

**RAPPORT DE L'ETUDE DE CONCEPT DE BASE**  
**POUR**  
**LE PROJET D'APPROVISIONNEMENT EN EAU URBAIN**  
**POUR LA CAPITALE**  
**EN**  
**REPUBLIQUE DE DJIBOUTI**

**MAI 2001**

**AGNCE JAPONAISE DE COOPERATION INTERNATIONALE**  
**KYOWA ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.**  
**YACHIYO ENGINEERING CO., LTD.**

GR 1
------

CR (2)
--------

01-093
--------

## AVANT-PROPOS

En réponse à la requête du Gouvernement de la République de Djibouti, le Gouvernement du Japon a décidé d'exécuter par l'entremise de l'Agence japonaise de coopération internationale (JICA) une étude du concept de base pour le Projet d'approvisionnement en eau urbain pour la capitale en République de Djibouti.

Du 23 juillet au 30 août 2000, JICA a envoyé au Djibouti, une mission.

Après un échange de vues avec les autorités concernées du Gouvernement, la mission a effectué des études sur le site du projet. Au retour de la mission au Japon, l'étude a été approfondie et un rapport intermédiaire a été préparé. Afin de discuter du contenu du rapport intermédiaire, une autre mission a été envoyée au Djibouti. Et au retour de la mission au Japon, l'étude a été approfondie et un concept de base a été préparé. Afin de discuter du contenu du concept de base, une autre mission a été envoyée au Djibouti. Par la suite, le rapport ci-joint a été complété.

Je suis heureux de remettre ce rapport et je souhaite qu'il contribue à la promotion du projet et au renforcement des relations amicales entre nos deux pays.

En terminant, je tiens à exprimer mes remerciements sincères aux autorités concernées du Gouvernement de la République de Djibouti pour leur coopération avec les membres de la mission.

Mai 2001



Kunihiko Saito

Président

Agence japonaise de coopération internationale

Mai 2001

Objet: Lettre de présentation

Nous avons le plaisir de vous soumettre le rapport de l'étude du concept de base pour le Projet d'approvisionnement en eau urbain pour la capitale en République de Djibouti.

Cette étude a été réalisée par le consortium entre Kyowa Engineering Consultants Co., Ltd. et Yachiyo Engineering Co., Ltd., du juillet 2000 au mai 2001, sur la base du contrat signé avec votre agence. Lors de cette étude, nous avons tenu pleinement compte de la situation actuelle au Djibouti pour étudier la pertinence du projet susmentionné et établir le concept de projet le mieux adapté au cadre de la coopération financière sous forme de don du Japon.

En espérant que ce rapport vous sera utile pour la promotion de ce projet, je vous prie d'agréer, Monsieur le Président, l'expression de mes sentiments respectueux.

Mai 2001



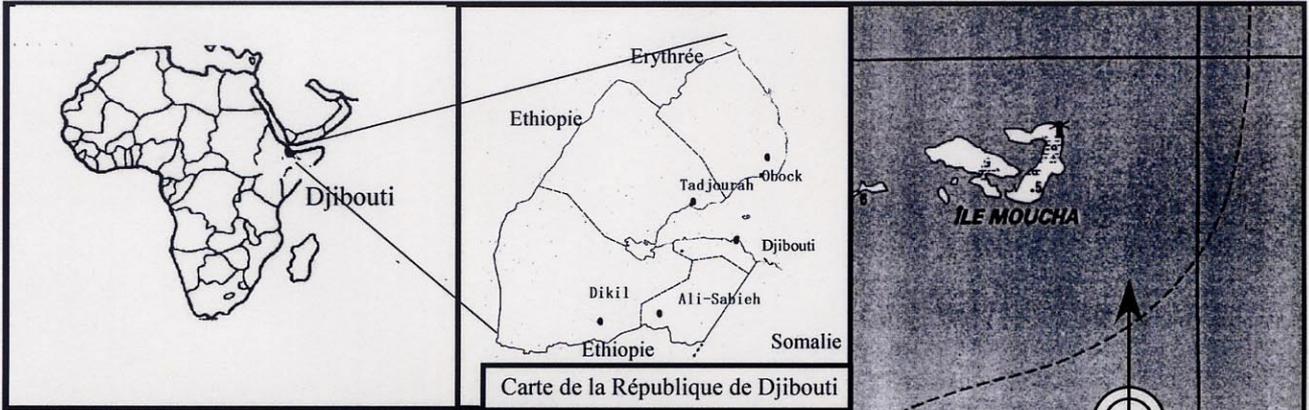
Yoichi Harada

Chef des ingénieurs-conseils,

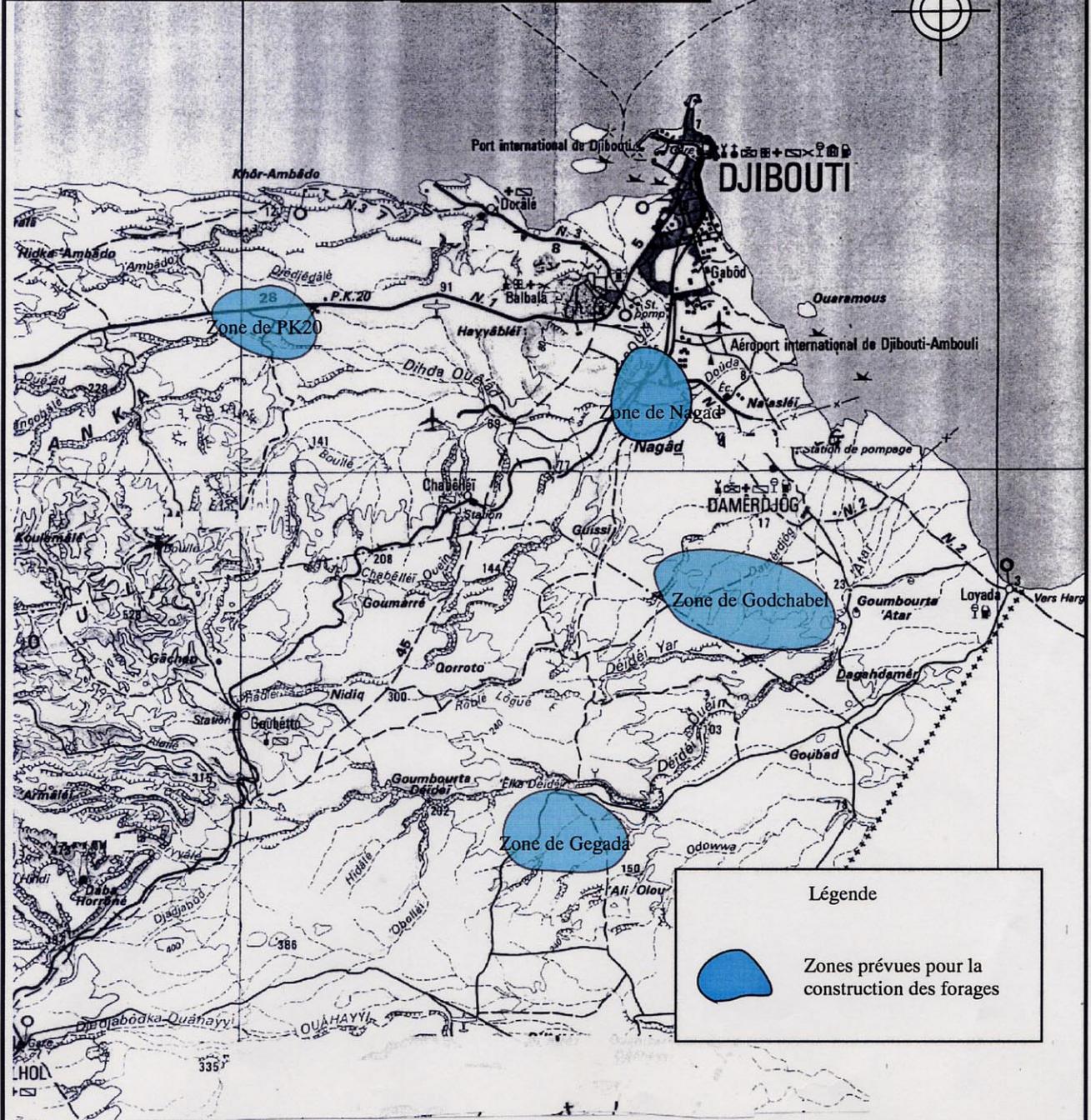
Equipe de l'étude du concept de base pour le Projet  
d'approvisionnement en eau urbain pour la capitale en  
République de Djibouti

Kyowa Engineering Consultants Co., Ltd.

Yachiyo Engineering Co., Ltd.



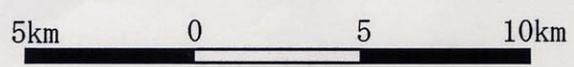
Carte de la République de Djibouti



Légende



Zones prévues pour la construction des forages



Carte de localisation de l'étude

## Table des Matières

Avant-Propos

Objet: Lettre de présentation

Carte de localisation de l'étude

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Abréviations

<b>Chapitre 1 Arrière-plan de la requête</b> .....	1-1
1.1 Contexte de l'étude .....	1-1
1.2 Teneur de la requête .....	1-1
<b>Chapitre 2 Contexte du projet</b> .....	2-1
2-1 Plan de développement de ce secteur .....	2-1
2-1-1 Plans en amont .....	2-1
2-1-2 Activités d'alimentation en eau au niveau de la République de Djibouti .....	2-2
2-2 Hydrogéologie .....	2-4
2-3 Etat des installations d'approvisionnement en eau existantes .....	2-6
2-3-1 Système d'approvisionnement en eau actuel .....	2-6
2-3-2 Forages productifs existants .....	2-6
2-3-3 Installations de pompage et installations secondaires .....	2-8
2-3-4 Canalisations d'amenée d'eau .....	2-15
2-3-5 Installations de transport d'eau .....	2-15
2-3-6 Installations de distribution d'eau .....	2-16
2-4 Installations de câblage électrique existantes .....	2-17
2-4-1 Installations de câblage électrique existantes .....	2-17
2-4-2 Installation d'alimentation électrique du groupe de forages de Djibouti .....	2-17
2-4-3 Ligne de Nagad .....	2-18
2-4-4 Ligne de Damerjog .....	2-20
2-4-5 Lignes RG1, RG2 et RG3 .....	2-20
2-4-6 Système du groupe de forages PK20 .....	2-21
2-5 Qualité des forages existants .....	2-26
2-5-1 Aperçu des résultats de l'étude de la qualité de l'eau .....	2-26
2-5-2 Qualité des eaux souterraines du point de vue hydrogéologique .....	2-29
2-5-3 Tendances des changements de qualité d'eau des forages existants dans la région côtière .....	2-32
2-6 Etude des eaux souterraines de la zone objet de l'étude .....	2-36
2-6-1 Recherche des zones de fractures sur la base des photos aériennes .....	2-36
2-6-2 Prospection géophysique .....	2-36
2-6-3 Bassin de la nappe de Djibouti et écoulement des eaux souterraines .....	2-43
2-6-4 Exploitation actuelle des eaux souterraines de la nappe de Djibouti .....	2-43
2-6-5 Mécanisme de recharge de la nappe de Djibouti et volume de recharge .....	2-46
2-6-6 Etat de salinisation de la nappe de Djibouti .....	2-46
2-6-7 Etendue des zones salinisées .....	2-47
2-7 Prise en compte de l'environnement .....	2-48

<b>Chapitre 3 Contenu du projet</b>	-----	3-1
3-1 Objectifs du projet	-----	3-1
3-2 Concepts de base du projet	-----	3-1
3-2-1 Fluence de définition des concepts de base du projet	-----	3-1
3-2-2 Etude des sites prévus pour les forages	-----	3-3
3-2-3 Possibilités d'utilisation des forages existants	-----	3-3
3-2-4 Confirmation du degré d'amélioration de la qualité de l'eau (effet)	-----	3-7
3.2.5 Définition du plan des forages de captage	-----	3-13
3.2.6 Forages d'observation	-----	3-13
3-2-7 Fourniture des équipements et matériaux	-----	3-18
3-2-8 Concept de base du projet	-----	3-20
3-3 Plan de base	-----	3-21
3-3-1 Orientations de conception	-----	3-21
3-3-2 Plan de base	-----	3-22
3-4 Système d'exécution du projet	-----	3-40
3-4-1 Organisation	-----	3-40
3-4-2 Bilan	-----	3-43
3-4-3 Personnel et niveau technique	-----	3-47
<b>Chapitre 4 Projet des travaux</b>	-----	4-1
4-1 Plan d'exécution	-----	4-1
4-1-1 Orientation de l'exécution	-----	4-1
4-1-2 Points à prendre en compte pour l'exécution	-----	4-3
4-1-3 Division des travaux à exécuter	-----	4-3
4-1-4 Plan de supervision de l'exécution	-----	4-4
4-1-5 Plan de fourniture d'équipements et matériaux	-----	4-6
4-1-6 Programme d'exécution	-----	4-7
4-1-7 Part des travaux à la charge de la partie djiboutienne	-----	4-8
4-2 Estimation du coût du projet	-----	4-9
4-3 Plan d'exploitation et de gestion/maintenance	-----	4-9
<b>Chapitre 5 Evaluation du projet et recommandations</b>	-----	5-1
5-1 Vérification de la pertinence et avantages	-----	5-1
5-2 Coopération technique et collaboration avec d'autres donateurs	-----	5-3
5-3 Problèmes et recommandations	-----	5-3

## Documents annexes

1. Nom et Appartenance et Affectation des membres d'étude -----	A-1
2. Programme d'étude -----	A-2
3. Liste de personnalités rencontrées -----	A-7
4. Procès-verbal des discussions -----	A-10
5. Coût du projet à la charge de la partie djiboutienne -----	A-53
6. Evolution dans le temps du la conductibilité et du volume d'eau pompée -----	A-51
7. Documents des résultats de la prospection géophysique -----	A-64
8. Calcul de la contrainte sur le tuyau en amiante-ciment -----	A-84
9. Qualité de l'eau des forages existants (modélisation s'appuyant sur les résultats d'analyse de qualité de l'eau) -----	A-88
10. Calcul du taux de dilution -----	A-95
11. Calcul de la puissance des moteurs des pompes immergées -----	A-100
12. Documents d'étude pour le réservoir de dépressurisation -----	A-101
13. Plans du plan de base -----	A-112

## Liste des Tableaux

Tableau 1.1 Liste des forages de la requête -----	1-2
Tableau 2.1 Décomposition du Plan de développement intégré pour la ville de Djibouti ---	2-1
Tableau 2.2 Plan d'action pour l'approvisionnement en eau de la ville de Djibouti -----	2-2
Tableau 2.3 Stratification des couches aquifères de Djibouti -----	2-4
Tableau 2.4 Etat des forages existants -----	2-9
Tableau 2.5 Comparaison du débit des forages -----	2-14
Tableau 2.6 Abrégé des canalisations d'amenée d'eau existantes -----	2-15
Tableau 2.7 Installations d'envoi d'eau -----	2-15
Tableau 2.8 Bassins de distribution dans la ville de Djibouti -----	2-16
Tableau 2.9 Décomposition des canalisations de distribution d'eau existantes -----	2-16
Tableau 2.10 Evolution des eaux incertaines -----	2-17
Tableau 2.11 Aperçu des câblages électriques du groupe de forages de Djibouti -----	2-18
Tableau 2.12 Nombre de pannes d'électricité (ligne de Nagad, ligne de Damerjog) et durée des pannes -----	2-18
Tableau 2.13 Points à confirmer et problèmes des différentes installations de la ligne de Nagad -----	2-19
Tableau 2.14 Installations électriques des forages de prise existantes -----	2-20
Tableau 2.15 Points à confirmer et problèmes des différentes installations de la ligne de Damerjog -----	2-20
Tableau 2.16 Aperçu des lignes électriques d'Arta -----	2-21
Tableau 2.17 Particularité de l'eau dans les zones objets de l'étude -----	2-26
Tableau 2.18 Résultats d'analyse de la qualité de l'eau dans les zones objets de l'étude ---	2-27
Tableau 2.19 Comparaison du total de l'équivalent d'ions positifs et négatifs -----	2-29
Tableau 2.20 Utilisation des forages existants à partir de l'état de salinisation -----	2-34
Tableau 2.21 Résultats du déchiffrement des photos aériennes des zones	

de Godchabel et de Gegada -----	2-36
Tableau 2.22 Nombre de prospections électriques réalisées -----	2-37
Tableau 2.23 Résistivité obtenue par analyse de la surface inférieure de la nappe aquifère sur les sites des nouveaux forages -----	2-38
Tableau 2.24 Résultats des prospections électriques sur les nouveaux forages -----	2-38
Tableau 2.25 Nombre de prospections VLF réalisées -----	2-41
Tableau 2.26 Estimation du volume de recharge de la nappe de Djibouti -----	2-46
Tableau 3.1 Evaluation des forages existants -----	3-5
Tableau 3.2 Projet pour les forages de captage -----	3-8
Tableau 3.3 Liste des équipements possédés -----	3-18
Tableau 3.4 Caractéristiques du camion grue actuel -----	3-19
Tableau 3.5 Etat de fonctionnement du camion grue -----	3-19
Tableau 3.6 Concept de base du projet -----	3-20
Tableau 3.7 Aperçu du projet pour les forages de captage -----	3-22
Tableau 3.8 Spécifications de la pompe immergée -----	3-26
Tableau 3.9 Norme de la canalisation AC -----	3-27
Tableau 3.10 Pression d'eau intérieure tolérée -----	3-27
Tableau 3.11 Niveau d'eau maximum au point PK12 sans réservoir de dépressurisation ----	3-29
Tableau 3.12 Niveau d'eau maximum au point PK12 avec réservoir de dépressurisation ----	3-29
Tableau 3.13 Gegada Niveau d'eau maximum au point E28 sans réservoir de dépressurisation -----	3-30
Tableau 3.14 Spécifications du transformateur côté secondaire -----	3-35
Tableau 3.15 Calcul de la baisse de tension -----	3-35
Tableau 3.16 Installations auxiliaires des forages productifs existants -----	3-38
Tableau 3.17 Spécifications du véhicule avec grue pour l'entretien des forages -----	3-40
Tableau 3.18 Activités définies pour chaque division du Service technique -----	3-42
Tableau 3.19 Réparations -----	3-43
Tableau 3.20 Tarifs de l'eau -----	3-43
Tableau 3.21 Compte de pertes et profits de l'ONED 1996 – 2000 -----	3-45
Tableau 3.22 Bilans : 1994 – 1999 -----	3-46
Tableau 4.1 Division des travaux du projet -----	4-4
Tableau 4.2 Equipements et matériaux à fournir -----	4-7
Tableau 4.3 Teneur du projet par phase -----	4-7
Tableau 4.4 Frais à la charge de la partie djiboutienne -----	4-9
Tableau 4.5 Teneur des activités côté soft -----	4-12
Tableau 4.6 Frais à la charge de la partie djiboutienne -----	4-13
Tableau 4.7 Evolution du cash flow (CF) estimé de l'ONED -----	4-14
Tableau 5.1 Effets et améliorations dus à l'exécution du projet -----	5-2

#### Liste des Figures

Figure 1.1 Location de Forages -----	1-3
Figure 2.1 Organigramme de la comité national Ressources en Eau -----	2-3
Figure 2.2 Géologie des couches aquifères de Djibouti -----	2-5
Figure 2.3 Réseau d'alimentation électrique existant -----	2-22
Figure 2.4 Etat de la ligne électrique Nagad existante -----	2-23
Figure 2.5 Modélisation des lignes de Damerjog et Nagad existants -----	2-24
Figure 2.6 Modélisation des lignes de la partie Sud de la zone PK20 -----	2-25
Figure 2.7 Diagramme de motifs -----	2-30
Figure 2.8 Diagramme Trilinéar de Piper -----	2-31
Figure 2.9 Tendances d'augmentation des TDS -----	2-33
Figure 2.10 Carte des emplacements de la prospection géophysique -----	2-39

Figure 2.11 Resultats d'analyse de la prospection electrique (cas de Gegada)	2-40
Figure 2.12 Résultant d'analyse de la prospection VLF(cas exempaie)	2-42
Figure 2.13 Systèmes fluviaux de la zone d'étude	2-44
Figure 2.14 Repartition des eaux souterraines actuelles des nappes souterraines de Djibouti	2-45
Figure 2.15 Modèle de recharge à partir d'un oued	2-46
Figure 2.16 Modélisation de la zone de pénétration d'eau salée	2-48
Figure 3.1 Flux d'établissement et exécution du projet	3-2
Figure 3.2 Abrégé de l'évaluation de l'utilisation des forages existants	3-4
Figure 3.3 Modélisation des résultats de la simulation d'analyse de l'eau salée	3-9
Figure 3.4 Modèle de simulation des eaux souterraines	3-10
Figure 3.5 Répartition des cellules sur le modèle de simulation des eaux souterraines	3-10
Figure 3.6 Répartition des indices de perméabilité	3-11
Figure 3.7 Recharges des eaux souterraines des couches aquifères de Djibouti et répartition de volumes d'eau souterraines affluentes	3-11
Figure 3.8 Répartition des niveaux d'eaux souterraine obtenue par la simulation actuelle (cas 1)	3-14
Figure 3.9 Répartition des niveaux d'eaux souterraine obtenue par la simulation de prévision (cas 2)	3-14
Figure 3.10 Répartition des niveaux d'eaux souterraine obtenue par la simulation de prévision (cas 3)	3-15
Figure 3.11 Répartition des profondeurs de la limite eau douce-eau salée obtenue par la simulation de prévision (cas 1)	3-15
Figure 3.12 Répartition des profondeurs de la limite eau douce-eau salée obtenue par la simulation de prévision (cas 2)	3-16
Figure 3.13 Répartition des profondeurs de la limite eau douce-eau salée obtenue par la simulation de prévision (cas 3)	3-16
Figure 3.14 Variation de la limite eau douce-eau salée sur des sections représentatives	3-17
Figure 3.15 Plan du projet d'installations de captage	3-23
Figure 3.16 Plan du forage de prise d'eau dans la zone Nagad	3-24
Figure 3.17 Section de calcul de la structure	3-27
Figure 3.18 Pression d'eau de conception pour le type fermé	3-28
Figure 3.19 Structure simplifiée du réservoir de dépressurisation	3-30
Figure 3.20 Plan d'étude hydrologique de la canalisation de transport d'eau de PK20	3-31
Figure 3.21 Plan d'étude hydrologique de la canalisation de transport d'eau de Gegada	3-32
Figure 3.22 Plan des canalisation de transport d'eau de zone de Gegada	3-33
Figure 3.23 Plan des canalisation de transport d'eau de zone de PK20	3-34
Figure 3.24 Modélisation du câble électrique Gegada-Godchabel	3-36
Figure 3.25 Modélisation de la ligne électrique Nagad	3-37
Figure 3.26 Structure des forages d'observation	3-39
Figure 3.27 Organigramme de l'ONED	3-41
Figure 4.1 Système d'exécution du projet	4-1
Figure 4.2 Programme d'exécution abrégé du projet	4-8
Figure 4.3 Teneur des activités du côté soft et système à l'étape du projet	4-12

#### Abréviations

A/B	Arrangement bancaire
BAD	Banque Africaine de Développement
CHA	Coopération Hydrogéologique Allemande
CHDA	Coopération Hydrogéologique Djibouti-Allemagne

CNRE	Comité National des Ressources en Eau
DCIP	Fonte Ductile
EDD	Electricité de Djibouti
E/N	Echange de notes
FD	Franc Djibouti
ISERST	Institut Supérieur d'Etude et de Recherches Scientifiques et Techniques
OJT	Formation sur le tas
ONED	Office National des Eaux des Djibouti
OMS	Organisation Mondiale pour la Santé
PVC	Tuyau de Chlorure de Polyvinyle
SS	Inox
STE	Secrétariat Technique de l'Eau
TDS	Minéralisation totale
VLF	Très basse fréquence

## *Chapitre 1 Arrière-plan de la requête*

## **Chapitre 1 Arrière-plan de la requête**

### **1.1 Contexte de l'étude**

La République de Djibouti se situe au sud du Déroit de Bab al Mandab à l'entrée de la Mer Rouge, dans la partie Nord-est du Continent africain. Elle est limitrophe de l'Erythrée au nord, de l'Ethiopie à l'ouest, de la Somalie au sud et donne sur le Golfe d'Aden à l'est. Les conditions topographiques et naturelles du pays font que ses activités économiques, centrées dans la ville de Djibouti, la capitale, sont concentrées sur le secteur tertiaire, par exemple les services portuaires et ferroviaires vis-à-vis des pays voisins.

Quelque 360.000 habitants, soit 63% de la population totale, vivent à Djibouti, la capitale de la République de Djibouti, et ses environs, et l'alimentation en eau de la ville repose sur les eaux souterraines de la nappe de Djibouti. La concentration des forages productifs existants construits sur la nappe de Djibouti et le pompage excessif ont provoqué la salinisation des eaux souterraines, qui devrait encore s'aggraver dans l'avenir. Par ailleurs, les besoins en eau de la ville de Djibouti sont actuellement jugés supérieurs au volume d'eau exploitable de la nappe de Djibouti, et la découverte de nouvelles sources d'eau pour satisfaire les besoins en eau de cette zone dans l'avenir est devenue une question importante pour l'Etat.

Un Schéma Directeur National de l'Eau (M/P) a été établi en 1993 pour l'adduction d'eau de la ville de Djibouti sur financement de la Banque Africaine de Développement, qui proposait comme sous-plans nécessaires un plan d'urgence, un plan jusqu'en 2000 et un plan de 2000-2015. Par la suite, le Gouvernement Djiboutien a demandé au Gouvernement Japonais le réexamen du M/P à partir de l'an 2000.

En réponse, le Gouvernement Japonais a délégué une équipe de formulation du projet (problème d'alimentation en eau) sur place en février 1999, qui suite à une étude sur place a confirmé l'existence des problèmes suivants: (1) la salinisation des eaux souterraines progresse dans la nappe de Djibouti, source de prise d'eau actuelle, à cause du pompage excessif et de la concentration des forages productifs, (2) les besoins en eau de la ville de Djibouti dépassent déjà les réserves de la nappe de Djibouti, (3) la mesure contre les fuites d'eau n'est pas suffisamment appliquée, et (4) la gestion des activités d'alimentation en eau par l'ONED (Office National des Eaux de Djibouti) se dégrade. Il a également été proposé que la coopération soit prioritairement orientée vers le contrôle de la salinisation pour la protection des eaux souterraines afin de pouvoir profiter efficacement et à long terme de la nappe de Djibouti, qui restera la source d'eau essentielle dans l'avenir.

Sur la base de ces résultats, présupposant la limitation de la salinisation des eaux souterraines pour la conservation de la nappe de Djibouti et son utilisation à long terme, le gouvernement Djiboutien a demandé la coopération financière non-remboursable du Japon pour (1) la construction de nouveaux forages, (2) l'ajustement de la production des forages existants, (3) la mise en place d'un système d'observation des eaux souterraines et (4) le remplacement de forages existants.

### **1.2 Teneur de la requête**

La requête du Gouvernement Djiboutien porte sur les éléments suivants, la construction de nouveaux forages productifs s'accompagnant de la construction des installations de transport d'eau et des installations d'alimentation électrique liées à ces nouveaux forages.

- (1) Construction de nouveaux forages productifs 11 forages (construction de forages, installations de transport d'eau et d'alimentation électrique y compris)
- (2) Remplacement de forages existants 6 forages
- (3) Ajustement de la production des forages existants
- (4) Aménagement d'un système d'observation des eaux souterraines (construction de forage d'observation y compris)

Après l'étude sur place, suite aux concertations avec l'Office National des Eaux de Djibouti (ONED), l'organisme d'exécution du côté djiboutien, les deux nouveaux forages productifs (Odawa-Est et Z8) figurant dans la requête d'origine ont été supprimés sur la relation avec la Somalie, et le forage E8, réhabilité sur fonds propres de l'ONED, également.

Une requête complémentaire portant sur le remplacement de 2 forages a été faite par l'organisme d'exécution, et la requête, incluant ces 2 forages, a été étudiée.

- (1) Construction de nouveaux forages productifs 9 forages (construction de forages, installations de transport d'eau et d'alimentation électrique y compris)
- (2) Remplacement de forages existants 7 forages
- (3) Ajustement de la production des forages existants
- (4) Aménagement d'un système d'observation des eaux souterraines (construction de forage d'observation y compris)

Le Tableau 1.1 indique la zone et les spécifications des forages de la requête et la Fig. 1.1 l'emplacement des forages requis.

Tableau 1.1 Liste des forages de la requête

Division	Zone	Nom des forages	Profondeur du projet (m)	Diamètre du forage (")	Diamètre du tubage (")	Débit espéré (m <sup>3</sup> /h)
Nouveaux forages productifs	PK20	F3bis	230	12"1/4	9"5/8	45
		F 9bis	230	12"1/4	9"5/8	45
		F 10bis	230	12"1/4	9"5/8	45
	Gegada-Odowa	Z 2	250	12"1/4	9"5/8	45
		Z 3	250	12"1/4	9"5/8	45
		Z 25	250	12"1/4	9"5/8	45
	Godchabel	F 3	100	12"1/4	9"5/8	40
		F 4	130	12"1/4	9"5/8	40
		F 5	70	12"1/4	9"5/8	40
Remplacement de forages existants	Nagad-Douda	E 5	45	12"1/4	9"5/8	20-30
		E 7	45	12"1/4	9"5/8	20-30
		E 11	50	12"1/4	9"5/8	20-30
		E 15	50	12"1/4	9"5/8	20-30
		E 16	50	12"1/4	9"5/8	20-30
		RG2	50	12"1/4	9"5/8	35
	PK20	PK20-2	241	12"1/4	9"5/8	40
Forage d'observation	Nagad		50-70		4	

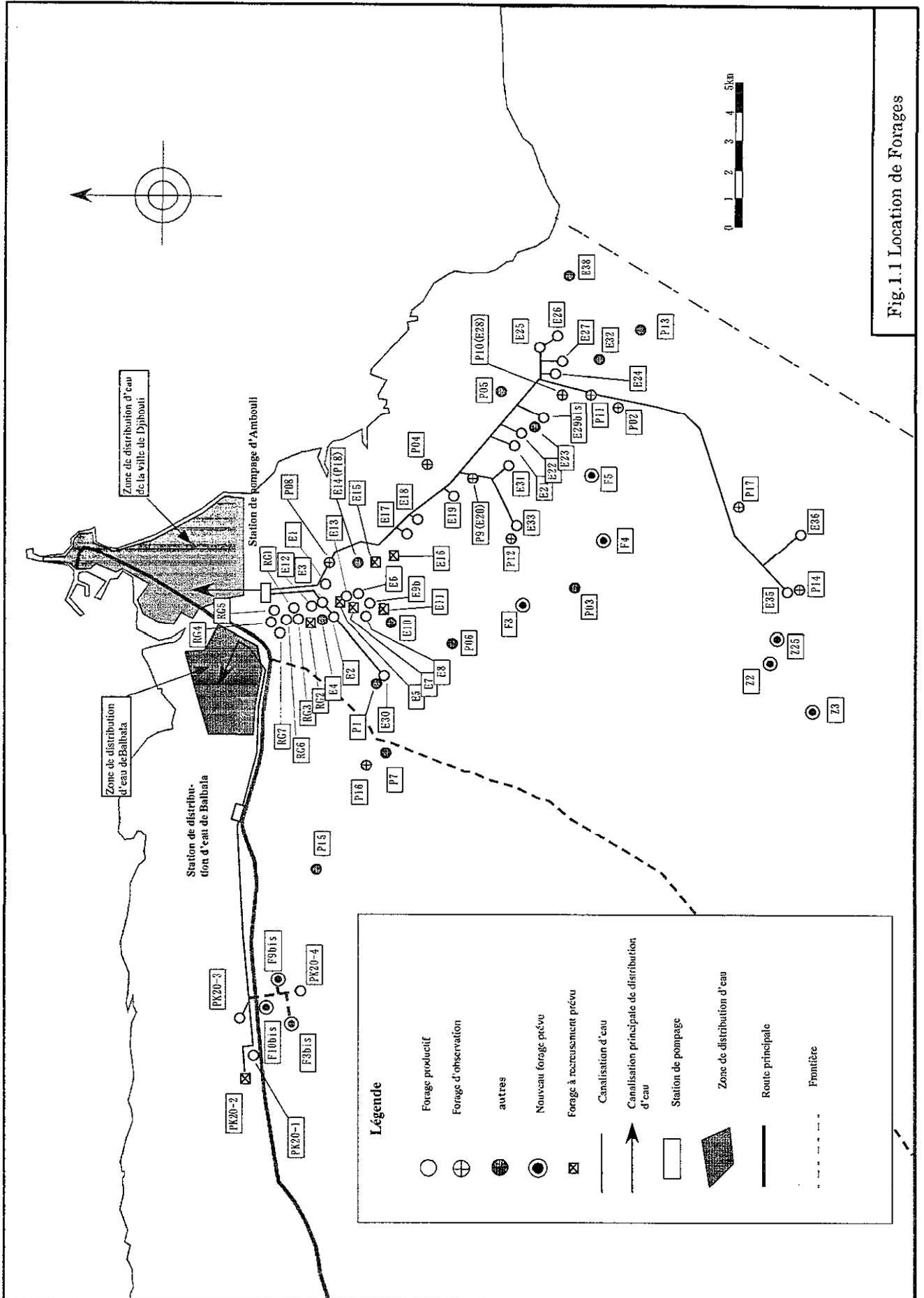


Fig.1.1 Location de Forages