

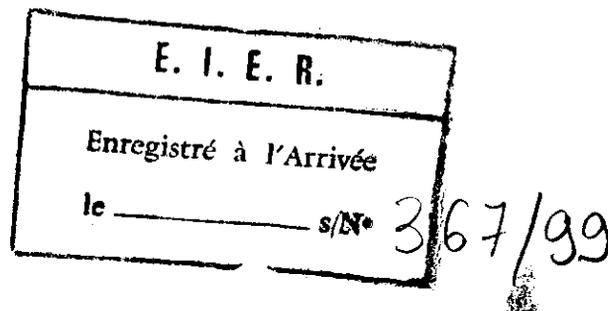
MEMOIRE DE FIN D'ETUDES 1999

Présenté par :

BARRY Amadou

Amélioration du fonctionnement des postes d'injection d'eau du réseau de distribution d'eau à Ouagadougou

MENTION :



Encadrement
D. ZOUNGRANA

*A ma défunte grand mère Adja Ami Cissé.
Je ne l'oublierai jamais dans ma vie. Que la terre lui soit
légère et que le bon Dieu l'accueille dans son paradis.*

Remerciements

Je tiens à remercier particulièrement et du fond du cœur:

- Monsieur ZOUNGRANA Denis , professeur d'AEP à l'EIER pour son encadrement et les conseils qu'il m'a apportés tout au long de cette étude.
- Monsieur Antoine PARE, chef de service de la Direction Départementale de Ouagadougou (ONEA) pour la sympathie et la disponibilité qu'il a manifestées à mon égard tout au long de cette étude.
- A tous les agents du service de la DDO qui assurent le suivi journalier des PIE
- A tous ceux qui de près ou de loin m'ont apporté leur aide pour la réalisation de ce travail
- A tous mes collègues de la 28^{ème} promotion pour l'affection et la compréhension mutuelles que nous avons entretenues trois années durant.

RESUME

A l'instar des grandes villes africaines, Ouagadougou connaît une forte expansion démographique due essentiellement à l'exode rural. L'extension géographique de la ville s'est faite avec un rythme rapide à tel point que le Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme prévu pour les années 2000 est largement dépassé. Tous ces phénomènes qui se développent à la périphérie de la ville ont entraîné un accroissement rapide de la demande en eau. Pour répondre aux besoins sans cesse croissants dans les quartiers périphériques, l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA) a mis en œuvre un programme de renforcement de l'alimentation en eau potable à partir des eaux souterraines au moyen de postes d'injection d'eau (PIE). C'est une solution originale qui consiste à injecter directement dans le réseau les eaux des forages. Son impact sur le plan social est considérable. Il a permis d'améliorer les conditions d'alimentation en eau des populations des localités concernées. Compte tenu de son mode de fonctionnement : injection d'eau dans le réseau en charge; l'exploitation des PIE reste grandement dépendante de la pression dans le réseau. Cette présente étude qui porte sur cinq d'entre eux vise à améliorer leur fonctionnement tout en assurant la pérennité de leur exploitation.

Pour chaque ouvrage, la méthodologie adoptée est :

- ⊗ suivi des variations de pression sur plusieurs jours
- ⊗ suivi de l'évolution des niveaux d'eau au cours du pompage
- ⊗ analyse des statistiques de production durant les années d'exploitation

Les résultats de ces différentes opérations ont permis de :

- * définir les HMT des groupes de pompage qui optimisent les volumes exploités tant sur le plan économique que hydrogéologique.
- * proposer des volumes exploitables qui tiennent compte de la recharge de la nappe
- * définir les plages horaires pour lesquels l'exploitation des ouvrages est optimum
- * élaborer les consignes d'exploitation.

Comme les caractéristiques des ouvrages évoluent dans le temps nous avons recommandé un suivi régulier des niveaux d'eau et des équipements.

Mots clés : Ouagadougou, quartiers périphériques, AEP, ONEA, PIE.

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1** : Pluviométrie annuelle
- Tableau 1'**: Répartition mensuelle de la pluviométrie
- Tableau 2** : Evapotranspiration
- Tableau 3** : Evolution de la population
- Tableau 4** : Extension géographique
- Tableau 5** : Bilan ressources - besoins
- Tableau 6** : Indicateurs de recharge
- Tableau 7** : Comparaison des rabattements
- Tableau 8** : Variation de pressions
- Tableau 9** : Comparaison prévision \neq réalisation
- Tableau 10** : Profondeur des électrodes de protection
- Tableau 11**: Pressions maximales admises
- Tableau 12**: Consignes d'exploitation

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1** : Termes de Référence
- Annexe 2** : Caractéristiques des PIE
- Annexe 3** : Débits d'exploitation enregistrés en 1998
- Annexe 4** : Enregistrement du manographe
- Annexe 5** : Résultats du suivi de pompages

SOMMAIRE

DEDICACE

REMERCIEMENTS

RESUME

I- INTRODUCTION.....	3
1) Problématique de l'étude	3
2) Méthodologie.....	4
2-1) Choix du site.....	4
2-2) Recherche de données sur les PIE choisis	4
2-3) Protocole expérimental et matériel	5
II- GENERALITES DE L'ETUDE	6
1) Climat.....	6
1-1) Pluviométrie	6
1-2) Evapotranspiration.....	7
2) Population	8
3) Extension géographique	8
III APPROVISIONNEMENT EN EAU.....	9
1) Ressources en eau	9
1-1) Eaux de surface.....	9
1-2) Eaux souterraines.....	9
1-3) Bilan Ressources-Besoins en eau.....	10
2) Situation hydrogéologique.....	11
3) Postes d'eau autonomes (PEA)	12
3-1) Historique.....	12
3-2) Conception d'un poste d'eau autonome	12
4) Postes d'injection d'eau (PIE).....	12
4-1) Historique.....	13
4-2) Conception d'un Poste d'Injection d'Eau	13
5) Description des installations	14
iv) ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DES PIE	17
1) Forage QP37	17
1-1) Résultats des opérations de suivi	19
2) Forage QP6.....	20
2-1) Résultats de suivi.....	22
3) Forage FT18.....	23
3-1) Résultats de suivi.....	25
4) Forage ft32.....	25
4-1) Résultats de suivi.....	27
5) Forage QP1	28

5-1) Résultats de suivi.....	29
V) COMMENTAIRE SUR LE REGIME DE FONCTIONNEMENT	30
VI) CALCULS HYDRAULIQUES	31
1)Rappel	31
2) Calcul	32
2-1) Forage Qp37	33
2-2) Forage FT18.....	35
2-3) Forage QP6.....	38
2-4) Forage Ft 32	40
2-5) forage QP1	42
VII) CONSIGNES D'EXPLOITATION	44
1) Objectif.....	44
2) Volumes exploitables et Débits d'exploitation.....	44
3) Durée journalière de pompage	45
4) niveaux dynamiques maximums	46
5) Calage du pressostat.....	46
VII) CONCLUSION.....	47
IX) RECOMMANDATIONS	48

I- INTRODUCTION

1) PROBLEMATIQUE DE L'ETUDE

L'Alimentation en Eau Potable des villes africaines pose périodiquement des problèmes. Ces problèmes sont dus essentiellement à l'augmentation des besoins, consécutive à la croissance galopante de la population. Ils se manifestent par un dépassement de la demande par rapport aux ressources disponibles. Pour résoudre ces difficultés, au BURKINA FASO (pays sahélien), les autorités ont souvent recours aux ressources en eau de surface qui sont rares.

Ouagadougou, capitale du pays, est à l'image de ces grandes villes africaines. Depuis l'indépendance, l'alimentation en eau potable de Ouagadougou est faite à partir des retenues d'eau de surface. Son climat de type soudano-sahélien est peu propice à une utilisation efficiente de ces ressources, plus de 2/3 des quantités stockées s'évaporent. Les volumes fournis par les retenues en année de pluviométrie moyenne sont insuffisants pour satisfaire la demande sans cesse croissante.

Compte tenu de l'insuffisance et de la précarité de ces ressources, fortement tributaires des aléas climatiques, l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA) a mis en place depuis une dizaine d'années un programme dont le but est de renforcer l'alimentation en eau des quartiers de la périphérie de Ouagadougou (non ou mal desservis par le réseau urbain) à partir des eaux souterraines.

C'est dans ce cadre que des Postes d'Injection d'Eau (PIE) ont été mis en service. Ce sont des forages qui refoulent l'eau exhaurée dans le réseau. Le régime de fonctionnement (débit, volume exploité) de ces PIE est fortement dépendant de la pression du réseau. En effet l'apport d'eau ne peut se faire que si la pression d'injection est supérieure à celle du réseau. Afin d'améliorer le fonctionnement des PIE nous avons mené cette présente étude sur cinq d'entre eux qui conduira aux actions suivantes :

- modifier les points de raccordement au réseau si nécessaire
- proposer la HMT de pompage pour minimiser les coûts d'exploitation tout en assurant l'exhaure du volume optimal

- proposer des plages horaires qui optimisent les volumes exhaurés
- évaluer les coûts d'investissement complémentaires
- élaborer succinctement les grandes lignes des consignes d'exploitation afin d'assurer la pérennité de la ressource.

2) MÉTHODOLOGIE

Conformément aux Termes de Référence (cf **annexe1**), l'étude est menée sur cinq (5) PIE représentatifs des zones de distribution chroniquement déficitaires. Pour une approche rationnelle du sujet, nous avons adopté la démarche suivante :

2-1) CHOIX DU SITE

Le choix du site s'est fait après une longue phase d'inspection et de visites de PIE dans différents secteurs périphériques de la ville. Le déficit est observé un peu partout dans les secteurs visités. Notre choix s'est porté sur des PIE des secteurs 27 et 28 pour une raison de facilité d'accès au site à partir de l'EIER au moyen d'un taxi. Les caractéristiques des PIE choisis sont consignés en **annexe 2**.

2-2) RECHERCHE DE DONNÉES SUR LES PIE CHOISIS

La recherche de données a été effectuée auprès de la Direction Départementale de Ouagadougou (DDO) qui a à sa charge la gestion et le suivi des PIE. Elle nous a conduit tour à tour à la station de Paspanga où sont basés les agents chargés des opérations de suivi quotidien et à la direction d'exploitation abritant la DDO. Les données recueillies sont essentiellement :

- les débits d'exploitation
- les statistiques de production
- les caractéristiques hydrogéologiques

2-3) PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL ET MATÉRIEL

Les différentes phases de cette étude passent par :

- un suivi des variations de pressions
- un suivi du comportement hydrogéologique de la nappe

2-3-1) SUIVI DES VARIATIONS DE PRESSIONS

Vue la grande influence de la pression sur l'exploitation du PIE, il est important de suivre son évolution dans le temps. Le suivi nous permettra d'avoir une idée sur le fonctionnement en n'importe quel moment de la journée et de choisir les périodes optimales pour l'exploitation. Les variations de pressions sont suivies à l'aide d'un manographe. C'est un manomètre enregistreur de l'heure, de la durée et la valeur de la pression. Il est constitué de :

- une conduite en plastique de diamètre 10 mm reliée à une tige métallique qui a à son bout un stylo à encre
- un tambour : cylindre sur lequel est enroulé un papier gradué qui sera bordé au stylo. La graduation est faite au pas de temps de deux (2) heures sur les sept (7) jours de la semaine en abscisse et en mètre de colonne d'eau (mCE) en ordonnée
- une horloge assujettie au tambour assure sa rotation en fonction du temps.

Pour suivre les variations de pressions en un point du réseau, il suffit de brancher la conduite du manographe en ce point. La pression dans la conduite, alimentée par le réseau, induit des impulsions à la tige métallique qui grâce au stylo se trouvant à son bout laisse des traces sur le papier avec lequel il est en contact. L'amplitude des impulsions est proportionnelle aux pressions qui les génèrent.

Lors de cette phase de suivi, nous avons placé l'appareil dans le bâti qui abrite les équipements du PIE, la conduite étant branchée au robinet se trouvant à l'intérieur.

2-3-2) SUIVI HYDROGÉOLOGIQUE DE LA NAPPE

L'opération de suivi a consisté à soumettre à la nappe un pompage intensif afin d'appréhender le comportement et les caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère à partir de la mesure du rabattement résiduel. Le cycle complet d'exploitation est défini en deux phases :

- phase de descente : pompage continu de 8h à 18h
- phase de remontée : après arrêt du pompage récupération de 18h à 8h.

Des mesures sont effectuées toutes les trente minutes de 8h à 18h :

- le niveau dynamique de l'eau dans le forage à l'aide de la sonde électrique
- la pression sur le manomètre ou pressostat installés sur la conduite de refoulement
- le volume d'eau cumulé au compteur volumétrique

Le débit de pompage est calculé par différence de lectures sur le compteur volumétrique pour chaque intervalle de trente (30) minutes.

Comme le pompage est conduit de façon continue, nous appliquons les méthodes d'interprétation classiques (Theis, Jacob) pour estimer grossièrement la transmissivité de la nappe avec le rabattement résiduel mesuré à la fin du cycle d'exploitation.

II- GENERALITES DE L'ETUDE

1) CLIMAT

Ouagadougou est située dans la zone soudano-sahélienne qui occupe la majeure partie de la superficie du pays. Cette zone est caractérisée par une saison des pluies qui s'étale de Juin à Octobre et une saison sèche de Novembre à Mai. Plus de 70 % des précipitations sont concentrées sur les mois de Juillet, Août et Septembre. Les précipitations sont variables et connaissent une très grande irrégularité.

1-1) PLUVIOMETRIE

La pluviométrie moyenne calculée sur ces onze dernières années à la station de Ouaga Aéroport est de 720mm. Les valeurs extrêmes enregistrées durant cette période sont 900 et 587.8 mm. On note une forte variation inter-annuelles et une diminution constante de

la pluviométrie . En effet depuis le début des années 70, le déficit pluviométrique s'accroît de plus en plus.

Année	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Pluviométrie mm	735	797,8	675,9	900,4	698,7	750,6	728	700	677	587,8	668,3

tableau 1 : pluviométrie annuelle

Sur les trois dernières années, les pluies mensuelles sont réparties de la façon suivante.

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
1996		22,6	45,8	40,1	129,1	178,7	223,3	22,9
1997	49,2	58	51,6	66,4	111,3	155,2	48	48,1
1998		15	65,9	26,7	105,2	208	195,3	52,2

tableau 1' : répartition mensuelle de la pluviométrie

1-2) EVAPOTRANSPIRATION

L'évapotranspiration est fonction de la température ambiante, de l'hygrométrie et de la vitesse des vents. Pendant la saison pluvieuse, la hauteur d'eau évaporée baisse en raison de l'humidité relative de l'air qui peut aller au delà de 80 %. En saison sèche, l'évapotranspiration est maximale en raison des faibles valeurs de l'humidité (10 à 20%).

Les mesures de la hauteur mensuelle de l'évaporation Piche relevées à Ouagadougou Aéroport montrent qu'une lame d'eau de 1900 mm en moyenne s'évapore en un an.

	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre	Total
1990				186	209	167	149	131	141	229			
1991				174	130	113	107	102	138	162			
1992				172	161	122	103	96	122	169			
1993	169	167	171	160	161	114	105	110	131	169	160	183	1800
1994	184	180	185	172	165	116	108	98	126	153	166	196	1849
1995	187	177	215	183	164	131	106	106	135	172	178	190	1944
1996	191	192	202	168	166	130	122	117	129	177	181	176	1951

tableau 2 : évapotranspiration

2) POPULATION

A l'instar des grandes villes africaines, Ouagadougou connaît une forte expansion démographique due essentiellement à l'exode rural. La population concernée par ce phénomène représente une part considérable des habitants de la ville. Les nouveaux arrivants s'installent principalement dans les quartiers périphériques. Le tableau 3 montre l'évolution spectaculaire de la population de Ouagadougou :

Année	1961	1975	1985	1996
Population(hbt)	59126	172661	441514	783501

Tableau 3 : évolution de la population

3) EXTENSION GEOGRAPHIQUE

L'évolution spatiale de Ouagadougou est remarquable : en 1960, la ville comptait 2000 hectares, en 1984 la zone d'action du Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (SDAU) concernait 10565 hectares. A partir de 1985 le scénario d'extension de la ville proposé par le SDAU, sur la base de densité brute moyenne en zones constructibles de 65 hbt/ha est répertorié dans le tableau 4 suivant.

Année	1961	1975	1980	1985	1990	1996	1998	2000	2005	2010
surface occupée (ha)	2000	6000	12500	15500	18000	21000	22500	25000	30000	40500

Tableau 4 : extension géographique de Ouagadougou

On constate aujourd'hui que ce scénario est dépassé et le rythme d'extension est plus rapide que ce qui était prévu. Actuellement les limites de la ville dépassent le cadre du périmètre urbain prévu pour l'an 2000. Il est probable que les habitants supplémentaires attendus d'ici l'an 2005 débordent largement du cadre fixé.

III APPROVISIONNEMENT EN EAU

1) RESSOURCES EN EAU

1-1) EAUX DE SURFACE

Elles représentent la grande partie des eaux mobilisées pour l'approvisionnement des populations. Elles sont stockées dans des retenues. La ville de Ouagadougou est approvisionnée à partir de quatre barrages :

☼ le barrage de Loumbila : situé à 15 km de Ouagadougou, cette retenue de 2800 m de longueur sur le Massali, stocke les eaux de ruissellement d'un bassin versant de 2100 km². La capacité du réservoir à la cote du déversoir est 35.2 millions de m³ pour une surface de plan d'eau de 16.9 km². Les volumes utilisables pour alimenter Ouagadougou sont : 9.3 millions de m³ en année moyenne et 1.8 million de m³ en année sèche.

☼ les barrages de Ouagadougou : l'ONEA dispose également de 3 barrages en cascade situés au nord de la ville. Ces ouvrages qui interceptent un bassin versant de 350 km² offrent une capacité de stockage de 6.11 millions de m³ et un volume utile de 1.49 million de m³ en année sèche et 2.26 millions m³ en année moyenne.

La construction du barrage de Ziga dont la capacité suffirait à couvrir les besoins en eau de Ouagadougou jusqu'à 2010 est en cours.

1-2) EAUX SOUTERRAINES

Les eaux souterraines contribuent pour une part en nette croissance en volume à l'alimentation de la ville de Ouagadougou au moyen de puits et forages. Les captages sont concentrés dans les quartiers périphériques. Les conditions climatiques et géographiques liées à la continentalité entretiennent en permanence une baisse des ressources en eau avec une sérieuse menace de pénurie.

L'expansion géographique spectaculaire et la démographie galopante ont entraîné un déséquilibre entre les ressources en eau disponibles et les besoins sans cesse croissants de la population. Cependant ce déséquilibre est plus manifeste au niveau des quartiers périphériques qui reçoivent la majeure partie des populations drainées par l'exode rural.

Compte tenu de l'insuffisance et de la précarité des eaux de surface, fortement tributaires des aléas climatiques, l'ONEA a développé depuis 1984 l'utilisation des ressources en eau souterraine par le biais des postes d'eau autonomes et par des postes d'injection d'eau à partir de 1996.

1-3) BILAN RESSOURCES-BESOINS EN EAU

Les besoins en eau de la ville de Ouagadougou ont fait l'objet d'une étude détaillée. La confrontation des besoins prévisionnels et des ressources actuellement exploitées aboutit aux résultats suivants.

	1990	1996	2000	2005	2010
Besoins (10^6 m ³ /an)	23.43	31.53	40.25	61.28	78.23
Ressources (10^6 m ³ /an)					
Année moyenne	12.05	14.78	14.78		
Année sèche	3.8	6.53	6.53		
Déficit (en % des besoins bruts)					
Année moyenne	57	53	63		
Année sèche	81	79	84		

Tableau 5 : Bilan ressources-besions

L'ampleur du déficit à combler, pendant l'année sèche, est particulièrement grande et inquiétante. Les ressources en eau brute actuellement exploitées sont évaluées à 14.8 millions de m³/an en année de pluviométrie normale ; elles ne couvrent que 46% des besoins estimés. Une année décennale sèche aurait des conséquences catastrophiques, les ressources tombant à 6.5 millions de m³, soit 20% des besoins.

Ainsi la croissance démographique inévitable de la ville et l'absence de nouvelles ressources rapidement mobilisables conduisent à prévoir une dégradation de la situation actuelle jusqu'à la mise en service du barrage de Ziga. La pénurie est aujourd'hui ressentie dans les quartiers périphériques où les conditions d'approvisionnement en saison chaude (Mars-Juin) sont à la limite du supportable, particulièrement en 1998 où le pays a connu une situation climatique exceptionnelle. Les quartiers périphériques accueilleront la majeure partie des habitants supplémentaires attendus d'ici 2005 et le déficit en eau potable sera concentré dans ces quartiers et leurs extensions.

2) SITUATION HYDROGEOLOGIQUE

La ville de Ouagadougou est sur un socle cristallin granitique recouvert de produits d'altération. Les granites sont imperméables ; cependant, les contraintes tectoniques ont développé au sein de ces formations compactes des réseaux de fractures suffisamment denses et ouverts pour conduire et stocker les eaux infiltrées depuis la surface du socle. Ce réservoir discontinu, car limité aux zones fracturées-fissurées, peu épais et faiblement perméable, offre des capacités d'emmagasinement réduites. Sa potentialité hydraulique est assez faible (porosité de 0.1 à 0.2 %).

Le recouvrement altéré est constitué de formations à prédominance argileuse, dont la puissance est déterminée par les conditions climatiques et l'intensité de la fracturation. Les altérations, lorsqu'elles sont saturées, forment un deuxième réservoir très peu perméable mais poreux, en liaison hydraulique plus ou moins directe avec les fractures aquifères sous-jacentes.

Le socle et sa couverture altérée forment un système bi-couche comprenant un réservoir inférieur discontinu transmissif et un réservoir supérieur continu qui assure par sa bonne porosité la fonction de stockage ; c'est par le captage de fractures qu'il est possible de mobiliser les eaux contenues dans les altérations.

Il est important de souligner qu'en zone de socle, la fonction stockage, c'est à dire la capacité régulatrice des réservoirs, est assurée par les altérations qui contiennent à elles seules 92% du volume total d'eau disponible dans le système aquifère. Lorsque les altérations sont absentes ou sèches les ressources à long terme sont limitées aux seules ressources renouvelables, c'est à dire à la fraction de la pluie qui chaque année atteint le réservoir inférieur. La capacité d'infiltration est souvent limitée à cause de l'existence de niveau argileux à faibles profondeurs. Avec les pluies d'intensité généralement élevée, des ruissellements importants peuvent se produire : ils alimentent les marigots, les bas fonds et barrages, et ils peuvent entraîner l'infiltration indirecte. Elle se produit dans et autour des dépressions locales. Cependant la présence de bouchon argileux retarde l'infiltration si bien que la reprise évapotranspiratoire est considérable et constitue un mécanisme de vidange.

La recharge annuelle par les pluies des aquifères de socle a fait l'objet de nombreuses études. Dans la région de Ouagadougou, en zone soudano-sahélienne, celle-ci se situerait entre 23 et 45 mm (évalué par modèle global : BRGM).

3) POSTES D'EAU AUTONOMES (PEA)

3-1) HISTORIQUE

En 1984, un déficit pluviométrique sans précédent a provoqué une grave pénurie d'eau potable à Ouagadougou. Celle-ci s'est particulièrement ressentie dans les quartiers périphériques où le réseau n'était pas encore installé. Pour combler une partie du déficit, l'ONEA a décidé d'exploiter les eaux souterraines disponibles sous la ville. Un programme de réalisation de forages financé par la Caisse Centrale de Coopération Economique (actuelle Agence Française de Développement) a alors été mis en oeuvre. Ainsi durant la période 1984-1992, 28 PEA ont été construits.

3-2) CONCEPTION D'UN POSTE D'EAU AUTONOME

Un PEA est une unité compacte d'équipements installés en tête d'un forage et qui assure de façon autonome à la fois le pompage, le stockage, le traitement et la distribution d'eau potable. Le pompage est effectué au moyen d'une pompe immergée alimentée par le réseau basse tension de la ville (ou éventuellement par un groupe électrogène). L'eau est stockée dans une cuve de 5.6 m³ de volume utile, posée sur un bâti maçonné. Le traitement est assuré par injection de chlore au moyen d'une pompe doseuse asservie. La distribution directe aux usagers est assurée par une rampe de robinets fixés au bâti. Un PEA est capable de fournir jusqu'à 100 m³/j.

4) POSTES D'INJECTION D'EAU (PIE)

4-1) HISTORIQUE

Les PEA ne permettaient plus d'atteindre les objectifs de production fixés suite à l'augmentation des bornes fontaines par le programme d'urgence. Les consommations enregistrées aux PEA étaient en moyenne de 20 m³/j/PEA, ce qui ne représentait que le cinquième de la capacité de production des forages.

En conséquence il a été proposé l'injection des eaux souterraines captées, dans le réseau urbain d'eau potable. Deux schémas avaient été envisagés :

- le premier prévoyait une mise en pression gravitaire de portion du réseau (mini-réseau) ou de son ensemble par l'intermédiaire de petits châteaux d'eau individuels construits à l'aplomb d'un forage ou d'une batterie de forages ;
- le second proposait l'injection directe dans le réseau, non isolé, sans réservoir de stockage intermédiaire.

C'est le second principe, plus souple et moins onéreux qui a été retenu.

4-2) CONCEPTION D'UN POSTE D'INJECTION D'EAU

Un poste d'Injection d'eau (PIE) est une unité installée au droit d'un forage et qui assure le pompage, le traitement et l'injection directe de l'eau pompée dans le réseau par l'intermédiaire d'une conduite de refoulement. Le pompage est assuré au moyen d'une pompe immergée alimentée par le réseau basse tension de la ville. Le traitement est, comme pour les PEA, assuré par injection contrôlée de chlore. L'injection dans le réseau est asservie par une horloge et un pressostat qui empêche le déclenchement de la pompe lorsque la pression est déjà suffisante. Un PIE peut être un ancien PEA transformé et exploite dans ce cas son forage. Il est sinon constitué d'un bâti qui abrite à la fois le forage, les installations hydrauliques et le traitement. De façon optionnelle, un PIE peut également assurer la distribution directe d'eau aux usagers par une fontaine (il s'agit d'un poste d'injection d'eau borne fontaine : PIE-BF). Un PIE doit pouvoir assurer un dédit de production de 100 m³/j.

5) DESCRIPTION DES INSTALLATIONS

Le schéma retenu pour les PIE est celui d'une injection directe des eaux souterraines captées dans le réseau urbain, sans réservoir de stockage intermédiaire. Les pompes des forages fournissent elles mêmes la pression nécessaire à l'injection. La figure 4 schématise les différentes unités de conception relatives à un poste d'eau. Les différentes unités qui le composent sont :

1 l'unité de pompage : pompe électrique immergée avec tubes d'exhaure, câble de liaison électrique et boîtier de démarrage.

2 l'unité d'automatisation : électrodes de sécurité dites " basse et haute", système de démarrage asservi par horloge et pressostat, câblage électrique et disjoncteur de sécurité.

3 l'unité de traitement : réservoir de chloration, pompe doseuse et raccords hydraulique et électrique.

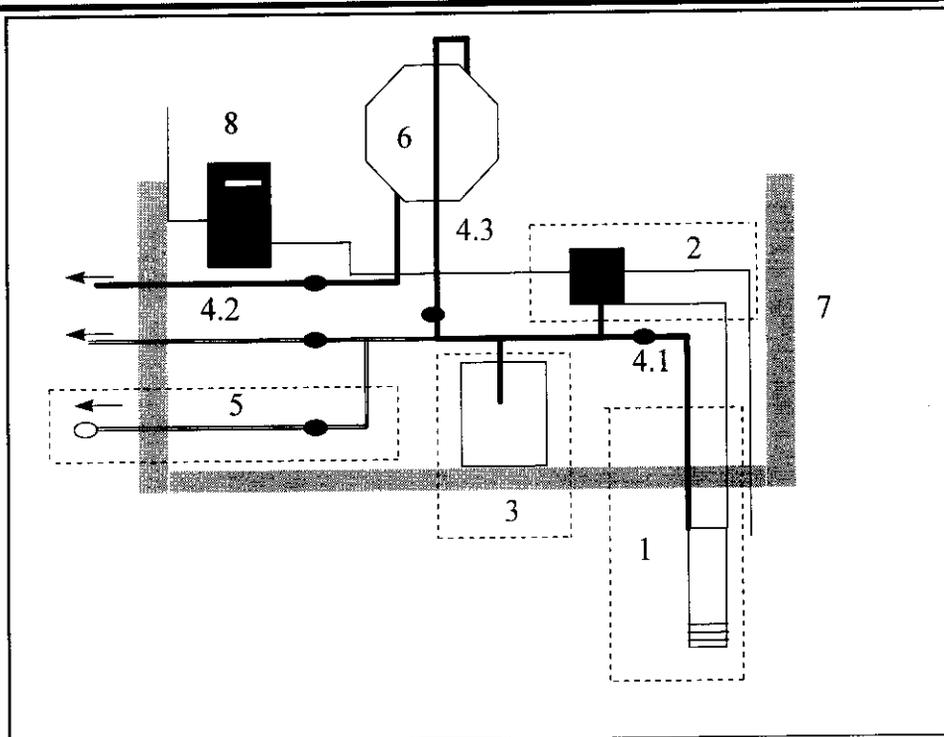
4 circuit hydraulique interne du poste d'eau : il comprend tous les éléments hydrauliques depuis le tuyau d'exhaure jusqu'au raccordement à la canalisation de liaison au réseau d'eau potable (PIE) ou au château d'eau (PEA) avec

- une partie générale commune (4-1) : tuyauterie, compteur, vanne, clapet anti-retour, ventouse, tés, coudes, joints etc.
- une partie distribution (PEA et PIE-BF) : aménagement optionnel d'une fontaine (tuyauterie, tés, coudes, joints)

Le raccordement éventuel au château de stockage (PEA, 4-3) : tuyauterie, tés, trop plein et contrôle de niveau.

5 le circuit de raccordement au réseau d'eau potable (PIE) : canalisation (tuyaux, coudes, tés vannes) depuis la vanne de sortie poste d'injection d'eau jusqu'au réseau AEP.

6 le château métallique (PEA) : cuve, échelle, regards, raccord plomberie.



- 1-Pompage)
- 2-Automatisation) équipements
- 3-Chloration)

- 4.1-Circuit d'eau)
- 4.2-Fontaine)
- 4.3-Raccordement chateau) plomberie,canalisations,travaux
- 5-Raccordement AEP)
- 6-Chateau d'eau)

- 7-) génie civil

- 8-Electrification) électricité

Figure 4: Schéma de conception d'un poste

IV) ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DES PIE

Dans ce paragraphe nous analysons séparément les régimes de fonctionnement des cinq postes d'eau depuis leur mise en service (cf **annexe 2**). Les données d'exploitation fournies par la Direction Départementale de Ouagadougou (**DDO**), organe ayant sous sa tutelle la gestion des PIE, ont servi de base à cette étude.

1) FORAGE QP37

1997

11.17	11.3	11.85	11.39	10.99	12.58	12.7	10.85	10.15	12.40	11.75	12.75
14.23	14.37	14.31	14.65	14.07	16.51	15.74	12.45	14.15	14.65	15.55	17.8
4108	3493	3907	3464	2931	3049	2087	1435	1115	3574	4546	4441
10	5.8	10.75	11.3	11.65	11.04	11.3	10.70	11	11.25	12.10	12.1

Niveau Dynamique(ND) max = 17.8 m

Volume annuel :38150 m³

Niveau Statique (NS) min = 12.4 m

Débit moyen : 10.75 m³/h

1998

14.05	12.7	11.86	11.48	12.58	13.15	12.55	12.45	-	8.55	12.05	12.55
18.7	14.65	18.55	16.25	15.74	18.5	14.65	13.55	-	12.35	13.55	14.55
4690	3833	4920	4010	4997	4016	1818	228	-	1635	2884	3699
12.15	11.35	12.41	11.74	13.31	11.50	11.46	-	-	10.94	10.72	11.37

Niveau Dynamique(ND) max = 18.7 m

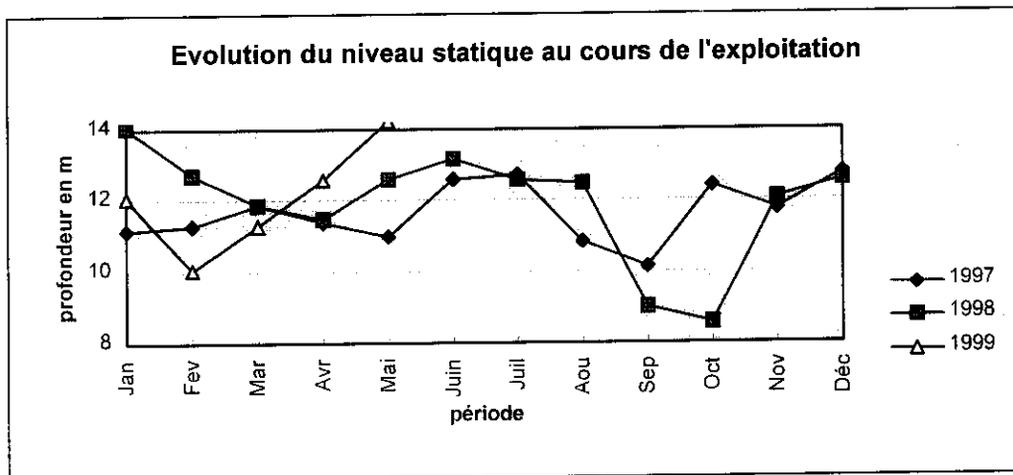
Volume annuel :36730 m³

Niveau Statique (NS) min = 8.55 m

Débit moyen : 11.07 m³/h

1999

	1997	1998	1999	1997	1998	1999
Niveau	12.05	10.05	11.30	12.55	14.13	
Niveau	15.50	14.35	16.6	16.65	17.75	
Vente	4191	2085	1710	2720		
Client	13	13	12	11.25		



L'observation des niveaux statiques sur les mêmes périodes montre une tendance à la baisse. La différence de niveau observée entre Mars 96 (début de mise en exploitation du forage) et Mars 97 est de 1.6 m. Ce rabaissement résulte du pompage car les pluviométries enregistrées en 1995 et 1996 sont restées sensiblement les mêmes (700 contre 677 mm). Pour 1998 la différence correspondante pour la même période est 1.61m. Cela montre une bonne recharge de la nappe qui se traduit par une conservation de niveau. Le niveau statique moyen évolue dans le temps: 11.65 pour 1997 et 12.18 en 1998, soit un abaissement général de 0.53 m. Cette évolution est régie par la pluviométrie et le régime d'exploitation. Les niveaux les plus bas sont observés en fin de saison pluvieuse : 10.15 m au mois de Septembre 98 et 8.55 m en Octobre 99. La non exploitation du forage sur une période de 73 jours (3 Août au 15 Septembre) a favorisé une remontée rapide du niveau d'où la faible valeur notée en 1998. Les marnages ($N_{s_{max}} - N_{s_{min}}$: dans un cycle d'exploitation) correspondants à ces années d'exploitation sont respectivement 2.55m et 5.5m. Ils correspondent à la recharge de la nappe après

une année d'exploitation. Les rabattements les plus élevés sont 5.05 et 6.69. Les volumes d'eau exploités sont 38150 m³ en 1997 et 36730 m³ en 1998 donc supérieurs au volume annuel recommandé. Les débits moyens de fonctionnement du forage varient entre 11 et 13 m³/h. Pour 1998 les débits fréquemment notés tournent autour de 12 m³/h avec des valeurs extrêmes de : 8 et 14 m³/h observées par moment. (cf **annexe3**)

L'analyse des graphiques montre trois séquences sur l'évolution du niveau statique :

- une montée avec l'exploitation durant les trois premiers mois de l'année qui laisse supposer une source d'alimentation ou une durée de repos plus longue de la nappe.
- une descente de Mars en Juillet
- une remontée occasionnée par les pluies : de juillet en septembre voire octobre (suivant la répartition mensuelle des précipitations)
- une descente de Novembre en janvier.

Le niveau en début d'année semble dépendre de la pluviométrie enregistrée de l'année qui le précède. Pour des régimes de fonctionnement identiques ; plus la pluviométrie est importante moins le niveau statique est profond.

1-1) RESULTATS DES OPERATIONS DE SUIVI

1-1-1) VARIATIONS DE PRESSIONS

la pression varie entre 1 et 3 bars en moyenne et atteint par moment un maximum de 4 bars. Les pressions les plus fortes sont observées dans la matinée et tournent autour de 3 bars. Elles correspondent à la période où le réseau est encore bien alimenté. En début d'après midi elles commencent à descendre régulièrement pour atteindre la valeur minimale de 1.6 bar en début de soirée (cf **annexe 3**).

1-1-2) COMPORTEMENT DE LA NAPPE

Avec un débit moyen de 11.51 m³/h et pour un temps de pompage de 9h20mn le rabattement observé est égal à 3.62m et le niveau dynamique maximum atteint est 17.75 m de profondeur. Le rabattement résiduel est :

$$Sr = 14.28 - 14.13$$

$$Sr = 0.15m$$

D'après la formule de Jacob $T = 0.183 \times Q_p \times \log((T_p + T_r) / T_r) / S_r / 3600$

$$T = 0.183 \times 11.51 \times \log(24/14.66) / 0.15 / 3600$$

$$T = 8.35 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

La transmissivité a augmenté de $0.35 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ traduisant ainsi un bon comportement du forage durant son exploitation.

2) FORAGE QP6

1997

Paramètre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NS(m)	26.65	25.27	25.72	27.12	26	25.64	25.54	23.70	22.80	21.70	24.80	27.20
ND(m)	29.10	29.61	29.57	29.70	29.62	30.09	30.50	28.30	27.10	28.60	30.60	31.05
V(m³)	4406	3468	3767	3273	288	2253	1808	1628	1536	3147	3990	3817
Q(m³/h)	10	10.5	10.75	10.60	10.50	10.67	10.50	10.45	10.50	10.30	10.45	10.30

Niveau Dynamique(ND) max = 30.5 m

Volume annuel : 33381 m³

Niveau Statique (NS) min = 21.7 m

Débit moyen : 10.50 m³/h

1998

Paramètre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NS(m)	26.9	27.6	24.70	27.3	25.64	25.6	24.6	23.4	22.35	21.90	24.70	25.10
ND(m)	34.2	30.41	29.5	30.85	30.09	31.40	29.60	27.75	27.7	26.70	29.40	28.50
V(m³)	3970	3337	4095	3601	3805	3658	2306	1391	1373	2322	2444	2584
Q(m³/h)	10.19	10	10.50	10.90	10.50	9.7	9.76	10.16	9.46	9.18	9.34	9.34

Niveau Dynamique(ND) max = 31.40 m

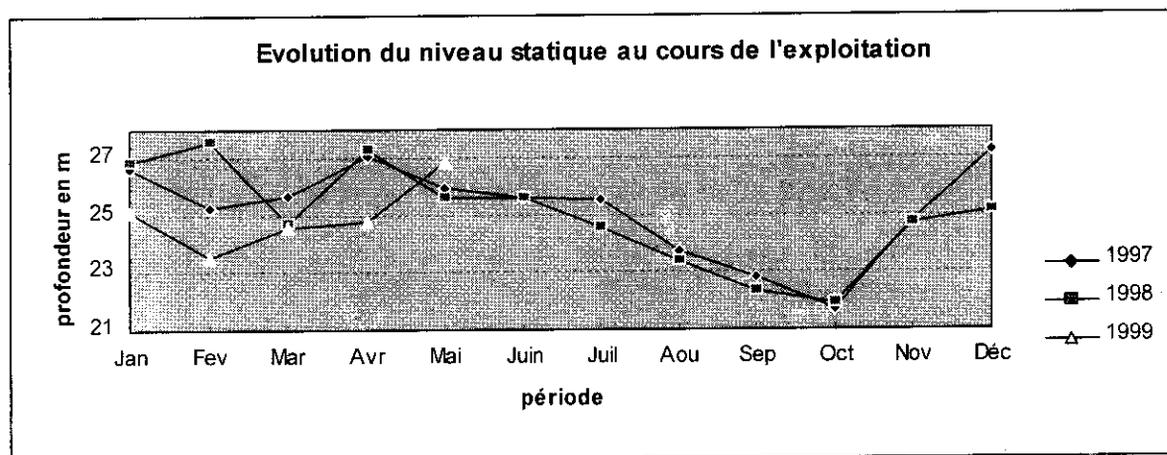
Volume annuel : 34886 m³

Niveau Statique (NS) min = 21.90 m

Débit moyen : 9.92 m³/h

1999

Point	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai
Niveau	25.10	23.50	24.60	24.75	26.87
Q (m³/s)	27.75	28.70	30.75		30.62
Q (m³/s)	2820	1439	2966	3018	
Q (m³/s)	9.0	10.50	9.50	10	



L'analyse des fluctuations de niveaux dans le temps montre l'existence d'un cycle saisonnier avec :

- une montée plus ou moins déphasée durant les trois premiers mois de l'année
- une descente plus ou moins rapide qui traduit bien une sortie d'eau : de Mars à Mai (voire juin).
- une remontée pendant la saison pluvieuse
- une descente d'Octobre à Décembre.

Les niveaux statiques de 1997 ont été retrouvés pendant l'exploitation de 1998 malgré la diminution de la pluviométrie et pour une production sensiblement équivalente. A la date du 24/11/95 (jour des essais) le niveau statique était à une profondeur de 24.34m. Pour la même période en 1997, le niveau était à 24.8m ; soit un abaissement de 0.46m. En 1998 la valeur de l'abaissement correspondante est 0.36m. Cela traduit bien la bonne réalimentation de la nappe par rapport aux débits d'exploitation.

Les marnages ($NS_{max} - NS_{min}$) sont : 5.42 m en 1997 et 5.7 m en 1998. Les volumes d'eaux exploitées sont restés inférieurs au 36500 m³ recommandés annuellement. Les débits enregistrés durant l'exploitation de 1998 dépassent à peine 12 m³/h et sont restés dans la plupart du temps inférieurs à 10 m³/h. Des valeurs de 6, 7 et 8 m³/h sont fréquemment observées (cf annexe 3).

2-1) RESULTATS DE SUIVI

2-1-1) VARIATIONS DE PRESSIONS

Les pressions varient en moyenne entre 2 et 3 bars. Les valeurs maximales sont observées pendant la matinée. A partir de 15 h elles descendent en dessous de 2 bars et continuent de régresser pour atteindre les valeurs minimales en début de soirée. La diminution de la pression se traduit par une baisse de la HMT qui entraîne une augmentation des débits.

2-1-2) COMPORTEMENT DE LA NAPPE

Avec un débit d'exploitation moyen de 9 m³/h le rabattement observé après 10h 30mn de pompage est égal à 3.70 m. Le rabattement obtenu lors des essais de longue durée avec un débit de 11.2 m³/h pour le même temps de pompage était de 3.75 m. La descente devient de plus en plus importante avec l'exploitation du forage. Le rabattement résiduel S_r est de :

$$S_r = 27.41 - 27.27 = 0.14 \text{ m}$$

D'après la formule de Jacob, on peut estimer la transmissivité T comme suit :

$$\begin{aligned} T &= 0.183 \times 9 \times \log(24/13.5)/0.14/3600 \\ &= 8.16 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

soit une augmentation de $2.16 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ par rapport à la valeur trouvée lors des essais. Elle traduit un bon comportement du forage pendant son exploitation.

Par ailleurs le suivi à longueur de journée de l'exploitation a permis de noter les variations de pressions par intervalle de trente minutes. L'évolution constatée corrobore avec les résultats fournis par le manographe.

3) FORAGE FT18

1997

Période	Jan	Feb	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Sept	Oct	Nov	Déc
NS(m)	19.07	19.04	15.82	18.83	19.45	19.79	19.93	14.47	18	17.4	19.35	19.04
ND(m)	28.16	30.58	29.46	29.76	28.18	30.55	30.55	27.75	29.4	27.4	31.4	31.6
V(m ³)	200	2536	3519	2862	2554	3076	1746	1599	1571	3667	4573	4638
Q(m ³ /h)	11	10.5	10.75	10.5	10.65	10.39	10.25	10.50	10.45	10.50	10.5	10.7

Niveau Dynamique(ND) max = 31.6 m

Volume annuel : 32541 m³

Niveau Statique (NS) min = 14.47 m

Débit moyen : 10.70 m³/h

1998

Période	Jan	Feb	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Sept	Oct	Nov	Déc
NS(m)	19.4	16.6	18.4	16.9	19.79	19.4	16.4	17.4	17	14.4	16.4	14.4
ND(m)	31.3	29.80	29.6	31.2	29.55	32.25	29.4	28.7	28.6	20.2	28.6	28.35
V(m ³)	4668	3724	4047	4352	4627	4146	2808	1656	1482	2911	3568	3253
Q(m ³ /h)	10.72	10.05	10.98	11.27	11.33	10.58	10.6	10.52	10.32	10.43	10.3	10.5

Niveau Dynamique(ND) max = 32.25 m

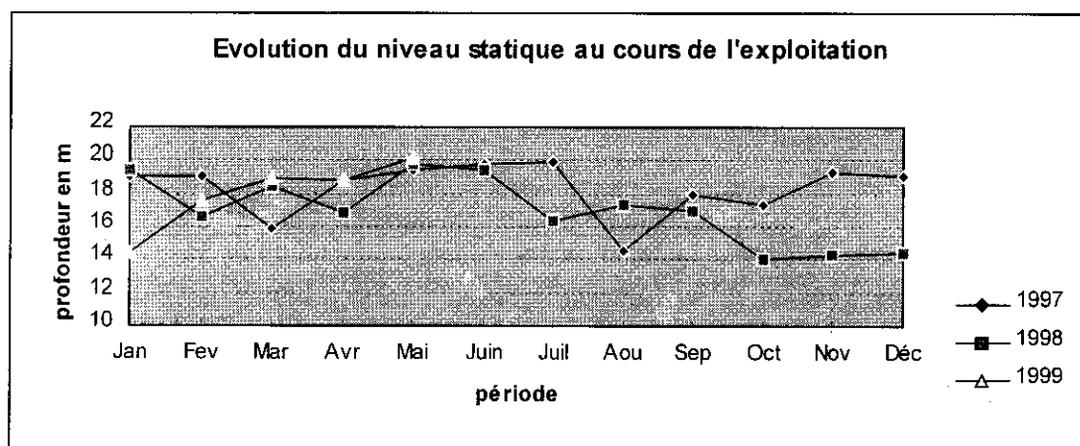
Volume annuel : 41242 m³

Niveau Statique (NS) min = 10.9 m

Débit moyen : 10.63 m³/h

1999

Période	Jan	Feb	Mar	Avr	Mai
NS(m)	14.45	17.6	18.9	18.85	20.14
ND(m)	28.4	28.5	30.4	31.0	31.6
V(m ³)	3483	3453	4050	2600	
Q(m ³ /h)	10.5	11	11	8	



Le cycle d'évolution des niveaux est composé des phases suivantes :

- une descente progressive de janvier en juin
- une remontée pendant la saison pluvieuse : Juillet - Octobre
- une descente d'Octobre à Décembre

A la date du 26/12/95 correspondante aux essais, le niveau statique était à une profondeur de 19.30 m. A la même période et pendant l'exploitation du forage, les niveaux statiques correspondants sont 19.04m en 1997 et 14.4m en 1998. Cela traduit une bonne recharge de la nappe entre les différentes dates. La recharge dépend fortement de la quantité de pluie recueillie.

Les marnages sont respectivement pour les deux années 5.32 et 5.39 m. Les niveaux dynamiques maximums atteints sont 31.6m et 32.35m pour des volumes d'eau exhaérés de 32541 m³ et 41242 m³. Les rabattements observés en fin de pompage sont très grands et vont au delà de 10 m. Les débits moyens de fonctionnement varient entre 10 et 11 m³/h (cf annexe 3).

3-1) RESULTATS DE SUIVI

3-1-1) VARIATIONS DE PRESSIONS

L'enregistrement montre des pressions variant entre 1 et 4 bars. Les valeurs les plus fréquentes se trouvent dans l'intervalle 1-3 bars. Durant les premières heures de la matinée elles se situent un peu au dessus de 3 bars. Les pressions les plus faibles apparaissent dans l'après midi et varient entre 1 et 2 bars.

3-1-2) COMPORTEMENT DE LA NAPPE

Avec un débit d'exploitation moyen de 10.5 m³/h le rabattement obtenu après 10h 45mn de pompage est 11.46 m. Pendant les essais de longue durée et pour un temps de pompage équivalent avec un débit de 9.6m³/h le rabattement obtenu était égal à 7m. Une remontée de 2 cm par rapport au niveau statique initial avant pompage est observée le lendemain avec un temps de repos de 13h 45mn. Cette remontée de niveau confirme la bonne réalimentation de la nappe évoquée ci-dessus. Le rabattement résiduel est nul et les 2 cm correspondent aux fluctuations naturelles de la nappe entre les deux périodes de mesure.

4) FORAGE FT32

1997

Période	Jan	Feb	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
NS(m)	-	12.75	12.46	13.95	12.77	-	11.13	10.85	12.75	13.15	13.80	13.06
ND(m)	-	20.5	19.43	20.38	20.16	-	24.7	18.25	18.75	19.30	20.40	20.55
V(m ³)	1711	1749	2537	3519	3021	2999	2169	1641	1772	4201	5118	5379
Q(m ³ /h)	6.4	8	7	11.75	12.65	10.86	11.9	10.75	11.75	12.25	14.15	14.10

Niveau Dynamique(ND) max = 24.7 m

Volume annuel : 35816 m³

Niveau Statique (NS) min = 10.85 m

Débit moyen : 10.96 m³/h

1998

Période	Jan	fev	mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
NS(m)	8.5	8.67	13.75	13.7	12.65	12.65	9.35	9.35	-	11.55	9.25	8.35
ND(m)	22.6	20.65	20.75	22.30	19.75	21.55	19.65	19.35	-	17.65	18	18.10
V(m ³)	4541	2549	4768	5082	5353	3122	1989	774	-	4169	4491	5144
Q(m ³ /h)	13.5	9.92	11.93	14.7	12.6	12.2	9.1	9.4	-	13.1	12.7	13.2

Niveau Dynamique(ND) max = 22.6 m

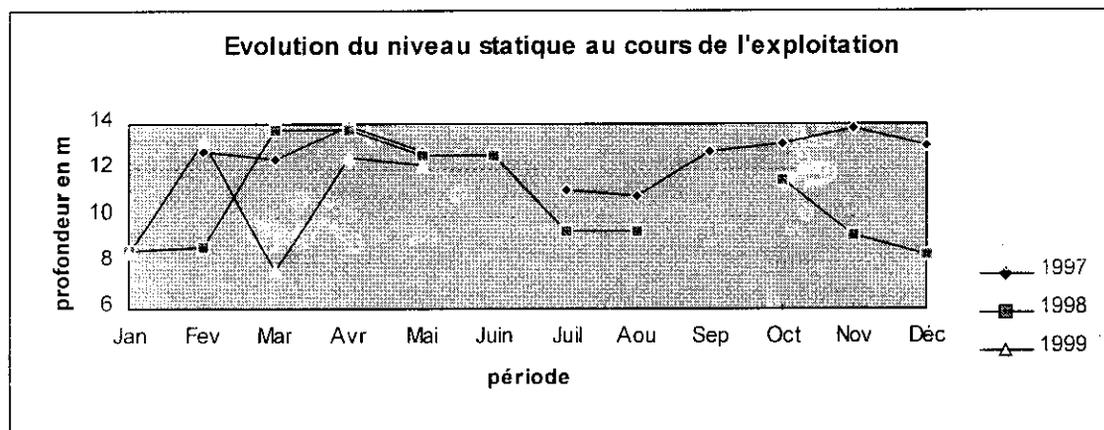
Volume annuel : 41982 m³

Niveau Statique (NS) min = 8.35 m

Débit moyen : 12.03 m³/h

1999

Période	Jan	fev	mar	Avr	Mai
NS(m)	8.4	13.20	7.65	12.55	12.15
ND(m)	18.1	18.55	16.7	16.25	16.69
V(m ³)	3601	2566	3934	2900	
Q(m ³ /h)	12.75	14.5	14.25	9.5	



Le cycle d'évolution des niveaux est composé de :

- une descente progressive de Janvier en Juin
- une montée pendant la saison pluvieuse

Le niveau statique à la date des essais (8/12/95) était à une profondeur de 5.64m. A la même période en 1997 le niveau était à 13.06m soit 7.42m de descente. Les niveaux observés après la mise en service du forage varient entre 11 et 13m donc une baisse considérable par rapport au niveau à l'origine. Les volumes d'eau exploitées sont 35816 m³ en 1997 et 41982m³ en 1998 pour un maximum recommandé de 36500m³.

4-1) RESULTATS DE SUIVI

4-1-1) VARIATION DE PRESSIONS

Les pressions varient entre 1 et 4 bars en gros. Elles sont dans la plupart du temps supérieures à 2 bars et les valeurs fréquemment observées se situent entre 3 et 4 bars. Dans les premières heures de la matinée elles avoisinent les 4 bars. C'est au niveau de ce forage que les pressions les plus importantes sont enregistrées.

4-1-2) COMPORTEMENT DE LA NAPPE

Notons tout d'abord que l'essai n'a pas été conduit jusqu'à son terme à cause d'une pluie survenue une heure avant l'arrêt prévu. Le niveau de l'eau dans le forage commençait à remonter. Nous nous sommes arrêtés à la dernière mesure avant la pluie. Le lendemain matin une mesure de niveau statique n'a pas été faite à cause des modifications apportées par la pluie.

Ainsi après 9h de pompage continu au débit moyen de 11m³/h, le rabattement observé est 4.5m pour un niveau dynamique de 16.69m. Le rabattement observé au moment des essais de nappe avec un débit de 12.1m³/h et pour un même temps de pompage est 4m. Le rythme de la descente s'accroît de plus en plus avec l'exploitation du forage.

5) FORAGE QP1

1997

Période	jan	fév	mar	Avr	Mai	Ju	Ju	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
NS(m)	-	24.01	24.55	25.07	22.72	-	23.67	22.15	20.27	24.35	24.55	26.25
ND(m)	-	28.3	27.63	28.18	28.96	-	26.7	25.75	27.15	27.15	29.05	28.25
V(m ³)	1378	921	1485	1035	895	1497	2084	1957	1925	3598	4670	4628
Q(m ³ /h)	4	4	5	8.3	5.9	-	11.65	12.75	12.75	14	11.75	11.75

Niveau Dynamique(ND) max = 29.05 m

Volume annuel : 26073 m³

Niveau Statique (NS) min = 20.27 m

Débit moyen : 9.25 m³/h

1998

Période	jan	fév	mar	Avr	Mai	Ju	Ju	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
NS(m)	29.15	26.57	24.70	26.55	24.26	24.55	25.15	24.7	22.55	21.15	25.55	24.15
ND(m)	36.2	28.85	28.95	30.3	28.20	41.20	28.35	39.55	27.20	25.35	27.55	26.50
V(m ³)	4971	4454	4920	5564	5965	4535	3583	2082	1960	3133	3227	4083
Q(m ³ /h)	12.44	11.51	13.77	13.95	14.1	11.57	12.28	12	12.35	11.86	12.2	12.92

Niveau Dynamique(ND) max = 41.20 m

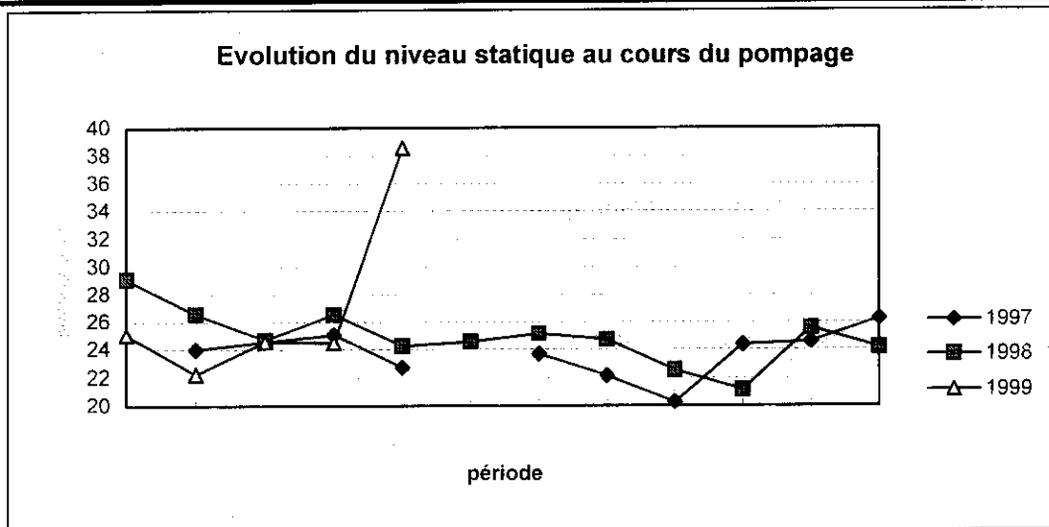
Volume annuel : 49077 m³

Niveau Statique (NS) min = 21.15 m

Débit moyen : 12.57 m³/h

1999

Période	jan	fév	mar	Avr	Mai
NS(m)	25.05	22.25	24.55	24.50	38.57
ND(m)	27.7	36.35	40.60	42.35	42.25
V(m ³)	3923	3695	4923	3200	
Q(m ³ /h)	12.5	13.5	13.25	13	



A la date du 20/11/95 le niveau statique relevé avant les essais était à une profondeur de 27.43m. Les données d'exploitation montrent une remontée du niveau d'eau dans le forage malgré l'exploitation et la diminution de la pluviométrie. La baisse de pluviométrie devrait se traduire même hors exploitation à un abaissement des niveaux. Ces valeurs ne reflètent pas la réalité et ne peuvent servir de base à une étude.

Nous notons une très grande différence entre la valeur de Mai 1998 que nous avons relevée et celle des mois qui le précèdent.

5-1) RÉSULTATS DE SUIVI

5-1-1) VARIATIONS DE PRESSIONS

Les pressions les plus fréquentes varient entre 1.5 et 3 bars. La pression maximum atteinte est 3 bars. A partir de 16h elles descendent en dessous de 2 bars et continuent de diminuer jusqu'à atteindre une valeur minimale de 1 bar en début de soirée.

5-1-2) COMPORTEMENT DE LA NAPPE

Avec un débit moyen de 12.9 m³/h, le rabattement observé après 10h30 mm de pompage 3.68m. Après un repos de 13.5h le rabattement résiduel noté est :

$S_r = 38.62 - 38.57 = 0.05 \text{ m}$. D'où une transmissivité de $3.27 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Soit une amélioration de $2.97 \cdot 10^3 \text{ m}^2/\text{s}$ traduisant un bon auto développement du forage.

V) COMMENTAIRE SUR LE REGIME DE FONCTIONNEMENT

L'analyse du fonctionnement des PIE suivant ces deux dernières années d'exploitation montre :

* une recharge satisfaisante sur l'ensemble

Forage	QP37	QP6	FT18	FT32	QP1
Indicateur de bonne recharge	différence de niveau conservée entre NS origine et NS en cours d'exploitation pour les mêmes périodes (1.6 et 1.61)	pour des volumes exploités sensiblement égaux et à des débits comparables, les niveaux de 1998 sont inférieurs à ceux de 1997.	Remontée des niveaux de 1998 par rapport à 1997 malgré une exploitation plus importante et pour des débits équivalents (entre les deux années)	avec des débits et volumes d'exploitation plus importants les niveaux de 1998 sont restés moins profonds que ceux de 1997.	

Tableau 6 : les indicateurs de recharge

Ces variations de niveaux dépendent de la pluviométrie. Les niveaux en début de cycle d'exploitation (janvier) suivent les impulsions pluviométriques de l'année qui le précèdent. Plus la quantité de pluie est importante, moins les niveaux sont profonds.

Ce paramètre peut aider sur la planification de l'exploitation des forages.

* une accentuation de la descente de niveau par effet de pompage. Les rabattements observés en fin de pompage deviennent de plus en plus importants avec la durée de l'exploitation (QP1 excepté). Nous comparons dans le tableau (7) suivant les rabattements observés pendant le suivi du comportement hydrogéologique à ceux notés lors des essais de nappe pour un même temps de pompage.

		Essai de nappe			Suivi comportement de la nappe		
Forage	temps en mm	date	débit en m ³ /h	rabat en m	date	débit en m ³ /h	rabat en m
Qp37	560	12/03/96	13.8	3.4	19/06/99	11.51	3.62
QP6	630	27/11/95	11.2	3.8	18/06/99	9	3.75
FT18	640	26/12/95	9.6	7	14/06/99	10.5	11.46
FT32	540	8/12/95	12.1	4	20/06/99	11	4.5
QP1	630	20/11/95	11.2	3.7	18/06/99	12.9	3.68

Tableau 7 : comparaison des rabattements observés

La baisse de niveau dans le temps peut être une cause potentielle de la perte de productivité des ouvrages. Le rabaissement entraîne une augmentation de la HMT qui induit une diminution des débits d'exploitation.

* des plages de variation de pressions différentes d'un ouvrage à un autre. La pression maximale n'atteint guère 5 bars.

Forages	QP37	QP6	FT18	FT32	QP1
Variation de pressions	2 à 3 bars	1 à 3 bars	1.5 à 4 bars	1.5 à 4.5 bar	1 à 3 bars

Tableau 8 : Variations de pressions

VI) CALCULS HYDRAULIQUES

1) RAPPEL

Comme nous l'avons montré dans les paragraphes précédents, un PIE ne peut pas fonctionner avec un débit fixe. Les débits d'exploitation précédemment fixés et qui ont servi de base au calcul de la HMT ne peuvent être obtenus que par moment pendant l'exploitation. Le calcul de la HMT nécessaire pour chaque PIE, au moment du projet, était conduit comme suit :

$$HMT = HG + J_1 + J_2 + P_1$$

HG (hauteur géométrique) = profondeur du niveau dynamique

J_1 (pertes de charges dans la conduite montante)

J_2 (pertes de charges singulières) = 2m

P_1 (pression d'injection) = 3.5 bars

Avec les observations tirées des enregistrements du manographe, la pression d'injection varie en fonction du temps et avec elle la HMT de pompage. Pour ce type d'installation il ne peut y avoir de point de fonctionnement fixe de façon intrinsèque mais plutôt une plage de fonctionnement définie par les pressions maximum et minimum enregistrées lors de sa mise en service.

Dans ce qui suit, nous déterminons les différentes plages pour chaque PIE et analysons leur incidence sur les pompes qui les équipent actuellement.

Les pompes utilisées sont des groupes électro-pompes immergés de marque GRUNDFOS en acier inoxydable. Elles ont des diamètres de 4 à 6 pouces, un débit allant de 5 à 20m³/h. Elles sont spécifiées de la façon suivante :

SP 8 A 25

SP ⇒ pompe

8 ⇒ débit nominal au meilleur rendement

A ⇒ version 4 pouces

25 ⇒ nombre d'étages

2) CALCUL

Nous utilisons la formule de Calmon Lechap pour le calcul des pertes de charges

$$J = a \times (Q/3600)^n \times L / D^m$$

avec :

Q débit en m³/h ; L longueur en m ; D diamètre en m

pour k=0.05 mm a=1,4.10⁻³ ; m=5,19 ; n=1,96.

Les calculs sont effectués au cas par cas et consistent à la détermination des HMT_{max}, HMT_{min} et de la HMT_{freq} la plus fréquente. La formule de calcul utilisée est la suivante :

$$HMT = HG + J + P$$

HG(hauteur géométrique) = profondeur du niveau dynamique maximum enregistrée depuis la mise en service du forage

J = pertes de charges dans la colonne montante majorées des pdc singulières (crépine, coude)

P = pression lue sur le manomètre où enregistrée par le manographe

Les débits utilisés pour le calcul des pertes de charges sont choisis comme suit :

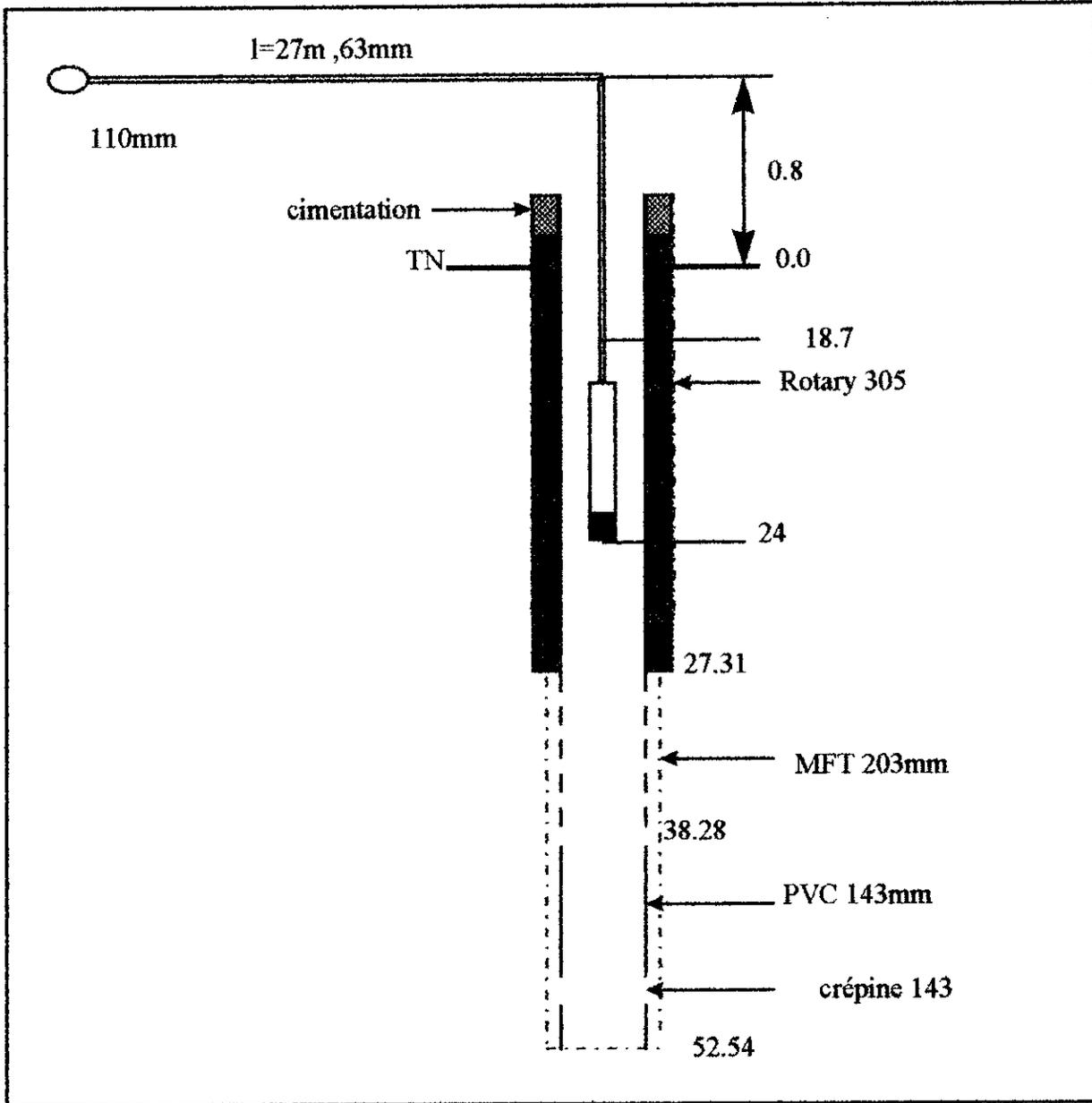
le débit minimum observé en 1998 dans l'expression de HMT_{max}

le débit maximum observé en 1998 dans l'expression de HMT_{min}

le débit moyen de l'année 1998

2-1) FORAGE QP37

coupe technique



Tronçon	Longueur (m)	Diamètre ϕ (mm)
Pompe-tête de forage	24.82	50
Canalisation de raccordement	29.6	63

Pompe installée : GRUNDFOS TYPE SP14A10

Pour des pressions variant entre 2 et 4 bars les HMT requises sont :

$$\begin{aligned} \text{HMT}_{\min} &= 18,7 + 1,4 \cdot 10^{-3} \times (16/3600)^{1,96} \times 24,82 / (0,05)^{5,19} + 20 \\ &= 43,52\text{m} \end{aligned}$$

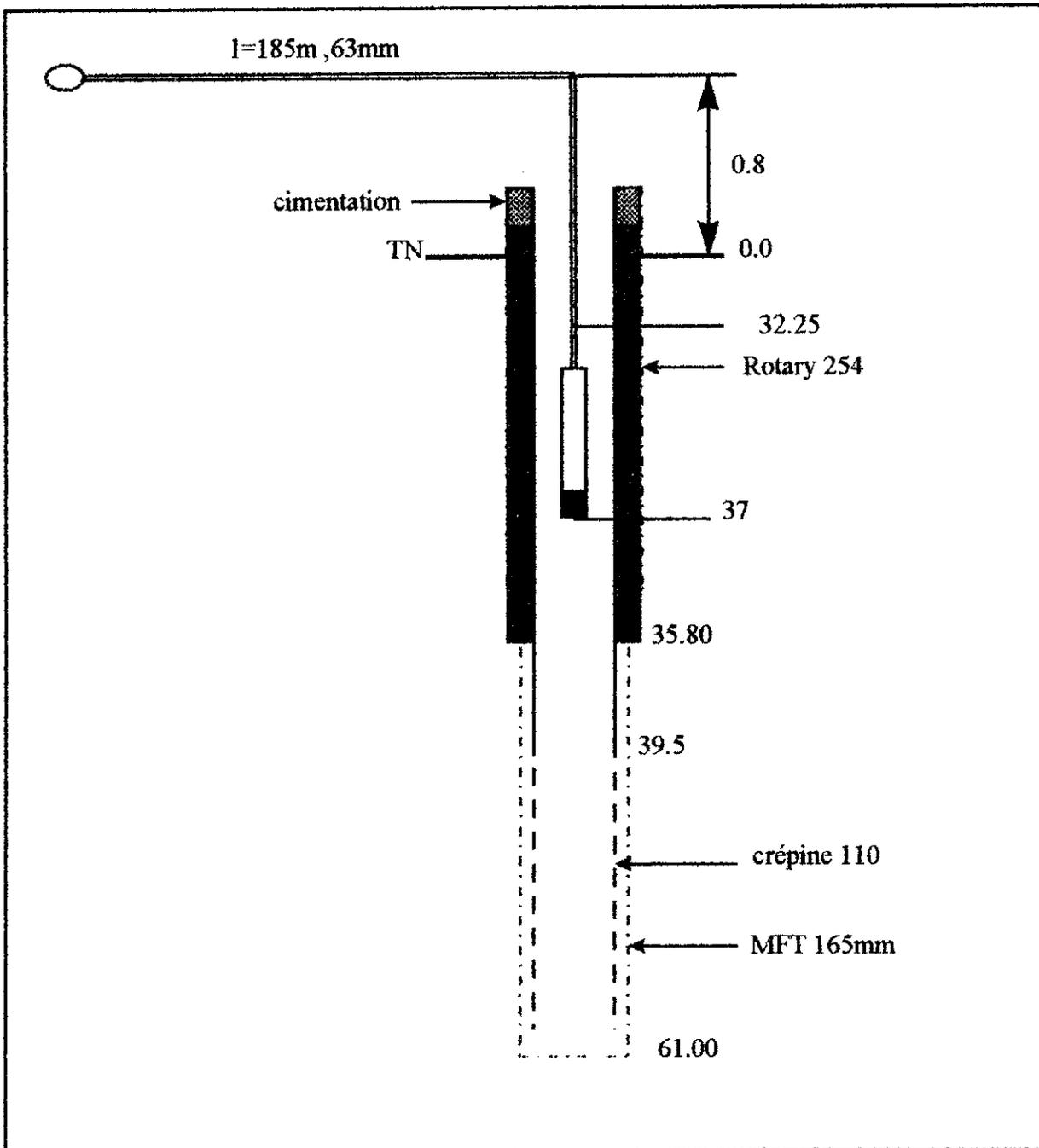
$$\begin{aligned} \text{HMT}_{\max} &= 18,7 + 1,4 \cdot 10^{-3} \times (7/3600)^{1,96} \times 24,82 / (0,05)^{5,19} + 40 \\ &= 60 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HMT}_{\text{freq}} &= 18,7 + 1,4 \cdot 10^{-3} \times (11/3600)^{1,96} \times 24,82 / (0,05)^{5,19} + 30 \\ &= 51\text{m} \end{aligned}$$

Avec la pompe installée les débits correspondants à cette plage sont compris entre 9 et 15 m³/h avec des valeurs fréquentes tournant autour de 12 m³/h. Pour les divers points de fonctionnement possibles les rendements correspondants sont acceptables et s'approchent du maximum (60 %). Le rendement est peu affecté par le changement de régime.

2-2) FORAGE FT18

Coupe technique



Tronçon	Longueur (m)	Diamètre ϕ (mm)
Pompe-tête de forage	37.8	50
Canalisation de raccordement	185	63

pompe installée SP8A25

Les pressions enregistrées varient entre 1.4 et 3.8 bars. Les HMT correspondantes sont :

$$\begin{aligned} \text{HMT}_{\min} &= 32.25 + 1,4 \cdot 10^{-3} \times (12/3600)^{1,96} \times 37.8 / (0,05)^{5,19} + 14 \\ &= 50\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HMT}_{\max} &= 32.25 + 1,4 \cdot 10^{-3} \times (8/3600)^{1,96} \times 37.8 / (0,05)^{5,19} + 38 \\ &= 72\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HMT}_{\text{freq}} &= 32.25 + 1,4 \cdot 10^{-3} \times (10.63/3600)^{1,96} \times 37.8 / (0,05)^{5,19} + 27 \\ &= 63\text{m} \end{aligned}$$

Avec la pompe SP8A25 le point de fonctionnement varie dans une plage de débits comprise entre 10 et 12m³/h. Les points de fonctionnement possibles ne se trouvent pas dans la zone des rendements maxima. Les rendements tournent entre 50 et 55 %. Il en résulte une consommation supplémentaire d'énergie.

La puissance absorbée sur l'arbre de la pompe est donnée par la formule suivante :

$$P = 1/\eta \times (Q \times \text{HMT} \times \omega) / 367$$

avec :

P = puissance absorbée sur l'arbre de la pompe

Q = débit en m³/h

HMT = hauteur manométrique totale en mCE

ω = poids spécifique du liquide en kg/l

η = rendement de la pompe

La plus part des débits observés en 1998 varient entre 11 et 12m³/h avec un rendement 50 % en moyenne. La consommation d'énergie supplémentaire du régime de fonctionnement peut être estimée comme suit :

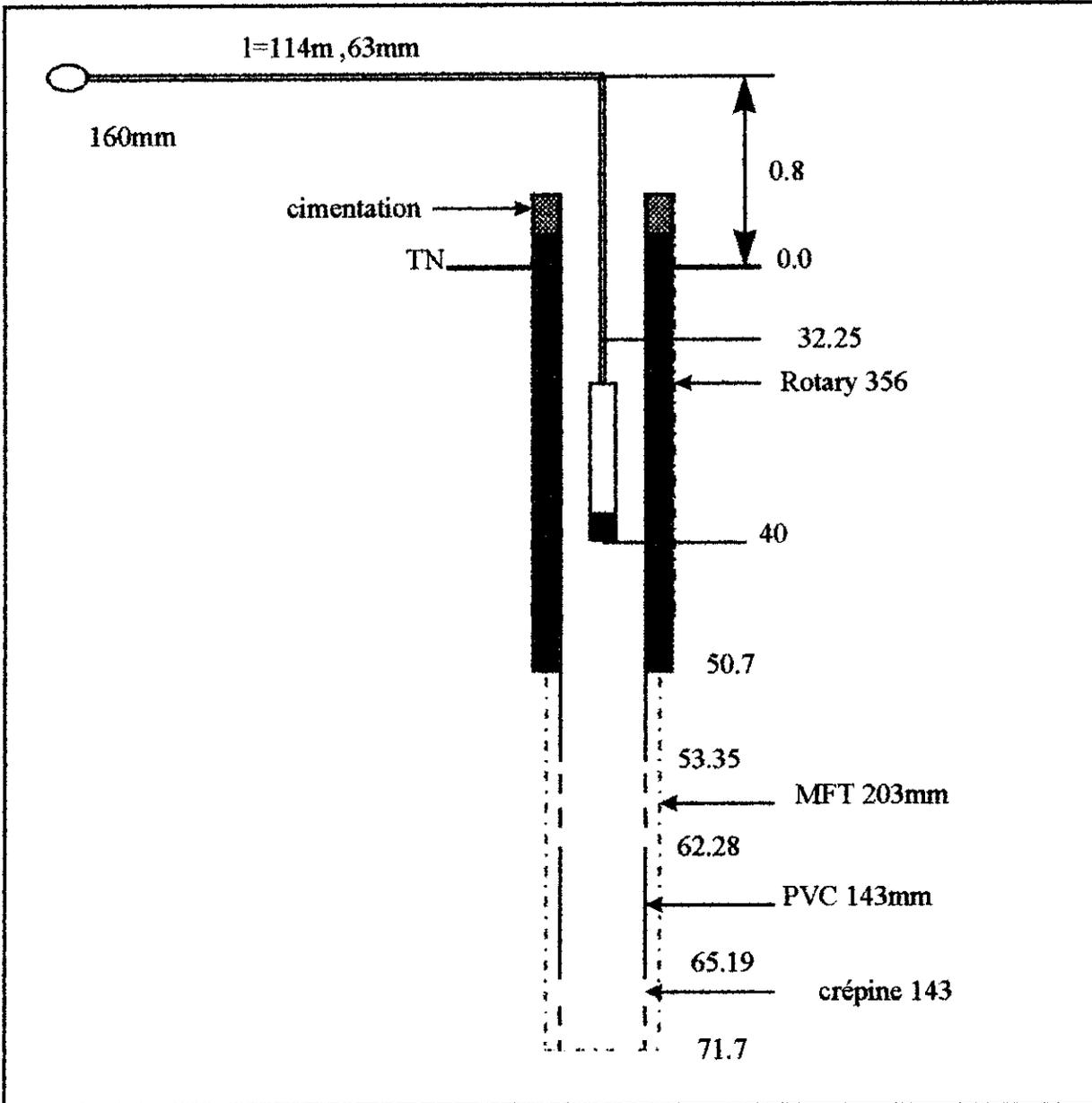
Pour un rendement optimum de 60% ; $1/\eta = 1.66$

Pour un rendement de 50 % ; $1/\eta = 2$

Pour un besoin de 1.66 kw, la pompe en consomme 2. Soit 0.34 kw supplémentaire représentant 17 %. Donc la facture d'électricité allouée au fonctionnement du forage a coûté 17 % de plus qu'elle ne devait l'être si le rendement était optimisé.

2-3) FORAGE QP6

Coupe technique



Tronçon	Longueur (m)	Diamètre ϕ (mm)
Pompe-tête de forage	40.8	50
Canalisation de raccordement	114	63

Pompe installée SP8A25

$$\begin{aligned} \text{HMT}_{\min} &= 31.4 + 1,4 \cdot 10^{-3} \times (12/3600)^{1,96} \times 40.8 / (0,05)^{5,19} + 10 \\ &= 46\text{m} \end{aligned}$$

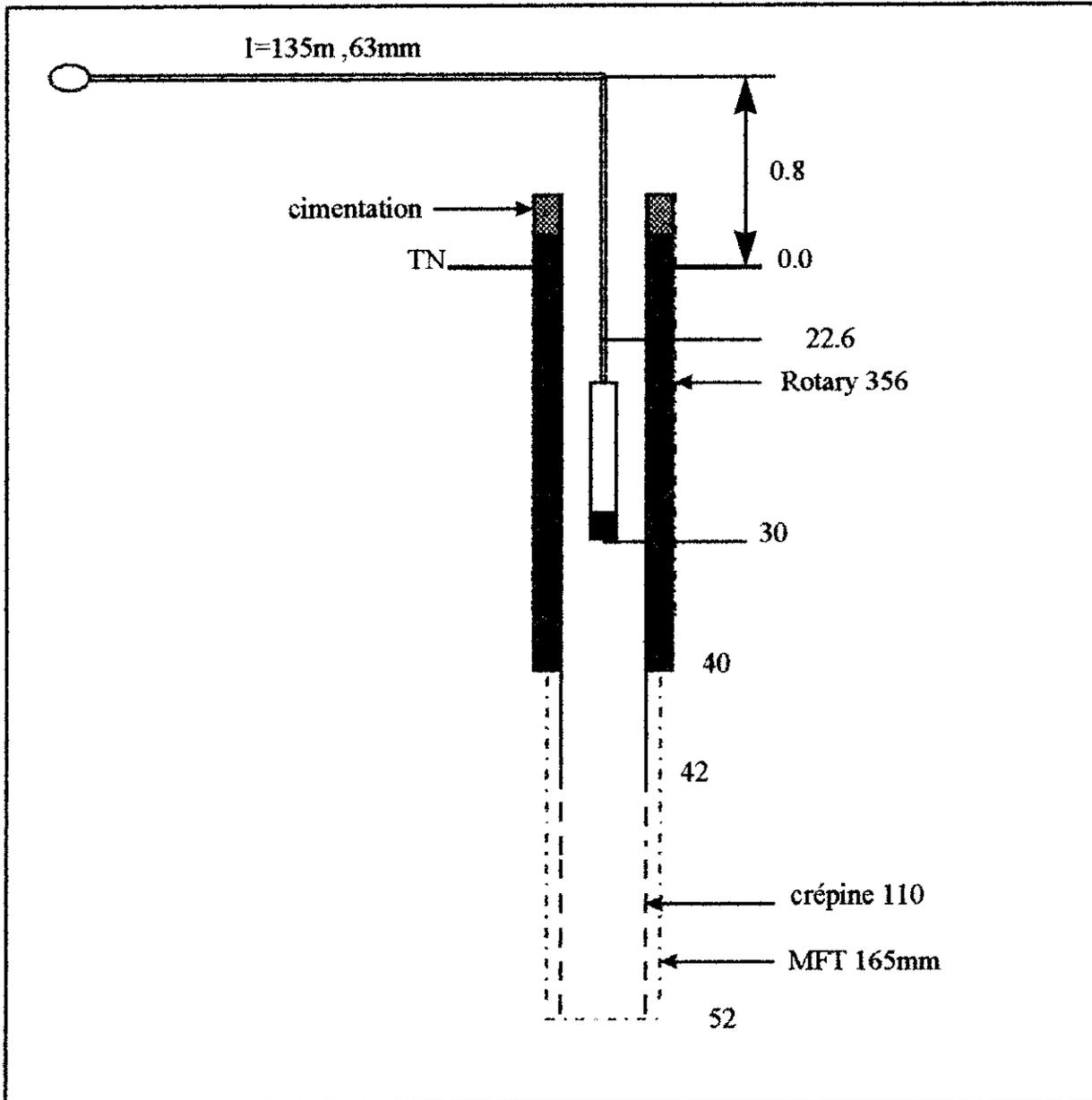
$$\begin{aligned} \text{HMT}_{\max} &= 31.4 + 1,4 \cdot 10^{-3} \times (8/3600)^{1,96} \times 40.8 / (0,05)^{5,19} + 30 \\ &= 63\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HMT}_{\text{freq}} &= 31.4 + 1,4 \cdot 10^{-3} \times (10/3600)^{1,96} \times 40.8 / (0,05)^{5,19} + 23 \\ &= 57\text{m} \end{aligned}$$

La plage de débits dans laquelle varie le point de fonctionnement est 10.5 à 12 m³/h. Les rendements correspondants ne sont pas maxima et tournent autour de 50%. Soit une majoration de 17% de la facture d'électricité.

Le choix d'une pompe devant se faire toujours de sorte que son point de fonctionnement se trouve dans la zone des rendements maxima. Même si on doit choisir un type de pompe plus cher, l'économie d'énergie qui en résulte en vaut le coût.

Ainsi pour ce forage la pompe adéquate qui tient compte de l'aspect énergétique est SP14A10. Pour la même plage de HMT, elle fournit des débits de 9 à 15 m³/h. Avec un rendement maximum de 60%. Des débits fréquents de 12 à 13m³/h seront observés lors de son installation pour un maximum admis de 15m³/h.

2-4) FORAGE FT 32**Coupe technique**

Tronçon	Longueur (m)	Diamètre ϕ (mm)
Pompe-tête de forage	30.80	50
Canalisation de raccordement	135	63

Profondeur Niveau statique à l'origine : 5.64m

Pompe installée SP14A10

$$\begin{aligned} \text{HMT}_{\min} &= 20.7 + 1,4 \cdot 10^{-3} \times (16/3600)^{1,96} \times 30.8 / (0,05)^{5,19} + 15 \\ &= 40\text{m} \end{aligned}$$

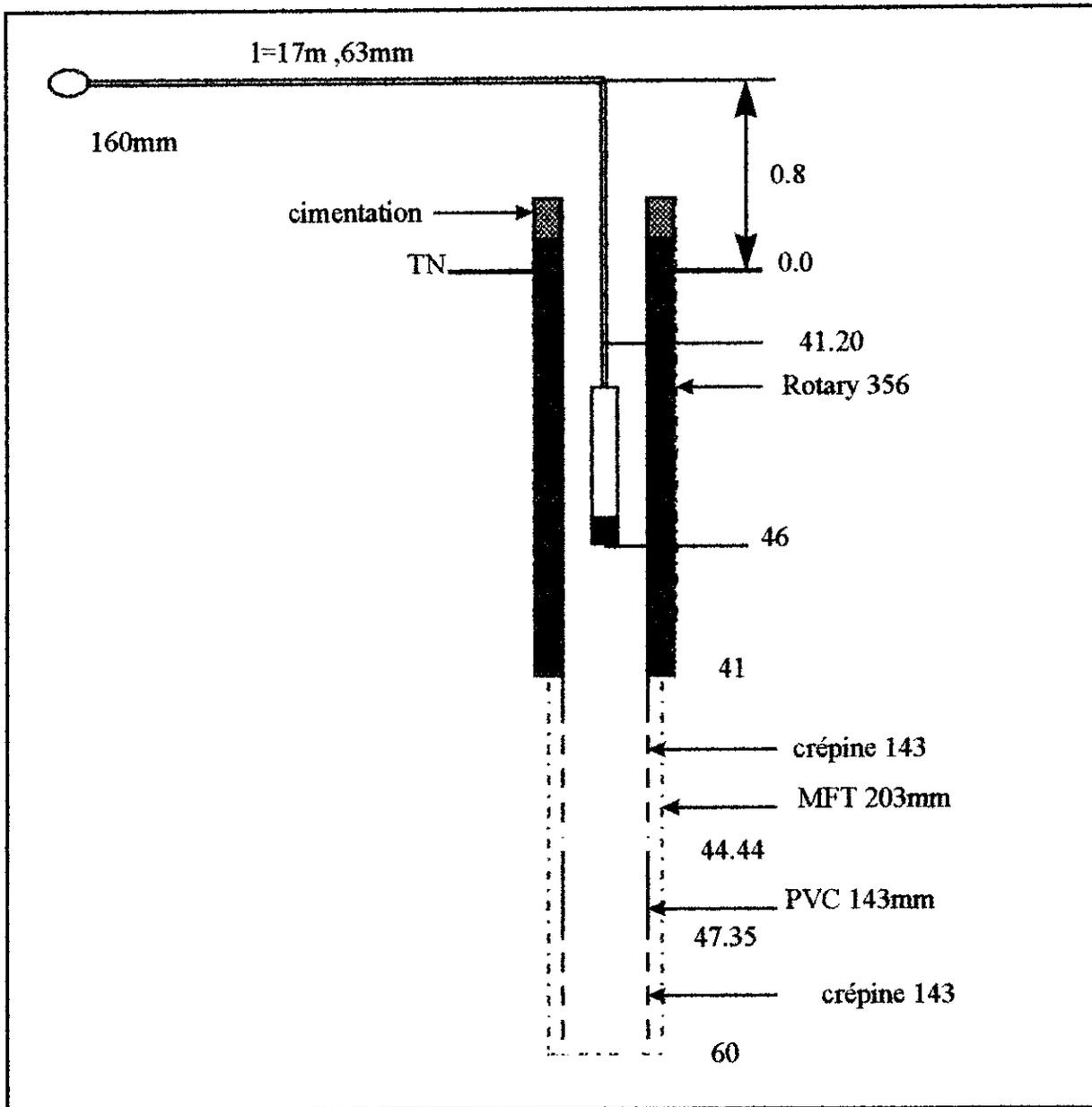
$$\begin{aligned} \text{HMT}_{\max} &= 20.7 + 1,4 \cdot 10^{-3} \times (8/3600)^{1,96} \times 30.8 / (0,05)^{5,19} + 45 \\ &= 65\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HMT}_{\text{freq}} &= 20.7 + 1,4 \cdot 10^{-3} \times (10/3600)^{1,96} \times 30.8 / (0,05)^{5,19} + 30 \\ &= 50\text{m} \end{aligned}$$

Soit une plage de débits variant entre 6 et 16m³/h pour des rendements compris entre 50 et 60%. Plus de 2/3 des débits observés en 1998 dépassent 10 m³/h et se trouvent dans une zone de rendement optimal (60%). La pompe est adaptée à l'exploitation du forage.

2-5) FORAGE QP1

Coupe technique



Tronçon	Longueur (m)	Diamètre ϕ (mm)
Pompe-tête de forage	46.82	50
Canalisation de raccordement	17	63

Profondeur Niveau statique à l'origine : 27.43m

Pompe installée SP16A9

Nous nous en tenons à la valeur de 43 comme profondeur maximum du niveau dynamique. La valeur relevée lors de notre opération de suivi était égale à 42.25.

$$\begin{aligned} \text{HMT}_{\min} &= 43 + 1,4 \cdot 10^{-3} \times (15/3600)^{1,96} \times 46.8 / (0,05)^{5,19} + 10 \\ &= 60\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HMT}_{\max} &= 43 + 1,4 \cdot 10^{-3} \times (8/3600)^{1,96} \times 30.8 / (0,05)^{5,19} + 45 \\ &= 65\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HMT}_{\text{freq}} &= 43 + 1,4 \cdot 10^{-3} \times (11/3600)^{1,96} \times 46.8 / (0,05)^{5,19} + 21 \\ &= 68\text{m} \end{aligned}$$

Les débits dans cette plage de HMT sont compris entre 8 et 14m³/h. Cependant les débits jusqu'ici observés pendant son fonctionnement varient entre 11 et 14m³/h avec un rendement acceptables de 60 à 70 %. Les débits s'approchent de la valeur recommandée.

VII) CONSIGNES D'EXPLOITATION

1) OBJECTIF

Comme toute ressource renouvelable, l'exploitation des eaux souterraines au moyen de forages doit se faire de façon à optimiser et rentabiliser les investissements qu'elle a occasionnés. Une importance particulière doit être accordée sur l'assurance de leur pérennité tant sur le plan de la ressource que sur le plan de l'utilisation.

Les consignes préliminaires d'exploitation précédemment fixées après réalisation des ouvrages ne relèvent que de l'interprétation des paramètres mesurés sur ces derniers à l'état neuf et des hypothèses sur le mode de fonctionnement des ouvrages (pression d'injection de 3.5 bars par exemple) . Ils sont appelés à évoluer dans le temps. Seul un suivi de l'exploitation permet de rendre compte de leur modification et de définir en conséquence les nouvelles consignes qui s'imposent.

Nous présentons dans le tableau suivant les prévisions du projet et les résultats réellement observés. Il nous permettra de mieux élaborer les consignes d'exploitation.

Forage	Prévisions				Réalisation			
	Débit m ³ /h	Volume en m ³ /j	Temps h	HMT en m	Débit m ³ /h	Volume en m ³ /j	Temps h	HMT en m
QP 37	14	100	7.2	54	11.07	120 à 140	10	43 à 60
QP6	14	100	7.2	73	9.92	90 à 120	10	46 à 63
FT18	9	50	5.6	67	10.63	110 à 130	10	50 à 72
FT32	14	100	7.2	50	12.03	110 à 130	10	40 à 65
QP1	10	75	7.5	71	12.57	120 à 150	10	60 à 68

Tableau 9 : comparaison prévision - réalisation

2) VOLUMES EXPLOITABLES ET DÉBITS D'EXPLOITATION

La détermination des débits exploitables est toujours un point de discussion d'autant plus que le mode de fonctionnement des aquifères de socle fracturé est mal connu et difficile à modéliser. Les volumes exploitables sont très difficiles à appréhender.

Quels que soient la méthode et le modèle de calcul appliqués, les résultats doivent être interprétés avec prudence. Seul un suivi des forages pendant leur exploitation permet de vérifier les résultats des essais et hypothèses, et de les ajuster si nécessaire.

Les débits maximums fixés et au delà desquels il y a risque de dénoyer les crépines n'ont jamais été atteints pendant l'exploitation. Seuls les débits de FT18 ont avoisiné la valeur recommandée. Compte tenu de sa variation dans le temps, un débit fixe d'exploitation ne peut pas être avancé. Nous donnons dans le tableau 12 la plage de débits d'exploitation pour chaque forage.

Avec une production maximum plafonnée à 36500 m³ nous constatons avec les données d'exploitation un dépassement. Malgré cette surexploitation apparente les niveaux statiques précédents ont été retrouvés dans la plus part des cas et la recharge des aquifères est satisfaisante. Cependant la baisse de niveau au forage FT32 doit être amoindri au risque d'atteindre des niveaux alarmistes pour lesquels la recharge sera compromise. Les volumes maximums observés depuis la mise en service des ouvrages et qui n'ont pas engendré des rabattements compromettant une bonne réalimentation de la nappe seront choisis comme volume maximum exploitable.

Tout ceci reste subordonné aux précipitations enregistrées. Ainsi pour une pluviométrie avoisinant 600mm on peut envisager un même scénario de recharge que celui qui observé en 1998.

Nous récapitulons dans le tableau12 les volumes que nous recommandons.

3) DURÉE JOURNALIÈRE DE POMPAGE

C'est le facteur le plus important et sur lequel nous pouvons intervenir pour optimiser l'exploitation des forages. Les plages horaires seront choisies de façon à faire coïncider la mise en service des forages aux périodes de faibles pressions dans le réseau (heures de pointe). Nous tiendrons compte des saisons pour la définition des temps de pompage :

- en saison sèche les forages seront exploités avec le maximum de débit admissible
- en saison pluvieuse l'exploitation sera réduite en sollicitant moins la nappe et favoriser ainsi une bonne recharge.

Les durées et les plages horaires pour chaque forage sont consignées dans le tableau12.

4) NIVEAUX DYNAMIQUES MAXIMUMS

Ils doivent être choisis de façon à permettre une remontée de niveau considérable après un pompage journalier. Le calage des électrodes de protection permettra au respect stricte de leur non dépassement. Les électrodes ne doivent pas seulement avoir pour rôle la protection de la pompe contre le dénoyage mais aussi assurer la pérennité de l'ouvrage en mettant en adéquation l'exploitation à la réalimentation. L'électrode basse placée à la cote du niveau dynamique maximum coupe le circuit électrique quand elle est dénoyée. L'électrode haute remettra le groupe de pompage en marche après la remontée du niveau d'eau dans le forage. Nous définissons les cotes de façon à ne pas provoquer un nombre de démarrage important qui risquerait d'endommager le groupe de pompage à la longue. Les cotes des électrodes sont définies comme suit :

cote électrode basse = profondeur niveau dynamique max + 1

cote électrode haute = profondeur niveau statique max + ½ rabatement max

Les valeurs sont consignées dans le tableau10 pour chaque forage.

FORAGE	QP37	QP6	FT18	FT32	QP1
Cote électrode basse	19.7	32.4	33.25	25.7	43.25
Cote électrode haute	16.5	31.05	26.9	21	40.41

Tableau 10 profondeur des électrodes

5) CALAGE DU PRESSOSTAT

Le pressostat installé sur la conduite de refoulement doit déclencher l'arrêt de la pompe lorsque la pression requise pour l'injection dans le réseau nécessite un fonctionnement hors de la zone des rendements optimums. Les pressions correspondantes sont maximums et synonyme d'une bonne alimentation du réseau. Elles sont consignées dans le tableau(11).

Forage	QP37	QP6	FT18	FT32	QP1
Pression limite (bar)	4.5	4.	4.5	5	4.5

tableau 11 pressions maximales admises

Forage	plage de débits m ³ /h	niveau dynamique max admi	horaires de fonctionnement	volume journalier m ³ /j	volume annuel m ³	pompe requise
QP1	11 à 14	45	6h-11h et 14h-20h	130	42000	SP16A9
QP6	12 à 13	39	6h-11h et 14h-20h	130	42000	SP14A10
QP37	9 à 15	23	6h-11h et 14h-20h	120	42000	SP14A10
FT18	10 à 12	36	6h-11h et 14h-20h	120	40000	SP8A25
FT32	11 à 14	29	8h-11h et 15h-20h	130	42000	SP14A10

Tableau 12 : consignes d'exploitation

VII) CONCLUSION

Le renforcement du réseau d'alimentation en eau potable des quartiers périphériques de Ouagadougou à partir des eaux souterraines a été effectué avec une idée originale consistant à injecter les eaux souterraines captées dans le réseau urbain. Il a permis une diminution du déficit ressources-besoins, son impact sur le plan social est considérable. La pérennisation et l'amélioration de l'exploitation des forages sont incontournables pour la sauvegarde des acquis.

Les débits d'exploitation dépendent beaucoup de la pression régnant au point de raccordement. Aux faibles pressions correspondent les gros débits. Les points de raccordement doivent être choisis dans des zones de faibles pressions. Cependant les PIE étudiés n'offrent pas cette possibilité de choix car au droit des forages il ne passe qu'une conduite ϕ 110 sur ^{laquelle} lequel le meilleur raccordement se fait en choisissant le chemin le plus court.

qu'une conduite ϕ 110 sur lequel le meilleur raccordement se fait en choisissant le chemin le plus court.

Les variations de pressions induisent des modifications sur les HMT de pompage donc du régime de fonctionnement des pompes. Sachant que le choix d'une pompe doit se faire de sorte à avoir son point de fonctionnement dans la zone des rendements maximums, nous disons que la pompe SP8A25 du forage QP6 n'est pas adéquate et qu'il faut la remplacer par une pompe de type SP14A10 qui assurerait une meilleure exploitation du forage.

Pour amoindrir de façon considérable le déficit en eau, il est important de faire coïncider périodes de production aux moments de fortes demandes. Un choix judicieux des plages horaires de fonctionnement des forages s'avère indispensable. Les opérations de suivi ont permis de les appréhender et les plages horaires correspondantes sont consignées dans le tableau 12.

IX) RECOMMANDATIONS

Le comportement des forages pendant leur exploitation est souvent mal connu. Seul un suivi régulier des ouvrages et de l'aquifère permet de mieux appréhender leur fonctionnement et l'état des équipements. C'est avec les opérations de suivi qu'on pourra

- vérifier la capacité réelle de production des ouvrages
- assurer une production continue d'eau et de bonne qualité
- vérifier le bon état des équipements
- avoir une idée de la recharge

SURVEILLANCE DES ÉQUIPEMENTS

- En raison des retards importants (jusqu'à 7 heures des fois) souvent observés de l'horloge par rapport à l'horaire normale, il est nécessaire d'y porter un peu plus d'attention afin de réajuster au besoin. La mise en marche automatique par l'horloge de commande en des moments de faibles consommations (la nuit par exemple) constitue une perte.

- La longue durée de contact de la conduite d'exhaure avec l'eau de la nappe peut être à l'origine d'une oxydation du matériau (fer, acier) la constituant. La conduite devient moins

rigide et moins résistante. Si l'oxydation est trop poussée la chute de la pompe peut en résulter. Il est important de vérifier annuellement l'état de la conduite et au besoin la changer pour éviter toute perte de pompe de ce type.

- La vanne placée au refoulement et préconçue pour limiter les débits en cas de dépassement doit être grandement ouverte à défaut de l'enlever car les débits maximums enregistrés sont restés au dessous du maximum admissible.

SUIVI DE L'AQUIFÈRE

- une mesure de niveaux dynamique et statique doit être effectuée en début et en fin de chaque mois pour mieux connaître leur évolution en fonction de l'exploitation et des saisons. Le niveau au repos est mesuré avant la mise en marche de la pompe et celui dynamique est mesuré après un pompage continu d'une durée équivalente à la durée journalière habituelle : 10 à 11h environ.

- suivre les fluctuations de la nappe au cours des saisons au moyen de piézomètre. Il permet de déterminer, connaissant la pluie, l'alimentation.

SUGGESTION

Compte tenu de leur importance et de leur apport considérable dans l'amélioration des conditions d'approvisionnement en eau des populations, il serait d'une grande importance qu'une étude similaire soit menée dans chaque PIE. Les retombées économiques par la minimisation des coûts d'exploitations et le gain en longévité des ouvrages qui en découlent peuvent en valoir de justification.

BIBLIOGRAPHIE

- ANTEA** Alimentation en Eau potable des quartiers de la peripherie de Ouagadougou à partir des eaux souterraines.
Rapport final - Ouagadougou - Février 1997
- BRGM** Alimentation en Eau potable des quartiers de la peripherie de Ouagadougou à partir des eaux souterraines.
Etude de faisabilité - Ouagadougou -
- CIEH** Bulletin de Liaison du Comité Interafricain d'Etude Hydraulique
N°68 Avril 1987
- C.Vincent** Renforcement du Réseau d'Alimentation en Eau potable des quartiers de la peripherie de Ouagadougou à partir des eaux souterraines.
D.A.A Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes
Septembre 1998

ANNEXE1

INTRODUCTION

L'approvisionnement en eau potable de la ville de Ouagadougou est fait à partir des ressources en eau de surface par les barrages n° 1, 2, 3 de Ouagadougou et le barrage de Lumbila. Compte tenu de l'insuffisance et de la précarité de ces ressources, fortement tributaires des aléas climatiques, l'ONEA a développé depuis une dizaine d'années l'utilisation des ressources en eau souterraines.

C'est dans ce cadre que l'ONEA a mis en service 48 postes d'injection d'eau (PIE) en 1996 et 20 en 1998.

Un PIE est une unité d'exhaure et de potabilisation construite au droit ou à proximité d'un forage. Le pompage est assuré par une pompe électrique immergée alimentée en électricité par le réseau urbain. Une injection automatique de chlore protège l'eau contre les contaminations ultérieures. L'eau est alors injectée dans le réseau par l'intermédiaire d'une conduite de refoulement. Trois types d'asservissement régulent le fonctionnement du PIE:

- Deux électrodes dites "haute" et "basse" limitent le fonctionnement de la pompe entre le niveau statique et le niveau dynamique maximal.
- Un pressostat, installé sur la conduite de refoulement déclenche l'arrêt de la pompe lorsque la pression est suffisante le réseau
- Une horloge limite le temps de fonctionnement et permet de programmer la plage horaire journalière la plus favorable d'optimisation de l'ouvrage

L'ensemble de ces asservissements est géré par une armoire de commande placée dans la superstructure du PIE.

Compte tenu de son mode de fonctionnement la pompe est soumise directement aux variations de la pression du réseau de distribution. Son fonctionnement efficace ainsi que l'exhaure maximal des ressources en eau dépend fortement du calibrage de l'asservissement et de la pression du réseau. Ce choix peut conduire, soit à une sous-utilisation du forage ou une surexploitation de la nappe.

Etudes

Les études qui sont demandées consistent à réaliser les tâches suivantes qui ne sont pas limitatives

- Choisir cinq (5) PIE qui seront représentatives des zones de pression et de distribution en mettant l'accent sur les zones chroniquement déficitaires et qui ont des PIE
- Effectuer une étude statistique sur les variations des pressions, les débits et les volumes exhaurés sur chacun des PIE
- Proposer les choix de plages horaires qui optimisent les volumes exhaurés.
- Proposer les compléments d'asservissement si nécessaires et la HMT de pompage pour minimiser les coûts d'exploitation tout en assurant l'exhaure du volume optimal journalier indiqué par l'hydrogéologue.
- Evaluer les coûts d'investissement
- Elaborer succinctement les grandes lignes des consignes d'exploitation.

ANNEXE2

Tableau 9 : Résultats Essai de puits "E-palier"

Forage	date	opérateur	profondeur NS (m)	coef perte de charge		conditions hydrauliques d'exploitation			
				B m ³ /(m ³ /h)	C m ³ /(m ³ /h) ²	Q expl (m ³ /h)	BQ (m)	CQ2 (m)	s (m)
FT32	08/12/95	ANTEA-BRGM	5,64	0,24	0,0026	15	3,6	0,59	4,19
QP37	15/03/96	ANTEA-BRGM	10,25	0,18	0,0002	15	2,7	0,05	2,75
QP1	20/11/95	ANTEA-BRGM	27,43	0,18	0,0033	14	2,52	0,65	3,17
QP6	27/11/95	ANTEA-BRGM	24,37	0,24	0,0022	15	3,6	0,5	4,1
FT18	26/12/95	ANTEA-BRGM	19,3	0,56	0,0113	10	5,6	1,13	6,73

Tableau 10 : Résultats Essai de nappe "E-longue durée"

Forage	date	opérateur	profondeur NS (m)	Pompage longue				limites d'exploitation		
				durée (h)	débit(m ³ /h)	rabat m	Q spé m ² /h	transmis m ² /s	ND max admis (m)	débit max admis (m ³ /h)
FT32	08/12/95	ANTEA-BRGM	5,64	60	12,1	4,87	2,48	6,40E-04	40	25
QP37	12/03/96	ANTEA-BRGM	9,69	60	13,8	4,37	3,16	8,00E-04	25	20
QP1	20/11/95	ANTEA-BRGM	27,43	60	11,2	5,14	2,18	3,00E-04	42	14
QP6	27/11/95	ANTEA-BRGM	24,37	60	11,2	4,58	2,45	6,00E-04	50	25
FT18	26/12/95	ANTEA-BRGM	19,3	60	9,6	8,05	1,19	9,50E-04	37	10

ANNEXE 3

Feuil1

Débit moyen du FORAGE QP37												
jour	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
1	12,4	12,7	12,5	11,8	10,6			10,24			11,4	13,6
2	11,8	10,4	11,9	12,5	13,5	8,9	13,5	12,4			11,4	14,0
3	11,5	12,1	12,5	12,8	13,5	10,9	13,7				11,9	8,5
4	12,1	11,5	14,0	12,6	13,6	15,2	13,3				8,9	8,5
5	16,0	12,0	9,9	12,7	11,2	8,4	12,4				11,4	8,5
6	9,1	12,9	12,0	12,8	14,2	7,6	6,9				11,5	8,5
7	13,2	11,9	11,2	11,6	13,7	13,1	13,3				11,5	10,8
8	14,5	11,9	11,1	12,8	16,5	16,6	10,3				13,5	11,2
9	11,1	12,2	11,3	13,5	12,0	9,2	10,8				13,0	16,0
10	9,5	11,1	16,0	9,8	11,5	10,9	11,3				0,0	10,5
11	14,2	12,9	9,0	8,7	15,4	16,0	11,3				0,0	10,5
12	12,5	12,2	9,4	8,7	15,6	9,8	11,3				11,5	10,5
13	9,1	12,6	14,9	8,7	14,5	10,2	16,0				8,1	10,6
14	12,1	13,7	15,0	8,7	11,7	11,2	12,3				8,1	10,5
15	12,1	12,3	14,8	10,8	12,8	12,6	10,0				8,1	10,2
16	14,7	9,4	10,5	12,3	11,9	11,0	11,0			11,7	8,1	13,6
17	14,8	4,9	12,5	9,0	12,8	13,7	11,6			11,7	8,1	16,0
18	14,7	10,6	12,2	9,1	10,3	12,4	11,8			12,0	11,1	10,5
19	9,8	13,3	12,6	9,1	16,0	5,3	12,0			8,9	11,1	10,3
20	8,2	11,3	13,6	10,2	14,5	13,0	6,0			9,1	11,1	10,3
21	12,0	11,3	11,1	13,1	13,5	13,3	10,4			10,1	11,1	10,8
22	11,3	7,2	12,7	14,7	16,6	12,1				11,2	11,1	10,8
23	12,6	7,2	13,0	7,2	17,0	10,9				11,1	11,1	10,9
24	12,4	14,1	12,5	14,4	10,0	10,7				11,1	11,1	10,8
25	11,5	14,1	12,2	14,5	16,3	12,2				11,4	11,1	10,8
26	11,9	9,3	12,8	14,4	13,1	11,5				11,3	11,1	12,4
27	13,2		12,8	15,4	11,8	11,5				11,6	11,1	12,4
28	12,8		11,7	15,0	12,3	12,4				10,4	11,1	12,4
29	11,1		13,2	13,5	12,3	11,5				10,3	11,1	12,4
30	12,3		13,6		12,3					12,2		12,8
31					12,3					0,0		12,1

Feuil1

Débit moyen (m3/h) du FORAGE QP6												
jour	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
1	10,08	8,92	10	9,5	10,73	10,5	12,00	9,92		6,75	8,05	9,80
2	9,17	9,55	10,5	7,54	10,63	10,14	9,86	9,80		6,75	8,05	8,80
3	11,00	9,78	10,77	12,00	12,00	9,64	9,83	8,00		6,75	11,52	9,36
4	10,08	10,46	10,15	10,89	12,00	11,58	9,83	8,00		6,75	11,52	8,13
5	11,36	10,70	10,46	10,89	9,80	9,18	9,64	8,00		7,6	11,52	10,25
6	9,40	10,83	11,08	10,69	9,13	9,87	9,62	11,60		13,4	9,32	7,20
7	10,23	9,59	10,31	12,00	8,00	11	9,38	10,71	9	8,2	9,32	6,42
8	10,62	9,54	10,31	12,00	9,37	12,00	9,73	10,71	9,4	9,38	10,00	12,13
9	12,31	11,75	9,88	12,00	10,00	8,00	9,00	10,71	9,8	10,3	8,60	12,00
10	10,31	10,07	10,75	11,50	9,19	8,73	11,00	10,40	9,6	10,7	7,00	9,38
11	7,23	9,79	9,62	10,50	11,69	12	9,50	7,60	9,75	14,4	9,00	8,33
12	12,83	9,85	11,33	12,00	10,10	12	6,75	13,70	9,75	8,625	7,30	8,67
13	7,30	9,85	9,64	7,46	10,10	12	12,00	13,70	10	7,78	3,80	12,17
14	10,08	9,85	9,57	9,70	9,31	8,00	8,50	13,70	9	7,5	5,50	5,63
15	10,15	9,85	9,57	11,00	10,62	9,5	10,94	13,70	9,8	9,2	5,60	5,63
16	10,38	10,42	12,00	5,13	12,00	9,73	10,83	10,50	9,4	6,1	12,21	9,10
17	10,38	9,46	10,14	12,00	10,38	9,56	12,00	9,17	12,5	6,1	12,21	10,00
18	10,38	9,85	10,23	12,00	11,75	10	10,00	10,60	9	6,1	12,21	9,21
19	9,73	10,67	11,5	12,00	9,23	10,57	11,20	10,40	9	8,9	12,60	9,21
20	10,19	11,36	14	10,00	11,00	10,43	12,00	9,40	9	8,5	10,25	9,21
21	10,00	8,33	8,81	9,77	11,00	10,29	12,00	9,60	7,6	12	10,25	6,61
22	10,00	11,36	11,54	9,38	10,92	9,5	9,71	9,60	3	15	10,25	6,61
23	10,00	8,64	10,38	8,15	11,06	9,71	4,60	12,00	11,4	9,08	8,50	6,61
24	10,30	9,92	9,62	12,00	11,06	9,25	4,80	10,20	7,6	9,08	9,45	11,57
25	10,30	9,85	12,00	12,00	10,54	10	9,75	11,20	0	9,08	9,45	11,57
26	10,54	9,79	11,71	12,00	10,77	9,9	12,00	1,80	0	9,25	9,11	8,92
27	10,85		12,00	10,77	12,00	9,9	7,00	14,33	12,00	9,25	9,09	8,92
28	10,44		7,38	10,69	12,00	9,9	12,20	9,40	10	9,56	8,82	8,92
29	9,75		7,85	9,70	12,00	9,67	11,00	9,40	12,00	12	10,36	8,92
30	10,64		13		12,00		5,67	5,60	9,4	7,00		8,92
31					12,00		10,40	15,50				10,12

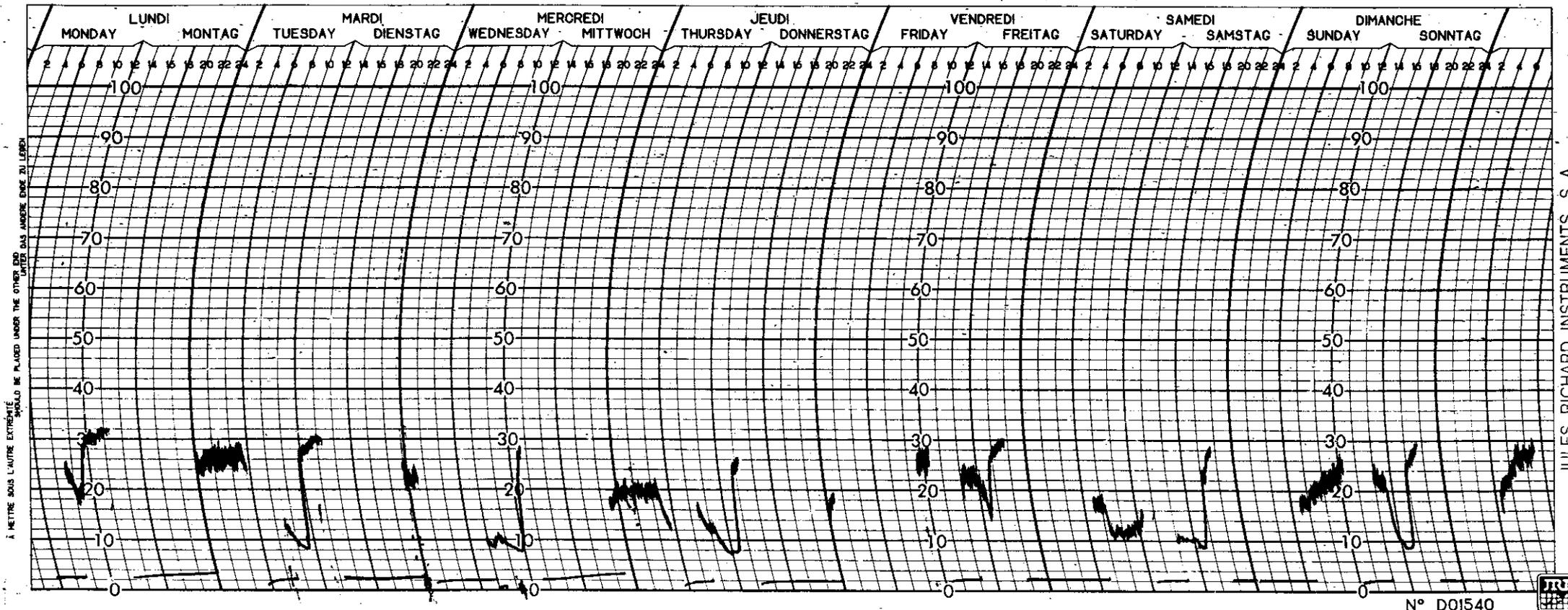
Débits moyen(m3/h) du forage ft18												
jour	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
1	11,77	10,31	10,8	12,18	11,38		12	10	10,27	10,24	10,04	11,5
2	10,09	9,93	11,3	10,92	11,29	10,33	12,00	10	10,27	10,24	10,04	12,2
3	10,29	10,85	11,3	12,5	10,85	11	8,00	11	12,2	10,24	10,06	9,11
4	11,00	10,38	10,8	10,5	13,43	10,92	9,00	11	8,8	10,24	10,06	9
5	11,46	11,25	10,4	10,5	11,46	10,46	10,46	11	11,12	10,60	10,06	8,1
6	10,19	10,50	11,6	12,00	10,54	10,64	10,85	10	11,12	13,20	10,72	11
7	10,33	10,65	10,6	11,25	11,46	11,62	12,00	10,53	10	7,60	10,72	12
8	12,00	10,62	10,2	11,15	11,56	9,33	8,00	10,53	10,4	10,31	10,5	12
9	9,07	10,41	12,5	12	11,69	10,5	10,21	10,53	9	12,70	10,6	12
10	8,67	12,13	11,4	11,29	11,64	11,15	11,25	11,2	10,6	12,20	10,25	12
11	12,00	7,69	10,7	11,57	11,5	9,77	11,25	8,5	10,2	7,79	13,9	12
12	12,00	8,00	10,8	10,77	10,92	10,5	9,85	12	10,2	10,20	11,1	12
13	8,89	12,58	12,0	10,77	10,92	10,69	11,93	9,2	10,4	10,70	7,54	12
14	10,20	12,42	12,1	7,78	11,15	10,15	11,69	10	11,2	10,40	10,00	6,4
15	11,67	12,00	11,2	11,62	12	10,31	9,5	12,5	10	10,40	10,90	6,4
16	11,92	7,70	10,9	11,92	11,33	10,38	11,4	9,8	10,8	14,00	10,53	12,00
17	11,92	10,17	19,7	12,00	10,17	11,15	11,40	10,33	12,00	10,01	10,53	10
18	12,00	10,42	10,9	12,00	11,2	10,69	11,4	10,4	9,67	10,01	10,53	8,9
19	6,31	7,56	6,6	12,67	12,33	11,23	11,6	12	9,67	10,01	10,10	8,9
20	10,61	9,67	9,9	11,54	10,5	10,85	11,6	12	7	10,01	11,00	8,9
21	10,82	9,67	12,0	16,6	10,44	12	8,6	10,75	9	10,01	10,36	11,19
22	9,21	10,42	12,0	14,5	11,15	8,65	11	11	10,8	10,01	10,36	11,19
23	10,89	10,75	10,6	12,00	11,88	10,31	10,2	8,8	10	10,10	10,55	11,19
24	10,93	9,69	11,7	9,7	11,88	11,25	10,6	10,4	10,6	11,20	10,08	10,3
25	10,93	10,00	12,5	9,7	11,15	10,57	11,2	10,4	10,2	11,00	10,08	10,3
26	12,00	11,67	12,0	9,7	11,92	10,81	11,25	12	12	12,75	10,73	10,84
27	13,69	9,25	12,0	11,54	11,48	10,81	11,46	3,5	8,2	10,00	10,91	10,84
28	8,63	9,33	8,1	14	11,48	10,81	11,46	11	12,4	10,82	11,45	10,84
29	11,71		12,9	12	11,48	12	11,46	10,4	11,8	12,00	8,00	10,84
30	10,47		9,0		11,48	8,05	12	11,4	10,2	8,82	8,00	10,84
31					11,48		11,4	9,6				10,75

Feuil1

Débit moyen (m3/h) du FORAGE QP1												
jour	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
1	12,46	8,54	13,23	16,08	15,62		8,54	8,00	14,40	14	12,10	17,60
2	11,4	11,54	13,86	14,62	14,00	11,23	11,46	10,40	12,43	13,8	11,00	14,90
3	12,45	11,25	13,79	14,64	15,92	10,23	8,18	12,67	15,40	13,6	12,36	7,87
4	12,15	12,54	12,38	13,77	10,36	13,92	16,00	12,60	16,00	11,5	11,82	14,00
5	12,54	14,00	13,54	15,00	16,00	11,50	10,77	12,60	16,00	14	10,38	12,44
6	10,31	12,23	12,67	14,82	13,31	13,14	11,15	11,00	7,22	14,4	11,42	12,60
7	11,62	12,23	12,67	13,08	15,62	12,77	11,62	13,80	14,40	11,4	11,42	13,10
8	12,92	12,31	14,77	14,00	11,25	10,50	10,86	13,80	14,20	11,4	13,00	13,80
9	11	8,67	15,67	12,55	15,54	10,50	12,31	11,83	6,57	11,4	11,60	9,73
10	13,46	13,88	11,85	12,71	16,00	12,77	13,75	13,00	13,60	11,4	13,88	13,11
11	14	10,59	12,46	13,21	14,08	9,57	12,77	10,83	13,25	11,4	11,60	13,11
12	13,31	12,38	12,42	13,31	14,29	12,27	11,69	14,00	10,60	9,5	11,80	13,54
13	13,31	11,46	16,00	14,00	13,75	10,85	16,31	9,83	11,00	9,44	11,43	13,33
14	8	11,54	16,10	8,58	14,46	11,15	13,23	13,00	13,80	9,4	16,00	13,54
15	12,08	11,69	13,23	13,23	11,46	11,08	11,79	13,00	11,20	9,4	16,10	12,20
16	11,62	12,85	8,57	12,77	11,46	11,54	11,67	11,00	12,00	12,7	11,92	12,90
17	11,54	10,38	12,71	15,38	11,92	5,54	16,00	13,17	14,20	12,7	11,82	12,06
18	13,64	11,47	13,46	15,38	16,15	8,54	13,17	14,60	11,80	12,8	10,33	13,70
19	14,17	11,07	12,00	10,00	16,54	16,00	17,50	13,00	9,83	13,6	11,00	13,60
20	11,24	11,27	15,83	15,38	14,07	12,77	9,60	13,60	11,80	14,2	13,29	13,60
21	12,89	9,88	14,62	15,31	14,07	12,85	9,60	12,80	14,20	13,9	13,36	12,30
22	11,62	12,23	15,00	14,46	16,08	11,13	10,00	13,00	13,20	16,00	13,36	12,30
23	11,33	11,38	16,67	11,94	15,23	11,77	11,17	9,29	14,20	11,43	14,90	12,30
24	13,92	11,31	14,77	14,95	14,14	12,00	13,40	14,00	14,20	12,57	10,91	12,57
25	11,13	12,31	9,95	14,95	15,08	12,57	16,00	16,00	11,00	11,43	10,00	12,57
26	12,42	10,29	14,50	14,95	14,62	13,33	15,50	13,40	9,17	13,4	12,00	13,40
27	13,15		15,00	14,38	14,09	13,33	15,60	8,00	12,20	8,57	10,15	13,40
28	14,5		14,45	15,38	14,55	11,50	14,60	14,00	11,40	12,44	9,69	13,40
29	16,08		13,54	15,00	15,79	12,31	15,20	14,00	15,00	11,5	15,23	13,40
30	12,92		16,17		14,80		9,83	14,40	10,67	5,39		13,80
31					14,80		5,22	10,29				13,44

Débit moyen (m3/h) du FORAGE PEA11												
jour	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
1	13,5	0,0	8,5	14,4	14,4	0,0	0,0	9,8	0,0	13,0	12,8	18,1
2	16,3	10,9	13,0	14,5	15,0	16,7	7,3	9,8	0,0	13,0	12,8	17,1
3	14,4	12,2	12,5	16,6	13,8	12,8	8,5	0,0	0,0	13,0	14,5	9,6
4	14,3	12,5	14,7	14,5	10,6	11,9	7,9	0,0	0,0	13,0	14,0	15,9
5	14,0	13,2	13,2	14,5	12,9	10,3	8,6	0,0	0,0	16,2	13,4	14,1
6	12,5	14,0	12,5	15,2	13,9	8,8	7,1	0,0	0,0	13,2	13,8	13,0
7	12,9	13,5	14,7	16,4	13,6	13,1	9,8	0,0	0,0	14,8	13,8	13,9
8	14,0	10,5	12,4	14,8	10,2	5,6	9,0	0,0	0,0	15,0	17,2	14,1
9	12,0		13,2	16,0	14,5	9,1	8,3	0,0	0,0	12,5	16,6	15,0
10	11,9		11,2	15,1	15,3	12,5	8,8		0,0	12,2	8,3	11,9
11	12,1	11,7	11,6	14,5	10,8	16,0	8,8	9,5	0,0	10,6	13,7	11,9
12	15,3	12,2	13,8	14,5	10,9	11,5	9,2	9,5	0,0	11,3	14,7	11,9
13	14,6	11,7	11,5	14,5	9,2	12,4	10,0	9,5	0,0	10,9	9,6	12,0
14	14,3	10,8	10,6	11,4	11,7	13,2	13,0	9,5	0,0	16,7	13,6	10,6
15	6,1	11,7	10,9	11,7	12,8	10,0	11,0	9,5	0,0	16,7	9,5	10,7
16	15,1	0,0	12,2	13,8	12,9	11,4	9,5	9,5	0,0	12,7	9,5	12,9
17	15,2	0,0	11,7	16,1	12,9	18,0	10,4	9,5	0,0	12,7	9,3	13,2
18	15,1	6,2	11,5	16,1	12,4	12,3	5,6	9,5	0,0	12,7	9,4	13,1
19	12,8	7,1	12,1	13,6	15,3	14,2	10,0	9,5	0,0	12,8	13,6	13,1
20	13,6	6,8	12,2	12,3	12,0	0,0	10,2	8,1	0,0	13,0	10,3	13,8
21	11,8	5,9	11,5	13,2	11,2	0,0	0,0	0,0	0,0	13,3	13,7	13,8
22	13,6	5,8	14,2	16,0	12,9	0,0	0,0	0,0	0,0	10,4	13,7	14,0
23	14,2	5,6	9,8	9,7	11,7	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	16,4	13,7
24	14,0	7,4	12,5	14,1	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	13,7	13,7
25	14,0	8,0	14,5	14,1	15,1	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	13,7	12,5
26	14,2	10,6	13,5	14,1	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	13,3	13,0	12,5
27	14,1		5,9	14,8	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2	11,5	12,5
28			6,4	14,8	12,3	0,0	0,0	0,0	0,0	14,8	10,5	12,5
29	12,6		11,7	15,1	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,4	10,5	12,5
30	12,6		14,0	15,1	10,8	0,0	0,0	0,0	0,0	12,3		12,5
31					11,5				0,0	12,3		

ANNEXE4

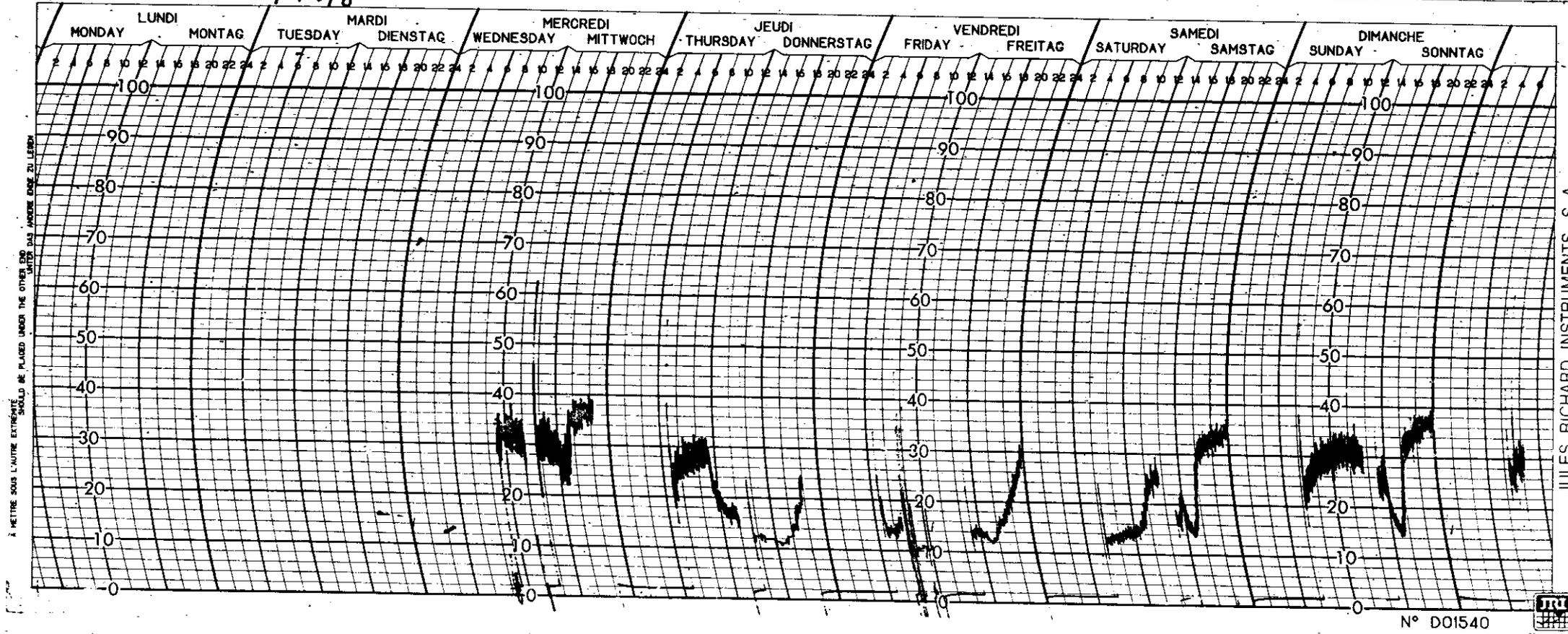


N° DO1540

JULES RICHARD INSTRUMENTS S. A.

Forage QP 6

FT 18



A METRE SOUS L'AUTRE EXTREMITE...
SHOULD BE PLACED UNDER THE OTHER END
UNTER DAS ANDERE ENDE ZU LEGEN

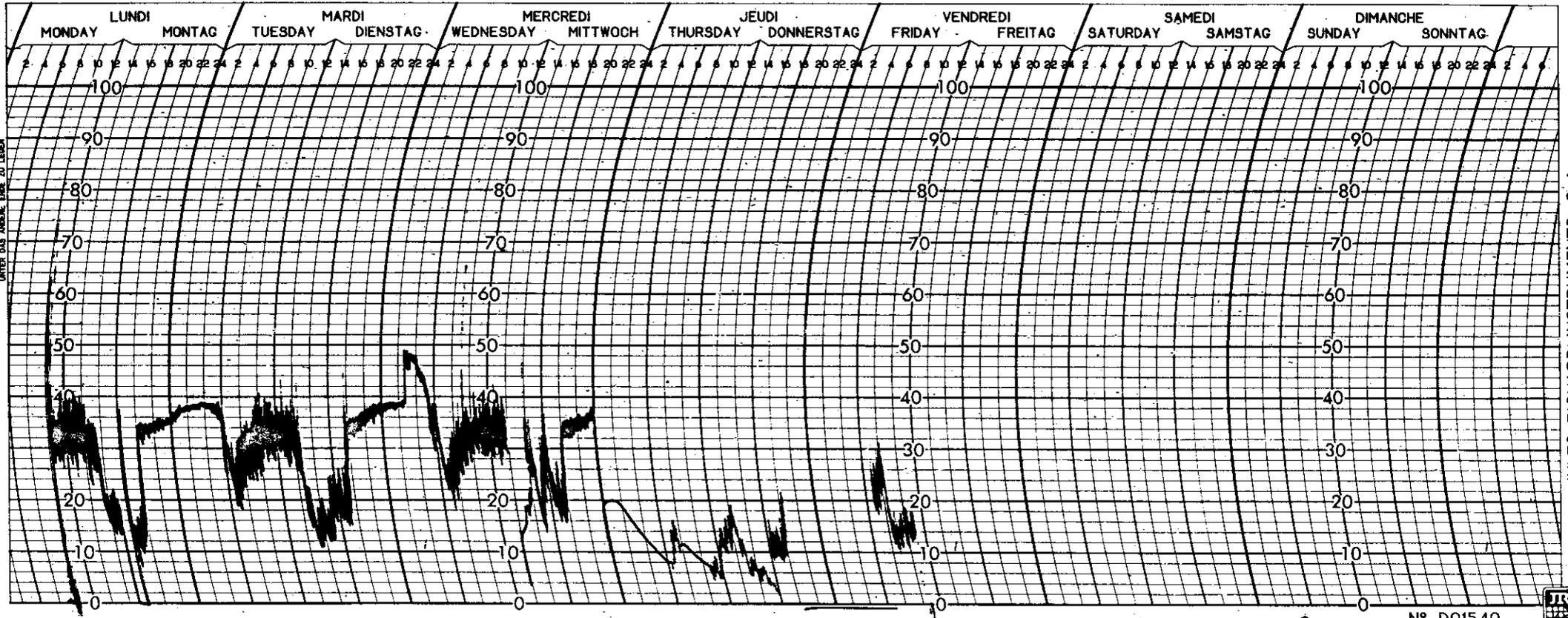
JULES RICHARD INSTRUMENTS S.A

N° D01540



Forage FT 18

A METRE SOUS L'AUTRE ESTIMATION SHOULD BE PLACED UNDER THE OTHER OR
UNTER DAS ANDERE ERNE ZU LESSEN



N° D01540



JULES RICHARD INSTRUMENTS S.A.

Forage FT 32

ANNEXE5

FT18

Date	Heure	Compteur volume m3	Sonde électrique m	Manomètre bar	temps de pompage mn	Volume pompé	Débit moyen m3/h
Vendredi	7h30	42,66	20,94				
	8h00	47,4	29,9	2,7	30	4,735	9,47
	8h30	52,9	30,96	3,2	30	5,5	11
	9h00	58,3	30,88	3,2	30	5,4	10,8
	9h30	63,6	30,97	3,3	30	5,3	10,6
	10h00	69	30,98	3,3	30	5,4	10,8
	10h30	74,3	31,08	3,2	30	5,3	10,6
	11h00	79,7	31	3,4	30	5,4	10,8
	11h30	84,9	31	3,4	30	5,2	10,4
	12h00	90,3		3,3	30	5,4	10,8
	15h00	122,1	31,34	3	30	5,3	10,6
	15h30	127,2	31,78	2,4	30	5,1	10,2
	16h00	130,9		2,6	30	5,55	11,1
	16h30	135,9	32,11	2	30	5,77	11,54
	17h00	140	32,23	1,9	30	5,125	10,25
	17h30	145,8	32,53	1,8		5,8	11,6
	18h15	154,22	32,4	1,7	30	5,615	11,23
Samedi							
			20,92				

FT32

Date	Heure	Compteur volume m3	Sonde électrique m	Manomètre bar	temps de pompage mn	Volume pompé m3	Débit moyen m3/h
Vendredi	8h00	701,05	12,15				
	8h30	706,1	15,13	4	28	5,05	10,82
	9h00	712,5	15,4	4	30	6,4	12,8
	9h30	717	15,45	4,1	30	4,5	9
	10h00	723,4	15,6	4,1	30	6,4	12,8
	10h30	727,4	15,78	4	30	4	8
	11h00	733,7	15,72	4	30	6,3	12,6
	11h30	738,1	15,77	4	30	4,4	8,8
	12h00	744	15,75	3,8	30	5,9	11,8
	15h00	776,7	16,38	3,8	180	32,7	10,9
	15h30	781	16,68	3,8	29	4,3	8,6
	16h00			3,8			
	16h15	786,3	16,64	3,8	45		
	16h30	792,2	16,55	3,7	30	5,9	11,06
	17h00	798	16,69	3,8	30	5,8	11,6
17h30	804		3,8	30	6	12	
Samedi 19/05/99		20,92					

QP1

Date	Heure	Compteur volume m3	Sonde électrique m	Manomètre bar	temps de pompage mn	Volume pompe m3	Débit moyen m3/h
11-mai	7h30	318,5	38,87	2,4			
	8h00	325	39,53	2,8	30	4,735	9,47
	8h30	331	39,77	2,6	30	5,5	11
	9h00	337,7	39,85	2,5	30	5,4	10,8
	9h30	344,1	40,02	2,4	30	5,3	10,6
	10h00	350,1	40,13	2,7	30	5,4	10,8
	10h30	356,1	40,15	2,8	30	5,3	10,6
	11h00	362,1	40,23	2,6	30	5,4	10,8
	11h30	368	40,31	2,4	30	5,2	10,4
	12h00	373	40,37	2,8	30	5,4	10,8
	15h00	410	40,91	3		5,3	10,6
	15h30	417	40,98	2,4	30	5,1	10,2
	16h00	423	41,15	2,6	30	5,55	11,1
	16h30	431,6	41,41	2	30	5,77	11,54
	17h00	439,55	41,52	1,9	30	5,125	10,25
	17h30	446,95	41,64	1,8		5,8	11,6
18h00	455,06	41,77	1,7	30	5,615	11,23	
Samedi			20,92				

QP6

		m3	m		mn	m3	m3/h
Mardi	7h40	89222,37	26,87	2,5			
18/05/99	8h10	89227,8	29,43	2,5	30	4,7	9,4
	8h40	89231,2	29,65	2,8	30	4,6	9,2
	9h10	89236,7	29,77	2,7	30	4,5	9
	9h40	89241,1	29,86	2,9	30	4,5	9
	10h10	89245,06	29,89	2,8	30	4,5	9
	10h40	89250,01	29,94	2,8	30	4,5	9
	11h10	89254,8	29,97	2,8	30	4,4	8,8
	11h40	89258	30,01	2,8	30	4,4	8,8
	12h10	89263,65	30,09	2,3	30	4,5	9
	15h40	89294,2	30,3	2,2	30	4,5	9
	16h10	89303,2	30,32	1,9	30	4,6	9,2
	16h40	89307,8	30,4	1,5	30	4,6	9,2
	17h10	89312,6	30,5	1,4	30	4,8	9,6
	17h40	89317,3	30,57	1,3	30	4,7	9,4
	18h10		30,62		30		
Mercredi			27,01				
19/05/99							

QP37

		m3	m		mn		m3/h
19-juin	8h00	161	14,13				
	8h30	166,6	16,27	3,2	30	5,6	11,2
	9h00	172	16,46	3,3	30	5,4	10,8
	9h30	178	16,6	3	30	6	12
	10h00	184	16,71	3	30	6	12
	10h30	189,2	16,79	3,2	30	5,2	10,4
	11h00	194,9	16,85	3,1	30	5,7	11,4
	11h30	200,4	16,92	3,2	30	5,1	10,2
	12h00	206	16,95	3,1	30	5,6	11,2
	12h30	211,8	17,01	3,1	30	5,8	11,6
	13h30	223	17,07	3,1	30		11,2
	14h0	228,6	17,11	3,1	30		11,2
	14h30	234,3	17,19	3,1	30	5,7	11,4
	15h	239,9	17,31	2,9	30	5,6	11,2
	15h30	246	17,42	2,8	30	6,1	11,2
	16h	252,2	17,45	2,8	30	6,2	12,4
	16h30	258,4	17,58	2,6	30	6,2	12,4
17h0	264,5	17,67	2,4		6,1	12,2	
17h30	268,6	17,75	2,4		6,2	12,4	
20-juin			14,28				