

Chapitre 3 Contenu du projet

Chapitre 3 Contenu du projet

3-1 Objectifs du projet

L'alimentation en eau de la ville de Djibouti, capitale de la République de Djibouti, dépend des eaux souterraines de la nappe de Djibouti. La progression de la salinisation des forages existants construits sur la nappe de Djibouti due à une disposition concentrée et au pompage excessif a été confirmée, la qualité de l'eau courante se dégrade depuis longtemps. Les résultats de l'analyse de la qualité de l'eau et les données de qualité d'eau antérieures laissent supposer que la salinisation de l'eau va encore progresser, c'est pourquoi une utilisation des eaux souterraines durable par conservation de la nappe de Djibouti, l'amélioration de la qualité et la stabilité du service sont requis.

Le Gouvernement Djiboutien a établi un Plan d'action pour l'alimentation en eau de Djibouti à cet effet. Ce plan d'action, subdivisé en plan d'action à réaliser dans l'année ou les deux années à venir, et plan d'action à réaliser à moyen terme, a pour objectifs l'amélioration de la qualité de l'eau, l'assurance des ressources en eau et la restructuration de l'organisme d'exécution. Le présent projet a pour objectif l'utilisation durable et la conservation de la nappe de Djibouti, par l'amélioration de la qualité de l'eau moyennant la construction de nouveaux forages, le remplacement de forages existants et l'ajustement de volume de pompage des forages productifs, pour réaliser l'objectif de "Gestion et conservation de la nappe de Djibouti" placé comme premier objectif dans le plan d'action d'urgence.

3-2 Concepts de base du projet

3-2-1 Fluence de définition des concepts de base du projet

L'utilisation à long terme et la conservation de la nappe de Djibouti, qui est l'objectif de ce projet, est défini sur la base des concepts de base suivants.

- | | |
|---|---|
| (1) Objectif du projet: | Le présent projet vise la conservation de la nappe de Djibouti dont la salinisation progresse et son utilisation durable; il ne vise pas l'augmentation du volume d'eau fourni. |
| (2) Portée de la coopération: | Les installations requises pour l'amélioration de la qualité de l'eau seront construites par la partie japonaise, et la partie djiboutienne assurera la gestion du pompage et le contrôle de la qualité de l'eau par la suite. |
| (3) Taille et niveau des installations du projet: | Le projet de prise d'eau ne dépasse pas le volume admissible de prise d'eau maximum de 15 millions de m ³ /an, et la taille et le niveau des installations seront définis de manière à permettre à l'organisme d'exécution d'assurer la gestion et l'entretien appropriés avec sa situation financière actuelle. |
| (4) Utilisation des existantes: | Le plan d'exécution des travaux de construction sera établi en évitant autant que possible toute influence sur les installations existantes. Les forages productifs existants, les canalisations d'amenée existantes et les installations électriques ne posant pas de problème technique seront utilisées. |
| (5) Définition de la teneur du projet: | La teneur de l'ensemble du projet sera définie sur la base des résultats de l'étude technique qui sera conduite suivant le schéma d'organisation d'étude technique suivant. |

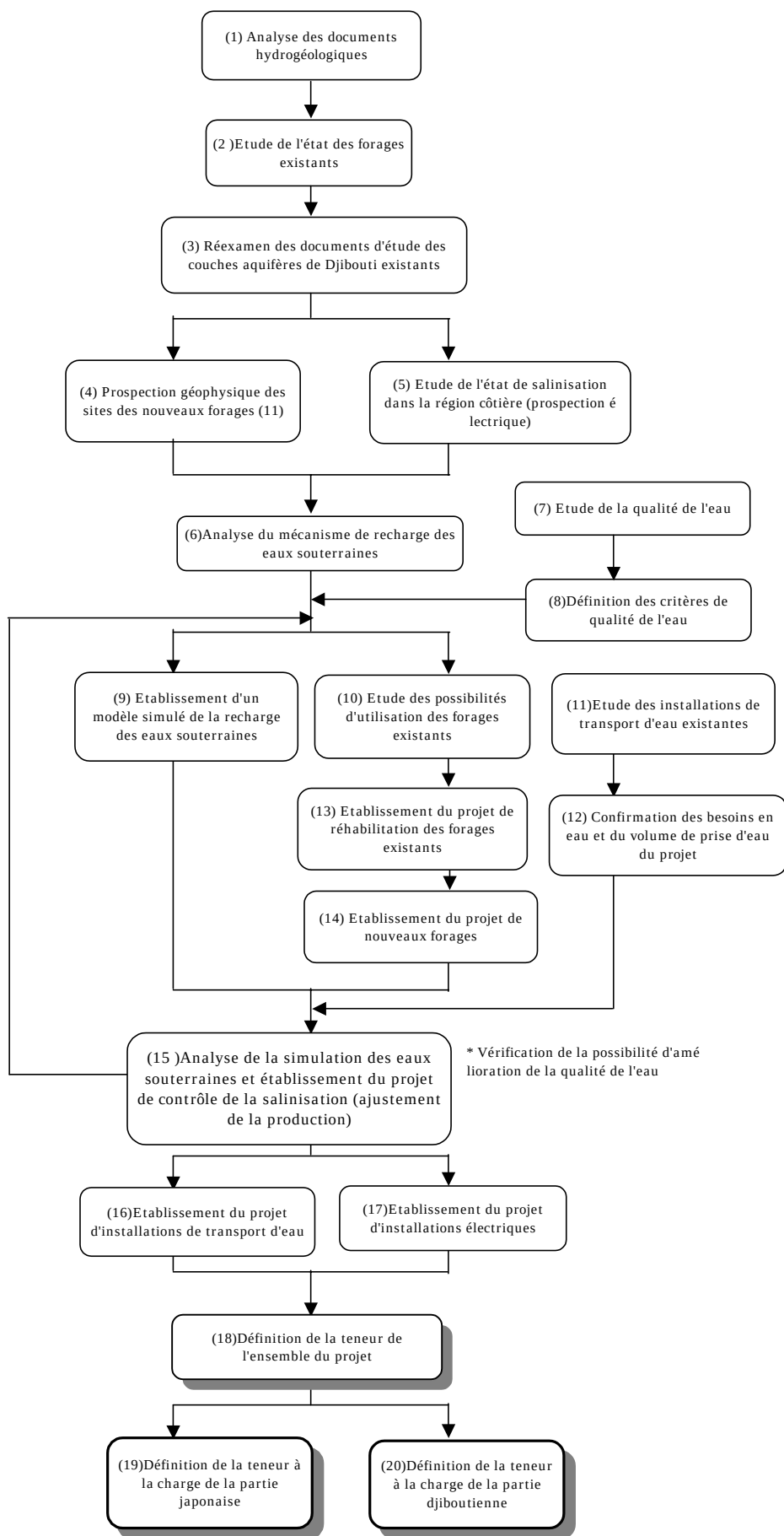


Fig. 3.1 Flux d'établissement et exécution du projet

3-2-2 Etude des sites prévus pour les forages

(1) Résultats de l'étude des eaux souterraines

Les photos aériennes, les résultats de la prospection électrique, les résultats de la prospection VLF ont permis de vérifier que les sites prévus pour les nouveaux forages et les sites des forages à remplacer étaient avantageux du point de vue de la recharge des eaux souterraines; et les valeurs similaires aux résultats de la prospection géophysique réalisées antérieurement confirmées permettent de les juger prometteurs du point de vue du volume d'eau.

(2) Jugement à partir de l'interprétation des photos aériennes

L'interprétation des photos aériennes n'a pas permis de vérifier l'existence d'un oued de grande envergure ou d'une faille aux environs des sites de forages dans la zone de Godchabel, mais beaucoup de petits oueds et une infinité de linéaments y ont été observés. Par ailleurs, l'oued de Deydey, situé aux environs des sites de forages de la zone de Gegada, a une tranche en ligne droite qui était vraisemblablement une faille, et est jugée prometteuse pour la recharge des eaux souterraines de la nappe.

(3) Jugement d'après les résultats de la prospection électrique

Les résultats des prospections géophysiques effectuées antérieurement donnent un indice de résistivité de 20 – 100 Ω m pour la couche aquifère, dont une couche à faible résistivité (grosso modo inférieure à 20 Ω m) continue dans la majeure partie de la nappe de Djibouti est considérée être la base.

La plupart des mesures des résultats de la prospection électrique confirment l'existence de cette base à faible résistivité, et coïncident avec les résultats des prospections géophysiques antérieures. Compte tenu des erreurs de mesure et de la précision d'analyse, la plage de résistivités de la couche aquifère de 20 – 200 Ω m environ ne présente pas de grandes différences, ce qui permet de penser que la plupart des sites candidats pour les forages requis cette fois-ci sont prometteurs.

(4) Résultats de la prospection VLF

Les linéaments cachés sous la surface parmi les fractures détectées lors de la prospection VLF n'ont pas pu être observés sur les photos aériennes. Les résultats de la prospection VLF montrent qu'il existe plusieurs linéaments aux environs des sites de forage requis par la partie djiboutienne, ce qui laisse espérer des zones fracturées à proximité des sites prévus, qui sont jugés prometteurs.

3-2-3 Possibilités d'utilisation des forages existants

(1) Conception de l'utilisation des forages existants

Les résultats des analyses de qualité de l'eau n'ont pas permis de vérifier la présence de substances affectant la santé indiqués dans les Grandes lignes sur l'eau potable de l'OMS, mais les valeurs mesurées pour les substances concernant le goût comme la minéralisation totale (TDS), le sodium, dépassent les valeurs cibles de ces grandes lignes. Les forages situés dans la région côtière dépassent les valeurs recommandées dans les grandes lignes pour les substances concernant le goût, et elles augmentent au fil des années. L'analyse de la qualité de l'eau et l'étude par prospection géophysique permettent de conclure que cette tendance ascendante est causée par la salinisation

des eaux souterraines. Il a été confirmé sur certains forages existants que cette tendance était aussi en corrélation avec le pompage excessif. Par conséquent, pour éviter l'utilisation de forages dont la réduction de la salinisation n'est pas à escompter, les forages existants seront utilisés en ajustant leur volume de pompage.

Les forages productifs actuels construits des années 60 aux années 70 utilisent des tuyaux en acier, et des études antérieures ont montré la corrosion des tubages et crépines, l'adhérence de calamine et des dommages. En particulier, la corrosion des forages construits dans les années 60 les met pratiquement à la fin de leur vie de service, et ils devraient être renouvelés ou abandonnés.

Sur le plan de l'environnement, il y a des décharges de ferrailles dans les zones de Nagad et Balbala, et une partie des forages existants est située dans ces zones. L'influence de la pollution due aux batteries ou huiles évacuées des voitures particulières ou poids lourds etc., mais comme le transfert ou l'élimination de ces décharges de ferrailles ne sont pas prévus dans l'avenir, il faudrait fermer les forages existant dans ces zones.

Vu les points ci-dessus, l'évaluation des forages productifs existants se fera par (1) résultats de l'analyse de l'eau, (2) état de la structure du forage, (3) problèmes liés aux opérations et maintenance et (4) problèmes du point de vue environnemental.

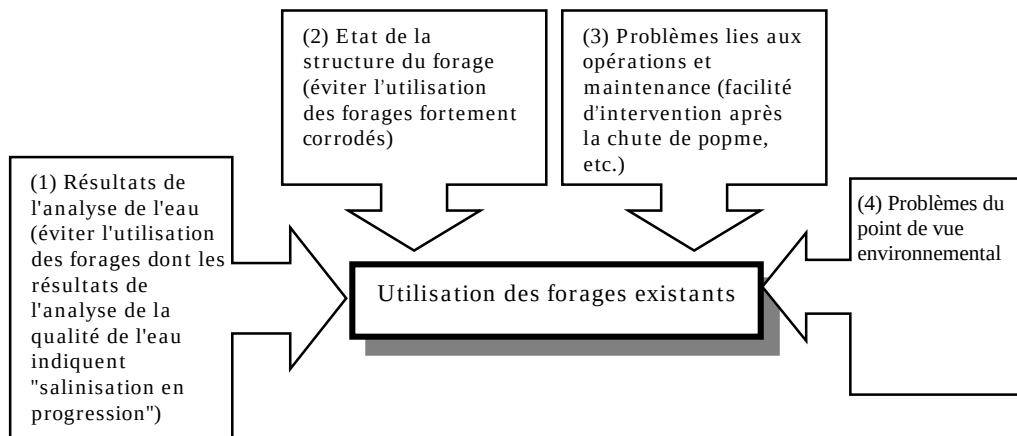


Fig. 3.2 Abrégé de l'évaluation de l'utilisation des forages existants

(2) Résultats de l'évaluation d'utilisation pour les forages existants

Le Tableau 3.1 compile les résultats des évaluations des forages existants sur les bases ci-dessus.

Tableau 3.1 Evaluation des forages existants (1/2)

N de forage	Evaluation de la qualité de l'eau				Evaluation de la structure				Evaluation du point de vue d'opérations et de maintenance		Evaluation environnementale		Demande de l'ONED	Jugement global	Remarques
	Teneur totale en sel dissous (mg/l)	TDS (mg/l)	Etat	Jugement	Année de construction	Matériau	Etat	Jugement	Etat	Jugement	Etat	Jugement			
1 RG1	1,957	1,999	Salinisation avancée	Fermeture	1965	Tuyaux en acier		Fermeture			Facilement influencé par les liquides rejetés	Fermeture		Fermeture	Tendance à la salinisation, les TDS sont supérieures à 1999 mg/l depuis plus de 5 ans, et comme sa structure est aussi dégradée que celle de RG2, la fermeture est souhaitable.
2 RG2	1,835	1,882	Salinisation avancée	Réduction du pompage	1965	Tuyaux en acier	(1) Dégradation du tubage	Fermeture					Renouvellement (ajustement)		Pour la qualité de l'eau, a tendance à la salinisation, mais compte tenu de l'évolution passée, le fonctionnement continu en ajustant le volume de pompage est jugé possible. Comme la structure est dégradée, il fera l'objet d'un renouvellement.
3 RG3	1,983	2,033	Salinisation avancée	Réduction du pompage	1965	Tuyaux en acier		Fermeture						Fermeture	Comme RG1.
4 E 1	2,909	2,951	Salinisation avancée	Fermeture	1962	Tuyaux en acier		Fermeture						Fermeture	Comme RG1.
5 E 2	1,605	1,630	Bon état	Continuation	1962	Tuyaux en acier		Fermeture						Renouvellement	La structure est dégradée comme celle de RG2, c'est pourquoi il fera l'objet d'un renouvellement.
6 E 3	2,536	2,579	Salinisation avancée	Fermeture	1963	Tuyaux en acier		Fermeture						Fermeture	Comme RG1.
7 E 5	1,199	1,252	Bon état	Réduction du pompage	1964	Tuyaux en acier	(1) Dégradation du tubage	Fermeture					Renouvellement		La qualité de l'eau ne pose pas de problème, mais la structure est dégradée. Il fera l'objet d'un renouvellement.
8 E 6	1,728	1,764	Pratiquement bon	Réduction du pompage	1964	Tuyaux en acier	(1) Dégradation du tubage	Fermeture						Renouvellement	La qualité de l'eau ne pose pas de problème, mais la structure est dégradée. Il fera l'objet d'un renouvellement.
9 E 7	1,383	1,420	Bon état	Réduction du pompage	1964	Tuyaux en acier	(1) Dégradation du tubage	Fermeture					Renouvellement		La qualité de l'eau ne pose pas de problème, mais la structure est dégradée. Il fera l'objet d'un renouvellement.
10 E 8	1,009	1,042	Bon état	Continuation	Inconnu	PVC		Continuation	Récupération réalisée	Continuation				Continuation	La qualité de l'eau ne pose pas de problème, et comme l'ONED a terminé les travaux de réhabilitation, le pompage continue est possible. Mais l'ONED doit installer une pompe.
11 E 9b	1,316	1,349	Bon état	Continuation	1972	Tuyaux en acier	(1) Corrosion partielle du tubage	Continuation						Continuation	Pompage continu dans l'avenir.
12 E 11	1,809	1,842	Pratiquement bon	Continuation	1965	Tuyaux en acier	(1) Dégradation du tubage	Fermeture	Prise en compte des habitants du voisinage				Renouvellement		Bien que l'évolution passée laisse à penser que la qualité de l'eau puisse être ramenée aux valeurs cibles, la structure est dégradée. Compte tenu de l'approvisionnement en eau des habitants du voisinage, il devrait faire l'objet d'un renouvellement.
13 E 12	2,026	2,067	Mauvais état	Fermeture	1965	Tuyaux en acier	(1) Dégradation du tubage	Fermeture	Chute de la pompe			Réhabilitation possible		Fermeture	Sur le plan de qualité de l'eau, l'évolution passée laisse à penser qu'un renouvellement ne permettrait pas d'obtenir la qualité d'eau cible, la fermeture est donc recommandée.
14 E 13	1,725	1,760	Pratiquement bon	Réduction du pompage	1972	Tuyaux en acier		Continuation						Continuation	Sur le plan de la qualité de l'eau, l'évolution passée laisse à penser qu'il est très possible de revenir aux valeurs cibles, mais comme des imprécisions demeurent quant à la structure du forage, le fonctionnement en continu est recommandé en surveillant de près la situation.
15 E 15	1,848	1,890	Attention	Fermeture	1975	Tuyaux en acier		Continuation	Chute de la pompe			Réhabilitation possible		Réhabilitation	L'ONED a demandé son renouvellement, mais comme la tendance à la salinisation est forte, ce forage fera l'objet d'une réhabilitation avec remontée de la pompe; le fonctionnement en continu est recommandé en surveillant de près la situation.
16 E 16	2,153	2,183	Attention	Fermeture	1974	Tuyaux en acier	(1) Tubage endommagé (2) Crépine non installée	Continuation	Chute de la pompe			Réhabilitation possible		Réhabilitation	Pour les mêmes raisons que ci-dessus, ce forage fera l'objet d'une réhabilitation parce que la non-installation de crépine est sans doute due au fait que forage est dans le socle.
17 E 17	1,887	1,886	Attention	Fermeture	1977	Tuyaux en acier	(1) Dégradation du tubage	Continuation	Elimination de l'installation de pompage					Continuation	Il est peu probable que l'ajustement du débit permette le rétablissement jusqu'à la valeur objectif, c'est pourquoi l'utilisation sera poursuivie tout en considérant les modifications à venir.
18 E 18	2,229	2,269	Mauvais état	Fermeture	1975	Tuyaux en acier		Continuation						Continuation	En considérant les modifications de la qualité de l'eau intervenues au fil du temps, le rétablissement jusqu'à la valeur objectif est jugé possible, l'utilisation sera donc poursuivie et la qualité de l'eau contrôlée.

Tableau 3.1 Evaluation des forages existants (2/2)

N de forage	Evaluation de la qualité de l'eau				Evaluation de la structure				Evaluation du point de vue d'opérations et de maintenance		Evaluation environnementale		Demande de l'ONED	Jugement global	Remarques
	Teneur totale en sel dissous (mg/l)	TDS (mg/l)	Etat	Jugement	Année de construction	Matériau	Etat	Jugement	Etat	Jugement					
19 E 19	2,041	2,061	Mauvais état	Réduction du pompage	1977	Tuyaux en acier	(1) Corrosion partielle du tubage	Continuation						Continuation	Si l'on considère l'évolution de la qualité de l'eau, il est jugé possible de revenir aux valeurs cibles de qualité d'eau; le fonctionnement en continu sera donc assuré, mais tout en surveillant la qualité de l'eau.
20 E 21	1,594	1,637	Attention	Continuation	Inconnu	Tuyaux en acier	(1) Dommages au fond de la crépine	Réhabilitation possible						Réhabilitation	La base de la crépine est endommagée, l'installation d'une double crépine ou la fermeture avec des moellons est possible.
21 E 22	1,512	1,543	Ordinaire	Réduction du pompage	Inconnu	Tuyaux en acier	(1) Obstruction de la crépine	Continuation						Continuation	Comme ni la qualité de l'eau, ni la structure ne posent de problème, le fonctionnement en continu est jugé possible.
22 E 24	2,573	2,592	Mauvais état	Fermeture	1978	Tuyaux en acier	(1) Corrosion partielle du tubage	Continuation	Pompage excessif	Arrêt				Continuation (ajustement)	Le pompage excessif donne lieu à une tendance à la salinisation, le fonctionnement en continu est jugé possible en ajustement le volume d'eau pompé. La surveillance de la qualité de l'eau sera nécessaire après l'ajustement du débit.
23 E 25	2,218	2,243	Mauvais état	Fermeture	1975	Tuyaux en acier		Continuation	Pompage excessif	Arrêt				Continuation (ajustement)	Comme ci-dessus
24 E 26	2,108	2,128	Mauvais état	Réduction du pompage	1978	Tuyaux en acier		Continuation	(1) Pompage excessif (2) Prise en compte des habitants du voisinage	Continuation				Continuation (ajustement)	Seul positionné comme E24, mais l'installation de bornes fontaines pour les habitants du voisinage est jugée nécessaire.
25 E 27	2,043	2,065	Mauvais état	Fermeture	1985	PVC		Continuation						Continuation (ajustement)	Comme E24.
26 E 29b	1,251	1,276	Bon état	Continuation	1995	PVC	(1) Crépine endommagée	Fermeture						Continuation	La qualité de l'eau ne pose pas de problème, mais des dommages ont été observés sur la crépine PVC. Il n'y a pas actuellement de problème de pénétration de sable ou de volume de pompage, et l'utilisation est jugée possible pendant un certain temps, c'est pourquoi elle sera poursuivie telle quelle.
27 E 30	1,157	1,186	Bon état	Continuation	1996	PVC		Continuation						Continuation	Comme ni la qualité de l'eau, ni la structure ne posent de problème, le fonctionnement en continu est jugé possible.
28 E 31	1,377	1,419	Pratiquement bon	Réduction du pompage	1991	PVC		Continuation						Continuation	Comme ci-dessus.
29 E 33	1,756	1,788	Attention	Continuation	1993	PVC		Continuation	Chute de la pompe	Réhabilitation possible				Réhabilitation	Il faudra faire attention à la qualité de l'eau dans l'avenir, mais la récupération de la pompe devrait permettre le fonctionnement en continu; il devra donc l'objet d'une réhabilitation.
30 E 35	863	900	Bon état	Continuation	1994	Inox		Continuation						Continuation	Comme ni la qualité de l'eau, ni la structure ne semblent poser de problème, le fonctionnement en continu est jugé possible.
31 E 36	713	728	Bon état	Continuation	1994	Inox		Continuation	Elimination de l'installation de pompage					Continuation	Est positionné comme E35, mais l'installation d'une pompe par la partie djiboutienne devrait permettre le fonctionnement en continu.
32 PK20-1	733	781	Bon état	Continuation	1997	Inox		Continuation						Continuation	Pas de problème en général, devrait permettre le fonctionnement en continu.
33 PK20-2	751	781	Bon état	Continuation	1997	Inox		Continuation	Colmatage de la pompe	Réhabilitation impossible			Renouvellement	Renouvellement	Comme la réparation de la pompe est jugée impossible, devrait faire l'objet d'un renouvellement.
34 PK20-3	895	946	Bon état	Continuation	1997	Inox		Continuation						Continuation	Pas de problème en général, devrait permettre le fonctionnement en continu.
35 PK20-4	908	977	Bon état	Continuation	Inconnu	Inconnu		Continuation						Continuation	Pas de données disponibles, mais les personnes concernées ayant indiqué qu'il n'y avait pas eu de problème jusqu'à présent, il devrait permettre le fonctionnement en continu dans l'avenir.

3-2-4 Confirmation du degré d'amélioration de la qualité de l'eau (effet)

(1) Plan des forages de captage

Le présent projet a été établi sur la base des nouveaux forages qui fera apparaître rapidement les effets de l'exécution du projet (degré d'amélioration de la qualité de l'eau), de la dilution par mélange des eaux souterraines dans les forages existants et des résultats des prévisions de base de la limite eau douce - eau de mer prévue dans la région côtière dont les effets apparaîtront à long terme. Les deux cas "Avec projet" et "Sans projet" ont aussi été comparés pour la dilution par mélange des eaux souterraines dont l'effet apparaîtra à court terme. De plus, deux cas ont été confirmés, en plus de l'élimination du cas de la zone de Godchabel parmi les sites prévus pour les nouveaux forages compte tenu de la rentabilité. La teneur de chaque cas est indiquée ci-dessous et le Tableau 3.2 indique le plan de captage pour un total de 3 cas.

Cas (1) Sans projet (situation actuelle)

Cas (2) Avec projet (forages existants utilisables + nouveau forage de la requête + ajustement de la production)

Cas (3) Avec projet (forages existants utilisables + Gegada + Nagad + PK20 + ajustement de la production)

(2) Résultats du calcul du degré d'amélioration de la qualité de l'eau (effet de la dilution)

Le degré d'amélioration de la qualité de l'eau par dilution a été confirmé par l'amélioration de la teneur totale en sel dissous et des TDS comme indice d'agrément de la qualité de l'eau. Les possibilités d'exploitation des eaux souterraines de bonne qualité, comme celles des zones PK-20 et Gegada, dans l'intérieur du pays sont jugées faibles sur la base des études antérieures. Par conséquent, bien que les Grandes lignes de l'OMS interdisent une valeur TDS supérieure à 1200 mg/l, vu l'état actuel de la nappe de Djibouti, il semble réaliste d'utiliser 1600 mg/l comme valeur objectif pour les TDS dans cette zone.

Les calculs pour les différents cas effectués dans ces conditions a permis de prévoir que l'eau courante destinée à la zone de distribution de Balbala pourrait être maintenue dans les limites de la valeur TDS objectif des Grandes lignes de l'OMS pour les cas (2) et (3). Le doublement du volume d'eau fourni peut aussi être espéré dans la zone de Balbala.

De plus, l'eau courante destinée à la zone de distribution de Djibouti serait améliorée d'environ 20% par rapport à la valeur actuelle TDS dans le cas (2) et d'environ 15% dans le cas (3). La teneur totale en sel dissous suivant la même tendance que les TDS, les explications ont été omises. Le Tableau 3.2 indique le plan de production et le Tableau 3.3 les résultats d'amélioration de la qualité de l'eau. Les résultats du calcul de degré de dilution dans chaque cas sont inclus dans les documents en annexe.

Tableau 3.2 Projet pour les forages de captage

	N du forage		Zone	Sans Projet		Avec projet			
				Cas (1)		Cas (2)		Cas (3)	
				Projet de fonctionnement	Débit (m3/h)	Projet de fonctionnement	Débit (m3/h)	Projet de fonctionnement	Débit (m3/h)
Djibouti Forages	1	RG1	Nagad	En continu	8	Fermeture		Fermeture	
	2	RG2	Nagad	En continu	57	Renouvellement (ajustement)	35	Renouvellement (ajustement)	35
	3	RG3	Nagad	En continu	35	Fermeture		Fermeture	
	4	E 1	Nagad	En continu	48	Fermeture		Fermeture	
	5	E 2	Nagad	En continu	32	Renouvellement	30	Renouvellement	30
	6	E 3	Nagad	En continu	65	Fermeture		Fermeture	
	7	E 5	Nagad	En continu	4	Renouvellement	30	Renouvellement	30
	8	E 6	Nagad	En continu	21	Renouvellement	30	Renouvellement	30
	9	E 7	Nagad	En continu	37	Renouvellement	30	Renouvellement	30
	10	E 8	Nagad	Fermeture		En continu	40	En continu	40
	11	E 9b	Nagad	En continu	40	En continu	40	En continu	40
	12	E 11	Nagad	En continu	46	Renouvellement	30	Renouvellement	30
	13	E 12	Nagad	En continu	38	Fermeture		Fermeture	
	14	E 13	Nagad	En continu	81	En continu	81	En continu	81
	15	E 15	Nagad	Fermeture		En continu	30	Réhabilitation	30
	16	E 16	Nagad	Fermeture		En continu	30	Réhabilitation	30
	17	E 17	Nagad	En continu	21	Fermeture		En continu	21
	18	E 18	Nagad	En continu	86	Fermeture		En continu	86
	19	E 19	Godchabel	En continu	84	En continu	80	En continu	80
	20	E 21	Godchabel	En continu	37	Réhabilitation	37	Réhabilitation	37
	21	E 22	Godchabel	En continu	69	En continu	70	En continu	70
	22	E 24	Godchabel	En continu	43	En continu (ajustement)	40	En continu (ajustement)	40
	23	E 25	Godchabel	En continu	53	En continu (ajustement)	40	En continu (ajustement)	40
	24	E 26	Godchabel	En continu	89	En continu (ajustement)	40	En continu (ajustement)	40
	25	E 27	Godchabel	En continu	164	En continu (ajustement)	40	En continu (ajustement)	40
	26	E 29b	Godchabel	En continu	76	En continu	76	En continu	76
	27	E 30	Godchabel	En continu	91	En continu	91	En continu	91
	28	E 31	Godchabel	En continu	61	En continu	61	En continu	61
	29	E 33	Godchabel	En continu	46	En continu	46	En continu	46
	30	F3	Godchabel	-		Nouveau	40	-	
	31	F4	Godchabel	-		Nouveau	40	-	
	32	F5	Godchabel	-		Nouveau	40	-	
	33	E 35	Gegada	En continu	44	En continu	44	En continu	44
	34	E 36	Gegada	En continu	50	En continu	50	En continu	50
	35	Z2	Gegada	-		Nouveau	45	Nouveau	45
	36	Z3	Gegada	-		Nouveau	45	Nouveau	45
	37	Z25	Gegada	-		Nouveau	45	Nouveau	45
Sous total				1,526		1,376		1,363	
PK20 Forages	38	F3bis	PK20	-		Nouveau	45	Nouveau	45
	39	F9bis	PK20	-		Nouveau	45	Nouveau	45
	40	F10bis	PK20	-		Nouveau	45	Nouveau	45
	41	PK20-1	PK20	En continu	56	En continu	56	En continu	56
	42	PK20-2	PK20	En continu※	36	Renouvellement	40	Renouvellement	40
	43	PK20-3	PK20	En continu	23	En continu	23	En continu	23
	44	PK20-4	PK20	En continu	66	En continu	66	En continu	66
	Sous total				181		320		320
Total (m³/h)				1,707		1,696		1,683	
Total (m³/ans)				14,953,320		14,856,960		14,743,080	

(3) Confirmation du degré d'amélioration de la qualité de l'eau (effet de baisse de la limite eau douce - eau salée)

L'ISERST a établi un bilan hydrologique modèle pour évaluer la recharge des eaux souterraines en 1994; l'analyse du bilan hydrologique et de l'état de pénétration de l'eau de mer en cas de construction de nouveaux forages a été faite sur la base de ce modèle élargi avec l'accord dudit organisme.

Le modèle pour l'analyse hydrologique /analyse de la pénétration d'eau salée est indiqué par la Fig. 3.4. La moitié Nord du modèle est identique à celle de l'ISERST, et des ajouts ont été faits sur la moitié Sud par la présente analyse. Comme l'épaisseur des couches aquifères de Djibouti est inconnue, la limite inférieure des couches aquifères de Djibouti a été supposé à -100 m au-dessous du niveau de la mer dans cette analyse. L'extrémité Sud-Est de la surface du modèle est $x = 270000$ • $y = 125000$, et celle de l'extrémité Nord-Est $x = 311000$ • $y = 1283000$ (coordonnées UTM); l'intervalle des cellules (éléments composant le modèle) est de 500 m x 500 m sur la Fig. 3.5. La Fig. 3.6 indique la répartition des indices de perméabilités sur le modèle.

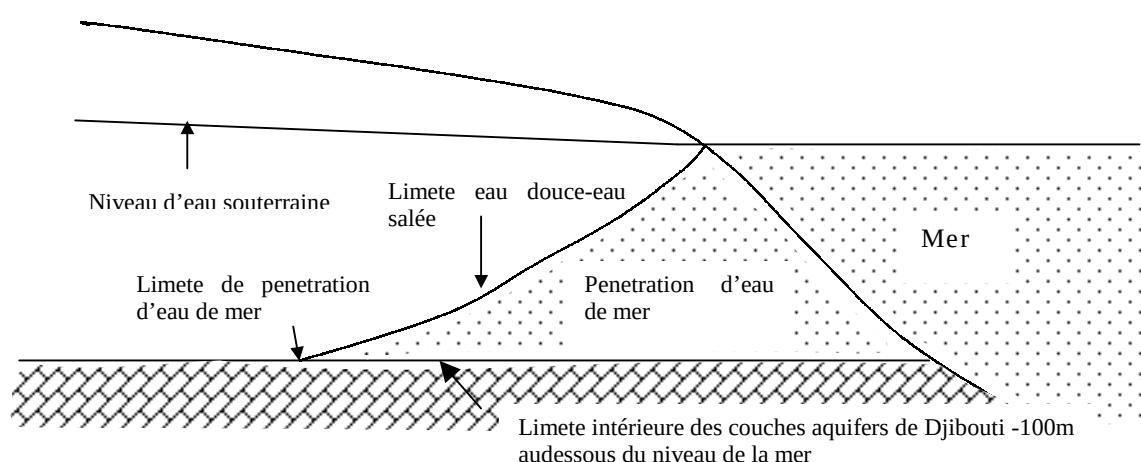


Fig.3.3 Modélisation des résultats de la simulation d'analyse de l'eau salée

(2) Recharge à partir des oueds

La recharge de la nappe de Djibouti s'effectue par l'intermédiaire des lits des oueds, et est établie à environ 15.000.000 m³/an par la partie djiboutienne; cette valeur est adoptée pour la recharge à partir des oueds dans cette étude. Le volume de recharge, réparti uniformément entre les cellules de position des oueds (Ambouli, Douda, Damerdjog, Deydey) sur le modèle, est comme suit.

$$\text{Répartition du volume de recharge par cellule d'oued} = \frac{15.000.000 \text{ (m}^3\text{/an)}}{\text{Total des cellules à l'emplacement de l'oued}} \text{ (m}^3\text{/an)}$$

La Fig. 3.7 indique l'emplacement des cellules dotées de la recharge. Dans ce modèle, en dehors des oueds d'Ambouli, Douda, Damerdjog, Deydey, l'oued de Wahayyi est inclus à l'extrême sud du modèle, et le volume de recharge correspondant au volume réparti ci-dessus a été placé sur les cellules correspondant à cet oued. Ces opérations ont permis d'obtenir un total de 16.762.000 (m³/an) pour la recharge des oueds dans la modélisation.

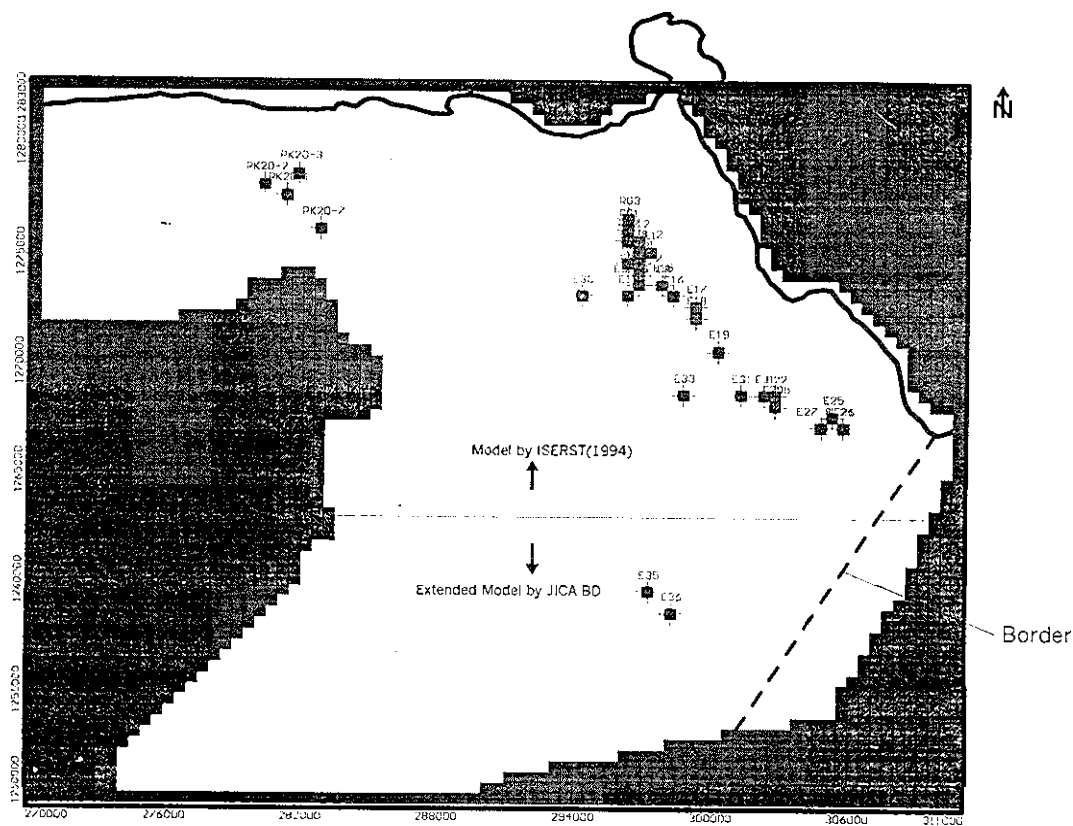


Fig.3.4 Modèle de simulation des eaux souterraines

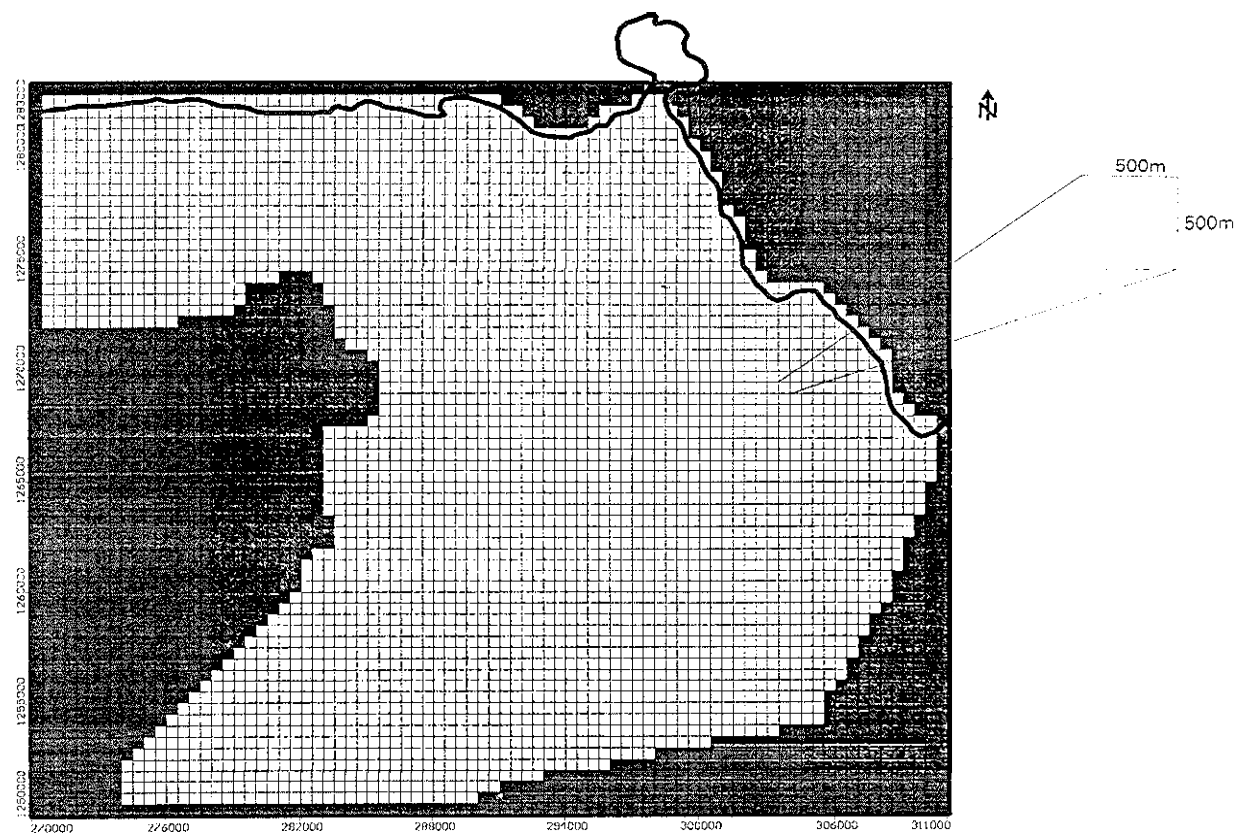


Fig.3.5 Répartition des cellules sur le modèle de simulation des eaux souterraines

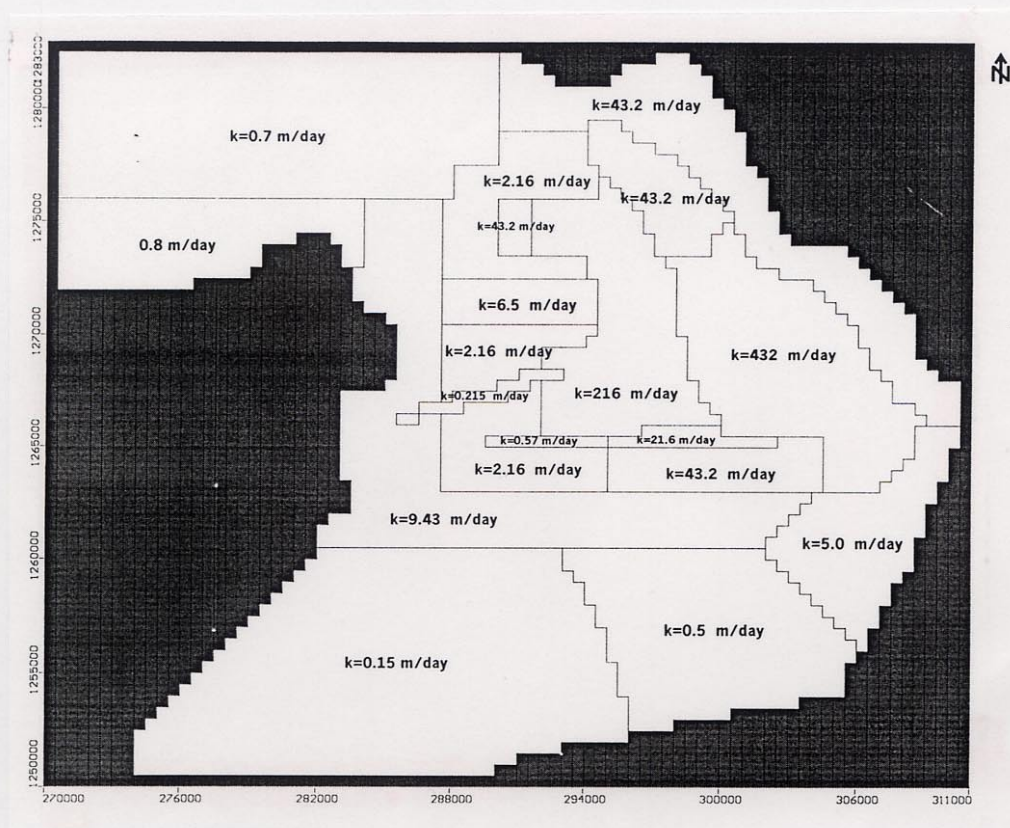


Fig.3.6 Répartition des indices de perméabilité

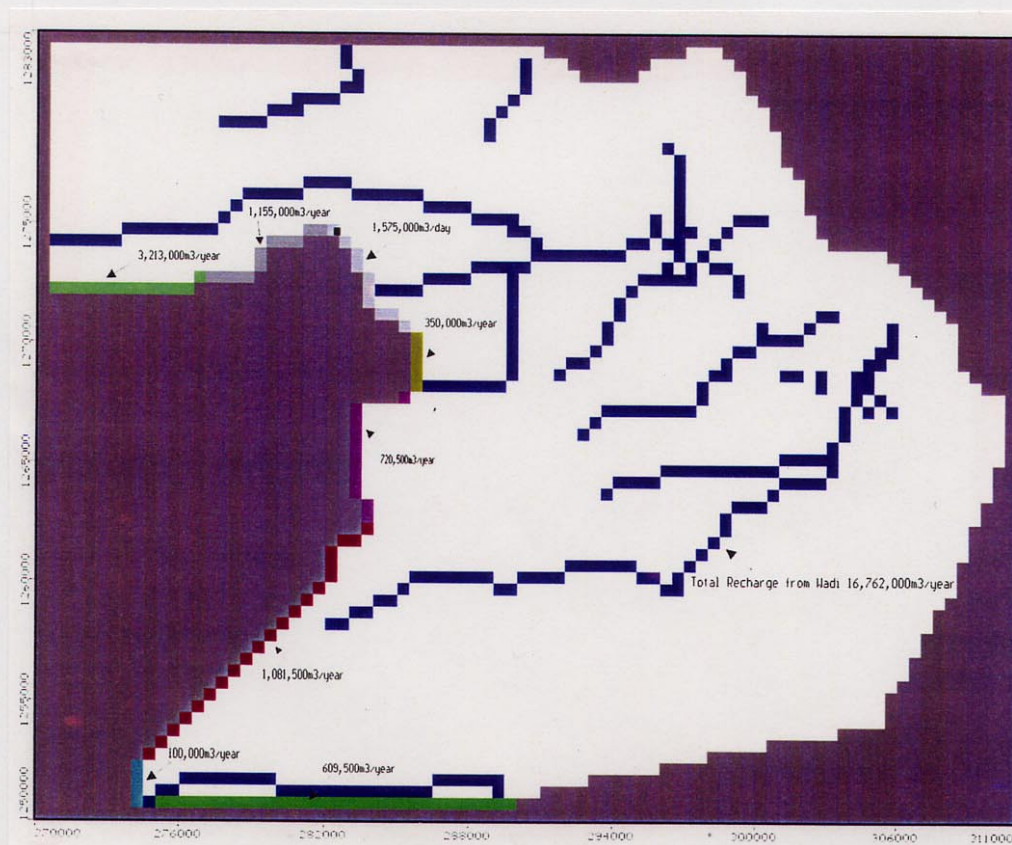


Fig.3.7 Recharges des eaux souterraines des couches aquifères de Djibouti et répartition des volumes d'eau souterraines affluents

(3) Afflux d'eau souterraine des couches aquifères en dehors de la nappe de Djibouti

Comme indiqué plus haut, il est établi que la recharge en eaux souterraines de la nappe de Djibouti se fait par l'intermédiaire des lits des oueds comme indiqué ci-dessus, si l'on considère la continuité hydrogéologique de la nappe de Djibouti avec les couches aquifères situées à côté de Somalie (couche aquifère des basaltes de Dalha et couche aquifère des basaltes de Somalie), il est pertinent de penser qu'il y a afflux d'eau souterraine des couches aquifères en dehors de la nappe de Djibouti.

Cet afflux d'eau souterraine a des effets similaires à la recharge des eaux souterraines, et fera l'objet de l'exploitation des eaux souterraines. Dans cette analyse, le volume d'eau souterraine affluant des limites de la nappe de Djibouti a été estimé en mesurant la pente du niveau d'eau souterraine dans la partie limite et la méthode de mesure de Darcy, utilisé comme valeur initiale pour l'estimation, et la correction a été faite par "essai et erreur" dans le processus de simulation des eaux souterraines (voir la Fig. 3.7).

(4) Simulation de la situation actuelle

L'objectif de cette simulation a été d'estimer le volume d'écoulement des eaux souterraines à travers les limites du modèle et la profondeur actuelle de la limite eau douce - eau salée, les paramètres du modèle ont été corrigés par "essai et erreur" jusqu'à ce qu'il y ait une correspondance entre la répartition des niveaux d'eau souterraine résultats de la simulation et celle des niveaux d'eau souterraine résultats des observations.

Comme résultat de la simulation de la reproduction de la situation actuelle, le total du volume de la recharge et de celui de l'écoulement des eaux souterraines suivant a été obtenu pour la nappe de Djibouti. Mais pour celle-ci, la recharge et l'écoulement ne sont pas les seuls éléments à considérer pour définir le volume exploitable, la pénétration d'eau de mer doit aussi être prise en compte.

Recharge à partir des oueds ^{*(1)}	Écoulement à partir des nappes aquifères en dehors de la nappe de Djibouti ^{*(2)}	Afflux total d'eau souterraine à la nappe de Djibouti
16 762 000 m ³ /an	8 804 500 m ³ /an	= 25 566 500 m ³ /an

N.B. ^{*(1)} : Valeur obtenue sur la base de la recharge de 15 M m³/an (ISERST, 1994 ; CHDA, 1997 ; Tractebel, 1993) par l'infiltration à partir des oueds dans la zone de basalte du Golfe et son application à la basalte de Somalie.

^{*(2)} : Valeur obtenue comme résultat de la simulation en l'été actuel des connaissances.

Ce volume de 25 Mm³/an estimé pour la recharge de l'aquifère de Djibouti reste une valeur à confirmer par d'autres études et ne permet en aucune façon de prévoir un débit d'exploitation de cette importance. Même si, théoriquement, on peut imaginer que l'on puisse pomper ce volume (cela est pratiquement impossible par un nombre limité de forages), il est important de bien noter qu'à ce moment-là, la salinité dépasserait de loin toutes les valeurs maximales admissibles à la consommation humaine et l'eau deviendrait franchement salée. Ainsi, du fait de la salinité, le volume maximal d'exploitation est maintenu à 15 Mm³/an.

Le résultat de la simulation montre que la répartition des limites eau douce - eau salée est de -40 à -50 m au-dessous du niveau la mer dans la zone de Nagad et d'environ -45 m au-dessous du niveau la mer dans la zone d'Atar, ce qui correspond pratiquement à la profondeur actuellement estimée.

(5) Simulation de prévisions

Le calcul constant de prévision de fluctuation de l'eau salée a été fait pour les cas (2) et (3) sur la base du modèle de simulation actuel. Le résultat laisse prévoir un recul de la limite eau douce - eau salée vers la mer dans les deux cas. Cela signifie que, par rapport au volume de pompage actuel, même dans les cas (2) et (3) similaires, l'ajustement de la production des forages existants dans la région côtière et le complètement de la production par la construction de nouveaux forages à l'intérieur des terres permettront une diminution de la salinisation dans la région côtière.

Par conséquent, si ce projet est réalisé, la limite eau douce - eau salée reculera vers la mer, et la salinisation sera contrôlée, ce qui permet de conclure que la qualité de l'eau des forages existants s'améliorera dans l'avenir.

Les Figures 3.8, 3.9 et 3.10 indiquent la répartition des eaux souterraines obtenue comme résultats de la simulation de situation actuelle et celle de prévisions. De même, les Figures 3.11, 3.12 et 3.13 la profondeur de la limite eau salée – eau douce obtenue comme résultat des deux simulations. La Figure 3.14 donne simultanément les résultats de la reproduction de la situation actuelle et des prévisions pour 3 coupes représentatives des groupes de forages existants sélectionnées.

3.2.5 Définition du plan des forages de captage

Une amélioration plus importante de la dilution dans les cas (2) et (3) que dans le cas (1) a été confirmée, le rapprochement de la valeur objectif des Grandes lignes de l'OMS pour les TDS est prévu, et une valeur inférieure devrait même être atteinte dans la zone de Balbala.

Comme pour la dilution, la limite eau douce - eau salée aura aussi tendance à baisser dans les cas (2) et (3), dans une mesure similaire, c'est pourquoi le développement de la zone de Godchabel ne devrait avoir de répercussion sur l'amélioration de la limite eau douce - eau salée dans la région côtière où la salinisation progresse actuellement. Si l'on compare les cas (2) et (3), le projet de captage du cas (3) est jugé le mieux adapté du point de vue des coûts/effets et puisqu'il permet d'atteindre la valeur objectif avec le coût total minimum.

3.2.6 Forages d'observation

La progression de la salinisation de la nappe de Djibouti doit en principe être enrayée par diminution du volume de pompage ou arrêt des forages existants etc. et comblement de cette réduction de la production d'eau par la construction de forages de captage à l'intérieur des terres. Actuellement, 8 forages d'observation sont utilisés pour l'observation de la nappe de Djibouti, mais la mesure de la variation de la qualité de l'eau après l'achèvement du projet sera impossible, vu l'absence de forages d'observation dans la zone de Gegada à l'intérieur des terres. De plus, les forages de captage ne pouvant pas être utilisés en remplacement, un forage d'observation sera construit à un emplacement représentatif de l'influence des 3 forages productifs prévus dans la zone de Gegada.

Le contrôle à ce forage d'observation clarifiera l'état du socle à basse résistivité distribué en profondeur dans la zone de Gegada, et l'existence et le flux d'eau salée, ce qui permettra de saisir les déplacements d'eau salée dus à l'influence des 3 forages nouvellement construits dans la zone de Gegada.

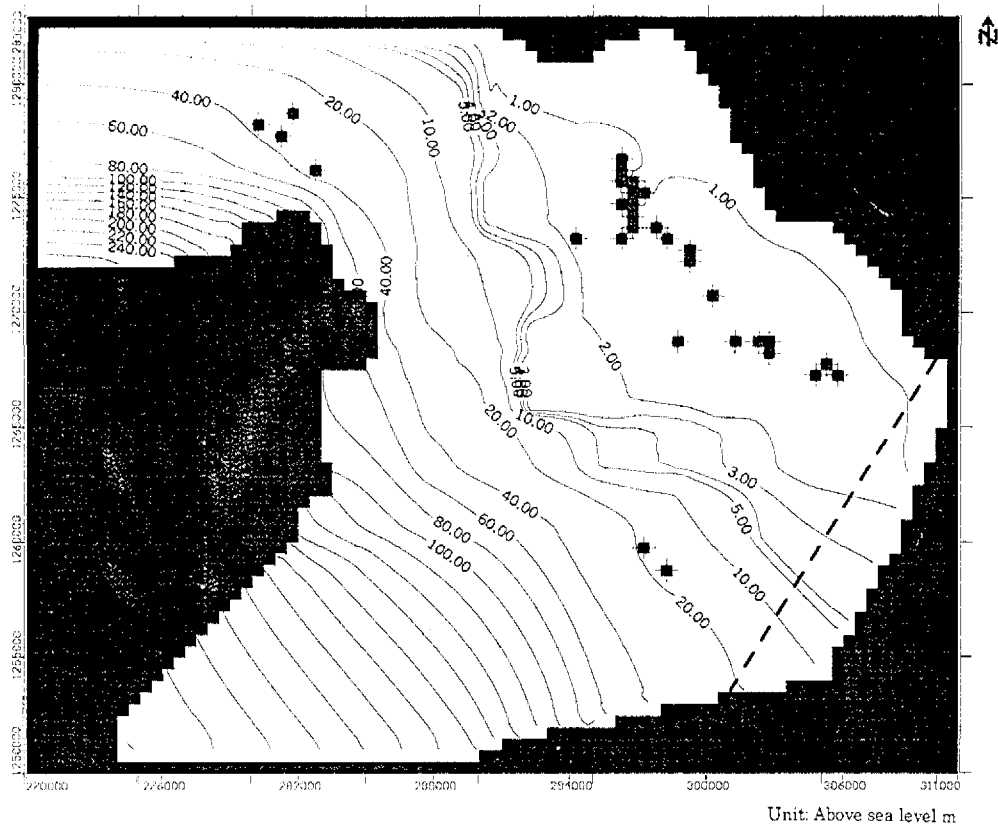


Fig.3.8 Répartition des niveaux d'eau souterraine obtenue par la simulation actuelle (Cas 1)

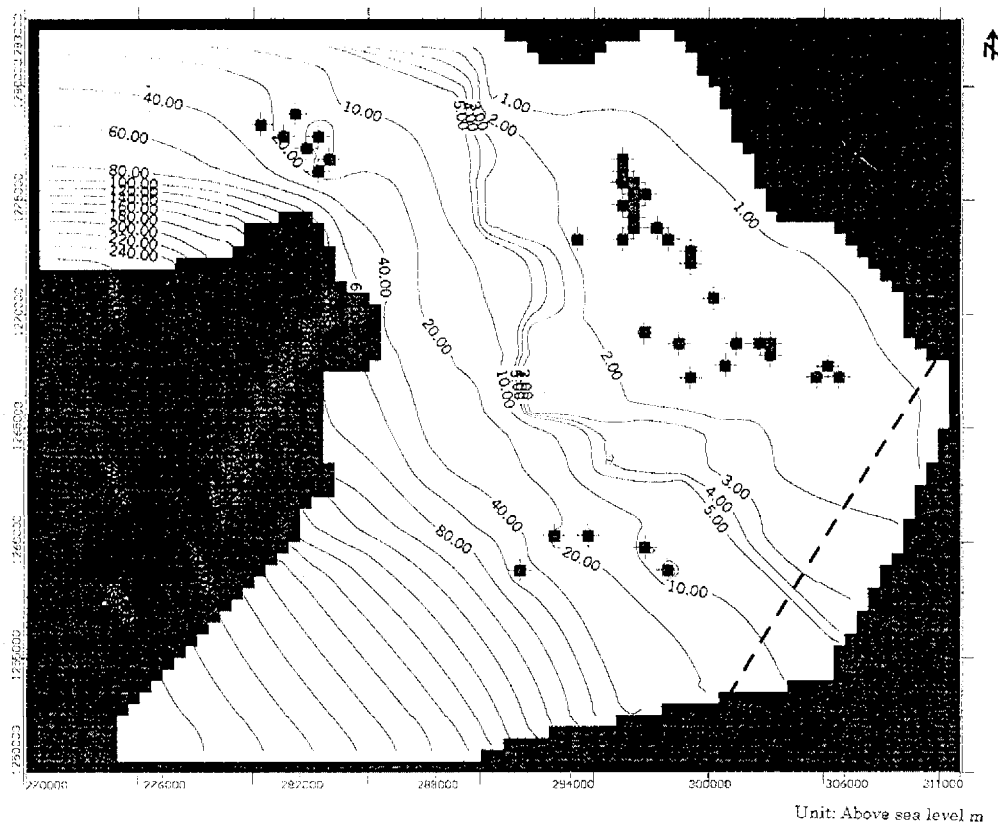


Fig.3.9 Répartition des niveaux d'eau souterraine obtenue par la simulation de prévision (Cas 2)

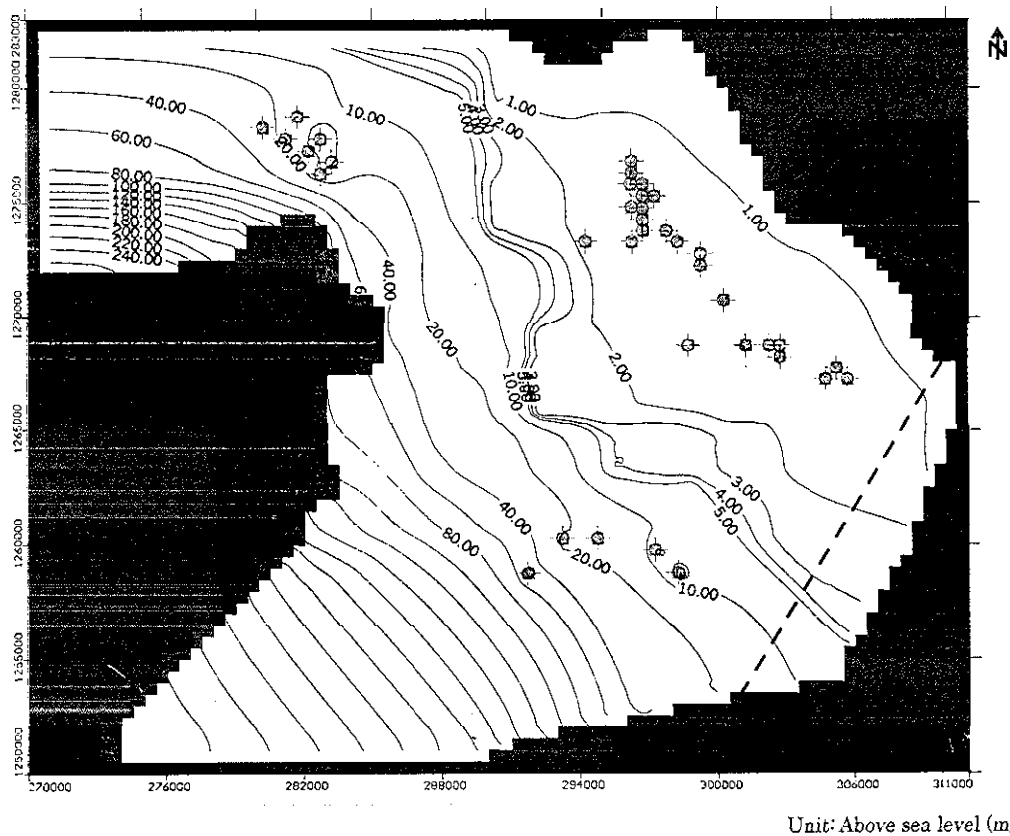


Fig.3.10 Répartition des niveaux d'eau souterraine obtenue par la simulation de prévision (Cas 3)

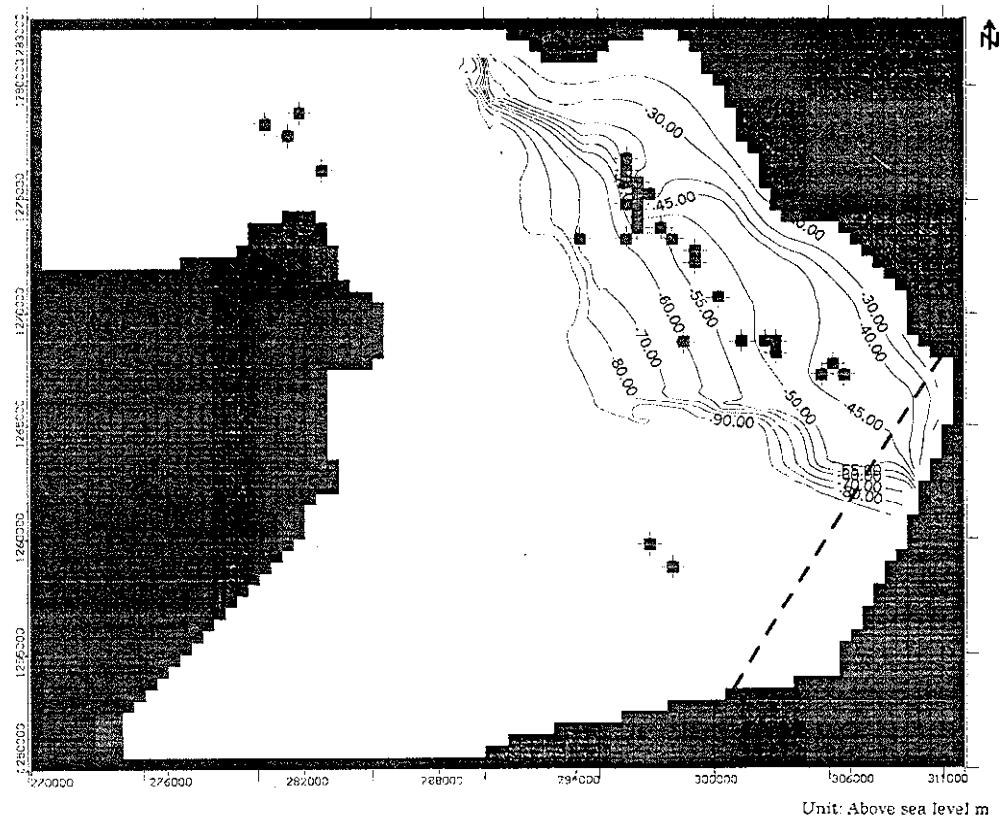


Fig.3.11 Répartition des profondeurs de la limite eau douce-eau salée obtenue par la simulation de prévision (Cas 1)

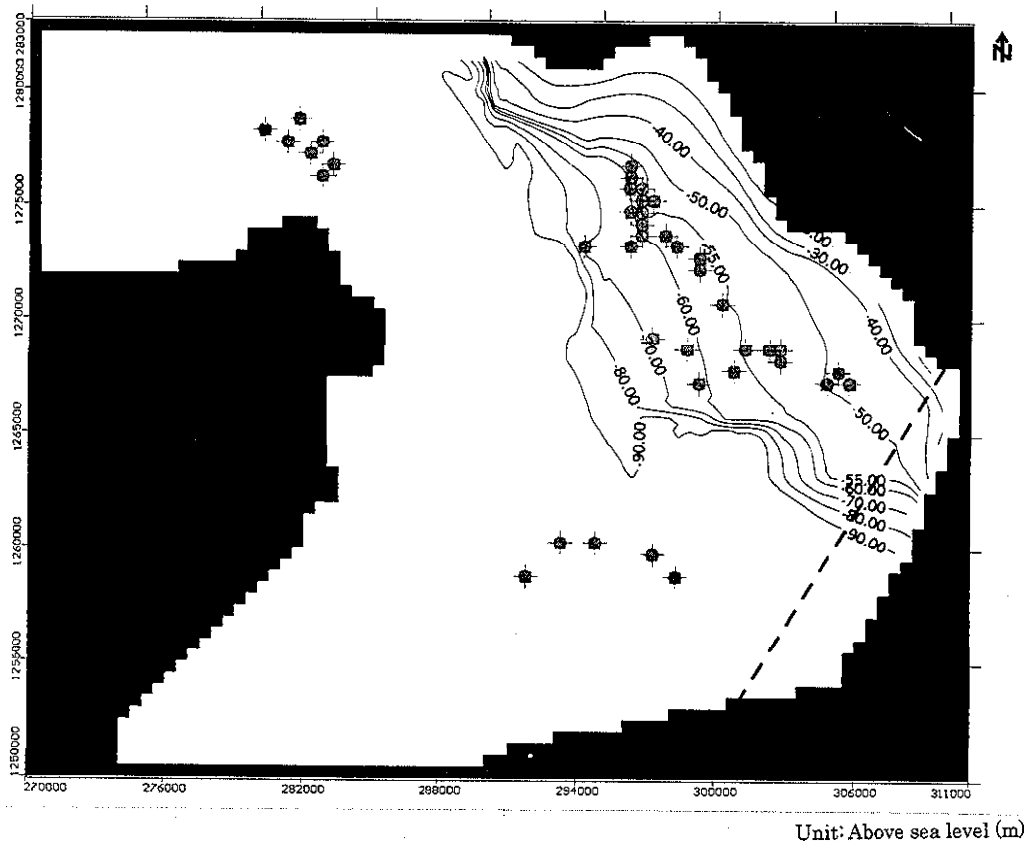


Fig.3.12 Répartition des profondeurs de la limite eau douce-eau salée obtenue par la simulation de prévision (Cas 2)

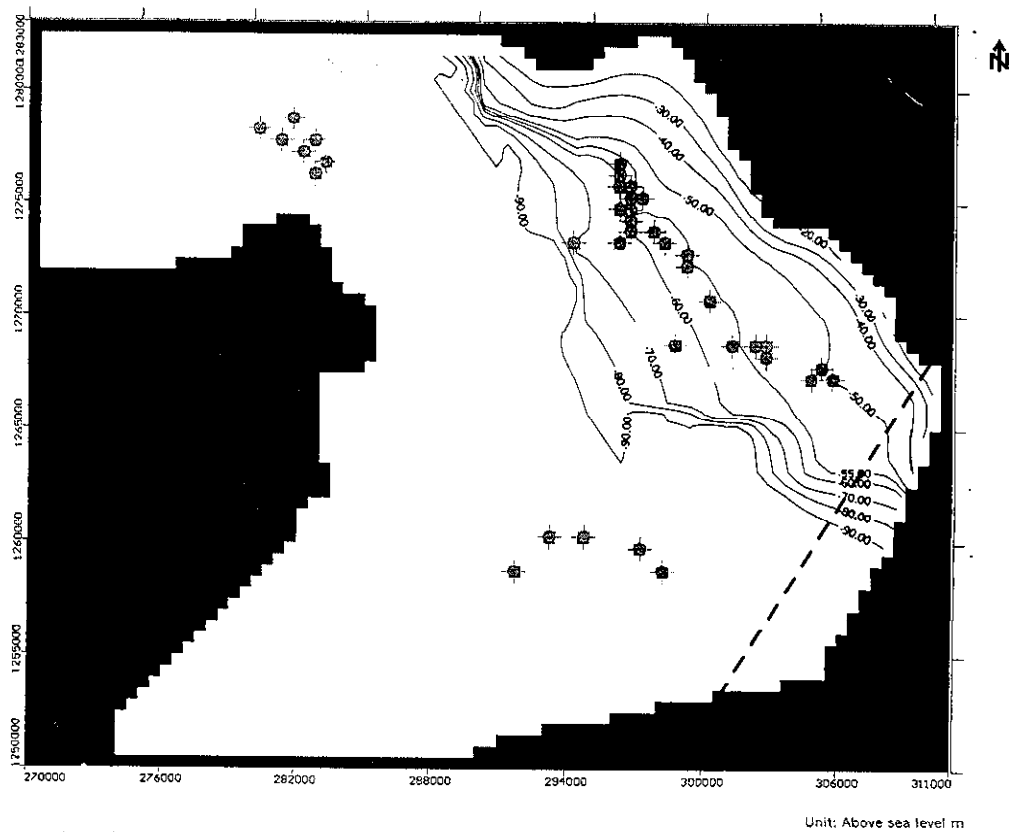
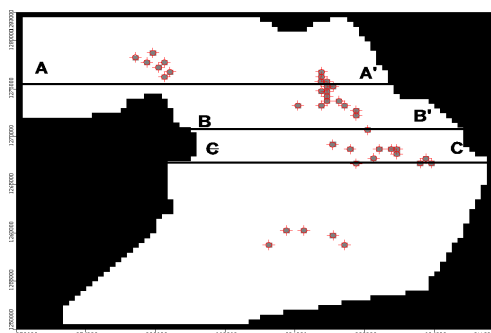


Fig.3.13 Répartition des profondeurs de la limite eau douce-eau salée obtenue par la simulation de prévision (Cas 3)



Légende

- Reproduction de la situation actuelle (Case-1)
- - - Prévisions (Case-2)
- · - · - Prévisions (Case-3)

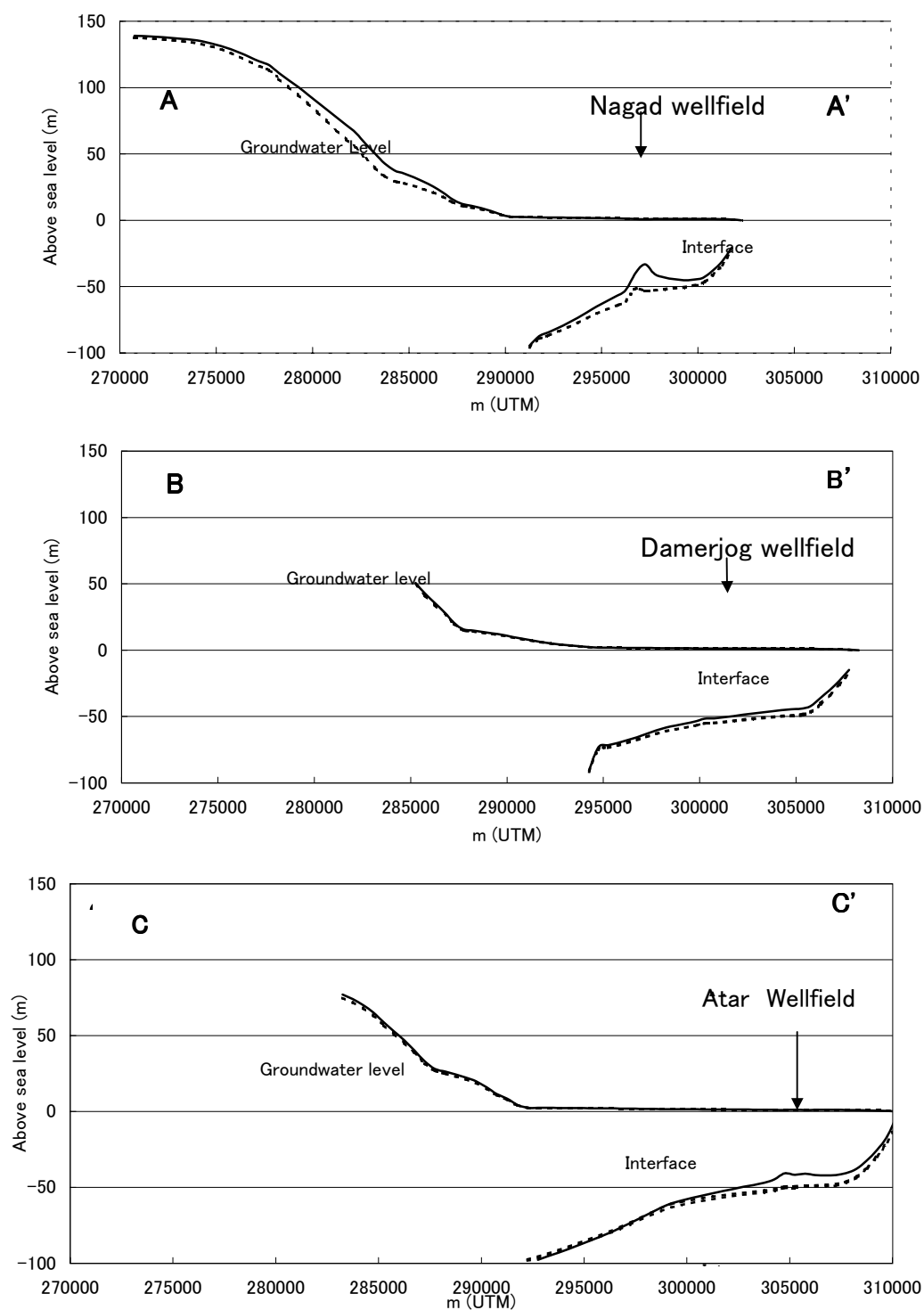


Fig. 3.14 Variation de la limite eau douce-eau salée sur des sections représentatives

3-2-7 Fourniture des équipements et matériaux

(1) Installations auxiliaires des forages existants

Si ce projet est réalisé, des débitmètres, manomètres, vannes de non-retour, vannes d'arrêt etc. devront être installées sur les nouveaux forages et les forages réhabilités. Par ailleurs, les forages d'observation construits avant les années 1980 ne sont pas dotés de manomètres, vannes de non-retour et vannes d'arrêt. De plus, les débitmètres de 20 forages productifs sont en panne ou en mauvais état, et l'organisme d'exécution estime que ces pannes sont dues au fait que les produits utilisés ne résistent pas aux températures élevées. Les débitmètres actuellement utilisés sont des produits de deux sociétés européennes, les produits de l'une résistant aux températures élevées fonctionnent normalement. Les produits de l'autre société, aux spécifications inconnues, fonctionnent mal.

Actuellement, les volumes de pompage ne sont pas mesurés, et l'organisme d'estimation procède par estimation à partir des spécifications des pompes et un essai de pompage réalisé une fois par an avec un tonneau de 200 l. Pour la mesure du débit pour la gestion du pompage par des groupes de forages et un réservoir récepteur, comme dans la zone d'étude, l'installation de manomètres, vannes de non-retour et vannes d'arrêt et débitmètres est requise sur les forages productifs existants. Par conséquent, des installations auxiliaires seront fournies dans le cadre du projet pour 18 forages productifs définis dans le plan de production des forages précité.

(2) Véhicules avec grue pour la maintenance des forages

Actuellement, les véhicules et engins de construction possédés par les divisions de gestion (Division Production, Division distribution d'eau) sont comme suit. Elles possèdent également d'autres outils, mais pas de matériel d'étude, par exemple pour la prospection des fuites d'eau. Ce matériel sert non seulement pour la gestion dans la ville de Djibouti, mais aussi pour celle dans 5 autres villes (Arta, Dikil, Ali-Sabieh, Tadjourah et Obock).

Tableau 3.3 Liste des équipements possédés

Rubrique	Divisions de gestion	Nombre d'unités	Remarques
Pick-up	Production eau potable	5	
	Maintenance Production	3	
	Distribution	4	
	Branchement	1	
	Garage	1	
	Maintenance électricité	1	
Grue sur camion	Production eau potable	2	1 unité fournie par KfW en 1998, l'autre est dégradée.
Camion benne	Production eau potable	1	
Groupe électrogène 1 kW		1	
Pompes		2	
Compresseur		1	

Actuellement, la remontée des pompes des forages existants est faite avec une grue sur camion, servant au transport des charges pour les travaux de construction. Les spécifications de ces véhicules sont comme suit. Une flèche d'environ 8,0 m de long est requise pour remonter la pompe immergée des cabines de forage actuel. Comme la capacité de levage est alors de 2,08 t, elle ne

peut être utilisée que pour un forage à tube de forage de 100 m de long d'un poids total d'environ 1,7 t (tube de pompage 100 x 12,5 kg/m = 1,25 t, pompe immergée et câble d'environ 0,45 t).

Tableau 3.4 Caractéristiques du camion grue actuel

	Spécifications et fabricant	
Châssis	Mercedes-Benz	
Longueur de la caisse	5,1m	
Partie grue	Hiab Type175-2	
Capacité de la grue	Longueur de la flèche (m)	Capacité (t)
	2,3	6,5
	4,5	3,7
	6,2	2,64
	7,8	2,08
	9,7	1,58
	11,7	1,25
Stabilisation par arcs-boutants	7,9 t/point, 2 points	

* Etabli par la mission d'étude à partir de la plaque signalétique et du catalogue du véhicule.

Pour les zones de Gegada et PK20 où la longueur des tubes de pompage dépasse 150 m, la Division production procède aux opérations de relevage en utilisant l'articulation par cylindre hydraulique de la flèche. Cette méthode est en principe inadaptée, et un treuil en position verticale est en principe utilisé; de plus, l'articulation de la flèche cause facilement un contact de la pompe ou du tube de pompage avec le forage lui-même, ce qui donne lieu à des chutes. Comme la rouille de la partie raccord vissant des tubes de pompes en acier a été observée dans cette zone, on peut penser que les chutes survenues dans le passé sont dues à ce type de procédure.

Si ce projet est réalisé, les nouveaux forages des zones PK20 et Gegada auront 230 à 250 m de profondeur, et le poids de l'installation de pompe sera de 2,1 à 4,5 t. Par ailleurs, le remontage par grue sur camion pour les 5 autres forages existants (PK20-1, PK20-3, PK20-4, E35, E36, tube de pompage de 150 m environ) est impossible, le remontage des pompes immergées d'un total de 12 forages sera impossible. Par conséquent, un véhicule avec grue permettant le relevage de 4,5 t à tout moment sera fourni compte tenu de la gestion après l'achèvement du projet.

Vu l'état de fonctionnement du camion grue actuel, la fourniture d'un véhicule avec grue a été jugée adaptée.

Tableau 3.5 Etat de fonctionnement du camion grue

	Djibouti	Arta	Ali-Sabieh	Dikhil	Tadjourah	Obock	Total
Nombre de forages	30	4	8	3	2	3	50
Temps de déplacement aller	1	1	2	3	4	6	
Nbre de jours de fonctionnement	2	2	2	3	3	4	
Réalisations en 1998	25	4	6	3	3	2	43
Réalisations en 1999	22	4	6	3	2	2	39
Réalisations en 2000	25	4	5	3	3	2	42
Fonctionnement annuel moyen	24	4	6	3	3	2	42
Jours de fonctionnement	48	8	12	9	9	8	94

* Etabli par la mission d'étude sur interview du personnel de la Division production de l'ONED

3-2-8 Concept de base du projet

Le concept de base du projet se résume dans le tableau ci-dessous sur la base des résultats d'étude obtenus jusqu'ici.

Tableau 3.6 Concept de base du projet

Travaux	Concept de base	Remarques
1. Construction de nouveaux forages	Zone PK20 : 3 forages Zone de Gagada : 3 forages Total: 6 forages Profondeur totale : 1.440 m Débit espéré : 270 m ³ /h	Construction de forages, mise en place de tubage et crépine, pompe immergée et panneau de contrôle, tuyau de distribution à la partie supérieure du forage, cabine de forage
2. Renouvellement de forages	Zone PK20 : 1 forage Zone de Nagad : 6 forages Total: 7 forages Profondeur totale : 560 m Débit espéré : 225 m ³ /h	Construction de forages, mise en place de tubage et crépine, pompe immergée et panneau de contrôle, tuyau de distribution à la partie supérieure du forage, cabine de forage
3. Construction de forages d'observation	Zone de Gegada : 1 forage Profondeur totale : 300 m	Construction de forages, mise en place de tubage et crépine
4. Pose de canalisations d'amenée	Zone PK20: 2.646 m Zone de Gegada: 10.315 m Total: 12.961 m	Installation de tuyaux d'amenée pour les nouveaux forages, raccordement avec les forages renouvelés, construction des cabines des différentes vannes
5. Travaux sur installation d'alimentation électrique	Zone PK20: 1.000 m Zone de Gegada: 7.500 m Total: 8.500 m	
6. Aménagement de pistes pour la gestion	Zone PK20, zone de Gegada,	Installation des câbles électriques, de pylônes, de transformateurs etc.
7. Fourniture d'équipements et matériaux	Equipements et matériaux des installations auxiliaires des forages existants: 18 lots Véhicule d'entretien des forages: 1 unité	Matériaux accessoires de pompe (vanne à air, vanne de non-retour, débitmètre, tuyaux de ramification etc.)

3-3 Plan de base

3-3-1 Orientations de conception

Les essais de qualité d'eau effectués lors de l'étude sur place, les données des conditions naturelles enregistrées, l'étude de la situation dans le bâtiment, les résultats de l'étude des forages existants, la conception/sélection des installations et équipements objets du plan de base ont été établis selon les orientations suivantes.

(1) Orientation liée aux conditions

- Les eaux souterraines de la nappe de Djibouti ont la particularité d'avoir une température dépassant 40°C, et des TDS moyens de 1700 mg/l. L'adhérence de rouille à la pompe immergée, au tube de pompage et la panne de débitmètres ayant été vérifié lors de l'étude sur place, les installations auxiliaires de pompage, pompe immergée y compris (manomètre, débitmètre etc.) résistants à l'eau chaude sont utilisables pour une eau ayant jusqu'à 60 °C. Et des matériaux empêchant l'électrolyse seront sélectionnés pour la pompe immergée, le tube de pompage et le tubage etc.
- La distance entre le niveau d'eau statique et la limite eau douce - eau salée des eaux souterraines étant faible dans la région côtière, la pompe immergée sera placée plus bas que la crépine.
- La température annuelle moyenne dans la ville de Djibouti est de 34,5°C, un maximum de 45°C maximum a été relevé en été. Comme les travaux de construction des forages et de pose des canalisations d'amenée seront effectués en pleine campagne et qu'il n'y a pas d'abri pour se protéger contre les rayons ultraviolets, les horaires de travail seront fixés en tenant compte des conditions naturelles.

(2) Orientations concernant les conditions sociales

- 99% des Djiboutiens étant musulmans, le programme des travaux de construction sera établi en tenant compte des fêtes religieuses comme le ramadan.

(3) Orientations concernant les installations existantes

- Les installations de captage à construire dans ce projet seront finalement raccordées aux canalisations d'amenée existantes, c'est pourquoi le projet d'exécution sera établi de manière à éviter autant que possible toute gêne du fonctionnement des forages productifs existants.
- L'influence sur la canalisation d'amenée existante (tuyaux en amiante) sera prise en compte sur les sites de construction des installations de captage qui serviront d'extension aux installations de captage existantes, et si nécessaire des installations de dépressurisation seront mises en place.

(4) Orientations concernant les conditions de construction

- Les travaux d'installations d'eau courante du projet sont des travaux incluant de construction des forages et des canalisations d'amenée, mais les entreprises locales ayant l'expérience de travaux de cette envergure sont limitées, et les entreprises capables d'exécuter les travaux se limitent à 3 (entreprise française, entreprise chinoise, entreprise djiboutienne). L'entreprise française ne dispose pas de foreuses en permanence, l'entreprise chinoise dispose d'une foreuse capable de creuser à plus de 100 m, mais seulement d'une foreuse et d'un compresseur, et la dégradation par vieillissement de la foreuse étant frappante laisse difficilement espérer une exécution stable. La foreuse de la société djiboutienne est en panne, et la date de sa

remise en service n'est pas fixée. C'est pourquoi, en plus de la société japonaise, les tierces sociétés seront considérées pour les travaux de forage.

- Il y a peu de sociétés locales disposant de techniciens expérimentés en République de Djibouti, en particulier les électriciens et mécaniciens sont peu nombreux. Ce projet incluant des travaux d'installations de pompe immergée et de câblage électrique côté secondaire, des électriciens et mécaniciens seront délégués en fonction du programme des travaux.

3-3-2 Plan de base

(1) Construction de forages

La construction de forages porte sur 6 nouveaux forages, 7 forages à remplacer et 1 forage d'observation. L'acier, le PVC, le FRP ou l'inox (SS) sont possibles pour le tubage, mais le FRP et le SS sont indiqués compte tenu des particularités des eaux souterraines. Par conséquent, compte tenu de la résistance des forages productifs, le tubage sera en FRP pour les forages de la zone de Nagad de 55 m de profondeur environ, et en combinaison de tuyaux en SS et acier pour ceux des zones de Gegada et PK20 de 230-250 m de profondeur. En cas de combinaison de tuyaux en SS et acier, le tuyau en acier sera utilisé au-dessus du niveau d'eau statique et le tuyau en SS au-dessous. De plus, les raccords des tuyaux en SS seront en un matériau empêchant l'électrolyse par différence de potentiel entre les matériaux.

La crépine des forages existants est à fentes (taux d'ouverture de trous de 5% environ) et est généralement installée sur toute la longueur au-dessous de la surface des eaux souterraines. C'est pourquoi la pompe immergée est aussi souvent installée sur la portée de la crépine sur beaucoup de forages. Une crépine en SS de type enveloppé de fil permettant d'obtenir un taux d'ouverture de trous de plus de 20% sera prévue compte tenu de l'installation de la pompe immergée hors de la portée de la crépine.

Le diamètre de crépine de la requête est aux dimensions du puits de pétrole (API) américain, et différent des spécifications pour les forages, le diamètre des forages est fixé similairement à 250 mm (10"), et le diamètre de creusement à 316 mm (12" 1/4) en tenant compte de la marge nécessaire pour l'insertion du tubage et du diamètre du foret.

Tableau 3.7 Aperçu du projet pour les forages de captage

	Zone	N° de forage	Débit espéré (m³/h)	Profondeur (m)	Diamètre (mm)	Diamètre de creusement (mm)	Matériau du tubage	Matériau de la crépine
Nouveaux forages	PK20	①F3bis	45	230	250	316	Inox + acier	Inox
		②F9bis	45	230	250	316	Inox + acier	Inox
		③F10bis	45	230	250	316	Inox + acier	Inox
	Gegada	④Z2	45	250	250	316	Inox + acier	Inox
		⑤Z3	45	250	250	316	Inox + acier	Inox
		⑥Z25	45	250	250	316	Inox + acier	Inox
Forages renouvelés	Balbala	①RG2	35	50	250	316	FRP	Inox
	Nagad	②E2	30	50	250	316	FRP	Inox
		③E5	30	55	250	316	FRP	Inox
		④E6	30	55	250	316	FRP	Inox
		⑤E7	30	55	250	316	FRP	Inox
		⑥E11	30	55	250	316	FRP	Inox
	PK20	⑦PK20-2	40	240	250	316	Inox + acier	Inox

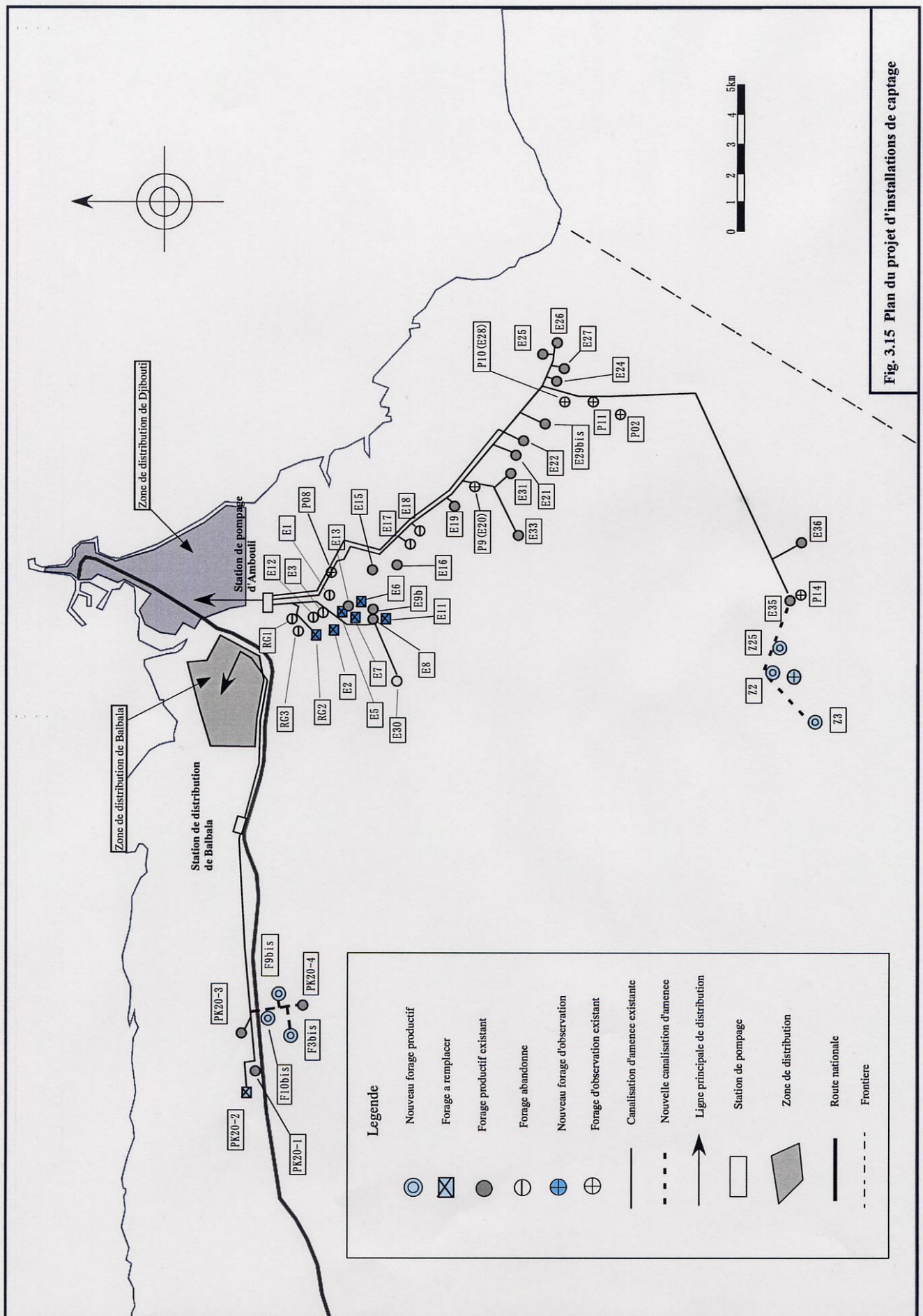
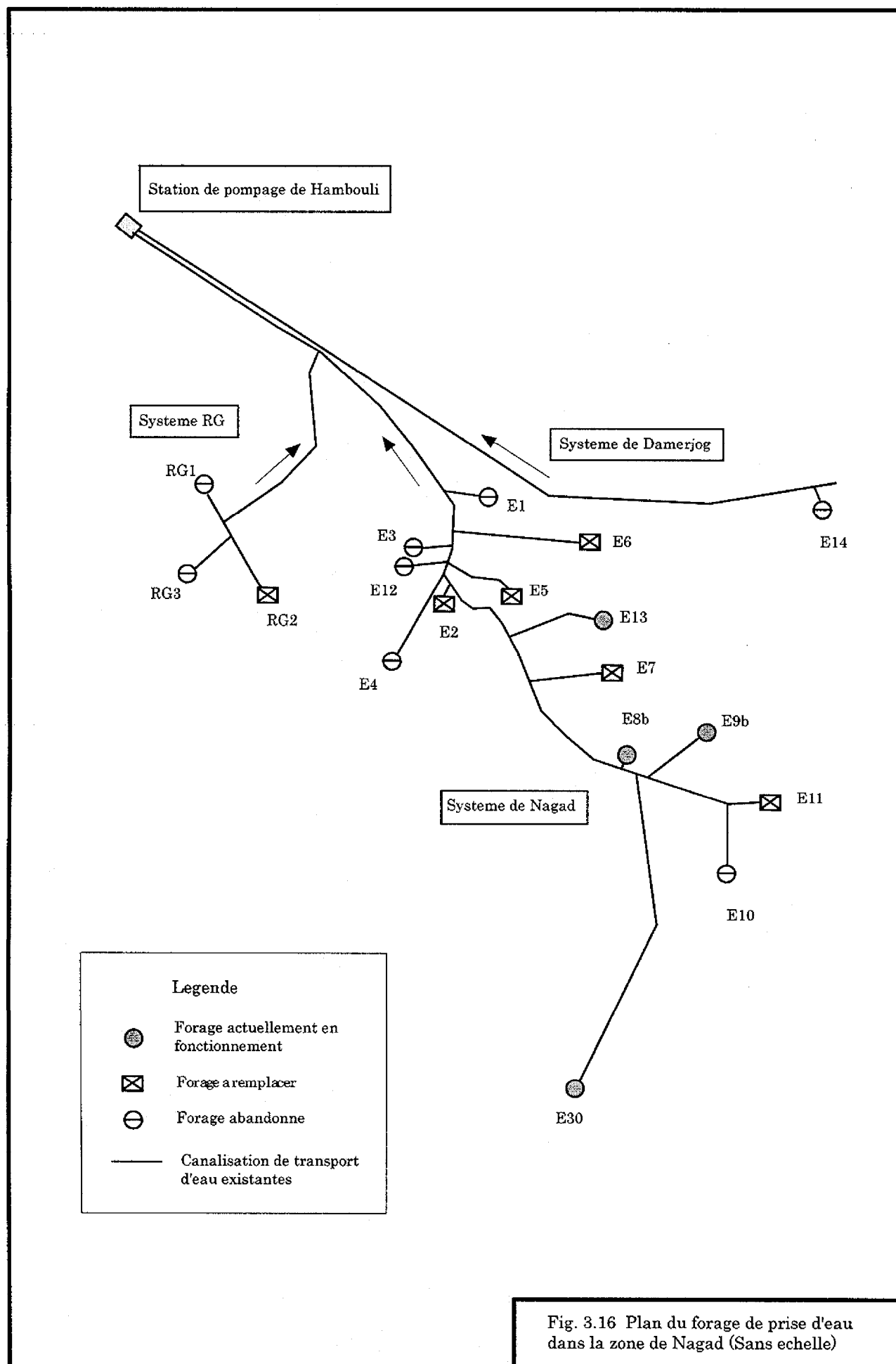


Fig. 3.15 Plan du projet d'installations de captage



(2) Conception de la pompe immergée

La puissance axiale nécessaire de la pompe étant définie à partir de la hauteur de relevage totale de chaque forage, un moteur électrique à puissance nominale légèrement supérieure à cette valeur pour la pompe immergée. La perte de charge utilisée pour le calcul de la hauteur de relevage et la puissance axiale de la pompe se calculent comme suit.

1) Calcul de la hauteur de relevage totale

H (hauteur de relevage totale) = H_1 (perte de charge par frottement du conduit d'amenée d'eau) + H_2 (hauteur de relevage réelle)

2) H_1 (perte de charge par frottement du conduit d'amenée d'eau)

La perte de charge par frottement du conduit d'amenée d'eau est calculée avec la formule de Hazen-Williams.

$$H_1 = 10,666 \times C^{-1,85} \times D^{-4,87} \times Q^{1,85} \times L$$

où:

H_1 : Perte de charge par frottement du conduit d'amenée d'eau (m)

C : Coefficient de flux (110)

D : Diamètre intérieur du tuyau (m)

Q : Débit (m³/h)

L : Longueur du conduit (m)

3) Hauteur de relevage réelle H_2

H_2 = Niveau d'eau pompée + niveau d'eau dans le conduit d'amenée

où:

Niveau d'eau dans le conduit d'amenée: Niveau d'eau dynamique dans la canalisation

4) Calcul de la puissance axiale de la pompe immergée

La puissance axiale requise pour la pompe immergée se calcule avec la formule suivante.

$$P = 0,163 \times \gamma \times Q \times \Sigma H \times (1 + \alpha) / \eta$$

où:

P : Puissance axiale requise pour la pompe immergée (kW)

γ : Poids volumétrique de liquide pompé (1,0 kg/l)

Q : Débit (m³/min.)

ΣH : Hauteur de relevage totale (m)

α : Marge (20%)

η : Efficacité de la pompe

5) Spécifications de la pompe immergée

Les spécifications de la pompe immergée définies à partir des résultats de calcul obtenus en utilisant les formules ci-dessus sont indiquées dans le Tableau 3.9. Le Tableau 3.10 indique la procédure de calcul.

Tableau 3.8 Spécifications de la pompe immergée

Débit (m ³ /h)	Hauteur de relevage (m)	Spécifications du moteur électrique	Nombre	Forages concernés
30	55	11kW × 380V × 50Hz × triphasé	2	E2, E5
	60	11kW × 380V × 50Hz × triphasé	3	E6, E7, E11
35	55	11kW × 380V × 50Hz × triphasé	1	RG2
40	175	37kW × 380V × 50Hz × triphasé	1	PK20-2
45	140	37kW × 380V × 50Hz × triphasé	1	F10b
	145	37kW × 380V × 50Hz × triphasé	2	F3b, F9b
	220	55kW × 380V × 50Hz × triphasé	1	Z25
	225	55kW × 380V × 50Hz × triphasé	1	Z2
	240	55kW × 380V × 50Hz × triphasé	1	Z3

Les mesures de protection contre la corrosion et la température élevée devront être prises pour la résistance à l'eau chaude.

- Pour la protection contre l'eau chaude, le niveau d'isolation du moteur sera augmenté et le boîtier du moteur agrandi pour renforcer l'effet de refroidissement.
- La pompe et le moteur seront en inox pour éviter la corrosion.

(3) Installations d'amenée d'eau

Comme de nouveaux forages seront construits en amont des points de départ des canalisations d'amenée existantes aussi bien dans la zone PK20 que dans la zone de Gegada, le volume d'eau amené augmentera, et il faudra remplacer les tuyaux d'amenée existants par des tuyaux de plus gros diamètre ou bien poser de nouvelles canalisations d'amenée en parallèle. Mais le point de confluence sera en principe un point non influencé par l'augmentation de diamètre. Les installations auxiliaires sur les canalisations d'amenée d'eau seront abri de vanne d'air, abri de vanne d'arrêt, abri de vanne d'élimination de boue et installation de dépressurisation.

Comme le montre le Tableau 3.13, le diamètre des nouvelles canalisations d'amenée d'eau ira de 150 à 250 mm, et des tuyaux en fonte ductile, en PVC ou en acier sont envisageables. Dans le cas des tuyaux en acier, le raccord sera fait par soudure; étant plus difficile à travailler par rapport au tuyau en fonte ductile et posant un problème de corrosion à cause de la valeur élevée des ions de chlore, n'est pas adapté dans cette zone. Le tuyau en PVC perdra de la résistance à cause de la température élevée de l'eau souterraine, n'est pas jugé adapté comme canalisation d'amenée pour laquelle une grande stabilité est requise après la pose, c'est pourquoi le tuyau en fonte ductile sera adopté parce qu'il est stable et que les conditions naturelles ne poseront pas de problème particulier.

(4) Installations de dépressurisation

Des tuyaux en ciment à l'amianté (tuyaux AC) pour les canalisations d'amenée d'eau existantes. Si ce projet est exécuté, les nouveaux forages construits dans les zones PK20 et de Gegada provoqueront une augmentation de la production des forages de chaque zone, et le volume d'eau passant dans les canalisations d'amenée existantes augmentera; de plus, les nouveaux forages construits dans la zone de Gegada étant situés à une altitude supérieure à celle des forages existants, la pression de l'eau va augmenter à l'intérieur des canalisations. Il faudra donc confirmer la résistance à la pression d'eau des canalisations existantes, estimer la pression due à l'effet de pressurisation prévisible lors de la gestion du fonctionnement après l'achèvement du projet, et vérifier la sécurité des canalisations actuelles à la pression. Une installation de dépressurisation devra être mise en place si la pression d'eau appliquée dépasse la pression d'eau tolérée pour les canalisations existantes.

1) Résistance à la pression de la canalisation AC (pression d'eau tolérée)

La norme de la canalisation AC existante est Classe 20 BS486. Comme le montrent les conditions de pressurisation de cette spécification indiquées ci-dessous, elle est similaire à Type 2 JISA5301 abandonné en 1987.

Tableau 3.9 Norme de la canalisation AC

Norme	Pression d'eau statique existante	Pression d'eau de test	Pression d'eau garantie	Pression de rupture
BS486	10 kg/cm ² (50% de TP)	20 kg/cm ² (pression de test)	Pas de spécification	30 kg/cm ²
JISA5301	Pas de spécification	22 kg/cm ² (80% de la pression d'eau garantie)	28 kg/cm ² (90% de la pression de rupture)	31 kg/cm ²

La résistance à la pression de la canalisation AC est indiquée sous forme de pression d'eau tolérée (total de la pression d'eau statique et de la pression de marteau d'eau) en tenant compte de la charge (pression du sol, charge en provenance de la surface du sol, poids du tuyau lui-même, poids de l'eau dans le tuyau, réaction à la fondation). Le calcul de base du tuyau existant de $\phi 350$, $\phi 300$, $\phi 200$ est fait pour le tuyau de type 2 JISA5301, pour obtenir la pression d'eau tolérée. La méthode de calcul est conforme à la "Conception structurelle des conduits" des canalisations, Normes de conception améliorée des sols, Direction de l'amélioration des structures du Ministère de l'Agriculture, de la Forêt et de la Pêche. La couverture maximale des canalisations existantes est de 2 m, et les résultats de calcul suivants sont obtenus dans ce cas. La pression d'eau de test des travaux d'enterrement des canalisations d'amenée dans la zone PK20 étant de 13,0 kg/cm², la pression d'eau tolérée a été définie à 13,0 kg/cm² (charge de pression d'eau de 130 m) en ménageant une certaine marge par rapport aux résultats de calcul. (Consulter les résultats du calcul de la structure des canalisations en fin de volume.)

Tableau 3.10 Pression d'eau intérieure tolérée

Diamètre de canalisation	Pression d'eau tolérée (kg/cm ²)
$\phi 350$	13,2
$\phi 300$	13,3
$\phi 200$	13,4

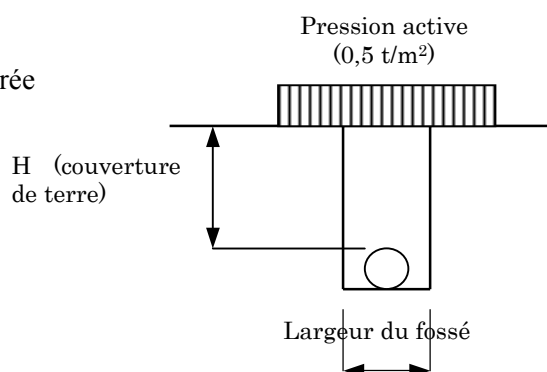


Fig. 3.17 Section de calcul de la structure

2) Conception de la pression d'eau due à l'effet de pressurisation

La pression d'eau apparaissant réellement lors du fonctionnement est le total de la pression d'eau statique à ce point de la canalisation et la pression du marteau d'eau. Les conditions de pressurisation des canalisations sont que la pression d'eau due à l'effet de pressurisation ne dépasse pas la pression d'eau tolérée et que la gestion du fonctionnement soit assurée. Par conséquent, si la pression d'eau due à l'effet de pressurisation dépasse la pression d'eau tolérée dans les deux zones PK20 et Gegada, une installation de dépressurisation sera nécessaire parce que des dommages aux canalisations sont possibles.

Les canalisations existantes dans les zones PK20 et de Gegada sont de type fermé avec vannes dans la canalisation. La "méthode de prévision de la pression du marteau d'eau selon les règles de pratique" des canalisations, Normes de conception améliorée des sols, Direction

de l'amélioration des structures du Ministère de l'Agriculture, de la Forêt et de la Pêche, permettent d'estimer la pression du marteau d'eau à 40% de la pression d'eau statique. Et le point de pression maximale à l'apparition de la pression du marteau d'eau est le point d'installation de la vanne dans la partie inférieure de la canalisation d'amenée, la courbe de pression maximale au moment de la fermeture de la vanne étant comme indiquée sur la figure ci-dessous.

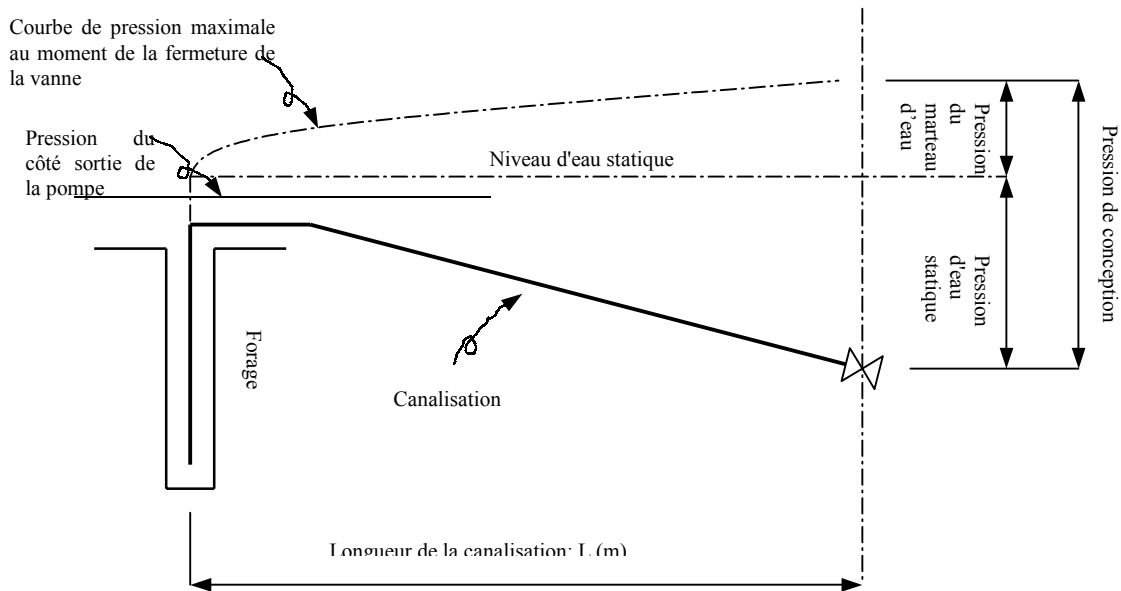


Fig. 3.18 Pression d'eau de conception pour le type fermé

3) Structure du réservoir de dépressurisation

Si un réservoir sert d'installation de dépressurisation, un type en ligne installé au milieu de la canalisation est utilisable; comme l'objectif dans ce projet est de réduire la pression dans la canalisation dans les limites de résistance à la pression du tuyau, un type réservoir à effet de dépressurisation certain sera utilisé.

4) Canalisation principale PK20

Si un réservoir de dépressurisation est installé, comme l'indique le tableau de calcul hydrologique (Tableau H1), le forage où le niveau d'eau statique du côté sortie (partie confluent avec la canalisation d'amenée d'eau) de la pompe du forage sur la canalisation dans la zone PK20 deviendra maximal est le forage F3b, avec un niveau d'eau statique de 212,3 m. De plus, le terminal de la canalisation d'amenée principale se situant au réservoir de distribution PK12, son élévation est de 111,7 m.

Par conséquent, une pression statique de 100,6 m apparaît entre les deux, une pression d'eau à l'intérieur de la canalisation de 140,8 m (total de cette pression statique et de la pression du marteau d'eau de 40,2 m qui correspond à ses 40%) apparaît au point PK12, et une pression d'eau au niveau d'eau maximum de 252,5 m à la survenance de la pression du marteau d'eau, est exercée sur toute la canalisation. Par conséquent, comme le montre ce tableau de calcul hydrologique, une pression d'eau dépassant la pression d'eau tolérée de 130 m ($13,0 \text{ kg/cm}^2$) apparaît dans l'intervalle de 5.820 m entre Sta.5587 et Sta.11007 sur le réservoir de distribution PK12 du terminal. Ainsi, l'installation d'un réservoir de dépressurisation à l'emplacement adapté sera nécessaire pour éviter la création d'un intervalle sur lequel une pression d'eau supérieure à la pression d'eau tolérée se développera.

Tableau 3.11 Niveau d'eau maximum au point PK12 sans réservoir de dépressurisation

Niveau d'eau statique max. au forage F3b (m) ①	Elévation au point PK12 (m) ②	Pression d'eau intérieure max. au point PK12 (m) ③=(①-②)×1,4	Niveau d'eau max. au point PK12 (m) ③+②
212,3	111,7	140,8	252,5

Si un réservoir de dépressurisation doit être installé dans la partie plate avant que l'inclinaison longitudinale du relief devienne importante, le point Sta700 a été sélectionné parce que c'est un emplacement qui ne produit pas de manque de pression d'eau pour l'envoi de l'eau au réservoir de distribution PK12. D'après les résultats du calcul hydrologique, le niveau d'eau statique du forage F3b, où le niveau d'eau statique du côté sortie de la pompe du forage est maximal dans la canalisation en aval du réservoir de dépressurisation, atteint 182,9 m. Une pression statique de 71,2 m apparaît dans l'intervalle avec l'élévation du réservoir de distribution PK12, et une pression d'eau dans la canalisation de 99,7 m (total de cette pression statique et de la pression du marteau d'eau de 28,5 m qui correspond à ses 40%) apparaît au point PK12, et une pression d'eau au niveau d'eau maximum de 211,4 m à la survenance de la pression du marteau d'eau, est exercée sur la canalisation. La pression d'eau maximale dans la canalisation est 121,8 m, étant inférieure à la pression d'eau à l'intérieur de la canalisation tolérée, l'installation du réservoir de dépressurisation à Sta.700 est jugée pertinente.

Tableau 3.12 Niveau d'eau maximum au point PK12 avec réservoir de dépressurisation

Elévation à l'emplacement du réservoir de dépressurisation (m)	Niveau d'eau du réservoir de dépressurisation (m)	Niveau d'eau statique max. au forage F3b (m) ①	Elévation au point PK12 (m) ②	Pression d'eau intérieure max. au point PK12 (m) ③=(①-②)×1.4	Niveau d'eau max. au point PK12 (m) ③+②
171,9	173,0	182,9	111,7	99,7	211,4

Le niveau d'eau maximum dans la canalisation en aval du réservoir de dépressurisation est de 182,9 m à F3b, et si la pompe du forage est fonctionnée à l'état fermé de la vanne, le niveau d'eau dans la canalisation devient supérieur au niveau d'eau de 173 m du réservoir de dépressurisation. Une vanne de non-retour devra être installée en aval du réservoir de dépressurisation pour empêcher le retour d'eau vers le réservoir de dépressurisation dans ce cas.

5) Canalisation principale de Gegada

La canalisation d'amenée (canalisation secondaire Z3) des nouveaux forages Z3 (élévation 226,6 m), Z2 (élévation 190,4 m) et Z25 (élévation 170,5 m) sera construite en amont du forage E35 existant (élévation 149 m). Si la nouvelle canalisation sera raccordée à la canalisation existante au point E35, comme le montre le tableau ci-dessous, la vitesse du flux dans la canalisation après le point de jonction de la canalisation secondaire E36 sera de 2,02 m/sec., la charge de pression devient négative et la capacité de passage de l'eau insuffisante. Par conséquent, la canalisation existante (ACø200) sera utilisée pour le passage de l'eau des forages existants E35 et E36, une nouvelle canalisation spéciale sera posée parallèlement à la canalisation existante pour l'amenée d'eau de la canalisation secondaire Z3, et la jonction avec la canalisation existante sera faite au point Sta.10047 où le diamètre de la canalisation existante est de ø300.

Le calcul hydrologique a permis de confirmer que le niveau d'eau statique du côté sortie de la pompe du forage dans la canalisation sera maximal (234,4 m) au forage Z3 qui sera nouvellement construit. L'élévation du sol au forage F28 terminal de la canalisation d'amenée principale est de 27,7 m. Par conséquent, une pression d'eau statique de 206,7 m apparaîtra entre les deux, et une pression dans la canalisation de 289,4 m (total de cette pression et de la

pression du marteau d'eau de 82,7 m qui correspond à ses 40%) apparaîtra au point E28, et une pression d'eau due au niveau d'eau maximum de 317,1 m à la survenance de la pression du marteau d'eau sera appliquée sur toute la canalisation. Dans ce cas, comme le montre le même tableau de calcul hydrologique, une pression dépassant la pression d'eau tolérée de 130 m de la canalisation AC apparaîtra dans toutes les canalisations d'amenée existantes de la zone de Gegada, et deux réservoirs de dépressurisation devront donc être installés dans l'intervalle Z3 – E28.

Tableau 3.13 Gegada Niveau d'eau maximum au point E28 sans réservoir de dépressurisation

Niveau d'eau statique max. au forage Z3 (m) ①	Élévation au point E28 (m) ②	Pression d'eau intérieure max. au point E28 (m) ③=(①-②)×1,4	Niveau d'eau max. au point E28 (m) ③+②
234,4	27,7	289,4	317,1

La nouvelle canalisation secondaire Z3 sera combinée à la canalisation principale existante, et la jonction sera faite au point de changement de diamètre ø300 sur la canalisation principale existante (Sta.10047). Pour l'emplacement des réservoirs de dépressurisation, une étude comparée a été faite pour la teneur des installations, le coût de la construction et la pression d'eau à l'intérieur des canalisations dans les 3 cas ci-dessous, compte tenu des conditions topographiques et du degré de dépressurisation. Dans chaque cas, Sta.13540 a été sélectionné comme emplacement pour le réservoir de dépressurisation en aval, parce que la charge nécessaire à E28 est de 85,0 m. Le coût de la construction est élevé dans le cas 1, et identique dans les cas 2 et 3. La pression d'eau intérieure maximale est la plus basse dans le cas 3, et la sécurité est bonne. L'adoption du cas 3 est donc recommandée. Les calculs hydrologiques dans les différents cas sont regroupés dans les documents en fin de volume.

6) Capacité du reservoir de dépressurisation

Une vanne de dépressurisation sera installée du côté arrivée du réservoir de dépressurisation pour contrôler le niveau d'eau dans le réservoir. Le niveau d'eau du réservoir de dépressurisation devra être défini de manière à éviter une cavitation excessive de la vanne de dépressurisation. De plus, le volume efficace du réservoir de dépressurisation a été fixé au volume d'arrivée de 15 minutes nécessaire pour contrôler dans une certaine mesure la fréquence d'ouverture/fermeture de la vanne de dépressurisation. L'ossature sera rectangle en béton armé.

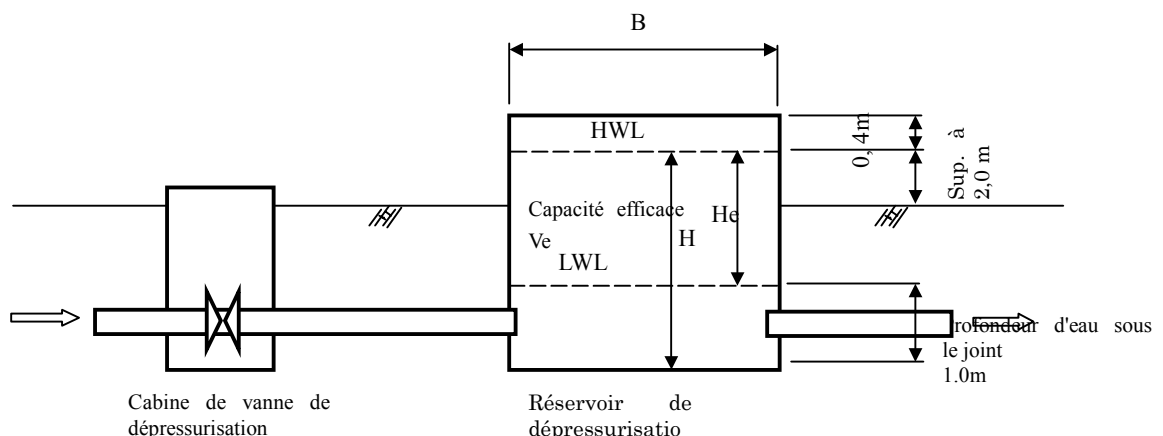


Fig. 3.19 Structure simplifiée du réservoir de dépressurisation

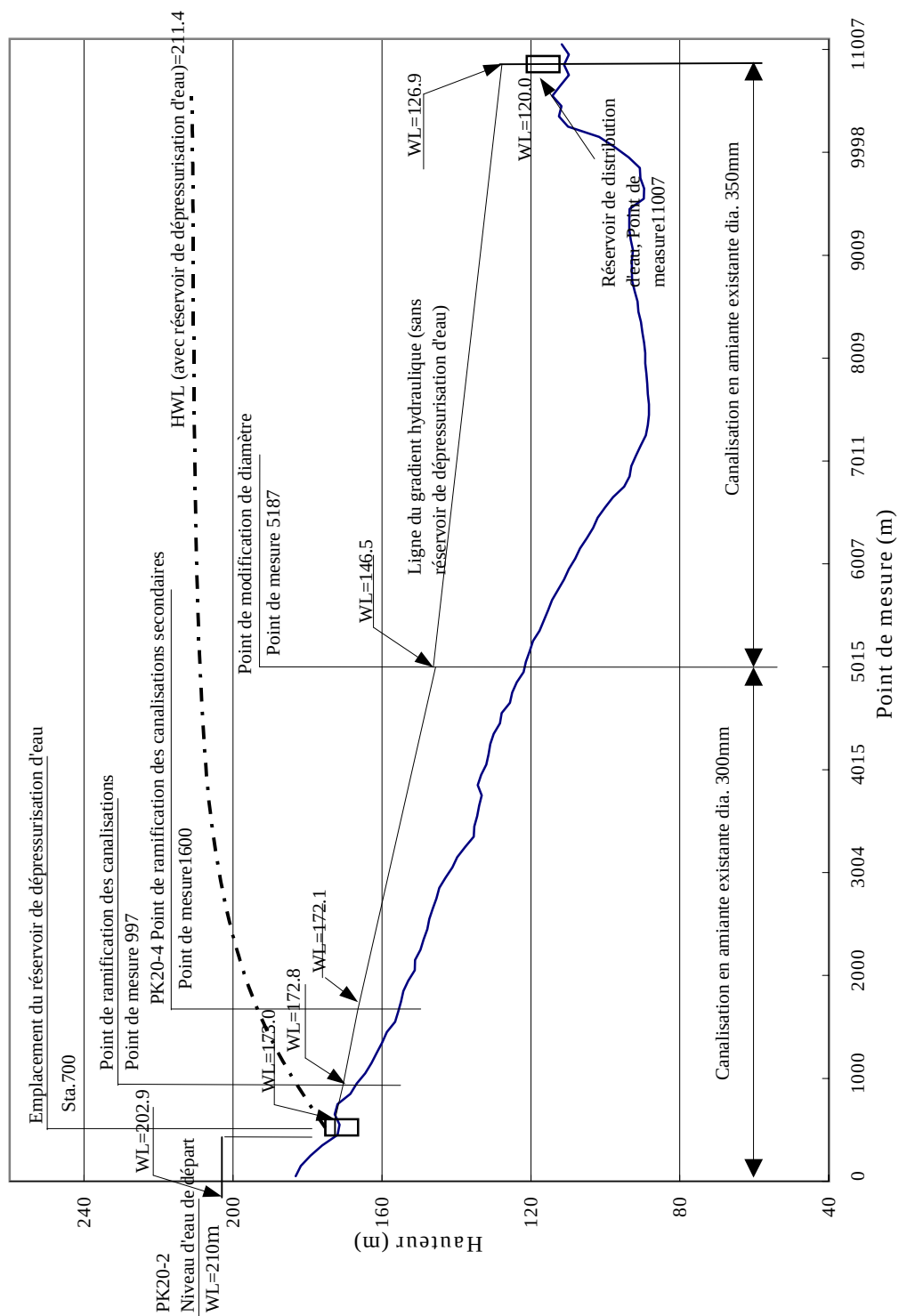


Fig. 3.20 Plan d'étude hydrologique de la canalisation de transport d'eau de PK20 (Sans échelle)

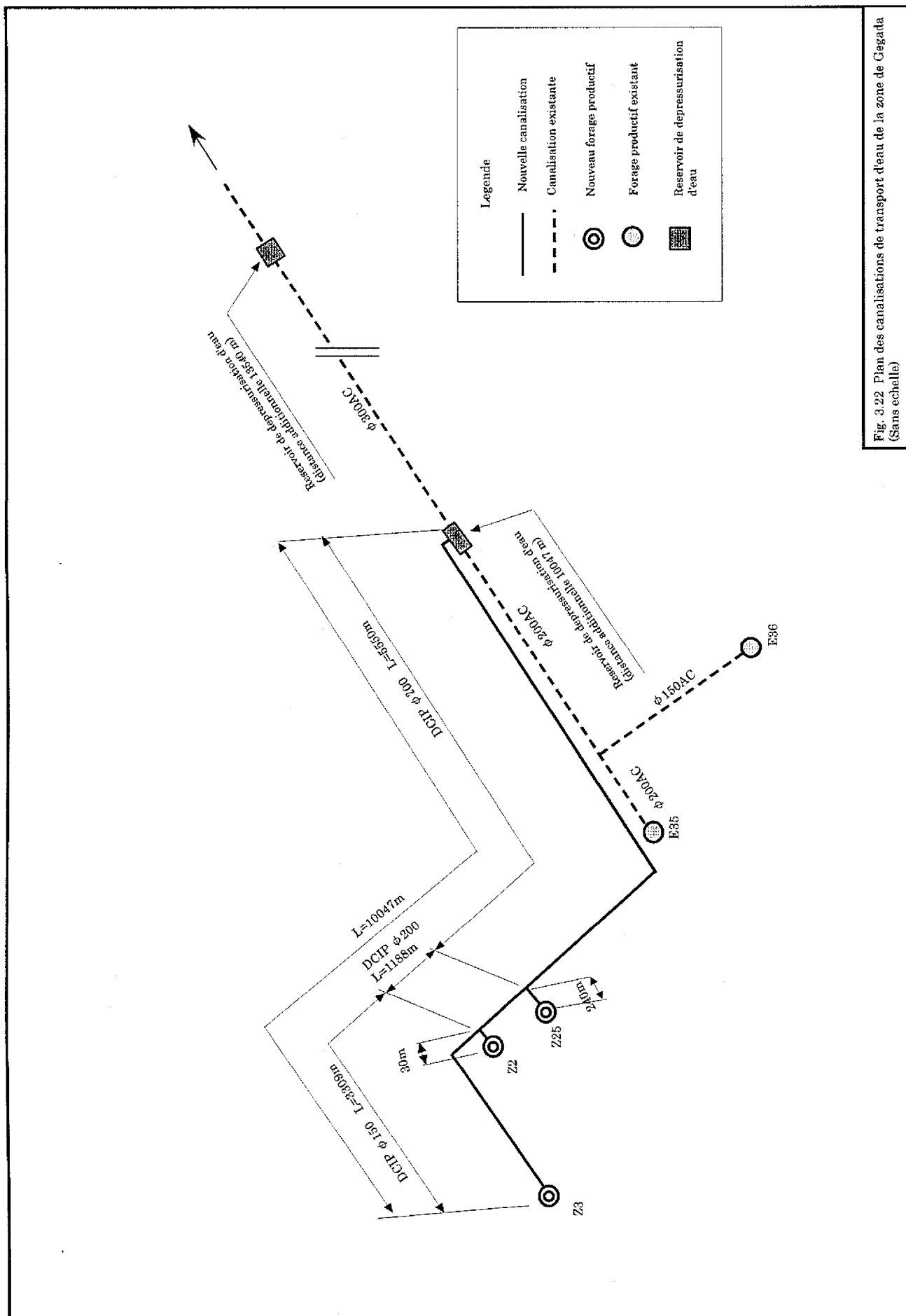


Fig. 3.22 Plan des canalisations de transport d'eau de la zone de Gegada (Sans échelle)

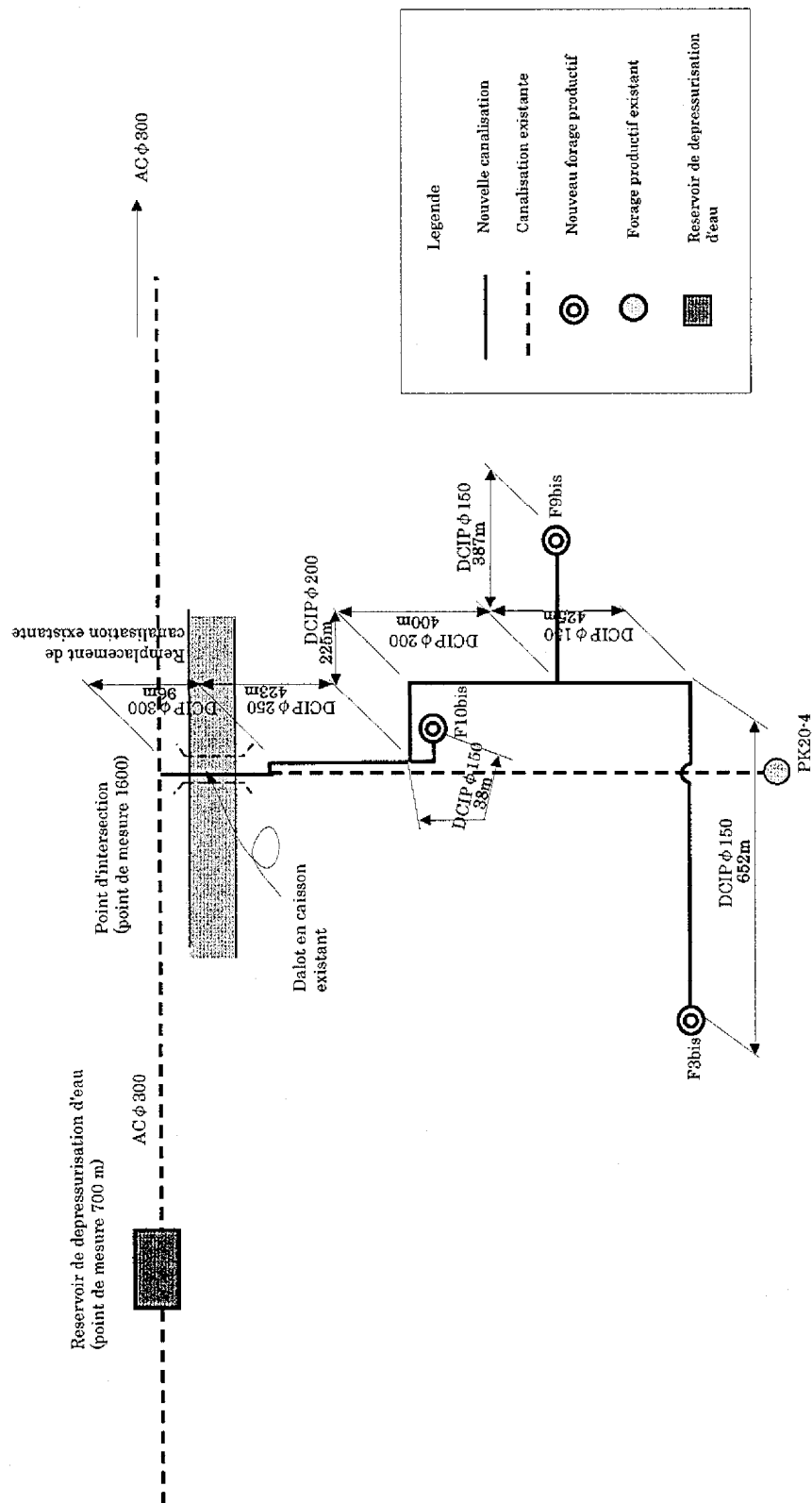


Fig. 3.23 Plan des canalisations de transport d'eau de la zone PK20 (Sans échelle)

(5) Installations électriques

1) Transformateur côté secondaire

La capacité du transformateur est obtenue avec la formule suivante.

$$T = \sum P_m \times (1 + \alpha) / (\sum \eta \times Pf)$$

où:

T: Capacité du transformateur (kVA)

$\sum P_m$: Puissance totale sous charge nominale (kW)

α : Indice de marge 0,1

Pf: Indice de puissance totale (0,85)

$\sum \eta$: Indice de puissance totale sous charge nominale (pompe immergée 0,84)

Les transformateurs de capacité de 75 kVA et de 100 kVA seront installés dans les zones de construction des nouveaux forages (zones de Gegada et PK20) parce que la puissance de la pompe immergée des forages de captage est de 37 kW et 55 kW.

Tableau 3.14 Spécifications du transformateur côté secondaire

Zone	Puissance totale sous charge nominale (kW)	Capacité nécessaire du transformateur (kVA)	Capacité nominale du transformateur (kVA)	Spécifications du transformateur	Nbre.	Forages concernés
PK20	37	57	75	Tension côté primaire: 20 kV (3 fils, triphasé) Tension côté secondaire: 380 V/220 V (fil, triphasé) 50 cycles	3	F10b, F3b, F9b
Gegada	55	84	100	Comme ci-dessus	3	Z2, Z3, Z25

2) Câbles électriques

Le diamètre des câbles sera défini après confirmation de la baisse de tension. La baisse de tension est obtenue par la formule abrégée ci-dessous.

$$e = 30,8 \times L \times I / (1000 \times A)$$

où:

e: Baisse de tension (V)

L: Longueur de câble (m)

I: Ampérage (A)

A: Section de câble (mm²)

Le Tableau 3.15 indique les résultats du calcul, et il a été confirmé qu'une tension côté secondaire de plus de 380 V pouvait être obtenue en tout point. Le câble électrique sera donc de 34,4 mm², 3 fils, triphasé.

Tableau 3.15 Calcul de la baisse de tension

Nom de la zone d'alimentation électrique		L(m)	I(A)	A (mm ²)	E(v)	Tension initiale (V)	Tension abaissée (V)	Tension côté secondaire (V)
Ligne de Nagad		3.220	4,2	34,4	12	20.000	19.988	399
Ligne de Gegada	Point B	13.500	24,5	34,4	296	20.000	19.704	394
	Point C	27.200	24,5	54,6	596	20.000	19.404	388
	Point D	34.400	24,5	34,4	754	20.000	19.246	385

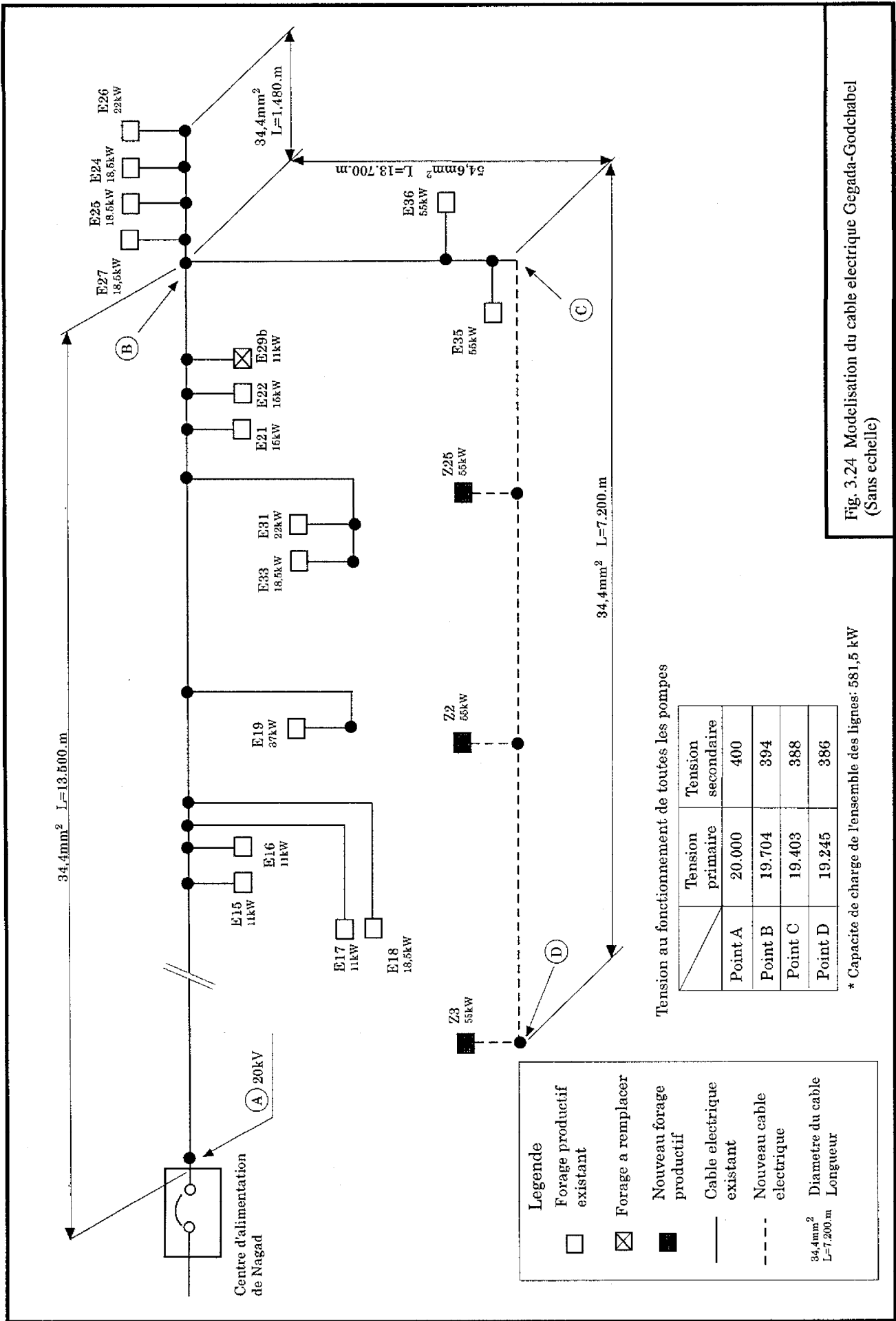


Fig. 3.24 Modelisation du cable électrique Gegada-Godchabel (Sans echelle)

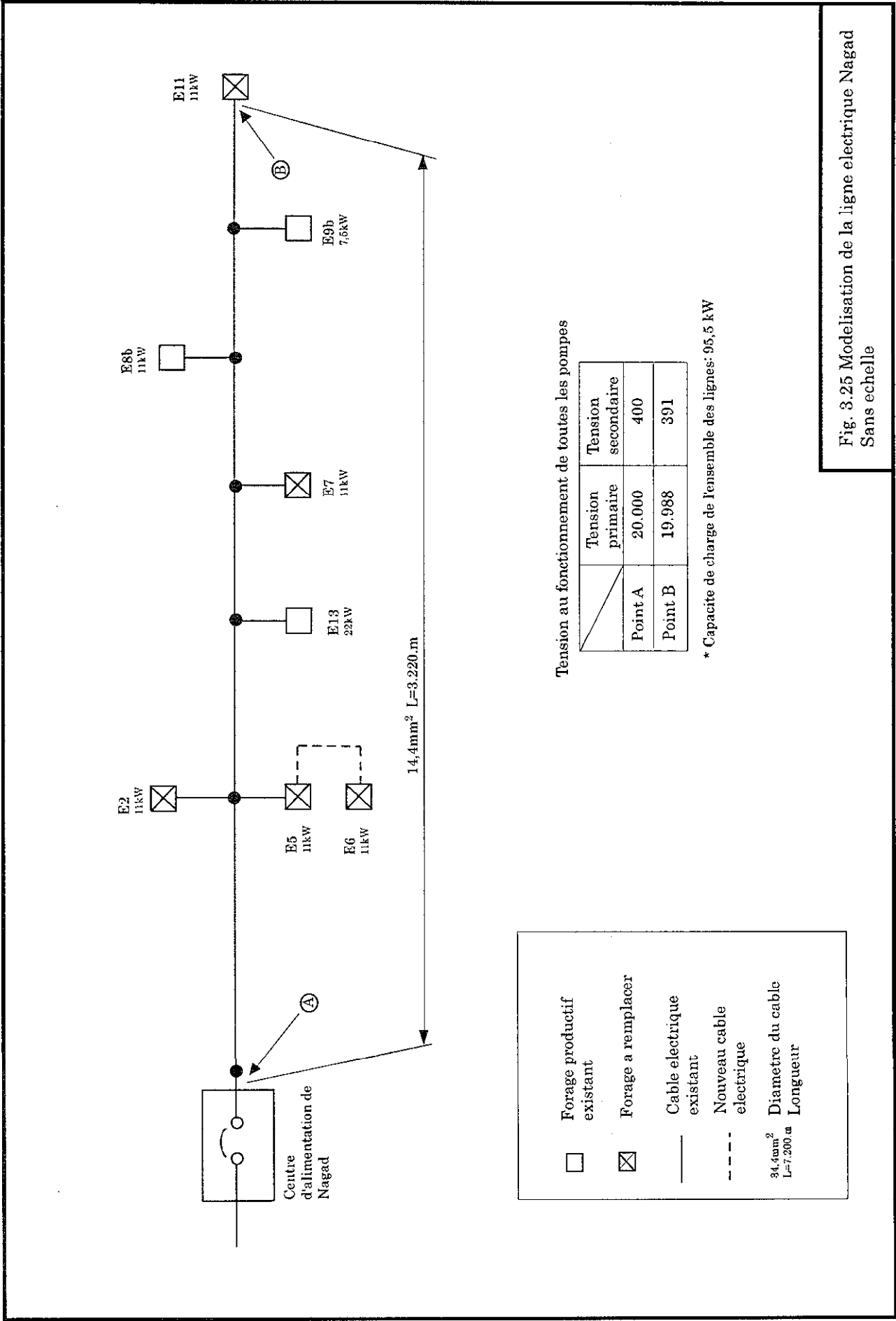


Fig. 3.25 Modelisation de la ligne electrique Nagad Sans echelle

(6) Forages d'observation

La profondeur des forages sera de 300 m pour permettre d'atteindre le socle à basse résistivité, et une crépine sera installée sur toute la partie au-dessous de la surface de l'eau. Le tubage et la crépine seront en acier, et la crépine sera dotée de fentes. Le nombre de fentes devra permettre d'assurer une porosité d'environ 5%, et les fentes auront 3 mm de largeur x 180 mm de longueur. Comme les eaux souterraines sont estimées à environ -220 m au-dessous de la surface du sol, la crépine sera installée sur un espace de 77 m; l'emploi d'une crépine à fente ne cause pas de problème particulier d'affaissement sous l'effet de la charge verticale.

Le diamètre du trou des forages d'observation est du minimum permettant l'insertion d'une pompe immergée, soit 6", compte tenu du fait que les essais de pompage sont réalisés seulement à la construction. Les activités d'observation comprennent principalement les relevés de niveaux d'eau et le prélèvement d'échantillons d'eau, et un diamètre de 6" permettra d'assurer ces activités.

Par ailleurs, la surface des eaux souterraines étant estimée à environ -220 m de la surface du sol, les opérations d'observation seront effectuées avec un camion grue équipé d'une poulie, ou bien par treuil manuel placé au bord du trou. Par conséquent, comme indiqué à la Figure 3-29, un treuil de 50 cm de large x 80 cm de long environ sera installé au bord du trou, et un espace de travail de 2,0 m de large x 2,0 m de long en béton sera construit pour permettre les activités par 3 personnes. Les forages d'observation ne seront pas dotés d'abri, le trou sera recouvert d'un couvercle en acier boulonné en dehors des périodes de relevés.

(7) Plan de fourniture d'équipements

1) Installations auxiliaires de forage de captage

Les installations auxiliaires de forage de captage: manomètre, vanne d'aération, débitmètre, vanne de non-retour et tube en inox, seront prévues pour les 18 forages existants. Un débitmètre résistant à une température élevée de 60°C sera utilisable, et il en ira de même pour les débitmètres des nouveaux forages.

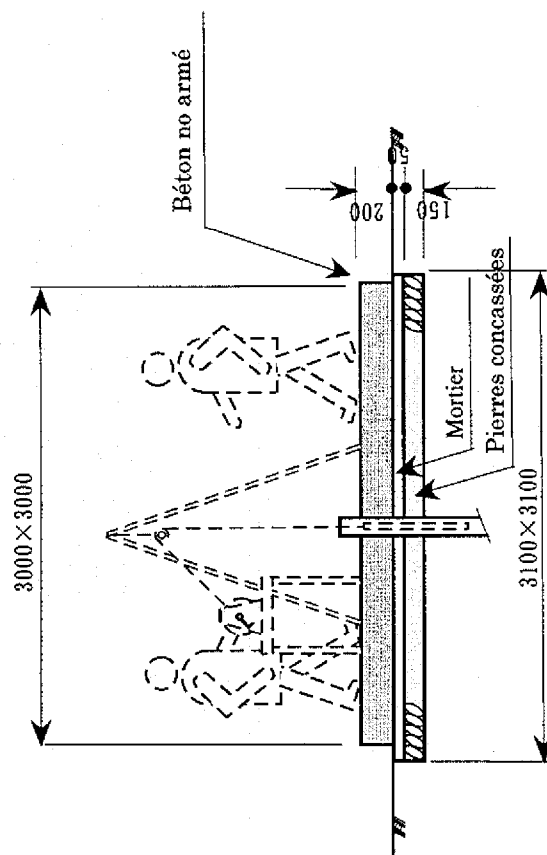
Tableau 3.16 Installations auxiliaires des forages productifs existants

	Nombre de forages	N° des forages concernés
Diamètre du tube de pompage de forage existant 80 mm	3	E15, E16, E17
Diamètre du tube de pompage de forage existant 100 mm	15	E8, E9b, E13, E18, E19, E21, E22, E24, E25, E26, E27, E29b, E30, E31, E33
Total	18	

2) Véhicule avec grue pour l'entretien des forages

Le Tableau 3.17 indique les spécifications du véhicule avec grue pour l'entretien des forages.

Projection laterale



Détails du trou de forage

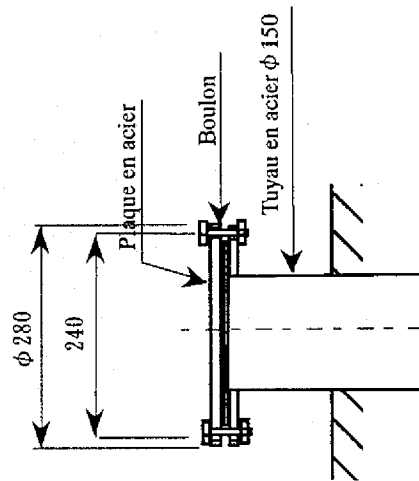


Figure 3.26 Structure des forages d'observation

Tableau 3.17 Spécifications du véhicule avec grue pour l'entretien des forages

Rubriques	Spécifications
Type d'entraînement	4x4
Capacité de levage du tambour principal, capacité d'enroulement	Plus de 5 t, plus de 50 m (câble de 14 mm)
Vitesse du câble du tambour principal	Plus de 35 m/min., dispositif de chute libre
Capacité de levage du tambour secondaire, capacité d'enroulement	Plus de 2 t, plus de 300 m (câble de 12 mm)
Vitesse du câble du tambour secondaire	Plus de 80 m/min., dispositif de chute libre
Mât	Levage/rétraction hydraulique, hauteur: plus de 9 m au-dessus du sol
Nivellement du châssis	4 vérins hydrauliques installés (2 à l'avant et 2 à l'arrière)
Accessoires	Câble pour tambours principal et secondaire Palan mobile Tuyau d'arrosage (pour 300 m) Outils de purge, cuiller de sondage Outils de jet d'eau, ajusteur etc.

3-4 Système d'exécution du projet

3-4-1 Organisation

(1) Aperçu de l'organisation

Le Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Mer est organisme de tutelle, et l'organisme d'exécution l'Office National de l'Eau de Djibouti (ONED). Sur le plan légal, l'ONED est un organisme financièrement autonome, mais le gouvernement dispose du droit de nommer les membres du comité de gestion et du conseil d'administration, et du droit de décision sur les éléments importants tels que personnel, tarif de l'eau, acquisition de biens, etc., ce qui en fait en réalité une entreprise publique gérée par le gouvernement.

L'organisation est comme indiquée sur la Figure 3.27, le Conseil d'administration est l'organe de décision suprême, et le budget, les règlements, etc., sont décidés au cours des réunions semestrielles du conseil d'administration. La Direction Générale comprend un directeur général, deux vice-directeurs chargés des affaires générales et activités d'exploitation et du secteur technique et un agent comptable, qui sont responsables de l'exécution des activités quotidiennes. Le Service Technique, le Service commercial, le Service administratif et le Service comptable sont chargées de la gestion et du fonctionnement des installations, et le Service Informatique, le Service Hydrogéologie, le Service Approvisionnement et les conseillers techniques et légaux les assistent.

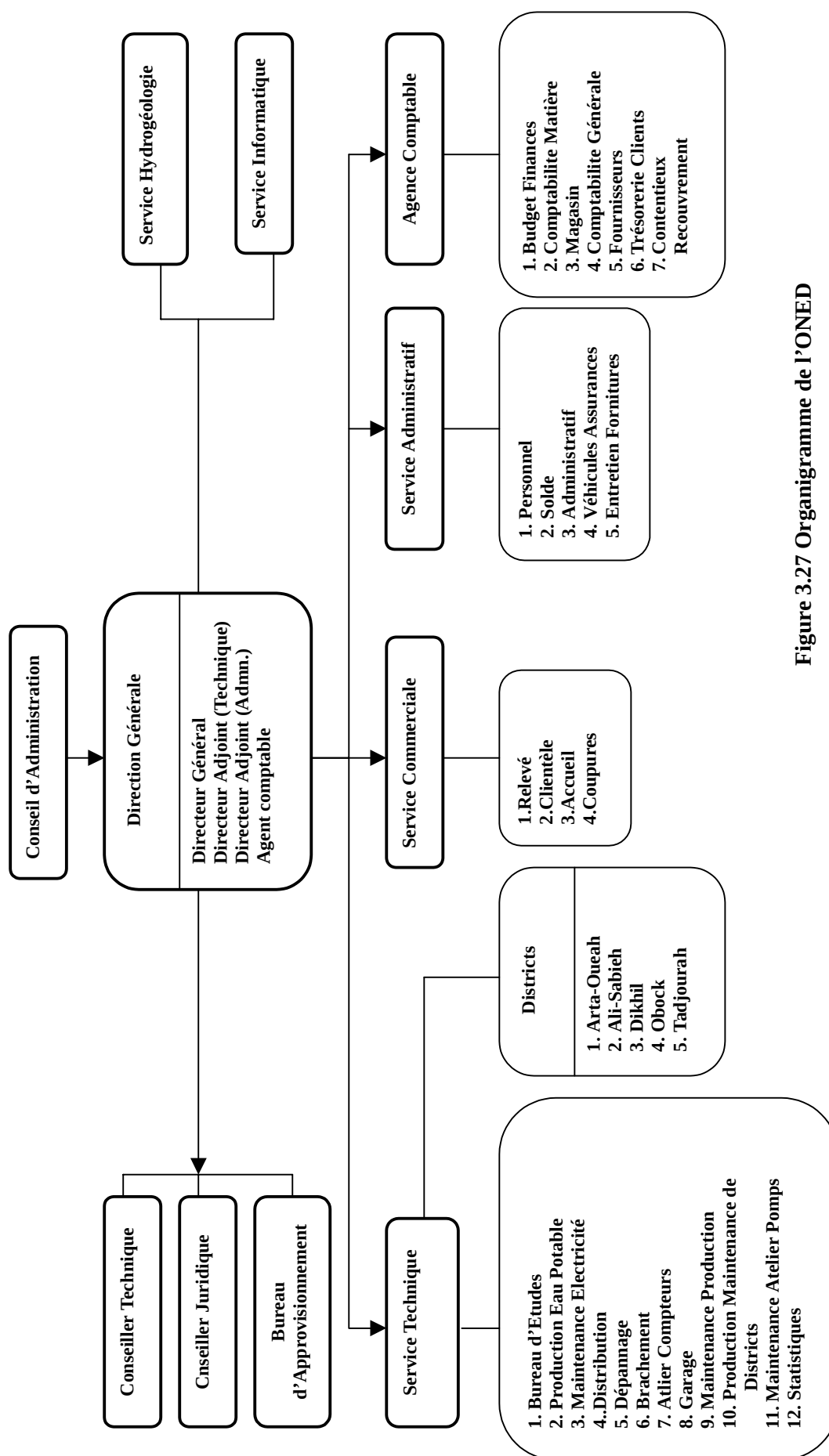


Figure 3.27 Organigramme de l'ONED

(2) Service chargé de la gestion et la maintenance des installations

La gestion et la maintenance des installations existantes sont à la charge du Service technique basé à l'enceinte de la station de pompage de Hambouli. Le service technique se subdivise en 12 divisions, dont les activités sont définies comme suit.

Tableau 3.18 Activités définies pour chaque division du Service technique

Division	Activités définies
1. Bureau d'Etudes	(1) Etude et devis pour les foyers souhaitant s'abonner (2) Etude des plaintes des clients et solutions (3) Etude et planification des extensions de canalisations d'eau dans les nouveaux lotissements
2. Production eau potable	(1) Gestion du fonctionnement des forages productifs (2) Gestion du fonctionnement des installations de pompes d'envoi d'eau
3. Maintenance électricité	(1) Gestion des installations électriques
4. Production Maintenance de Districts	(1) Gestion des forages productifs et pompes des centres régionaux
5. Distribution	(1) Réparations d'urgence des canalisations (2) Pose de nouvelles canalisations (peu de réalisations)
6. Dépannage	(1) Réparation des canalisations d'amenée et de distribution (en relation avec la Div. Distribution. La plupart des réparations sont commissionnées à l'extérieur.)
7. Branchement	(1) Pose de nouvelles canalisations d'alimentation
8. Atelier Compteurs	(1) Inspection et réparation des compteurs d'eau
9. Garage	(1) Réparation des véhicules et groupes électrogènes
10. Construction	(1) Principalement, réparation et construction des cabines de gestion des forages
11. Maintenance Atelier Pompes	(1) Inspection et réparation des pompes immergées
12. Statistiques	(1) Gestion des équipements de l'ONED

L'état de gestion de la Div. Production eau potable et de la Div. Dépannage chargées de la gestion des installations est comme suit.

1) Div. Production eau potable

Comme les installations fonctionnent 24 heures sur 24, une brigade (4 personnes/brigade) est en service avec 3 postes par jour. Pour les inspections périodiques, l'inspection des installations de captage et des installations de pompage d'envoi d'eau ont lieu 2 fois par semaine, et les tableaux de commande électrique sont inspectés une fois par mois. De plus, elle note les fonctionnements anormaux des pompes immergées en confirmant le volume d'eau au réservoir de réception, et effectue l'inspection complète de la pompe immergée en cas d'anomalie.

Un dispositif de télécommande de forage a été installé à la station de pompage de Hambouli en 1994 avec l'aide française, mais il n'est pas utilisé actuellement à cause des problèmes de cartes de circuits jugés dus à l'humidité. C'est pourquoi, en cas d'urgence, les mesures sont prises manuellement.

2) Div. Dépannage

La Div. Maintenance Production travaille 24 heures sur 24, et effectue les inspections par tournées et les réparations des fuites signalées par les clients. D'après le personnel, les canalisations de branchement sont réparées à environ 100%, sauf les problèmes signalés par les clients qui n'ont pas pu être localisés et les canalisations en aval du compteur à la charge des clients. Les réparations effectuées entre 1995 et 2000 sont comme suit.

Tableau 3.19 Réparations

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1995	434	408	494	291	280	250	270	217	394	394	369	346
1996	199	215	226	177	151	172	160	140	133	183	222	290
1997	126	179	132	123	125	102	119	129	125	120	200	205
1998	140	178	166	139	165	80	128	109	116	206	248	335
1999	272	211	191	162	133	182	160	121	129	182	246	258
2000	200	111	166	166	174							

3) Div. Maintenance électricité

L'entretien des installations électriques est assuré par l'EDD (Electricité de Djibouti) de l'ONED. L'EDD s'occupe de l'entretien du côté primaire allant de l'installation électrique jusqu'aux transformateurs des forages, la Division protection électrique de l'entretien du côté secondaire allant des forages aux panneaux de commande des forages.

3-4-2 Bilan

Les comptes de résultats et les bilans de 1994 - 1999 ont été analysés pour vérifier l'état financier de l'ONED (voir les Tableaux 3.21 et 3.22). Il s'est avéré que malgré l'importance des impayés dans la recette de l'eau, les frais généraux étant dans les limites admissibles, il est possible de les couvrir par le recouvrement actuel ; ainsi, du point de vue des fonds disponibles et des capacités de paiement à court terme, la situation financière quasiment saine.

Mais des retards de paiement dépassant les amortissements tous les ans, on peut penser qu'il sera difficile de faire de nouveaux investissements en équipements et d'obtenir les fonds pour le renouvellement si les impayés ne peuvent pas être réellement recouverts.

(1) Etat des recettes

Le bilan final des exercices 1996-2000 a été déficitaire à cause de l'amortissement excessif des impayés des exercices antérieurs. Mais le bilan est positif au niveau des profits commerciaux et d'exploitation, et compte tenu du caractère très public du service d'alimentation en eau courant, le niveau des profits de l'ONED semble pratiquement pertinent.

Comme le montre le Tableau 3.20, l'ONED a augmenté le tarif de l'eau pour les gros consommateurs en décembre 2000, ce qui devrait lui permettre dans le programme pour l'exercice 2001 de passer à un bilan positif, et de dégager un bénéfice net d'environ 300 millions de FD.

Tableau 3.20 Tarifs de l'eau

Code	Volume utilisé (m ³ /mois)	Tarif (FD/ m ³)	
		Ancien	Nouveau
1	Moins de 30	62	Inchangé
2	31 à 80	102	Inchangé
3	81 à 120	142	Inchangé
4	121 à 200	163	Inchangé
5	201 à 1.000	-	200
6	Plus de 1.001	-	250

(2) Etat des fonds

Le Tableau 3.27 indique une comparaison des emprunts/prêts, et montre que les frais d'eau impayés restent encore élevés (taux de collecte de 44% pour l'exercice 1999), c'est pourquoi les fonds

disponibles sont limités. L'obtention de nouveaux fonds d'équipement et de fonds pour le renouvellement des installations n'est pas facile, et il y a de plus un retard de paiement pour le principal et l'intérêt (environ 170 millions de FD) des emprunts en devises faits auprès de l'Agence française de développement (AFD) (qui a été annulé au début 2001 par une aide en obligations du Gouvernement français).

Mais le paiement des autres frais est maintenu dans les limites possibles, et les frais de maintenance, amortissements exclus, peuvent être couverts par les frais actuellement collectés. A partir de 2001, l'état des fonds devrait s'améliorer avec l'augmentation du tarif de l'eau courante.

Les emprunts restants à la fin 1999 étaient environ 6 milliards de FD (env. 34 millions US\$) d'emprunts en devises, et environ 400 millions de FD (environ 2 millions US\$) d'emprunts internes auprès du gouvernement. Le degré de dépendance des emprunts (emprunts/total du patrimoine) est élevé, environ 50%, mais les emprunts sont tous à long terme et taux d'intérêt bas, et le taux du service de la dette (remboursement annuel du principal et des intérêts/bénéfice d'exploitation) est d'environ 14%, soit dans les limites autorisées. Le remboursement est jugé possible s'il n'y avait pas les impayés des frais d'eau.

Tableau 3.21 Compte de pertes et profits de l'ONED 1996 – 2000 (unité: millions FD)

Rubrique		Résultats 1996	Résultats 1997	Résultats 1998	Résultats 1999	Prévisions pour 2000	Projet 2001 ⁽¹⁾
Recettes d'exploitation	Profit de l'alimentation en eau	1.447,3	1.415,8	1.400,0	1.458,7	1.581,7	1.669,3
	Recettes des travaux commissionnés	33,3	52,8	101,4	51,7	75,4	139,0
	Total	1.480,6	1.468,6	1.501,4	1.510,4	1.657,1	1.808,3
Frais commerciaux	Frais de personnel	482,7	485,8	473,2	474,1	467,4	390,5
	Remboursement des coupes sur les salaires ⁽²⁾	0,0	0,0	-18,4	-27,4	-20,3	0,0
	Sous-total	482,7	485,8	454,8	446,7	447,1	390,5
	Amortissements	407,0	404,3	442,7	549,1	580,1	560,0
	Remboursement de la part don ⁽³⁾	-80,2	-83,2	-85,2	-91,7	-90,2	-110,0
	Sous-total	326,8	321,1	357,5	457,4	489,9	450,0
	Frais de matériaux	156,3	177,9	82,5	100,6	113,0	95,6
	Electricité	291,7	263,8	304,7	281,3	249,9	232,0
	Prélèvements fiscaux	8,5	48,2	36,3	34,4	40,4	42,1
	Autres	143,8	171,0	150,4	158,2	152,4	130,0
	Total	1.409,8	1.467,8	1.386,2	1.478,6	1.492,7	1.340,2
	Profit d'exploitation	70,8	0,8	115,2	31,8	164,4	468,1
Recettes non d'exploitation	Intérêts perçus	45,2	35,9	31,4	31,2	30,5	33,5
	Autres	1,6	0,1	1,9	1,9	0,0	2,7
	Total	46,8	36,0	33,3	33,1	30,5	36,2
Frais non d'exploitation	Intérêts versés	51,1	74,7	90,8	84,8	76,6	76,6
	Ajustement sur les exercices précédents ⁽⁴⁾	0,0	0,0	36,5	0,0	0,0	0,0
	Sous-total	51,1	74,7	127,3	84,8	76,6	76,6
	Autres	1,7	0,2	1,1	1,7	2,2	0,6
	Total	52,8	74,9	128,4	86,5	78,8	77,2
Profit non d'exploitation		-6,0	-38,9	-95,1	-53,4	-48,3	-41,0
Profit d'exploitation		64,8	-38,1	20,1	-21,6	116,1	427,1
Recettes spéciales	Remboursement de diverses provisions, etc.	450,2	348,0	16,2	260,5	101,3	15,4
Frais spéciaux	Provisions pour les fluctuations monétaires	72,1	27,4	45,6	21,9	15,4	10,0
	Amortissement des impayés ⁽⁵⁾	152,2	188,8	195,2	125,2	80,0	75,0
	Autres	35,1	182,5	76,6	235,9	200,2	33,0
	Total	259,4	398,7	317,4	383,0	295,6	118,0
Profit spécial		190,8	-50,7	-301,2	-122,5	-194,3	-102,6
Profit avant impôt		255,6	-88,8	-281,1	-144,1	-78,2	324,5
Impôt sur les sociétés		0,0	16,5	14,2	16,0	7,6	16,0
Profit net		255,6	-105,3	-295,3	-160,1	-85,8	308,5

Notes:

- (1) Augmentation des recettes de 300 milliards de FD par augmentation du tarif de l'eau
- (2) Remboursement des coupes sur les salaires: Remboursement de la part correspondant à une réduction uniforme de 10% du salaire de tous les employés à partir de 1998
- (3) Remboursement de l'aide fournie sous forme de don: Remboursement de la part correspondant aux frais d'amortissement du fonds d'amortissement fourni sous forme de don
- (4) Intérêt des exercices passés (à partir de 1991) sur les emprunts (construction du bassin de stockage de Balbala)

Tableau 3.22 Bilans : 1994 – 1999

(unité: millions FD)

Rubrique			Résultats 1996	Résultats 1997	Résultats 1998	Résultats 1999	Prévisions pour 2000
Actifs	Actifs fluctuants	Dépôt actuel	338,3	31,7	163,9	206,4	322,1
		Stocks	180,1	166,8	185,5	153,0	153,0
		Avances	1,1	16,9	4,5	6,3	14,5
		Ventes à crédit	956,0	958,4	1.080,2	1.463,9	1.635,3
		Autres	154,1	38,8	38,0	7,4	159,2
		Total	1.629,6	1.212,6	1.472,1	1.837,0	2.284,1
	Immobilisations matérielles	Terrains	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2
		Bâtiments, structures	1.382,0	1.435,7	2.643,5	2.782,1	2.736,6
		Machines, outillage, dispositifs	3.673,2	3.389,1	5.753,0	6.755,3	6.613,2
		Véhicules	15,5	19,7	17,8		
		Mobilier	84,9	138,3	116,1	302,5	338,4
		Règlement provisoire de la construction	4.213,4	5.158,1	2.215,1	405,8	156,4
		Total	9.378,2	10.150,1	10.754,7	10.254,9	9.853,8
	Biens financiers	Dépôt au trésor	0,0	170,9	172,6	174,6	174,6
	Actifs reportés	Frais d'études et de recherches	71,4	48,4	28,8	13,5	3,9
	Autres		0,0	16,3	2,2	94,6	147,6
	Grand total		11.079,2	11.598,3	12.430,4	12.374,6	12.464,0
Passifs et actifs	Passifs fluctuants	Dettes fournisseurs	275,2	590,2	749,3	919,4	1.184,7
		Impayés, dépôts	144,0	151,7	656,8	579,4	496,6
		Autres	144,6	25,9	95,7	49,4	185,9
		Total	563,8	767,8	1.501,8	1.548,2	1.867,2
	Passifs immobilisés	Emprunts	5.744,8	5.854,7	6.403,6	5.992,2	5.805,7
		Fluctuation des changes	0,0	266,9	-84,4	439,2	519,0
		Total	5.744,8	6.121,6	6.319,2	6.431,4	6.324,7
	Provisions		1.103,4	1.041,8	1.063,4	997,3	997,3
	Capitaux	Capitaux propres	1.502,0	1.502,0	1.502,0	1.502,0	1.502,0
		Réserve légale	203,1	203,1	203,1	203,1	203,1
		Don	2.267,4	2.372,6	2.546,8	2.558,6	2.521,5
		Profit reporté du terme précédent	-560,9	-305,3	-410,6	-705,9	-866,0
		Profit du terme actuel	255,6	-105,3	-295,3	-160,1	-85,8
		Total	3.667,2	3.667,1	3.546,0	3.397,7	3.274,8
	Total général		11.079,2	11.598,3	12.430,4	12.374,6	12.464,0

3-4-3 Personnel et niveau technique

La République de Djibouti dispose d'écoles de formation professionnelle, mais il n'y a pas d'organisme de formation technique ni d'université, et les techniques sont apprises par transfert technologique des spécialistes étrangers délégués dans le cadre de l'aide technique, et des stages à l'étranger réalisés avec l'aide d'organisations internationales. Parmi le personnel de l'ONED, le personnel de niveau directeur a suivi des études universitaires à l'étranger, mais leur nombre est très limité. Les chefs de service et de bureau ont fait des études dans une école professionnelle à l'étranger ou en République de Djibouti.

La Division production du Service technique est chargée de l'exploitation et de l'entretien des installations existantes et le Bureau Hydrogéologie du contrôle de la qualité de l'eau. Si ce projet est réalisé, la Division production du Service technique et le Bureau Hydrogéologie seront similairement en charge. Le système d'exécution actuel de ces deux sections ne pose en principe aucun problème, mais la création d'un système d'exécution, le renforcement du système de contact entre les deux sections et la mise en commun des informations seront nécessaires pour le contrôle en vue de la protection de la nappe de Djibouti après l'achèvement de l'étape des travaux.

Le soutien par la délégation d'experts japonais à court terme ou de volontaires JOCV dans le cadre de la coopération technique du Japon est jugé nécessaire pour l'entretien après l'étape des travaux et l'étape du contrôle de la qualité de l'eau. Les domaines de spécialisation sont l'hydrogéologie et les techniques liées aux canalisations, et un soutien assisté par ordinateur pour la prévision de la pollution de la qualité de l'eau et des améliorations, et de propositions de fonctionnement des forages de captage tenant compte du niveau d'eau dynamique dans les canalisations sont envisageables.

Le personnel de chaque section et son niveau technique sont comme suit.

(1) Division production

Actuellement, la Division production a un effectif de 22 personnes, un technicien étranger en est le directeur, et gère les activités quotidiennes. Elle comprend 2 ingénieurs, le reste de l'effectif étant des techniciens. Des foreurs sont aussi inclus dans les techniciens actuels.

Si ce projet est réalisé, les installations à construire en principe identiques à celles existantes ne devrait pas poser de problèmes techniques, mais le système de stockage des plans et documents concernant les installations existantes n'étant pas établi, les capacités des installations actuelles sont difficiles à saisir. Dans le passé, les plans liés à l'inondation de la rivière Hambouli ont été perdus, et compte tenu du fait qu'il est difficile de commander un type de pompe correspondant aux conditions hydrauliques des forages existants et d'effectuer des études techniques, il est urgent de mettre en place un nouveau système de gestion des cartes et documents.

Le Service technique, Division production y compris, ne semble pas avoir de problèmes pour l'entretien ordinaire, mais les installations ne sont pas gérées correctement parce que les techniciens capables d'assurer une étude technique hydrologique des installations des canalisations et des installations d'envoi d'eau sont peu nombreux. La définition des spécifications des pompes de captage des groupes de forages devant se faire en tenant compte du niveau d'eau dynamique dans les canalisations, la participation des techniciens des canalisations à l'établissement du projet d'exploitation des forages productifs à l'étape de l'entretien/contrôle de la qualité de l'eau est aussi essentiel. C'est pourquoi l'augmentation du nombre de techniciens des canalisations ou le soutien technique par coopération technique est jugé nécessaire à l'étape de l'entretien/contrôle de la qualité de l'eau.

La Division production s'occupera de la gestion des véhicules d'entretien des forages, et des brigades d'entretien de 5 personnes sont actuellement en cours de création. Des techniciens ayant plus de 20 ans d'expérience de la construction des forages seront nommés chef des brigades, qui s'occuperont de l'entretien des forages. Comme les véhicules d'entretien des forages ont beaucoup de points similaires avec les foreuses, leur emploi ne devrait pas poser de problème, mais une formation concernant le nettoyage du trou de forage et le repêchage en utilisant des outils de réparation est souhaitable. Une formation sur le tas (OJT) d'un total de 2 mois environ, dont 0,5 mois pour la confirmation des fonctions de base des véhicules, 0,5 mois pour la démonstration des opérations d'entretien et 1,0 mois pour l'exécution d'opérations d'entretien par l'organisme d'exécution par OJT, est jugée nécessaire.

(2) Division protection électrique

Cette division comprend 3 employés, dont l'un est actuellement en stage en France, et les deux autres s'occupent des activités ordinaires. Mais seul l'employé actuellement en stage étant capable d'analyser des schémas de séquence des installations électriques, en cas de problème électrique, il faudra avoir recours à une source extérieure. Bien que le nombre des techniciens électriciens ait tendance à être insuffisant en République de Djibouti, il est souhaitable dans l'avenir de renforcer l'effectif avec un technicien électricien et un assistant, et d'établir un système minimal de 5 personnes.

(3) Bureau Hydrogéologie

Le Bureau Hydrogéologie compte actuellement 6 employés, dont deux ingénieurs hydrogéologues et 4 techniciens. Il effectue tous les mois des relevés de température d'eau et des EC de conductivité, les données de janvier 1998 à août 2000 sont compilés sous forme de base de données.

Le bureau demande tous les ans en septembre une analyse de la qualité de l'eau à l'ISERST (11 rubriques: EC, pH, Cl, HCO₃, SO₄, NO₃, Na, K, Ca, Mg et TDS), dont les données de 1984 à 1999 sont aussi compilées en base de données. Comme les mêmes activités de relevés seront effectuées pour les forages à construire dans le projet, comme le nombre de forage reste similaire et que les zones concernées sont identiques, le système actuel ne devrait pas poser de problème.

Bien que le Bureau Hydrogéologie ait établi des bases de données de la qualité de l'eau des forages existants, du niveau des eaux souterraines, et des volumes pompés, mais aucune prévision de modification de la qualité de l'eau des forages productifs existants n'est faite en s'appuyant sur ces données. Par conséquent, à l'étape de la l'entretien/contrôle de la qualité de l'eau après l'étape des travaux, les relevés de qualité d'eau des forages productifs et des forages d'observation devront être utilisés pour prévoir les modifications de qualité de l'eau par ordinateur, et une assistance est jugée nécessaire pour ces méthodes d'exécution.