

Chapitre 2 Contexte du projet

Chapitre 2 Contexte du projet

2-1 Plan de développement de ce secteur

2-1-1 Plans en amont

Le Schéma Directeur de Djibouti et Identification des Projets Prioritaires (M/P) et le Schéma Directeur National de l'Eau (M/P) peuvent être cités en tant que plans en amont pour ce projet. Le Schéma Directeur de Djibouti et Identification des Projets Prioritaires (M/P) est un projet de développement couvrant l'aménagement des infrastructures sociales, l'aménagement des installations d'intérêt publics et commerciales et un projet de conservation de l'environnement réalisé sur financement de l'Association Internationale de Développement (Seconde Banque Mondiale); un projet de développement des centres régionaux que sont les villes d'Obock, Tadjourah, Ali-Sabieh et Dikhil a été simultanément établi. Les sous-projets sectoriels de ce M/P sont comme suit, le projet de la requête du Gouvernement Djiboutien correspondant au sous-projet 5. Construction de forages.

Tableau 2.1 Décomposition du Plan de développement intégré pour la ville de Djibouti

Projet		Coût (MFD)	
1. Grandes Infrastructures	Voirie	1. Liaison RN1-RN2(Route de Somalie)	610
		2. Voie N-S (RN2 longitudinale, voie ferrée)	140
		3. Tronçon sud de la voie Est	65
		4. Prolongement Av.26 et Type E	150
	Eau potable	5. Construction de forages	1,000
		6. Réservoir Balbala et conduite principale dans ext. SE Balbala	620
		7. Conduite principale dans ext. sud	385
		8. Densification de la grande malle du réseau de distb. Eau potable	120
	Chemin de fer	9. Centre d'échanges	460
		10. Plate forme ferroviaire	320
2. Aménagement des terrains pour l'habitat et leur viabilisation	Densification de quartiers	11. Terrains libres à Gabode et terrain STID/Quartier 6	850
	Mise à niveau des réseaux de quartiers existants	12. Voirie, drainage, assainissement, eau potable, électricité, éclairage public	2,325
	Aménagement de nouveaux terrains pour l'habitat	13. Première tranche à Gollangalleley	530
		14. Deuxième tranche à Gollangalleley et première tranche à Dabagalleley	1,120
3. Equipements socio-collectifs et marchands		15. Balbala et quartier sud, écoles et dispensaires	840
		16. Balbala et quartier sud, écoles et dispensaires	775
		17. Gollangalleley, écoles et dispensaires)	465
		18. Balbala marché	140
4. Actions d'accompagnement	Etudes	19. Etude hydraulique stratégique	305
		20. Etude "Projet urbain"	180
		21. Plan stratégique d'Assainissement de la ville de Djibouti	243
	Suivi	22. Fromation/Information	120
	Environnement	23. Zone de Draley	20
		24. Zone de Waramous	30

Source: Schéma Directeur de Djibouti et Identification des Projets Prioritaires, 1998

Par ailleurs, pour le Schéma Directeur National de l'Eau (M/P) réalisé sur financement de la Banque Africaine de Développement (BAD) en 1993, des sous-projets à réaliser pour l'année cible 2015 ont été proposés. Par la suite, le Comité national des ressources en eau

de Djibouti a établi un Plan d'action pour l'approvisionnement en eau de la ville de Djibouti en tant que révision du M/P en fonction de l'exécution de chaque sous-projet pour chaque année cible. Comme l'indique le Tableau 2.2, le Plan d'action se subdivise en projets de Phase 1 (projets urgents) à réaliser dans les deux à trois années à venir et en projets de Phase 2 à réaliser à moyen terme. Le présent projet de la requête du Gouvernement Djiboutien auprès du Gouvernement Japonais consiste à construire de forages de "Objectif 1: Gestion et conservation de la nappe de Djibouti" de Phase 1.

Tableau 2.2 Plan d'action pour l'approvisionnement en eau de la ville de Djibouti

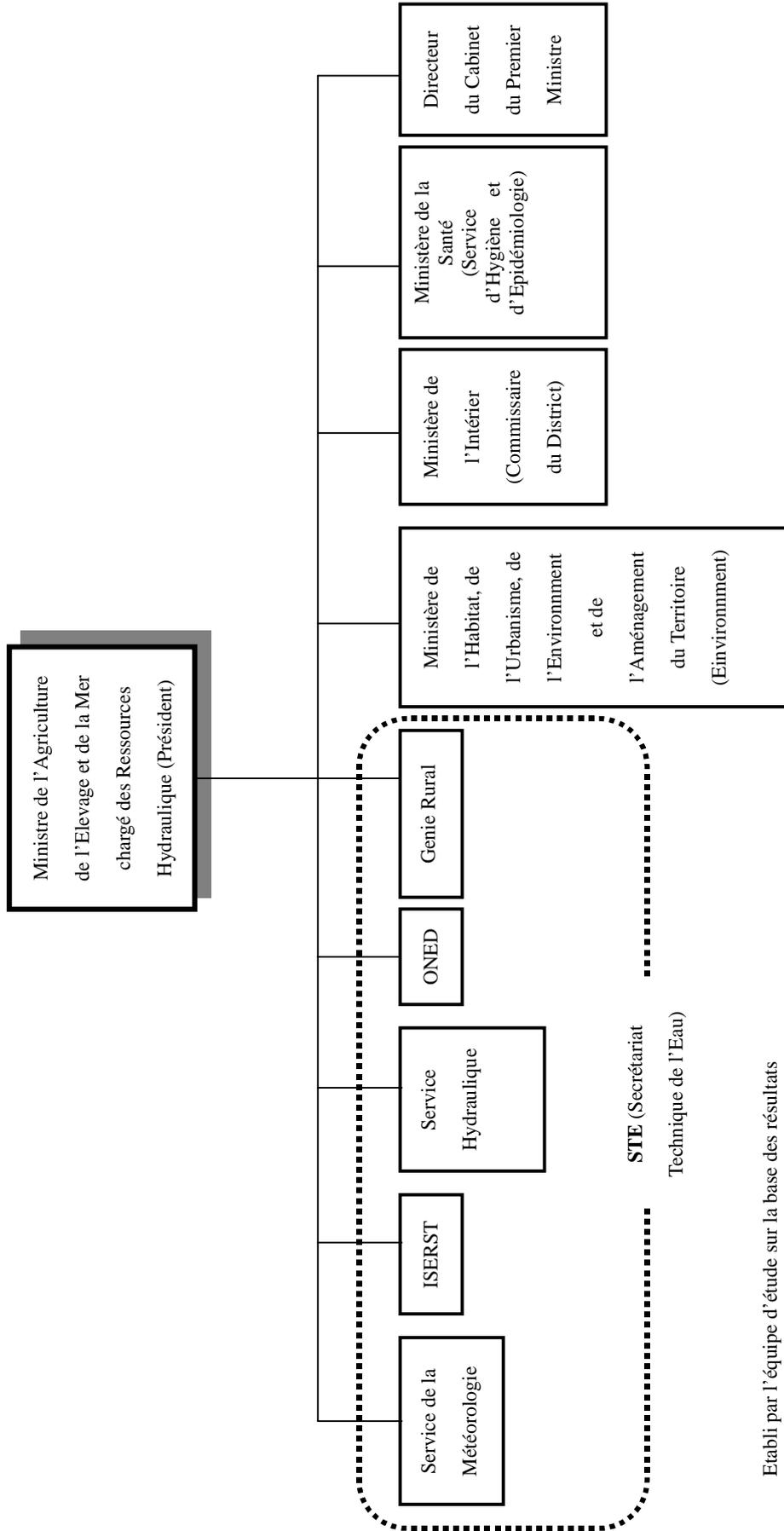
Sous-projets		Etat d'avancement	
Phase 1 (dans 2 à 3 années)	Volet 1. Gestion et protection de la nappe de Djibouti	1. Etude pour la gestion et la protection de la nappe de Djibouti	Non commencé
		2. Forages développement du champ de captage	Correspond à ce projet
		3. Etude socio-économique	Non commencé
	Volet 2. Potentiel de l'aquifère du Sud-Ouest du pays	1. Pompage d'essai de 6 mois sur un forage du Hanlé	Non commencé
		2. Etude pour l'évaluation du potentiel hydraulique de l'aquifère régional du sud-ouest	Non commencé
	Volet 3. Etude technico-économique des différences options	1. Etude technico-économique comparative adduction Hanlé/dessalement de l'eau de mer	Non commencé
Phase 2	Amélioration de l'efficacité du réseau de distribution de l'eau		Non commencé
	Restructuration de l'ONED		Actuellement réalisé par l'ONED lui-même
	Réalisation de l'option retenue		Non commencé
	Surveillance des nappes exploitées		Actuellement réalisé par l'ONED lui-même

* Modifié sur la base du Schéma Directeur National de l'Eau par la mission d'étude

2-1-2 Activités d'alimentation en eau au niveau de la République de Djibouti

En République de Djibouti, l'alimentation en eau courante est placée sous la responsabilité du Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Mer. L'approvisionnement en eau se divise en hydraulique urbaine pour la capitale et les grands centres régionaux et en hydraulique rurale, l'ONED étant l'organisme d'exécution de la première, et le Service de l'Hydraulique du Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Mer celui de la seconde.

En République de Djibouti, l'exploitation des ressources en eau est examinée par le Comité National des Ressources en Eau (CNRE), et le Secrétariat Technique de l'Eau (STE) est chargé de la coordination en matière technique. La Figure 2.1 donne l'organigramme du CNRE.



Etabli par l'équipe d'étude sur la base des résultats
d'interviews auprès du personnel de l'ONED

Figure 2.1 Organigramme de la Comité National Ressources en Eau

2-2 Hydrogéologie

Les principales couches aquifères de la République de Djibouti sont les couches striées, les basaltes Dalha et les roches du socle, et comprennent des nappes en forme de couche et de nappes d'eau en forme de veine d'eau. Les couches de sols d'inondation et alluviaux constituent aussi des nappes aquifères importantes. Comme les précipitations sont faibles en République de Djibouti, la recharge des eaux souterraines à partir de la surface est faible. Par ailleurs, l'analyse du flux des eaux souterraines effectuée au tritium a permis de confirmer que les eaux souterraines sont récentes, et donc que leur circulation est rapide.

Les couches aquifères de Djibouti se composent de basaltes d'origine éruptive du Tertiaire et Quaternaire et de couches sédimentaires quaternaires. Le Tableau 2.3 indique la stratification des couches aquifères de Djibouti et la Fig. 2.2 la carte géologique.

Tableau 2.3 Stratification des couches aquifères de Djibouti

Période géologique		Couches	
Quaternaire	Pléistocène - holocène	1,2 millions - aujourd'hui	Sédiments de plaine d'inondation, sédiments de zone triangulaire, sédiments en éventail, sédiments de digue littorale, calcaires des récifs de corail
	Pliocène -pléistocène	Il y a 3,3 à 1,0 millions d'années	Basaltes du golfe
Tertiaire	Pliocène	Il y a 7,0 à 4,3 millions d'années	Basaltes de Somalie
	Pliocène	Il y a 9,0 à 3,8 millions d'années	Basaltes de Dhala

La plupart des couches aquifères de Djibouti sont en basaltes du Golfe, la limite Ouest est proche de la frontière avec les Basaltes de Dalha, et la limite Sud de la frontière avec les basaltes de Somalie. La zone de Basaltes du Golfe constitue un plateau volcanique à surface très plate, avec une pente de 0,7° d'Ouest en Est. Les basaltes du Golfe forment un plateau plat alors que la zone de basaltes de Dalha est une zone montagneuse à pentes relativement raides, ainsi la limite entre les deux est très claire au niveau du relief. Par ailleurs, les basaltes de Somalie constituant aussi un plateau plat, leur limite avec les basaltes du Golfe est difficile à juger au niveau du relief.

Le plateau de basaltes du Golfe est fracturé en direction Est-Ouest et Nord-Sud par des oueds. Il existe des collines de scories et des collines de laves à pentes douces de flanc de montagne par endroits sur le plateau volcanique. Ces collines sont souvent réparties en lignes droites en directions Est-Ouest et Nord-Sud, et sont harmonisées à la direction d'une large zone de fractures.

Les bonnes couches aquifères dans les basaltes du Golfe sont les parties de basaltes dures très fissurées et les couches de scories coincées dans les laves basaltiques. A l'opposé, les basaltes argilisés par altération climatique ou transformation et les basaltes durs peu fissurés ne laissent pas espérer beaucoup d'eaux souterraines.

LEGENDE

- Formations Sédimentaires
- Basaltes de Somali
- Cônes Volcaniques ; Basalte du Golfe
- Basaltes du Golfe
- Basalte du Dalha
- Rhyolites de Mabla
- Domes Volcaniques
- Villages Principaux

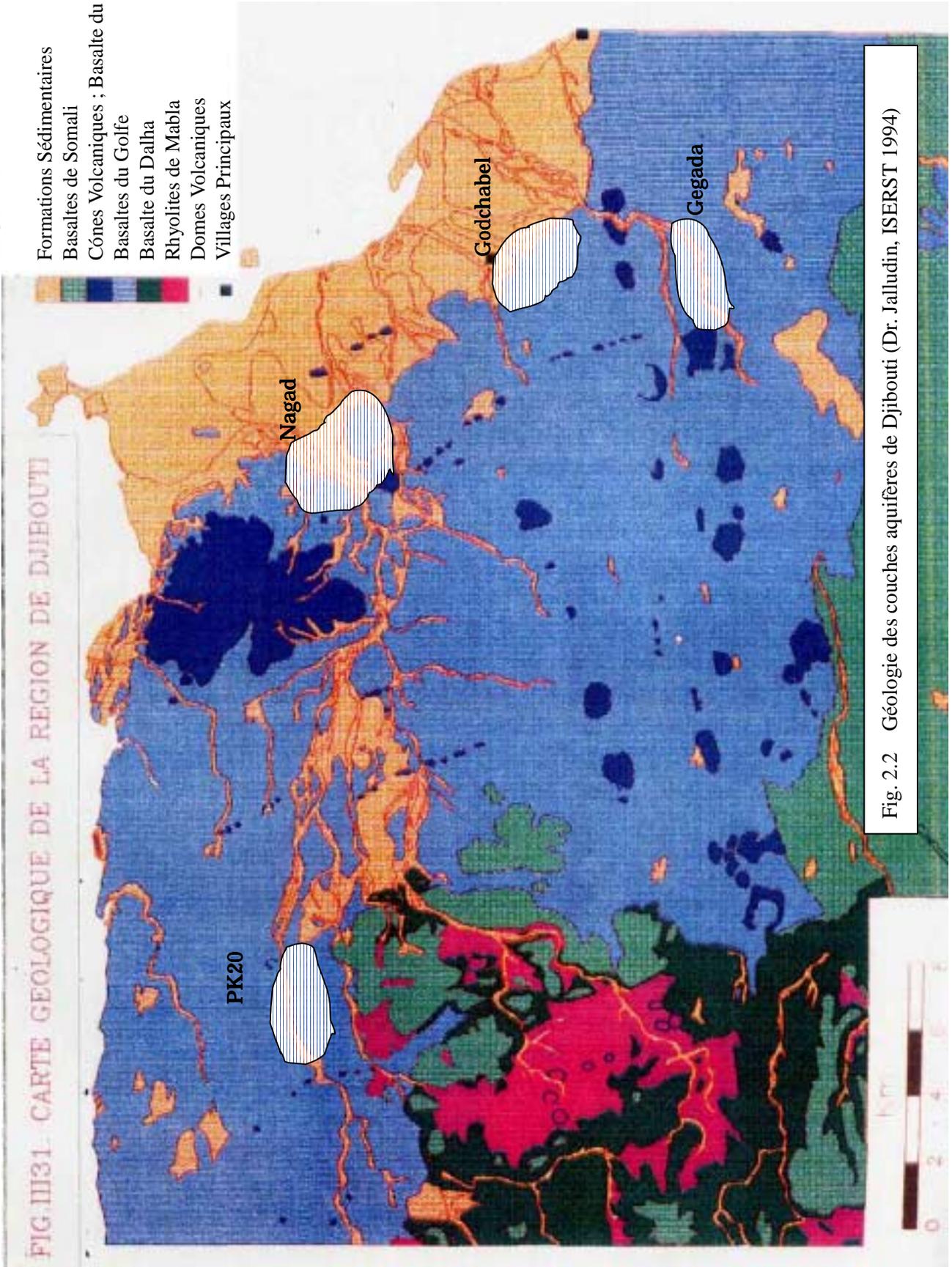


Fig. 2.2 Géologie des couches aquifères de Djibouti (Dr. Jalludin, ISEST 1994)

2-3 Etat des installations d'approvisionnement en eau existantes

2-3-1 Système d'approvisionnement en eau actuel

Comme le montre la Fig. 1.1, le système d'approvisionnement en eau de la ville de Djibouti se compose d'installations de forage de prise, d'installations d'amenée d'eau, d'installations d'envoi d'eau et d'installations de distribution. Les forages de captage se divisent en deux groupes de forages (ci-dessous le groupe de forages au sud-est appelé "groupe des forages de Djibouti" et les forages productifs de la zone PK20 ci-dessous "groupe des forages PK20") servant de source de captage situés à environ 3 - 27 km en banlieue de Djibouti.

Les eaux souterraines captées par le groupe de forages de Djibouti sont envoyées au réservoir récepteur de la station de pompage de Hambouli par des canalisations d'amenée d'eau, puis distribuées dans la zone de distribution de Djibouti par l'intermédiaire des bassins de distribution de Djibouti auxquels elles sont envoyées par des pompes d'envoi d'eau. Une partie de cette eau est aussi envoyée au bassin de distribution de Balbala à partir de la station de pompage de Hambouli. L'eau souterraine des forages PK20 est collectée à la station de pompage de Balbala via un réservoir récepteur, et distribuée dans la zone de Balbala.

Les conditions d'approvisionnement en eau sont très mauvaises dans la ville de Djibouti, et le manque d'eau est important pendant la saison sèche. L'approvisionnement en eau 24 heures sur 24 est réalisée difficilement pendant l'hiver, alors que la tranche horaire d'approvisionnement en eau stable est de 23 à 2 heures en été. Cette situation est principalement due au volume d'eau insuffisant et aux fuites d'eau du réseau de canalisations de distribution. L'ONED n'a pas mis en place de mesures spéciales comme fourniture d'eau par tranches horaires, pour remédier au volume d'eau insuffisant.

2-3-2 Forages productifs existants

(1) Contexte de la construction des forages productifs existants

Les forages de captage pour la ville de Djibouti ont été construits à partir de 1962, et il y avait 46 forages productifs en 1998. 15 d'entre eux ont été abandonnées, il en reste donc 32 actuellement. Parmi ces derniers, certains sont sous l'inspection des pompes ou du système électrique. Lors de l'étude, 24 étaient en fonctionnement. Le Tableau 2.4 indique la situation des forages existants

Les forages productifs actuels ont d'abord été construits dans la zone de Nagad où les conditions hydrogéologiques sont les meilleures, puis dans les zones de Douda, Damerjog et Atar. La zone de Nagad concentre actuellement le plus grand nombre de forages productifs, qui sont éloignés les uns des autres de seulement 300 à 800 m. La disposition ordinaire consiste à assurer un intervalle d'au moins 1.000 m entre les forages productifs pour éviter l'influence de l'effet de groupe.

(2) Structure des forages

Les tubages et crépines des forages de captage actuels sont des tuyaux en acier, PVC ou inox, ceux des forages construits avant les années 1990 étant principalement en acier. Les vidéos enregistrées par caméra submersible dans le cadre de la coopération technique française ont permis de confirmer la corrosion des tubages et l'adhérence de calamine sur les crépines. La calamine adhérant aux crépines en obstrue les fentes, ce qui laisse supposer une baisse du volume pompé. Ces problèmes n'apparaissent pas sur les forages à tubages et crépines en PVC.

La vérification des niveaux d'eau statique et dynamique des forages existants a montré que le niveau d'eau dynamique de fonctionnement des 15 forages de la région côtière, y compris ceux de la zone de Nagad, était inférieur au niveau de la mer, ce qui laisse à penser que la salinisation par infiltration d'eau de mer est avancée. On peut également penser que l'obstruction des fentes de crépine précitée est due à l'influence de la dégradation des forages due à la résistance à la pénétration, et que le niveau d'eau à l'intérieur des forages a considérablement baissé.

(3) Crépines

Les crépines des forages productifs existants sont à fentes, à taux d'ouverture de 1 à 5% environ. Généralement, les crépines sont installées au-dessous de la surface de l'eau.

Les forages avec crépine sur tout l'intervalle au-dessous de la surface de l'eau ont été construits par des sociétés djiboutiennes, ceux construits par la société française sont dotés d'une crépine seulement sur la nappe.

(4) Volume pompé des forages productifs existants

Le volume pompé des forages productifs existants est mesuré tous les mois au débitmètre des forages par le service Hydrogéologie de l'ONED. Les débitmètres installés sur les forages productifs existants sont de type totalisateur, et n'indiquent pas le débit instantané, c'est pourquoi le débit instantané a été obtenu à partir du volume totalisé pour une période donnée. Mais sur les 32 forages productifs, le débitmètre est en bon état sur seulement 12 (37%); même s'il fonctionne sur 6 autres, le déchiffrement de l'indication est difficile, et ceux des 14 forages restants sont en panne. Le service Hydrogéologie a placé un bidon métallique de 200 l aux forages où le débitmètre est en panne et effectue le relevé une fois par an. Mais comme il ne s'agit pas du volume d'eau réellement amené, mais du résultat des relevés de pompage sur le forage, ce volume ne peut pas être utilisé comme volume de pompage.

Les données de relevés à partir de janvier 1992 sont utilisables, et la variation dans le temps du débit mensuel a ainsi pu être confirmée. Comme il manque beaucoup de données, la tendance n'est pas claire, mais le débit est généralement irrégulier. Quand le débit a brutalement changé à partir d'une certaine année, on peut penser que la pompe a été remplacée. Le débit a tendance à baisser sur les forages RG1, E5, E6, E9b, E21, E33, E24, E35 et E36.

Pour le volume pompé, en dehors des relevés du service Hydrogéologie de l'ONED, les volumes de pompage sont indiqués dans l'annuaire et les rapports mensuels de l'ONED. Ces volumes pompés ne sont pas les valeurs directement mesurées, mais des volumes obtenus sur la base de la capacité de la pompe installée, à partir du temps de fonctionnement en soustrayant les temps de coupure de courant et de pannes des pompes (le volume annuel pompé en 1999 a été de 13.543.735 m³). Par ailleurs, 5 des 32 forages productifs existants: E1, E17, E33, E36 et PK20-2, qui ont des problèmes de système électrique, crépine, chute de pompe etc. sont arrêtés depuis longtemps. Comme l'arrêt de production des forages suite à des coupures de courant, panne de pompe etc. a été calculé à environ 10% de la production annuelle, le volume de captage maximum possible est estimé à environ 14,9 millions de m³/an. Mais comme la consommation a tendance à baisser pendant l'hiver, de décembre à avril, un volume de captage annuel d'environ 13 millions de m³ est jugé pertinent compte tenu des fluctuations saisonnières.

La comparaison des valeurs mesurées par débitmètre et indicateur de flux à ultrasons pour vérifier les valeurs mesurées par le Service Hydrogéologie et les valeurs estimées par le Service technique a montré qu'il y avait des différences entre les valeurs par le

Service Hydrogéologie et les valeurs de mesure réelle de la mission d'étude (voir le Tableau 2.5 Comparaison du volume de prise des forages) pour les forages productifs RG1, RG2, E5, E7, E21, E24 et E27. Les résultats de la comparaison avec les valeurs de mesure réelles permettent d'estimer que le volume de prise actuellement annoncé est très proche de la valeur réelle, mais de toute façon, cela manque de fiabilité.

Il n'y a pas de débitmètre indiquant le volume d'eau arrivant à la station de pompage d'envoi d'eau de Hambouli, et le débitmètre magnétique du côté sortie de la pompe d'envoi est en panne. Si ce projet est réalisé, le volume de prise devra être saisi de manière précise pour ajuster la production des forages productifs et gérer le volume de pompage de la nappe de Djibouti, et pour cela des débitmètres doivent être installés sur les forages.

Par ailleurs, des instruments de mesure devraient être installés dans la station de pompage d'envoi de Hambouli dans le cadre des travaux d'extension de la station de pompage prévus avec l'aide française.

2-3-3 Installations de pompage et installations secondaires

L'installation de pompage est en principe dans la cabine d'exploitation du forage. L'étude sur place a permis de constater qu'il n'y avait pas de critères particuliers pour les dimensions de ces cabines, et qu'elles étaient proposées par projet. Beaucoup des forages existants ne sont pas dotés d'installations secondaires telles que manomètre, vanne de non-retour, vanne d'arrêt etc., et le débitmètre est en panne sur certains, ce qui empêche la gestion du débit. Les pannes de débitmètre sont peut-être aussi liées à la température élevée de l'eau souterraine, en particulier, l'eau atteint plus de 50°C aux forages existants au point PK20.

De même, la fréquence des pannes des pompes immergées est aussi élevée, et la partie moteur est remplacée environ tous les ans. D'après les personnes concernées, le système de démarrage du moteur des pompes immergées installées au moment de la construction était de type Star Delta, mais le système de démarrage de toutes les pompes fournies après la panne n'était de type Star Delta, mais en courant continu, c'est pourquoi le relais de niveau d'eau bas et Star Delta sur le panneau de commande ne sont pas utilisés. Par conséquent, il n'y a pas de relais de niveau d'eau bas installé, quand le niveau d'eau dynamique est au dessous de l'ouverture d'aspiration de la pompe immergée, le moteur peut facilement être endommagé par brûlage.

Tableau 2.4 (1/5) Etat des forages existants

Nom du forage		Zone	Etat actuel	Etat de fonctionnement	Date de construction	Tubage et crépine	Requête de l'ONED	Remarques	
Forages productifs	1	RG1	Balbala	Forage productif	En service	1965	Acier		(1) Baisse du niveau d'eau importante (interview ONED), (2) Arrêté en août 2000 sur panne du système électrique, transformateur etc.
	2	RG2	Balbala	Forage productif	En service	1965	Acier	remplacement	(1) Baisse du niveau d'eau importante, teneur totale en sel dissous élevée (interview ONED), (2) De la rouille a été confirmée dans le trou de forage, et de la calamine obstrue les fentes de la crépine (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995). (3) La crépine, qui va jusqu'au fond à partir de GL-21m, est endommagée par endroits (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995).
	3	RG3	Balbala	Forage productif	En service	1965	Acier		(1) Baisse du niveau d'eau importante
	4	RG4	Balbala	Fermé					
	5	RG5	Balbala	Fermé					
	6	RG6	Balbala	Fermé					
	7	RG7	Balbala	Fermé					
	8	E1	Nagad	Forage productif	Hors service	1962	Acier		(1) Teneur totale en sel dissous élevée. (2) Arrêté depuis mai 2000 sur panne du système électrique. (3) Corrosion du tubage (interview ONED). (4) Pompe immergée en panne une fois par an (interview ONED)
	9	E2	Nagad	Forage productif	En service	1962	Acier		(1) Structure du forage vétuste. (2) Pompe immergée en panne une fois par an (interview ONED)
	10	E3	Nagad	Forage productif	En service	Inconnue	Acier		(1) Structure du forage ancienne. (2) Arrêt temporaire fréquent suite à la panne du circuit électrique due aux précipitations. (3) Pompe immergée en panne une fois par an (interview ONED)
	11	E4	Nagad	Abandonné					
	12	E5	Nagad	Forage productif	En service	1964	Acier	remplacement	(1) Débitmètre en panne, (2) Dommages de la crépine à GL-8 m (vérification par l'enregistrement en vidéo pris en 1995) (3) Couvercle de la partie aspiration de la pompe immergée tombé à GL-23 m. (4) Pompe immergée en panne depuis un an après sa mise en service (information obtenue de l'ONED)
	13	E6	Nagad	Forage productif	En service	1964	Acier		(1) Vérification de la chute de câbles et/ou armatures à partir de GL-12 m (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995) (2) Vérification de rouille en grande quantité au-dessous de GL-14 (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995) (3) Pas de plaque de fond installée dans le fond du forage (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995) (4) Structure de forage ancienne, tubage déformé (5) Remontée et installation de la pompe immergée difficiles (information obtenue de l'ONED) (6) Pompe immergée en panne une fois par an (interview ONED)

Tableau 2.4 (2/5) Etat des forages existants

Nom du forage		Zone	Etat actuel	Etat de fonctionnement	Date de construction	Tubage et crépine	Requête de l'ONED	Remarques	
Forages productifs	14	E7	Nagad	Forage productif	En service	1964	Acier	remplacement	(1) Eau souterraine à partir de GL-27 m, confirmation de l'adhérence de grandes quantités de rouille (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995) (2) Vérifications des fissures et de corrosion du tubage à GL-16 à -27 m (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995) (3) Pompe immergée tombe en panne une fois par an (information obtenue de l'ONED)
	15	E8	Nagad	(Forage productif)	Hors service	Inconnue	PVC		(1) Confirmation de chute d'armatures etc. aux environs de GL-41 m (2) Les travaux de remplacement sont inscrits en tant qu'E8h dans le budget 2000 de l'ONED. (3) En fonctionnement en mars 2001
	16	E9	Nagad	Abandonné					
	17	E9b	Nagad	Forage productif	En service	1972	Acier		(1) Débitmètre en panne. (2) Vérification de dommages de la crépine aux environs de GL-34 m (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995) (3) Pompe immergée tombe en panne une fois par an (information obtenue de l'ONED)
	18	E10	Nagad	Abandonné					(1) Pas de crépine (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995) (2) Pompe immergée tombe en panne une fois par an (information obtenue de l'ONED)
	19	E11	Nagad	Forage productif	En service	1964	Acier	remplacement	(1) Habitants des environs ont installé des bornes fontaines près du forage (interview ONED), (2) Souvent objet de vandalisme par les habitants du voisinage (interview ONED). (3) Adhérence de grandes quantités de rouille sur les parois du trou (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995). (4) Accumulation de sédiments estimée d'environ 5 m d'épaisseur au fond du trou (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995). (5) Pompe immergée tombe en panne une fois par an (interview ONED)
	20	E12	Nagad	Forage productif	En service	1965	Acier		(1) Débitmètre en panne. (2) Chute de la pompe immergée (interview ONED). (3) Vérification d'accumulation de sable dans la partie inférieure du forage GL-36 m (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995). (4) Crépine endommagée à GL-35 m (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995). (5) Pompe immergée tombe en panne une fois par (interview ONED)
	21	E13	Nagad	Forage productif	En service	1972	Acier		(1) Débitmètre en panne, (2) Pompe immergée tombe en panne une fois par (interview ONED)
	22	E14 (P18)	Nagad	Abandonné					

Tableau 2.4 (3/5) Etat des forages existants

Nom du forage		Zone	Etat actuel	Etat de fonctionnement	Date de construction	Tubage et crépine	Requête de l'ONED	Remarques
Forages productifs	23	E15	Douda	Abandonné	Hors service			remplacement (1) Chute de la pompe immergée (information obtenue de l'ONED, mais sans rapport, impossible de préciser la date).
	24	E16	Douda	Abandonné	Hors service			remplacement (1) La crépine est très endommagée aux environs de GL-10 mm (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995). (2) Il n'y a ni tubage ni crépine au-dessous de GL-22 m (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995). (3) Chute de la pompe immergée (information obtenue de l'ONED, mais sans rapport, impossible de préciser la date).
	25	E17	Douda	Forage productif	Hors service	1977	Acier	(1) Vérification de la chute d'un élément vraisemblablement pompe immergée à plus de GL-24 m (vérification par enregistrement par vidéocaméra submersible). (2) Vérification d'adhérence de rouille à la crépine à plus de GL-24 m (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995). (3) Pompe retirée il y a 1 an parce qu'en fonctionnement, elle aspirait du sable (information obtenue de l'ONED).
	26	E18	Douda	Forage productif	En service	1975	Acier	(1) Pas de problème en dehors de la structure ancienne.
	27	E19	Douda	Forage productif	En service	1977	Acier	(1) Adhérence de grandes quantités de rouille à la partie crépine au-dessous de GL-29 m (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995). (2) Arrêt temporaire suite à une panne du système électrique due aux pluies torrentielles d'août 2000 (interview ONED) (3) Pas de problèmes sauf que souvent objet de vandalisme par des habitants du voisinage (interview ONED).
	28	E21	Damerjog	Forage productif	En service	Inconnue	Acier	(1) Chute de quelque chose qui ressemble à un tuyau PVC de mesure de niveau d'eau de forage vers GL-21 m (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995). (2) Plaque de fond non installée au fond du trou (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995). (3) Arrêt temporaire suite à une panne du système électrique due aux pluies torrentielles de septembre 2000 (d'après ONED). (4) Souvent objet de vandalisme par des habitants du voisinage (interview ONED).
	29	E22	Damerjog	Forage productif	En service	Inconnue	Acier	(1) Arrêt temporaire suite à une panne du système électrique due aux pluies torrentielles de septembre 2000 (d'après ONED). (2) Souvent objet de vandalisme par des habitants du voisinage (interview ONED).
	30	E23	Damerjog	Abandonné			Acier	

Tableau 2.4 (4/5) Etat des forages existants

Nom du forage		Zone	Etat actuel	Etat de fonctionnement	Date de construction	Tubage et crépine	Requête de l'ONED	Remarques
Forages productifs	31	E24	Atar	Forage productif	En service	1978	Acier	(1) Adhérence de rouille sur les parois du trou (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995), mais ne semble pas avoir d'influence sur le pompage actuellement. (2) Augmentation de la teneur totale en sel dissous avec l'augmentation du débit (d'après l'ONED).
	32	E25	Atar	Forage productif	En service	1975	Acier	Pas de problème
	33	E26	Atar	Forage productif	En service	1978	Acier	(1) Vérification de chute de câbles et tuyau PVC au-dessous de GL-27 m (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995). (2) Souvent objet de vandalisme par des habitants du voisinage (interview ONED).
	34	E27	Atar	Forage productif	En service	1985	PVC	(1) Remise en service après contrôle de la pompe immergée. (2) Débit d'exploitation important, mais pannes fréquente de la pompe (interview ONED). (3) Teneur totale en sel dissous élevée (d'après l'ONED).
	35	E29b	Damerjog	Forage productif	En service	1995	PVC	Vérification de dommages sur une des crépines aux environs de GL-36 m (vérification faite sur l'enregistrement en vidéo pris en 1995), la fissure s'élargit de plus en plus. Ecaillage de fentes horizontales à partir des fissures est à craindre dans l'avenir. Pour le moment, pas de problème au fonctionnement.
	36	E30	Nagad	Forage productif	En service	1996	PVC	Pas de problème
	37	E31	Damerjog	Forage productif	En service	1991	PVC	Pas de problème
	38	E32	Damerjog	Abandonné				
	39	E33	Godchabel	Forage productif	Hors service	1993	PVC	Arrête depuis juin 2000 suite à la chute de la pompe (interview ONED)
	40	E35	Gegada	Forage productif	En service	1994	Inox	(1) Structure ne permettant pas la mesure du niveau d'eau. (2) Souvent objet de vandalisme par des nomades (interview ONED). (3) Panne fréquente du système électrique (interview ONED). (4) Un gardien en poste au forage.
	41	E36	Odowwa	Forage productif	Hors service	1994	Inox	(1) Retrait de la pompe immergée en mars 2000 suite à une panne du mécanique. (2) Un gardien en poste au forage.
	42	E38	Loyada	Fermé				
	43	PK20-1	PK20	Forage productif	En service	1997	Inox	(1) Structure ne permettant pas la mesure du niveau d'eau. (2) Température de l'eau élevée, pas d'autres problèmes.
	44	PK20-2	PK20	Fermé		1997	Inox	remplacement (1) Impossible de retirer la pompe immergée (d'après l'ONED). (2) D'après le compte-rendu des travaux de remontage de la pompe de l'ONED, le forage a été réalisé courbé et la partie courbée du forage a empêché la remontée de la pompe coincée à cet emplacement.

Tableau 2.4 (5/5) Etat des forages existants

Nom du forage		Zone	Etat actuel	Etat de fonctionnement	Date de construction	Tubage et crépine	Requête de l'ONED	Remarques
Forages productifs	45	PK20-3	PK20	Forage productif	En service	1997	Inox	(1) Inspection de la pompe en cours en août 2000 (2) En fonctionnement en mars 2000.
	46	PK20-4	PK20	Forage productif	En service	Inconnue	Inconnue	Pas de problème, sauf l'absence de données sur ce forages qui était placé sous tutelle de Ministère de l'Agriculture.
Forages d'observation	1	P1	Agadere	Fermé				
	2	P2	Midgaoune	En service				
	3	P3	Godchabel	Fermé				
	4	P4	Naasley	Fermé				
	5	P5	Atar yer	Fermé				
	6	P6	Guissi	Fermé				
	7	P7	Wead	Fermé				
	8	P8	Guelile	En service				
	9	P9 (E20)	Douda	En service				
	10	P10 (E28)	Midgaoune	En service				
	11	P11	Midgaoune	En service				
	12	P12	Godchabel	Fermé				
	13	P13	Moqarrada	Fermé				
	14	P14	Gegada	En service				
	15	P15	Awrofoul	Fermé				
	16	P16	Guedmarre	Fermé				
	17	P17	Dey-dey	Fermé				
	18	P20	Odowwa-yar	En service				
	19	P21	Odawwa-Est	En service				Observation non pratiquée parce que d'accès difficile.

Tableau 2.5 Comparaison du débit des forages (unité : m³/h)

NO.	ONED		Mission d'étude			Remarques
	Service Hydrogéologie	Service Technique	Valeurs de mesure des débitmètres en place	Valeurs de mesure des débitmètres portables	Débit estimé	
RG1	12.7	12.7	11.6	7.8	8.0	
RG2	26.3	56.2	52.7	56.9	57.0	
RG3	32.3	32.4	Compteur en panne	34.6	35.0	
E1	48.0	48.1	Compteur en panne	-	48.0	Problème de système électrique, arrêté
E2	34.1	31.6	Compteur en panne	32.4	32.0	
E3	64.9	60.0	63.8	-	65.0	
E5	31.4	48.4	Compteur en panne	3.6	4.0	
E6	20.9	20.9	Compteur en panne	-	21.0	
E7	43.5	37.5	40.0	36.9	37.0	
E9b	38.0	37.4	Compteur en panne	40.2	40.0	
E11	46.1	44.6	42.8	-	46.0	
E12	31.0	31.0	Compteur en panne	38.4	38.0	
E13	80.3	81.0	Compteur en panne	80.7	81.0	
E17	21.0	24.6	Compteur en panne	-	21.0	Retrait de la pompe, problème de crépine
E18	86.1	87.4	Compteur en panne	-	86.0	
E19	84.0	87.6	85.6	-	84.0	
E21	36.6	63.7	Compteur en panne	-	37.0	
E22	69.1	39.4	Compteur en panne	-	69.0	
E24	36.4	23.7	37.7	42.8	43.0	
E25	51.4	51.8	Compteur en panne	52.9	53.0	
E26	88.5	85.3	Compteur en panne	-	89.0	
E27	134.6	130.0	Compteur en panne	164.2	164.0	
E29b	71.6	72.0	71.8	75.6	76.0	
E30	90.7	90.8	88.0	-	91.0	
E31	61.3	59.0	62.6	-	61.0	
E33	45.9	49.0	Compteur en panne	-	45.9	Chute de la pompe, arrêté
E35	43.8	45.0	Compteur en panne	-	44.0	
E36	50.0	49.0	Compteur en panne	-	50.0	Chute de la pompe, arrêté
PK20-1	56.4	45.0	55.4	-	56.0	
PK20-2	35.8	45.0	Compteur en panne	-	35.8	Chute de la pompe, arrêté
PK20-3	22.5	23.0	Compteur en panne	-	23.0	
PK20-4	66.0	62.0	64.9	-	66.0	
Volume de captage (m ³ /h)	1,661	1,675			1,707	
Volume de captage (m ³ /jour)	39,868	40,202			40,961	
Volume de captage (m ³ /année)	14,551,849	14,673,701			14,950,692	
Volume de captage des forages en service (m ³ /année)					13,192,560	

2-3-4 Canalisations d'amenée d'eau

Les canalisations d'amenée d'eau entre les forages de captage et la station de pompage d'envoi d'eau, en ciment-amiante ou fibres de verre, ont une longueur totale d'environ 62 km. Les tuyaux en fibres de verre sont utilisés sur une partie des forages de Djibouti.

La ramification de la canalisation principale entre le forage de captage de la station de pompage de Hambouli et le forage existant d'Atar a été commencée, mais non terminée, il reste encore environ 2 km de canalisation à poser. Si de nouveaux forages sont construits à l'intérieur des terres dans le cadre de ce projet, l'augmentation du diamètre des canalisations existantes et la mise en place d'installations de dépressurisation seront nécessaires.

Tableau 2.6 Abrégé des canalisations d'amenée d'eau existantes

Type	Diamètre (mm)	Longueur (m)
Tuyau en ciment-amiante	80	140
	150	11.840
	200	4.620
	250	3.100
	350	30.400
	500	9.100
	total	59.200
Tuyau en fibres de verre	500	3.300

2-3-5 Installations de transport d'eau

Les eaux souterraines pompées aux forages de captage sont collectées au réservoir récepteur dans la station de pompage de Hambouli via des canalisations d'amenée. Ensuite, elles sont envoyées aux installations de distribution via des installations de pompage d'envoi d'eau. Les principales installations de la station de pompage de Hambouli, qui a été construite avec l'aide française en 1984, sont comme suit.

Tableau 2.7 Installations d'envoi d'eau

Installations	Dimensions	Quantité	Zone d'envoi d'eau
Réservoir récepteur	700 m ³	1	
Réservoir de distribution	1.200 m ³	3	
Pompe d'envoi d'eau	ø400 x 750 m ³ /h x 90 kW x 31 m	2	Zone de distribution de Djibouti
	ø400 x 900 m ³ /h x 110 kW x 31 m	1	
	ø400 x 750 m ³ /h x 132 kW x 71 m	1	Zone de distribution de Djibouti
	ø400 x 750 m ³ /h x 110 kW x 71 m	1	Zone de distribution de Balbala

L'installation de stérilisation est en place comme installations secondaires, et les produits chimiques sont injectés dans l'eau souterraine collectée dans le réservoir récepteur. 4000 l/jour d'hypophosphite de sodium produit à Djibouti sont utilisés avec l'objectif d'une densité de chlore résiduel de 0,3 ppm.

Le problème de cette station de pompage est l'absence d'instruments pour gérer les volumes d'eau. Il n'y a pas d'instruments de mesures du côté entrée des installations de pompage, et comme les débitmètres du côté envoi d'eau sont en panne, il est impossible de confirmer le volume d'eau actuellement envoyé. Des travaux d'augmentation des capacités de pompes sont prévus à la station de pompage de Hambouli à l'automne 2000 avec l'aide française, et des débitmètres seront mis en place des côtés entrée et envoi d'eau dans le cadre de ces travaux de réfection.

Les bassins de distribution ne sont pratiquement pas utilisés, c'est pourquoi les pompes d'envoi d'eau ne fonctionnent pas avec le niveau d'eau dans le bassin comme critère de hauteur de sortie d'eau.

2-3-6 Installations de distribution d'eau

Comme indiqué au Tableau 2.8, 5 bassins de distribution sont construits dans la ville, mais comme le volume d'eau envoyé est insuffisant par rapport aux besoins d'eau, ils sont pratiquement inutilisés. Les eaux souterraines captées sont directement envoyées dans le réseau de canalisations de distribution de la ville.

Tableau 2.8 Bassins de distribution dans la ville de Djibouti

Nom du bassin	Capacité (m ³)	Année de construction	Zone d'approvisionnement	Remarques
Voirie	1.500 x 1 unité	1959	Djibouti	utilisable
Issa	3.500 x 1 unité	1970	Djibouti	idem
Serpent	2.500 x 1 unité	1993	Djibouti	idem
Salines	2.500 x 1 unité	1994	Djibouti	idem
Balbala	3.900 x 1 unité	1997	Balbala	idem
Total	13.900m ³			

Le Tableau 2.9 indique les canalisations de distribution existantes, d'une longueur totale d'environ 149 km, qui sont en ciment à amiante à environ 95%, et en fonte ductile à 5%. Il y a beaucoup de zones où le réseau de canalisations de distribution n'est pas aménagé, ce qui est sans doute la cause du petit nombre de contrats pour les branchements individuels.

Tableau 2.9 Décomposition des canalisations de distribution d'eau existantes

Type	Diamètre (mm)	Longueur de canalisation de distribution (m)		Total (m)
		Zone de distribution de Djibouti	Zone de distribution de Balbala	
Tuyau en ciment à amiante	60	2.570	0	2.570
	80	16.260	5.400	21.660
	100	22.070	6.290	28.360
	150	25.390	8.760	34.150
	200	13.000	2.290	15.290
	250	4.430	2.320	6.750
	300	10.500	500	11.000
	350	9.320	400	9.720
	400	3.790	3.210	7.000
Tuyau en fonte	200	1.130	0	1.130
	300	250	0	250
	400	1.000	0	1.000
PVC	63	500	280	780
	110	500	130	630
	160	1.490	2.730	4.220
Total		116.600	32.310	148.910

* Etabli par la mission d'étude à partir du plan de masse des canalisations existant

De plus, les eaux incertaines ont tendance à augmenter, en 1999, un volume d'approvisionnement de 6 millions de m³ a été perdu (40% de l'ensemble de la ville). Mais comme aucune étude des fuites n'a été faite dans le passé, les composants des eaux incertaines sont indéterminés. Essentiellement, l'étude du consultant français a permis de vérifier que beaucoup de vannes d'arrêt ne fonctionnaient pas et que la canalisation n'était pas un système de réseau dans les zones, et que la réparation des emplacements de fuites était impossible.

Tableau 2.10 Evolution des eaux incertaines

Année	Production annuelle m ³	Volume consommé m ³	Volume perdu m ³	Taux de perte %
1990	11.572.279	9.218.352	2.308.927	20,0
1991	11.118.082	8.477.274	2.640.808	23,8
1992	11.552.664	8.640.881	2.911.783	25,2
1993	11.962.503	8.201.325	3.761.178	31,4
1994	13.137.764	8.643.531	4.503.233	34,3
1995	12.011.981	8.362.608	3.649.373	30,4
1996	12.199.677	8.258.335	3.941.342	32,3
1997	11.653.739	8.717.152	2.936.587	25,2
1998	11.973.552	7.490.704	4.482.848	37,4
1999	13.543.735	7.620.000	5.923.735	43,7

Source: Annuaire de l'ONED

Note: Volume consommé = volume facture

La distribution d'eau se fait par branchements individuels et bornes fontaines, les secondes étant limitées à la zone de Balbala à cause des couches de revenus des habitants de cette zone. Mais si l'on considère le nombre de contrats de branchements particuliers, un potentiel de branchements individuels existe aussi dans cette zone.

2-4 Installations de câblage électrique existantes

2-4-1 Installations de câblage électrique existantes

L'alimentation électrique du groupe de forages de Djibouti et du groupe de forages PK20 se fait en principe à partir de la centrale électrique de Boulaos située dans la ville de Djibouti. En dehors des forages RG1 à RG3, chacun des forages du groupe de forages de Djibouti est alimenté en électricité à partir de la centrale électrique de Boulaos, via la sous-station électrique de Nagad située à environ 1,3 km au Sud de la station de pompage d'envoi de Hambouli. L'alimentation électrique des forages RG1 à RG3 se fait par la ligne d'alimentation ordinaire 20 kV gérée par l'EDD ramifiée juste avant la sous-station électrique de Nagad. Le groupe de forages PK20 est alimenté par le système électrique de la ville d'Arta (alimentation par la centrale électrique de Boulaos à la ville d'Arta) (voir la Fig. 2.3 Aperçu des installations électriques).

Par ailleurs, le système de câblage existant vers le groupe de forages de Djibouti est la propriété de l'ONED, alors que le système de RG1 - RG3 et du système PK20 est celle de l'EDD. Pour la maintenance, propriétaires confondus, les câbles à moyenne tension sont gérés par l'EDD et les câbles à basse tension (400 V) entre le transformateur et le forage par l'ONED.

2-4-2 Installation d'alimentation électrique du groupe de forages de Djibouti

L'alimentation électrique du groupe de forages de Djibouti est faite par câbles électriques moyenne tension de 20 kV passant par la station électrique de Nagad située à environ 1,3 km au Sud de la station de pompage d'envoi d'eau de Hambouli. Par ailleurs, 4 lignes moyenne tension sont ramifiées à partir de la station électrique de Nagad (1) ligne du groupe de forages de la zone de Nagad, (2) ligne du groupe de forages de Damerjog entre Douda et Gegada, (3) ligne de la zone RG sur l'autre rive de la rivière Hambouli, et (4) ligne de l'aéroport, incluant la station d'épuration de Douda. La ligne de Damerjog se subdivise encore en ligne Douda - Atar et ligne Atar - Gegada.

Tableau 2.11 Aperçu des câblages électriques du groupe de forages de Djibouti

Nom de ligne actuel		Tension kV	Diamètre du câble mm ²	Année de construction	Longueur km
Ligne de Nagad		20	14,4	1967	4,2
Ligne de Damerjog	Ligne Douda - Atar	20	34,4	1974	21
	Ligne Atar - Gegada	20	54,6	1997	13

Entre 1997-1999, il y a eu annuellement 23 à 56 cas de panne de la ligne d'alimentation électrique sur les lignes de Nagad et Damerjog, dont 52 à 79% se sont résorbées naturellement, sans que la cause ait pu être déterminée (voir le Tableau 2.26). Le nombre de pannes ayant exigé une réparation pour le rétablissement a été de 8 cas/an pour la ligne de Nagad et 3 cas/an pour la ligne de Damerjog, donc plus de pannes sur la ligne de Nagad. Beaucoup de temps est requis pour le rétablissement d'une panne: 9,3 heures sur la ligne de Nagad, et 7,9 heures sur la ligne de Damerjog. Les phénomènes suivants apparaissent lors des principales pannes.

- Panne due à la rupture due à la rouille de fixation des isolateurs, boulons etc., la mise à la terre due à la chute, le court-circuitage entre les lignes etc.
- Comme il n'y a pas d'installation pour le fil de mise à la terre aérien sur la ligne, des cornes de garde anti-étincelle d'isolateur sont fixées comme paratonnerre par endroits, mais il y a mise à la terre quand un oiseau se pose dessus, ce qui provoque une panne. Un paratonnerre de type résistance à vanne devrait être installé pour chaque phase au terminal des câbles moyenne tension, c'est le cas pour les travaux récents, mais ils sont souvent remplacés par une corne de garde. Comme il y a beaucoup de vols de fil de mise à la terre aux emplacements d'installation des paratonnerres, les conditions d'installation ne sont pas bonnes.
- Des commutateurs de section ne sont pas installés aux endroits adaptés sur les lignes, et le sectionnement d'alimentation électrique n'est pas réalisé. Par conséquent, l'électricité est coupée pendant longtemps sur toute les lignes en cas de panne, ce qui empêche la prise d'eau aux forages actuels.

Tableau 2.12 Nombre de pannes d'électricité (ligne de Nagad, ligne de Damerjog) et durée des pannes

Ligne électrique	Description	Année	1997	1998	1999
Ligne de Nagad	Nombre de pannes	Cas	10	6	9
	Temps requis jusqu'à la découverte de la cause	Durée	14,60	17,82	12,17
	Durée de la réparation	Durée	60,00	48,00	72,00
	Durée totale des pannes	Durée	74,60	65,82	84,17
	Durée par panne	Durée	7,46	10,97	9,35
Ligne de Damerjog	Nombre de pannes	Cas	5	2	2
	Temps requis jusqu'à la découverte de la cause	Durée	4,93	2,12	14,28
	Durée de la réparation	Durée	30,00	14,00	16,00
	Durée totale des pannes	Durée	34,93	16,12	30,28
	Durée par panne	Durée	6,99	8,06	8,64
Panne dont la cause n'a pas pu être trouvée	Nombre de pannes	Cas	41	31	12
	Durée du rétablissement naturel	Durée	32,55	25,40	10,85
	Durée par panne	Durée	0,79	0,82	0,90
Nombre total de pannes		Cas	56	39	23

2-4-3 Ligne de Nagad

En 1999, la durée totale des pannes pour le groupe des forages de la zone de Nagad a été d'environ 95 heures, le volume de prise estimé pendant la panne est de 34.608 m³ (412 m³/h x 95 heures), ce qui correspond à 0,30% de la production annuelle du groupe de forages de Djibouti. Le nombre de jours d'arrêt des forages pour panne électrique est d'environ 11 jours par an, ce qui fait 1 jour d'arrêt de

passage d'eau par mois, et demande des mesures d'urgence, compte tenu de l'état d'alimentation actuel de la ville de Djibouti.

Le diamètre actuel des câbles électriques équivaut à une capacité d'alimentation suffisante pour 8 forages environ, mais leur renouvellement a été jugé nécessaire principalement pour assurer une alimentation électrique stable à cause de problèmes de disponibilité sur le marché des câbles du diamètre actuel et de spécifications des câbles actuels.

Comme le renouvellement complet des câbles électriques et isolateurs est jugé suffisant pour les installations, le renouvellement global est inutile, et un renouvellement échelonné tous les ans suffira. C'est pourquoi l'ONED devrait établir un projet d'exécution annuel et l'exécuter lui-même.

Les problèmes ci-dessous ont été vérifiés sur les différentes installations de la ligne de Nagad lors de l'étude sur place.

Tableau 2.13 Points à confirmer et problèmes des différentes installations de la ligne de Nagad

Installation	Points à confirmer et problèmes
Ligne électrique	30 ans se sont écoulés depuis la construction, et la dégradation de la partie support, de la partie contrainte des lignes a été vérifiée, ainsi que quelque 20 emplacements de réparation par raccord de ligne. Les lignes utilisées sont des câbles en cuivre dur nues de 14,4 mm ² de section, et le même matériau n'est pas disponible sur le marché. Les spécifications standard actuelles ne sont pas conformes à ACSR (câble torsadé en aluminium avec noyau en acier), la réparation est difficile en cas de rupture, et des raccords d'urgence sont faits en l'absence de manchons de dépressurisation spéciaux de liaison et d'outils hydrauliques. En cas de secousses de biais répétées sous l'effet d'un vent violent etc., une nouvelle rupture de câble est possible. La norme de Djibouti est de 34,4 mm ² minimum, et le renouvellement complet à des câbles aériens en ACSR de cette épaisseur est nécessaire pour une alimentation électrique stable.
Pylône	Les pylônes actuellement utilisés sont des tuyaux en acier (ronds ou hexagonaux). La base a un diamètre d'environ 220 - 260 mm, et la rouille a été vérifiée compte tenu des longues années de service. De plus, la destruction, l'affaissement ou la pénétration de terre dans l'enveloppe en béton des bases de pylône sont visibles, et le renversement est à craindre dans beaucoup de cas. Le renouvellement des pylônes eux-mêmes n'est pas jugé nécessaire, mais la réparation par peinture et le renfort des fondations sont requises.
Isolateur	Des isolateurs sont rouillés et certaines sont endommagées, la saleté est frappante, et l'étincelle est à craindre. Dans l'ensemble, la limite de résistance est jugée atteinte, et le remplacement de l'ensemble est nécessaire.
Transformateur	Le transformateur du poteau du forage E11, de type ancien, n'a pas de radiateur, il y a des fuites d'huile et de la rouille, et le remplacement est nécessaire. De plus, le préampli (isolateur) côté haute pression des transformateurs E9b et E7 est endommagé et sale, et le remplacement de trois transformateurs est requis. Les transformateurs sont généralement en bon état, mais la rouille, la saleté de l'isolateur sont frappants, et la peinture antirouille, le nettoyage de l'isolateur sont requis périodiquement.
Paratonnerre	Comme les câbles d'alimentation sont dépourvus de fil de mise à la terre aérien, un paratonnerre de type résistance à soupape devrait être installé pour chaque phase au terminal moyenne tension, mais les emplacements d'installation sont peu nombreux. Des cornes de garde anti-étincelle de paratonnerre sont installées sur une partie des isolateurs, mais sur les types anciens, il est souhaitable de les retirer parce qu'ils peuvent provoquer la mise à la terre du câble à cause des oiseaux. Il faudrait retirer toutes les cornes de garde et installer des paratonnerres de type résistance à soupape pour chaque phase aux terminaux des câbles aériens.
Commutateur de ligne	9 commutateurs sont installés au total pour les câbles principaux et câbles de ramification, mais 4 sont en panne. Si la partie ramification ou le prolongement du câble principal jusqu'à chaque forage est long, pour l'entretien et l'inspection, l'installation d'un commutateur sur le câble principal est nécessaire, et ces 4 commutateurs en panne devraient être remplacés. Par ailleurs, les problèmes communs des commutateurs actuellement installés devraient être réparés. Beaucoup sont hors de fonctionnement à cause du vol de boulons de partie mobile, et la réparation est possible.
Fil de mise à la terre	Les éléments électriques divers, fils de mise à la terre installés sur chaque pylône sont posés jusqu'à l'électrode de terre enterrée, mais ces liaisons (fil en cuivre nu de 14 mm ²) sont presque toutes volées jusqu'à 2 - 2,5 m au sol. La coupure permet de juger qu'il s'agit de vol commis par les habitants, mais le fil de mise à la terre étant très important pour les installations électriques, il faudrait protéger le fil simplement par un tuyau en acier jusqu'à 2,5 - 3 m pour éviter le vol.

Tableau 2.14 Installations électriques des forages de prise existants

N° de forage	Transformateur	Paratonnerre
E2	Utilisable	Inutilisable
E5	Utilisable	Inutilisable
E6	Utilisable	Inutilisable
E7	Inutilisable	Inutilisable
E8	Utilisable	Inutilisable
E9b	Inutilisable	Inutilisable
E11	Inutilisable	Inutilisable
E13	Utilisable	Inutilisable

2-4-4 Ligne de Damerjog

Les installations d'alimentation électrique se divisent en ligne Douda-Atar et ligne Atar-Gegada. La ligne Atar-Gegada récemment aménagée ne pose aucun problème, et la ligne Douda-Atar, construite il y a 26 ans, est bien entretenue.

Tableau 2.15 Points à confirmer et problèmes des différentes installations de la ligne de Damerjog

Installation	Points à confirmer et problèmes
Ligne électrique	Le câble électrique est de 34,4 mm ² , et des raccords sans doute effectués suite à des ruptures sont visibles à plusieurs endroits.
Pylône	Les pylônes sont des tuyaux en acier et des poteaux en bois (poteau injecté de créosote) en bon état.
Paratonnerre	Des paratonnerres de type résistance à soupape sont installés sur les forages E30, E31, E33, E35 et E36 existants, mais des cornes de garde sur les 19 autres doivent être remplacées.
Commutateur de ligne	Le commutateur de ligne installé avant l'emplacement de traversée de l'oued Atar en panne doit être remplacé. Compte tenu de la gestion, l'installation de commutateurs est souhaitable à 3 emplacements sur la ligne de Damerjog parce que le câble est long. L'EDD souhaite des commutateurs automatiques télécommandables par système sans fil, mais cela n'est pas jugé réaliste parce que le circuit d'un système de télécommande de pompe sans fil, en panne depuis 4 ans, n'est toujours pas réparé.

2-4-5 Lignes RG1, RG2 et RG3

L'alimentation électrique des forages existants de RG1 à RG3 se fait par ligne générale de l'EDD à 20 kV ramifiée un peu avant la sous-station électrique de Nagad. Les câbles existants longent la voie ferrée, traversent l'oued de Hambouli d'une largeur de 300 m, puis alimentent la société privé de traitement des déchets, la société privé de broyage, et les forages de RG1, RG2 et RG3.

Les forages existants RG1, RG2 et RG3 sont alimentés après transformation en 400 V par un transformateur. Les câbles électriques basse tension sont mal entretenus, et certains sont affaissés jusqu'au sol. Sur la rive droite de l'oued de Hambouli, la ligne d'alimentation est prolongée vers le sud le long de la rive jusqu'au forage E30. La collecte de gravier irréflechie réalisée jusqu'à récemment dans cette zone a entraîné la dégradation du lit de la rivière. La collecte de gravier dans cette zone a été arrêtée parce que le lit de la rivière s'est étendu jusqu'aux environs de la cabine du forage E12 existant.

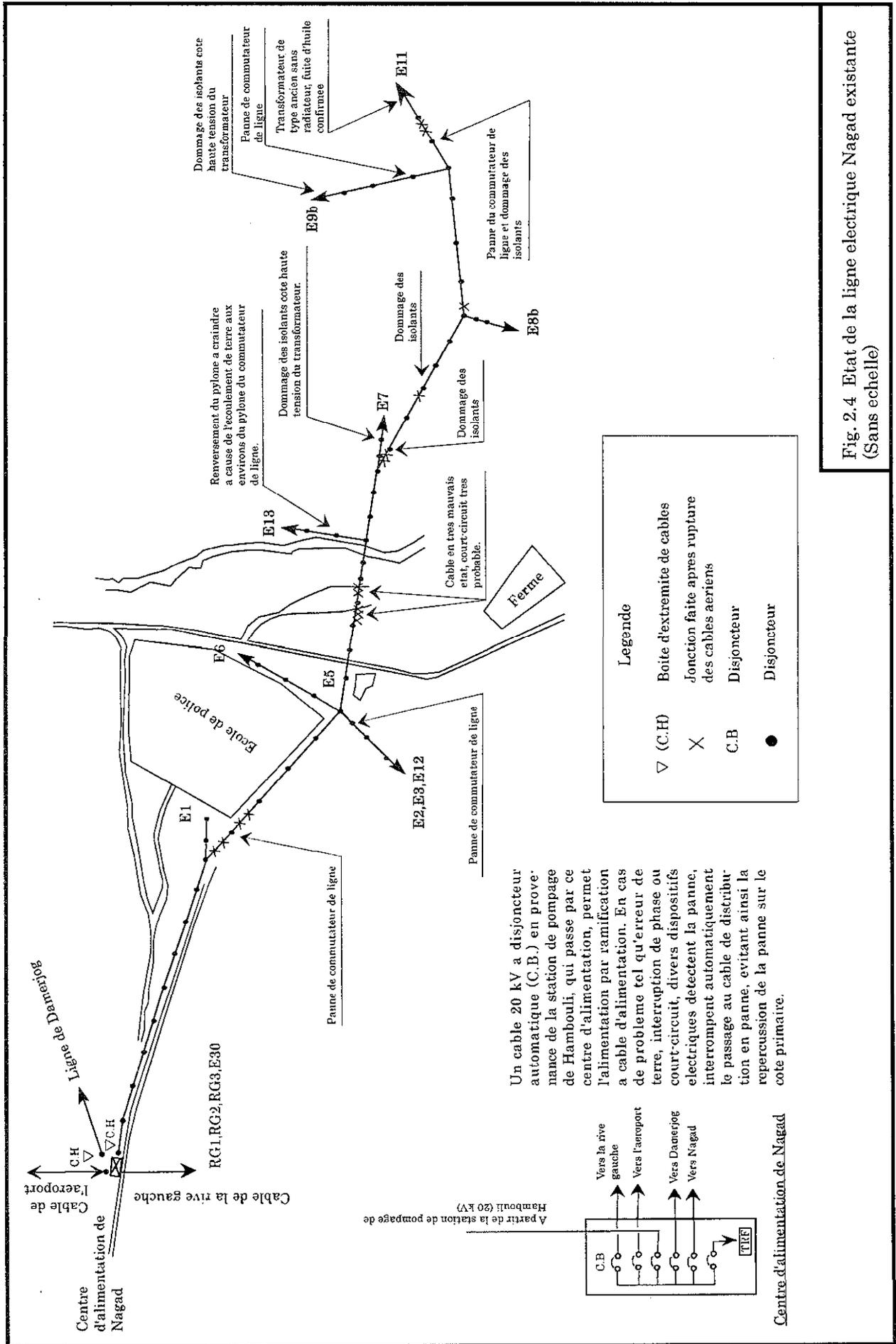
Le mauvais entretien des câbles électriques a été confirmé sur une partie de ce système, mais comme une usure ou des pannes pouvant influencer les installations n'ont pas été confirmées, le renouvellement est jugé inutile. L'amélioration de l'entretien est aussi jugée possible dans le cadre des frais d'entretien annuels.

2-4-6 Système du groupe de forages PK20

Les lignes électriques alimentant le groupe de forages PK20 sont ramifiées par lignes nouvelles et anciennes allant de la ville de Djibouti vers Atar, les lignes pour PK20-1 et PK20-3 sont nouvelles et celle pour PK20-4 ancienne. Les nouveaux forages à construire de F10b, F9b et F3b pourront être alimentés par la ligne électrique de PK20-4 existante, mais des ramifications seront nécessaires pour F10b et F3b. De nouveaux transformateurs seront requis parce qu'il n'y a pas de transformateur au terminal de l'installation électrique existante vers F9b.

Tableau 2.16 Aperçu des lignes électrique d'Arta

Nom de la ligne existante	Tension kV	Diamètre mm ²	Année de construction
Ligne d'Arta	20	34.4	1987



Un cable 20 kV a disjoncteur automatique (C.B.) en provenance de la station de pompage de Hambouli, qui passe par ce centre d'alimentation, permet l'alimentation par ramification a cable d'alimentation. En cas de probleme tel qu'erreur de terre, interruption de phase ou court-circuit, divers dispositifs electriques detectent la panne, interrompent automatiquement le passage au cable de distribution en panne, evitant ainsi la repercussion de la panne sur le cote primaire.

Centre d'alimentation de Nagad

Fig. 2.4 Etat de la ligne électrique Nagad existante (Sans échelle)

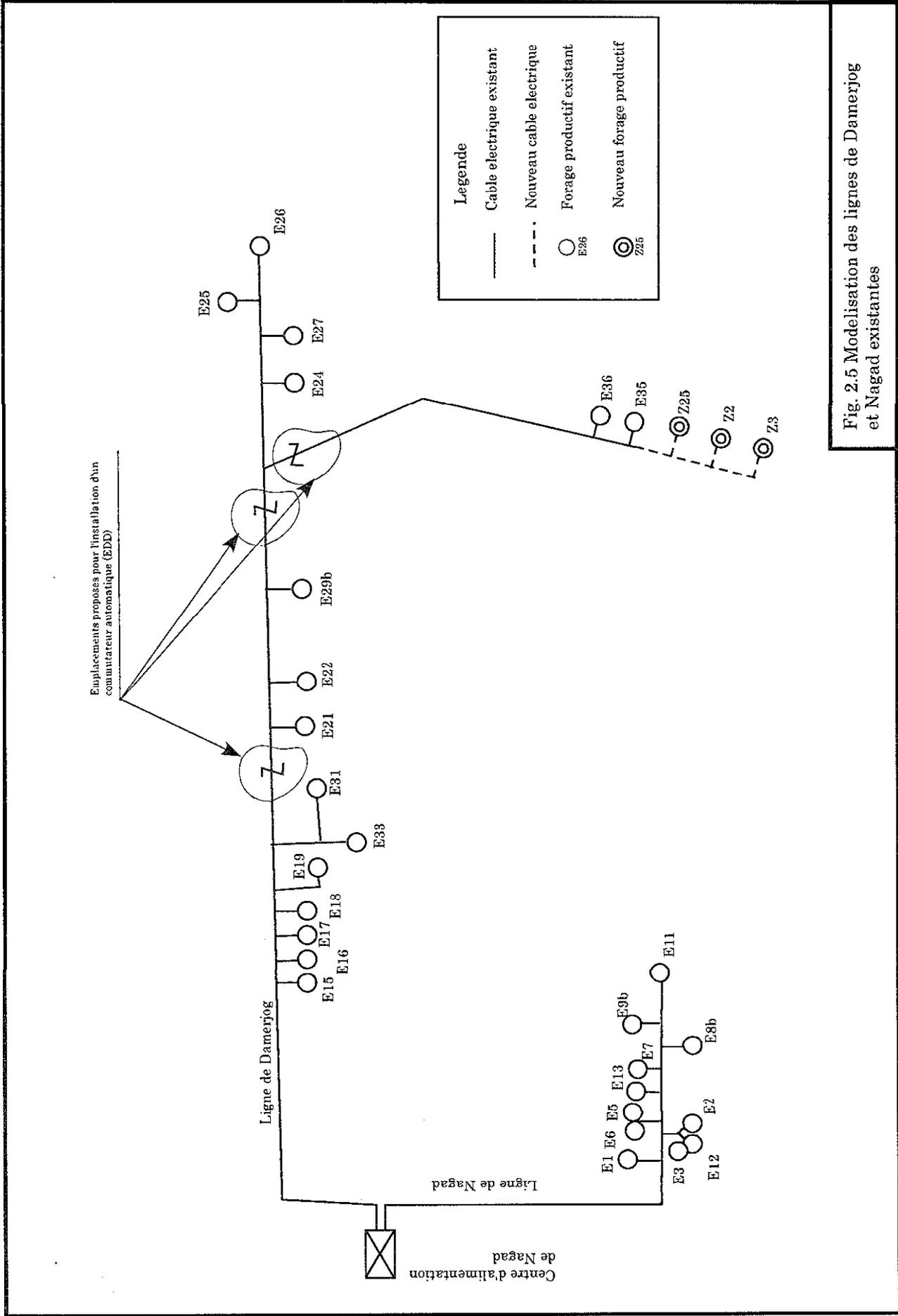
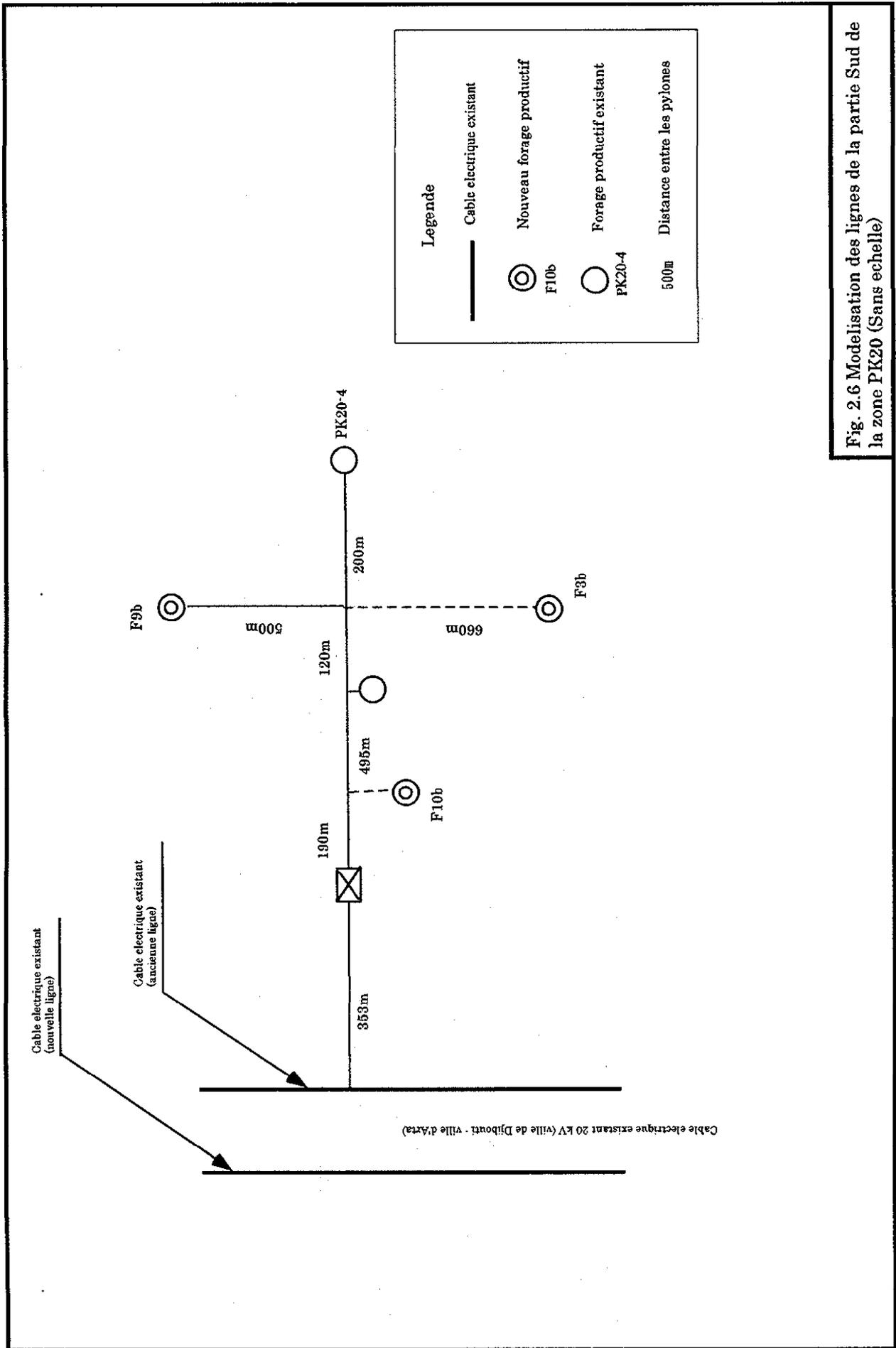


Fig. 2.5 Modelisation des lignes de Damerjog et Nagad existantes



Cable électrique existant 20 KV (ville de Djibouti - ville d'Arta)

Legende

- Cable électrique existant
- ⊙ Nouveau forage productif F10b
- Forage productif existant PK20-4
- X Distance entre les pylones 500m

Fig. 2.6 Modelisation des lignes de la partie Sud de la zone PK20 (Sans echelle)

2-5 Qualité des forages existants

2-5-1 Aperçu des résultats de l'étude de la qualité de l'eau

Une analyse de l'eau a été faite sur les 27 des 32 forages productifs existants permettant le captage, au forage récepteur de la station de pompage d'envoi de Hambouli et au bassin de distribution d'eau de Balbala. L'analyse de la qualité de l'eau a été faite avec les kits d'analyse simple apportés sur place et également confiée au laboratoire de l'ISERST, organisme de recherche de Djibouti. Il a été vérifié que la valeur pour l'arsenic est dans les limites indiquées dans les Grandes lignes de l'OMS, mais le test a été redemandé à un organisme d'essais japonais. Le Tableau 2.17 résume les résultats de l'analyse de la qualité de l'eau et le Tableau 2.18 les détails de cette analyse.

Tableau 2.17 Particularité de l'eau dans les zones objets de l'étude

Rubrique	Particularités des résultats d'analyse
Température	La température de l'eau des 27 forages productifs existants est de 36,7 à 47,5°C, soit en moyenne de 40,0°C. En particulier, l'eau atteint plus de 43°C dans la zone PK20.
pH	Les valeurs pH vont de 7,38 à 8,29, soit 7,66 en moyenne. Il n'y a pas d'indication spéciale dans les Grandes lignes de l'OMS, et ces valeurs sont incluses sur la plage des valeurs standard appliquées à l'alimentation en eau courante au Japon.
Conductivité (EC)	(1) Pour plus de 20°C standard, la conductivité va de 1.111 µS/cm - 4.140 µS/cm pour E3, avec une moyenne de 2.710 µS/cm qui est très élevée (la valeur EC de l'eau minérale achetée en ville (température standard 25°C) est de 394 µS/cm). (2) Par zone, les forages dans la zone de Nagad, la zone de Douda et la zone d'Atar dépassent 3.000 µS/cm.
Ions de chlore	Les ions de chlore sont des ions de chlore à l'intérieur de chlorures, et l'analyse a donné de 213 à 1259 mg/l. La valeur moyenne pour les 27 forages est de 749 mg/l, ce qui est environ 3,7 fois plus élevé que la valeur standard du Japon (200 mg/l). Un goût salé est ressenti quand les ions de chlore dépassent 250 mg/l.
Minéralisation totale (TDS)	(1) Les matières solubles sont des sels inorganique et un petit nombre de matière organique. Les principaux ions sont sels d'acide carbonique, chlorures, sulfures, sel d'acide nitrique, sodium, potassium, calcium, magnésium. L'analyse a indiqué une plage de 780 à 2592 mg/l, et une moyenne de 1702 mg/l. (2) Il n'y a pas de données indiquant que l'absorption de TDS avait un effet nocif sur la santé, mais une différence de densité affecte le goût, et les Grandes lignes de l'OMS indiquent TDS 900 mg/l comme acceptable, 900<TDS<1200 mg comme dégradé et TDS > 1200 mg/l comme inacceptable. La valeur cible est 1000 mg/l a été fixée. Sur 22 des 27 échantillons, TDS 1200 mg/l. (3) La rouille a tendance à adhérer à l'intérieur des tuyaux de distribution et d'alimentation en eau quand l'eau à une densité TDS supérieure à 500 mg/l.
Résidu d'évaporation	Les principaux composants des résidus d'évaporation sont des sels comme le calcium, le magnésium, le dioxyde de silicium, le sodium, le potassium, et des matières organiques. Les valeurs vont de 800 à 3.280 mg/l, avec une moyenne de 1.956 mg/l.
Ions d'ammoniac (NH4+)	Aucune détection en dehors des 0,7 mg/l et 0,1 mg/l confirmés sur les E17 et PK20-1 en panne, ce qui permet de dire que l'eau n'est pas polluée par les engrais ou excréments.
Ions d'acide nitrique, ions d'acide nitreux	(1) Les valeurs vont de 19 à 69 mg, et comme la valeur est au-dessous de la valeur totale de 53 mg/l des Grandes lignes de l'OMS, sauf PK20-4, il n'y a pas de problème actuellement. (2) 69 mg/l ont été confirmés à PK20-4, mais comme ce forage se trouve près d'une ferme d'essai actuellement inutilisée, la surveillance de la qualité de l'eau est nécessaire.
Dureté totale	(1) La dureté totale de l'eau des 27 forages va de 300 à 1.550 mg/l, soit en moyenne 835 mg/l. (2) La rouille a tendance à adhérer quand l'eau à une densité TDS supérieure à 200 mg/l.
Alcalinité	L'alcalinité va de 150 à 300 mg/l, soit en moyenne 251 mg/l, ce qui est élevé (en général, un degré d'alcalinité de 30 à 80 mg/l est élevé pour les eaux souterraines).
Fluor	Les valeurs pour les 27 forages vont de 0,13 mg/l à E9b à 0,99 mg/l pour E35, avec 0,57 mg/l en moyenne. Cela correspond aux valeurs préconisées par les Grandes lignes de l'OMS (1,5 mg/l), et il n'y a pas de problème.
Arsenic	L'analyse faite par un organisme de test au Japon des prélèvements sur le réservoir récepteur de la station de pompage de Hambouli et le réservoir de distribution de Balbala a indiqué une valeur inférieure à 0,005 mg/l (limite de mesure).
Acide sulfhydrique	Non détecté
Fer, manganèse	Non détecté
Ions de sodium	(1) Le sodium existe dans l'eau sous forme de sel de sodium, et la cause de sa présence est considérée être la pénétration d'eau de mer, ou le mélange de sel apporté par le vent. Les essais ont montré une valeur de 146 à 575 mg/l pour les ions de sodium, et une moyenne de 387 mg/l. (2) Une densité de sodium de plus de 200 mg/l affecte le goût, et la valeur des Grandes lignes de l'OMS est 200 mg/l.
Ions d'acide sulfurique	Les valeurs pour les ions d'acide sulfurique ont été de 71 à 235 mg/l, soit 141 mg/l en moyenne. Toutes les valeurs des eaux souterraines de la zone sont au-dessous de la valeur des Grandes lignes (250 mg/l).

Tableau 2.18 Résultats d'analyse de la qualité de l'eau dans les zones objets de l'étude (1/2)

Rubrique	Méthode	Unité	Grandes lignes de l'OMS	Norme de qualité d'eau japonaise	RG1	RG2	RG3	E2	E3	E5	E6	E7	E9b	E11	E12	E13	E17	E18	E19	E21	E24	E25
1	Température d'eau	Kit portable	-	-	41.5	41.9	41.9	38.8	38.0	39.1	38.0	38.9	39.6	40.9	40.6	38.1	39.8	38.1	37.8	38.2	38.1	38.7
2	pH	Kit portable	-	5.8-8.6	7.70	7.78	7.70	7.74	7.51	7.78	7.73	7.59	7.45	7.38	7.68	7.90	7.88	7.53	7.44	7.58	7.59	7.62
		Confié à l'ISERST	-	-	7.68	7.77	7.69	7.85	7.56	7.86	7.77	7.87	7.58	7.61	7.93	7.92	8.10	7.87	7.63	7.60	7.65	7.36
3	Conductivité (EC) 20 C	Confié à l'ISERST	-	-	3.270	2.970	3.100	2.710	4.140	1.842	2.760	2.260	2.390	2.990	3.450	2.870	3.300	3.530	3.250	2.610	4.090	3.460
4	Matière solide totale dissoute (TDS)	Confié à l'ISERST	-	-	1.999	1.883	2.033	1.629	2.578	1.252	1.765	1.420	1.348	1.842	2.066	1.759	1.889	2.269	2.062	1.638	2.592	2.242
5	Ions de Chlore (Cl ⁻)	Confié à l'ISERST	250 ^{pp1}	200	986	827	909	732	1241	455	754	573	639	816	1000	804	945	1063	972	682	1259	995
6	Ions d'ammoniac (NH ₄ ⁺)	Kit portable	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Ions d'acide nitrique (NO ₃ ⁻)	Confié à l'ISERST	50	-	42	47	50	25	43	53	36	37	33	33	41	35	1	40	20	43	19	25
8	Ions d'acide nitreux (NO ₂ ⁻)	Kit portable	3	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Dureté calcium (CaCO ₃)	Kit portable	-	300	500	400	450	450	450	300	450	400	350	500	500	500	400	450	450	400	650	450
10	Dureté totale (TH) CaCO ₂	Kit portable	-	300	1,200	900	900	950	1,200	550	800	600	650	900	950	950	1,000	850	1,000	800	1,550	1,250
11	Alcalinité totale (AL)	Kit portable	-	-	150	225	200	200	185	250	250	270	250	250	205	230	250	250	300	250	250	350
12	Oxygène dissous (DO)	Kit portable	-	-	4.0	5.0	5.0	5.0	4.0	5.0	5.0	4.0	4.0	5.0	4.0	5.0	3.0	4.0	4.0	5.0	4.0	4.0
13	Acide sulfhydrique (H ₂ S)	Kit portable	0.05	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	Fer bivalent (Fe ²⁺)	Kit portable	0.3	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	Fer total (Fe)	Kit portable	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	Manganèse (Mn)	Kit portable	0.1	0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	Di oxyde de silicium (SiO ₂)	Confié à l'ISERST	-	-	65	85	86	80	80	84	82	80	88	95	78	85	56	96	97	85	83	89
18	Arsenic (As)	en japon	0.01	0.01																		
19	Fluor (F)	Confié à l'ISERST	1.5	0.8	0.76	0.60	0.67	0.47	0.38	0.47	0.42	0.24	0.13	0.24	0.27	0.19	0.27	0.95	0.95	0.38	0.95	0.75
20	Ions de sodium (Na ⁺)	Confié à l'ISERST	200 ^{pp2}	200	467	467	467	338	575	299	402	338	338	420	460	402	402	575	529	343	532	575
21	Ions de potassium (K ⁺)	Confié à l'ISERST			19	19	22	16	25	13	16	16	19	22	16	19	27	32	16	22	27	27
22	Ions de calcium (Ca ⁺)	Confié à l'ISERST			131	105	133	113	172	105	104	100	93	119	146	120	106	141	111	105	186	148
23	Ions de magnésium (Mg ⁺)	Confié à l'ISERST			86	73	56	75	121	27	75	46	47	67	88	75	84	77	79	70	137	83
24	Ions de bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	Confié à l'ISERST			133	184	235	174	163	193	202	192	70	188	154	177	170	195	198	187	273	238
25	Ions d'acide sulfurique (SO ₄ ²⁻)	Confié à l'ISERST	250	-	135	160	161	157	239	107	175	118	110	177	162	128	153	146	136	185	159	152
26	Bactéries	Kit portable	-	Inf. à 100/ml	-	-	+	+	++	-	-	+	++	++	+	+	++	+	+	+	+	+
27	Colibacilles	Kit portable	0/100ml	0	-	+	+	+	++	-	-	++	++	++	++	+	++	-	++	+	++	+
28	Teneur totale en sel dissous				1,957	1,835	1,983	1,605	2,536	1,199	1,728	1,383	1,316	1,809	2,026	1,725	1,887	2,229	2,041	1,594	2,573	2,218

*1: Valeur objectif en tant que chlorure

*2: Valeur objectif

Tableau 2.18 Résultats d'analyse de la qualité de l'eau dans les zones objets de l'étude (2/2)

Rubrique	Méthode	Unité	Grandes lignes de l'OMS	Norme de qualité de l'eau japonaise	E26	E27	E29b	E30	E31	E35	PK20-1	PK20-3	PK20-4	HOTEL	Eau minérale	Station d'envoi d'eau de Hamboui	Station d'envoi d'eau de Hamboui	Ancien réservoir de Balbala	Nouveau réservoir de Balbala	Borne fontaine 1 de Balbala	Borne fontaine 2 de Balbala	Valeur moyenne de 27 forages
1	Température d'eau	Kit portable	-	-	36.7	38.3	38.8	44.1	37.1	40.8	47.5	44.0	43.7	32.6	20.0	38.7	39.5	34.4	34.4	41.1	38.6	13.7
2	pH	Kit portable	-	5,8-8,6	7,50	7,53	7,65	7,55	7,76	7,78	7,59	8,29	7,72	7,92	7,86	7,82	7,66	8,07	8,25	7,73	7,99	2,57
3	Conductivité (EC) 20 C	Contié à l'ISERST	-	-	7,60	7,57	7,78	7,73	7,75	7,64	7,63	8,01	7,69									2,57
4	Matière solide totale dissoute (TDS)	Contié à l'ISERST	-	-	3,440	3,380	2,000	1,822	2,360	1,296	1,111	1,320	1,450									673
5	Ions de Chlore (Cl ⁻)	Contié à l'ISERST	250 ^{#1}	200	2,128	2,065	1,276	1,186	1,419	900	780	945	977									432
6	Ions d'ammoniac (NH ₄ ⁺)	Kit portable	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					169
7	Ions d'acide nitrique (NO ₃ ⁻)	Contié à l'ISERST	50	-	20	22	25	29	42	37	48	51	69									0,0
8	Ions d'acide nitreux ((NO ₂) ⁻)	Kit portable	3	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					12,7
9	Dureté calcium (CaCO ₃)	Kit portable	-	300	600	500	300	250	300	150	150	125	250	350	30	350	350					97
10	Dureté totale (TH) CaCO ₂	Kit portable	-	300	1,000	1,300	700	400	700	300	300	300	550	700	110	850	850					206
11	Alcalinité totale (AL)	Kit portable	-	-	300	300	265	250	250	300	300	250	245	250	55	250	250					91
12	Oxygène dissous (DO)	Kit portable	-	-	4,0	4,0	5,0	4,0	5,0	5,0	4,0	5,0	5,0	4,0	6,0	4,0	4,0					1,5
13	Acide sulfhydrique (H ₂ S)	Kit portable	0,05	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0
14	Fer bivalent (Fe ₂₊)	Kit portable	0,3	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0
15	Fer total (Fe)	Kit portable	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0
16	Manganèse (Mn)	Kit portable	0,1	0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0
17	Dioxyde de silicium (SiO ₂)	Contié à l'ISERST	-	-	88	79	94	102	85	89	68	65	72									27
18	Arsenic (As)	en japon	0,01	0,01																		0,0
19	Fluor (F)	Contié à l'ISERST	1,5	0,8	0,76	0,34	0,75	0,99	0,95	0,99	0,60	0,19	0,85									0,24
20	Ions de sodium (Na ⁺)	Contié à l'ISERST	200 ^{#2}	200	467	437	287	338	267	191	168	222	146									93
21	Ions de potassium (K ⁺)	Contié à l'ISERST			27	23	16	19	25	25	8	8	11									6
22	Ions de calcium (Ca ⁺⁺)	Contié à l'ISERST			148	154	80	55	79	36	46	54	80									27
23	Ions de magnésium (Mg ⁺⁺)	Contié à l'ISERST			97	114	64	27	66	26	21	29	40									18
24	Ions de bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	Contié à l'ISERST			242	187	190	178	196	246	205	213	177									68
25	Ions d'acide sulfurique (SO ₄ ²⁻)	Contié à l'ISERST	250	-	145	151	83	72	126	89	72	119	179									38
26	Bactéries	Kit portable	-	Inf. à 1,00/ml	+	+	+	+	+	-	-	++	+	-	-	+	+					
27	Colibacilles	Kit portable	0/100ml	0	-	++	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-					
28	Teneur totale en sel dissous	Kit portable			2,108	2,043	1,251	1,157	1,377	863	733	895	908									

*1: Valeur objectif en tant que chlore

*2: Valeur objectif

2-5-2 Qualité des eaux souterraines du point de vue hydrogéologique

(1) Justification de la précision de l'analyse de l'eau

Avant de vérifier la répartition de la qualité d'eau, le résultat de la comparaison du total de l'équivalent d'ions positifs et négatifs dans chaque forage sur la base des résultats de l'analyse de la qualité de l'eau a donné des résultats presque identiques pour tous les forages, ce qui a permis de juger que l'analyse de la qualité de l'eau était faite correctement. Les cas des forages existants E2, E21 et PK20-1 ont été comparés en tant que cas représentatifs et les résultats sont présentés ci-dessous.

Tableau 2.19 Comparaison du total de l'équivalent d'ions positifs et négatifs

Forages	Ions positifs (epm)		Ions négatifs (epm)	
E2	Na ⁺	14,703	Cl ⁻	20,642
	Ca ²⁺	5,639	SO ₄ ²⁻	3,269
	Mg ²⁺	6,168	HCO ₃ ⁻	2,852
	K ⁺	0,409		
		+26,919		-26,763
E21	Na ⁺	14,921	Cl ⁻	19,232
	Ca ²⁺	5,240	SO ₄ ²⁻	3,852
	Mg ²⁺	5,757	HCO ₃ ⁻	3,065
	K ⁺	0,563		
		+26,481		-26,149
PK20-1	Na ⁺	7,308	Cl ⁻	6,007
	Ca ²⁺	2,295	SO ₄ ²⁻	1,499
	Mg ²⁺	1,727	HCO ₃ ⁻	3,360
	K ⁺	0,205		
		+11,535		-10,866

(2) Répartition de la qualité de l'eau par densité des eaux souterraines

Un diagramme de motifs a été établi en convertissant la valeur de mesure des principaux ions obtenue à partir des résultats de l'analyse de la qualité de l'eau en densité d'ions. La Fig. 2.7 indique le diagramme de motifs à l'emplacement de chaque forage existant.

La Fig. 2.7 a permis de confirmer que les eaux souterraines de la nappe de Djibouti étaient en principe de type Na-Cl. Il a été confirmé qu'elles étaient beaucoup plus riches en Na-Cl dans la zone côtière qu'à l'intérieur des terres, ce qui laisse à penser qu'elles sont influencées par l'eau de mer.

(3) Répartition de la qualité de l'eau par composition des eaux souterraines

Outre le diagramme de motifs ci-dessus, le diagramme trilinéaire de Piper indiqué sur la Fig. 2.8 a été établi sur la base des résultats de l'analyse de la qualité de l'eau. Le diagramme clé de ce diagramme montre que tous les forages productifs existants sont dans le domaine IV: sol alcalin non-carbonates (type NaSO₄ ou NaCl). Pour mettre au clair cette composition, en s'attachant aux ions négatifs, la possibilité de la répartition en eau mélangeant les types NaCl, HCO₃ et NaCl a été confirmée.

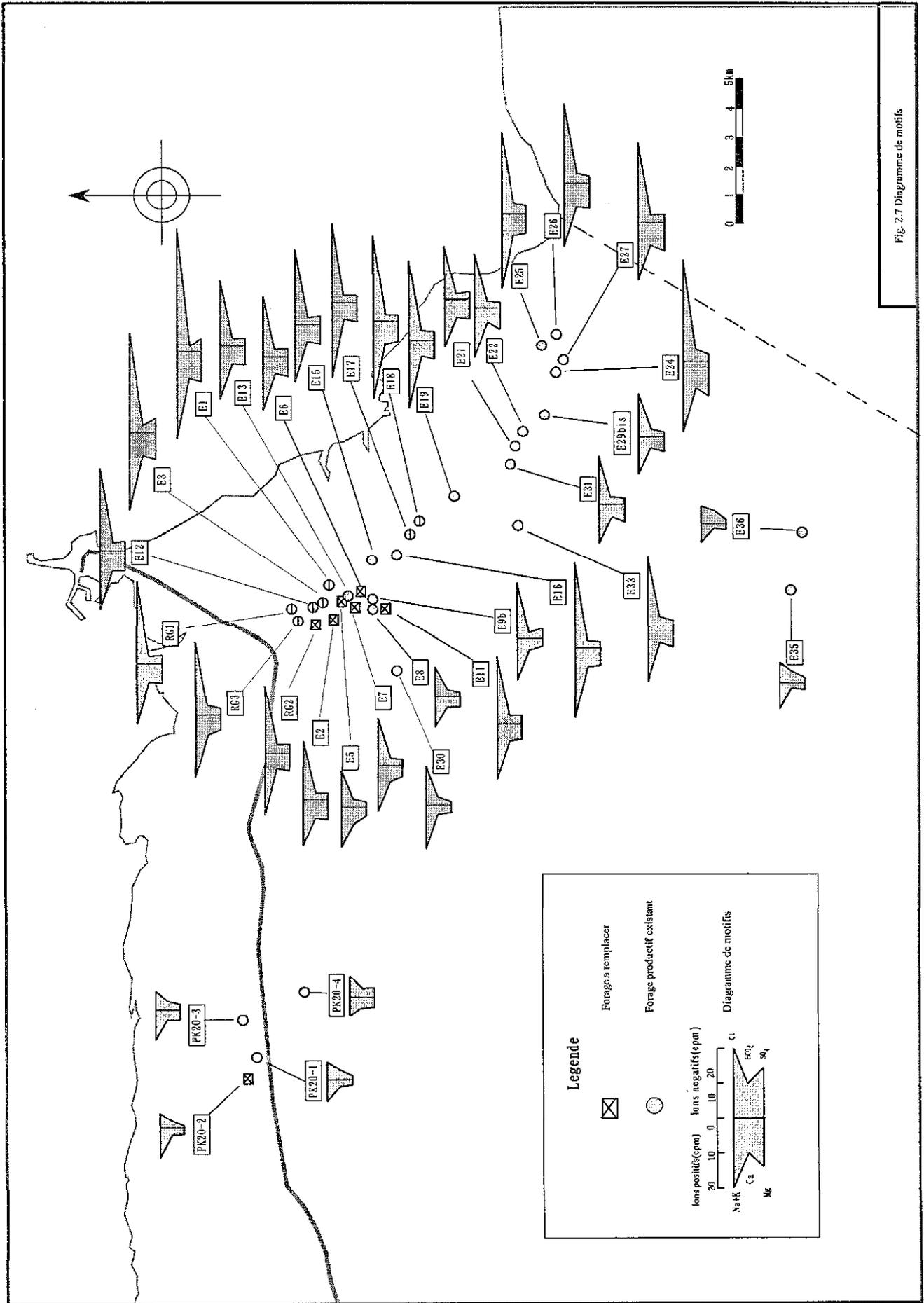
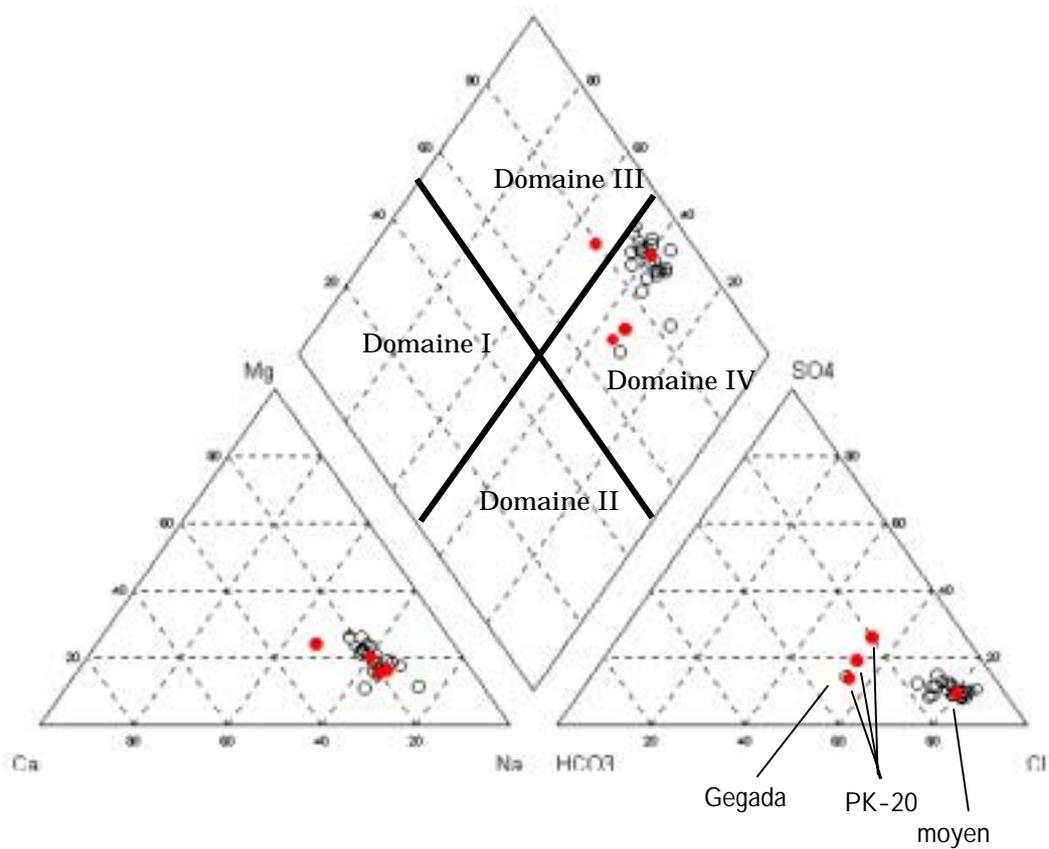


Fig. 2.7 Diagramme de motifs



- Domaine I: Type carbonate de sol alcalin (type $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)
- Domaine II: Type carbonate alcalin (type NaHCO_3)
- Domaine III: Type de sol non carbonate de sol alcalin (type CaSO_4 , CaCl_2)
- Domaine IV: Type non carbonate alcalin (type Na_2SO_4 , NaCl)

Fig.2.8 Diagramme Trilinéar de Piper

(4) Processus de formation de la qualité de l'eau

Le diagramme de motifs et le diagramme trilineaire de Piper précités ont permis de juger que la nappe de Djibouti comprenait deux types d'eau: eaux souterraines de type NaCl et de type mélangé HCO₃-NaCl. Le diagramme de motifs du forage existant E8 de la zone de Nagad dans la région côtière présente une tendance différente des autres forages voisins, proche de celle des forages existants de l'intérieur. Les forages productifs sont très concentrés dans la zone de Nagad, et forment des groupes, ce qui laisse à penser qu'à cause de leur densité les eaux souterraines de la zone côtière ont pour origine l'eau de mer.

Par conséquent, la qualité de l'eau dans la région côtière est comme pour l'intérieur de type HCO₃ et de type NaCl, mais dans la région côtière, le type NaCl des profondeurs remonte, et on peut penser que les eaux ont été formées par mélange des types HCO₃ et NaCl.

2-5-3 Tendances des changements de qualité d'eau des forages existants dans la région côtière

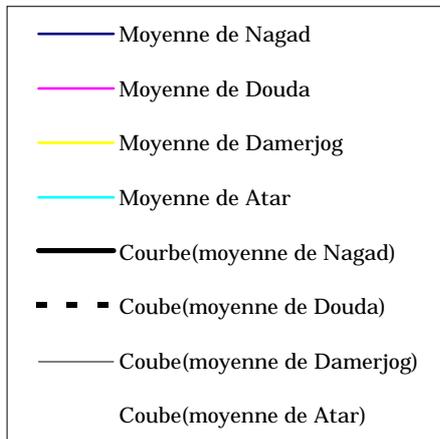
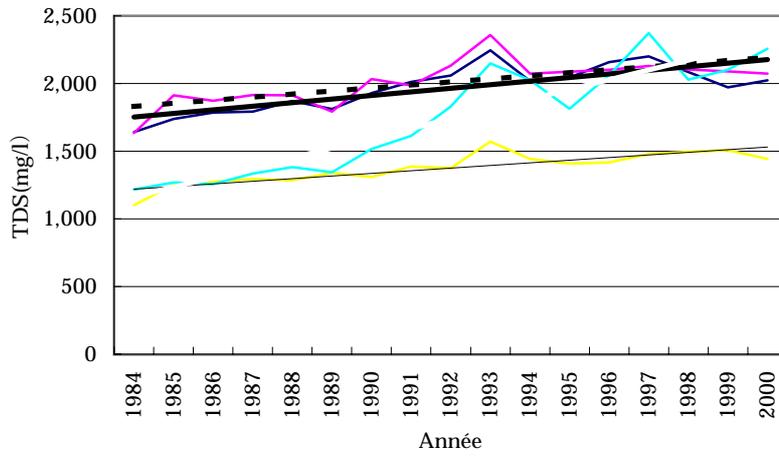
L'analyse de la qualité d'eau sur les échantillons des forages existants n'a pas montré la présence d'éléments ayant un effet nocif sur la santé indiqués dans les Grandes lignes de l'OMS, mais a confirmé que les rubriques affectant le goût comme les ions de chlore, les TDS et le sodium dépassaient largement les valeurs prônées dans ces Grandes lignes. Du point de vue des zones, les eaux souterraines de l'intérieur comme celles des régions de Gegada et PK20 sont au-dessous des valeurs prônées dans ces Grandes lignes, alors que celles dans la région côtière sont largement supérieures.

La répartition de la qualité de l'eau sur le plan hydrogéologique montre que les eaux souterraines de la nappe de Djibouti appartiennent au type NaCl, et l'on peut penser à une progression de la salinisation par influence de l'eau de mer aussi à partir de la composition de qualité d'eau des eaux souterraines de la région côtière. Les TDS des rubriques d'analyse de l'eau sont des matières solubles composées de sels inorganiques et d'un petit nombre de matière organique, qui permettent de vérifier non seulement le goût mais aussi les tendances de la progression de la salinisation. La Fig. 2.9 indique les tendances d'augmentation au fil du temps des TDS dans les forages existants de la région côtière à partir des résultats de l'analyse de l'eau effectuée cette fois-ci et des bases de données d'analyse de l'eau antérieures.

Dans chaque zone, une relation linéaire entre le passage du temps et la teneur totale en sels dissous a été confirmée; dans la région côtière de la zone de Nagad, dans la zone de Douda et dans celle d'Atar, ils augmentent au fil du temps. La tendance à l'augmentation est d'environ 15 mg/l/an dans la zone de Nagad, de 10 mg/l/an dans la zone de Douda, d'environ 9 mg/l/an dans la zone de Damerjog et d'environ 41 mg/l/an dans la zone d'Atar.

La valeur actuelle des TDS est d'environ 2000 mg/l dans les eaux souterraines des zones de Nagad, Douda et Atar, ce qui les rend impropres à la consommation en tant qu'eau potable. Cette tendance devrait se poursuivre dans l'avenir, et en 2010, les TDS devraient atteindre 2015 mg/l dans les zones de Nagad et Douda, et environ 2500 mg/l dans celle d'Atar. Le taux d'augmentation dans la zone de Damerjog est faible par rapport à celle des zones de Nagad, Douda et Atar, et la valeur actuelle d'environ 1500 mg/l devrait atteindre 1600 mg/l en 2010. L'augmentation des TDS signifiant que la salinisation de la couche de Djibouti va se poursuivre, l'utilisation des forages existants, considérée du point de vue de la conservation de la nappe de Djibouti, a donné les résultats indiqués dans le Tableau 2.20.

Figure 2.9 Tendances d'augmentation des TDS



Nagad: $y = 15,399x + 765,23$

Doua: $y = 10,023x + 823,8$

Damerjog: $y = 8,6325x + 491,55$

Atar: $y = 40,879x + 393,02$

Tableau 2.20 (1/2) Utilisation des forages existants à partir de l'état de salinisation

N° de forage	Teneur totale en sels dissous (mg/l)	TDS (mg/l)	Situation	Demande de l'ONED	Mesure prévue
RG1	1957	1999	TDS a tendance à augmenter graduellement depuis les années 1980, et est d'environ 2.000 mg/l actuellement, ce qui laisse à penser que la salinisation progresse. Bien que le volume de prise d'eau ait graduellement diminué (1995 : 18 m ³ /h -> 2000: 12 m ³ /h), la valeur de TDS a tendance à augmenter. Bien qu'un arrêt de la production ne laisse pas espérer un rétablissement brutal de la valeur de TDS, le forage devrait être fermé.		Fermeture
RG2	1835	1882	TDS augmente petit à petit depuis 20 ans, mais s'est stabilisé à environ 1.800 mg/l depuis 5 ans. La baisse de TDS a correspondu à une baisse du volume de pompage, et vu cette corrélation entre le volume de pompage et TDS, le volume de pompage devrait être abaissé à 35 m ³ /h (57 m ³ /h actuellement).	Renouvellement	Utilisation par ajustement du volume de pompage (35 m ³ /h)
RG3	1983	2033	TDS est resté à environ 1.800 mg/l jusqu'en 1995, mais a commencé à augmenter à partir de 1997. Le volume de prise a été d'environ 35 - 32 m ³ /h jusqu'en 1994, mais TDS augmentant, il faudrait diminuer le volume de pompage.		Utilisation par ajustement du volume de pompage
E 1	2909 (en 1999)	2951 (en 1999)	TDS a brutalement augmenté en 1993-1994 et augmente légèrement depuis 1998. Comme TDS dépasse 3.000 mg/l, ce forage devrait être fermé.		Fermeture
E 2	1605	1630	TDS a brutalement augmenté en 1993-1994, puis a légèrement baissé par la suite. Il a une corrélation avec le volume pompé. Le volume pompé pratiquement en continu est de 32 m ³ /h environ.		Continuation
E 3	2536	2579	TDS a brutalement augmenté de 1993 à 1994, puis graduellement par la suite. Comme TDS dépasse 2.500 mg/l, le rétablissement par ajustement du volume de pompage est jugé impossible.		Fermeture
E 5	1199	1252	TDS a légèrement baissé à partir de 1988, a augmenté en 1996-1997, puis à nouveau baissé en 1998; il est relativement stable depuis quelques années. Le volume pompé en 1999 et 2000 a baissé du volume planifié de 48 m ³ /h à moins de 10 m ³ /h, c'est sans doute pourquoi TDS est faible.	Renouvellement	Utilisation par ajustement du volume de pompage (25 m ³ /h)
E 6	1728	1764	TDS a tendance à diminuer depuis 1994, et est relativement stable à 1.750 mg/l depuis quelques années. Le volume pompé qui était de 30 m ³ /h en 1993 a récemment baissé à 20 m ³ /h..		Utilisation par ajustement du volume de pompage (20 m ³ /h)
E 7	1383	1420	TDS a baissé à partir de 1994, puis a recommencé à augmenter légèrement en 1999. Le volume pompé est stable, de 37 à 40 m ³ /h environ.	Renouvellement	Ajustement du volume pompé (25 m ³ /h)
E 8	1009 (en 1995)	1042 (en 1995)	A été abandonné à la fin de 1995, mais l'ONED l'a lui-même réhabilité. Il n'y a pas de pompe immergée. Les données antérieures indiquent TDS de 1.000 mg/l, et l'utilisation est possible.		Utilisation
E 9b	1316	1349	Stable, sans variation de TDS depuis 1994. Le volume pompé est stable, de 38 m ³ /h environ.		Continuation
E 11	1809	1842	TDS a tendance à légèrement augmenter depuis 1994. Le volume pompé est de 46 m ³ /h, et le rétablissement par ajustement du volume de pompage est jugé impossible.	Renouvellement	Utilisation
E 12	2026	2067	TDS augmente depuis 1999. Mais que le volume de pompage de 23 m ³ /h soit faible, TDS dépassent 2.000 mg/l, et le rétablissement par ajustement du volume de pompage est jugé impossible.		Fermeture
E 13	1725	1760	TDS est élevé, d'environ 1.800 mg/l, ces dernières années, mais relativement stables. Avec un volume de pompage de 80 m ³ /h, la tendance est au pompage excessif, ce qui laisse espérer un rétablissement par ajustement du volume de pompage.		Utilisation par ajustement du volume de pompage
E 15	1848 (en 1998)	1890 (en 1998)	Abandonné en 1998, mais avait un volume pompé de 80 m ³ /h. Attention à TDS de 1.900 mg/l.	Renouvellement	Fermeture (arrêt)
E 16	2153 (en 1996)	2183 (en 1996)	Abandonné en 1997. Attention à TDS supérieure à 2.200 mg/l.	Renouvellement	Fermeture (arrêt)
E 17	1887	1888	Le volume pompé est faible, de 25 m ³ /h, TDS est fort en continu depuis 1994, 1.900 mg/l. La tendance à venir doit être observé.		Réserve
E 18	2229	2269	TDS était stable jusqu'en 1995, mais a commencé à augmenter à partir de 1998, et atteignent aujourd'hui environ 2.300 mg/l. Le volume de pompage actuel est de 86 m ³ /h, comme il était de 60 m ³ /h en 1996, les possibilités de rétablissement des TDS sont jugées faibles.		Fermeture

Tableau 2.20 (2/2) Utilisation des forages existants à partir de l'état de salinisation

N° de forage	Teneur totale en sels dissous (mg/l)	TDS (mg/l)	Situation	Demande de l'ONED	Mesure prévue
E 19	2041	2061	TDS a tendance à augmenter légèrement depuis 1994, et dépasse 2.000 mg/l, mais comme le volume de pompage de 87 m ³ /h est excessif, le rétablissement de TDS est jugé possible par ajustement du volume de pompage.		Utilisation par ajustement du volume de pompage
E 21	1594	1637	Le volume de pompage diminue depuis 1996, (65 m ³ /h -> 37 m ³ /h), mais TDS augmente légèrement, la tendance à venir doit être observée.		Réserve
E 22	1512 (en 1999)	1543 (en 1999)	TDS était relativement stable depuis 1994, mais augmente légèrement depuis 1999. Depuis 2000, le volume de pompage est de 70 m ³ /h, mais un ajustement du pompage à 40 m ³ /h est jugé nécessaire.		Utilisation par ajustement du volume de pompage
E 24	2573	2592	Les variations à la hausse/baisse sont importantes tous les ans, et la tendance générale est à la hausse. Le volume pompé est de 38 m ³ /h environ, TDS dépasse 2.600 mg/l; ce forage devrait être fermé.		Fermeture
E 25	2218	2243	En 1994, le volume pompé était de 60 m ³ /h environ, et TDS était inférieure à 1.800 mg/l. Le volume pompé est descendu à 50 m ³ /h depuis 1998, mais TDS a tendance à dépasser 2.000 mg/l; le rétablissement est jugé impossible.		Fermeture
E 26	2108	2128	Le volume pompé est stable à environ 85 m ³ /h, mais TDS a tendance à augmenter depuis 1990. Actuellement, TDS est proche de 2.200 mg/l, et le forage devrait être fermé, mais comme les habitants du voisinage utilisent directement ce forage, il faudrait continuer à l'utiliser en abaissant le volume de pompage à 40 m ³ /h.		Utilisation par ajustement du volume de pompage
E 27	2043	2065	Tendance à l'augmentation depuis 1990. Le volume pompé est passé de 130 à 160 m ³ /h, ce qui est très élevé. TDS est près de 2.000 mg/l, le forage devrait être fermé.		Fermeture
E 29b	1251	1276	TDS a tendance à augmenter légèrement depuis 2000.		
E 30	1157	1186	TDS a tendance à augmenter légèrement depuis 2000.		
E 31	1377	1419	TDS était stable depuis 1994, mais a tendance à augmenter depuis 1998. Le volume pompé de 42 m ³ /h en 1993 est passé à 62 m ³ /h en 1998. Le volume pompé devrait être diminué.		Utilisation par ajustement du volume de pompage
E 33	1756 (en 1999)	1788 (en 1999)	Le volume pompé, de 55 m ³ /h en 1994, a baissé à 45 m ³ /h actuellement. Mais la teneur totale en sels dissous a tendance à augmenter depuis 1994.		
E 35	863	900	Pas de problème particulier.		
E 36	713 (en 1999)	728 (en 1999)	Pas de problème particulier.		
PK20-1	733	781	Pas de problème particulier.		
PK20-2	751 (en 1999)	781 (en 1999)	Accident à la fin 1999, fermé.	Renouvellement	
PK20-3	895	946	Pas de problème particulier.		
PK20-4	908	977	Pas de problème particulier.		

2-6 Etude des eaux souterraines de la zone objet de l'étude

Dans la zone d'étude, les roches dures très fracturées et les couches de scories coincées dans les granites constituent des couches aquifères, et les forages existants puisent dans ces couches. La reconnaissance sur le terrain, l'interprétation des photos aériennes, la prospection géophysique ont été réalisées pour vérifier les types et la nature des couches aquifères sur les sites de forage de la requête djiboutienne. La prospection géophysique a aussi été réalisée pour vérifier l'état de salinisation dans la région côtière. Voici ci-dessous les résultats de l'étude.

2-6-1 Recherche des zones de fractures sur la base des photos aériennes

Le déchiffrement des images de satellite et des photos aériennes montre que beaucoup des grandes failles dans la zone des couches aquifères de Djibouti correspondent des oueds de grande envergure s'étendant en ligne droite. Les petites failles, innombrables dans la zone des couches aquifères de Djibouti, ont été jugées correspondre à de petits oueds ou des linéaments faibles.

Parmi les sites de forage de cette étude, aucun grand oued ni faille n'ont été découverts aux environs du site de forages dans la zone de Godchabel, mais des petits oueds et d'innombrables linéaments ont été observés. Par contre, l'oued de Deydey existe aux environs des sites de forage dans la zone de Gegada; cet oued est partiellement en ligne droite, et cette partie est estimée être l'origine de la faille, et est avantageuse pour la recharge des eaux souterraines de la nappe aquifère.

Les résultats du déchiffrement des photos aériennes des zones de Godchabel et de Gegada prévues pour la construction de nouveaux forages sont résumés ci-dessous.

Tableau 2.21 Résultats du déchiffrement des photos aériennes des zones de Godchabel et de Gegada

Zone	Site de forage	Résultats du déchiffrement des photos aériennes
Zone de Godchabel	F-3	Un oued estimé être l'origine de la faille aux environs du site de forage et 3 linéaments faibles aux environs du site ont été observés.
	F-4	Le croisement de deux linéaments a été reconnu sur le site de forage.
	F-5	L'oued qui s'écoule à côté du site de forage est estimé être l'origine de la faille, et deux linéaments faibles se croisent sur le site des forages.
Zone de Gegada	Z-2	Il n'y a pas de linéament traversant le site de forage lui-même, mais l'oued de Deydey au nord du site est considéré être l'origine de la faille.
	Z-3	Un linéament faible traversant le site de forage a été observé, qui croise un petit oued.
	Z-25	L'oued de Deydey qui s'écoule au nord du site de forage est considéré être l'origine de la faille, et le linéament qui croise l'oued atteint le site de forage. Il y a aussi un linéament qui coupe cela en diagonale.

2-6-2 Prospection géophysique

La prospection géophysique a été effectuée pour confirmer la géologie des nouveaux points de forage et la pénétration de l'eau salée dans la partie côtière. La prospection géophysique a compris la prospection électrique selon la méthode de Schlumberger et la prospection

électromagnétique par VLF-EM. La Fig. 2.10 indique les emplacements de la prospection géophysique.

La prospection électrique a eu pour objectif la saisie de la géologie des nouveaux points de forage, des emplacements de remplacement des forages et la pénétration de l'eau salée dans la partie côtière, alors que l'étude VLF a porté sur la prospection de la zone de failles dans les granites des emplacements des nouveaux forages.

(1) Prospection électrique (méthode de Schlumberger)

1) Nombre de prospections

Le Tableau 2.22 indique le nombre de prospections électriques effectuées selon la méthode de Schlumberger, en définissant la longueur en fonction de la profondeur des forages du projet.

Tableau 2.22 Nombre de prospections électriques réalisées

Division	Zone	Objets de la prospection	AB/2 maximum	Nombre de mesures
Nouveaux forages	Zone PK20	F3bis	900m	3
		F9bis	900m	1
		F10bis	900m	1
	Zone de Gegada	Z2	900m	3
		Z3	900m	3
		Z25	900m	3
	Zone de Godchabel	F3	900m	4
		F4	900m	4
		F5	900m	4
Forages existants	Zone de Nagad	RG-2	300m	2
		E5	300m	2
		E7	300m	1
		E11	300m	1
		E15	300m	(1) Note
		E16	300m	(1) Note
Saisie de la pénétration d'eau salée dans la partie côtière	Zone côtière au Sud-Est de la ville de Djibouti	Câble de mesure A	300 m chacun	6
		Câble de mesure B	300 m chacun	7
		Câble de mesure C	300 m chacun	8

Note: La valeur () indique l'exécution dans le cadre de la saisie de la pénétration d'eau salée dans la partie côtière.
AB: Ouverture des électrodes

2) Résultats de la prospection électrique

Les couches aquifères de Djibouti sont en basaltes, qui se subdivisent en plusieurs couches du point de vue hydrogéologique. Les critères de subdivision sont le nombre de fractures dans la roche, son degré d'altération climatique, et l'existence d'une couche de scories coincée dans les basaltes et de dépôts alluviaux anciens. L'étude des forages et l'expérience des forages réalisés jusqu'ici montre que les basaltes très fissurés et les couches de scories coincées dans les basaltes sont des couches aquifères convenables. La prospection électrique permet difficilement le classement précis de chaque couche, mais les couches à résistivité classée approximativement laissent espérer la découverte d'une couche aquifère.

Par ailleurs, d'après les exemples antérieurs (surtout les résultats des forages existants dans la zone côtière), les hydrogéologues djiboutiens proposent 20 à 100 m comme indice de résistivité des couches aquifères. Cela s'interprète comme une couche contenant de l'eau salée ou de basaltes argilisés pour une résistivité inférieure à 20 m et une couche de basaltes à faible réserve d'eau pour une résistivité supérieure à 100 m.

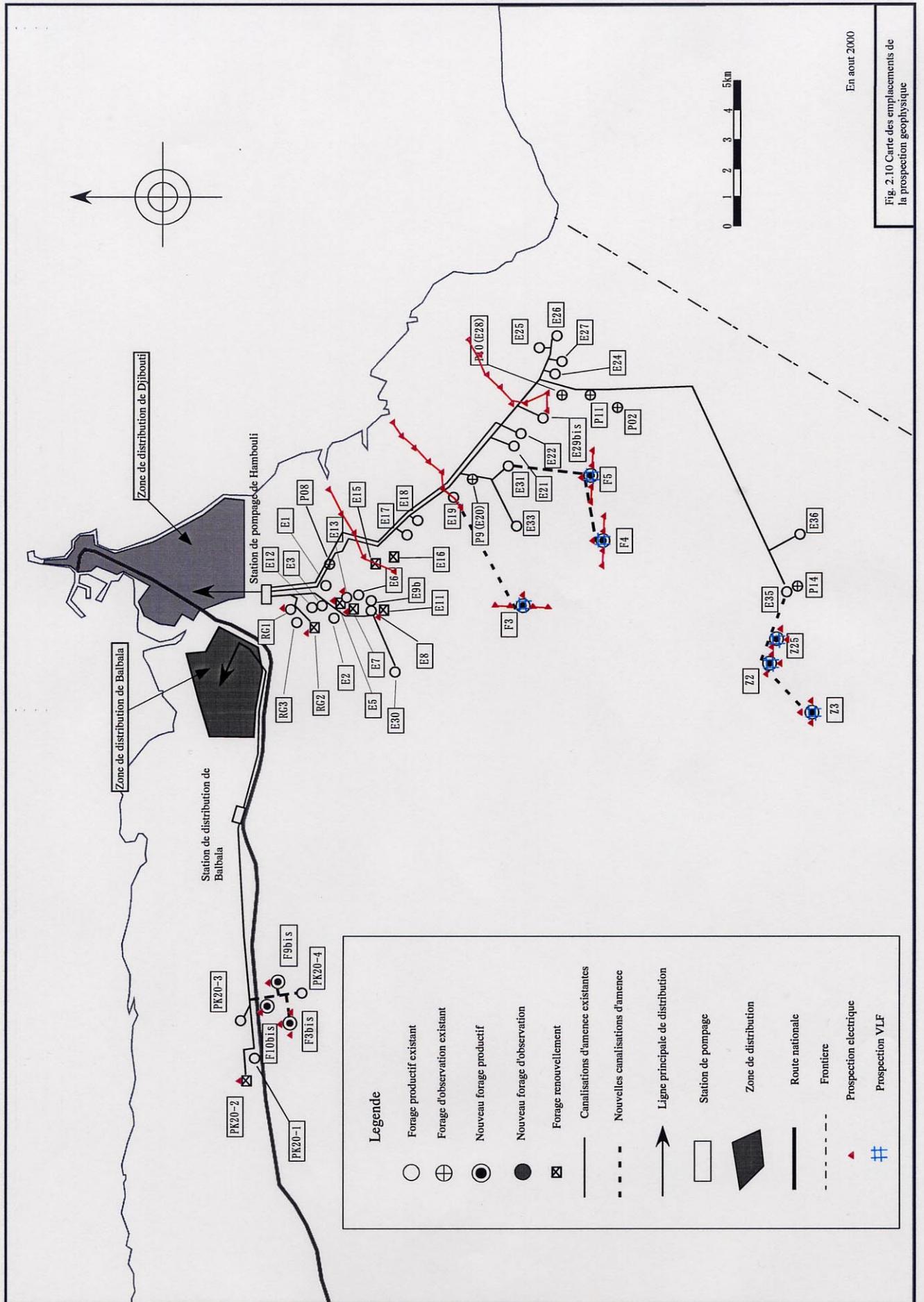
Comme le montre le Tableau 2.23, des valeurs de résistivité indiquant la présence d'une couche aquifère ont été vérifiées aux emplacements des nouveaux forages lors de la prospection électrique effectuée cette fois-ci. Comme le montre le Tableau 2.24, des valeurs de résistivité indiquant la présence d'une couche aquifère ont été vérifiées aux emplacements des forages à réhabiliter. La Fig. 2.11 donne les détails des emplacements représentatifs de la prospection géophysique et la section de résistivité des résultats de l'analyse.

Tableau 2.23 Résistivité obtenue par analyse de la surface inférieure de la nappe aquifère sur les sites des nouveaux forages

Zone	Forage	Nature de la couche aquifère confirmée lors du forage	Résistivité de la surface inférieure des eaux souterraines (nappe aquifère)
Godchabel	F3	-	110 -200 m
	F4	-	25 -35 m
	F5	-	60 -150 m
Gegada	Z2	-	40 -100 m
	Z3	-	70 -180 m
	Z25	-	50 -85 m
PK20	F3bis	Basaltes très fissurés	3-300 m
	F9bis	Basaltes très fissurés	20-150 m
	F10bis	Inconnu (couche estimée broyée)	3 m

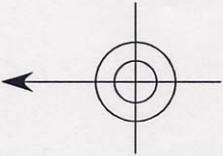
Tableau 2.24 Résultats des prospections électriques sur les nouveaux forages

Zone	Forage	Nature de la couche aquifère confirmée lors du forage	Résultats des prospections électriques
Nagad	RG-2	Inconnu	Résistivité de la couche: 16 m ₁ couches à faible résistivité à -80 m
	E-5	Inconnu	Résistivité de la couche: 25-200 m ₁ couches à faible résistivité à -70 m
	E-7	Basaltes très fissurés	Résistivité de la couche: 25 m ₁ couches à faible résistivité à -110 m
	E-11	Basaltes fissurés mêlés de roches volcaniques	Résistivité de la couche: 35-150 m ₁ couches à faible résistivité à -135 m
Douda	E-15	Basaltes à scories incluses	Résistivité de la couche: 73 m ₁ couches à faible résistivité à -100 m
	E-16	Basaltes très fissurés - basaltes mêlés d'argile	Résistivité de la couche: 30 m ₁ couches à faible résistivité à -90 m
PK20	FU-2	Couche de scories, basaltes très fissurés	Résistivité de la couche: 2-100 m ₁ couches à faible résistivité à -210 m



Legende

- Forage productif existant
- ⊕ Forage d'observation existant
- Nouveau forage productif
- Nouveau forage d'observation
- ⊗ Forage renouvellement
- Canalisations d'amenee existantes
- - - Nouvelles canalisations d'amenee
- ➔ Ligne principale de distribution
- ▭ Station de pompage
- ▭ Zone de distribution
- Route nationale
- - - Frontiere
- ▲ Prospection electrique
- # Prospection VLF

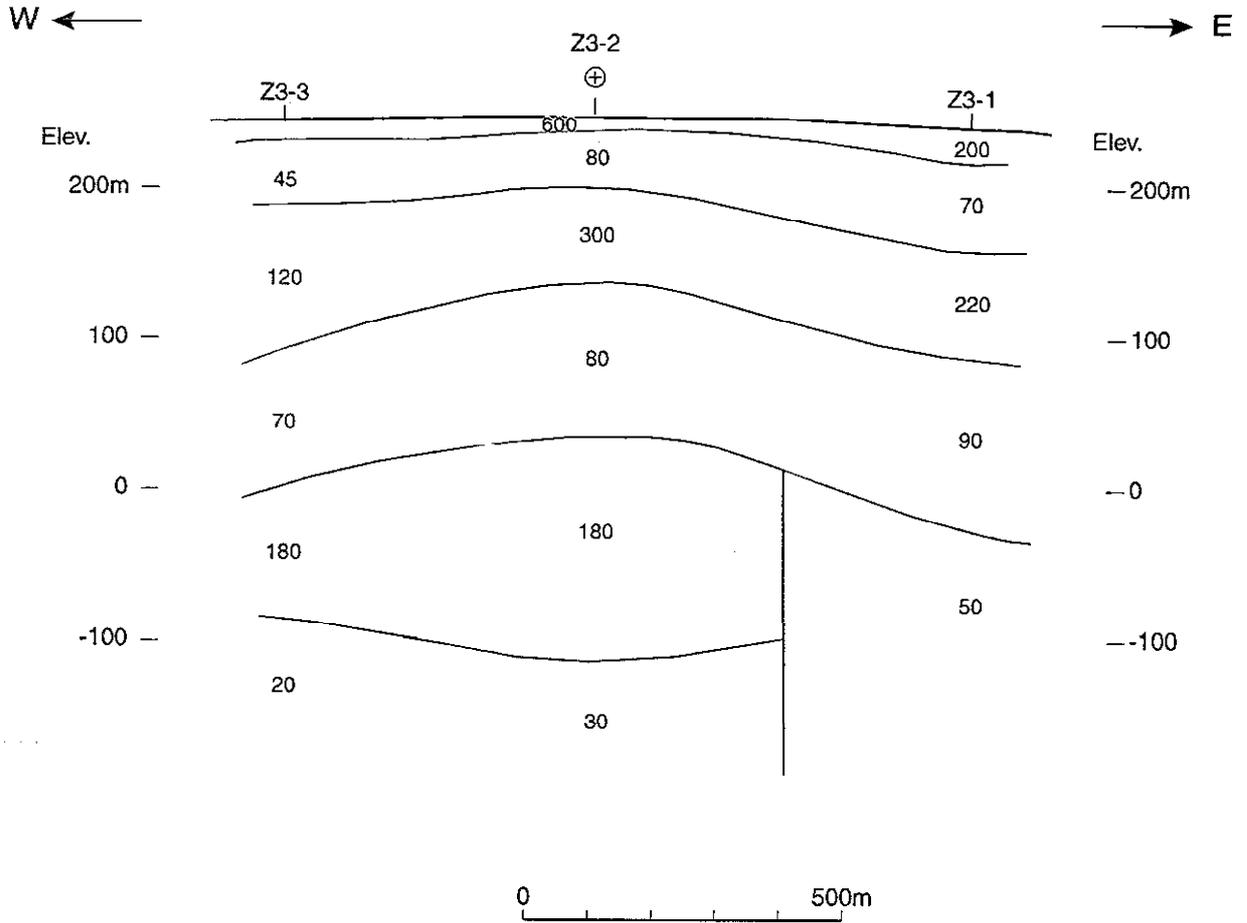


En aout 2000

Fig. 2.10 Carte des emplacements de la prospection geophysique

Gegada

Z3



Legend

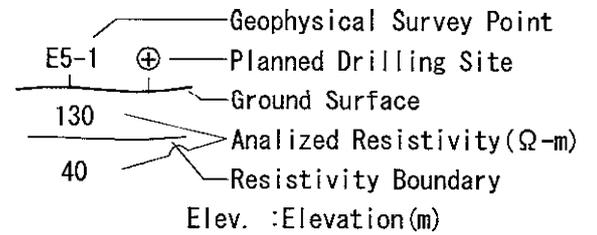


Figure 2.11 Resultats d'analyse de la prospection elelctrique (cas de Gegada).

(2) Prospection électromagnétique (méthode VLF-EM)

1) Nombre de prospections

Un champ magnétique secondaire induit par l'onde VLF est observable sur le sol en faisant passer une onde VLF aux environs de la surface. Comme les éléments à faible résistivité en forme de plaque proches de la verticale existant à proximité de la surface (moins de 50 m de profondeur) produisent un grand champ magnétique secondaire avec le passage de l'onde VLF, la méthode VLF-EM est une méthode de détection des emplacements des failles.

Mais cette méthode ne permettant pas la mesure de la résistivité du sol, pour l'exécution de la méthode VLF-EM, un total de 6 lignes de mesure de 500 m chacune, 3 en direction Nord-Sud et 3 en direction Est-Ouest, ont été disposées en grille centrée sur l'emplacement prévu pour le forage sur chaque site, et la mesure a été faite à 20 m d'intervalle sur chaque ligne. L'emplacement de crête du champ électromagnétique mesuré sur chaque ligne laisse estimer l'emplacement d'une fissure (faille), et l'emplacement et la direction de la fissure ont été estimées pour chaque site.

Le Tableau 2.25 indique le nombre des prospections.

Tableau 2.25 Nombre de prospections VLF réalisées

Division	Zone	Forages objets de la prospection	Nombre de câbles de mesure x longueur de mesure	Nombre de mesures
Nouveaux forages	Zone de Gegada	Z2	6 x 500m	150
		Z3	6 x 500m	150
		Z25	6 x 500m	150
	Zone de Godchabel	F3	6 x 500m	150
		F4	6 x 500m	150
		F5	6 x 500m	150

2) Résultats de la prospection électromagnétique

Dans chaque zone concernée, le champ électromagnétique indique par l'onde VLF n'est pas puissant, et les signes d'emplacements de failles ne sont pas clairs, mais plusieurs failles ont pu être détectées. Les failles détectées en prospection VLF sont des zones fracturées relativement proches de la surface du sol (plus proches du sol que GL-50 m), et plusieurs d'entre elles ont pu être confirmées sur les photos aériennes.

Par ailleurs, les failles cachées sous le sol détectées par prospection ne sont pas identifiables sur les photos aériennes. La prospection VLF a montré que plusieurs linéaments passent aux environs des emplacements prévus pour les forages requis par la partie djiboutienne, ce qui laisse espérer la présence d'une zone fracturée à proximité des emplacements du projet, et permet de juger prometteurs les emplacements prévus pour les forages de la requête. Ces emplacements ont été proposés sur la base des résultats de prospections électriques et d'études des zones de failles effectuées antérieurement, et cette prospection VLF atteint pratiquement les mêmes résultats. La Fig. 2.12 donne un exemple représentatif d'emplacement de champ magnétique anormal détecté sur les câbles de mesure disposés en grille. Les résultats pour chaque site figurent en fin de volume.

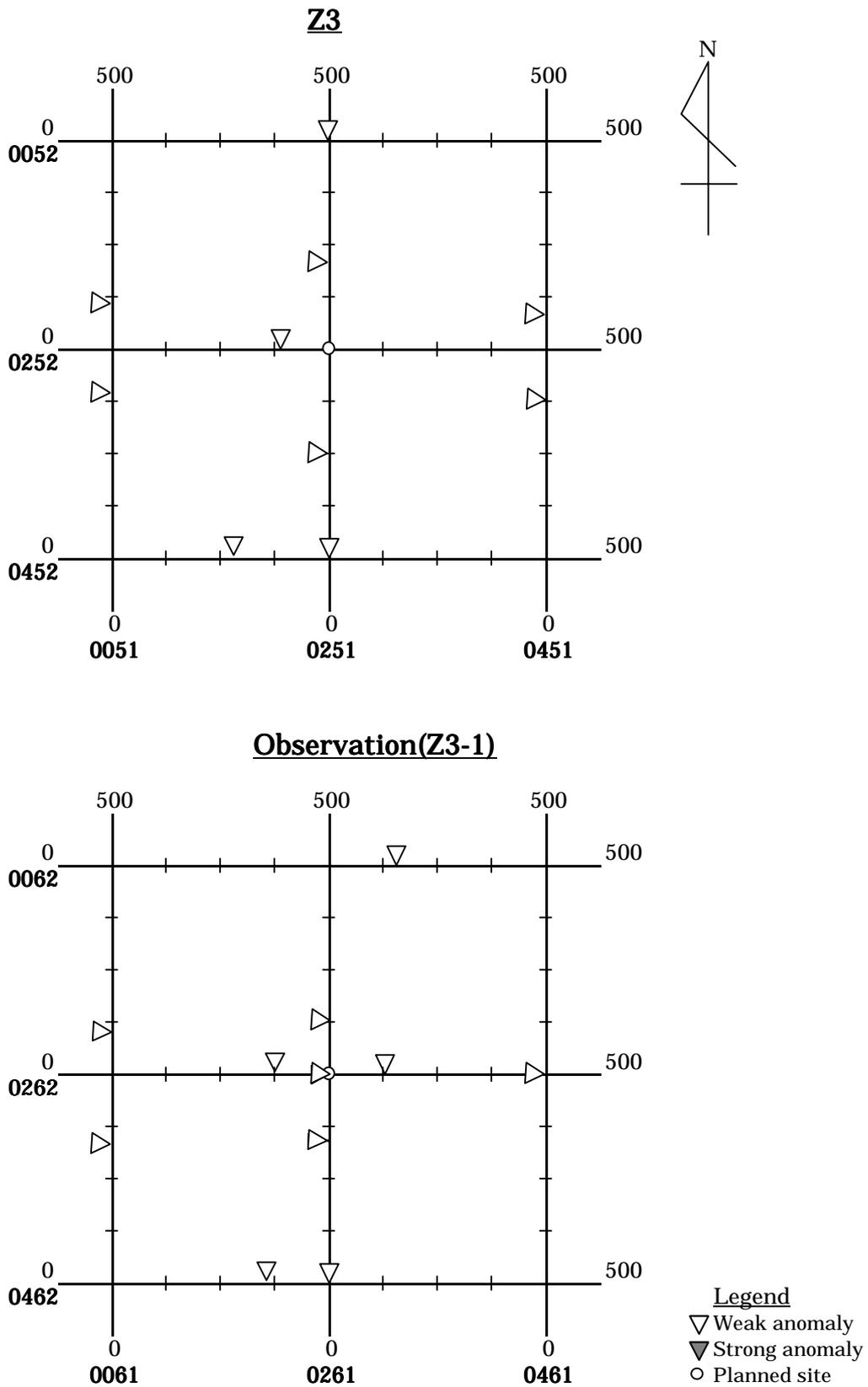


Figure 2.12 Résultat d'analyse de la prospection VLF(cas exemplaire)

2-6-3 Bassin de la nappe de Djibouti et écoulement des eaux souterraines

Les couches aquifères de Djibouti se trouvent dans la moitié Est du bassin des 4 oueds indiqués ci-dessous, et sont principalement composées de basaltes du Golfe (voir la Fig. 2.13 Carte des bassins de la zone d'étude).

(1) Bassin de l'oued d'Ambouli	589 km ²
(2) Bassin de l'oued de Douda	65 km ²
(3) Bassin de l'oued de Damerjog	60 km ²
(4) Bassin de l'oued de Deydey	320 km ²

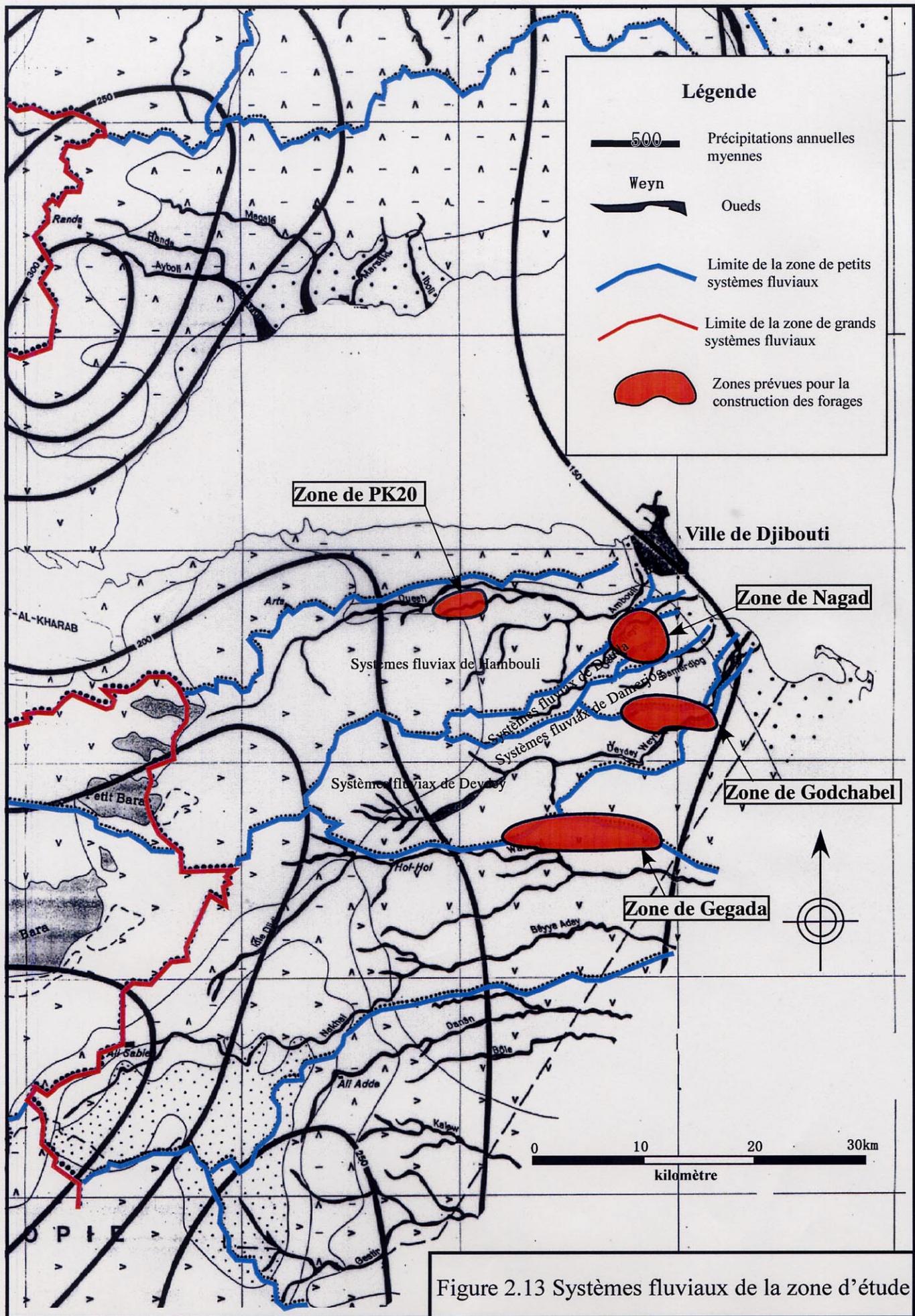
Les 4 bassins précités s'étendent grosso modo sur 50 km d'Est en Ouest et 23 km du Nord au Sud, et tous couvrent uniquement la République de Djibouti. La partie en aval du bassin de l'oued Wahayyi, qui se trouve au Sud du bassin de l'oued Deydey, le plus au Sud des 4 précités, s'étend jusqu'à la Somalie voisine. Si l'on considère les larges systèmes d'écoulement des eaux souterraines dans les couches aquifères de Djibouti sur la base de la Fig. 2.14, on peut supposer que les eaux souterraines des bassins des oueds (1) à (4) s'écoulent seulement en République de Djibouti, et que la plupart des eaux souterraines du bassin de l'oued Wahayyi et les bassins plus au sud s'écoulent en direction de la Somalie.

2-6-4 Exploitation actuelle des eaux souterraines de la nappe de Djibouti

L'exploitation des eaux souterraines de la nappe aquifères de Djibouti a commencé dans la zone de Nagad se trouvant à environ 7 km au Sud de la ville de Djibouti au début des années 1960, puis s'est étendue aux zones de Douda, Damerjog, Atar situées plus au sud.

Ces groupes de forages sont construits pratiquement parallèlement à la côte, à environ 5 km de celle-ci, sur des couches dans des basaltes à très forte infiltration, qui se trouvent à des emplacements où la recharge des eaux souterraines se fait facilement à partir des sédiments des vastes plaines d'inondation formées par les principaux oueds. Le volume d'eau total pompé est d'environ 11,1 millions de m³/an au début des années 1990. A partir de 1980, la salinisation de ces forages a commencé à se révéler, et le pompage excessif a été invoqué.

Par la suite, les forages des zones PK20 et Gegada plus à l'intérieur des terres ont été achevés, et l'approvisionnement en eau a commencé à partir de 1998. En 1999, un total de 15,43 millions de m³/an est puisé des forages sur la nappe de Djibouti.



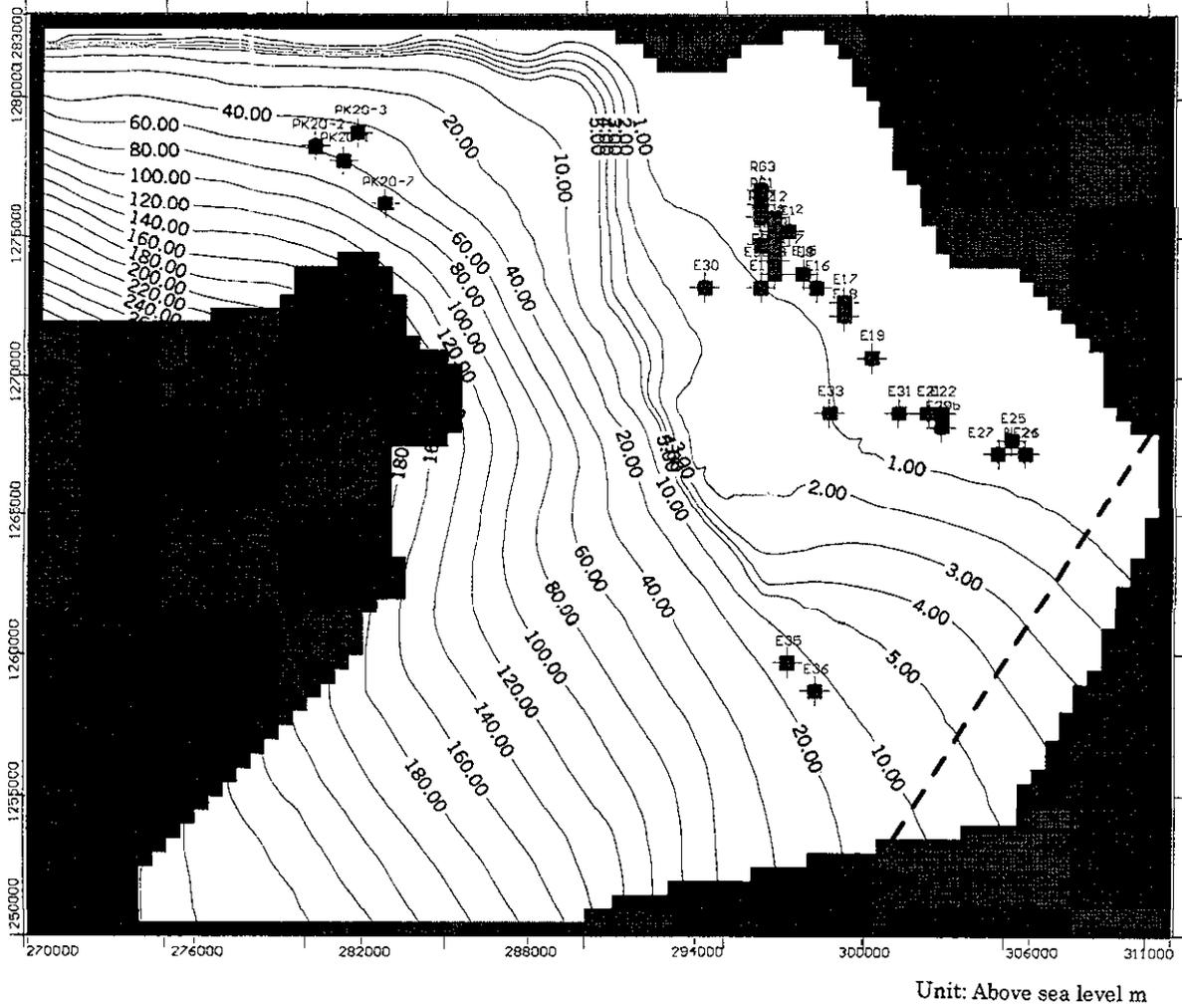


Figure 2.14 Repartition des eaux souterraines actuelles des nappes souterraines de Djibouti

2-6-5 Mécanisme de recharge de la nappe de Djibouti et volume de recharge

Il est établi que la recharge de la nappe de Djibouti se fait par le biais des lits des oueds de grande envergure. La diminution du débit de l'oued d'Ambouli en aval a été mesurée en 1980 au cours de la Coopération Hydrogéologique Allemande (CHA), et le volume de recharge de la nappe de Djibouti a pour la première fois été estimé sur la base des résultats de ces relevés. Les précipitations qui s'infiltrent dans les sédiments des lits des 4 grands oueds de Djibouti (Hambouli, Douda, Damerdjog et Deydey) passent par des failles réparties des deux côtés des oueds, s'infiltrent dans les parties fracturées des basaltes et dans les couches de scories, et s'écoulent dans les couches aquifères de Djibouti. La Fig. 2.15 résume la recharge des eaux souterraines à partir des oueds.

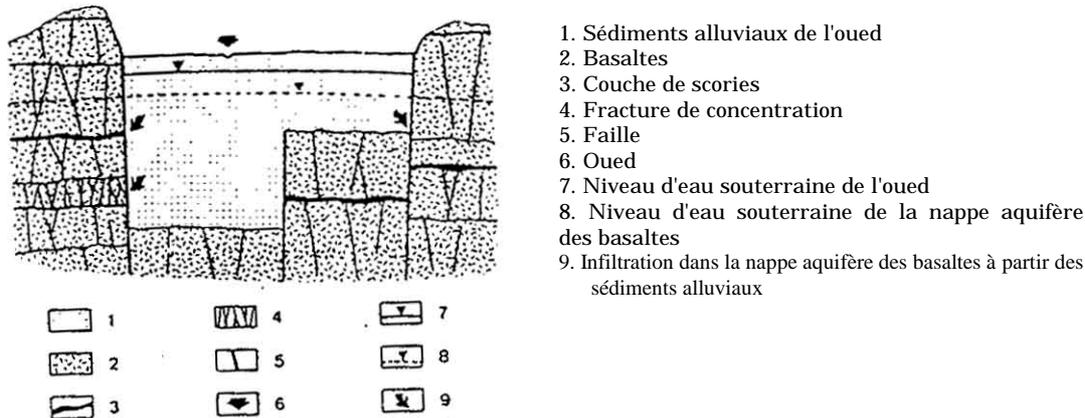


Fig. 2.15 Modèle de recharge à partir d'un oued (ISERST, 1994)

En 1982, le volume de recharge des eaux souterraines de la nappe de Djibouti a pour la première fois calculé au cours de la CHA à 10 - 20 millions m³/an. Par la suite, le volume de recharge des eaux souterraines a été estimé comme suit par divers chercheurs et groupes de chercheurs.

Tableau 2.26 Estimation du volume de recharge de la nappe de Djibouti

Chercheur	Année	Volume de recharge	Méthode d'étude et analyse
CHA	1982	10 - 20 millions m ³ /an	Analyse des résultats des relevés de débit de rivières
Service hydrogéologique de l'ONED	1984	10 - 14 millions m ³ /an	Analyse hydrologique
Coopération hydrologique Djibouti-Allemagne (CHDA)	1987	15 millions m ³ /an	Analyse numérique
ISERST	1994	15 millions m ³ /an	Analyse numérique

Actuellement, d'un accord commun à l'étape actuelle, les chercheurs hydrogéologues djiboutiens estiment tous le volume de recharge des eaux souterraines à 15 millions m³/an sur la base de ces résultats d'étude. Avec la coopération technique française, l'ISERST poursuit des recherches pour l'estimation très précise de la recharge, mais il en est encore à l'étape de base. Par conséquent, le mieux actuellement sera d'utiliser les 15 millions de m³/an du volume de recharge des eaux souterraines par les oueds, qui est le seul élément permettant de définir le volume d'eau exploitable actuellement disponible.

2-6-6 Etat de salinisation de la nappe de Djibouti

La salinisation des forages existants est apparue à partir des années 1980, et l'origine de l'eau salée dans la nappe de Djibouti est considérée de 2 types: eau de mer et eau fossile. Il est nécessaire d'étudier la salinisation des couches aquifères de Djibouti en séparant zone

côtière (à environ 10 - 15 km à partir de la côte) et côte interne (à plus de 10 - 15 km de la côte). La situation actuelle est indiquée ci-après.

Le groupe de forages existant alimentant en eau la ville de Djibouti est principalement situé parallèlement au bord de la Mer Rouge au Sud de la ville de Djibouti (groupes de forages des zones de Nagad, Douda, Damerjog et Atar). La salinisation de ces forages, situés à environ 5 km de la Mer Rouge, est considérée due à la pénétration d'eau de mer. La synthèse des éléments: distance entre les groupes de forages et la côte, état de répartition de la nappe, confirmation de la limite eau salée - eau douce au forage d'observation (P8) (étude ONED 1988), résultats de la prospection électrique et qualité de l'eau des groupes de forages, la salinisation peut être estimée due à la pénétration d'eau de mer.

La prospection électrique effectuée cette fois-ci a confirmé la présence d'une couche à faible résistivité estimée être la couche de pénétration d'eau de mer à environ -50 à -80 m au-dessous du niveau de la mer aux groupes de forages existants des zones de Nagad, Damerdjog et Atar. Par ailleurs, si l'on considère l'équilibre dynamique de l'eau salée et de l'eau douce, la limite eau salée/eau douce peut être estimée un peu moins profonde que celle de la prospection électrique, à -40 m - -50 m au-dessous du niveau de la mer.

Dans la zone PK20, la présence d'une couche à faible résistivité a été révélée à environ +25 m du niveau de la mer par la prospection électrique de la coopération technique française, et la prospection électrique réalisée cette fois-ci a confirmé l'existence d'un intervalle à faible résistivité vers +10 m - +60 m au-dessus du niveau de la mer. Mais le niveau d'eau souterraine des forages existants dans la zone PK20 étant de +50 m - +60 m au-dessus du niveau de la mer, en considérant la position de la limite eau salée - eau douce prévue par l'équilibre dynamique de l'eau salée et de l'eau douce, la limite eau salée - eau douce doit être beaucoup profonde que ne l'indique la prospection électrique, c'est pourquoi la couche à faible résistivité précitée peut difficilement être jugée due à la pénétration d'eau de mer.

Les prospections électriques réalisées par la France dans les années 1960 - 1980 ont révélé l'existence de couches à faible résistivité de moins de 20 m environ dans la plupart des couches aquifères de Djibouti de l'intérieur des terres, ce qui laisse prévoir la présence d'eaux souterraines à forte teneur en sel.

Par ailleurs, des eaux souterraines à teneur en sel élevée de 23.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ont été confirmées dans le forage d'observation de Hidka Gisiyed à 14 km de la côte, mais dans aucune autre zone. Par conséquent, cette couche à faible résistivité indique la présence d'eaux salées à faible densité de sel originaires de la couche (eaux fossiles) ou bien d'une couche d'argile.

2-6-7 Etendue des zones salinisées

Compte tenu de la répartition des niveaux d'eau souterraine de la nappe de Djibouti, avec les nouveaux forages prévus, la pénétration d'eau de mer jusqu'aux zones de Nagad-Atar et Godchabel est jugée possible, mais les possibilités de pénétration d'eau de mer sont jugées faibles pour les zones PK20 et Gegada. Cela est dû aux particularités de modèle de répartition des niveaux d'eaux souterraines dans la nappe aquifère de Djibouti.

En considérant la répartition des niveaux d'eaux souterraines dans la nappe de Djibouti, comme indiqué à la Fig. 2.16, on s'aperçoit que la pente de la surface d'eau est très douce jusqu'à 10 - 15 km de la côte, mais augmente brutalement à partir de ce point en direction de l'intérieur des terres. Une variation brutale de la profondeur de la limite eau douce - eau salée est prévisible à partir de ce point de changement (partie 2 - 10 m du niveau de la mer des eaux souterraines) de la pente de la surface des eaux souterraines orientées Nord-Sud.

Autrement dit, la limite eau douce - eau salée de la mer jusqu'à ce point de changement de la pente de la surface des eaux souterraines est moins profonde que -100 m au-dessous du niveau de la mer, et devient brutalement plus profonde en allant vers l'intérieur des terres à partir de ce point.

Les raisons pour lesquelles la pente de la surface des eaux souterraines change sont que la perméabilité de la couche aquifère des deux côtés de ce point de changement de pente est très différente (forte vers la côte, faible vers l'intérieur), et qu'une chaîne de roches intrusives difficilement perméables s'étend en direction Nord-Sud le long de la ligne de changement de pente, et relève la surface des eaux souterraines vers l'intérieur (ISERST, Dr. Jalludin, 1994).

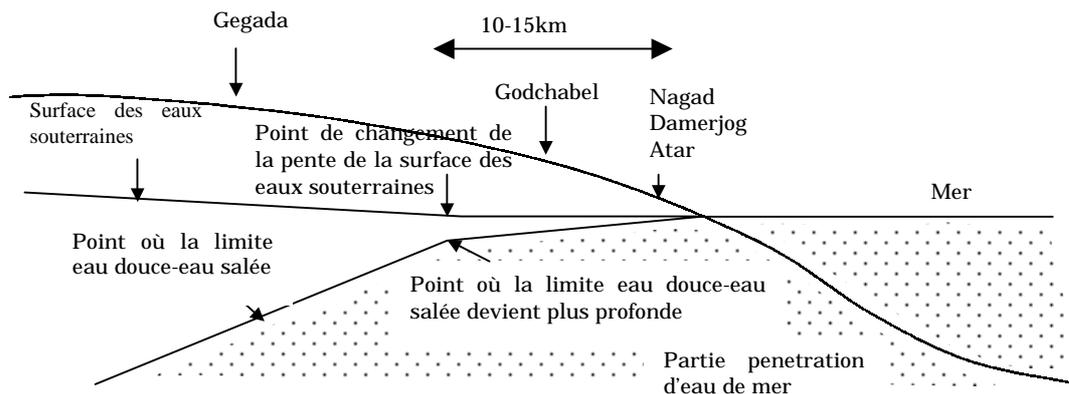


Fig. 2.16 Modélisation de la zone de pénétration d'eau salée

Actuellement, bien que le volume de captage soit contenu dans les limites de 15 millions m³/an, le volume de recharge de la nappe de Djibouti, la salinisation progresse. Beaucoup de forages existants sont construits dans les zones de Nagad, Damerjog et Atar, où ils sont regroupés. Comme le niveau d'eau statique des eaux souterraines est légèrement supérieur au niveau de la mer, le niveau d'eau dynamique est inférieur à celui de la mer. Dans cette situation, les forages existants regroupés captent environ 75% de la recharge, ce qui explique la remontée de la limite eau douce-eau salée et le progrès de la salinisation.

2-7 Prise en compte de l'environnement

Les zones prévues pour la construction de nouveaux forages et celles où des forages doivent être remplacés étant généralement situées dans la campagne, au-delà de la banlieue de la ville de Djibouti, il n'y a pas de souci de destruction de l'environnement, d'affaissement de terrain ou de transfert de population. Sur les sites prévus pour la construction, un village a été confirmé sur le site du forage E11 existant, pour lequel le traitement de la terre excavée et des matières huileuses devra être considéré lors des travaux de construction.

Par ailleurs, la salinisation des forages construits dans la zone côtière étant vérifiée, en cas d'exécution du présent projet, la qualité de l'eau et la gestion de l'eau devront être assurées par le biais du suivi des forages productifs et des forages d'observation.