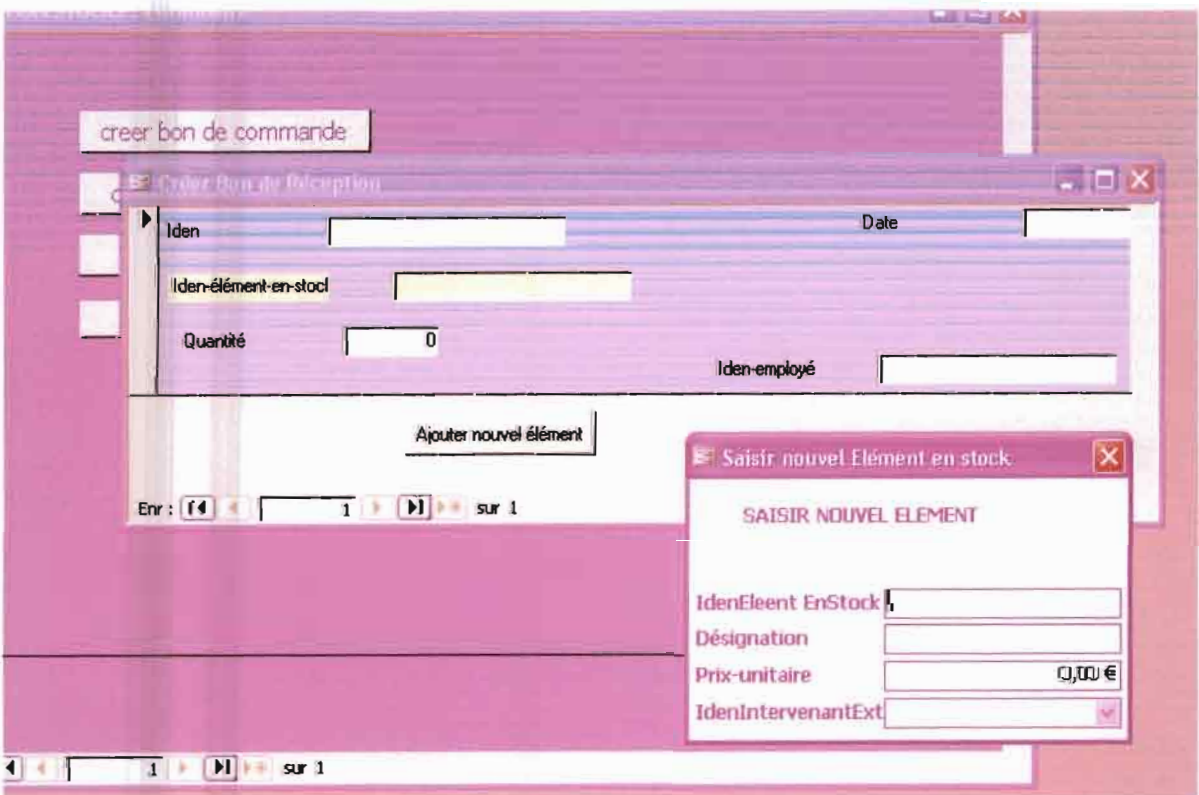
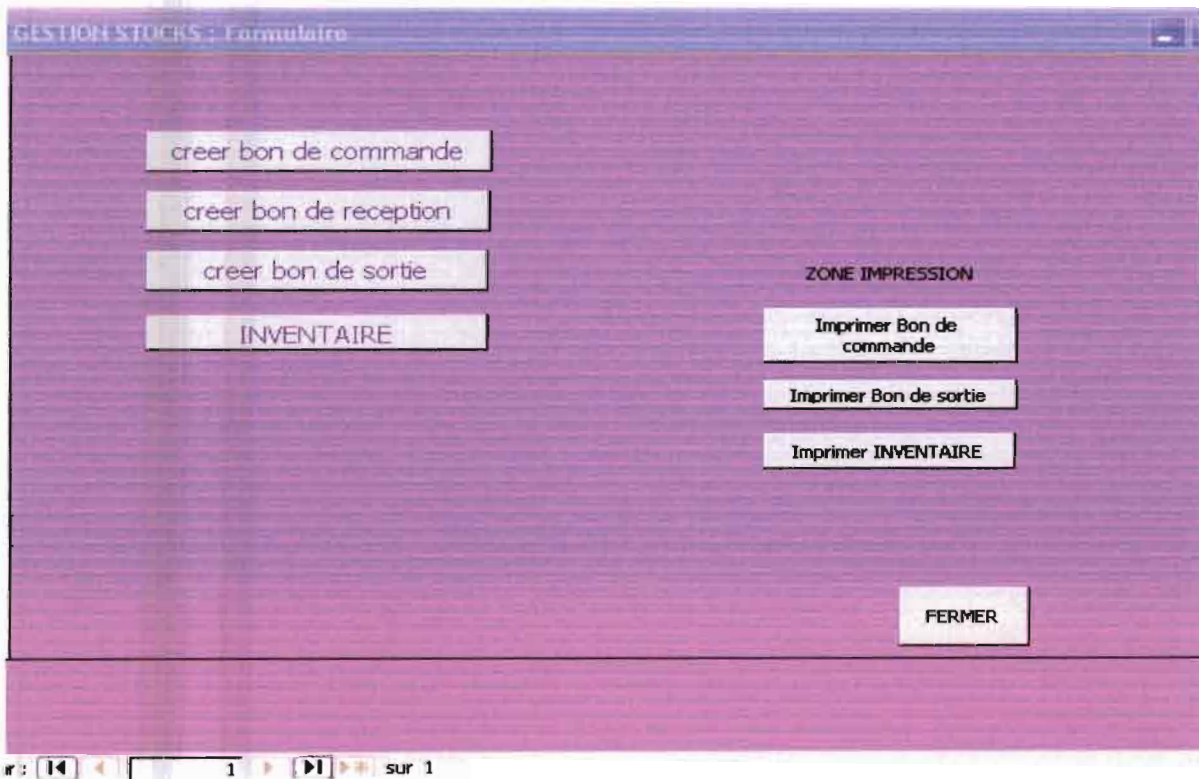
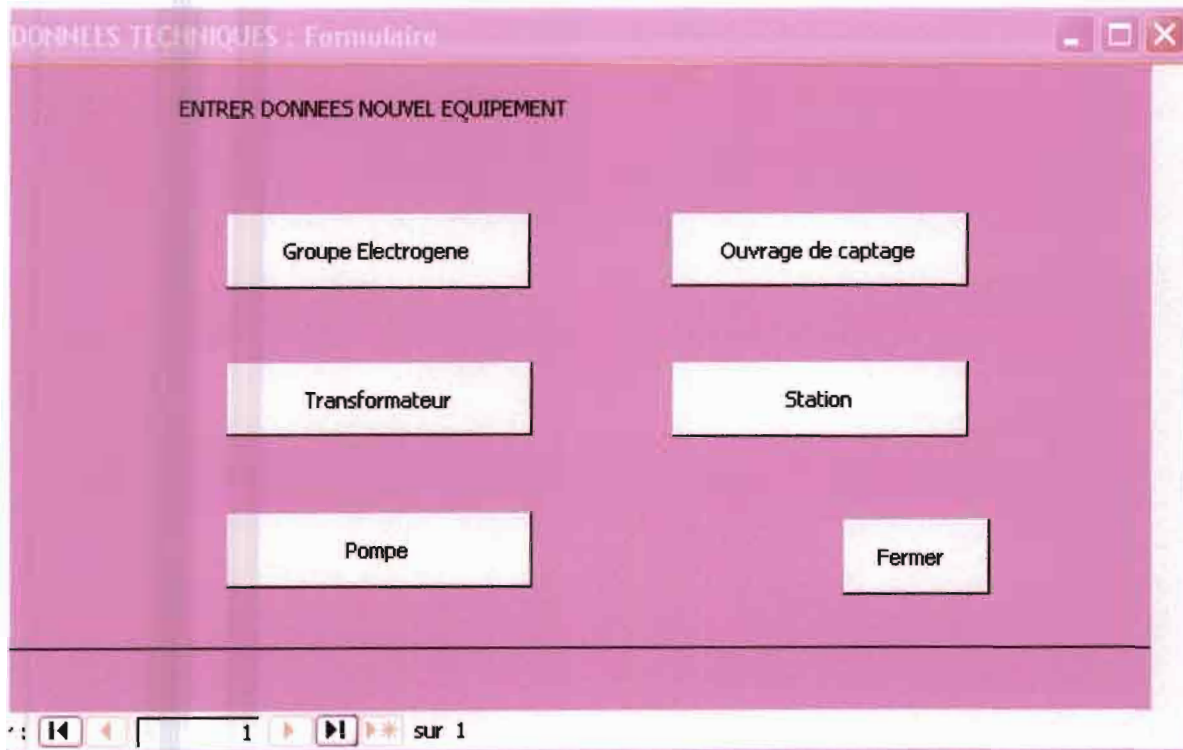


Figure IV.10 : Sous menu entrées Données techniques



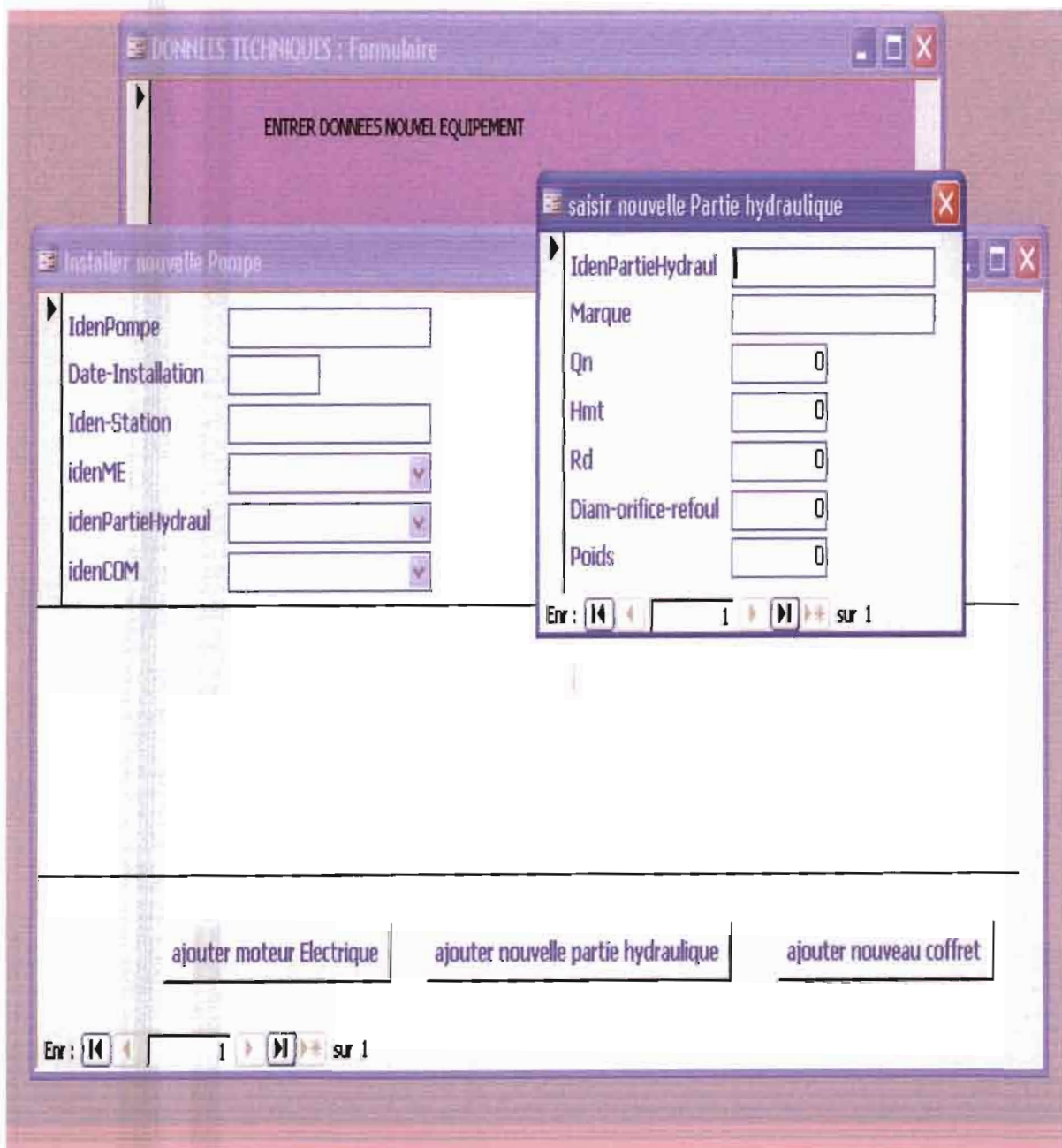


Figure IV.11 : Sous menu personnel

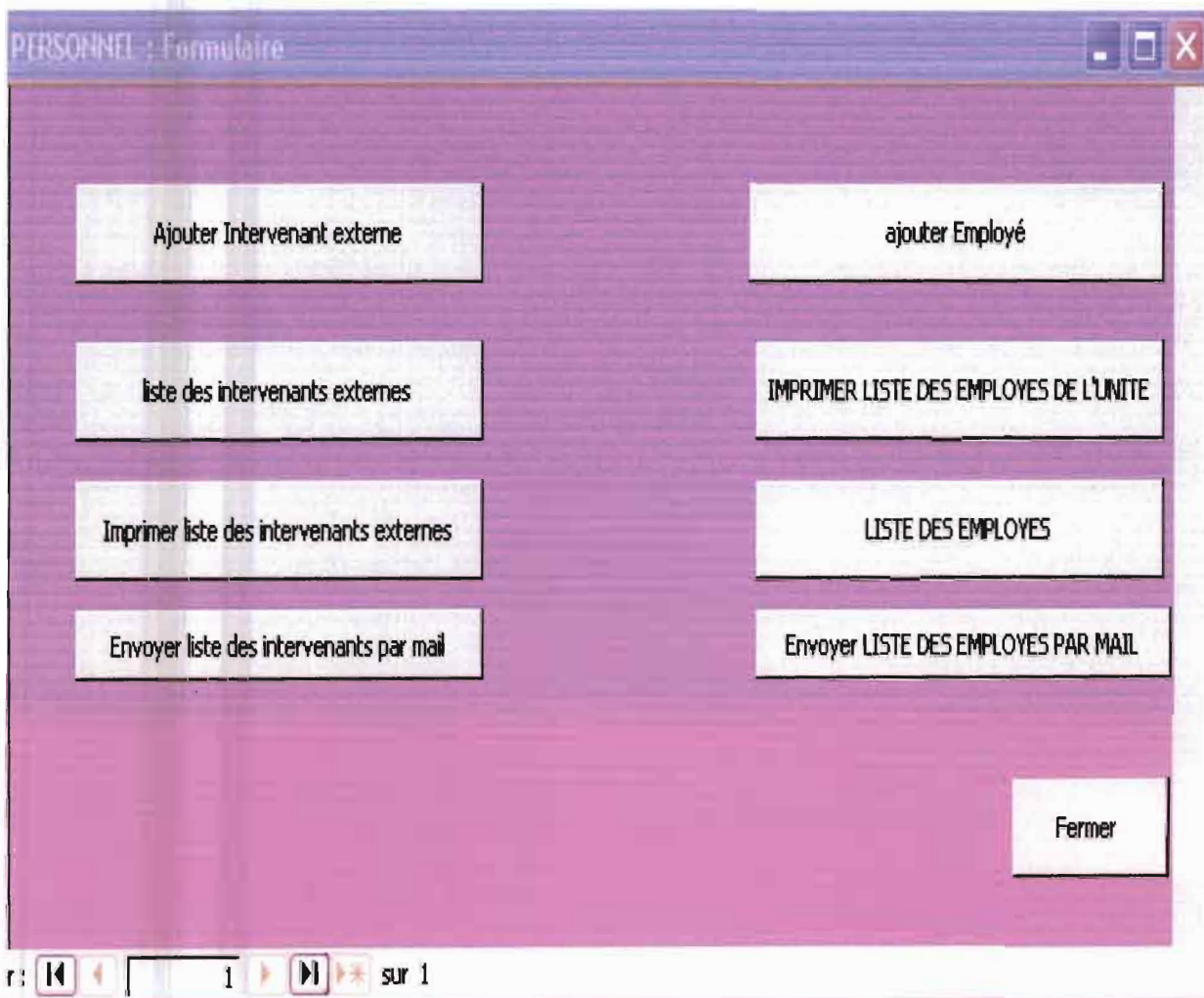
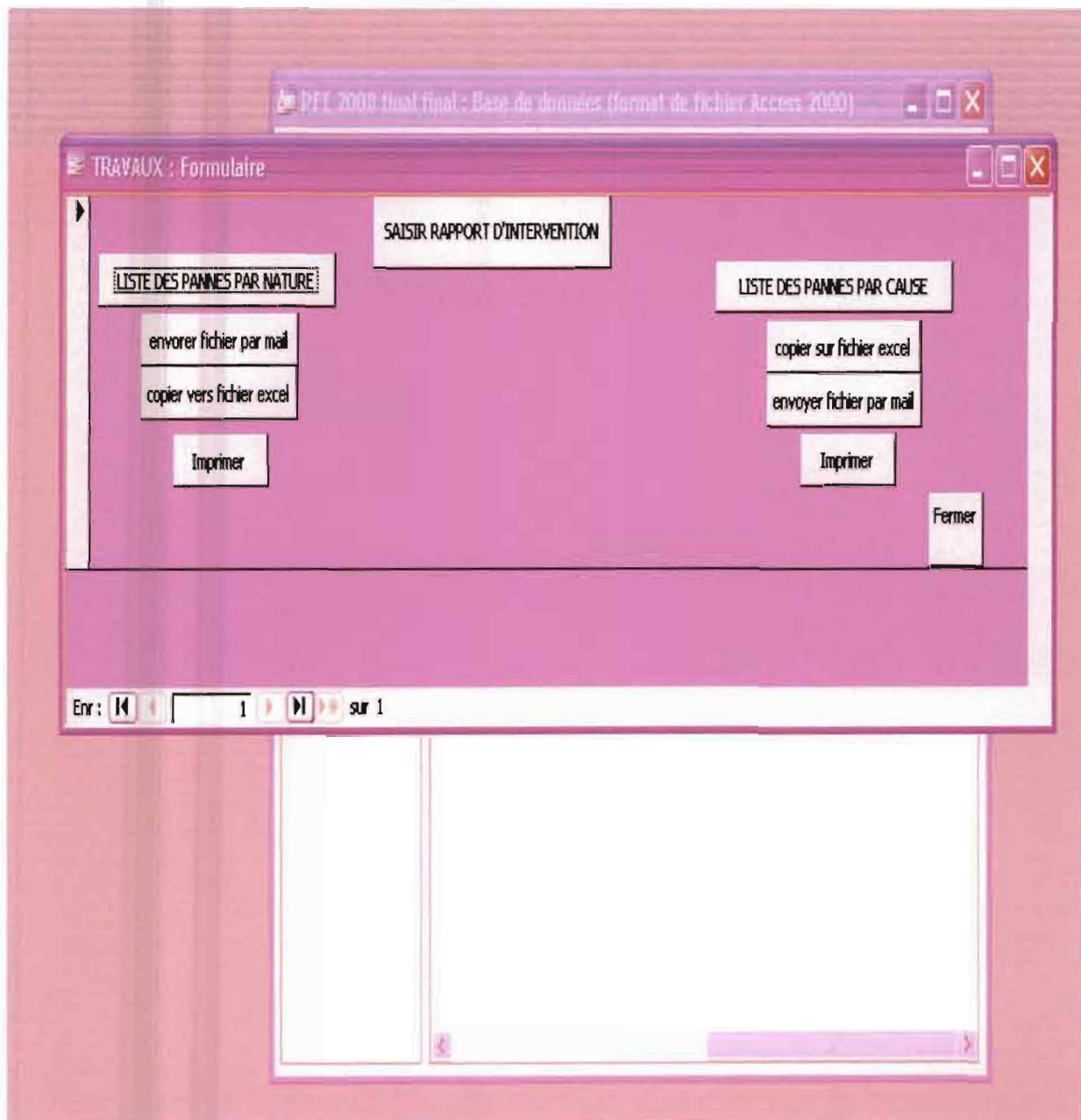


Figure IV.12 : Sous Menu Travaux



SAISIR RAPPORT D'INTERVENTION

idenRAPPORT	date-debut	date-fin	durée-arret	N°01
			0	0

Designation	cause_panne	nature_panne
	0	

travaux effectués

Conclusion suggestion

iden_intervention-externe	iden_employé

nom_employé

Enr : [N] [1] sur 1

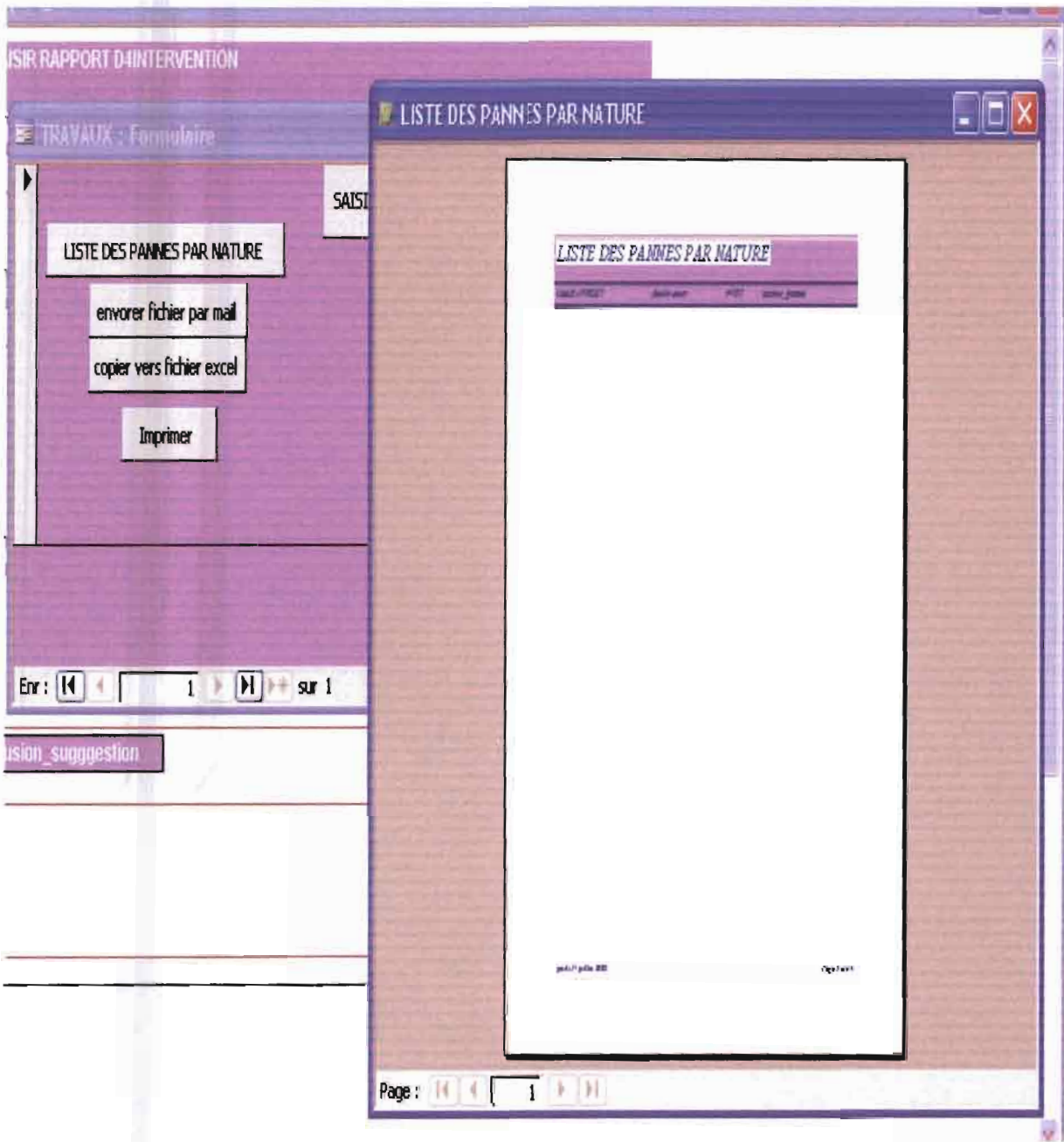
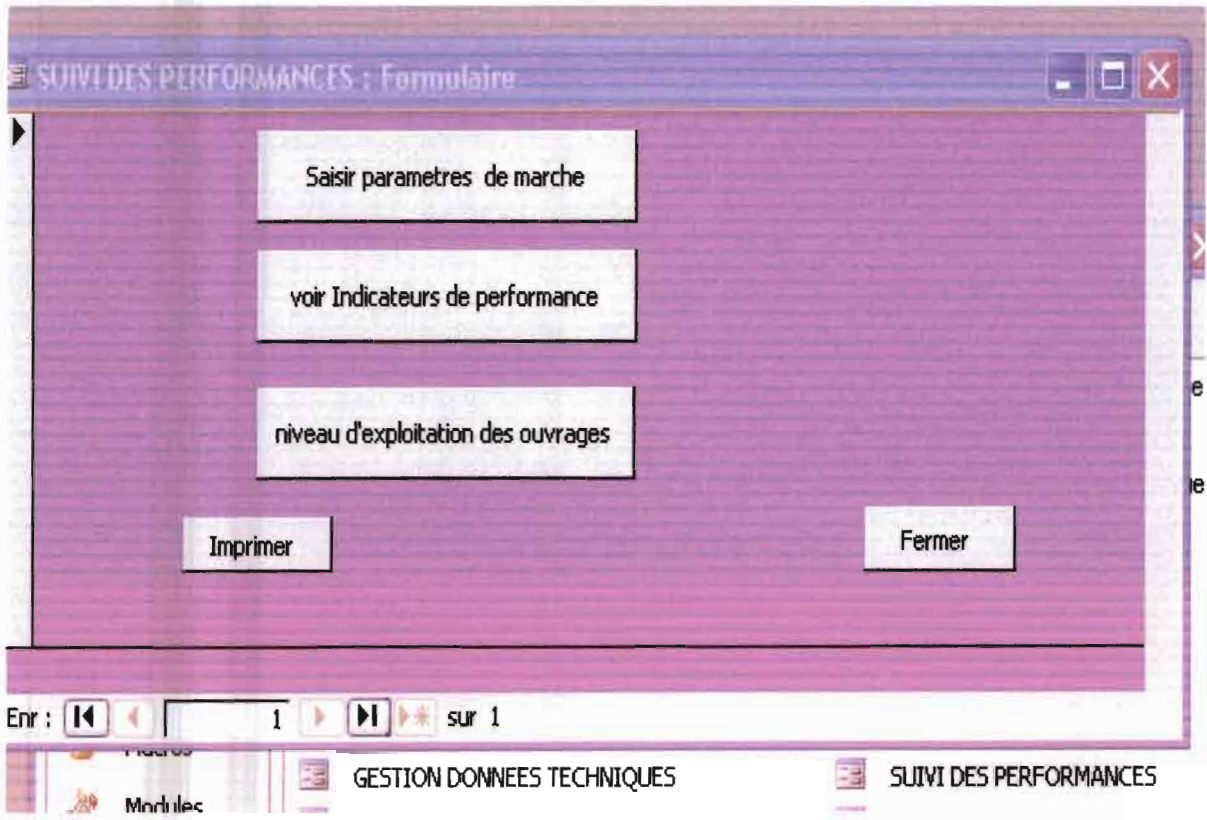


Figure IV .13 : Sous menu suivi des performances des stations de pompage



SUIVI DES PERFORMANCES - Formulaire

Saisir paramètres de marche

Saisir Paramètre de marche

idEnStation	
Consommation d'énergie mensuelle	0
IndexCHCOM	0
IndexCHGE	0
IndexCVOL	0
Qm	0
Um	0
Im	0
Em	0
Pm	0

Enr : 1 sur 1

V-5- Conclusion

Le système d'informations proposé comporte plusieurs avantages à travers ses différentes fonctionnalités présentées ci-dessus.

Il renferme une base de données relatives aux caractéristiques des différents équipements gérés.

Il pourrait constituer pour l'Unité de maintenance un outil de gestion de la maintenance pratique et fiable basé sur une meilleure connaissance du comportement du matériel.

Cependant, le lancement de ce système d'information exige une remise en état des systèmes de comptage volumétriques et horaires au niveau de toutes les stations. Ces travaux préalables sont :

- L'installation de compteurs horaires sur tous les coffrets de commande ;
- Le changement des compteurs volumétriques sur les conduites de refoulement du F10 (Gouye Mbind) et F7 ;
- L'installation de compteurs volumétriques sur toutes les conduites de distribution des châteaux d'eau ;
- L'installation de manomètres sur les conduites de refoulement des pompes et de distribution des châteaux d'eau.
- Le changement des ampèremètres et voltmètres défectueux des coffrets de commande du F6, F7 et F11, F3 et F12.

L'application informatique que nous avons développée est une première version d'un logiciel qui doit en perspective évoluer vers une application Web de gestion de la maintenance des stations de Touba.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'extension rapide du réseau d'approvisionnement en eau potable et la multiplication des stations de pompage, réalisées pour faire face à la demande croissante en eau, exigent une optimisation du système d'exploitation des ouvrages et la mise en place d'un modèle de maintenance adéquat.

Même si l'unité de maintenance a permis dans une certaine mesure de mieux gérer le parc hydraulique de Touba, la taille des infrastructures et les exigences de la maintenance font que les moyens humains et matériel de l'Unité de Touba sont vite apparus obsolètes.

La mise en place du système d'informations qui n'est qu'une première étape du processus de modernisation du système de maintenance des stations de pompage de Touba comporte plusieurs avantages notamment:

- Une meilleure connaissance de l'outil de production par la présence d'une base de données renfermant l'ensemble des informations relatives aux équipements d'exhaure.
- Un suivi de la performance des équipements et des interventions effectuées sur chaque site permettant ainsi aux personnels intervenant de disposer de tous les outils nécessaires à une maintenance de qualité.
- Une amélioration de la disponibilité et de fiabilité de l'outil de production par la mise en place de plans de maintenance qui intègrent les conditions de fonctionnement et les spécifications des constructeurs.
- Une amélioration du rendement des stations de pompage pour une meilleure optimisation de la production.

Cependant, l'efficacité de cet outil de gestion de la maintenance dépend en grande partie de la disponibilité de données fiables.

A cet effet, il convient de prendre à court terme un certain nombre de disposition notamment:

- La remise en état des systèmes de comptage volumétriques et horaires ;
- L'installation et la réhabilitation des appareils de contrôle électriques et de pression (ampèremètres, voltmètres, manomètres).
- La mise en place de systèmes de comptage électriques par la SENELEC au niveau des forages de F10, F11, F13, F16, F17.
- Le renforcement de la capacité des conducteurs en leur accordant une formation de base axé sur la conduite et l'entretien des stations de pompage.

Compte tenu de la répartition géographique des forages, caractérisée par des distances assez importantes entre les stations, l'instauration d'un système de télégestion n'est plus que jamais nécessaire.

En effet, le système informatisé de gestion de la maintenance pourrait être accouplé au système de télégestion qui présente plusieurs atouts notamment :

- La supervision et la commande des installations à partir d'un poste central
- La gestion technique centralisée
- L'automatisation de la production
- La disponibilité dans les meilleurs délais et la fiabilité de l'information.
- La réduction des coûts d'exploitation et de maintenance.

La modernisation de la gestion de la maintenance exige par ailleurs un renforcement des moyens de l'Unité de Maintenance de Touba.

A cet effet, il convient de revoir la composition et l'organisation du service de maintenance de Touba.

Concernant l'organisation, une solution consisterait à diviser la zone d'intervention de l'Unité en trois secteurs composés en moyenne de six stations. Chaque secteur devra être doté de moyens humains, logistiques et matériels lui permettant d'assurer un suivi correct des installations.

D'autres actions devront être également entreprises en vue de corriger les dysfonctionnements observés sur le réseau de la SENELEC.

Il s'agira dans un premier temps d'évaluer l'ampleur des perturbations sur le réseau dont les plus néfastes sont les baisses de tension.

Les autorités administratives régionales et le Ministère de l'Hydraulique devront, sur la base des statistiques réalisées, saisir les responsables de la SENELEC afin de trouver une solution rapide à ce problème.

La compensation de l'énergie réactive par l'installation de condensateurs sur les neuf stations suivies permettra de réaliser des économies de 4,3% sur la facture mensuelle moyenne estimée à 47 100 000 francs cfa.

Pour limiter les pertes de production d'eau, estimées à 30% par des études récentes, il convient de faire participer les populations aux coûts de fonctionnement afin de garantir une utilisation plus rationnelle de l'eau.

Les projets de réalisation de stations en cours devront davantage orienter leur action vers la modernisation et le renforcement du système de maintenance.

ANNEXES

ANNEXE 1

COMPENSATION ENERGIE REACTIVE

Forage	F3	F5	F8	F9	F1	F2	F6	F7	F12
Intensité I (A)	125,00	150,00	218,00	185,00	150,00	108,00	84,00	125,00	148,00
Tension (V)	400,00	390,00	380,00	390,00	380,00	370,00	360,00	370,00	378,00
Fréquence (Hz)	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
cosφ actuel	0,79	0,82	0,76	0,81	0,75	0,80	0,81	0,77	0,77
Puissance active	59,76	61,96	94,66	54,33	57,57	28,96	19,06	59,39	58,97
Puissance réactive	46,63	42,69	80,76	39,39	50,04	21,49	13,63	49,32	49,52
Puissance apparente	75,80	75,24	124,43	67,11	76,28	36,07	23,44	77,20	77,01
Résistance (Ω)	0,08	0,06	0,08	0,06	0,10	0,10	0,07	0,03	0,03
Distance entre conduct	9,64	10,68	9,64	10,68	9,64	9,64	9,64	13,44	13,44
Inductance	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Section (mm2)	25,00	35,00	25,00	35,00	25,00	25,00	25,00	70,00	70,00
Longueur (m)	87,00	80,00	80,00	93,00	100,00	100,00	75,00	80,00	95,00
Pertes joule	1,32	1,25	3,69	2,21	2,18	1,13	0,51	0,43	0,72
Chute de tension (V)	3,70	3,13	6,04	4,42	5,16	4,04	2,45	1,31	1,80
cosφ recherché	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
Capacité batterie	31,66	27,16	57,04	25,78	35,61	14,23	8,85	34,44	34,74
Capacité batterie sur le marché	30,00	30,00	60,00	30,00	40,00	15,00	10,00	35,00	35,00

nouveau cosφ	0,96	0,98	0,98	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97
Puissance active	59,76	61,96	94,66	54,33	57,57	28,96	19,06	59,39	58,97
Puissance réactive	16,63	12,69	20,76	9,39	10,04	6,49	3,63	14,32	14,52
Puissance apparente	62,03	63,25	96,91	55,14	58,44	29,68	19,41	61,09	60,73
Nouvelle intensité	89,53	93,63	147,23	81,62	88,80	46,32	31,12	95,33	92,76
Chute de tension	3,18	2,28	5,13	2,32	3,89	2,07	1,08	1,22	1,38
Pertes par effet joule	0,68	0,49	1,68	0,43	0,77	0,21	0,07	0,25	0,28
Nombre heures fonctionnt	863,00	799,00	774,00	814,00	750,00	745,00	812,00	812,00	886,00

Eco. Ener (Kwh/mois)	25890,00	23970,00	46440,00	24420,00	30000,00	11175,00	8120,00	28420,00	31010,00
Eco. Ener (perte J.)/mois	554,57	608,69	1553,58	1446,77	1064,06	688,40	359,87	147,24	388,09
Coût éner Moy /mois	4832438,00	5981329,00	6781647,00	4238882,00	3802101,00	2116581,00	1523568,00	4487286,00	4816818,00
Pénalité / Gain	241622,00	0,00	339082,00	0,00	190105,00	0,00	0,00	224364,00	240841,00
Gain après compensation	36243,29	134579,90	152587,06	127166,46	114063,03	47623,07	34280,28	67309,29	72252,27
Gain Total mensuel	277865,29	134579,90	491669,06	127166,46	304168,03	47623,07	34280,28	291673,29	313093,27

Coût batteries	225000,00	225000,00	450000,00	225000,00	300000,00	100000,00	75000,00	250000,00	250000,00
-----------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	-----------------	------------------	------------------

Gain Total Moyen / mois	2 022 119
Gain Total Moyen / an	24 265 424

Coût total d'investissement	2 100 000
------------------------------------	------------------

DETERINATION POINT DE FONCTIONNEMENT DES POMPES

Site	F1	F2	F3	F4	F6	F7	F8	F9	F10	F12	F13	F15
Type pompe	Pleuger PN101-5A MI10-42-20	Pleuger QN81-8 M8-820-2	Pleuger PN102-4A 61-42-0	Pleuger PN104-4A MI10-600-2	Pleuger PN101-4 M8-650	Pleuger PN104-3A M8-830-3	Pleuger QN 102-5A MI 10-1070-2	Pleuger PN104-4A MI 10	Pleuger QN101-4 MI 10	Pleuger PN104-4A MI10-600-2	Pleuger QN101-4A MI10-490	Pleuger QN101-5 MI10-740
Intensité(A)	133	108	135	176	84	125	276	185	218	148	130	200
Tension (V)	400	370	400	380	360	370	380	390	414	378	370	380
cos j	0,74	0,8	0,78	0,7	0,81	0,79	0,7	0,81	0,74	0,77	0,8	0,8
Qref (m3/h)	132	84	180	222	90	180	240	200	260	168	156	216
HMTref(m)	100	76	80	80	107	90	138	100	85	124	110	122
Rendement	70	66	60	60	72	78	75	74	77	77,5	64	75
Puissance hydr	51,33	26,33	65,33	80,58	36,41	56,54	120,21	73,57	78,13	73,17	72,99	95,65
Puissance cons (Kw)	68,19	55,37	72,95	81,09	42,43	63,28	127,16	101,22	115,68	74,61	66,65	105,31
Qopt (m3/h)	110	130	140	180	110	180	300	180	260	180	260	260
HMT opt (m)	135	55	132	120	102	90	125	120	85	120	85	108
Rend opt	77	76	78	78	76	78	77	78	77	78	77	77
Puissance	52,50	25,61	64,50	75,38	40,19	56,54	132,58	75,38	78,13	75,38	78,13	99,27
Puissance nom	64,00	48,00	64,00	83,00	47,50	72,00	129,00	83,00	118,00	83,00	90,00	118,00
Débit récept ^r Forage(m3/h)	150	150	150	250	141	210	360	263	340	300	180	257

ANNEXE 2 DOCUMENTS DE GESTION

N°BS :.....

BON DE SORTI

Date :.....

N° OT.....

Emetteur :.....

N°	Désignation	Code	Quantité
.....
.....
.....

Visa magasinier.....

Visa demandeur.....

N° BR.....

BON DE RECEPTION

Date :.....

Fournisseur :.....

N°	Désignation	Code	Quantité
.....
.....
.....

Nom et visa livreur.....

Visa magasinier

Code station :		Nom station :		N°CR	
Date et heure début des TR	RAPPORT D'INTERVENTION			N° OT	
	Désignation Equipement	Famille		Code	
Date et heure Fin des travaux					
Code Intervent°	Désignation de l'intervention		Temps		
			Prévu	Passé	Arrêt station
Pièces ou équipements			Divers		
Désignation	Code	Quantité	Désignation	Code	Quantité
Causes intervention					
Travaux effectués					
Résultats (essais)					
Observations					
Code agent responsable ou prestataire			Nom et Emargement responsable		

FICHE TECHNIQUE

Code station

Nom

Année mise en service

OUVRAGE DE CAPTAGE

TRANSFORMATEUR

Code

Date réalisation:

Entreprise:

Financement:

Profondeur Totale:

 m

Diamètre CP:

 m

Longueur CP:

 m

Diamètre Cexh:

 m

Longueur Cexh:

 m

Diamètre CR

 m

Longueur CR:

 m

Débit réception:

 m³/h

Niveau Statique

 m

Rabattement:

 m

Code

Marque

Type

N° serie

Niveau isolement

Couplage

Tension Primaire

 V

Tension Secondaire

 V

Courant primaire

 A

Courant secondaire

 A

Tension de court circuit

 V

Nature enroulement

Refroidissement

Masse huile

 kg

Masse Totale

 kg

STOCKAGE / CONDUITES ET ACCESSOIRES

STOCKAGE

Conduites et accessoires

Code

Type

Capacité

 m

Hauteur S/R

 m

Adresse

Code

Nature refoulement

Diamètre refoulement

 m

Diamètre vanne

 m

Diamètre clapet

 m

Diamètre ventouse

 m

Diamètre compteur

 m

Calibre compteur

 m³/h

Calibre manomètre

 bar

ELECTROPOMPE

MOTEUR ELECTRIQUE	PARTIE HYDRAULIQUE
Code	Code
Date installation	Date installation
Marque	Marque
Type	Type
N° serie	N° serie
Puissance Nominale	Débit nominal m3/h
Tension	HMT m
Intensité	Rendement
Cosφ	Poids kg
Couplage	Diamètre orifice refoul m
Rendement	Type colonne
Section câble	Diamètre colonne m
longueur câble	Longueur colonne m
Poids total	Longueur totale colonne m

GROUPE ELECTROGENE

MOTEUR THERMIQUE	ALTERNATEUR
Code	Code
Marque	Marque
Type	Type
N° serie	N° serie
Puissance kw	Puissance apparente kva
Vitesse tr/mn	Puissance active kw
Consommation spéc L/kw	Cosφ
Nombre de cylindre	Tension V
Capacité carter huile L	Intensité nominale A
Capacité réservoir L	Vitesse trs/mn
Syst refroidissement	Tension excitation V
Poids kg	Classe
COMMANDE	
Code	Indice de protection
Date installation	Nombre de spires B.Exc
Puissance armoire	Intensité excitation A
Calibre fusible sect	Température ambiante °C
Calibre disj princip	Poids kg
Calibre disj secondaire	
Type relais	
Calibre relais	
type de démarrage	

SUIVI DES PARAMETRES DE MARCHE

Code station.....

Nom station.....

Date	Index Compteur GE	Index Compteur Armoire	Index Compteur volumétrique	Tension	Intensité	Fréquence	Pression refoulement	Pression CE	Débit
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Code station :		Nom station :			N°CR		
Date et heure début des TR	RAPPORT D'INTERVENTION				N° OT		
					Désignation Equipement		Famille
Date et heure							
Fin des travaux							
Code Intervent°	Désignation de l'intervention			Temps			
				Prévu	Passé	Arrêt station	
Pièces ou équipements				Divers			
Désignation		Code	Quantité	Désignation		Code	Quantité
Causes intervention							
Travaux effectués							
Résultats (essais)							
Observations							
Code agent responsable ou prestataire				Nom et Emargement responsable			

ANNEXE 3 : INDICATEURS DE PERFORMANCE

Indicateurs de performance

L'importance de la quantification de la maintenance doit amener le gestionnaire de la maintenance à choisir et utiliser des indicateurs significatifs et caractéristiques qui s'appuient sur des données explicites reconnues par tous (référence à une terminologie normalisée) et saisis sur des bases identiques.

Leur utilisation doit permettre de fixer des objectifs tant au niveau économique que technique, de suivre les résultats pour apprécier les écarts et les analyser. Ils constituent des outils indispensables pour une gestion efficace de l'outil de production et de la fonction maintenance : amélioration de la productivité, tenue et justification des objectifs, mise en évidence des points faibles, aide à la décision lors de l'achat ou de renouvellement d'un équipement, et choix de la politique de maintenance

Compte tenu du modèle de gestion appliqué présentement à Touba, nous nous limiterons pour le moment aux indicateurs suivants :

1) Moyen Temps de Bon Fonctionnement : M.T.B.F (Mean time between failure)

Cet indicateur est souvent utilisé en entreprise car il caractérise le temps moyen de bon fonctionnement d'une entité entre 2 pannes. On mesure donc ici une durée de fonctionnement.

$$MTBF = \frac{TCBF}{Nc}$$

TCBF : Temps cumulé de bon fonctionnement

Nc : Nombre d'interventions avec immobilisation

2) Moyen des temps d'immobilisation pour intervention de maintenance M.T.T.R

Cet indicateur est également souvent utilisé en entreprise et est complémentaire du MTBF. Il caractérise le temps moyen pour réparer une entité. On mesure donc ici une durée de fonctionnement et par conséquent la réactivité du service maintenance.

$$M.T.T.R = \frac{TCI}{Nc}$$

TCI : Temps cumulé de bon fonctionnement

Nc : Nombre d'interventions avec immobilisation

Classe ou nature de panne	Désignation par famille de pannes
A	Groupe Electrogène (moteur, Alternateur...)
B	Electropompe (moteur, partie hydraulique...)
C	Commande et protection (composant armoire, appareil protection, câble d'alimentation)
D	Transformateur
E	Plomberie (conduites et accessoires)

Selon les termes définis ci-dessus, le système d'information permettra de ressortir les tableaux suivants :

- Tableau présentant les heures d'arrêt par nature de panne.

Nature de panne	Temps immobilisation	Rang	% par rapport à l'ensemble	Nature de panne par ordre croissant	Heures immobilisation cumulées	% cumulés par rapport à l'ensemble

- Tableau présentant les heures d'arrêt par cause de panne

Cause de panne	Temps immobilisation	Rang	% par rapport à l'ensemble	Cause de panne par ordre croissant	Heures immobilisation cumulées	% cumulés par rapport à l'ensemble

COUTS DES INTERVENTIONS

Les coûts des interventions pourront être évalués suivant plusieurs critères :

- Suivant l'intervenant : ce critère repose sur la détermination du coût des prestataires externes ou des acteurs internes.

- Suivant le type de maintenance : ce critère évalue les coûts de maintenance préventive ou curative par station.

BILAN D'ENERGIE

L'établissement d'un bilan d'énergie permettra de réfléchir aux actions à entreprendre.

Il consiste essentiellement à mesurer pour chaque station de pompage un certain nombre de valeurs permettant d'établir des ratios, soit les mesures suivantes :

- Volume pompé
- Energie consommée
- Temps de fonctionnement
- Hauteur manométrique

pour calculer les ratios principaux :

$$R1 = \frac{\text{Energie}}{\text{Volume}}$$

$$R2 = \frac{\text{Debit}}{\text{Puissance}} = \frac{\eta}{Hmt}$$

L'examen minutieux de ce bilan permettra de déceler les points sur lesquels de gains importants peuvent être faits, que ce soit une amélioration du rendement ou le choix d'une pompe qui répond le mieux aux conditions d'exploitations.

ANNEXE 4 : SYSTEME DE CODIFICATION

SYSTEME DE CODIFICATION





Station de pompage						
	Site					
	Famille d'équipements					
	Unité fonctionnelle					
	Ensemble					
	Organe					
Codification					Désignation	
F1	00	00	00	00	00	Forage n°1 : Baye Lahad (Darou Khoudoss)
F1	CAP					Captage
F1	EPI					Groupe électropompe Electropompe Immergée
F1	EPI	PP				Electropompe
F1	EPI	PP	01			Partie hydraulique
F1	EPI	PP	01	010		Roue
F1	EPI	PP	01	020		Diffuseur
F1	EPI	PP	01	030		arbre
F1	EPI	PP	01	040		Joints
F1	EPI	PP	01	050		Boulonnerie
F1	EPI	PP	01	060		Clapet
F1	EPI	PP	01	070		Orifice refoulement
F1	EPI	PP	02			Moteur électrique
F1	EPI	PP	02	01		Rotor
F1	EPI	PP	02	02		Stator
F1	EPI	PP	02	03		Butée
F1	EPI	PP	02	04		Bague
F1	EPI	PP	02	05		Joints
F1	EPI	PP	02	06		Boulonnerie
F1	EPI	PP	02	07		Câble d'alimentation
F1	EPI	PP	03			Commande
F1	EPI	PP	03	01		Sectionneur
F1	EPI	PP	03	02		Disjoncteur
F1	EPI	PP	03	03		Contacteur
F1	EPI	PP	03	04		Relais
F1	EPI	PP	03	05		Voyant
F1	EPI	PP	03	06		Contact et interrupteurs
F1	EPI	PP	03	07		Appareils de lecture

Station de pompage						
	Site					
		Famille d'équipements				
			Unité fonctionnelle			
				Ensemble		
					Organe	
Codification					Désignation	
F2	00	00	00	00	Forage n°2 : Guédé	
F2	GE				Groupe Electrogène	
F2	GE	MT			Moteur Thermique	
F2	GE	MT	01		Circuit combustible	
F2	GE	MT	01	010	pompe injection et accessoires	
F2	GE	MT	01	020	Tuyau injection et accessoires de raccords et fixations	
F2	GE	MT	01	030	Cartouche (filtres)	
F2	GE	MT	01	040	Injecteurs et accessoires	
F2	GE	MT	01	050	Pompe alimentation	
F2	GE	MT	01	060	Réservoirs	
F2	GE	MT	02		Circuit refroidissement	
F2	GE	MT	02	010	Ventilateur et accessoires entraînement et fixation	
F2	GE	MT	02	020	Pompe à eau	
F2	GE	MT	02	030	Radiateur	
F2	GE	MT	02	040	Durites et tuyau	
F2	GE	MT	03		Circuit de graissage	
F2	GE	MT	03	01	Pompe à huile	
F2	GE	MT	03	02	Cartouche (filtres)	
F2	GE	MT	03	03	Refroidisseur d'huile	
F2	GE	MT	03	04	tuyaux et accessoires	
F2	GE	MT	04		Bloc moteur	
F2	GE	MT	03	01	Bloc	
F2	GE	MT	03	02	Piston et accessoires	
F2	GE	MT	03	08	Cylindre	
F2	GE	MT	03	09	Segments	
F2	GE	MT	03	05	Bielle et accessoires	
F2	GE	MT	03	06	vilebrequin et accessoires	
F2	GE	MT	03	07	Coussinets	
F2	GE	MT	03	08	Bagues	
F2	GE	MT	03	09	Joint	
F2	GE	MT	03	10	Boulonnerie	
F2	GE	MT	03	11	Culasse	
F2	GE	MT	03	12	Flasque	
F2	GE	MT	03	13	Roulement	
F2	GE	MT	03	14	Appareils (témoins, mano contact ...)	
F2	GE	MT	04		Chassis, carrosserie et fixations	

Station de pompage						
	Site					
		Famille d'équipements				
			Unité fonctionnelle			
			Ensemble			Organe
Codification					Désignation	
F2	00	00	00	00	00	Forage n°2 : Guédé
F2	GE					Groupe Electrogène
F2	GE	ALT				Alternateur
F2	GE	ALT	01			Stator et accessoires
F2	GE	ALT	02			Rotor et accessoires
F2	GE	ALT	03			Système de régulation
F2	GE	ALT	04			Commande et protection
F2	GE	ALT	04	01		Disjoncteur
F2	GE	ALT	04	02		fusible
F2	GE	ALT	04	03		Fil et câble
F2	GE	ALT	04	04		contact
F2	GE	ALT	04	05		bouton poussoirs
F2	GE	ALT	04	06		Voyant et témoins et cardan de lecture
F2	GE	ALT	05			Système de refroidissement
F2	GE	ALT	06			Chassis et fixation
F2	GE	ALT	06	01		Chassis
F2	GE	ALT	06	02		Boulonnerie
F2	GE	ALT	06	03		patte sil-en-bloc
F2	STO	RS				Réservoir au sol
F2	STO	CE				Château d'eau
F2	TU					Conduite (Tuyauterie)
F2	TU	CON				Conduite
F2	TU	PS				Pièces spéciales
F2	TU	PS	01			Vannes
F2	TU	PS	02			Clapets
F2	TU	PS	03			Ventouse
F2	TU	PS	04			Coude
F2	TU	PS	05			Té
F2	TU	PS	06			Réduction
F2	TU	PS	07			Brides
F2	TU	PS	08			Boulonnerie
F2	TU	PS	09			Appareillage de mesure
F2	TU	PS	09	01		Compteur
F2	TU	PS	09	02		Manomètres
F2	GE	PS	09	03		Manocontact

ANNEXE 5 : PLANNINGS DE MAINTENANCE

PLAN DE MAINTENANCE ELECTROPOMPE ET ARMOIRE DE COMMANDE

N°	Périodicité	Intervenant	Description des travaux
 	<p>Entretien préventif de niveau 1</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tous les jours 	Opérateur	<ul style="list-style-type: none"> -Nettoyage -contrôle des connexions et conducteurs -contrôle des témoins de marche -Relevé des différents index et valeur affichés en fonctionnement (intensité, tension, débit et pression)
	<ul style="list-style-type: none"> • Toutes les semaines 	Technicien	<ul style="list-style-type: none"> -Inspection de l'armoire -contrôle des connexions et témoins -mesure des paramètres de marche à saisir -contrôle des appareils de mesure -Formation de l'opérateur -mentionner tout dysfonctionnement (bruit, échauffement....)
 	<p>Entretien préventif de Niveau 2</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tous les 6 mois (2 fois / an) 	Responsable Technique Technicien	<ul style="list-style-type: none"> -Entretien armoire de commande (soufflage, nettoyage) -contrôle connexion, resserrage et vérification câblage) -Contrôle isolement moteur -contrôle résistance enroulement -Faire les tests de performance - Niveau statique - Niveau dynamique - Paramètres électriques en marche - Paramètres hydrauliques (débit, pression)
	<ul style="list-style-type: none"> • Tous les 2 ans 	Equipes spécialisée de l'hydraulique Ou faire appel à une structure privée	<ul style="list-style-type: none"> - Sortir l'électropompe - Désaccoupler pompe et moteur - Contrôle usure des roulements et butée du moteur - Contrôle usure des pièces du corps de pompe (roues, bagues, coussinets....) - Contrôle isolement moteur - Contrôle isolement et état

			<p>câble et refaire les jonctions si nécessaire</p> <ul style="list-style-type: none">- Remplacer les colonnes usées et refaire peinture de l'ensemble- Remplacer les joints des brides et les boulons de fixation- Faire les tests de performance après remontage .
--	--	--	--

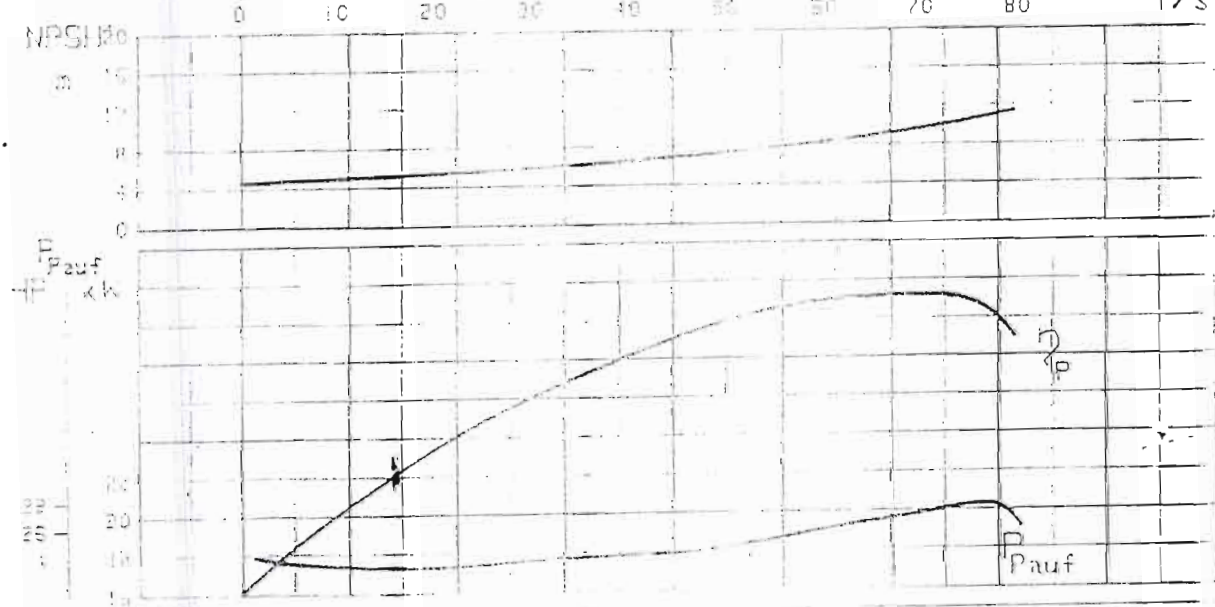
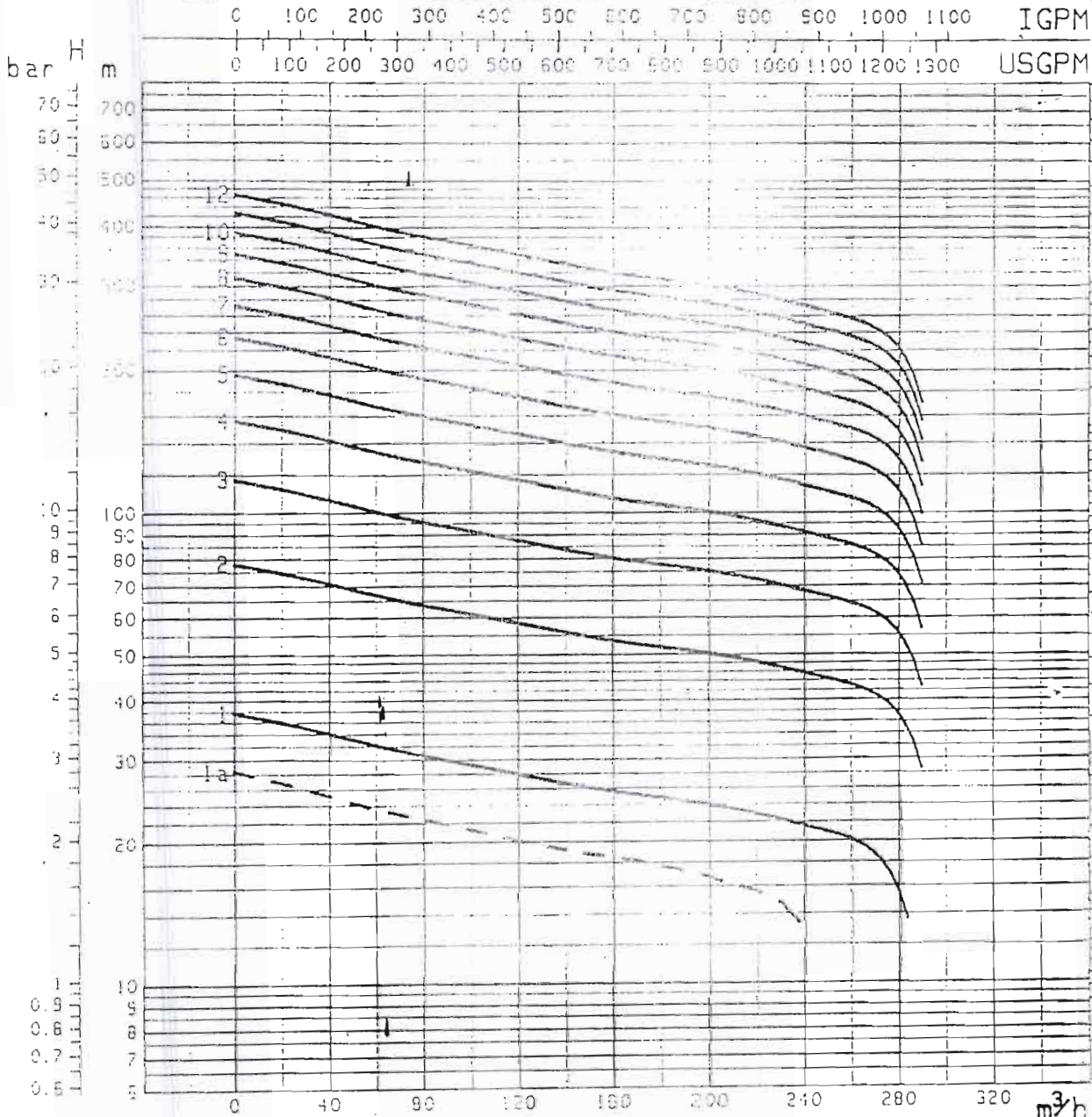
Planning d'entretien des Moteurs Perkins

Périodicité	Opérations	Intervenant
Tous les jours	<ul style="list-style-type: none"> Inspection visuelle des différentes parties : conducteurs, courroies, fuite éventuelles... Vérifier le niveau de l'eau de refroidissement du radiateur. Vérifier le niveau d'huile moteur dans le carter. Vérifier l'indicateur de colmatage du filtre à air sec. Vider l'eau du décanteur du pré filtre. 	Opérateur Opérateur Opérateur Opérateur Opérateur
Toutes les 250 h ou (tous les 12 mois)	<ul style="list-style-type: none"> Vérifier le niveau de l'électrolyte dans la batterie Vider le décanteur d'eau du réservoir 	Opérateur Opérateur
Toutes les 500h Ou 12 mois	<ul style="list-style-type: none"> Vérification et tests des différents appareils de contrôle et de protection du groupe électrogène Changer l'élément du filtre de premier niveau Changer l'élément du filtre de deuxième niveau Changer l'huile moteur (vidange) Changer l'élément du filtre à huile Contrôler l'alternateur de charge Vérifier, tendre et remplacer si nécessaire les courroies des alternateurs . 	Technicien
Toutes les 5000h Ou 24 mois	<ul style="list-style-type: none"> Vérifier la tension de charge de la batterie (réparer si nécessaire ou remplacer alternateur de charge) Vérifier si toutes les masses du moteur sont bien connectées Contrôler la pompe à eau 	

PLAN DE MAINTENANCE DES EQUIPEMENTS DE STOCKAGE

Tâches	Jan	Fév	Mar	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	oct	nov	déc
Contrôle des -Manomètres -Compteurs volumétriques	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
Entretien des compteurs - Vannes - Clapets - ventouse			◆			◆			◆			◆
inspection, nettoyage et Curage des regards et trop Plein CE			◆			◆			◆			◆
Peinture des parois métalliques (Tuyau, et accessoires réseau)												□
-Nettoyage et chloration Cuve de château d'eau Ou de réservoir au sol -Inspection cuve						□						□

ANNEXE 6 : DOCUMENTATION POMPE PLEUGER

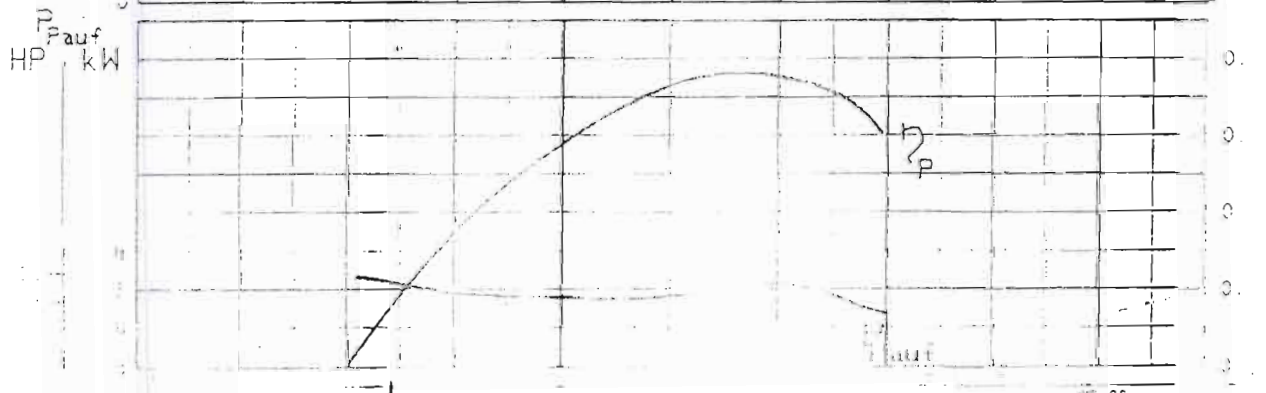
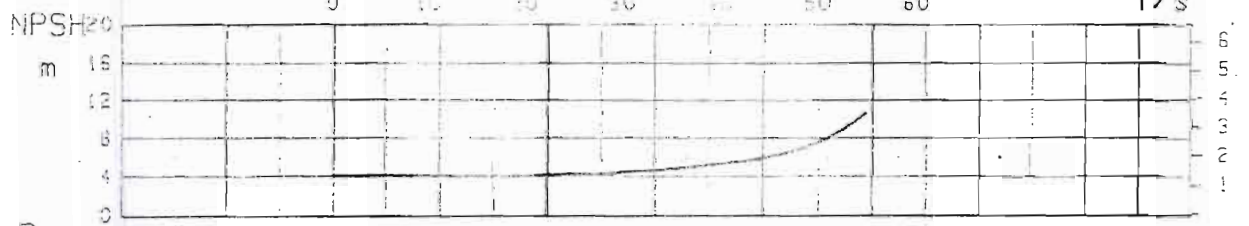
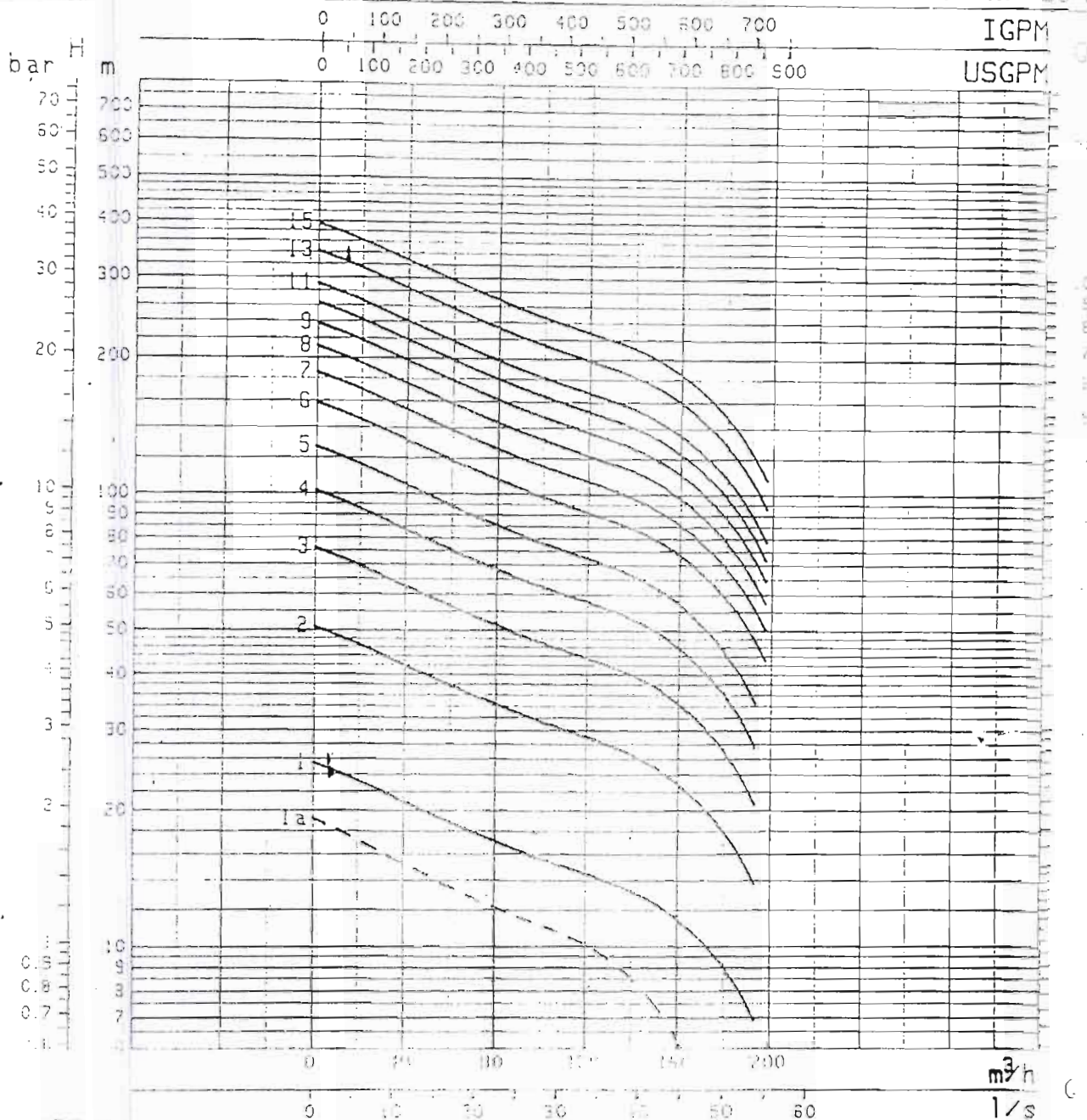


Ingersoll-Dresser
Pumps

Unterwasserpumpe 3~Drehstrom
Submersible Pump 3-Phase AC

QN83

2900 1/min 50 Hz

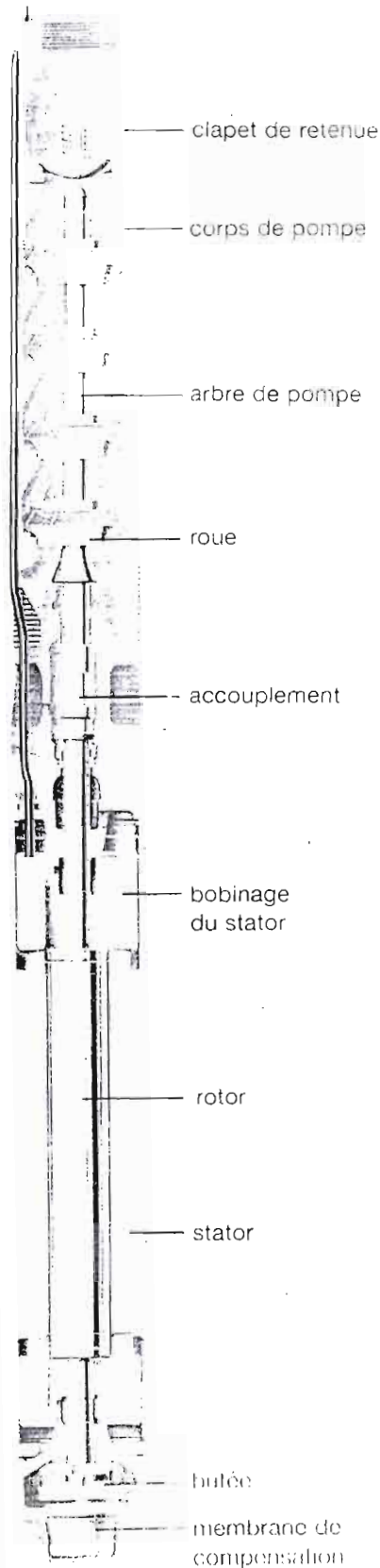


Fabrication

Construire des pompes et moteurs de qualité nécessite non seulement un savoir-faire, mais aussi les techniques les plus modernes de fabrication : de la conception assistée par ordinateur (CAD) à la réalisation sur machines-outils automatiques sous contrôle CNC. Depuis de nombreuses années, cette technologie a fait de PLEUGER un symbole de qualité.

Matériaux

Grâce à son expérience, PLEUGER maîtrise des matériaux différents tels que le Bronze Aluminium Nickel, la fibre de verre renforcée, l'inox, le bronze ou la fonte grise et les associe pour mieux les adapter à la qualité des eaux à pomper.



Construction

Les hydrauliques PLEUGER, multicellulaires, permettent l'adaptation des caractéristiques à toute évolution ultérieure des conditions de pompages. Grâce aux connaissances les plus récentes en hydraulique, les roues et diffuseurs sont exécutés avec des matériaux résistant à l'abrasion et à la corrosion.

Les ensembles mobiles sont équilibrés dynamiquement et toute la visserie exécutée en acier inoxydable.

En série, les groupes électropompes immergés PLEUGER sont munis d'un clapet de retenue spécialement étudié garantissant une réussite optimale tout en conservant un excellent rendement hydraulique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : Rapport socio-économique SETICO 2005
- [2] : Rapport unité de Maintenance de Touba
- [3] : GUIDE DE LA MAINTENANCE Auteur :Daniel BOITEL et Claude HAZARD, Edition NATHAN, Juin 1991 FRANCE
- [4] : Les Stations de Pompage d'eau , Auteur :Association générale des Hygiénistes et techniciens municipaux présidée par Pierre SCHULHOF, Edition Lavoisier-TEC&DOC, 1991 FRANCE
- [5] : Les Pompes et leurs applications, Auteur :Daniel THIN, Edition EYROLLES, 1964 FRANCE
- [6] : Catalogue constructeur Pleuger
- [7] : Site :[www .Schneider-Electric.com](http://www.Schneider-Electric.com)
- [8] : Support de cours électricité ESP
- [9] : Documentation SENELEC
- [10] : Transport et Distribution d'Energie Electrique Auteur Xuan Dai DO Ecole Polytechnique de Montréal Septembre 1983
- [11] : Support de cours machines hydrauliques ESP Thiès
- [12] : Systèmes de Gestion de bases de données par l'exemple Auteur Robert GODIN 2 édition 2006
- [13] : Logiciel Agro-UML site de téléchargement argouml.tigris.com