

Projet Cartographie, évaluation et
gestion des ressources en eau trans-
frontalières dans la sous-région IGAD



Tome IV

COMPOSANTE BASE DE DONNÉES



INTERGOVERNMENTAL AUTHORITY
ON DEVELOPMENT



FACILITÉ AFRICAINE DE L'EAU



OBSERVATOIRE DU SAHARA ET DU SAHEL

Projet Cartographie, évaluation et gestion des ressources
en eau transfrontalières de la sous-région IGAD

Tome IV

COMPOSANTE
BASE DE DONNÉES/SIG

Création de la Base de Données Régionale et du SIG

Décembre 2011

Rapport élaboré avec le soutien de:



SEREFACO CONSULTANTS LIMITED

6 Katonga Road, Nakasero, PO Box 6916, KAMPALA

Tél. : 256 41 4342397 or 4255577, Fax : 256 41 4230691

E-mail : serefaco@serefacoconsultants.com

© Intergovernmental Authority on Development et Observatoire du Sahara et du Sahel

ISBN: 978-9973-856-67-8



PRÉFACE

La sous-région IGAD constitue l'une des régions les plus marginales du monde en terme de précipitation disponible pour la croissance de la végétation naturelle et la production agricole. Environ 80 % de la sous-région IGAD est aride et semi-arides avec un faible niveau d'utilisation de l'eau. La population est estimée à **206 millions en 2010** et devrait atteindre **462 millions en 2050** dans une zone de **5,2 millions de km²**.

Les manifestations les plus évidentes ont été les sécheresses périodiques et la désertification qui ont condamné des millions de personnes à la pauvreté perpétuelle et aux décès. Les populations tirent leur subsistance de l'eau et des activités de production primaire basées sur la terre tels que le pastoralisme nomade et l'agriculture de subsistance dans une région où la variabilité des précipitations est élevée. La sous-région est le foyer du plus grand nombre de communautés pastorales estimée à environ **17 millions**. La disponibilité de l'eau est donc vitale pour le développement de la région.

Les préoccupations croissantes sur la rareté de l'eau dans la sous-région IGAD ont attiré l'attention sur plusieurs défis socio-économiques liés à la gestion des ressources en eau.

Premièrement, comme la sous-région aspire au progrès économique et social, la demande en eau va augmenter en raison de la croissance démographique, l'augmentation des revenus, le changement des habitudes alimentaires, l'urbanisation et le développement industriel. Pendant que la demande augmente dans tous les secteurs, l'agriculture consommera la majeure partie de l'eau et focalisera les attentions pour l'ajustement de la pression de la demande.

Deuxièmement, il ya des préoccupations quant à la disponibilité de la sous-région de IGAD d'assez d'eau dans le futur pour répondre aux besoins de sécurité alimentaire d'une population en croissance rapide. Avec la sécurité alimentaire, la sécurité de l'eau est également devenue une question fondamentale pour le développement humain dans la sous-région.

S'il est un fait que l'eau occupe une position charnière dans le développement de la sous-région IGAD, **aucun pays membre ne dispose d'informations suffisantes** pour gérer ses ressources en eau de manière à assurer l'efficacité et l'équité économique dans la répartition de l'eau pour différents usages. En effet, quatre pays de l'IGAD à savoir **l'Erythrée, le Kenya, Djibouti et la Somalie** sont dans la catégorie des pays qui subissent la pénurie d'eau avec moins de **1 000 m³ par personne et par an**, voire moins.

De plus, en l'an 2025, même l'Éthiopie et l'Ouganda, qui ont actuellement suffisamment d'eau, seront en situation de stress hydrique (1000-2000 m³/personne/an) ; tandis que Djibouti, Érythrée, Kenya, Somalie et Soudan seront dans une situation de limite avec « 500 m³/personne/an » et ainsi donc l'eau limitera tout développement durable.

Aucun des États membres de l'IGAD n'a à l'heure actuelle la quantité d'eau par habitant nécessaire pour le développement industriel (2400 m³/jour). Ce manque d'eau limitera considérablement la production alimentaire, le maintien des écosystèmes et du développement économique, parmi d'autres besoins et usages.

Les ressources en eau lient les États membres de l'IGAD en interne et en externe avec les régions adjacentes. Six bassins fluviaux transfrontaliers et six systèmes aquifères transfrontaliers ont été identifiés dans la sous-région IGAD à ce stade de l'étude. **Le ratio des demandes en eau aux moyennes d'approvisionnement disponibles est seulement de 9 % en 2011 et de 15 % en 2031** selon les projections de cette étude intitulée « Cartographie, évaluation et gestion des ressources en eau transfrontalières dans la sous-région IGAD ». Cependant, il y a des problèmes spécifiques qui appellent la nécessité d'une connaissance adéquate des ressources en eau de surface et souterraines.

Cette étude (la première du genre dans la sous-région) a fourni une plateforme pour le recentrage des efforts au sein de la sous-région vers une meilleure quantification et la compréhension de l'ampleur de la pénurie d'eau et d'autres facteurs liés à l'eau qui influent sur le développement socio-économique dans la sous-région. Le plus important des moteurs de la demande en eau dans tous les secteurs est la population qui, dans la sous-région devrait augmenter de 165% entre 2010 et 2030, et de 136 % entre 2030 et 2050. Cette étude démontre que ces augmentations vont créer une augmentation significative des prélèvements d'eau pour l'approvisionnement domestique et pour l'industrie.

L'autre secteur important est l'agriculture, qui combine l'irrigation et l'élevage. Ici encore, la population est le paramètre le plus important du changement, régissant la demande alimentaire et donc la nécessité d'augmenter la productivité agricole à travers le développement de l'irrigation.

Le processus régional a mis en évidence le **faible niveau d'utilisation de l'eau** et donc de sécurité hydrique actuellement estimée à environ **3 %** des ressources en eau renouvelable annuellement comme un indicateur de base de l'absence globale de développement des infrastructures d'eau pour assurer la sécurité hydrique pour l'usage social, économique et environnementale. La sous-région IGAD est l'une des zones les plus vulnérables à la variabilité climatique et aux sécheresses récurrentes.

Par conséquent, il est nécessaire de mieux comprendre en profondeur la situation environnementale et de consolider les capacités de l'IGAD à surveiller les liens entre le climat et les systèmes d'eau avec l'identification et la cartographie des ressources en eau et des risques majeurs liés à la dégradation, la pollution et la détérioration de la qualité de l'eau. Les politiques, stratégies et objectifs de la coopération et la façon de les atteindre doivent être énoncées dans une deuxième phase du projet IGAD.

Il est important de noter que le projet IGAD a été mis en œuvre aux niveaux national et

sous-régional avec la participation active des institutions focales nationales en employant des consultants nationaux et régionaux. La coordination du projet est faite par l'OSS avec la création d'unités de coordination nationales dans les institutions focales nationales en charge de l'eau des Etats membres de l'IGAD. Le comité de pilotage du projet a été mis en place et la coordination régionale et sa facilitation ont été assurées par l'IGAD.

Nous tenons alors à remercier tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce projet : les Ministères en charge de l'Eau et des institutions nationales, les partenaires de coopération de l'IGAD et de l'OSS (particulièrement la Facilité Africaine de l'Eau), les équipes nationales, les consultants nationaux et internationaux, l'équipe du projet au sein du Secrétariat exécutif de l'OSS et le Secrétariat exécutif de l'IGAD.

Notre satisfaction a été de réussir l'appropriation de tous les résultats de ce projet par les équipes nationales ainsi que la mise en place au sein du Secrétariat Exécutif de l'IGAD d'outils performant permettant d'assurer la continuité de ce projet.

Ce projet final se compose de 7 documents indépendants, à savoir :

- Introduction, vue d'ensemble et recommandations
- Tome 1: Rapport de la composante du cadre institutionnel (le présent rapport)
- Tome 2: Rapport de la composante socioéconomique
- Tome 3: Rapport de la composante environnement
- Tome 4: Rapport de la composante SIG/ base de données
- Tome 5: Rapport de la composante Modélisation des ressources en eau/ hydrologie
- Tome 6: Rapport de la composante

Ces remerciements s'adressent aussi à SEREFACO Consultants limited et son équipe pour l'excellent travail qu'il a pu mener malgré toutes les difficultés rencontrées notamment par l'absence de données fiables.

Le Secrétaire Exécutif de l'OSS
Dr Ing. Chedli FEZZANI

Le Secrétaire Exécutif de l'IGAD
Eng. Mahboub Mohamed MAALIM



TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE	3
RÉSUMÉ EXÉCUTIF.....	15
DÉFINITIONS.....	17
INTRODUCTION	19
CONCEPTION, MISE EN PLACE ET MISE EN ŒUVRE DE LA BD RÉGIONALE HARMONISÉE	21
1. Approche et méthodologie.....	21
2. Analyse des données fournies par les pays membres de l'IGAD	21
3. Incohérences et lacunes.....	26
4. Informations complémentaires recueillies au cours du projet	26
5. Options de développement de base	28
6. Données géographiques communes	32
DESCRIPTION DE LA BD DE L'IGAD (SYNTHÈSE)	37
1. L'architecture generale de la bd de l'IGAD	37
2. Description de la base de données	39
3. Description du SIG	44
SYNTHÈSE DU CONTENU	47
1. Synthèse de la base de données	47
2. Caractéristiques des points d'eau	47
3. Synthèse du système d'information géographique (SIG)	53
4. Affichage et visualisation des données.....	54

6. Répartition spatiale des points d'eau par aquifère transfrontalier	61
RÉSUMÉ DES STATISTIQUES DES DONNÉES	63
1. Nombre de puits par pays	63
2. Nombre des puits par bassin transfrontalier	63
3. Nombre de puits par pays et par bassin transfrontalier	64
4. Nombre et type de points d'eau	64
5. Nombre de points d'eau par type et par pays	65
6. Nombre des points d'eau par aquifère transfrontalier	68
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	69
SOURCES DE LA LITTÉRATURE	71



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Résumé des points d'eau saisis à Djibouti.	22
Tableau 2. Résumé des données de l'Erythrée.....	23
Tableau 3. Résumé des données saisies de l'Ethiopie.....	23
Tableau 4. Résumé des données collectées pour le Kenya.....	23
Tableau 5. Etendue des duplications des données au Kenya, données des puits de forage. ..	24
Tableau 6. Résumé des données collectées pour l'Ouganda.....	25
Tableau 7. Résumé des données du Soudan.	25
Tableau 8. Résumé de l'aquifère transfrontalier de l' IGAD (Extrait de l'IGRAC, 2009).....	27
Tableau 9. Vue de la table point d'eau dans SIG.	32
Tableau 10. Répartition des points d'eau.	47
Tableau 11. Caractéristiques des points d'eau.	48
Tableau 12. Résumé des sous-sections administratives dans les pays membres de l'IGAD. ..	50
Tableau 13. Nombre de points d'eau dans le bassin transfrontalier.....	50
Tableau 14. Les points d'eau par aquifère transfrontalier	51
Tableau 15. Nombre d'enregistrement de données Hydrodynamiques par pays.	51
Tableau 16. Nombre d'enregistrement de données lithologiques par pays.....	51
Tableau 17. Nombre d'enregistrements de données pluviométriques par pays.....	51
Tableau 18. Nombre d'enregistrements des données relatives au débit par pays.....	52
Tableau 19. Nombre d'enregistrements des données d'Evaporation par pays.	52
Tableau 20. Nombre d'enregistrements des données relatives à l'extraction des eaux souterraines par pays	52
Tableau 21. Nombre d'enregistrements des données sur la qualité de l'eau par pays.....	52
Tableau 22. la répartition des coordonnées.....	54

Tableau 23. Répartition des points d'eau dans les pays membres de l'IGAD.....	63
Tableau 24. Nombre de puits par bassin transfrontalier.....	63
Tableau 25. Répartition des points d'eau par bassin par pays.....	64
Tableau 26. Répartition des points d'eau par type.	65
Tableau 27. Répartition des points d'eau par type et par pays.....	67
Tableau 28. Répartition des points d'eau par type et par aquifère transfrontalier.....	68



LISTE DES FIGURES

Figure 1: Principaux aquifères transfrontaliers dans la sous-région de l'IGAD (Extrait de l'IGRAC, 2009).....	27
Figure 2: Importation de la BD dans ARCGIS.	31
Figure 3 : Carte de base de la zone d'étude.....	33
Figure 4 : Carte des courbes de niveau des pays membres de l'IGAD dérivée de SRTM..	34
Figure 5 : Géologie générale des pays membres de l'IGAD.....	35
Figure 6 : Carte pédologique générale des pays membres de l'IGAD	36
Figure 7 : Solution organisationnelle globale de la base de données de l'IGAD.....	38
Figure 8 : Modèle Conceptuel de la Base de données de l'IGAD (Adopté par l'OSS, 2007)	39
Figure 9 : Architecture de la BD de l'IGAD.....	43
Figure 10 : Le couvert végétal de Djibouti.....	45
Figure 11: carte pédologique de Djibouti.....	45
Figure 12 : Carte des risques du Kenya.	45
Figure 13 : Carte montrant la répartition spatiale des points d'eau dans les pays membres de l'IGAD.	49
Figure 14 : UTM pour les Pays Africains.	53
Figure 15 : Répartition des points d'eau dans l'unité administrative 1 (région) à Djibouti (DJI_adm1).	55
Figure 16 : Répartition des Puits forés dans l'unité administrative 1 (région) en Erythrée ERI_adm1).	56
Figure 17 : Répartition des stations de jaugeage des fleuves dans l'unité administrative 1 (région) en Erythrée ERI_adm1.....	56
Figure 18 : Répartition des puits et forages dans l'unité administrative 1 (Etat administratif) en Ethiopie ETH_adm1).....	57
Figure 19 : Répartition des stations météorologiques dans l'unité administrative 1 (Etat	

administratif) en Ethiopie ETH_adm1).....	57
Figure 20 : Répartition des sources dans l'unité administrative 1 (Etat administratif) en Ethiopie ETH_adm1).....	58
Figure 21: Répartition des puits et forages dans l'unité administrative 1 (pays) au Kenya KEN_adm1).....	58
Figure 22 : Répartition des puits de surface dans l'unité administrative 1 (District) en Ouganda UGA_adm1).....	59
Figure 23: Répartition des sources dans l'unité administrative 1 (district) en Ouganda (UGA_adm1).....	59
Figure 24 : Répartition des stations de jaugeage dans l'unité administrative 1 (District) en Ouganda (UGA_adm1).....	60
Figure 25 : Répartition des stations météorologiques dans l'unité administrative 1 (District) en Ouganda UGA_adm1).....	60
Figure 26 : Répartition des stations pluviométriques dans l'unité administrative 1 (Région) au Soudan (SDN_adm1).....	61
Figure 27 : Répartition spatiale des points d'eau dans le bassin transfrontalier et dans les environs.....	62
Figure 28 : Répartition spatiale des points d'eau dans l'aquifère transfrontalier et les environs (frontières de l'aquifère transfrontalier tiré de IGRAC, 2007).....	62



LISTE DES ACRONYMES

ANECs	Archive Numérique Européenne des Cartes des Sols
BD	Base de Données
BDSZAM	Base de Données Spatiale des Zones Administratives Mondiales
CCR	Centre Commun de Recherche
CDSA	Centre de Données Socioéconomiques et d'Application
CGUSCT	Caractéristiques Globales de l'Utilisation du Sol et de la Couverture Terrestre
CIPAM	Centre IGAD de Prévisions et d'Applications Météorologiques
CNM	Charte Numérique du Monde
CRIIST	Centre Pour le Réseau International des Informations sur les Sciences de la Terre
CTM	Couverture Terrestre Mondiale
CVM	Contrôle de la Végétation Mondiale
FAO	Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture
FSCC	Fonds Spécial du Changement Climatique
IBN	Initiative du Bassin du Nil
IGAD	Autorité intergouvernementale sur le Développement (AIGD)
IMCT	Installation Mondiale de Couverture Terrestre
MAN	Modèle Altimétrique Numérique
MCD	Modèle Conceptuel de Données
MTRN	Mission Topographique de Radar Navette
MTU	Mercator Transverse Universelle
OSS	Observatoire du Sahara et du Sahel
PGM	Population Globale du Monde
PNUD	Programme des Nations Unis pour le Développement
ppm	Parts par million
SCG	Système de coordonnées géographiques
SGM	Système Géodésique Mondial
SIG	Système d'Informations Géographiques
TDR	Termes de Référence
TIC	Technologies de l'Information et des Communications
UNESCO	Organisation des Nations Unis pour l'Éducation, la Science et la Culture
USGS	Institut d'Études géologiques des États-Unis



RÉSUMÉ EXÉCUTIF

L'objectif de la sous-composante était de créer une Base de Données qui facilitera l'accès aux informations et le partage entre les pays membres de l'IGAD.

Les principales activités de la composante étaient de faire une analyse des entités requises et des attributs pour développer la Base de Données, en définissant un modèle entité relation au niveau conceptuel et par la suite il faut installer et tester la Base de données, faire la conversion des données et la traduction sémantique, la saisie des données et la génération de la sortie des données.

En outre l'évaluation et l'adéquation des données disponibles dans les rapports nationaux ont été réalisées. Puisque la base de données a trait à toutes les sous-disciplines, le résumé s'est limité à l'aspect qualité des données dans les rapports. En théorie les aspects d'adéquation et de pertinence des données seront traités dans les rapports d'évaluation des sous-disciplines.

A la fin du projet, toutes les activités ont été achevées et la Base de Données régionale développée. La Base de Données développée comprend à la fois l'identification des données variables/informations sur les puits de forage, les puits de surface et les stations de jaugeage Météorologiques, hydrologiques et fluviales. Au total, 83,064 (Quatre vingt trois mille et soixante quatre) points d'eau ont été saisis dans la Base de Données Régionale.

Les données fournies sont plutôt hétérogènes, différents formes et aspects sémantiques. La variance sémantique a été minimisée sensiblement, mais une partie persiste encore en raison de l'absence du sens premier de ces points d'eau, les exemples sont "Source" de Djibouti et les points d'eau de Première classe de l'Erythrée. Ceci exige l'intervention des coordinateurs de ces pays.

L'hétérogénéité de ces données a été complètement éliminée en convertissant toutes les données en Microsoft Excel et en les important par la suite vers Microsoft Access. Cependant, en essayant de les harmoniser, certains champs de données ont été écartés parce qu'ils ne cadrent pas avec la structure des données.

Les principaux problèmes rencontrés pendant la compilation et l'analyse des données sont :

- Coordonnées; 29 % des points d'eau n'ont pas de coordonnées ou ont des coordonnées erronées. Par conséquent, ils ne peuvent pas être obtenus spatialement ni visualisés par le SIG. Cet obstacle est très difficile et compliqué à surmonter sans l'implication des

Coordonnées des pays membres. Dès que les coordonnées de ces points sont disponibles, ils iront alimenter la BD, ce qui éliminera au fur et à mesure cette difficulté.

- La duplication; presque tous les pays ont des doubles dans leurs bases de données. Les enlever était une rétrogradation très grave. La duplication a été faite par toutes les formes (identificateur, coordonnées, noms de sources, textes sources) mais la majorité a été dupliquée par l'identificateur. Tout ce qui a été dupliqué par toutes les formes a été enlevé de la BD et tout ce qui a été dupliqué par l'identificateur, on leur a donné un autre identificateur unique.

- Absence d'identificateur; la plupart des données n'avaient pas de clé identificateur. Toutefois elles ont été créées, voici un exemple x_Eth_1 (soit x= Aucune clé identificateur, Eth=Ethiopie, 1=point d'eau 1). En dehors de l'identificateur du puits de forage de l'Ouganda (WDD ou DWD), d'autres pays avaient des chiffres normaux comme clé identificateur. Ceci dupliquerait le point d'eau sur la base d'un identificateur, alors qu'en réalité ce n'est pas le cas. Et dans le processus la clé identificateur ne serait pas une clé primaire. Ceci a été surmonté en créant une clé unique à partir du chiffre unique, un exemple 10000_Eth (10000= chiffre normal qui a été utilisé comme identificateur dans le pays et Eth=Ethiopie).

- Absence de champs importants; par exemple la plupart des points d'eau n'ont pas de champ d'état, on ne peut pas facilement identifier les puits de forage non opérationnels des puits de forage opérationnels au sein d'une unité administrative. Ceci pourrait induire en erreur la répartition spatiale des cartes des points d'eau et la prise de décision à l'avenir si celle-ci suit la distribution spatiale.

Le modèle conceptuel des données a été adopté par l'OSS en 2007, et il implique la saisie de toutes les données disponibles et l'élaboration de la structure des données. Il faudra également comprendre ce qui suit: Ensembles d'informations (entités), la nature des liens existants entre ces ensembles, les lignes directrices de gestion correspondant à ces entités.

Les règles suivantes planifiées ont été établies ce qui synthétise les entités et les relations :

- Un puits peut impliquer 1 ou plusieurs aquifères.
- Un puits à un moment donné fournit un rendement donné.
- Un puits peut servir plusieurs utilisateurs.
- Un utilisateur peut être approvisionné par plusieurs puits.

Tous les points d'eau avec les coordonnées ont été restitués dans ARCGIS 9.3, projection GCS-WGS 84 et à des fins de démonstration, plusieurs cartes ont été insérées dans ce document.



DÉFINITIONS

Système d'Information (SI): Un ensemble d'éléments qui sont en interaction dynamique et organisé par rapport à un objectif.

Base de Données (BD) : Une base de données est un outil pour recueillir et organiser des informations relatives à un domaine spécifique. Une base de données est régie par un modèle et doit répondre à un certain nombre de spécificités :

- Indépendance complète entre les données et le traitement.
- Aucune information redondante.
- Intégrité et cohérence des données.

DBMS : Logiciel permettant de manipuler, gérer et utilise une base de données. La plupart des DBM disponibles sur le marché sont relationnels, c'est à dire basés sur la théorie des ensembles et composés de toutes les opérations algébriques relationnelles (union, jointure, intersection...).

Approche conceptuelle : Le processus conceptuel de la base de données est généralement subdivisé en trois phases: la phase de conception conduisant à la définition du modèle des données, la phase de la mise en œuvre logique et la phase d'exécution avec une machine et les DBMS sélectionnés.

Outils de conception : La généralisation des bases de données relationnelles conduit à concevoir des outils de conception méthodologique qui permettent la mise en place de systèmes performants et durables parce que basés sur la maîtrise des informations de base. Ces outils ont des règles de fonctionnement, de formalisme et parfois même un logiciel de soutien pour faciliter l'élaboration de modèle de données.

Modèle de données : Un outil hautement intellectuel utilisé pour la représentation du monde réel grâce à des informations gérées et des liens interdépendants. Ces outils fournissent une schématisation graphique pour mieux symboliser la représentation.

Modèle relationnel : Développé à la fin des années 70 pour garantir :

- L'indépendance totale entre les données et le traitement: systèmes durables et ouverts.
- L'accès aux données par le biais de langages non procéduraux à haut niveau.
- Les avis de l'utilisateur peuvent être différents de ceux établis. Chaque utilisateur peut avoir son propre point de vue par rapport aux objets de la base de données.

Tableau : Un tableau de base de données ressemble en apparence à un tableur, en ce que les

données sont stockées en lignes et en colonnes. Par conséquent, il est généralement assez facile d'importer un tableur vers un tableau de base de données. La principale différence entre stocker vos données dans un tableur et les stocker dans une base de données est dans la façon dont les données sont organisées. Dans notre cas, nous avons des tableaux de points d'eau, d'unités administratives, etc.

Entité : Ceci est un objet du système d'information avec des fonctionnalités. Il est également appelé un individu ou un objet. En ce qui nous concerne, un point d'eau est une entité.

Relation (ou Association) : Un lien qui peut exister entre deux entités et qui reflète les règles de gestion en vigueur.

Propriété ou (attribut) : Les informations élémentaires gérées par le système d'information. Elles sont liées à une entité et parfois à une relation. Le nom, l'altitude et les coordonnées d'un point d'eau sont des propriétés.

Identificateur : La propriété particulière qui permet d'identifier de façon unique une entité. Le nombre de classification d'un point d'eau est un identificateur.

Demande : C'est l'objet d'une base ACCESS, utilise pour l'enregistrement, la modification et l'analyse des données provenant d'un ou de plusieurs tableaux.

Forme : une forme est avant tout un outil qui permet de saisir avec le clavier des données qui sont immédiatement introduites dans un ou plusieurs tableaux. La forme est donc *liée à un ou plusieurs tableaux, et elle hérite de leurs propriétés*: types de données, propriétés des champs.

Tableau liée (ou joint) : un tableau qui existe dans une autre base de données (de type ACCESS ou autre).

Champ : élément d'un tableau utilise pour contenir l'information. Un tableau qui comprend un ou plusieurs champs (colonnes).

Clé Primaire : identificateur unique pour chaque ligne d'un tableau. Une clé peut être un champ ou une concentration de plusieurs champs.

Intégrité référentielle : c'est le mécanisme qui préserve les relations définies entre plusieurs tableaux lorsque les enregistrements sont modifiés ou effacés. L'intégrité référentielle garantit la cohérence des valeurs des clés entre les tableaux.

Rapport : Les rapports sont ce que vous utilisez pour résumer et présenter les données dans des tableaux. Un rapport répond généralement à une question spécifique, telle que « Combien d'argent avez vous reçu de chaque client cette année? » ou « Dans quelles villes sont situés nos clients? » Chaque rapport peut être formaté de façon à présenter l'information de la manière la plus lisible possible.

Requêtes : Les requêtes sont les vrais chevaux de labour dans une base de données, et peuvent effectuer plusieurs différentes fonctions. Leur fonction la plus courante est d'extraire des données spécifiques à partir des tableaux.

GTOPO30: C'est un DEM à l'échelle mondiale qui fournit des données d'altitude du terrain avec une grille d'espacement horizontale de 30 arcs secondes (1 km environ).

1

INTRODUCTION

La tâche de la sous-composante de la Base de Données (BD) et du Système d'Information Géographique (SIG) était la mise en place dans la région IGAD d'une base de données SIG qui facilitera l'accès à l'information et l'échange entre les pays membres de l'IGAD.

Des rapports ont été reçus, provenant de cinq pays membres de l'IGAD. Les pays sont : l'Éthiopie, le Kenya, le Soudan, l'Ouganda et le Djibouti. Trois rapports ont été étudiés pour chaque pays (l'état de l'Environnement, des Ressources en Eau et la situation Socioéconomique) en mettant l'accent sur la qualité des données qui ont été saisies.

Il a été constaté que la plus grande partie des informations existait déjà dans les rapports nationaux, les bases de données nationales et dans les bases de données et rapports d'études régionaux et internationaux. Cependant il était difficile et chronophage d'accéder à ces informations, parce qu'elles étaient dispersées et il y avait des variations au niveau des systèmes sémantiques et de référence spatiale, utilisés pour compiler les informations.

Les travaux de la composante ont été divisés en trois phases; phase 1, Phase 2 et Phase 3.

Les principales activités de la phase 1 comprennent; le Système d'Analyse qui sert à identifier les utilisateurs actuels et potentiels de la base de données régionale et les fonctions de la BD, entités et attributs et qui sert également à identifier le Modèle Entité-Relation au niveau conceptuel; Conception Logique/Physique qui comprenait la compréhension des spécifications du Modèle Logique dans certains logiciels, Spécifications relatives au Matériel et aux Logiciels, et les structures des tableaux sont créées au niveau de l'installation du logiciel et du matériel.

La pertinence des données disponibles dans les rapports nationaux, dans le cadre des exigences requises pour développer une base de données régionale. Puisque l'élaboration de la base de données comme composante, utilise des données de toutes les autres composantes du projet, la discussion s'articule uniquement autour des aspects liés à la qualité des données à la différence de la pertinence ou l'aptitude à l'usage. L'hypothèse faite dans cette phase était que la pertinence a été entièrement abordée dans les rapports de chaque sous-discipline du projet. Lorsqu'on parle des aspects de la qualité des données, nous faisons référence à la sémantique des données, aux formats spatiaux des données, à la capacité de présenter ces données sur des cartes, à l'accès aux données et au niveau des détails pour l'analyse nationale et régionale du SIG.

Durant cette phase, la référence des données spatiales a été étudiée pour une conversion

ultérieure au système standard ou au système de référence géométrique spatiale facilement convertible. Ceci était nécessaire pour garantir que les analyses qui associent des couches multiples GIS produisent des résultats précis. Les variations au niveau des formats des données peuvent entraîner d'importants changements visibles ou invisibles au niveau des couches de la carte, qui pourront à leur tour créer des erreurs au niveau des positions des détails au sein de la base de données SIG.

La connaissance de la sémantique des données était essentielle pour s'assurer que les objets de la base de données font constamment référence aux mêmes objets dans le monde réel de chaque pays membres. Ce fut également une activité très importante dans cette composante. Par exemple dans le scénario de ce problème, ce qui est considéré comme puits de forage dans le rapport d'un pays, peut être défini comme Puits Profond dans le rapport d'un autre pays. Une des conséquences de ceci est qu'une consultation de la base de données relative à un puits de forage peut générer des données de sortie qui occultent les puits profonds. Le concepteur de la base de données doit par ailleurs connaître le sens qui est attaché à chaque objet avant de concevoir une base de données englobant des objets dans différentes bases de données/domaines. Tout ceci a été harmonisé après l'étude sémantique des noms utilisés par chaque pays membres de l'IGAD.

Afin de faciliter l'analyse transfrontalière des ressources en eaux, il était nécessaire de définir un ensemble d'indicateurs uniformes et cohérents. Bien que les rapports nationaux contiennent des informations contextuelles uniques et spécifiques à un niveau plus détaillé, la base de données régionale a été élaborée de façon à contenir des données cumulatives thématiques et transversalement spatiales qui ont été développées sur la base de normes uniformes toujours définies

Après avoir défini ces paramètres dans la structure de la base de données, il était nécessaire d'importer directement des données, ou de formater des données ou d'entreprendre de nouvelles saisies de données sur les nouveaux paramètres dans les pays où les données sont insuffisantes.

Comprendre la spatialisation des données était également très important dans cette phase. Sans une analyse de coordonnées spatiales de ces données, ça n'aurait pas été possible, étant donné que les lieux ne pouvaient pas être affichés sur une carte.

Dans la Phase 2 l'accent a été mis sur la conceptualisation, l'installation et les tests préliminaires de la BD, la conversion préliminaire des données et la traduction sémantique, la saisie préliminaire des données dans la base de données et la génération préliminaire des sorties de données. La variation est une référence spatiale qui a été traitée en adoptant un Système de Coordonnées Géographique (SCG) WGS 84, datum WGS 84 et des formats de coordonnées degrés décimal. Dans le processus d'élaborer une base de données régionale, la variation des limites sémantiques a été traité et largement minimisé.

La Phase 3 a impliqué une conversion des données en grandeur réelle et une traduction sémantique, une saisie des données en grandeur réelle dans la base de données et une génération de sortie de données en grandeur réelle..

2

CONCEPTION, MISE EN PLACE ET MISE EN ŒUVRE DE LA BD RÉGIONALE HARMONISÉE

1. APPROCHE ET MÉTHODOLOGIE

L'élaboration de la BD régionale de l'IGAD a nécessité les étapes suivantes :

- Phase de diagnostic: l'analyse des fonctions du système, des utilisateurs et de leurs exigences, des formats des données et de la sémantique.
- Phase de conception: la conception d'un modèle conceptuel/schéma de données (MCD), et la solution technique et organisationnelle la mieux adaptée
- Phase de réalisation; la traduction du MCD en un modèle physique qui dépend du Système de Gestion de la Base de Données (SGBD) sélectionné en fonction de la solution technique choisie précédemment.
- Phase de mise en œuvre; Mise en œuvre dans l'environnement organisationnel adopté après le transfert des données disponibles.

2. ANALYSE DES DONNÉES FOURNIES PAR LES PAYS MEMBRES DE L'IGAD

La collecte et l'analyse des données climatiques, hydrologiques et hydrogéologiques des pays membres de l'IGAD ont permis d'identifier les incohérences des données depuis le début et les corriger de manière systématique. Le traitement des données a été effectué en utilisant les logiciels SIG qui comprenaient ARCGIS 9.3, Oasis Montaj, DIVA-SIG, Microsoft Access, Excel et MapInfo. Toutes les données y compris celles sans pièce jointe géographique (coordonnées) ont été introduites dans la BD mais ne seront pas représentées spatialement sur les cartes dans l'environnement SIG.

Le format des fichiers obtenu est hétérogène, il comprenait Microsoft Excel, Word, Cartes, pdf, access, etc.

Les fichiers Excel comportent des informations hydrogéologiques liées aux points d'eau, aux niveaux piézométriques, aux paramètres hydrodynamiques et à la lithologie, alors que les données des cartes étaient principalement pour l'Erythrée et les données Word data étaient principalement pour les données de Djibouti.

Ces fichiers comportent plusieurs lacunes, notamment des coordonnées qui manquaient, des points d'eau sans identificateurs, pas d'informations sur les altitudes, des coordonnées dupliquées et erronées.

L'identification des coordonnées des points d'eau est une opération fastidieuse qui requiert un vaste recoupement et une interprétation. C'est parce que chaque pays utilise un système de coordonnées différent (Andedan, WGS84, Latitude et Longitude, et Inconnu) et chaque pays est situé dans une zone géographique différente (zone 35 à zone 38). Ainsi la conversion des données prétait parfois à confusion. Cependant avec l'aide des logiciels SIG et la page web Google Earth, il était possible de résoudre ce problème pour certains points d'eau. Pour certains points d'eau dont l'origine des coordonnées n'a pas été établie et par conséquent n'ont pas pu être identifiés, il n'a pas été possible de les convertir en Longitude/Latitude pour faciliter la restitution et la visualisation.

2.1. Les données de djibouti

Le format du fichier des données de Djibouti est hétérogène: Excel, Word et cartes. Il rassemble les données géographiques et hydrogéologiques relatives aux points d'eau, des données piézométriques, des paramètres hydrodynamiques, et certaines valeurs de débit de la nappe phréatique.

Les lacunes identifiées sont: absence de coordonnées, points d'eau sans identificateur, absence d'altitudes, absence de données de compilation et d'acquisitions, absence de statut et il y a encore des projections inconnues de coordonnées pour certains points d'eau.

Ci-dessus le résumé des données de Djibouti qui ont été saisies dans la BD (Tableau 1).

Les données de Djibouti, en particulier celles qualifiées de caractéristiques d'un point d'eau, en plus des informations d'identification, des données sur les coordonnées, les types de sources et statut, certaines ont des données variables. Les données variables rassemblées et introduites dans la BD comportent des données sur la température, des données hydrodynamiques, des données sur la décharge et des données pluviométriques. Absence d'informations sur l'unité administrative, toutefois les points d'eau avec les coordonnées ont été restitués dans les unités administratives, téléchargées à partir de DIVA-SIG¹. En intégrant le point d'eau et la frontière administrative, des unités administratives pour chaque point d'eau ont été créées.

2.2. Les données de l'Erythrée

Toutes les données de l'Erythrée ont été fournies sous forme de cartes et ont été exportées

Type du Site	Nombre d'entités
Puits Ciment	468
Puits traditionnel	463
Forage	270
Station hydrodynamique	131
Qualité de l'eau	118
Retenue	72
Source naturelle	52
Station météorologique	39
Station de surveillance piézométrique	10
Rivière, station de jaugeage	6
Hydrométrie	5
Guelta	3
Citerne ent	3
Micro-barrage	1
Total	1641

TABLEAU 1. Résumé des points d'eau saisis à Djibouti.

¹ <http://www.diva-gis.org/datadown>

vers Excel avant d'être saisies dans le BD. Le résumé des données saisies de l'Erythrée figurant dans le Tableau 2.

2.3. Les données de l'Ethiopie

La plupart des données de l'Ethiopie ont été fournies en format Excel, ce qui a facilité cette analyse. Toutefois la question de coordonnées erronées et d'entrées dupliquées était un sérieux problème. Tout comme Djibouti, les unités administratives n'étaient pas définies, de sorte qu'on a eu recours à l'intégration des données administratives à partir de DIVA-SIG.

Certains points d'eau qui ont des données descriptives à caractéristiques ont été saisis dans la BD (voir tableau de Lithologie dans la BD). Le résumé des données saisies figure dans le Tableau 3.

2.4. Les données du Kenya

Les données des points d'eau du Kenya qui ont été rassemblées sont en Excel; le résumé figure dans le Tableau 4. Toutefois, le défi était la duplication des numéros d'identité, cependant le nom de la source, le code, l'utilisateur, le propriétaire de la source, la profondeur totale forée (profondeur totale) et les débits totaux étaient différents, voir Tableau 5. Ceci a confirmé que c'était des points d'eau différents. Cerise sur le gâteau, seule une duplication avait des coordonnées. Par conséquent on leur a toutes attribué un identificateur unique différent et ont toutes été introduites dans la base de données. Par ailleurs, tous les points d'eau ayant des données variables ont été saisis dans la BD (voir par exemple le tableau de la pluviométrie dans la base de données, qui comprend les données journalières des précipitations).

2.5. Les données de l'Ouganda

Toutes les données de l'Ouganda sont en tableaux Excel avec des unités administratives

Type du Site	Nombre d'entités
Puits creusé	936
Puits de forage	927
Barrage	134
Pluviomètre	126
Eau du fleuve	78
Source	44
Station météorologique	39
Etang	29
Station de jaugeage du fleuve	20
1 ^{re} classe	11
Point d'eau piézométrique	5
Réservoir	2
Total	2351

TABLEAU 2. Résumé des données de l'Erythrée

Type du Site	Nombre d'entités
Puits de forage	2707
Source	1079
Station météorologique	711
Station de surveillance piézométrique	443
Hydrométrie	120
Puits creusé	85
Pluviomètre	72
Qualité de l'eau du fleuve	10
Total	5227

TABLEAU 3. Résumé des données saisies de l'Ethiopie.

Type du Site	Nombre d'entités
Puits de forage	14196
Qualité de l'eau	5312
Station de décharge du fleuve	169
Puits creusé	107
Pluviomètre	94
Station météorologique	76
Hydrométrie	23
Barrage	23
Source	18
Qualité des eaux usées	8
Total	20026

TABLEAU 4. Résumé des données collectées pour le Kenya.

ID	Code	Nom Source	LONGI	LAT	GRIDX	GRIDY	ALT	USE	TDEPTH	YIELD
1	C	Katani	37	-1	277461	9854385	1768	A	121	1.08
1	P	Karen					0	D	182	0.45
1	SA	Huf					0	D	31.4	0.68
2	P	Ngong					0	D	83	0.95
2	SA	Jth 8998					0	D	65	0
2	C	Katani	37	-1	277461	9854385	1661	A	123	5.28
3	C	Emali	37	-2	327620	9764133	1219	P	95	16.2
3	P	State House					0	D	250	9
4	P	Ngong					0	P	92.7	0
4	SA	Hus 0628					0	D	30.4	11.7
4	C	Kilima Kiu	37	-2	301628	9799114	1768	A	61	0
5	C	Kilima Kiu	37	-2	301626	9800961	1768	A	152	1.8
5	P	Roysambu					0	D	134	3.24
5	SA	H.T.P.3557					0	D	85	0
6	SA	Near Isiolo Town-Nya	374815	2015			1082		39.3	4.53
6	P	Ngong					0	P	72	0
6	C	Kilima Kiu	37	-2	307194	9797284	1524	A	62	0.78
7	C	Kilima Kiu	37	-2	301626	9800961	1768	A	72	0
7	P	Roysambu					0	D	22	0
7	SA	Habasweni					0	D	19	2.2
8	C	Kilima Kiu	37	-2	303472	9802809	1768	A	69	0.66
8	P	Roysambu					0	D	20	0
9	C	Kilima Kiu	37	-2	303472	9802809	1768	A	76	0
9	P	Kima Estates					0	D	72	0.6
10	P	Nairobi					0	D	61.5	0
10	SA	Garbatula					0	D	34.7	6.75
10	C	Kilima Kiu	37	-2	299770	9799112	1768	A	60	0
11	C	Kilima Kiu	37	-2	299763	9806488	1402	A	52	1.08
11	P	Kima					0	D	44.5	9
11	SA	Wajir					0	D	21.3	0.05
12	C	Kima	37	-2	299759	9810170	1646	A	109	0
12	P	Boma Ngong					0	D	96.9	1.53
13	C	Kilima Kiu	37	-2	301621	9806490	1676	A	79	0.12
13	P	Sigona					0	D	21.3	4
14	C	Kima	37	-2	299763	9806488	1432	A	20	0
14	P	Karen					0	D	89.3	9.36
15	P	Kilima Kiu Est.Ltd					0	D	46.3	10.8
15	C	Kima	37	-2	303475	9799116	1585	A	48	9
16	C	Kima	37	-2	303484	9789905	1524	A	50	0
16	P	Ngong					0	P	148	1.8
17	P	Ulu					0	D	66	0.05
17	C	Kima	37	-2	305346	9786225	1737	A	38	7.56
18	C	Kima	37	-2	307206	9784380	1585	A	47	3
18	WP	Gk Stn. Kibarani							0	0
18	P	Kilifi						P	164	0

TABLEAU 5. Etendue des duplications des données au Kenya, données des puits de forage.

clairement définies. Toutefois, le problème de duplication, de coordonnées erronées et d'absence de coordonnées persiste pour certains points. Le résumé des données collectées des points d'eau figurant dans le Tableau 6.

Type du Site	Nombre d'entités
Puits de forage	26844
Source protégée	15179
Puits de surface	4669
Robinet à l'extérieur pour usage public	4020
Réservoir de vallée	918
Kiosque	870
Station météorologique	455
Barrage	405
Barrage en terre	141
Station de surveillance Hydrologique	58
Pluviomètre	51
Etang de pisciculture	42
Impact de la Pollution sur les sources d'eau Microbiologie	25
Station de décharge du fleuve	23
Qualité de l'eau du fleuve	18
Qualité de l'eau	13
Station de salinité	13
QryPWSAYB	12
Qualité de l'eau du lac	9
Impact de la Pollution sur les sites d'échantillonnage	8
Réseaux d'égouts	5
Puits de production	4
Marécage	2
Lac naturel	1
Captage à partir des roches	1
Hydrométrie	1
RWT V. Réservoir	1
Eolienne	1
Total	53789

TABLEAU 6. Résumé des données collectées pour l'Ouganda.

2.6. Les données du Soudan

Parmi les pays membres de l'IGAD, le Soudan a fourni le moins de données à la BD commune Voir Tableau 7 ci-dessous. Un tableau Excel, appelé 1961-1991 a été fourni comprenant 28 enregistrements, sans identificateur et sans l'année où les mesures ont été prises. Aucun ajout n'est disponible dans les rapports fournis.

Type de Site	Nombre d'entités
Pluviométrie	30
Total	30

TABLEAU 7. Résumé des données du Soudan.

3. INCOHÉRENCES ET LACUNES

Les données recueillies provenaient de sources différentes, ainsi :

- Les données avaient des formats presque totalement différents; ils ont été harmonisés en convertissant toutes les données en Microsoft Excel et par la suite importées directement de Microsoft Access afin d'élaborer la BD.
- Les informations diffèrent d'un pays à l'autre, Cependant la base de données régionale a été élaborée et comporte des données globales spatialement et thématiquement transversales qui ont été développées en utilisant de la même manière des normes uniformes.
- Les données recueillies n'étaient pas toujours compatibles avec la structure de la BD et ont été ajustées en conséquence, en occultant certains champs et en ayant des lacunes dans d'autres.
- Certains points d'eau n'avaient pas de coordonnées et d'autres avaient des coordonnées erronées. Ceci n'a pas permis leur restitution et leur analyse, puisqu'ils n'étaient pas géo-référencés.
- Il y a eu duplication des coordonnées, des points d'eau avec des caractéristiques différentes (identificateur, nom,..) mais avec des coordonnées similaires mais des noms de sources différents, profondeur totale forcée etc. Les duplications évidentes ont été éliminées.
- Presque tous les pays membres de l'IGAD utilisent un système de coordonnées différent.
- D'importantes variations en matière de sémantique; par exemple, tout ce qui est puits de surface en Ouganda est puits de forage à Djibouti; ceci a été réduit mais pas éliminé, parce que à un moment ou un autre nous avons besoin de l'intervention des coordinateurs des pays.
- Absence de clés d'identificateurs; des identificateurs spéciaux ont été développés pour le développement systématique de la Base de données régionale..

4. INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES RECEUILLIES AU COURS DU PROJET

4.1. Aquifère transfrontalier^{2, 3}

Il y a six aquifères transfrontaliers au sein des pays membres de l'IGAD. Des détails relatifs à ces aquifères figurent dans le Tableau 8 ci-dessous.

L'espace occupé par ces aquifères transfrontaliers est présenté dans la Figure 1 ci-dessous. Aucune recherche détaillée n'a encore été effectuée sur ces aquifères transfrontaliers, à l'exception de l'aquifère Merti.

². Aquifère transfrontalier du World Update 2009, par IGRAC à 1:50,000,000. Edition spéciale à l'occasion du 5^e Forum Mondial de l'Eau, à Istanbul.

³. Unesco, Gérer les ressources des aquifères partagé en Afrique , IHP-VI, Séries sur les Eaux Souterraines No. 8, ISARM – Afrique, 2004.

Code	Nom de l'aquifère	Les pays concernés par le partage	Le bassin concerné par le partage	Type d'aquifère	Zone (km ²)
AF35	Haut bassin du Nil	Ethiopie et Soudan	Nil		354700
AF36	Aquifère de la Vallée Awash	Djibouti et Ethiopie	Danakil		163300
AF37	Aquifère de la Vallée du Rift	Ouganda, Kenya et Soudan	Turkana-Omo	Fissuré et limité	95430
AF38	Aquifère de l'Ogaden-Juba	Ethiopie et Somalie	Turkana-Omo, Juba-Shebelle, Ogaden	Intergranulaire et fissuré	363100
AF39	Aquifère Mt. Elgon	Kenya et Ouganda	Turkana-Omo	Fissuré	104500
AF40	Aquifère Merti	Kenya et Somalie	Turkana-Omo, Juba-Shebelle	Ouvert et Semi confiné	65750

TABLEAU 8. Résumé de l'aquifère transfrontalier de l'IGAD (Extrait de l'IGRAC, 2009).

L'aquifère Merti⁴ s'étend de Yamicha par Habaswein vers Liboi à la frontière entre le Kenya et la Somalie. Il y a eu un certain nombre d'études qui ont couvert la partie orientale de l'Isiolo, et les provinces de Wajir et de Garissa. Le ministère des Travaux du Kenya (1963) a réalisé une étude hydrogéologique. Le rapport indique '... On croit que, à l'exception des zones proches du Mado Gashi et le nord-est de Habaswein, les eaux souterraines sont de bonne qualité et peuvent être obtenues en effectuant des forages partout. Des études ultérieures ont amélioré cette évaluation et ont montré les différences. Swarzenki et al. (1977) et elles ont décrit les composantes hydrogéologiques d'une vaste gamme de projets

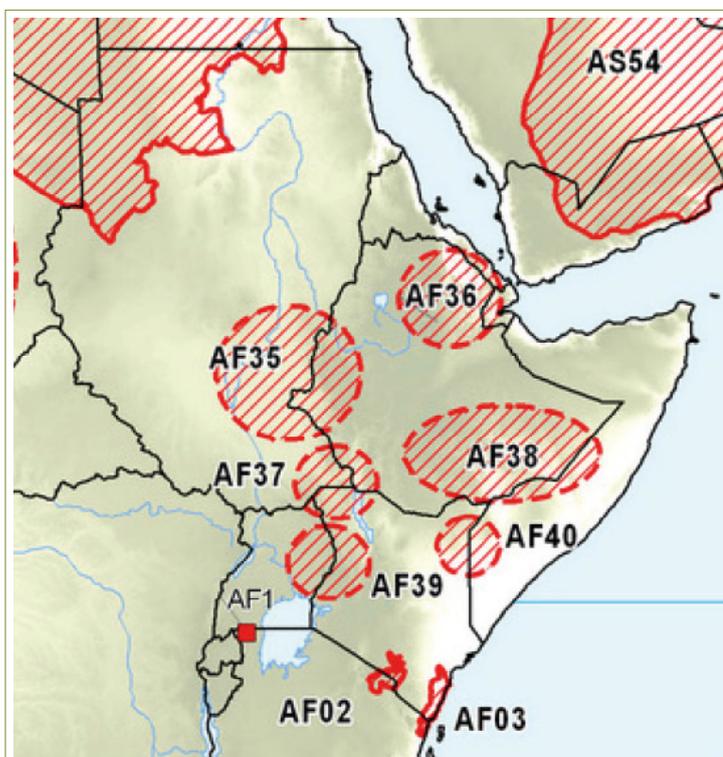


FIGURE 1: Principaux aquifères transfrontaliers dans la sous-région de l'IGAD (Extrait de l'IGRAC, 2009)

de développement qui ont couvert toute la partie Nord-est de la province et la partie Est de la province d'Isiolo. Une partie des activités du projet était le forage et l'exploration des puits de forage dans la majeure partie de la Formation Merti, permettant ainsi une

⁴ Ressources des eaux souterraines au Kenya par Fred K. Mwangi, B.C. Muhangú, C.O. Juma, I. T. Githae, Juin 2002.

indication plus claire sur la présence d'eau potable.

En ce qui concerne la zone de Modogashe, le rapport a indiqué qu'on pourrait trouver des eaux salées dans la zone Modogashe-Sericho-Merti, et à l'est de Habaswein: cependant, il a été signalé qu'il y avait un aquifère d'eau douce dans le sous terrain de la région de Habaswein. Lester (1985), a évalué les résultats des puits de forage, forés dans la région et a recommandé un programme géophysique exhaustif pour délimiter l'aquifère d'eau douce de Merti, et que les puits de forage dans l'aquifère d'eau douce, ont été forés à une profondeur non moins de 110 mètres au dessous du niveau du sol des puits de surface, adjacents au Ewaso Nyiro pour exploiter les aquifères alluviaux et qu' 'Aucun puits de forage, qu'il soit puits de surface ou puits profond ne doit être foré le long du Galana, le golf est du Benane. L'approvisionnement en eau douce peut être développé à partir des barrages souterrains remplis d'argile dans le lit sablonneux du fleuve'. Le Ministère du Développement des Ressources en Eau du Kenya(1991) a défini toute la Formation Merti dans la partie sud de la province d'Isiolo comme '...très pauvre...', déclarant que « la partie sud de cette régions ne présente pas de bonnes chances de développement des eaux souterraines, puisque les eaux souterraines sont fortement minéralisées'. Lane (1995), dans cette thèse, il y a eu une tentative de synthèse de toutes les données disponibles sur l'aquifère de Merti, et largement confirmée par les conclusions d'études antérieures. Les Géologues de la Direction du Développement des Ressources en Eau ont également réalisé des levés et des études hydrogéologiques à différents emplacements au sein de l'aquifère Merti. Ces levés ont été réalisés sur demande ou en cas de besoin.

5. OPTIONS DE DÉVELOPPEMENT DE BASE

5.1. Choix organisationnels⁵

Le choix organisationnel était adopté et modifié (OSS 2003). Pour recueillir et collecter les informations de la sous-région de l'IGAD, Il y a trois niveaux de Traitement;

Niveau 1 : La Base de données régionale qui est gérée base de données commune pour toute la région, comme la sous-région de l'IGAD.

Niveau 2 : La base de données nationale qui est gérée base de données commune pour toute la Nation

Niveau 3 : Base de données du Bassin qui est gérée base de données commune pour tout le bassin.

Chaque niveau a des informations spécifiques et plus d'informations communes trouvées au niveau supérieur. Dans ce projet, nous avons mis l'accent sur tous les niveaux. Il revient aux pays de délimiter la structure du régional et la mettre à jour.

La solution technique requise pour tous les pays est d'ajuster les structures de la base de données nationale (niveau 2) pour les rendre véritablement relationnelles, corriger les incohérences et améliorer le codage en place pour l'adapter aux besoins de la BD

⁵. Système aquifère du Sahara septentrional, Base de données et SIG ; Volume III, OSS, Juin 2003.

régionale.

Mais le choix nécessite une participation active des équipes du pays et plus de formation, c'est important. Cela les aidera à utiliser leurs tâches de soutien pour collecter des informations fiables pour le système, l'entretien et l'adaptation aux besoins de la sous-région.

5.2. Choix technique et outils informatiques

La solution technique pour le fonctionnement du logiciel du système d'information de l'IGAD a été adoptée sur la base des points suivants :

- Disponibilité du secteur public des sept pays.
- Mise en œuvre d'un contrôle simplifié par les équipes nationales chargées du projet.
- Formats et mode d'échange de données en utilisant le modèle numérique.
- Evolution technologique actuelle.

Il est très important que les outils utilisés soient « facilement accessibles » aux techniciens des administrations des ressources en eau, chargés de la base de données et du système d'information. Etant donné que ce nouveau logiciel n'est pas disponible dans le secteur public, il serait difficile pour les gestionnaires du système d'information de l'IGAD d'obtenir le matériel nécessaire et de contrôler son utilisation au moment opportun.

« Simplifier la mise en œuvre et le contrôle des outils de gestion du système d'information » sont deux conditions préalables qui facilitent son intégration dans les outils de gestion des eaux souterraines des pays.

Pour le projet également, il est très important que cet outil de contrôle soit mis en place sur une longue période de formation pour pouvoir aller vers les applications prévues.

Compte tenu de l'hétérogénéité des données disponibles, du volume exhaustif et de la nécessité de son traitement géo référencié, il est pratiquement très difficile de faire son analyse en modélisant et en ayant recours uniquement aux méthodes de saisie manuelle des données. Le traitement des informations géo référenciées est un moyen de les valider et de les traiter.

Pour cette raison, « ACCESS » était le bon choix, et dont la plus récente version a des fonctionnalités intéressantes. Dans sa version 2000, ACCESS a des caractéristiques qui lui permettent de gérer les bases de données dont le volume est assez important (jusqu'à 2G) dans un environnement réseau et même intranet.

- **La Réplication** permet la mise à jour de la base de données centrale par les bases de données régionales. La mise à jour des données par les équipes du pays est effectuée à l'aide d'un mécanisme qui synchronise le contenu de toutes les bases de données et maintient la cohérence des données.
- **Accès concurrent aux données** dans un environnement multi-utilisateurs.
- **Une sécurisation accrue des données** avec la possibilité de créer plusieurs groupes avec des autorisations et des droits d'accès distincts.

■ **Possibilité de migration facile** vers d'autres systèmes de gestion de base de données (SGBD) comme SQL/SERVER en moyen d'un simple programme de service livré avec le produit.

ACCESS a été ensuite choisi en raison de la nature du traitement et du volume des données gérées par l'IGAD, le projet ne nécessite pas un système de gestion de base de données (SGBD) plus compliqué. ACCESS est une composante du système de gestion OFFICE qui est largement utilisé par les administrations.

Les équipes des pays membres ont une maîtrise suffisante de celui-ci pour exploiter et administrer la base de données qu'il a généré. Le choix d'un autre logiciel de gestion d'informations de l'IGAD est fait pour les mêmes motifs .

ARCGIS 9.3 a été choisi pour la visualisation et l'analyse des données parce qu'il est facile à utiliser et a des fonctionnalités puissantes, une parfaite compatibilité avec ACCESS et une utilisation assez générale sur le terrain des ressources en eau. De plus, ARCGIS est le logiciel SIG leader dans le monde et il est compatible avec de nombreux autres formats de données SIG. Doté d'un langage très développé, il permet l'écriture personnalisée des programmes de service qui sont exigés par les modèles mathématiques-liens SIG. Il est supposé que le logiciel sera utilisé pour l'administration des ressources en eau dans les cinq pays qui participent au projet.

5.3. Contenus du système d'information considéré

ARCGIS 9.3 a été choisi pour ce projet à cause de son usage international, ses fonctionnalités et sa compatibilité avec les autres logiciels SIG. Trois applications de bureau ARCGIS; ArcCatalog, ArcMap, et ArcToolbox ont été utilisés pour faire ce travail. ArcCatalog est l'application pour gérer vos archives de données spatiales, pour gérer les conceptions de votre base de données, et pour enregistrer et visualiser les métadonnées. ArcMap est utilisé pour tout ce qui est cartographie et édition, ainsi que pour l'analyse basée sur la carte. ArcToolbox est utilisé pour la conversion des données et pour le géo traitement. En utilisant ces trois applications en même temps, vous pouvez effectuer n'importe quelle tâche SIG, simple à utiliser, y compris la cartographie, la gestion des données, l'analyse géographique, l'édition des données et le géo traitement.

ArcMap vous permet de travailler avec toutes vos données géographiques sur les cartes, quel que soit le format ou l'emplacement des données sous-jacentes. Avec ArcMap, vous pouvez assembler une carte rapidement à partir de couches prédéfinies, vous pouvez ajouter des données à partir de couvertures, de formes de fichiers, de base de données géo , de grilles, de TINs, d'images, et de tableaux de coordonnées.

Il y a plusieurs applications logicielles ESRI qui fonctionnent en parallèle avec ARCGIS pour fournir des outils d'analyse de données avancée, y compris les extensions ARCGIS, ArcSDE, et ArcIMS.

Plusieurs options d'extensions ARCGIS sont disponibles pour des analyses plus avancées et une visualisation des données SIG.

ARCGIS Spatiale Analyst fournit une large gamme de modélisation spatiale et de caractéristiques d'analyse qui vous permettent de créer, de consulter, de cartographier et d'analyser des données Raster basées sur des cellules.

ARCGIS 3D Analyst vous permet de visualiser et d'analyser les données de surface en trois dimensions. L'Analyse géostatistique ARCGIS vous permet de créer une surface continue à partir de mesures éparses prises à des points d'échantillonnage. De plus, l'Analyse Géostatistique comprend des outils pour les erreurs statistiques, le seuil et la modélisation de probabilité.

ArcSDE vous permet de gérer les informations géographiques au sein du système de gestion de base de données que vous avez choisi (SGBD) et délivrer ouvertement vos données au Bureau ARCGIS et à d'autres applications. Lorsque vous avez besoin d'une très grande base de données multiutilisateurs qui peut être modifiée ou utilisée par plusieurs utilisateurs en même temps, ArcSDE ajoute des fonctionnalités nécessaires à votre système ARCGIS en vous permettant de gérer votre base de données géo partagée, multiutilisateurs dans le cadre d'un système de gestion de base de données (SGBD).

ArcIMS est un système de cartographie sur Internet qui fournit un cadre qui permet de centraliser le développement et la mise en place des services et de données SIG. En utilisant ArcIMS, vous pouvez fournir des applications et des données GIS spécifiques à plusieurs utilisateurs simultanément, tant au sein de votre organisation et en externe sur la toile Web.

En raison du temps limité et à l'absence de coordonnées, l'analyse spatiale a été faite partiellement. Les principales questions traitées étaient la visualisation des données et la préparation de la version finale des cartes thématiques à imprimer.

Les propriétés de la BD peuvent être visualisées directement en les ouvrant dans le ArcCatalog, ou en cliquant sur "Ajouter données" dans le ArcMap, et ensuite sélectionner un tableau d'intérêt dans la BD. Voir Figure 2 pour élaboration. Pour notre étude, le tableau "Point d'eau" est celui qui comporte la référence spatiale, par conséquent ça sera celui qui sera restitué.

Après avoir saisi les données dans GIS, on peut l'ouvrir, visualiser, trier, sélectionner par

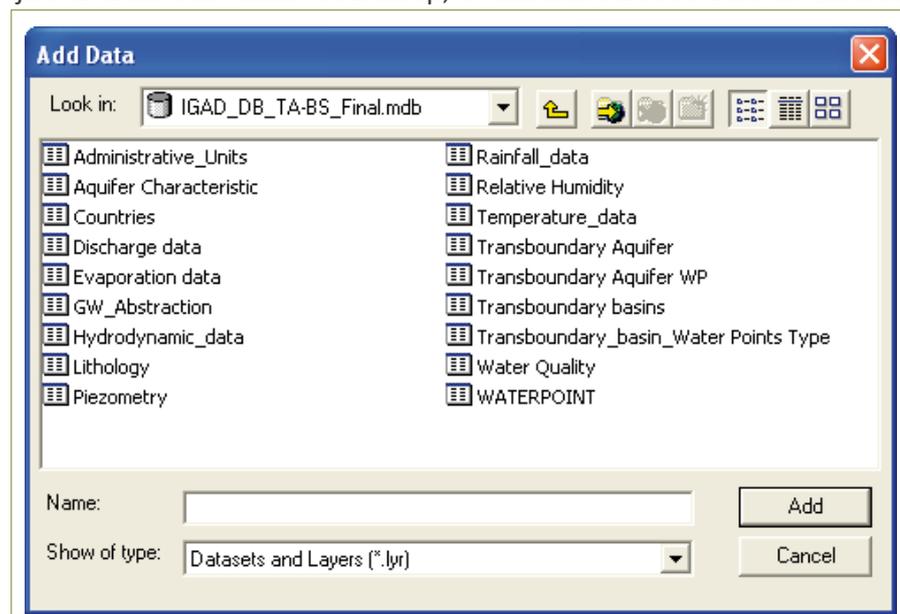


FIGURE 2: Importation de la BD dans ARCGIS.

attributs, remplacer etc. voir Tableau 9.

SourceID2	SourceID1	Source_Nam	Ow	Country	District	Site_Type	Altitude_	Tdepth_m_	Comp_Date	UTM_X	UTM_Y	LONG	LAT
x_Er_615	<Null>	Adi Ghinebate	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	7	5/1/01	480226	1653910	38.816103	14.96
x_Er_617	<Null>	Shekawedobisirat	<Null>	Eritrea	<Null>	Borehole	<Null>	18	5/1/01	479000	1653789	38.804702	14.958896
x_Er_618	<Null>	Adi Shimadi	<Null>	Eritrea	<Null>	Pond	<Null>	<Null>	5/1/01	469977	1653091	38.720798	14.952498
x_Er_619	<Null>	Adi Kdabet	<Null>	Eritrea	<Null>	Borehole	<Null>	32	5/30/01	475917	1646758	38.776097	14.895301
x_Er_620	<Null>	Adi gaul	<Null>	Eritrea	<Null>	Borehole	<Null>	50	5/30/01	471803	1651341	38.737798	14.936697
x_Er_621	<Null>	Abi Adi	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	7	5/30/01	473952	1649060	38.757805	14.916096
x_Er_622	<Null>	Adi Shimadi	<Null>	Eritrea	<Null>	Borehole	<Null>	<Null>	5/30/01	470793	1652604	38.728299	14.948104
x_Er_623	<Null>	Adi Awhaza	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	7.5	5/30/01	479978	1640151	38.813903	14.835599
x_Er_624	<Null>	Adi Gaul	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	6.6	5/30/01	470996	1650966	38.730298	14.933297
x_Er_625	<Null>	Gomera	<Null>	Eritrea	<Null>	Borehole	<Null>	<Null>	5/30/01	471889	1651551	38.736596	14.938596
x_Er_626	<Null>	Adi Shimadi-Kumtsub	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	7.4	5/30/01	472879	1652103	38.747796	14.943597
x_Er_627	<Null>	Dandier+Adikne	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	3.2	5/30/01	476099	1645132	38.777804	14.880602
x_Er_628	<Null>	Zban Una	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	9.3	5/30/01	480367	1642938	38.817498	14.8608
x_Er_629	<Null>	Adi Awhaza	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	5.1	5/30/01	479859	1640118	38.812798	14.8353
x_Er_630	<Null>	Abi Adi	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	8.2	5/30/01	473952	1649094	38.757804	14.916403
x_Er_631	<Null>	Adi Gaul	<Null>	Eritrea	<Null>	Borehole	<Null>	12.5	5/30/01	471685	1651065	38.736704	14.9342
x_Er_632	<Null>	Adi Kdabet	<Null>	Eritrea	<Null>	River Water	<Null>	<Null>	5/30/01	474369	1646936	38.761703	14.896896
x_Er_633	<Null>	Geza Chebo	<Null>	Eritrea	<Null>	Borehole	<Null>	24.7	5/31/01	477687	1653149	38.792497	14.953099
x_Er_634	<Null>	Mibrakawi	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	7.8	6/1/01	480456	1646721	38.818297	14.895004
x_Er_635	<Null>	Adikelom+Adikesemti	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	7.3	1/3/01	480677	1653633	38.820299	14.957499
x_Er_636	<Null>	Mibrakawi	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	6.4	6/1/01	480015	1646809	38.814196	14.895796
x_Er_637	<Null>	Adi Mengoti	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	6	6/1/01	477917	1645462	38.794702	14.883601
x_Er_638	<Null>	Adi wegri	<Null>	Eritrea	<Null>	Borehole	<Null>	37	5/30/01	478336	1645495	38.798597	14.883903
x_Er_639	<Null>	Enda Amanuel	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	8	5/28/01	484201	1648775	38.853102	14.9136
x_Er_640	<Null>	Adifinie	<Null>	Eritrea	<Null>	Borehole	<Null>	49	5/29/01	493246	1651016	38.837196	14.9339
x_Er_641	<Null>	Kudo chira	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	3	5/29/01	487428	1649691	38.883102	14.921899
x_Er_642	<Null>	Aregit Mekrem	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	4.65	5/29/01	490773	1651017	38.9142	14.933901
x_Er_643	<Null>	Shiha	<Null>	Eritrea	<Null>	Pond	<Null>	<Null>	5/29/01	495074	1649666	38.954197	14.921698
x_Er_644	<Null>	Kilowlie	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	1.5	5/28/01	482879	1650070	38.840801	14.9253
x_Er_645	<Null>	Adi Gehad	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	5.6	5/19/01	478149	1641071	38.796896	14.843903
x_Er_646	<Null>	Newih ziban	<Null>	Eritrea	<Null>	Borehole	<Null>	<Null>	5/29/01	493428	1644590	38.838904	14.875801
x_Er_647	<Null>	Kudo Felasi	<Null>	Eritrea	<Null>	Borehole	<Null>	50	5/29/01	483412	1643986	38.845796	14.870296
x_Er_648	<Null>	Kilowlie	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	7	5/28/01	478189	1648747	38.797203	14.913304
x_Er_649	<Null>	Azerna Tahtay	<Null>	Eritrea	<Null>	Spring	<Null>	<Null>	5/28/01	482460	1650557	38.836902	14.9297
x_Er_650	<Null>	Berak	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	7	5/19/01	478031	1641126	38.795799	14.844399
x_Er_651	<Null>	Garma	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	7.2	5/19/01	478128	1641071	38.796701	14.843903
x_Er_652	<Null>	Garma	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	8	5/19/01	478096	1641071	38.796403	14.843902
x_Er_653	<Null>	Berak	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	9.7	5/19/01	477881	1641159	38.794404	14.844696
x_Er_654	<Null>	Adi Ghehad	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	3.29	5/28/01	478031	1641380	38.795797	14.846696
x_Er_655	<Null>	Kilowlie	<Null>	Eritrea	<Null>	Hand dug well	<Null>	6	5/28/01	482071	1648998	38.833296	14.915602

TABLEAU 9. Vue de la table point d'eau dans SIG.

Par conséquent, cette table a été utilisée pour créer la carte des points et analyser la distribution spatiale. Les détails de ces cartes selon cette procédure figurent dans la section 4.2.

6. DONNÉES GÉOGRAPHIQUES COMMUNES

6.1. Topographie et cartes de base

Les informations géographiques relatives à cette carte topographique sont comme suit:

Les Fleuves et les Lacs: les fleuves dans la région de l'IGAD représentent deux types Pérenne/ Permanent et Non-Pérenne/Intermittent/Fluctuant, les Réseaux routiers: Route Principale, Route Secondaire et certaines sont inconnues, les principales agglomérations: capitale, Chemins de fer; principaux, secondaires, chemins de fer, piste.

Les données topographiques qui ont été utilisées pour faire une carte de base pour les pays membres de l'IGAD ont été téléchargées à partir de la Charte Numérique World (CNW, DCW). La CNW est une carte de base du Monde exhaustive à une échelle vecteur 1:1,000,000 avec plusieurs couches numériques y compris les systèmes d'évacuation et de drainage, Routes et Chemins de fer, Lieux habités (zones urbanisées et points), Végétation

et Couverture Terrestre. La carte de base est présentée dans la Figure 3.

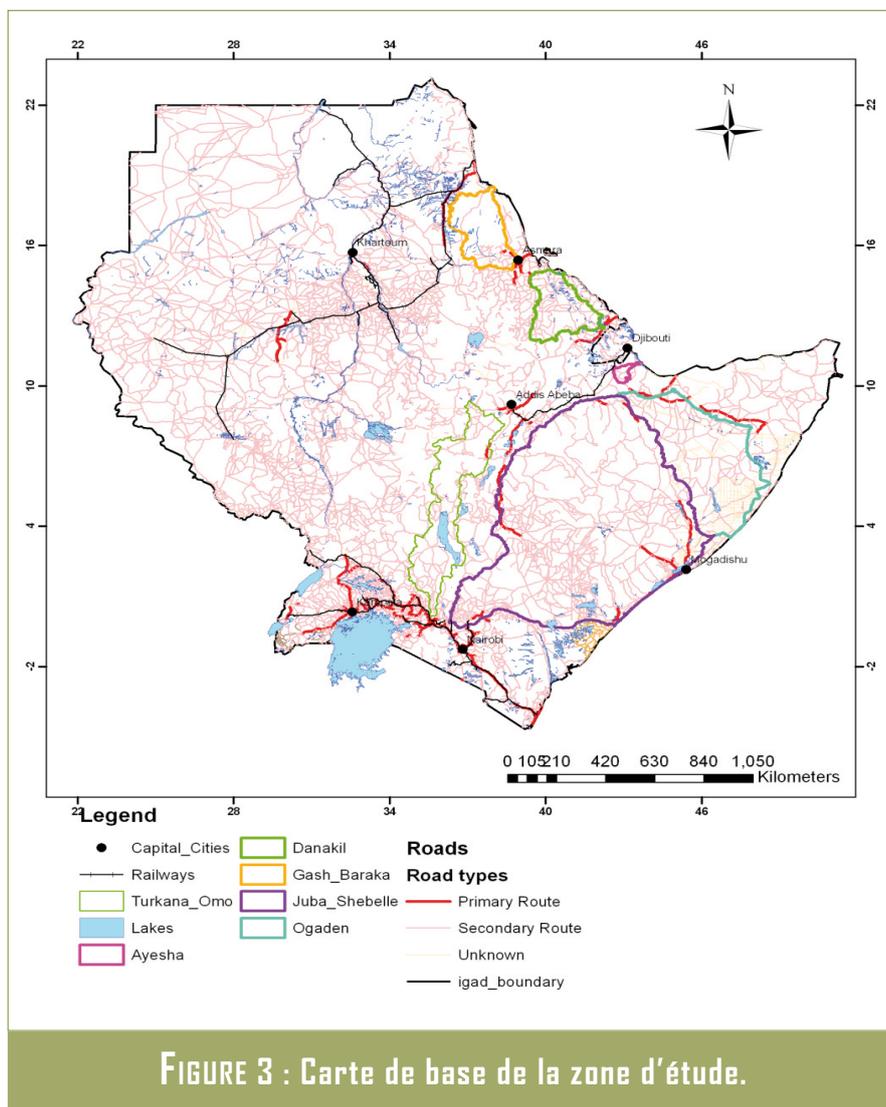


FIGURE 3 : Carte de base de la zone d'étude.

6.2. Modèle numérique de terrain (DEM)

Pour générer le MNE et les courbes de niveau de la sous région, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) GTOPO30 a été téléchargée à partir de la page web <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>, couvrant tous les pays membres de l'IGAD. L'image téléchargée a été ensuite importée dans ARCGIS 9.3, où les courbes de niveau des pays membres de l'IGAD ont été extraites en utilisant les outils de l'analyse spatiale, à un intervalle de 100m comme le montre la Figure 4. L'altitude est exprimée en mètre à partir du niveau moyen de la mer.

6.3. Géologie

Il y a une carte géologique à grande échelle publiée pour chaque pays membres. Cependant la jointure est compliquée en raison de l'utilisation de différentes sémantiques et de différents

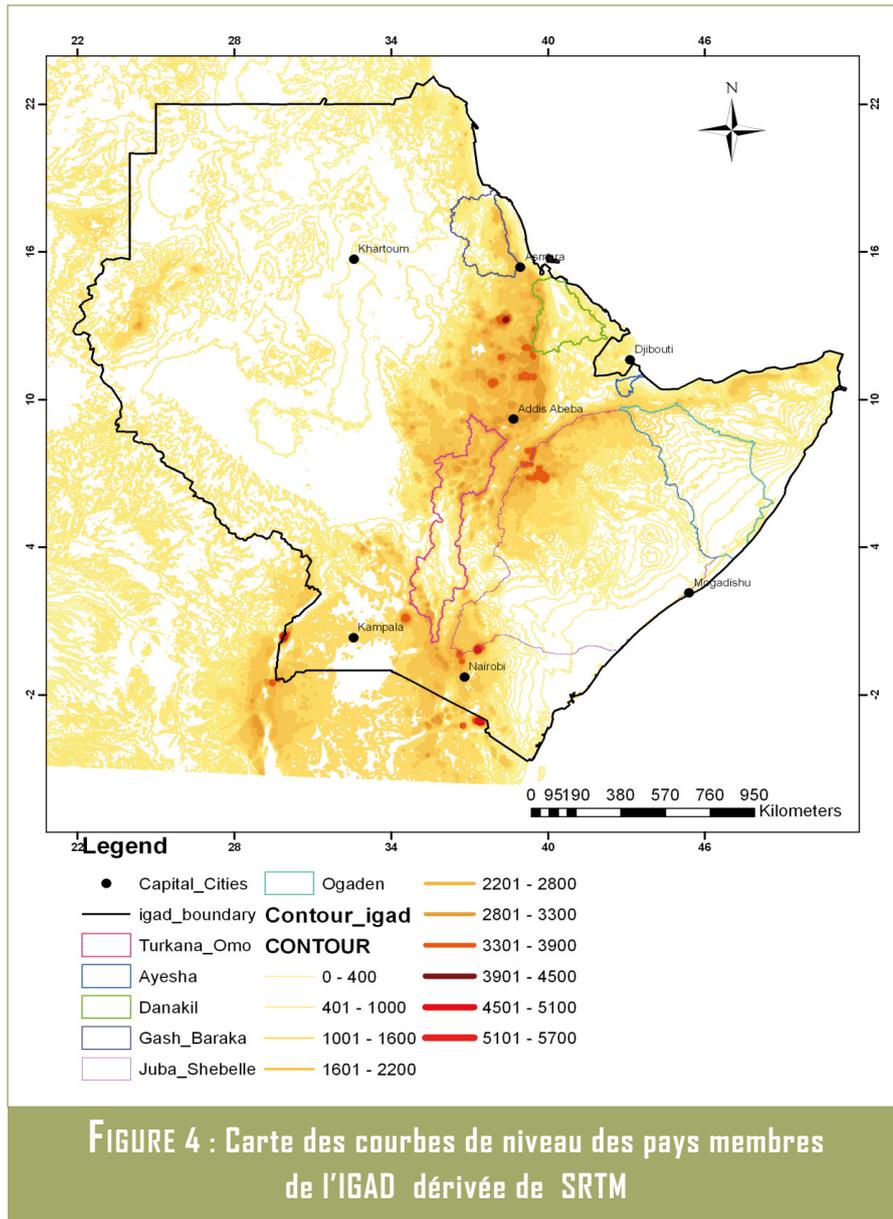


FIGURE 4 : Carte des courbes de niveau des pays membres de l'IGAD dérivée de SRTM

niveaux de données etc. Résultat obtenu ; la carte géologique régionale de l'Afrique à une échelle de⁶ 1:10,000,000. Et la carte numérisée et intégrée aux bassins transfrontaliers pour produire, la carte présentée dans la Figure 5.

6.4. Carte pédologique

Tout comme pour la géologie, chaque pays membre de l' IGAD a des cartes pédologiques publiées, cependant pour la cartographie régionale, la jointure est compliquée en raison des différences en matière de données sémantiques, niveau, projections etc. Par conséquent la carte pédologique régionale de l'Afrique⁷ a été utilisée pour extraire la carte pédologique de la sous région de l' IGAD représentée dans la Figure 6.

⁶. Carte géographique de l'Afrique (Esquisse structurale provisoire de l'Afrique)

⁷. Carte pédologique de l'Afrique (FAO - Unesco 1974).

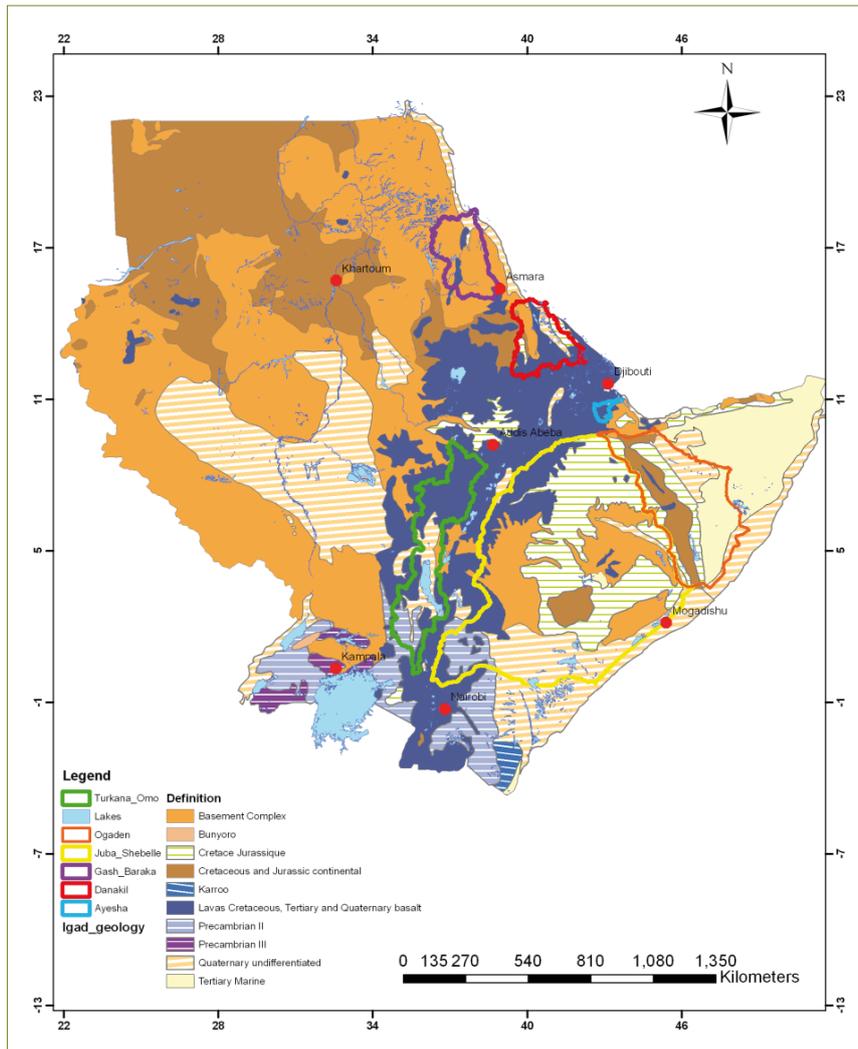


FIGURE 5 : Géologie générale des pays membres de l'IGAD.

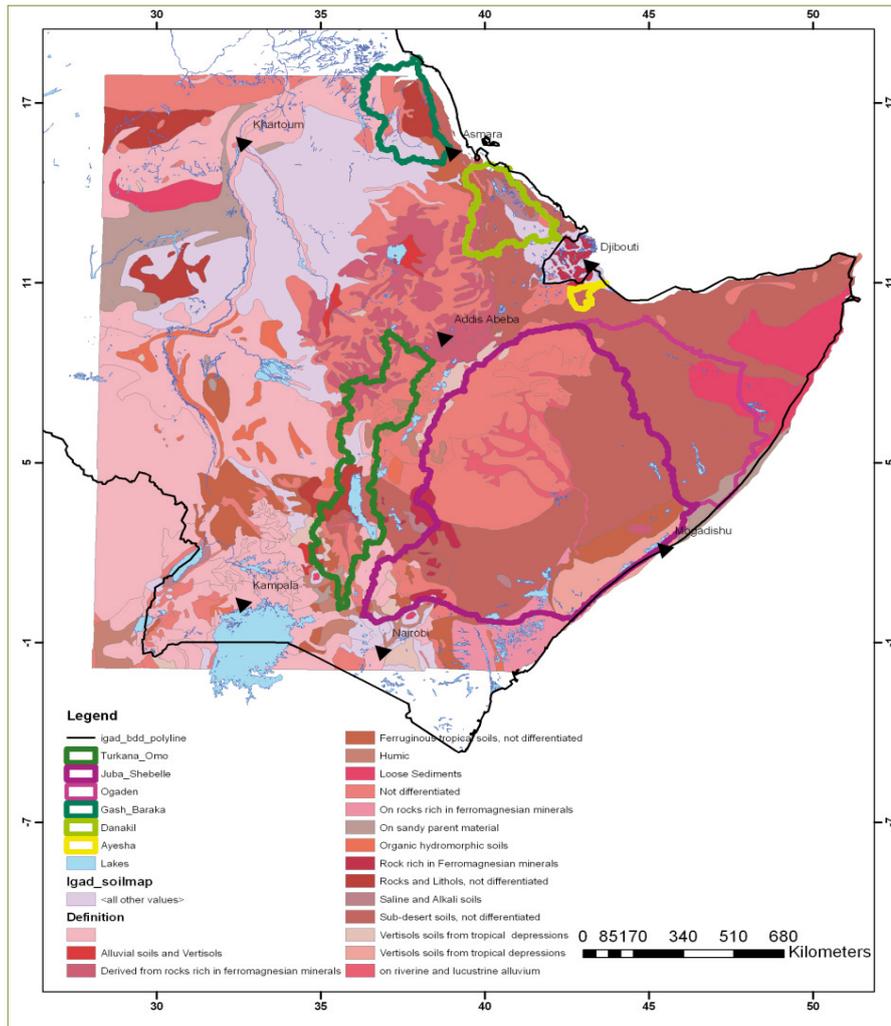


FIGURE 6 : Carte pédologique générale des pays membres de l'IGAD

DESCRIPTION DE LA BD DE L'IGAD (SYNTHÈSE)

Le modèle conceptuel de la base de données commune de la sous-région de l'IGAD vise à atteindre les objectifs suivants :

- Harmonisation des données acquises de différentes sources et compilées sous différents formats dans les rapports des pays;
- La production des données à référence spatiale et la représentation des données ayant utilisé les SIG comme éléments de prise de décision pour la planification régionale;
- La modélisation globale des ressources en eau (ressources d'eau de surface et d'eau souterraine);
- Développement des cartes et des chartes des ressources en eau; et
- Mettre en place une série de stratégies, recommandations et plans d'actions pour permettre aux pays membres de mettre en œuvre et d'exploiter un processus intégré de gestion des ressources en eau transfrontalières.

Le modèle conceptuel de données proposé qui a été développé pour la gestion des ressources en eau transfrontalières vise à capturer la sémantique des phénomènes géographiques qui sont liés à la gestion des ressources en eau, comme les puits de forage, les puits de surface, les sources, les réservoirs, les canaux, les lacs, le prélèvement d'eau, l'évacuation des eaux, les embouchures et la station de contrôle et de suivi des données climatiques et des données hydrologiques.

La source principale de données qui a été utilisée pour l'élaboration de la BD c'est les rapports des pays membres. Une autre source de données possible est internet, FAO et les rapports des Nations Unies. Ce modèle consiste à identifier la source et le format afin de convertir les données en format commun convenu (Figure 7).

1. L'ARCHITECTURE GÉNÉRALE DE LA BD DE L'IGAD⁸

Le Modèle Conceptuel de la Base de données commune de l'IGAD (MCBD), a été adopté par l'OSS en 2007, il consiste à saisir toutes les données disponibles et à développer la structure des données. Pour obtenir un système d'information ouvert et scalaire (évolutif), il faudra d'abord oublier les procédures de traitement, qui sont soumises aux changements; il faudra mettre l'accent sur la partie la plus stable des données en essayant de comprendre avec précision :

⁸. Une BD commune du Système aquifère d'Ullemeden (SAI), OSS, Déc. 2007.

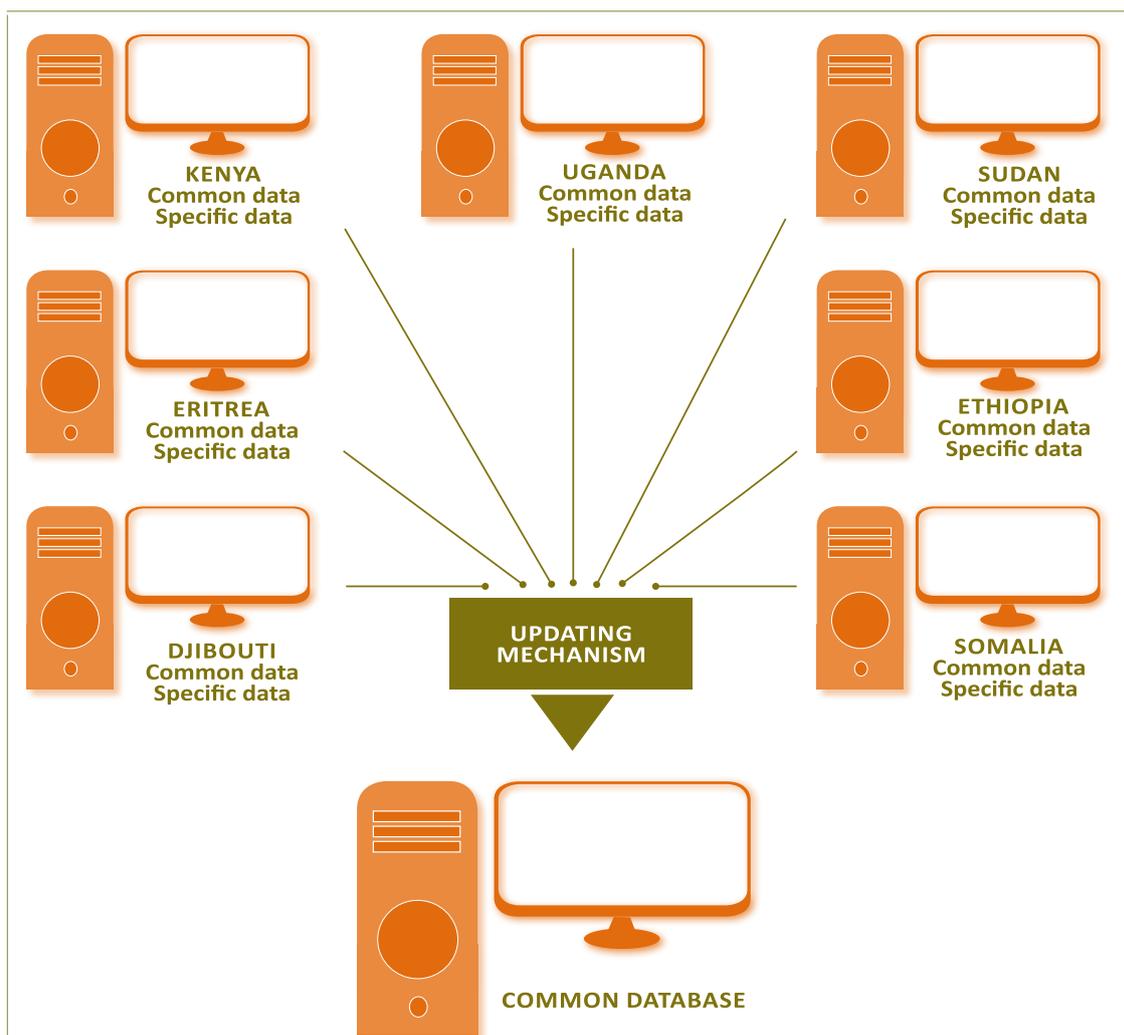


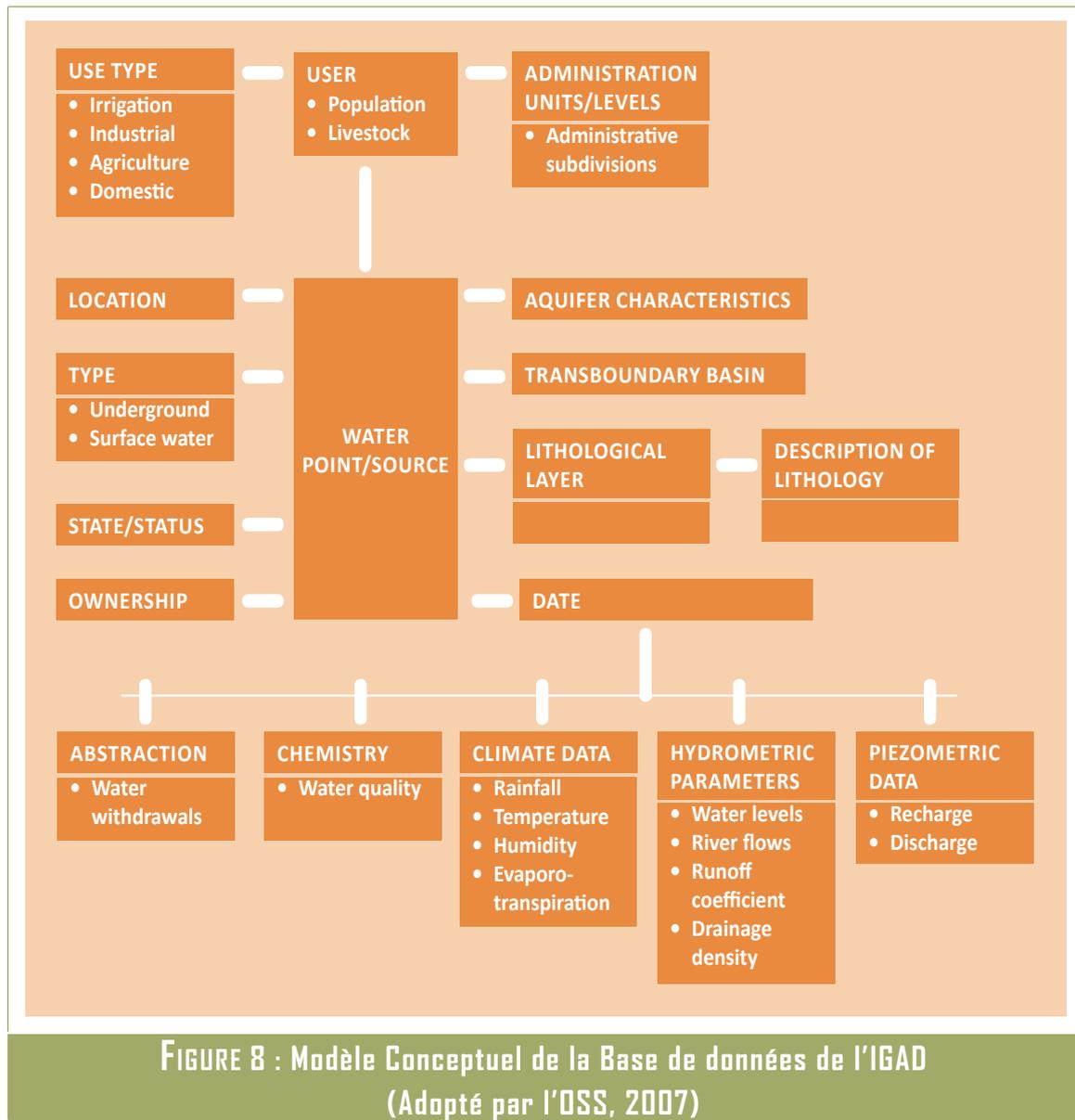
FIGURE 7 : Solution organisationnelle globale de la base de données de l'IGAD.

- les ensembles d'informations (entités) ;
- la nature des liens qui existent entre ces ensembles ;
- les lignes directrices de gestion associées à ces entités.

Cette approche permet de concevoir la représentation la plus proche possible de la réalité perçue. Elle vise à produire un MCB (Figure 8) qui synthétise les entités et les relations à l'aide d'un formalisme dérivé des règles suivantes prévues :

- un puits de forage peut prendre en charge un (1) ou plusieurs aquifères ;
- un puits de forage à une date donnée fournit un rendement donné ;
- un puits de forage peut servir de nombreux utilisateurs ;
- un utilisateur peut être approvisionné par plusieurs puits de forage.

L'identification des relations entre les différents éléments du modèle des données exige une attention accrue afin que les applications qui en découlent puissent répondre aux besoins



des informations attendues. Cette structure présente des avantages sur la possibilité d'une utilisation dans un espace multiutilisateurs et une meilleure stabilité du système pour garantir l'ouverture et la transparence.

2. DESCRIPTION DE LA BASE DE DONNÉES

Sur la base d'une base de données relationnelle destinée aux pays membres de l'IGAD, la conception a été faite avec une structure où les points d'eau/sources sont une clé importante/un tableau primaire pour accéder aux informations. Le schéma général de la BD a été conçu en plusieurs « tableaux » interdépendants par des relations univoques et multiples pour traiter des informations spécifiques (hydrométrie, pluviométrie, aquifère, caractéristiques, hydrodynamique etc.).

La BD couvre les sept domaines thématiques suivants :

- Les ressources en eaux souterraines
- Les ressources en eaux de surface (et les infrastructures hydrauliques)
- La climatologie
- Les unités administratives
- Les utilisateurs des ressources en eaux souterraines
- L'aspect socioéconomique.

Le domaine des eaux souterraines comprend les données qui décrivent :

- L'infrastructure hydraulique mise en œuvre dans le bassin.
- Les caractéristiques de l'aquifère (nom, identificateur, région, direction, transmissivité, perméabilité,
- Coefficient du stockage et ainsi de suite).
- Les données piézométriques mesurées.
- Les retraits de l'aquifère.
- Les données hydro chimiques enregistrées.
- Les analyses des isotopes qui ont été achevées
- Les paramètres hydrodynamiques
- Les informations sur les zones géologiques
- Les données géophysiques
- La qualité de l'eau
- L'hydrochimie

Le domaine des eaux de surface comprend les données suivantes qui décrivent :

- Les infrastructures hydrauliques (barrages) mises en œuvre dans le bassin.
- Description du bassin versant de l'aquifère (nom, identifiant, région de densité du drainage, Coefficient de ruissellement, , pente)
- Les eaux courantes.
- Les lacs
- Liste des stations hydrométriques
- Débit fluvial et sédiments.
- Les données hydro chimiques enregistrées
- Les analyses des isotopes qui ont été achevées
- La qualité de l'eau.
- L'hydrochimie

Le domaine de la climatologie comprend les données qui décrivent:

- Les stations climatologiques.
- La pluviométrie
- Les températures
- L'évapotranspiration

Le domaine des unités administratives comprend les données qui décrivent :

- Les sous sections administratives.
- Taux de croissance par période
- Localités

Le domaine des utilisateurs des ressources en eaux comprend les données liées à/aux :

- Populations
- Zones irriguées.
- Zones industrielles.
- La consommation domestique de l'eau potable.
- La consommation agricole (Irrigation et élevage).
- La consommation industrielle
- Les établissements institutionnels et commerciaux
- Transport (étendues d'eau qui sont navigables)
- Energie-Eau de refroidissement dans les centrales thermiques

Les données socioéconomiques afférentes aux :

Données démographiques :

- Répartition démographique dans les zones rurales et urbaines
- La densité démographique rurale et urbaine
- Les agglomérations rurales et urbaines

Agriculture:

- Utilisation du sol: terres agricoles – terres labourables (arables et permanentes), commerciales et agriculture de subsistance,
- Terres irriguées et terres non irriguées: projets d'irrigation majeurs et mineurs
- Ressources de l'élevage – la répartition du bétail et densités, les routes du bétail, les sources d'eau (lacs, fleuves, ruisseaux, étangs, barrages, les puits de source, etc.)

Infrastructure, industrie et développement de l'environnement :

- Routes, chemins de fer, aéroports et voies navigables,

-
- Les projets d'énergie, les barrages
 - Les établissements publics – éducation, santé, commerce, industrie et développement urbain,
 - Détails des projets qui sont dans le bassin transfrontalier comme les projets d'irrigation, les grandes fermes, les usines et les grandes institutions qui font partie du projet du bassin.
 - Les détails de la qualité de l'eau des points d'eau.
 - Graphiques démographiques qui identifient les importantes concentrations démographiques etc.

Les données des ressources naturelles relatives au :

- Couvert forestier
- Couverture du désert
- Aires de Conservation – parcs nationaux et réserves, et répartition de la faune
- Couverture terrestre y compris, la répartition des grands pâturages libres/sols herbagers, les régions boisées et les forêts – naturelles et plantées, les zones forestières vierges et les arbustes, les lacs et les fleuves
- L'érosion d'exposition
- Les informations géologiques et les données de télédétection

2.1. Le schéma de la BD

Le schéma de la BD est un modèle conceptuel de données (MCD) pendant la phase de conception. Ce schéma (Figure 9) montre le rôle central de la table des "points" qui est lié à la table d'identification (lieu, aspects hydrodynamiques, unité administrative et le bassin transfrontalier) et les tables des variables (géologie, qualité, exploitation, aquifères, usages, etc.). Les relations qui lient la table des « points » aux autres tables peuvent être univoques (1 à 1) ou multiples (1 à plusieurs) comme présenté dans la Figure 9.

2.2. Modèle relationnel

Le modèle relationnel est fondé sur le principe selon lequel le SGBD (système de gestion de la base de données) est structuré sur un ensemble de "tables", dont chacun comprend un ensemble de « champs », et que l'ensemble est géré par des relations définies sans aucune confusion ou ambiguïté (Voir Figure 9). L'efficacité du modèle relationnel consiste en une phase qui ouvre la voie à la mise en œuvre d'un MCBDB au niveau du SGBD. Selon la nature de relations et sur la base des cardinalités provenant des directives de gestion, les procédures de transit ont été appliquées (OSS, 2003). Le modèle relationnel a été testé au niveau de chaque tableau et au niveau de l'ensemble des tableaux, en vue de définir les différentes relations entre le « champ » et les tableaux permettant la combinaison et le traitement des données.

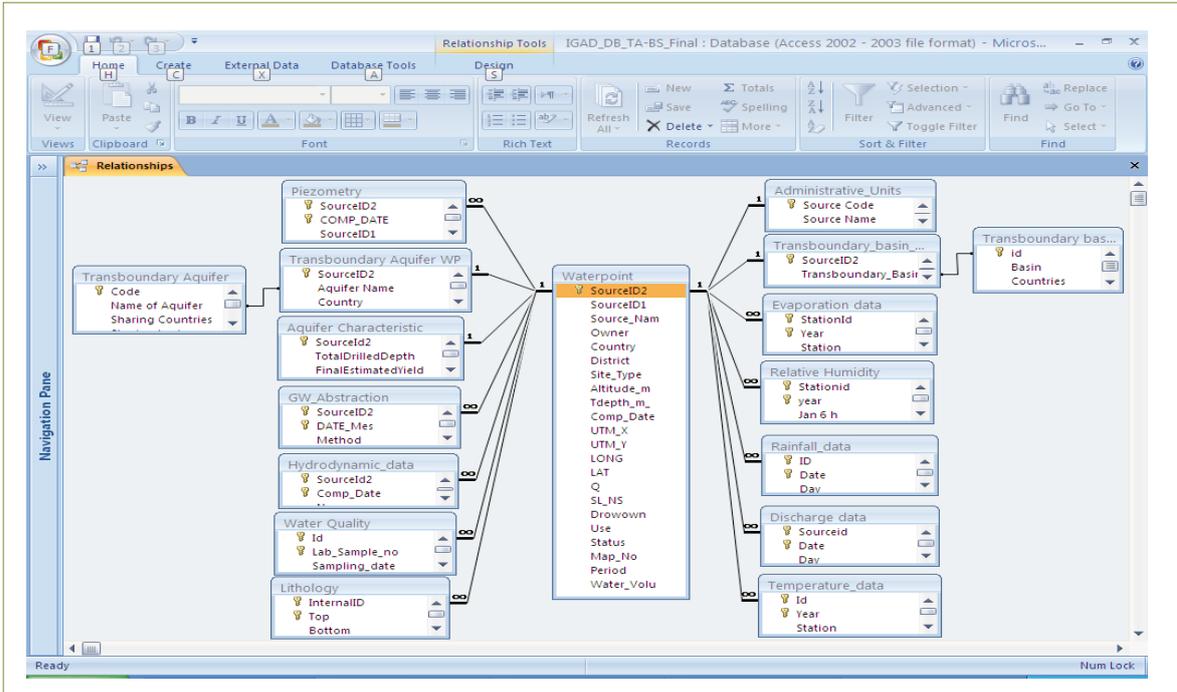
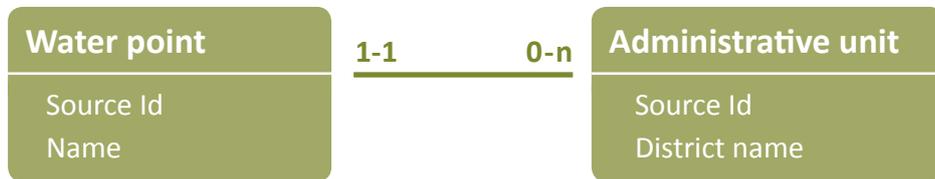


FIGURE 9 : Architecture de la BD de l'IGAD.

La nature des relations qui lient les deux entités est résumée comme suit :

Cas numéro 1: relation "1-1" à "0-n"

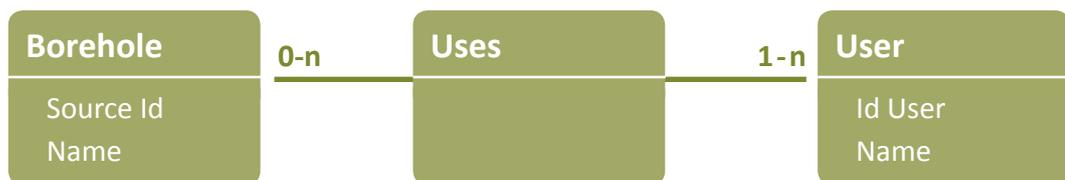


La relation montre que les régions administratives ont zéro ou plusieurs puits forcés. Par conséquent un puits de forage appartient forcément à une région administrative.

Cas numéro 2: Relation "0-n" à "1-n"

Entre le 'puits de forage' et les entités d'« utilisateur » le lien est formulé comme suit :

Le même puits de forage peut être approvisionné par un ou plusieurs puits de forage. Quant à l'utilisateur, il peut être approvisionné par un ou plusieurs puits de forage.



2.3. Tableaux

Dans ce type d'organisation de BD, les tables sont groupées selon des ressemblances spécifiques (puits de forage, précipitations, écoulement, etc.). Ils sont les moyens pour rassembler les données des pays sous une section afin de garantir l'analyse critique, l'harmonisation et l'utilisation ou l'échange à travers les liens établis. Les tables sont des entités de base pour la mise à jour et le traitement des données. Ils doivent répondre à des formats spécifiques où les données et les aspects recherchés sont affichés.

Les tables de la BD de données commune de l'IGAD se composent de deux parties :

- Une partie identification (tableau du point d'eau) qui comprend l'attribution des données d'origine géographique ou un niveau aquifère (pays, statut de l'utilisateur, etc.).
- Une partie variable qui permet l'évaluation des valeurs en temps opportune de la variable considérée (Précipitations, hydrodynamique, température, aquifère, etc.) dans l'espace et dans le temps.

La combinaison de certains champs ou colonnes de deux ou plusieurs tables permet d'extraire une nouvelle table pour se référer à ces légendes communes.

3. DESCRIPTION DU SIG

3.1. Les données SIG fournies

Comme les données/informations fournies étaient hétérogènes, certaines données/informations fournies par les pays membres ont été fichées comme suit :

Les Données SIG de Djibouti :

- Carte climat sous forme de fichiers, en format zonal, six zones mais pas de lecture exact indiquée
- Évapotranspiration sous forme de fichiers pour chaque région. Ceci a été joint à la carte, une carte pour le pays mais pas d'unités pour les lectures
- Carte de la Végétation pour chaque région, elle a été utilisée pour faire une carte pour le pays comme présentée dans la Figure 10
- Les précipitations moyennes
- Géologie (chaque lithologie dans un fichier distinct). Ceci a été utilisé pour faire la carte géologique de Djibouti.
- Carte pédologique sous forme de fichier pour tout le pays comme présentée dans la Figure 11.

Données SIG du Kenya;

- Carte de polygones vectoriels des risques d'érosion, tirée de la prospection des sols du Kenya de 1995 avec les catégories suivantes; Risque très grave, risque grave, risque modéré, risque faible, aucun risque, le plan d'eau est présenté dans la Figure 12.

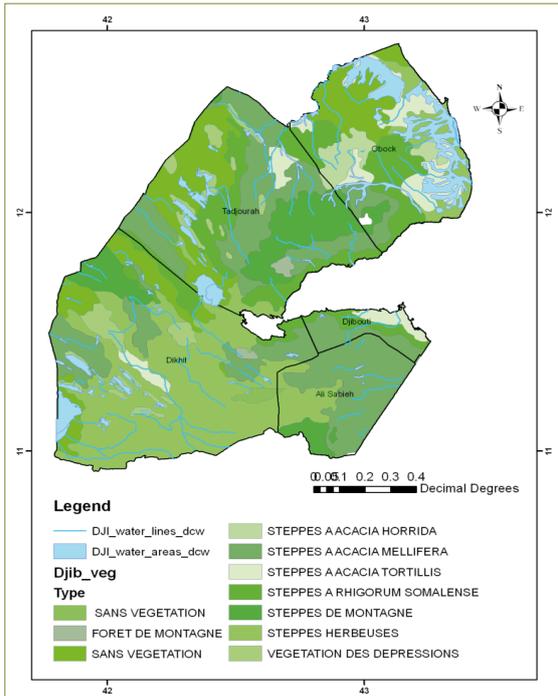


FIGURE 10 : Le couvert végétal de Djibouti

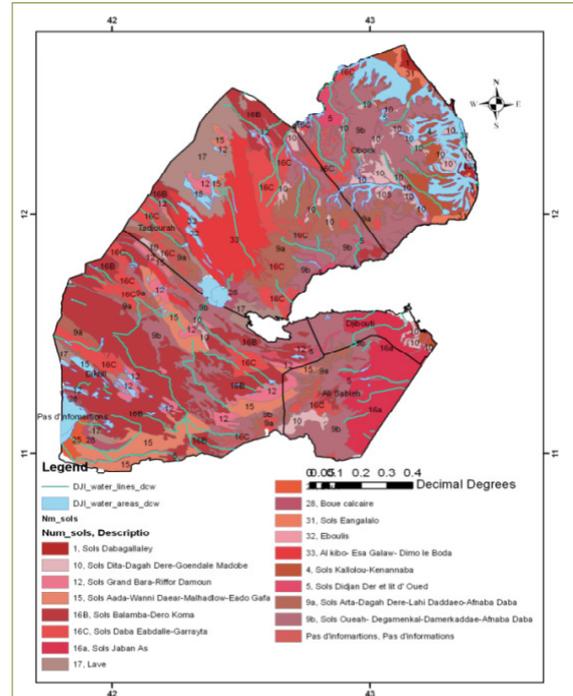


FIGURE 11: carte pédologique de Djibouti

- Carte du couvert terrestre sous forme de carte de polygones vectoriels, tirée de la prospection des sols du Kenya de 1995.

- Carte géologique sans légende explicative.

Données SIG du Soudan :

- Ressources terrestres sous forme de fichier de la carte du Soudan

- Moyenne annuelle des précipitations, sous forme de fichier de la carte 1961_1990

- Moyenne annuelle des températures sous forme de fichier carte.

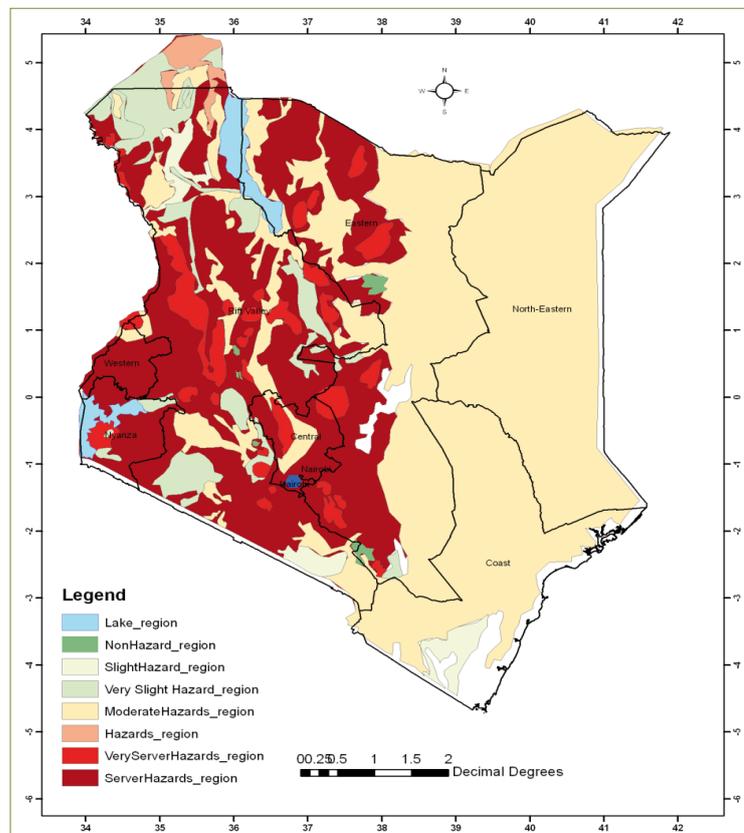


FIGURE 12 : Carte des risques du Kenya.

4

SYNTHÈSE DU CONTENU

Le projet a permis de recueillir, disposer et homogénéiser l'ensemble des informations de l'IGAD provenant des états membres de l'IGAD. En fait, une structure de base de données relationnelle, cohérente et scalaire (évolutive) qui permet un traitement facile des données a été créée au niveau des pays membres de l'IGAD.

Parmi les avantages les plus importants du système mis en place, on peut citer :

- Une base de données commune pour tout le bassin : structure, codification, traitement des procédures.
- Une référence géographique commune que les pays membres partagent: système de projection, couches de base et MCD.

Pour une fois, l'ensemble des informations spécifiques au bassin transfrontalier de l'IGAD a été harmonisé et peut être partagé par les administrations membre qui gèrent les ressources en eau du bassin. Ces informations peuvent par conséquent être utilisées pour aider à la prise de décision relative au développement, et la planification des ressources en eau du bassin, son adaptation à la cartographie à l'échelle du bassin versant lui confère une valeur ajoutée par rapport à son statut dans les bases de données nationales des sept pays.

1. SYNTHÈSE DE LA BASE DE DONNÉES

A la fin du projet le nombre total des points d'eau recueillis dans les pays membres de l'IGAD et inclus dans le tableau des points d'eau de la BD régionale de l'IGAD est 83,064 (quatre vingt trois mille soixante quatre) répartis comme indiqué dans le Tableau 10. Le nombre de points d'eau comprend: les forages et les puits creusés/ les sources des puits de surfaces, les stations météorologiques, les données hydrodynamiques, etc. L'accumulation de ces informations n'a pas manqué de refléter certaines redondances dues aux différentes sources de collecte de données.

Pays	Nombre de points d'eau
Djibouti	1641
Erythrée	2351
Ethiopie	5227
Kenya	20026
Soudan	30
Ouganda	53789
Total	83064

TABLEAU 10. Répartition des points d'eau.

2. CARACTÉRISTIQUES DES POINTS D'EAU

Le point d'eau dans la BD de l'IGAD comporte toutes les informations sur les entités relatives

aux ressources en eau dans les pays membres. Cette table est la principale table de la BD et elle est liée à toutes les données variables de la BD. Certains des champs de données importantes dans la table des points d'eau sont indiqués dans le Tableau 11.

SourceID2	SourceID1	Nom de la Source	Type du Site	Altitude (m)	Profondeur total (m)	Date d'Achèvement	UTM (X)	UTM (Y)	LONG	LAT	Utilisation	Statut	Période
-----------	-----------	------------------	--------------	--------------	----------------------	-------------------	---------	---------	------	-----	-------------	--------	---------

TABLEAU 11. Caractéristiques des points d'eau.

La colonne **SourceID1** comporte la clé originale d'identification. De nouvelles clés uniques ont été créées pour chaque entrée qui n'avait pas de sourceID1, et sont stockées dans **SourceID2**. Si la clé d'identification est unique, par exemple DWD001, ensuite elle a été maintenue dans les deux colonnes. Si la clé d'identification n'était qu'un entier qui pourrait être répétée dans un autre pays membre, alors une clé d'identité unique a été créée. Par exemple si un point d'eau avait une clé d'identification "200", et ça provient de l'Ethiopie, dans ce cas la clé unique d'identification créée serait 200_Eth. Si la source n'avait pas de clé d'identification, une nouvelle clé unique serait créée. Un exemple x_Eth_1, signifie que le point d'eau provient de l'Ethiopie, c'est le premier sans une identité (id) (x). Tout ceci a été accompli pour garder toutes nos données dans la BD et éviter toute duplication. Par conséquent, Sourceid2 était **une clé primaire** et ainsi ceci a été répété dans tous les tableaux pour un enchaînement facile et pour créer des relations.

Nom de la source définit le nom local donné à la source d'eau, dans certains endroits c'est le même nom que celui d'un village, mais dans d'autres endroits c'est différent. Parfois le nom de la source définit le peuple/groupe de personnes utilisant la source.

Type du Site décrit le type de source. Dans la BD de l'IGAD, il s'agit notamment de puits de forage, puits de surfaces, stations météorologiques, station de jaugeage du fleuve etc.

Altitude (m) désigne la hauteur de l'emplacement au dessus du niveau de la mer.

Profondeur totale (m) représente la profondeur forée de ces points d'eau qui sont des forage, des puits de surface ou des puits creusés à la main.

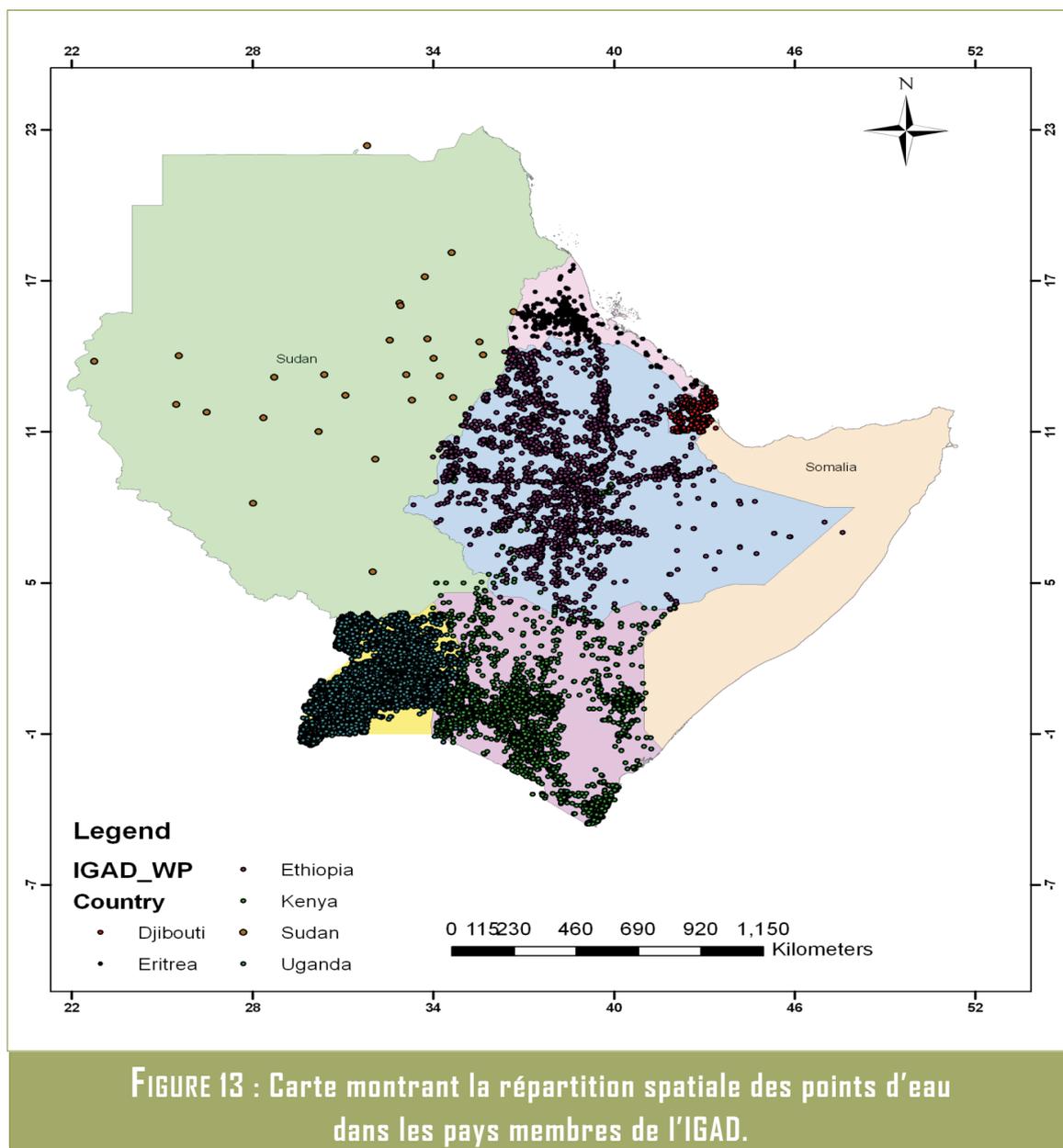
Date d'achèvement représente les dates auxquelles la construction des points d'eau a été achevée. Si s'agit d'un puits foré. Ça signifie lorsque le forage du puits a été achevé et que l'on pourrait pomper l'eau. S'il s'agit de la qualité de l'eau, cela signifie que l'échantillonnage a été effectué.

UTM_X et UTM_Y représentent les coordonnées d'origine locale fournis par les pays membres et qui ont été par la suite convertis en **Long/Lat**. Les coordonnées Long/Lat. ont été restituées pour produire la carte indiquée dans la Figure 13. Les points d'eau sans coordonnées Long et Lat n'ont pas été restitués et leur spatialité est inconnue.

Différentes sources d'eau sont utilisées différemment. Bien que la majorité soit des

communautés où elles ont été construites, d'autres sont destinées à l'irrigation et d'autres sont utilisées par l'industrie etc., et tout ceci est indiqué dans la colonne "Utilisation".

La colonne "Statut" comporte des informations sur la fonctionnalité de la source d'eau. Il y a des points d'eau qui ont fonctionné pendant une certaine période et d'autres pendant une période bien spécifique uniquement ou des enregistrements ont été effectués pendant une période bien spécifique. Toutes ces informations sont stockées dans la colonne « période ».



2.1. Répartition par unité administrative

La répartition des informations géographiques est une option de base qui permet son

identification ultérieure, étant donné que cette approche est celle qui a été utilisée par l'administration pour classer les points d'eau et faire le suivi des ressources en eau dans ses pays membres. Le choix de l'unité administrative de base a été dictée par le classement administratif adopté par le pays (Tableau 12), tout en gardant à l'esprit la nécessité d'avoir une échelle d'harmonisation entre les pays pour éviter de fournir plusieurs détails ou manquer de précision lors de la restitution des données pour les différentes applications utilisées dans le cadre du projet.

Pour ce projet, toutes les données de l'unité administrative ont été téléchargées à partir de la Base de Données Spatiale de Global Administrative areas (GADM)⁹. GADM est une base de données spatiale de la localisation des régions administratives du monde (ou frontières administratives) pour une utilisation dans les SIG ou dans des logiciels similaires. Les régions administratives dans cette base de données sont les pays et les sous sections du niveau inférieur, comme l'état et le district administratifs et la région, la province et la zone administratives. Le niveau des sous sections varie selon le pays (les pays membres de l'IGAD) comme indiqué dans le Tableau 12. Toutes les sources ayant des coordonnées ont été restituées sur la carte et leurs unités administratives ont été définies jusqu'au niveau le plus bas possible.

Sous-sections	Adm0	Adm1	Adm2	Adm3	Adm4	Adm5
Djibouti	Pays	Région	Zone			
Ethiopie	Pays	Région	Zone	Wareda		
Kenya	Pays	Pays	District	Division	Emplacement	Sous-emplacement
Soudan	Pays	Etat	Localité	Unité administ. rurale		
Ouganda	Pays	Région	District	Pays	Sous-pays	Parish
Erythrée	Pays	Région	Zoba	Sub-Zoba		

TABLEAU 12. Résumé des sous-sections administratives dans les pays membres de l'IGAD.

2.2. Répartition par bassin transfrontalier

La répartition des points d'eau dans le bassin transfrontalier telle qu'elle est dans la région, elle est indiquée de la même manière dans le Tableau 13 ci dessous. Le nombre total des points d'eau dans le bassin transfrontalier est de 33, 089 (trente trois mille quatre vingt neuf). C'est environ 40% de la totalité des points d'eau saisis au cours du projet. Parmi les données recueillies, la majorité est du bassin du Nil, ce qui peut s'expliquer par des projets ultérieurs en cours dans

Bassin Transfrontalier	Nombre de points d'eau
Ayesha	1
Danakil	166
Gash_Baraka	110
Juba_Shebelle	2015
Nile Basin	28945
Ogaden	7
Turkana_Omo	1845
Total	33089

TABLEAU 13. Nombre de points d'eau dans le bassin transfrontalier.

⁹. Base de données GADM de la *Global Administrative Areas*.

le bassin du Nil et la taille importante du bassin. Sinon certains bassins comme Ayesha et Ogaden ont moins de 10 points d'eau.

2.3. Répartition par aquifère

Le nombre total des points d'eau dans les aquifères transfrontaliers est de 11,948 (Onze mille neuf cent quarante huit) qui représente environ 14 % du nombre total des points d'eau recueillis au cours du projet, voir Tableau 14.

Aquifère	Nombre de points d'eau
Awash Valley Aquifer	1435
Merti Aquifer	37
Mt. Elgon Aquifer	9548
Ogaden-Juba Aquifer	287
Rift Valley Aquifer	147
Upper Nile basin	494
Total	11948

2.4. Répartition par type

Les points d'eau type puits forés représentaient la majorité dans la BD. C'est environ 54 % de la totalité des points d'eau collectés au cours du projet. Plus de détails sur le pourcentage des sources d'eau figurent dans le chapitre de l'analyse statistique.

TABLEAU 14. Les points d'eau par aquifère transfrontalier

2.5. Paramètres des variables

Les paramètres des variables peuvent être devisés en variables spatiales et en variables temporelles. Dans la BD de l'IGAD, ils comprennent les données hydrodynamiques, hydrométriques, lithologiques et pluviométriques, etc.

Les paramètres hydrodynamiques. Le tableau 'Hydrodynamique' regroupe les données relatives aux caractéristiques hydrodynamiques de la région des aquifères (coefficient d'emmagasinement et transmissivité) notamment les valeurs de transmissivité déduites de l'interprétation du test de pompage. Les données hydrodynamiques ont été fournies par deux pays comme indiqué dans le Tableau 15.

Pays	Nombre d'enregistrements
Djibouti	130
Kenya	12689
Total	12819

TABLEAU 15. Nombre d'enregistrement de données Hydrodynamiques par pays.

Lithologie. Le tableau de "Lithologie" comprend les données tirées des logs de forages. Le tableau a été arrangé de telle façon à avoir les frontières lithologiques (toit et mur ont été saisis) et la description de la géologie. Peu de pays ont fourni ce type d'informations comme indiqué dans le Tableau 16.

Pays	Nombre d'enregistrements
Djibouti	28
Ethiopie	3173
Total	3201

TABLEAU 16. Nombre d'enregistrement de données lithologiques par pays.

Données pluviométriques. le tableau des "données pluviométriques" comprend les données quotidiennes et les moyennes mensuelles. Le Kenya a la majorité des

Pays	Nombre d'enregistrements
Djibouti	873
Ethiopie	72
Kenya	67286
Soudan	27
Total	68258

TABLEAU 17. Nombre d'enregistrements de données pluviométriques par pays.

enregistrements parce qu'il a fourni les données quotidiennes. Le Tableau 17 ci-dessous résume les enregistrements des données pluviométriques par pays.

Données du débit. dans le « tableau des données de débit », il y a des informations relatives aux débits des fleuves (entrée et sortie), à la sédimentation, aux bassins versants et aux sous-bassins versants des fleuves, à la perte des sols, etc. le Kenya et l'Ouganda fournissent des données quotidiennement, c'est pour cette raison que le Kenya a le plus grand nombre d'enregistrement comme indiqué dans le Tableau 18.

Evaporation. Le tableau des données d'évaporation comprend les moyennes mensuelles des stations météorologiques. Seuls le Djibouti et le Kenya ont fourni des données sur l'évaporation, voir Tableau 19.

L'extraction des eaux souterraines. Des informations rares ont été fournies sur l'extraction des eaux souterraines avec plusieurs champs sans informations/sans données. Les informations fournies étaient surtout des informations sur le rendement à la date d'achèvement des sources d'eau. Il n'y a pas d'autres rendements qui ont été mesurés. Voir le Tableau 20.

Qualité de l'eau. pour la table des données relatives à la qualité de l'eau, de bonnes informations ont été recueillies. La plupart des informations de base sur l'analyse de la qualité de l'eau ont été fournies, il y a des informations sur le Ph, la Température, la couleur, la Conductivité, la Totalité des Sels Dissous (TSD), la Turbidité, la dureté totale, Na, K, SO₄, CO₃, N, Cl, SiO₄, Mg, Fe, etc. Tableau 21 résume les enregistrements relatifs à la qualité de l'eau par pays.

D'autres données sur la température, l'humidité relative, les caractéristiques de l'Aquifère et les données Piézométriques ont été saisies dans la BD. Ces quatre ensemble de données étaient rares et provenaient surtout de l'Ouganda, du Djibouti et du Kenya.

Pays	Nombre d'enregistrements
Djibouti	182
Ethiopie	160
Kenya	65535
Ouganda	1959
Total	67836

TABLEAU 18. Nombre d'enregistrements des données relatives au débit par pays.

Pays	Nombre d'enregistrements
Djibouti	133
Kenya	76
Total	209

TABLEAU 19. Nombre d'enregistrements des données d'Evaporation par pays.

Pays	Nombre d'enregistrements
Ethiopie	985
Kenya	9772
Total	10757

TABLEAU 20. Nombre d'enregistrements des données relatives à l'extraction des eaux souterraines par pays

Pays	Nombre d'enregistrements
Djibouti	125
Erythrée	1522
Ethiopie	10
Kenya	14688
Soudan	1
Ouganda	553
Total	16899

TABLEAU 21. Nombre d'enregistrements des données sur la qualité de l'eau par pays.

3. SYNTHÈSE DU SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE (SIG)

Le système d'information géographique de l'IGAD (GIS IGAD) est un ensemble de logiciels pour produire une représentation cartographique des données existantes dans la base de données commune. Le support pour les cartes numérisées requises pour cette présentation a été développé comme activité séparée par différents titulaires de contrat dans le cadre du projet.

Le SIG utilisé pour représenter le SIG de l'IGAD a été conçu comme partie intégrante de tout le système d'information (conçu pour de très grands besoins), étant donné que toutes les informations descriptives des objets géographiques ont été prévues dans la structure de la base de données. L'objectif principal est de stocker chaque information dans un domaine (pas de redondances).

3.1. Système de projection

Pour intégrer les données recueillies des sept pays membres de l'IGAD, le système commun des coordonnées est requis. Les sept pays ont été couverts par environ huit systèmes de coordonnées Mercator Transverse Universelle (UTM) comme indiqué dans la Figure 14.

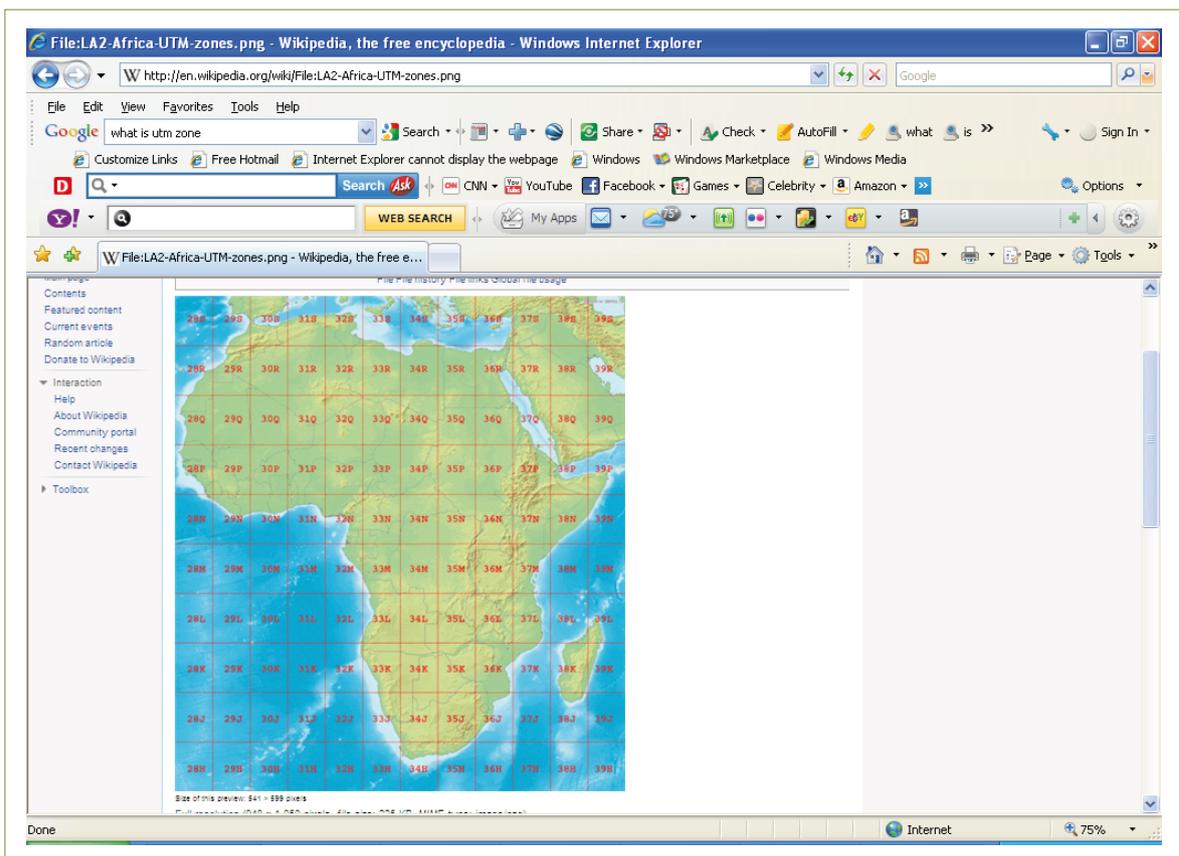


FIGURE 14 : UTM pour les Pays Africains.

Le système de coordonnées UTM est une méthode basée sur une grille d'emplacements spécifiques sur la surface de la Terre, c'est une application pratique d'un système de

coordonnées Cartésien bi dimensionnel. Il s'agit d'une représentation à position horizontale, i.e. Elle a été utilisée pour identifier les emplacements sur la terre indépendamment de la position verticale, mais elle est différente de la méthode traditionnelle de la latitude et de la longitude à plusieurs égards. Le système UTM n'est pas une projection cartographique unique. Le système par contre utilise une série de soixante zones, chacune est basée sur une projection Mercator Traverse spécifiquement définie.

En raison des défis auxquels les différentes zones du système de coordonnées UTM sont confrontées, le Système de Coordonnées Géographiques (WGS, la projection WGS 1984 a été adoptée pour ce projet.

Un système de coordonnées géographiques (WGS) utilise une surface sphérique en trois dimensions pour définir les emplacements sur la terre. Un WGS est souvent incorrectement appelé une donnée, mais une donnée est seulement une partie du WGS. Un WGS comprend une unité angulaire de mesure, un méridien origine, et une donnée (basée sur une sphéroïde). Le sphéroïde définit la taille et la forme du modèle de la terre, alors que la donnée connecte le sphéroïde à la surface de la terre.

Dans le WGS, un point est cité comme source de référence sur la base de ses valeurs de longitude et de latitude. La Longitude et la latitude sont des angles qui sont mesurés à partir du centre de la terre vers un point sur la surface de la terre. Les angles sont souvent mesurés en degrés (ou en grades). L'illustration suivante montre le monde comme un globe avec les valeurs de longitude et de latitude:

Ainsi, toutes les coordonnées fournies au UTM ont été converties vers le WGS adopté, afin d'être restituées sur les cartes communes. Pour faciliter le processus de conversion des couches graphiques vers le WGS, la Longitude et la Latitude, les paramètres mentionnés ci-dessus ont été intégrés dans le logiciel Oasis Montaj et ensuite transférés vers ARCGIS 9.3.

3.2. Coordonnées

Le nombre des points d'eau ayant des coordonnées étaient de 71 %, ce qui exclut 29 % d'être affichés, visualisés et analysés spatialement, voir Tableau 22 ci-dessous. Et la plupart d'entre eux dont les unités administratives n'étaient pas définies et ne pouvaient pas être définies.

Les points d'eau sans coordonnées	23871	28.73808
Les points d'eau ayant des coordonnées	59193	71.26192
Total	83064	

TABLEAU 22. la répartition des coordonnées.

4. AFFICHAGE ET VISUALISATION DES DONNÉES

Après avoir saisi tous les points d'eau fournis par les pays membres de l'IGAD, c'est le bon moment de les afficher et de les visualiser pour mieux générer les commentaires quant à leur répartition spatiale.

L'affichage et la visualisation ont eu lieu sur ARCGIS 9.3 qui accepte la saisie directe du

tableau à partir de la BD.

Ci-dessous la répartition spatiale des points d'eau par pays membre :

4.1. Djibouti

Les points d'eau sont bien répartis dans le pays (Figure 15); y compris les stations hydrodynamiques, les stations météorologiques, les stations Piézométriques de suivi et les stations de jaugeage des fleuves. Par ailleurs ceux qui n'avaient pas de coordonnées, ne pouvaient pas être restitués.

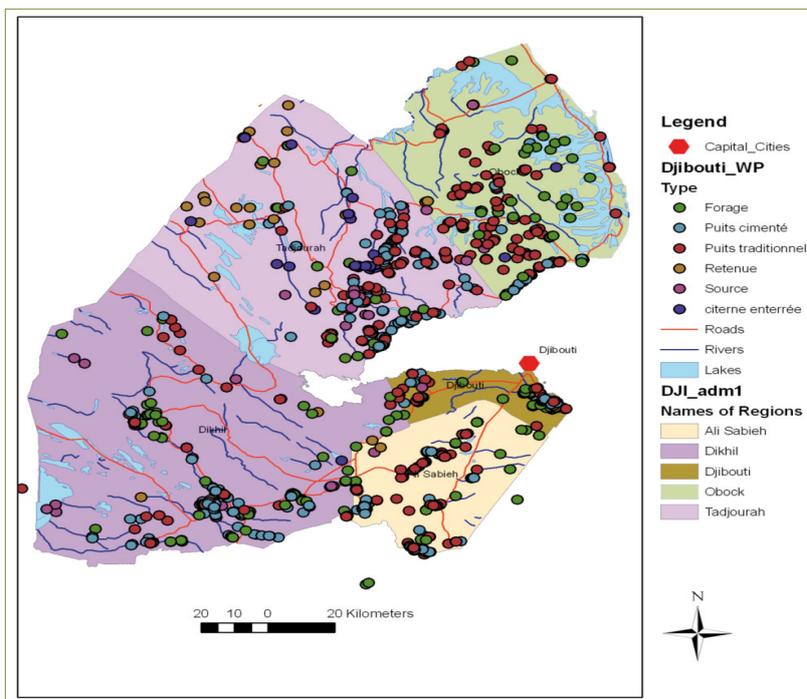


FIGURE 15 : Répartition des points d'eau dans l'unité administrative 1 (région) à Djibouti (DJI_adm1).

4.2. Erythrée

La répartition des puits forés est concentrée dans la région du centre (Maekel), et c'est la région où se trouve la capitale de l'Erythrée (Figure 16). Il est également possible que la densité démographique soit plus importante dans cette région comparé à d'autres régions.

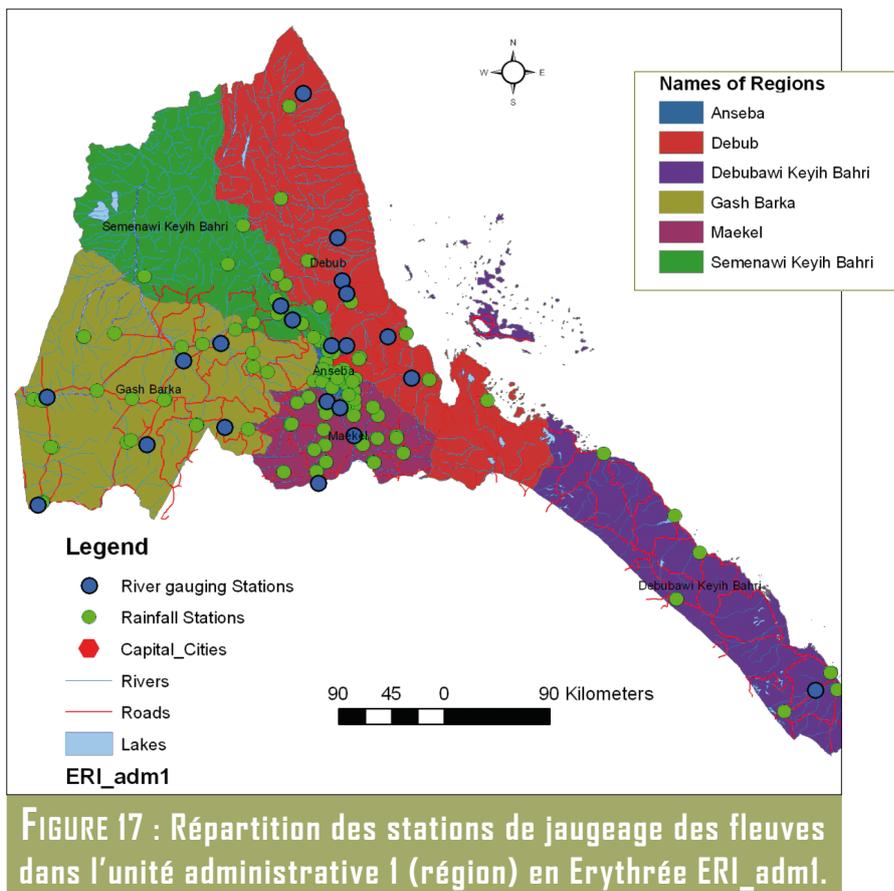
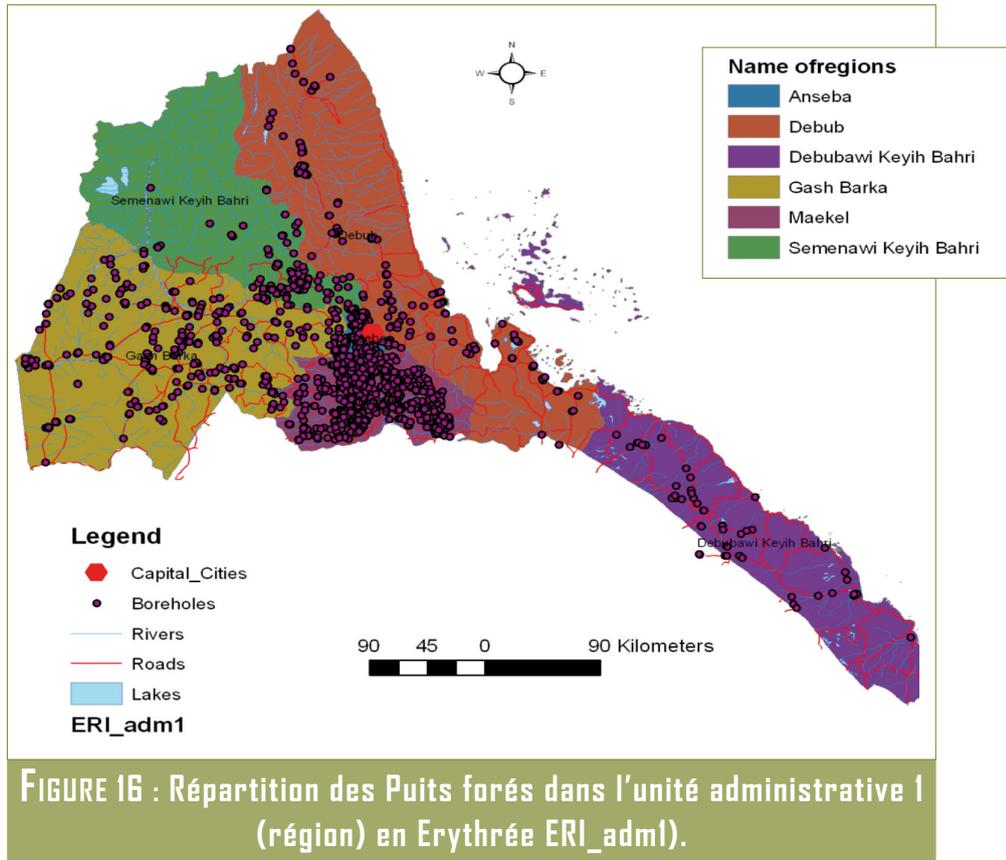
La répartition des stations de jaugeage pluviométriques est assez uniforme au nord de l'Erythrée, bien que dans le sud il n'y en ait pas, alors que les stations météorologiques (station pluviométrique) suivent la même tendance que la répartition des puits forés (Figure 17).

4.3. Ethiopie

La répartition spatiale des forages n'est pas uniforme (Figure 18). Il y a très peu de forages dans le sud est de l'Ethiopie. En revanche les forages sont concentrés au Centre et au Nord Ouest. Et en ce qui concerne les stations météorologiques c'est pire, elles sont uniquement restituées au centre et au sud est de l'Ethiopie (Figure 19). Les sources également suivent la même tendance; elles sont plus concentrées au centre et au nord ouest de l'Ethiopie (Figure 20).

4.4. Kenya

La répartition spatiale des forages du Kenya est assez bonne, bien que ; le centre et la Région de la Vallée du Rift ont plus de forage comparé aux autres régions du pays (Figure 21).



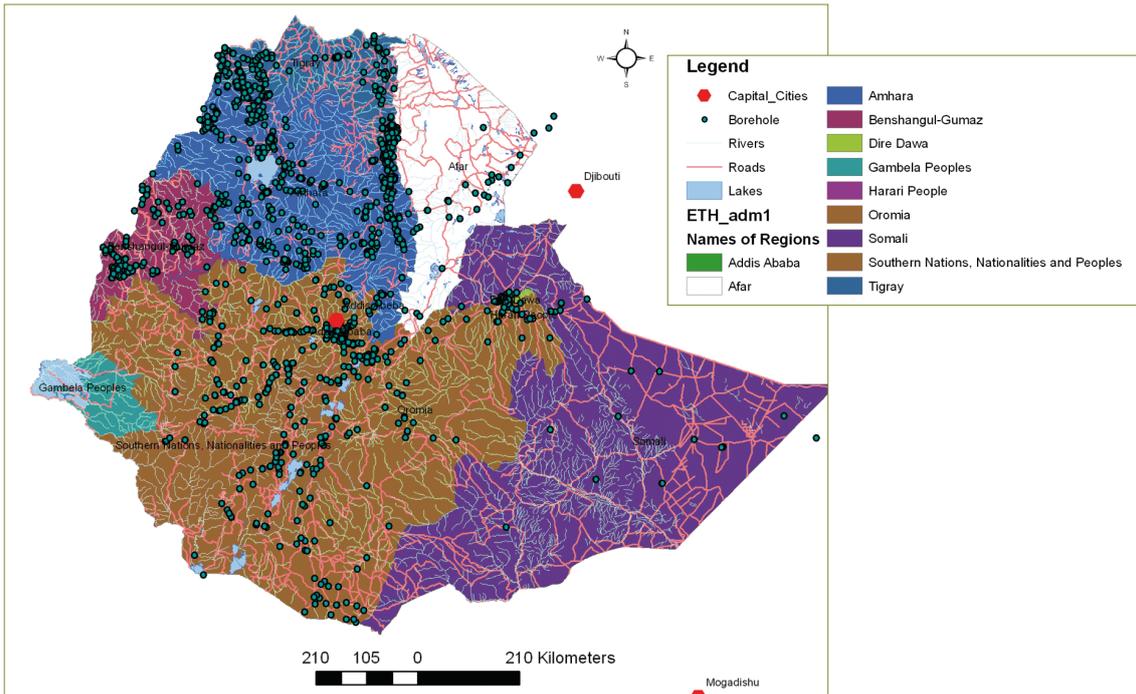


FIGURE 18 : Répartition des puits et forages dans l'unité administrative 1 (Etat administratif) en Ethiopie ETH_adm1).

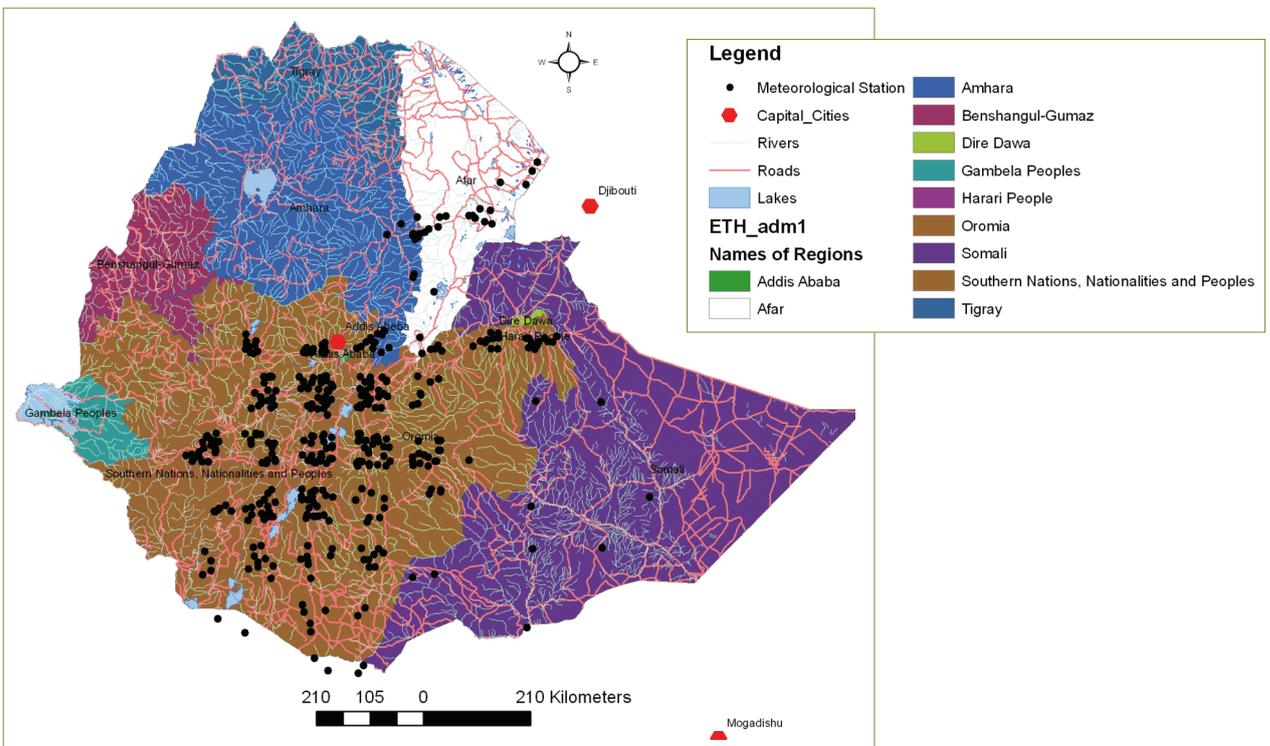


FIGURE 19 : Répartition des stations météorologiques dans l'unité administrative 1 (Etat administratif) en Ethiopie ETH_adm1).

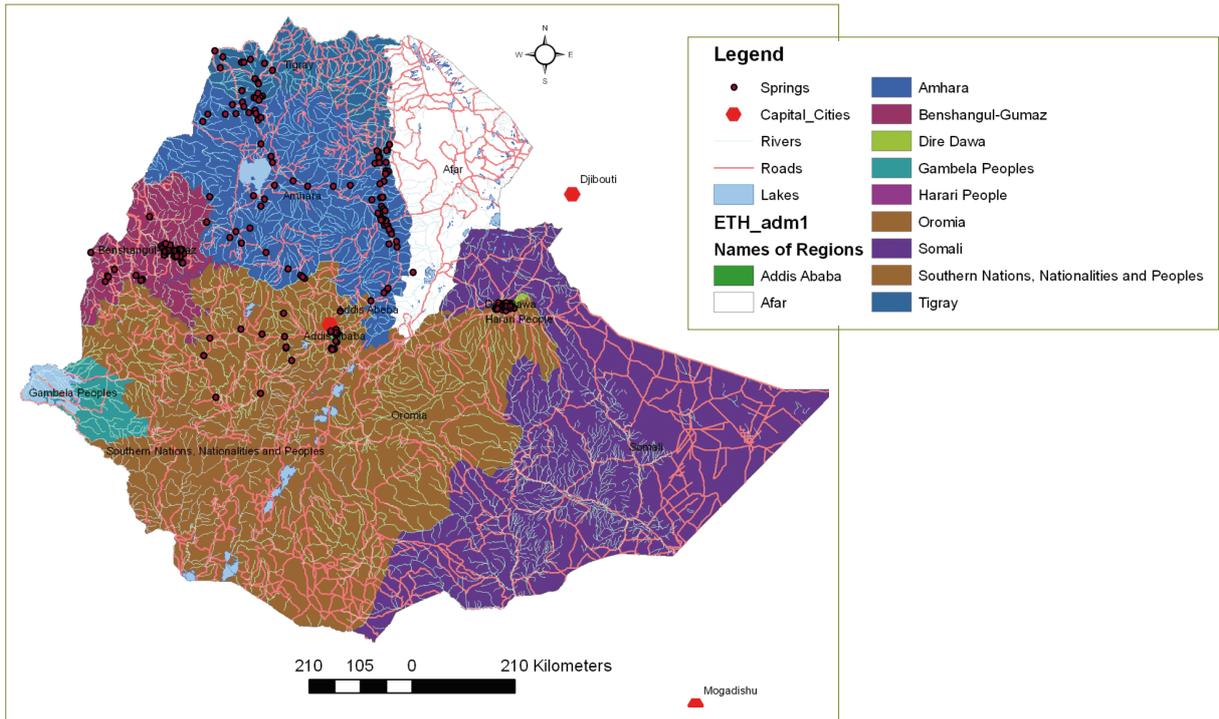


FIGURE 20 : Répartition des sources dans l'unité administrative 1 (Etat administratif) en Ethiopie ETH_adm1).

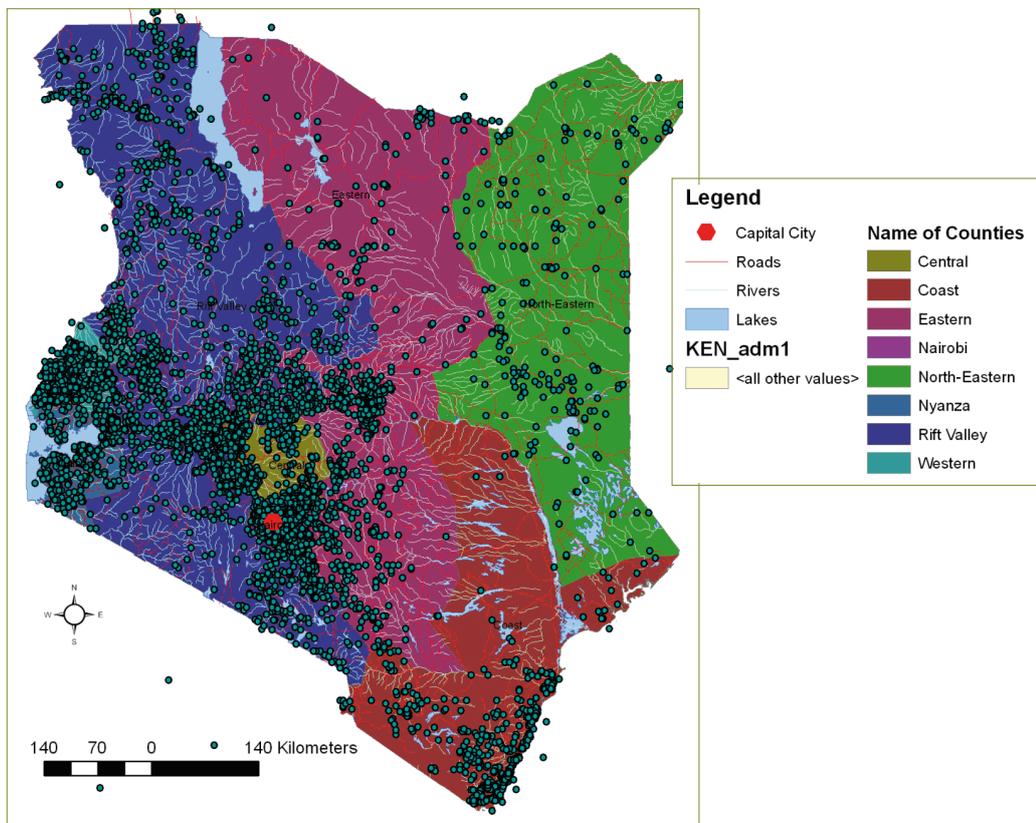
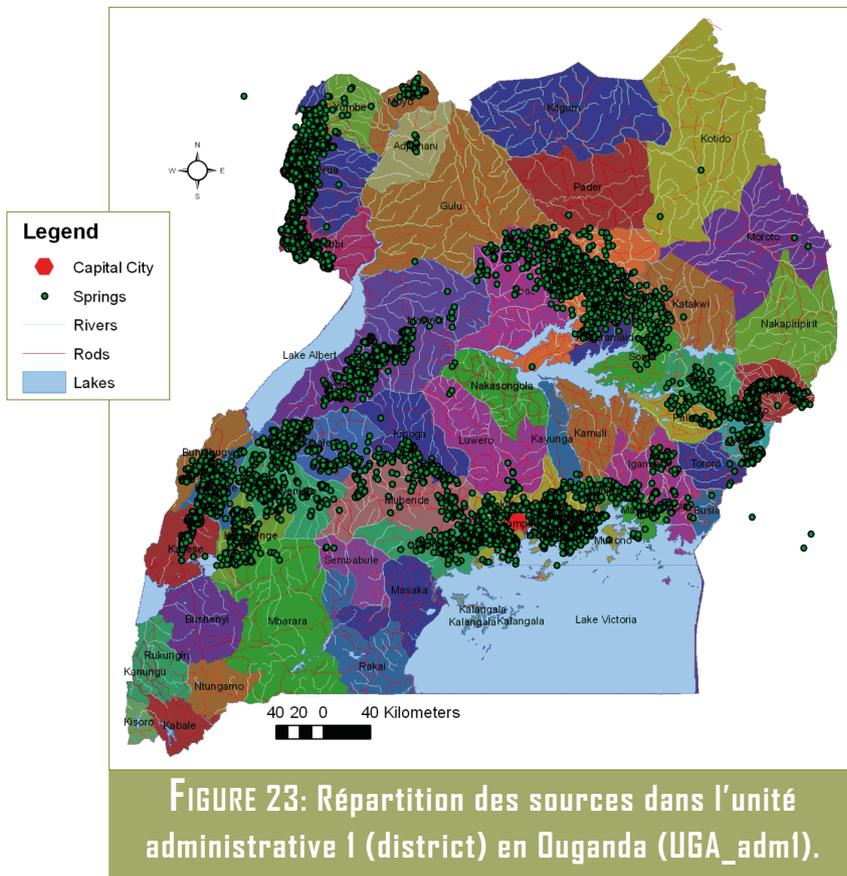
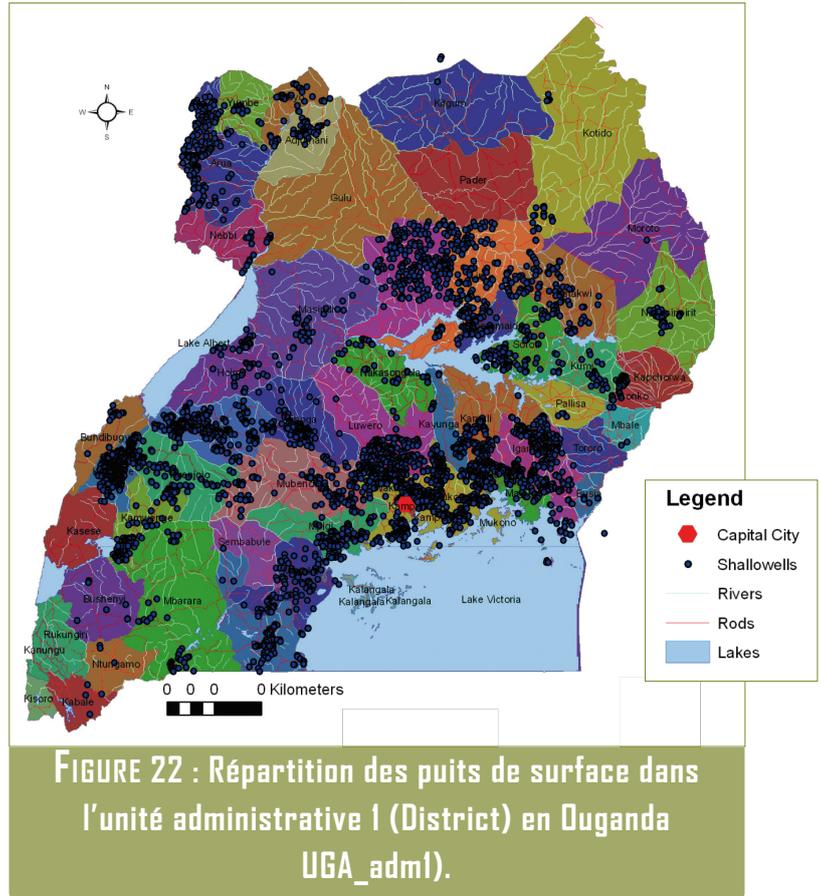


FIGURE 21: Répartition des puits et forages dans l'unité administrative 1 (pays) au Kenya KEN_adm1).

4.5. Ouganda

La répartition des puits de surface en Ouganda n'est pas uniforme (Figure 22); On se demande s'ils ont été creusés dans des districts spécifiques. C'est parce que comme indiqué ci-dessous dans la carte, ils existent uniquement dans des districts spécifiques et dans des agglomérations. Ceci s'applique également aux sources protégées (Figure 23). Les stations d'écoulement se situent près des fleuves (Figure 24). En ce qui se concerne les stations météorologiques, la répartition est assez uniforme, bien que nous ayons un trop grand nombre de stations restituées en dehors de l'Ouganda (Figure 25).



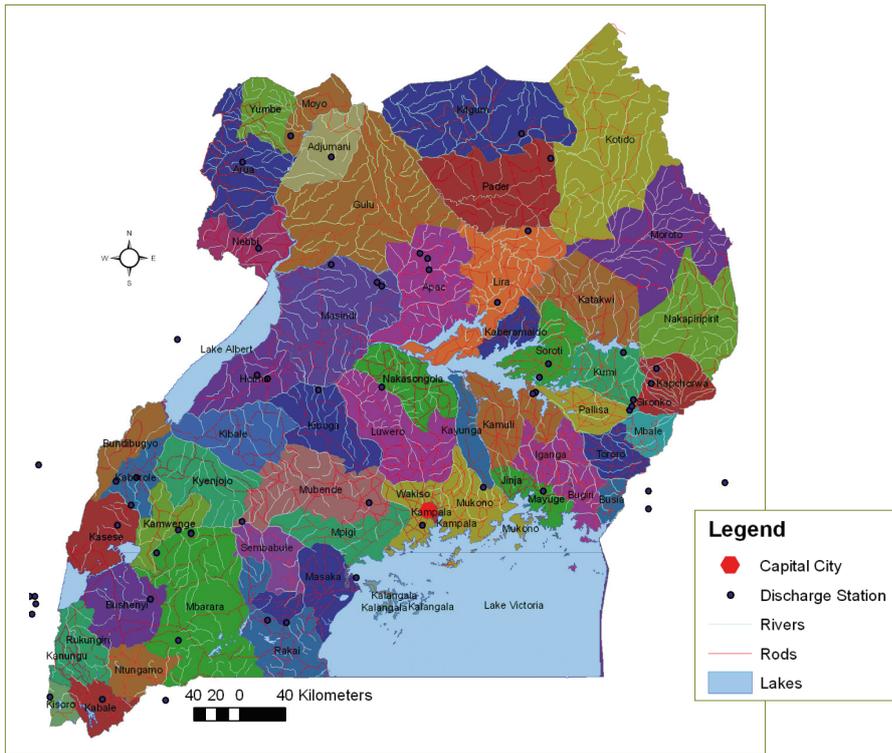


FIGURE 24 : Répartition des stations de jaugeage dans l'unité administrative 1 (District) en Ouganda (UGA_adml).

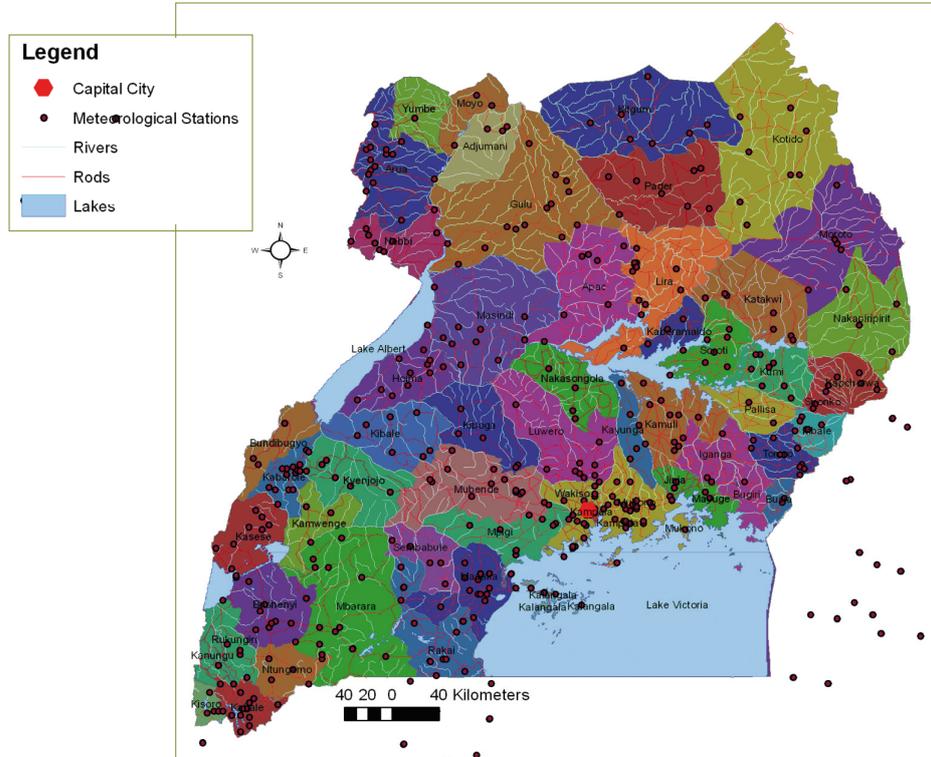
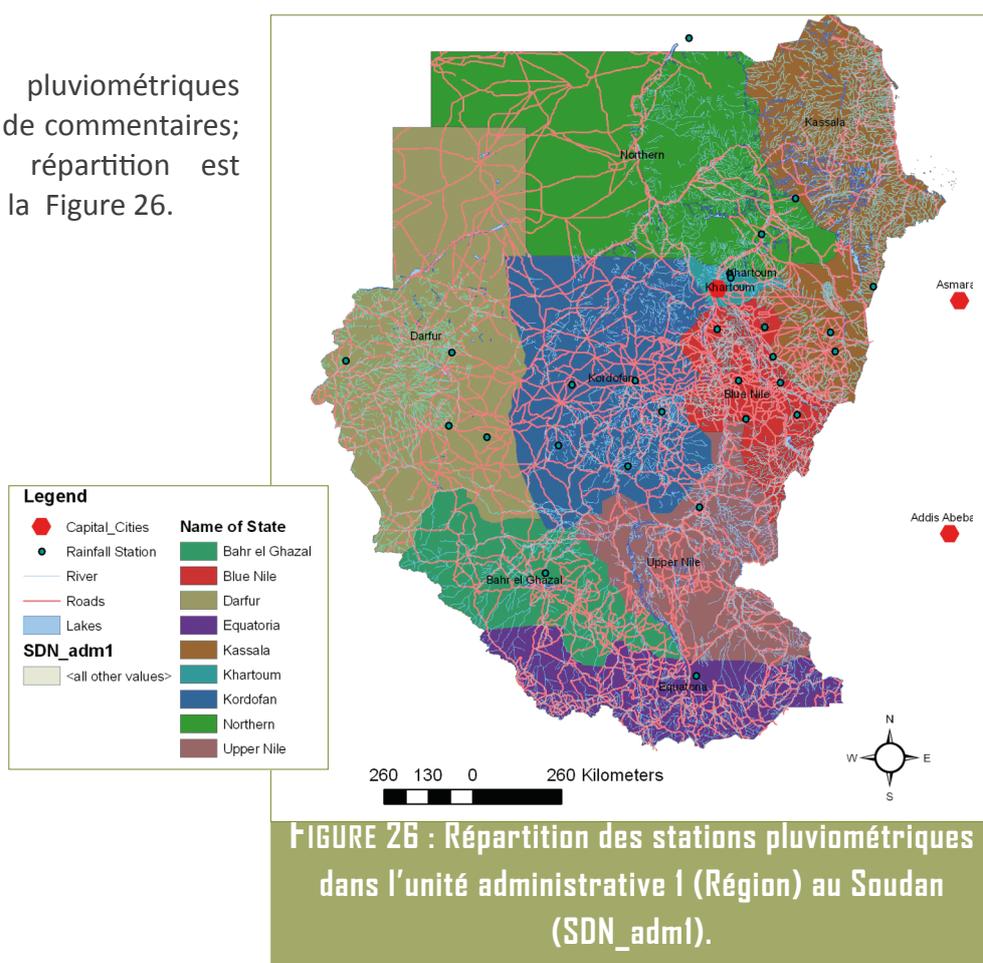


FIGURE 25 : Répartition des stations météorologiques dans l'unité administrative 1 (District) en Ouganda (UGA_adml).

4.6. Soudan

Les stations pluviométriques suscitent peu de commentaires; la carte de répartition est indiquée dans la Figure 26.



5. RÉPARTITION SPATIALE DES POINTS D'EAU PAR BASSIN TRANSFRONTALIER

Outre le bassin du Nil qui a été couvert par différents projets, la majorité des points d'eau sont localisés spatialement dans Juba-Shabelle et Turkana-Omo. D'autres bassins ont des points d'eau limités comme Ayesha avec un seul forage. Voir Figure 27 ci-dessous pour les détails.

6. RÉPARTITION SPATIALE DES POINTS D'EAU PAR AQUIFÈRE TRANSFRONTALIER

14 % des points d'eau se trouvent dans des bassins transfrontaliers avec le plus grand pourcentage, 80% qui se trouvent dans le système aquifère de Mt. Elgon (AF39) qui est partagé entre l'Ouganda et le Kenya. Les autres ont moins de 15 % de chaque bassin. La Figure 28 ci-dessous montre la répartition spatiale des points d'eau dans ces systèmes aquifères. Les frontières de l'aquifère transfrontalier ont été tirées de la carte Aquifère Transfrontalier du Monde par l'IGRAC¹⁰.

¹⁰. Mise à jour 2009 de Aquifères Transfrontaliers du Monde, par l' IGRAC , 1:50,000,000.édition spéciale pour le 5ème Forum mondial de l'Eau ; Istanbul.

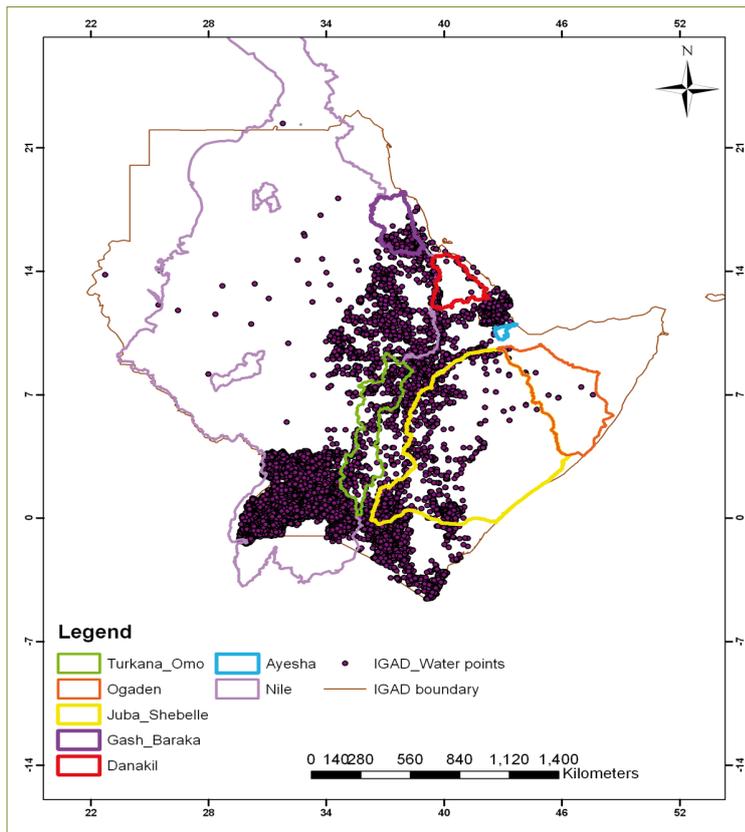


FIGURE 27 : Répartition spatiale des points d'eau dans le bassin transfrontalier et dans les environs.

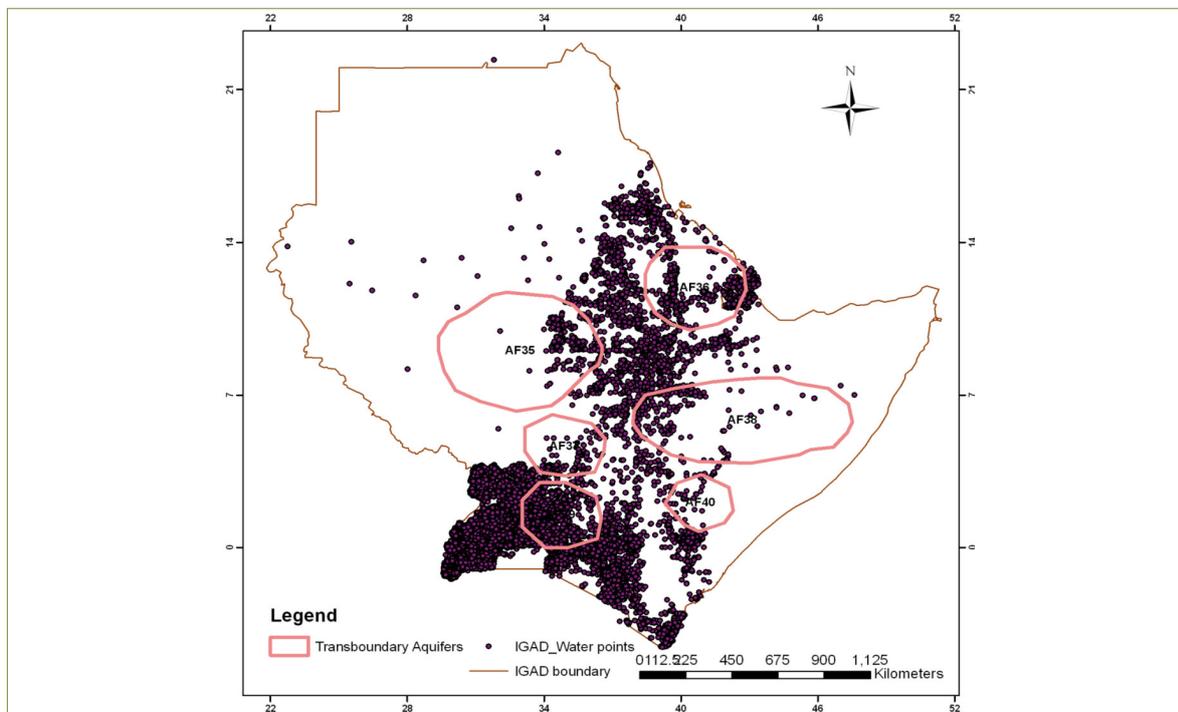


FIGURE 28 : Répartition spatiale des points d'eau dans l'aquifère transfrontalier et les environs (frontières de l'aquifère transfrontalier tiré de IGRAC, 2007)

RÉSUMÉ DES STATISTIQUES DES DONNÉES

1. NOMBRE DE PUIXS PAR PAYS

La répartition des points d'eau par pays est indiquée dans le Tableau 23. 64.76 % de toutes les données de la BD ont été recueillies auprès de l'Ouganda, 24 % auprès du Kenya et le pourcentage le plus bas provenait du Soudan qui est environ de 0.04 %. C'est un mauvais indicateur pour le Soudan et ça sera mal représenté dans la BD régionale.

Pays	Nb de points d'eau	% par pays
Djibouti	1641	1.98
Erythrée	2351	2.83
Ethiopie	5227	6.29
Kenya	20026	24.11
Soudan	30	0.04
Ouganda	53789	64.76
Total	83064	

TABLEAU 23. Répartition des points d'eau dans les pays membres de l'IGAD.

2. NOMBRE DES PUIXS PAR BASSIN TRANSFRONTALIER

Le résumé de la répartition spatiale des points d'eau dans le bassin est indiqué dans le Tableau 24. Comme expliqué dans les chapitres précédents, le meilleur taux de couverture est celui du bassin du Nile, il est d'environ 91 %, suivi de Juba-Shebelle avec 6.33 % et le Turkana-Omo avec 1.76 % du nombre total d'enregistrements couverts par les bassins transfrontaliers. De l'analyse on peut voir que les points d'eau dans le bassin transfrontalier représentent 40% du nombre total des données et d'enregistrements de la BD, ainsi 60 % des enregistrements ne sont pas dans la BD mais se trouvent dans les pays membres de l'IGAD. 60 % des points d'eau qui ne font partie d'aucun bassin, représentent également ceux qui n'ont pas de coordonnées et par conséquent n'ont pas pu être restitués.

Bassin Transfrontalier	Nb de points d'eau	% dans le bassin	% du total de la BD
Ayesha	1	0.003	0.001
Danakil	166	0.522	0.200
Gash-Baraka	110	0.346	0.132
Juba-Shebelle	2015	6.336	2.426
Nile Basin	28945	91.011	34.847
Ogaden	7	0.022	0.008
Turkana-Omo	560	1.761	0.674
Total dans le bassin	31804	100.000	38
Total dans la BD régionale	83064		

TABLEAU 24. Nombre de puits par bassin transfrontalier.

3. NOMBRE DE PUIXS PAR PAYS ET PAR BASSIN TRANSFRONTALIER

Le Tableau 25 ci-dessous montre la répartition des points d'eau par bassin transfrontalier par pays. Comme on peut le constater dans le tableau, Ayesha a un seul point d'eau de l'Ethiopie, la majorité des points d'eau du bassin Danakil provient de l'Ethiopie et quelques autres points d'eau de l'Erythrée. La majorité des points d'eau du Turkana-Omo et du Juba-Shabelle provient du Kenya.

Bassin Transfrontalier	Pays	Nb de points d'eau	% dans le bassin
Ayesha	Ethiopie	1	0.003
Danakil	Erythrée	17	0.051
Danakil	Ethiopie	149	0.450
Gash_Baraka	Djibouti	5	0.015
Gash_Baraka	Erythrée	104	0.314
Gash_Baraka	Soudan	1	0.003
Juba_Shebelle	Ethiopie	256	0.774
Juba_Shebelle	Kenya	1759	5.316
Ogaden	Ethiopie	7	0.021
Turkana_Omo	Ethiopie	290	0.876
Turkana_Omo	Kenya	221	0.668
Turkana_Omo	Ouganda	49	0.148
Total		2859	

TABLEAU 25. Répartition des points d'eau par bassin par pays

4. NOMBRE ET TYPE DE POINTS D'EAU

Dans le tableau 26 ci-dessous, il y a le résumé du nombre de points d'eau par type. Comme on peut le constater les forages constituent la majorité des points d'eau. La majorité des points d'eau sont de type puits de forage et représentent environ 54%, suivi de 18% du nombre total de points d'eau dans la BD.

Site type	Nb de points d'eau	%
Forages	44674	53.783
Source protégée	15179	18.274
Qualité de l'eau	5443	6.553
Puits de surface	4660	5.610
Robinet à l'extérieur pour usage public	4020	4.840
Station météorologique	1320	1.589
Source	1141	1.374
Puits creusé à la main	1137	1.369
Réservoir de vallée	918	1.105
Kiosque	870	1.047
Barrage	562	0.677
Puits Ciment	468	0.563

Site type	Nb de points d'eau	%
Puits traditionnel	463	0.557
Station Hydrologique de Surveillance	501	0.604
Pluviomètre	373	0.449
FORAGE	270	0.325
Station du débit fluvial	192	0.231
Hydrométrie	149	0.179
Barrage en terre	141	0.170
Station Hydrodynamique	131	0.158
Eau fluviale	78	0.094
Retenue	72	0.087
Source naturelle	52	0.063
Etang de pisciculture	42	0.051
Etang	29	0.035
Qualité de l'eau fluviale	28	0.034
Station de jaugeage de fleuve	26	0.031
Impact de la pollution sur les sources d'eau Microbiologie	25	0.030
Station de salinité	13	0.016
QryPWSAYB	12	0.014
1ère Classe	11	0.013
Station de surveillance Piézométrique	15	0.018
Qualité des eaux lacustres	9	0.011
Impact de la Pollution sur les sites d'échantillonnage	8	0.010
Qualité des eaux usées	8	0.010
Station d'épuration des eaux d'égout	5	0.006
Puits de Production	4	0.005
Citerne ente	3	0.004
Guelte	3	0.004
Réservoir	2	0.002
Marécage	2	0.002
Micro-Barrage	1	0.001
Lac naturel	1	0.001
Captage rocheux	1	0.001
Réservoir RWT V.	1	0.001
Eolienne	1	0.001
Total	83064	100

TABLEAU 26. Répartition des points d'eau par type.

5. NOMBRE DE POINTS D'EAU PAR TYPE ET PAR PAYS

Tableau 27: le résumé des points d'eau par type et par pays, la majorité représente les

puits de forage et les sources protégées de l'Ouganda l'équivalent de 32 % et de 18 % respectivement. Suivi par le Kenya avec 17 % des points d'eau dans la BD.

Pays	Type de site	Nb de points d'eau	% du total
Erythrée	1re classe	11	0.013
Erythrée	forage	927	1.116
Ethiopie	forage	2707	3.259
Kenya	forage	14196	17.090
Ouganda	forage	26844	32.317
Djibouti	Citerne ent	3	0.004
Erythrée	Barrage	134	0.161
Kenya	Barrage	23	0.028
Ouganda	Barrage	405	0.488
Ouganda	Barrage en terre	141	0.170
Ouganda	Etang de pisciculture	42	0.051
Djibouti	Forage	270	0.325
Djibouti	Guelta	3	0.004
Erythrée	Puits creusé à la main	936	1.127
Ethiopie	Puits creusé à la main	85	0.102
Kenya	Puits creusé à la main	107	0.129
Ouganda	Puits creusé à la main	9	0.011
Djibouti	Station Hydrodynamique	131	0.158
Ethiopie	Station de surveillance hydrologique	443	0.534
Ouganda	Station de surveillance hydrologique	58	0.070
Djibouti	Hydrométrie	5	0.006
Ethiopie	Hydrométrie	120	0.144
Kenya	Hydrométrie	23	0.028
Ouganda	Hydrométrie	1	0.001
Ouganda	Kiosque	870	1.047
Ouganda	Qualité des eaux lacustres	9	0.011
Djibouti	Station météorologique	39	0.047
Erythrée	Station météorologique	39	0.047
Ethiopia	Station météorologique	711	0.856
Kenya	Station météorologique	76	0.091
Ouganda	Station météorologique	455	0.548
Djibouti	Micro-Barrage	1	0.001
Ouganda	Lac naturel	1	0.001
Djibouti	Source naturelle	52	0.063
Erythrée	Station de surveillance Piézométrique	5	0.006
Djibouti	Station de surveillance Piézométrique	10	0.012
Ouganda	Impact de la Pollution sur les sources d'eau Microbiologie	25	0.030

Pays	Type de site	Nb de points d'eau	% du total
Ouganda	Impact de la pollution sur les sites d'échantillonnage	8	0.010
Erythrée	Etang	29	0.035
Ouganda	Puits de production	4	0.005
Ouganda	Source protégé	15179	18.274
Djibouti	Puits Ciment	468	0.563
Djibouti	Puits traditionnel	463	0.557
Ouganda	QryPWSAYB	12	0.014
Erythrée	Pluviomètre	126	0.152
Ethiopie	Pluviomètre	72	0.087
Kenya	Pluviomètre	94	0.113
Soudan	Pluviomètre	30	0.036
Ouganda	Pluviomètre	51	0.061
Erythrée	Réservoir	2	0.002
Djibouti	Retenue	72	0.087
Kenya	Station du débit fluvial	169	0.203
Ouganda	Station du débit fluvial	23	0.028
Djibouti	Station de jaugeage du fleuve	6	0.007
Erythrée	Station de jaugeage du fleuve	20	0.024
Erythrée	L'eau fluviale	78	0.094
Ethiopie	Qualité de l'eau fluviale	10	0.012
Ouganda	Qualité de l'eau fluviale	18	0.022
Ouganda	Captage rocheux	1	0.001
Ouganda	Réservoir RWT V.	1	0.001
Ouganda	Station de salinité	13	0.016
Ouganda	Station d'épuration des eaux d'égout	5	0.006
Ouganda	Puits de surface	4660	5.610
Erythrée	Source	44	0.053
Ethiopie	Source	1079	1.299
Kenya	Source	18	0.022
Ouganda	Marécage	2	0.002
Ouganda	Réservoir de Vallée	918	1.105
Kenya	Qualité des eaux usées	8	0.010
Djibouti	Qualité de l'eau	118	0.142
Kenya	Qualité de l'eau	5312	6.395
Ouganda	Qualité de l'eau	13	0.016
Ouganda	Eolienne	1	0.001
Ouganda	Robinet à l'extérieur pour usage public	4020	4.840
Total		83064	

TABLEAU 27. Répartition des points d'eau par type et par pays.

6. NOMBRE DES POINTS D'EAU PAR AQUIFÈRE TRANSFRONTALIER

Le Tableau 28 représente le résumé des points d'eau par aquifère transfrontalier. La majorité des enregistrements proviennent de l'Aquifère Mt. Elgon, ce qui représente environ 80 % des points d'eau dans les aquifères et 11 % de la totalité des enregistrements dans la BD régionale. Les points d'eau dans les aquifères transfrontaliers représentent 14 % de la totalité des enregistrements dans la BD régionale.

Aquifère	Nb de points d'eau	% de l'aquifère	% du total de la BD
Awash Valley	1435	12	2
Merti	37	0	0
Mt. Elgon	9548	80	11
Ogaden-Juba	287	2	0
Rift Valley	147	1	0
Upper Nile basin	494	4	1
Total couverture par aquifère dans la BD régionale	11948	100	14

TABLEAU 28. Répartition des points d'eau par type et par aquifère transfrontalier.

6

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

- Une base de données sous-régionale de l'IGAD harmonisée et standardisée a été développée.
- Le Modèle Conceptuel a été développé et la Structure de la Base de Données a été définie, elle comprend des données sur les ressources en eau de surface et sur les ressources en eau souterraine, sur la Climatologie, les Unités Administratives, les aspects socioéconomiques et les ressources naturelles dans la sous-région de l'IGAD.
- La base de données qui a été développée permettrait d'améliorer l'accès, l'échange et le partage des données et des informations dans la sous-région.
- La base de données a été géocodée et représentée sur les cartes en utilisant ArcGIS 9.3 et a été intégrée dans les cartes des ressources en eau pour visualisation et analyse.
- Sur 83,068 points d'eau saisis dans la base de données, 71 % ont des coordonnées et 29 % des points d'eau n'ont pas de coordonnées et /ou ont de fausses coordonnées.
- Les données saisies seraient utiles pour l'IGAD et ses pays membres pour la planification et la prise de décision.
- Il y avait un certain déséquilibre au niveau des données; certains pays avaient fourni plus de données que d'autres. Les pays qui ont fourni peu de données seront mal représentés; un exemple : le Soudan avait fourni 0.04% de la totalité des données de la base de données.

Les insuffisances rencontrées pendant la saisie des données sont comme suit :

- Environ 29 % des points d'eau saisis dans la base de données sont toujours sans coordonnées ou ont des coordonnées erronées. Ce qui les a empêché d'être restitués dans les SIG et analysés, ce qui exige l'attention des coordinateurs des pays membres de l'IGAD.
- En revanche il y a eu beaucoup de reproduction (duplication), elles ont été réduites sauf celles qui n'ont pas été facile à identifier, en raison de certaines différences au niveau de certains champs; Ainsi la duplication a été fortement minimisée.
- Il a y encore de nombreux champs non renseignés; ces champs non renseignés ont été négligés lorsqu'ils ont compilé les rapports des pays, pensant qu'ils n'étaient pas nécessaires. Ceci a créé des lacunes dans la base de données, cependant, on pourrait y remédier en remplissant les champs et en mettant à jour les informations au fur et à mesure que nous les recevons. En outre certains champs très importants comme

le statut (état) manquent et pourtant pourraient aider l'analyse de la répartition spatiale.

- Les variations en matière de sémantique ont été considérablement réduites, mais pas complètement supprimées, en raison d'une certaine ignorance de la connaissance locale liée à la signification de certains points d'eau, en particulier les points d'eau de Djibouti et de l'Erythrée. Cela nécessite sans doute l'intervention des coordinateurs des pays membres de l'IGAD.

La base de données régionale qui a été développée nécessitera une mise à jour continue pour combler les lacunes et ajouter de nouvelles données pour éliminer complètement les insuffisances mentionnées ci-dessus pour que la base de données soit entièrement opérationnelle et durable.

Avec la collecte continue des données, il faudra mettre à jour la base de données. C'est parce qu'à l'heure actuelle, Microsoft Access qui est disponible et facilement accessible à tous les pays a été utilisé. Mais avec la collecte et la saisie de données supplémentaires, cette base de données risque d'être petite, comme dans Access on peut seulement saisir une capacité de 2GB, au-delà de laquelle une nouvelle base de données doit être développée.

Il n'y a pas d'exigences spécifiques relatives à la base de données pour les pays membres à part le stockage, mais avec une sensibilisation continue et si on comble les lacunes, la BD sera utile pour modéliser la couverture d'eau, les besoins en eau/pénurie et excès à des fins de planification dans les pays membres.

Par ailleurs, la BD facilitera l'accès facile à l'information et l'échange entre les pays membres de l'IGAD.

Le renforcement des capacités du personnel en charge de la mise à jour des données et de la dissémination des informations dans les SIG et la BD, est la condition requise pour la pérennité de ce grand travail. Les exigences en matière de formation seront les bases de la BD et des SIG liés à la gestion des ressources en eau. Le personnel formé aidera à la mise à jour quotidienne de la BD et des SIG. De plus il/elle devrait être formé sur les techniques de base des logiciels et du matériel en rapport avec les SIG et la BD.

La standardisation des données saisies est recommandée. Cela permettra d'éliminer les problèmes de formats, de sémantique, de coordonnées manquantes et erronées et de combler les lacunes.

Nous recommandons que le Système de Coordonnées géographiques (SCG), la projection WGS 1984 soit utilisée dans les pays membres de l'IGAD.

Il faut faire passer le Protocole sur le partage des données pour résoudre le problème de déséquilibre des données dans la base de données des pays membres de l'IGAD.

Pour être en mesure de recueillir, stocker, archiver et extraire toutes les données recueillies au niveau du secrétariat de l'IGAD, il faudrait mettre en place une section consacrée au SIG et à la BD au niveau du secrétariat de l'IGAD qui sera équipée de logiciels SIG et d'ordinateurs puissant (haut débit).



SOURCES DE LA LITTÉRATURE

DEM; <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>

Données de l'unité administrative pour les pays membres de l'IGAD : <http://www.diva-gis.org/datadown>

La vapeur d'eau et les données lacustres dans la charte digitale du monde au <http://www-sul.stanford.edu/depts/gis/DCW.html>. <http://www.maproom.psu.edu/dcw/>

Informations sur l'aquifère transfrontalier : www.igrac.net and www.isarm.net

Carte de la densité démographique : http://www.ciesin.org/download_data.html and <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/global.jsp>

Projet Cartographie, évaluation et gestion des ressources en eau transfrontalières dans la sous-région IGAD

IV

COMPOSANTE BASE DE DONNÉES

Les principales activités de la composante base de données ont consisté en l'analyse des entités requises et des attributs pour le développement de la base de données, la définition du modèle relationnel entre les entités au niveau conceptuel et par la suite pour effectuer l'installation de la Base de données et de tests, la conversion des données et la traduction sémantique, la saisie des données dans la base de données et la génération des données de sortie.

Puisque c'est la première base de données sous-régionale pour les pays membres de l'IGAD, un travail énorme a été fait pour arriver à cet outil utile de gestion de données qui transcende les ressources en eau (de surface et souterraines) de plusieurs sous-disciplines. La base de données construite comprenait à la fois l'identification et des données / informations variables sur les forages, les puits peu profonds, météorologique, hydrologique et des stations de jaugeage de rivière. Au total, 83 064 (quatre-vingts trois mille soixante quatre) points d'eau ont été introduits dans la base de données régionale.

Les données fournies ont été assez hétérogènes, de différents formats et sémantiques. Des efforts ont été déployés pour les harmoniser avant leur introduction dans la base de données. Cette opération peut être améliorée par un traitement continu. L'enrichissement de la base de données SIG mise en place permettra à l'avenir mettre à jour les cartes thématiques produites par le projet. Cela servira également pour un usage national et l'appui à la prise de décision

Les principaux défauts rencontrés lors de la compilation et analyse des données se présentent comme suit: absence ou fausses coordonnées; duplication; manque d'identifiant, etc. Il y a besoin de surmonter les lacunes et le manque de données en impliquant les coordonnateurs nationaux des pays membres. Comme la construction de la base de données est un processus continu et dynamique, cette question sera traitée à un stade ultérieur du projet ■

Observatoire du Sahara et du Sahel

Bd du Leader Y. Arafat, BP 31, 1080 Tunis Carthage, Tunisie
Tél. : (+216).71.206.633 - Fax : (+216).71.206.636
URL : www.oss-online.org - Email : boc@oss.org.tn

Facilité africaine de l'eau

Banque africaine de développement, BP 323 - 1002 Tunis(je)
Tél. : (+216).71.103.971 - Fax : (+216).71.348.670
URL : www.africanwaterfacility.org - Email : africanwaterfacility.org

Intergovernmental Authority on Development

Avenue Georges Clemenceau, P.O. Box 2653 Djibouti
Tel. : (+253).354.050 - Fax : (+253).356.994
URL : www.igad.int