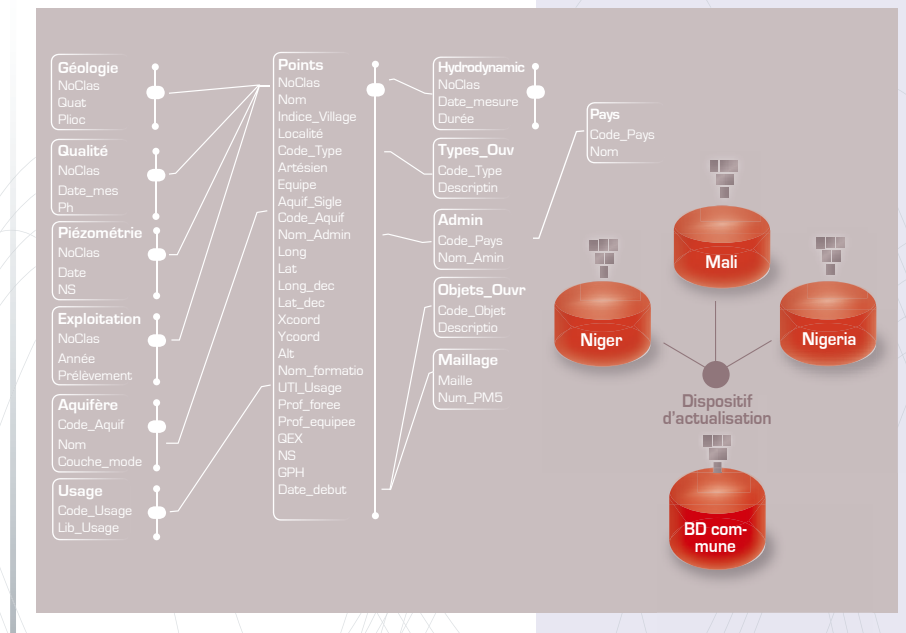


Système Aquifère d'Iullemeden

Mali - Niger - Nigeria

Tome II

BASE DE DONNÉES COMMUNE



OSS OBSERVATOIRE DU SAHARA ET DU SAHEL

Systeme Aquifere d'Iullemeden

Mali - Niger - Nigeria

Tome II

BASE DE DONNÉES



COMMUNE

Tunis, 2011

Autres ouvrages (SAI)

Tome I : Analyse diagnostique transfrontalière

Tome III : Modèle hydrogéologique

Tome IV : Gestion participative des risques transfrontaliers : éléments stratégiques

Tome V : Suivi et évaluation des aquifères transfrontaliers

Copyright © Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS), 2011

Edité à Tunis avec le soutien financier de l'Unesco/PHI et de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

ISBN : 978-9973-856-42-5

Remerciements

Ce document a été relu et édité sous la supervision de M. Chedli FEZZANI, Administrateur du Secrétariat exécutif de l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS). Il émane du travail conséquent mené de janvier 2004 à juin 2009, par l'équipe permanente du projet « Système aquifère d'Iullemeden » de l'OSS, en partenariat avec le Mali, le Niger et le Nigeria, sous la coordination scientifique technique de M. Mohamedou Ould Baba Sy, expert en base de données, SIG et modélisation hydrogéologique, Ahmed Mamou, conseiller scientifique, et Abdel Kader Dodo, coordinateur régional du projet.

Ce travail est l'aboutissement de leurs efforts conjugués à ceux des experts des trois pays concernés à travers notamment leur participation aux sessions de formation en base de données, SIG et Modèle mathématique animé par Mohamedou Ould Baba Sy.

A cette œuvre, ont contribué des personnalités à qui nous exprimons notre profonde gratitude, tout particulièrement:

MALI

- /// M. Seidou Maiga, Hydrogéologue, point focal national, DNH
- /// Damassa Bouaré, Ingénieur hydrogéologue, Responsable Base de données, DNH,
- /// M. Luc Diakité, Ingénieur hydrogéologue, DNH
- /// Pr Amadou Zanga TRAORE, Ecole nationale d'ingénieurs

NIGER

- /// Abdou Moumouni MOUSSA, Hydrogéologue, point focal national
- /// Sanoussi RABE, Hydrogéologue
- /// Hassoumane Hassane, Ingénieur géomètre adj hydraulique
- /// Hassane Adamou, Hydraulicien
- /// Bako Mamane Hydraulicien informaticien

NIGERIA

- /// John Chabo, National focal, Deputy Director, FMWR, Abuja
- /// M. Stephan Margima Jabo, Hydrogeologist FMWR, Abuja
- /// M. S. Mukaile Babarinde, Prin. Hydrogeologist, FMWR, Abuja
- /// M. Hussaini Sunday Ushe, Hydrogeologist, FMWR
- /// Simon O. Okpara, Hydrogeologist, FMWR, Abuja

CONSULTANTS INTERNATIONAUX

- /// Dr PIZZI Giuseppe, Spécialiste en modélisation
- /// Abdous Belcacem, Expert base de données

PARTENAIRES DE COOPERATION

- /// Takehiro Nakamura, PNUE/GEF
- /// Alice Aureli, Unesco

Nous remercions également l'Unesco/PHI et la GIZ pour leur soutien financier à l'édition de ce document, ainsi que la France, la Suisse, la FAE/BAD et l'ABN pour leur soutien constant au programme Eau de l'OSS

Nous sommes aussi redevable à Mme Tharouet Elamri qui a assuré la conception de la maquette et la mise en forme finale de ce document sans oublier l'équipe administrative et financière qui n'a ménagé aucun effort pour la bonne mise en œuvre de toutes les activités de ce projet.

Le Coordinateur du programme Eau

Abdelkader Dodo



Le Secrétariat exécutif

Dr Chedli Fezzani



Table des matières

I. INTRODUCTION	17
I.1. Contexte et historique du projet	17
I.2. L'expérience du projet SASS	20
II. CONCEPTION ET MISE EN ŒUVRE DU SYSTEME D'INFORMATION DU SAI	21
II.1. Présentation de la démarche	21
II.2. Analyse de l'existant au niveau des trois pays et examen des données recueillies	21
II.3. Informations complémentaires collectées durant le projet	27
II.4. Les données géographiques communes	29
III. DESCRIPTION DE SISAI	35
III.1. Choix techniques et maîtrise des outils informatiques	37
III.2. Architecture générale du SISAI	39
III.3. Description de la base de données	40
III.4. Description de l'interface	48
IV. SYNTHÈSE DES CONTENUS (BD ET SIG)	69
IV.1. La base de données commune	69
IV.2. Le SIG	82
V. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	87

LISTE DES ACRONYMES ET DES ABREVIATIONS

ADT	Analyse diagnostique transfrontalière
AEP	Alimentation en eau potable
AGRHYMET	AGRONomie - HYdrologie - METéorologie du CILSS
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
BD	Base de données
CDI	Centre de documentation et d'informatique (du Mali)
CI	Continental intercalaire
CT	Continental Terminal
DIEPA	Décennie internationale de l'eau potable et de l'assainissement
DNH	Direction nationale de l'hydraulique (Mali)
DRE	Direction des ressources en eau (Niger)
DRHE	Direction régionale de l'hydraulique et de l'énergie (Mali)
DWC	Digital Word Chart
ESRI	Environmental Science Research Institute
GEF	Global Environmental Facility
GTOPO30	Modèle numérique de terrain pour le Globe développé par USGS.
IGN	Institut géographique national
IRH	Inventaire des ressources hydrauliques (service rattaché aux DRE)
MCBD	Modèle conceptuel de la base de données commune
MCD	Modèle conceptuel de données
MNT	Modèle numérique de terrain
NGM	niveau général des mers
NP	niveau piézométrique
NS	niveau statique
OAD	Outil d'aide à la décision
ODBC	Open Database Connectivity
OSS	Observatoire du Sahara et du Sahel
PAC	Programme d'action communautaire
PM5	Processing Modflow version 5
PNUD	Programme des Nations unies pour le développement
PNUE	Programme des Nations unies pour l'environnement
SAD	Système d'aide à la décision
SAI	Système aquifère d'Iullemeden
SAP	Strategic Action Programme (Programme d'Action Stratégique)
SASS	Système aquifère du Sahara Septentrional
SGBD	Système de gestion de base de données
SGBDR	Système de base de données relationnelle (DBMS en anglais)

SI	Systeme d'information
SIG	Systeme d'information géographique
SIGMA	Systeme d'information géographique du Mali (= Base de données)
SIGNER	Systeme d'information géographique du Niger
SISAI	Systeme d'information géographique du SAI
SRP	Stratégie de réduction de la pauvreté
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

PREAMBULE

Les bases de données hydrogéologiques constituent, dans le cas d'informations d'origines et de formats diversifiés, un moyen d'harmonisation systématique. C'est particulièrement le cas pour l'étude de systèmes aquifères transfrontaliers dont les données sont rassemblées à partir des pays qui se partagent le même système aquifère. Le Système aquifère d'Iullemeden (SAI) constitue dans ce sens, un cas typique pour la mise en place d'une base de données hydrogéologique commune.

Ce document a pour objectif de consigner les activités menées dans le cadre du projet « Gestion des Risques Hydrogéologiques dans le Système aquifère d'Iullemeden » (SAI), initié par le PNUF (GEF) et l'Unesco dans les pays se partageant le bassin, à savoir : le Mali, le Niger et le Nigeria, relatives à la mise en place d'une base de données commune pouvant servir à l'élaboration d'un modèle hydrodynamique du SAI.

Cette activité spécifique s'est traduite par plusieurs ateliers, avec contribution des équipes nationales associées au projet, ainsi que celles des consultants internationaux impliqués dans l'élaboration de cette base de données et du modèle hydrodynamique en question.

Rédigé par une équipe restreinte principalement composée de: M. Baba Sy, A. Mamou, B. Abdous et A. Dodo, ce rapport se doit de refléter en réalité, une contribution étendue de l'ensemble de l'équipe mobilisée au cours de la phase de préparation des données servant à la modélisation du système aquifère du SAI et ce, à travers la collecte des données, la rédaction de rapports spécifiques et la participation à des réunions ou des ateliers portant sur des aspects traités par la modélisation.

/// Réunion et ateliers consacrés à la Base de données ou ayant permis de collecter des données :

OSS-AIEA (2004) : Atelier sur l'élaboration d'une Base de données commune aux trois pays (Mali, Niger, Nigeria) ; Tunis, du 26 au 30 avril 2004 à l'OSS, avec la participation des experts des trois pays (deux par pays), du Centre Agrhymet, de l'OSS et du consultant international chargé de la conceptualisation de la structure de la Base de Données.

OSS-AIEA (2005) : Atelier de formation sur l'élaboration de la Base de données du SAI ; Niamey, du 26 avril au 06 mai 2005 au Centre régional Agrhymet (CRA), avec la participation des experts des pays (deux par pays), du Centre Agrhymet et de l'OSS.

OSS (2006) : Réunion du comité de pilotage du projet SAI (Abuja-Nigeria, 25-26 février 2006) ayant décidé de confier l'élaboration de la Base de données commune à l'OSS suite au retard de sa réalisation accusé par l'Agrhymet.

OSS (2006) : Atelier de formation sur la modélisation et la collecte des données nécessaires: prise en main de l'outil de modélisation du SAI ; Tunis, 18-28 avril 2006. participation des experts des trois pays (deux par pays).

OSS (2006) : Atelier d'analyse du modèle : analyse des données et discussion des premiers résultats du modèle ; Tunis, du 29 novembre au 8 décembre 2006 ; participation des experts des trois pays (deux par pays).

OSS (2007) : Atelier de validation du modèle et d'élaboration des liens entre la base de données commune et le modèle mathématique du SAI avec analyse des résultats du modèle ; Tunis, du 1 au 10 mars 2007. Participation des consultants internationaux pour la Base de données et la modélisation à l'amélioration de la structure de la Base de données édifiée par l'équipe de l'OSS et établissement des liens avec le modèle.

/// **Documents techniques intermédiaires produits :**

- Maïga S. & Bouaré D., (2006) : Collecte des données hydrogéologiques du Système aquifère d'lullemeden dans la partie malienne. OSS, décembre 2006, tableaux, annexes.
- Moumouni Moussa A. & Rabé S., (janvier 2007) : Collecte des données hydrogéologiques du Système aquifère d'lullemeden dans la partie nigérienne. OSS, janvier 2007, 12 p., tableaux, annexes.
- OSS (2004) : Rapport de l'atelier sur l'élaboration d'une Base de données commune aux trois pays (Mali, Niger, Nigeria) ; Tunis, du 26 au 30 avril 2004 à l'OSS.
- OSS-AIEA (2005) : Rapport de l'atelier de formation sur l'élaboration de la Base de Données du SAI ; Niamey, du 26 avril au 6 mai 2005 au Centre régional Agrhymet (CRA).

/// **Equipe élargie ayant participé à l'élaboration de la base des données du SAI :**

- Equipe nationale malienne : Damassa Bouaré (Responsable de la Base de données à la Direction nationale de l'hydraulique & Seïdou Maïga (point focal national à la Direction nationale de l'hydraulique) ;
- Equipe nationale nigérienne : Abdou Moumouni Moussa (point focal national et chef de la Direction hydrogéologie à la Direction des ressources en eau) & Sanoussi Rabé (Chef de la Division qualité et pollution des eaux à la Direction des ressources en eau).
- Equipe nationale nigérienne : John Chabo (Federal Director of Hydrology and hydrogeology at the federal ministry of water resources) & Stephane Jabo (Assistant of Federal Director).
- Equipe OSS : M. Baba Sy (expert hydrogéologue) ; A. Mamou (expert hydrogéologue), et A. Dodo (Coordinateur du projet)
- Consultants internationaux: B. Abdous (Consultant en Bases de données) et G. Pizzi (consultant en modèles hydrogéologiques).

Quelques définitions

Système d'information (SI) : ensemble d'éléments en interaction dynamique organisés en fonction d'un but.

Base de données (BD) d'un système d'information : collection structurée d'informations relatives à un domaine et gérées sur un ordinateur. Une base de données est régie par un modèle et doit répondre à un certain nombre de spécifications :

- /// totale indépendance entre données et traitements
- /// non redondance des informations
- /// intégrité et cohérence des données

SGBD : logiciel permettant de manipuler, gérer et utiliser une base de données. La plupart des SGBD existants sur le marché sont de type relationnel, c'est-à-dire basée sur la théorie des ensembles et comportant toutes les opérations de l'algèbre relationnelle (union, jointure, intersection...).

Démarche de conception : le processus de conception des bases de données est généralement subdivisé en trois étapes : une étape conceptuelle qui aboutit à la définition d'un modèle de données, une étape d'implémentation logique et une étape de mise en œuvre et d'exploitation sur une machine à l'aide du SGBD choisi.

Outils de conception : la généralisation des bases de données relationnelles a donné lieu à la mise au point d'outils méthodologiques de conception qui permettent de mettre en place des systèmes performants et durables car se basant sur la maîtrise des informations de base. Ces outils disposent de règles opératoires, d'un formalisme et parfois même de logiciels d'aide facilitant l'élaboration de modèles de données.

Modèle de données (modèle conceptuel) : outil intellectuel permettant de représenter le monde réel au travers des informations gérées et des liens pouvant exister entre elles. Une schématisation graphique est souvent offerte par ces outils pour mieux symboliser cette représentation.

Modèle relationnel : mis au point vers la fin des années soixante dix pour assurer :

- /// l'indépendance totale entre données et traitements : systèmes durables et ouverts,
- /// l'accès aux données par des langages non procéduraux de haut niveau,
- /// les mécanismes de vues « utilisateurs » différentes de celles qui sont implémentées. Chaque utilisateur peut avoir sa propre vue des objets de la base de données.

Entité : objet du système d'information possédant des propriétés. Il est également désigné par les termes d'individu ou d'objet. Dans notre cas un point d'eau représente une entité.

Relation (ou association) : lien pouvant exister entre deux entités et qui traduit les règles de gestion en vigueur. Les entités « point d'eau » et « unité administrative » sont reliées par la relation d'appartenance.

Propriété ou (attribut) : information élémentaire gérée par le système d'information. Elle est rattachée à une entité et parfois à une relation. Le nom, l'altitude, les coordonnées d'un point d'eau sont des propriétés.

Identifiant : propriété particulière qui permet d'identifier de façon unique une entité. Le numéro de classement d'un point d'eau est un identifiant.

Table : ensemble de données se rapportant à un sujet particulier. Une table représente un objet essentiel d'une base de données ACCESS où sont stockées les données. La table « points » contient les caractéristiques des points d'eau. Une table renseignée contient plusieurs enregistrements (lignes).

Requête : c'est l'objet d'une base ACCESS qui sert à afficher, modifier ou analyser les données provenant d'une ou plusieurs tables.

Formulaire : un formulaire est avant tout un outil permettant de saisir au clavier des données qui sont immédiatement introduites dans une ou plusieurs tables. Le formulaire est donc lié à une ou à plusieurs tables, et il hérite de leurs propriétés : types de données, propriétés des champs.

Table liée (ou attachée) : table se trouvant dans une autre base de données (qu'elle soit de type ACCESS ou autre).

Champ : élément d'une table servant à contenir une information. Une table comporte un ou plusieurs champs (colonnes).

Clé primaire : identifiant unique de chaque ligne d'une table. Une clé peut être soit un champ, soit une concaténation de plusieurs champs.

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

I. INTRODUCTION

I.1. Contexte et historique du projet

Le projet « Gestion des risques hydrogéologiques dans le Système aquifère d'Iullemeden » (SAI), principalement initié par le PNUE (GEF) et l'Unesco dans les pays partageant le bassin (Mali, Niger et Nigeria), a adopté comme approche d'analyse de l'état des aquifères et des risques hydrogéologiques qui les menacent, « l'Analyse diagnostique transfrontière » (ADT) qui débouche sur la mise en place d'un « Programme d'actions stratégique » (SAP).

Cette analyse de l'état des ressources en eau des aquifères et de leur environnement d'utilisation s'est révélée dès le départ, fortement dépendante des connaissances disponibles dans les trois pays sur le fonctionnement hydrogéologique des aquifères du système et de l'exploitation qui s'y pratique. Or, ces connaissances n'ont été jusqu'à cette date que l'affaire des pays. Elles se présentent ainsi suivant une vision nationale largement entachée d'insuffisances et lacunes résultant de l'intérêt ciblé et des moyens modestes alloués.

Le projet lui-même n'accorde à cet aspect qu'un intérêt limité associé à l'activité qui devait être menée par l'AIEA sur une meilleure connaissance des zones transfrontières du SAI. Or, l'activité de l'AIEA n'a pu progresser à temps comme envisagé, pour accompagner l'ADT dans sa progression vers le SAP. Par ailleurs, la vision de l'AIEA relative à la base de données à mettre en place est plutôt intimement liée à l'usage qu'on est appelé à faire des données, dans l'interprétation des données isotopiques, pour expliquer les risques hydrogéologiques que courent les aquifères. En fait, l'information hydrogéologique sur les aquifères du SAI, comme ceci est apparu, à la lumière des premières évaluations de l'ADT, doit être plus étendue et plus profonde pour expliquer le fonctionnement du système aquifère ainsi que ses réactions vis-à-vis des conditions de recharge ou d'exploitation mais aussi des changements climatiques (sècheresses périodiques) enregistrées dans la région.

Sur la base des premières évaluations de l'ADT (réunion du comité de pilotage à Abuja, 25-26 février 2006), il a été décidé d'apporter un renforcement substantiel à la connaissance hydrogéologique des aquifères du SAI, en vue d'assurer une meilleure évaluation – quantitative, si possible – des différents risques hydrogéologiques qu'encourent les aquifères du SAI. Ce renforcement est envisagé à travers la mise en place d'un système d'information géographique intégré incluant une base de données exhaustive et une modélisation hydrogéologique spécifique permettant d'évaluer le bilan en eau du système et de mieux quantifier ses échanges.

Depuis, l'OSS, agence d'exécution du projet, a entrepris de réaliser avec la contribution des équipes des trois pays associés au projet ces deux tâches (Base de données et Modèle hydrogéologique) intimement liées et ayant pour objectif de disposer d'outils d'aide à la décision (OAD), afin de faciliter le mécanisme de concertation pour une gestion optimisée des ressources en eau du SAI.

En effet, il est clair que des outils sont nécessaires pour avoir une évaluation partagée de l'état des ressources en eau du SAI. Ces outils doivent inclure comme éléments de base :

- /// une carte débordant les frontières et permettant de représenter le système aquifère dans sa globalité,

- /// une base de données rassemblant l'intégralité des informations présentées par les trois pays complétées, traitées et harmonisées,
- /// une modélisation partant des mêmes hypothèses relatives à la conception du fonctionnement du système aquifère.

Ces outils décisionnels reposent essentiellement sur une maîtrise parfaite des informations concernant le système aquifère, à savoir :

- /// l'architecture de base de données ouverte et évolutive d'actualisation, de visualisation
- /// les outils de mise à jour périodique avec contrôle des données
- /// le système décentralisé de collecte d'informations nouvelles : modules installés au niveau des pays.

La réalisation du modèle mathématique du SAI exige la collecte, l'organisation et l'homogénéisation des données disponibles au sein des trois pays concernés par le projet. La mise en place de cette base de données du SAI est une activité dont les objectifs sont échelonnés dans le temps. Au départ, le besoin d'une évaluation de l'état des ressources en eau admis par les trois pays, fait de cette base de données un élément d'aide à la décision et permet la construction du modèle d'ensemble. Par la suite, l'alimentation de cette base de données par l'information nécessaire au suivi des aquifères et des risques qui les menacent, permet d'en faire un outil facilitant la concertation et la rendant plus rationnelle. C'est donc une activité continue envisagée comme élément du système intégré d'information permettant, après l'achèvement du projet aux pays concernés, de continuer la concertation pour une gestion optimisée des ressources en eau du SAI.

Il s'agit en fait, de mettre progressivement en place un système d'information en s'inspirant fortement de l'expérience du SASS.

Dès le démarrage du projet, la maîtrise des nouvelles technologies de gestion des données est présentée comme une priorité pour assurer une bonne analyse diagnostique transfrontière des risques hydrogéologiques au sein du système aquifère d'lullemeden. C'est pour cette raison que **le premier atelier** organisé (OSS-Tunis, 26 au 30 avril 2004) a porté sur l'élaboration d'une **base de données commune** aux trois pays se partageant le bassin d'lullemeden.

Pour ceci, il a été fait appel aux spécialistes de gestion de bases de données dans les pays ainsi qu'à l'expérience d'Agrhymet comme agence régionale appelée à abriter éventuellement ce système d'information commun au SAI. Cet atelier a permis :

- /// d'identifier **l'ensemble des entités** devant constituer la structure du système d'information y compris les informations de type spatial ;
- /// d'adopter une **codification commune** pour la base de données du SAI et compatible avec celles utilisées par les pays ;
- /// de proposer diverses **solutions de développement** selon le logiciel de modélisation qui aura été retenu ;
- /// d'élaborer une **stratégie de transfert des fichiers existants** et de saisie des données manuelles : historiques anciens, informations se trouvant dans les rapports d'études...

Un deuxième atelier a été organisé sur l'élaboration de la Base de données commune du SAI par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) à l'Agrhymet (Niger-Niamey, du 26 avril au 6 mai 2005), en vue de compléter l'initiation des experts nationaux à :

- /// la maîtrise du Système de gestion de la base de données commune : le logiciel ACCESS ;
- /// la structuration de la Base de données commune ;
- /// l'harmonisation des données entre les trois pays : Mali, Niger et Nigeria.

En abordant l'implémentation de la base de données commune par des données réelles sur les aquifères du SAI, les représentants des pays ont ressenti la nécessité d'harmoniser leurs informations pour mieux dégager le comportement hydrodynamique des ensembles aquifères (Continental intercalaire, Continental Terminal et nappes phréatiques).

La mise en commun des données des pays et leur harmonisation au sein de la base de données du SAI, initialement envisagée durant six mois (jusqu'en novembre 2005) à l'Agrhyment n'a pu avoir lieu du fait que l'informaticien de cet organisme a abandonné son poste. Les données des pays se sont ainsi trouvées dans l'état de leur envoi.

Vu les délais du projet pour l'achèvement des autres activités, l'OSS s'est engagé lors de la réunion du comité de pilotage du projet (Nigeria-Abuja, 25-26 février 2006) à prendre en charge la réalisation du système d'information du SAI avec ses propres moyens.

La réalisation de ce système d'information nécessite en général trois étapes :

- /// **étape I : l'analyse de l'information existante** au niveau des trois pays et choix de la solution organisationnelle compte tenu des objectifs du projet, des besoins spécifiques des pays et de la tendance technologique du moment (matériel et logiciels),
- /// **étape II : la conception du système d'information** et description de la solution informatique choisie en collaboration avec les pays: architecture de la base de données commune, identification des couches du SIG, harmonisation de la codification, définition des modes de traitement,
- /// **étape III : la mise en œuvre de la base de données et du SIG** avec l'installation des équipements et logiciels dans les pays, l'implémentation de la base de données et du SIG, le transfert des données hétérogènes existantes dans les trois pays et formation des équipes (SGBD, SIG, utilitaires d'analyse spatiale),

Ces trois étapes, abordées à la suite de la réunion du Comité de pilotage du projet à Abuja, ont permis **de rassembler une masse considérable d'informations** regroupées au sein d'une base de données relationnelle homogène, cohérente et évolutive.

La conceptualisation de cette base de données est faite en étroite concertation avec les experts des pays associés à cette activité sur la base de l'information nécessaire et des moyens de stockage et de traitement disponibles dans les pays. Pour ceci, le choix a été principalement orienté vers des outils (logiciels) disponibles ou du secteur publique (Excel, Access, ArcView...) ou acquis dans le cadre du projet (Processing Modflow - PM5).

En mettant l'accent sur l'implication de cadres techniciens nationaux appelés à assurer des tâches de gestion des ressources en eau, il a été relativement facile de mieux les initier/perfectionner à la gestion des données collectées.

L'ensemble des données recueillies par les pays proviennent des archives ou bases de données des administrations nationales chargées des ressources en eau des pays concernés. Une majeure partie de ces données ont été collectées à l'occasion d'études nationales ou régionales précédemment réalisées. Leur intégration dans la base de données commune du SAI est passée par un long processus de collecte-saisie-validation que les experts nationaux ont maîtrisé à la suite de deux ateliers d'initiation et un contact permanent avec l'équipe de l'OSS qui mène cette opération.

L'élaboration en parallèle de la base de données commune du SAI et du modèle hydrogéologique a permis de mieux s'assurer de la validité de l'information, de combler les lacunes au fur et à mesure de la progression de ces deux activités et de mieux cibler l'information recherchée.

Le système d'information géographique ainsi mis en place, est complété par des outils conviviaux

d'exploration et d'entrée des données, des requêtes de synthèse et des procédures d'ajout d'informations nouvelles.

Des outils d'analyse de données ont été également élaborés pour faciliter la détection des anomalies et incohérences et de fournir au modèle numérique des informations valides pertinentes. Ces outils permettent d'élaborer une information traitée sous forme de requêtes, traitements statistiques et des analyses thématiques géo-référencées à l'aide des cartes numérisées élaborées dans le cadre du projet et intégrant l'ensemble du bassin.

L'exploitation des outils ainsi développés constitue un bon support pour l'information du projet SAI, de même qu'ils peuvent être utilisés comme outils de partage de l'information par la suite et d'aide à la décision. Contrairement aux études antérieures focalisées sur la portion du bassin cantonnée dans les limites des frontières du pays, cette étude du SAI dispose de plusieurs sources de données ayant servi à l'alimentation de la base de données commune.

Cette base de données a eu recours à divers traitements de données « **garantissant sa cohérence** ». Par le biais de procédures bien définies, ces traitements sont réalisés de la même manière et donc avec un bon niveau de **fiabilité**. La base de données ainsi élaborée, facilite l'utilisation de l'information dans le cadre du projet et assure une grande **souplesse** d'utilisation, rendant la manipulation d'une masse aussi importante d'information plausible et plus aisée.

1.2. L'expérience du projet SASS

Grâce à l'expérience acquise dans le cadre de l'élaboration de la base de données du SASS, le délai de mise en place de la base de données commune du SAI a été relativement court. En effet :

- /// toute la partie conceptuelle n'a pas été nécessaire : le MCD élaboré durant le projet SASS a été adopté,
- /// les formats pour la collecte de données ont pu être harmonisés entre les pays dès le départ,
- /// les outils de traitement (interfaces de saisie et de visualisation, modules de liens avec PM5, liens BD-modèle) ont été seulement adaptés et enrichis,
- /// la maîtrise des outils au niveau de l'OSS a permis de réaliser des gains de temps appréciables.

Cet avantage est renforcé par le fait que la plateforme logicielle utilisée, à savoir : MS Access et ArcView, est maintenant bien maîtrisée à l'OSS qui a transmis ces connaissances aux experts des trois pays.

Le travail le plus important a donc été accompli essentiellement sur les données proprement dites :

- /// mise en forme des fichiers et codification
- /// saisie de données complémentaires ne figurant pas dans les bases des pays
- /// mise au point de requêtes de transfert vers la base de données (BD)
- /// mise en forme des couches SIG

II. CONCEPTION ET MISE EN ŒUVRE DU SYSTEME D'INFORMATION DU SAI

II.1. Présentation de la démarche

La mise en place du système d'information du SAI a nécessité les phases suivantes :

- /// une **phase de diagnostic** de l'existant et des orientations de développement,
- /// une **phase conceptuelle** : dont les résultats sont le Modèle conceptuel des données (MCD) et la solution organisationnelle et technique la mieux adaptée,
- /// une **phase de réalisation** : ayant permis la traduction du MCD en modèle physique dépendant cette fois du SGBD (Système de gestion de base de données) choisi en fonction de la solution technique retenue,
- /// une **phase de mise en œuvre** : dans l'environnement organisationnel adopté après transfert des données disponibles.

La **phase conceptuelle** est la plus importante et conditionne la réussite des autres étapes. Les efforts ont été focalisés durant cette phase, sur la compréhension parfaite du domaine et l'élaboration d'un modèle de données représentatif et sur la définition de la meilleure solution possible de développement.

Vu la nature des traitements exigés, particulièrement orientés vers la représentation des données climatiques, hydrologiques et hydrogéologiques, le système d'information géo-référencié à développer dans le cas du SAI, doit être en mesure d'intégrer plusieurs catégories d'informations relatives aux :

- /// des données numériques descriptives,
- /// des informations de type spatial de référencement,
- /// historiques de mesures en séries chroniques à extension et continuité hétérogènes.

Les fonctionnalités du système ont été conçues de manière à faciliter l'utilisation du logiciel de modélisation, à établir des liens dynamiques entre les informations numériques et spatiales et à automatiser les opérations pré et post modèle pour permettre à l'équipe chargée du modèle de multiplier les simulations et de récupérer les résultats.

II.2. Analyse de l'existant au niveau des trois pays et examen des données recueillies

Les données climatiques, hydrologiques et hydrogéologiques collectées dans les trois pays et analysées, ont permis d'identifier dès le départ, des anomalies qui ont été corrigées grâce aux outils de traitement des données (Arcview, Rockworks...). Le fait que la majeure partie de ces données soit sans rattachement géographique (coordonnées) a beaucoup limité leur intégration directe dans la base de données. L'identification des coordonnées des points d'eau est une opération fastidieuse nécessitant plusieurs recoupements et interprétations.

La collecte des données ayant servi à l'élaboration de la base de données commune du SAI est faite dans l'objectif d'assurer une synthèse hydrogéologique qui permet d'expliquer le fonctionnement hydrogéologique du système aquifère et de mettre en place un modèle de simulation hydrodynamique permettant d'en déduire le bilan en eau de ce système avec spécification de chaque composante. C'est donc une information spécifique qui est nécessaire. Elle concerne particulièrement les aspects suivants :

- /// la géologie du SAI et spécifiquement les données litho-stratigraphiques des sondages,
- /// la climatologie, particulièrement la pluviométrie enregistrée sur les différentes stations du bassin et qui est utilisée pour estimer l'alimentation du système aquifère,
- /// l'hydrologie, particulièrement l'historique du débit du fleuve Niger qui constitue une partie des sorties du système aquifère,
- /// l'hydrogéologie des points d'eau captant les différents niveaux aquifère du SAI (piézométrie, rabattements, débit d'exploitation, salinité de l'eau, transmissivités, coefficients d'emmagasinement...) et les historiques des mesures des différentes variables hydrogéologiques (piézométrie et exploitation) utilisés pour la restitution du fonctionnement hydrodynamique du système par le modèle de simulation.

Cette base de données commune est susceptible d'être élargie pour englober d'autres données relatives aux aspects pédologique, environnemental, géographique et agricole dans la mesure où il s'avère nécessaire d'étendre l'étude du SAI à d'autres aspects spécifiques à l'utilisation des ressources en eau et leurs impacts sur l'environnement.

La collecte des données de cette base de données a été faite en se référant à l'information disponible chez les administrations responsables de la gestion des ressources en eau dans les trois pays concernés. Une partie de cette information est également extraite, par l'équipe du projet, des études relatives aux différentes parties du bassin.

Les liens établis entre cette base de données commune et le système d'information géographique d'un côté et le modèle de simulation hydrogéologique du SAI d'un autre côté, sont une autre particularité qui fait d'elle un outil d'intégration de l'information, de son traitement et de représentation graphique ou cartographique. En effet, ces liens matérialisés par des liaisons spécifiques fonctionnant de la BD commune et vers elle, ont permis de gagner sur l'effort nécessaire à la saisie des données, leur mise en forme et leur traitement tant au niveau du SISAI que celui du modèle hydrogéologique.

II.2.1. Données du Mali

La Direction nationale de l'hydraulique et de l'énergie (DNHE) du Mali a développé en 1985, dans le cadre du projet PNUD Mali 84/005, une base de données nationale intitulée SIGMA. Cette base de données a servi à l'élaboration de la synthèse hydrogéologique du Mali et du schéma directeur de la mise en valeur des ressources en eau souterraines [1991].

Au départ, cette base de données (SIGMA1) a été développée à partir de logiciels sous environnement DOS : **dBase IV** pour l'archivage et le traitement numérique et statistique, **Atlas*Draw** et **Atlas*GIS** pour les représentations cartographiques et **LOTUS-123** pour les présentations graphiques de données chronologiques.

Entre 1986 et 2001, l'architecture générale de SIGMA 1 et celle de ses programmes de gestion ont peu évolué, notamment sur le plan de l'environnement informatique qui a demeuré sous DOS. La nécessité de procéder à l'ajout de nouveaux champs dans les fichiers originaux et la création de nouveaux fichiers avec des données fragmentaires ont progressivement déstructuré la base de

données au point de ne plus répondre aux besoins de l'Administration en matière de planification hydraulique.

En 2001, un projet de développement de cette base de données a permis de disposer de SIGMA 2 qui est son format actuel et ce à travers :

- /// le changement de l'environnement informatique par le passage du système de gestion dBase IV (sous DOS) vers ACCESS (sous Windows) ;
- /// la prise en considération du nouveau découpage administratif du pays ;
- /// la restructuration des fichiers de l'ancienne base de données dans de nouveaux fichiers ;
- /// la saisie des résultats de l'inventaire des points d'eau modernes;
- /// l'installation dans les directions régionales de l'hydraulique et de l'énergie (DRHE) de la dernière version de la base de données, SIGMA 2.

Cette nouvelle version a permis l'élaboration en 2003, de la Carte de l'Eau du Mali qui est considérée comme un outil d'aide à la décision donnant la situation de l'approvisionnement en eau des populations et la fonctionnalité des infrastructures hydrauliques, par région, cercle, commune et villages/fractions. Cet outil d'aide à la décision a été mis à la disposition des Collectivités Territoriales et des différents acteurs du secteur de l'eau au Mali.

Actuellement, grâce à l'effort fourni par la DNH et malgré quelques difficultés, la mise à jour de SIGMA 2 se fait par les DRHE en coordination avec les structures régionales et le Centre de Documentation et d'Informatique (CDI) de la DNH. La dernière mise à jour date de juillet 2006.

Par son logiciel de gestion (ACCESS), cette base de données permet un passage facile des données vers la base de données commune du SAI. Par contre, sur le plan graphique, elle continue à être gérée par des logiciels qui ne permettent pas la numérisation géo-référenciée de l'information. Il est donc possible de récupérer en partie, les données qui y sont archivées, mais pour la mise en commun sous forme graphique de ces données, il est nécessaire d'adopter d'autres logiciels (ArcView, Rockworks...).

Cette base de données contient des tables qui sont principalement axées sur les structures de gestion des ressources en eau et non sur celles spécifiques à l'analyse de données physiques (hydrologie et hydrogéologie) et climatologiques (pluies, infiltration, évaporation). De ce fait, elle nécessite une restructuration complète en vue d'y intégrer les nouvelles tables spécifiques à ces données.

Les données hydrogéologiques nécessaires à la modélisation du système du SAI sont compilées dans les études de synthèses. Leur extraction a été principalement faite par l'équipe OSS du projet.

FORMAT DES FICHIERS ET DESCRIPTION, CODIFICATION UTILISÉE, ANALYSE DES CONTENUS (INFORMATIONS MANQUANTES, ANOMALIES...) ET PARTICULARITÉS :

Le format des fichiers obtenus est hétérogène et de trois types : Excel, Word et ACCESS. Les fichiers Excel contiennent des données hydrogéologiques relatives aux points d'eau, à la piézométrie, aux paramètres hydrodynamiques et quelques valeurs de débits d'exploitation des nappes. Ces fichiers contiennent beaucoup de lacunes, notamment des coordonnées manquantes, des points d'eau sans identifiant, altitudes non renseignées...

Les fichiers ACCESS sont au nombre de quatre dont trois sont vides de données et le quatrième est corrompu (impossible d'ouvrir).

Les fichiers Word sont au nombre de 16 et contiennent des descriptions de Logs de forages.

Les fichiers Excel se décrivent comme suit :

Nom du Fichier	Description	Nombre de lignes
Annexe II.1	Caractéristiques des points d'eau	1071
Annexe II.2	Caractéristiques des puits à grands diamètres	455
Annexe II.3	Caractéristiques des puits à grands diamètres	455
CLIMSTA	Caractéristiques des stations climatiques	5
HYDSTA	Caractéristiques des stations hydrologiques	89
IRHFOR	Caractéristiques des points d'eau	388
IRHPTM	Caractéristiques des points d'eau	988
IRHPZO	Données sur les altitudes piézométriques	61
Puits-lullemeden_Mali	Caractéristiques des puits	802
IRHAEP	Caractéristiques des puits	14
IRHCHI	Données sur la chimie des eaux	11
IRHEss	Données sur niveaux statiques	26
IRHPOM	Données sur les types d'ouvrage	208
Villages	Inventaire des points d'eau	453
Villages-lullemeden	Inventaire des points d'eau	349

Tous ces fichiers, en particulier ceux nommés caractéristiques des points d'eau peuvent contenir, en plus des informations sur leur identification, les données sur les coordonnées, les types d'ouvrage, les captages, la piézométrie et la qualité chimique de l'eau (résidu sec).

II.2.2. Données du Niger

Le ministère de l'Hydraulique, de l'Environnement et de la Lutte contre la désertification, abrite la Direction des ressources en eau (DRE) qui est l'institution chargée de l'inventaire et de la gestion des ressources ; Le service de l'Inventaire des ressources hydrauliques (IRH) gère au sein de la Direction des ressources en eau, la base de données sur les ressources en eau.

Cette base de données (nommée SIGNER) élaborée dans des conditions similaires à celle du Mali et suivant le même schéma, présente une architecture qui est basée sur les mêmes logiciels de traitement. Ici également, dès le milieu des années 1990, cette structure s'est avérée limitée vu qu'elle est principalement orientée vers les usages de l'eau, l'AEP et l'assainissement. Elle présente une approche statistique pour mettre en évidence les agglomérations desservies et le système de desserte.

Elle a vite subi des modifications locales et a été annexée à un SIG pour servir de support au SIGNER.

Elle répertorie l'ensemble des points d'eau du Niger mais ne donne pas suffisamment de détails sur l'aspect hydrogéologique des nappes ou les caractéristiques des points d'eau en dehors de la profondeur atteinte, du débit et du niveau de nappe. Les historiques piézométriques, d'exploitation et de qualité des nappes font défaut dans cette base de données.

Ce système de gestion, initialement installé sur Dbase III, s'est vite avéré limité pour l'aspect support en logiciels et a fait l'objet, il y a une année, d'un passage à Access¹. Sa principale lacune actuelle est le manque de géo-référencement de ses données, aspect qui est actuellement en phase d'examen pour son amélioration.

Ainsi donc, la base de donnée de l'IRH est graduellement passée, pour des considérations structurales, d'un outil de gestion de la BD des ressources en eau à un outil de gestion de l'eau à l'échelle

1. Selon M. BAKO Maman, informaticien, spécialiste en SIG et hydraulicien chargé de la gestion du SIGNER réalisé dans le cadre de la Décennie Internationale Pour l'Eau Potable et l'Assainissement (DIEPA).

nationale avec des liaisons avec l'IRH, sans toutefois être en mesure d'assurer la représentation de l'aspect hydrogéologique.

L'IRH dispose d'une base de données (avec 21708 points d'eau) dont le SIG est géré par AtlasGIS. Des formations du personnel sont prévues pour transférer ce SIG sur ArcView. SIGNER fait de son côté, le traitement des données de la Base de données de l'IRH, mais pour des applications autres que celles de la DRE. Il est opérationnel depuis avril 1989. Il valorise la base IRH et permet de coupler, entre autres, les aspects ressources et besoins.

Il sert d'appui à la SRP (Stratégie de réduction de la pauvreté) et au PAC (Programme d'action communautaire). Tant qu'il est structurellement dissocié de l'IRH, il est difficilement de le concevoir comme un outil en mesure de se pencher sur les problèmes de suivi de la ressource en eau.

L'examen des données disponibles dans la base de données de l'IRH montre qu'elles sont principalement hydrogéologiques et concernent plus spécifiquement les points d'eau modernes (puits maçonnés et forages) créés dans le cadre des programmes d'AEP communaux. Pour ces points d'eau, l'information disponible concerne plutôt les usages et les usagers et ne traite pas les aspects liés aux caractéristiques hydrogéologiques de base (données à la création, historiques des niveaux piézométriques, de l'exploitation et de la composition chimique).

Pour ce qui est de l'aspect « historique », il a fallu faire la compilation des différentes études de synthèse pour en extraire les données recherchées et assurer leur saisie, tâches auxquelles s'est attelée l'équipe OSS du projet SAI.

FORMAT DES FICHIERS ET DESCRIPTION, CODIFICATION UTILISÉE, ANALYSE DES CONTENUS (INFORMATIONS MANQUANTES, ANOMALIES...) ET PARTICULARITÉS :

Le format des fichiers est hétérogène : Excel, Word, pdf, Dbase et des images jpg. Ils regroupent des données géologiques et hydrogéologiques relatives aux points d'eau, aux historiques piézométriques, aux paramètres hydrodynamiques et quelques valeurs de débits d'exploitation des nappes. Les lacunes notés sont de types : coordonnées manquantes, points d'eau sans identifiants, altitudes non renseignées, dates non renseignées, paramètres hydrodynamiques inconnus...

Il est aussi à noter l'existence de doublons dû à la confusion entre l'identifiant (N°IRH) et l'indice du village.

Les fichiers se décrivent comme suit :

Nom du Fichier	Description	Nombre de lignes
PEM du Bassin lullemeden.xls	Caractéristiques des points d'eau	13431
Format_Géologie 2 Revisé.xls	Logs stratigraphiques des forages	531
Niger_Ci_CT1	Caractéristiques des points d'eau	125
Données Pluvio Nord et Sud Niger.xls	Données de pluviométrie mensuelle (6 stations)	180
Données hydrochimiques des forages italiens (Il Nuovo Castoro).xls	Données hydrochimiques et piézométriques	604
NER009 Données chimiques 1 ^{re} Campagne.xls	Données chimiques	32
NER Carte des points d'échantillonnage.doc & RAF 038 Carte des enregistreurs installés.doc	Cartes de situation des points d'analyse chimique	
RAF038 Données chimique 1 ^{re} Campagne.xls	Liste des échantillons d'eau prélevés dans la zone du projet	46
Forages-AFD Maradi.xls	Données chimiques	241
Tous-les-ouvrages-AFD Maradi.xls	Caractéristiques des points d'eau	302

Nom du Fichier	Description	Nombre de lignes
BASE-CH.XLS	Données géométriques et hydrodynamiques de l'aquifère du Ci	50
BASECT1.XLS	Données géométriques et hydrodynamiques de l'aquifère du CT1	76
BASECT1B.XLS	Données géométriques et hydrodynamiques de l'aquifère du CT1	67
BASE-CT2.XLS	Données géométriques et hydrodynamiques de l'aquifère du CT2	91
BASE-CT3.XLS	Données géométriques et hydrodynamiques de l'aquifère du CT3	148
DALMA1.xls	Fluctuations piézométriques de nappe libre du Dallol Maouri	33
DALMA2.xls	Fluctuations piézométriques de nappe libre du Dallol Maouri	33
DALMA3.xls	Fluctuations piézométriques de nappe alluviale du Dallol Bosso	33
korama.xls	Fluctuations piézométriques de nappe alluviale des Koramas	35
MachayaKOR.xls	Fluctuations piézométriques de nappe alluviale de Machaya	445
PiézoDANTIANDOU.xls	Fluctuations piézométriques de nappe de Dantiandou	62
PiézoMaradi.xls	Fluctuations piézométriques de nappe alluviale de Goulbi de Maradi	140
PiézoTELOUA.xls	Fluctuations piézométriques de nappe alluviale de Talloua	301
piézozinder1.xls	Relevés piézométriques du champ de captage de GOGO Zinder	451
piézozinder.xls	Relevés piézométriques du champ de captage de GOGO Zinder	156
Statistiques des prélèvements d'eau.xls	Statistiques des prélèvements (2001-2005)	185
Production de décembre 2005.xls	Paramètres d'exploitation des Forages: Mois de Décembre 2005	179
Problèmes d'exploitat° des 43 centres.xls	Description de la situation existante dans les 43 centres	103
SAI_Degré Carré Niamey.xls	Caractéristiques des points d'eau	984
SAI_Données Hapex Sahel.xls	Caractéristiques des points d'eau	572
SAI_Fichier Général _Niger.xls	Caractéristiques des points d'eau	7725
SAI_Fichier Général Dépt Tillabery.xls	Caractéristiques des points d'eau	3800
SAI_Fichier Général Dépt Dosso.xls	Caractéristiques des points d'eau	2765
SAI_Fichier Général Dépt Tahoua.xls	Caractéristiques des points d'eau	2502
SAI_Fichier Général_Niger_1.xls	Caractéristiques des points d'eau	427
SAI_Fichier Général_Niger_2.xls	Caractéristiques des points d'eau	2684
SAI_Fichier Général_Niger_3.xls	Caractéristiques des points d'eau	2418
SAI_Fichier Général_Ouvrages.xls	Caractéristiques des points d'eau	9067
SAI_Forages Aquifères captés_Dépt de Dosso.xls	Type d'aquifère capté	1519
SAI_Forages Aquifères Captés_Dept Tahoua.xls	Type d'aquifère capté	1880
SAI_Forages Aquifères Captés_Dépt Tillabéry.xls	Type d'aquifère capté	1246
SAI_Tillabery.xls	Type d'aquifère capté	110

II.2.3. Données du Nigeria

Contrairement au Mali et au Niger, nous n'avons pas eu connaissance d'une Base de Données nationale. Nous disposons de très peu de données sur la partie du bassin située dans ce pays. L'information recueillie provient des archives nationales. Les historiques d'exploitations sont obtenus en formulant des hypothèses et en utilisant les données de recensement en 2004 des populations des principales localités situées dans le bassin.

FORMAT DES FICHIERS ET DESCRIPTION, CODIFICATION UTILISÉE, ANALYSE DES CONTENUS (INFORMATIONS MANQUANTES, ANOMALIES...) ET PARTICULARITÉS :

Le format des fichiers est hétérogène. Ils regroupent des données hydrogéologiques relatives aux points d'eau, aux historiques piézométriques et de qualité de l'eau, aux paramètres hydrodynamiques et quelques valeurs de débits d'exploitation des nappes. Les lacunes notés sont de types : coordonnées manquantes, points d'eau sans identifiant, altitudes non renseignées. Ces fichiers ne contiennent pratiquement pas de données sur les paramètres hydrodynamiques caractérisant le bassin.

Les fichiers se décrivent comme suit :

Nom du Fichier	Description	Nombre de lignes
SAI_Nigeria_Boreholes.xls	Données hydrogéologiques et hydrochimiques des points d'eau	153
JICA Coordinates seeking.xls	Données hydrochimiques des points d'eau	95
JICA Sokoto 1990.xls	Piézométrie 1988 – 1989 ; quelques paramètres hydrodynamiques ; Quelques données sur les prélèvements	64
Nigeria Data Boreholes IAS.xls	Données isotopiques et caractéristiques des points d'eau	25
SAI_Nigeria_Boreholes.xls	Caractéristiques des points d'eau ; quelques valeurs piézométriques	30

Ainsi, il est clair que les données des ressources en eau des trois pays se trouvent sur des supports d'informations au sein de leurs administrations respectives, qui sont inadéquats aux tâches qui sont attendues du projet SAI. La majeure partie de ces données n'est pas intégrée dans les bases de données nationales. Celles-ci, quand elles sont disponibles ne contiennent qu'une partie de l'information dont la mise en forme n'est que partiellement exploitable. Les autres données, essentiellement sous forme de documents graphiques, nécessitent un effort de compilation, de saisie et de vérification avant leur mise en forme dans la base de données commune du SAI.

Les données qui y sont archivées sont hétérogènes, incomplètes et pour la majeure partie, non adaptées. Les supports de ces bases de données ne facilitent en rien la récupération exhaustive de cette information et son introduction dans la base de données commune. Une opération d'actualisation des supports doit être entreprise avant de procéder à la mise en place des nouvelles données en vue d'avoir une information parfaitement opérationnelle.

II.3. Informations complémentaires collectées durant le projet

Les données hydrogéologiques nécessaires à la modélisation du système aquifère du SAI sont compilées dans les études de synthèses. Leur extraction a été principalement faite par l'équipe OSS du projet.

Plusieurs sources d'informations ont été utilisées pour la collecte des données :

- /// BD nationales pour les caractéristiques des points d'eau (BD-IRH au Niger et SIGMA2 au Mali) ;

- /// fichiers Excel contenant les données résultant de la compilation des données nationales par les experts des pays associés à l'activité de collecte des données² ;
- /// saisie manuelle des données d'archives (notes, rapports, travaux scientifiques publiés, travaux universitaires inédits, documents techniques, etc.) par les experts nationaux et l'équipe de l'OSS ayant concerné spécifiquement les historiques de l'exploitation, de la piézométrie, et de la chimie des eaux ainsi que les caractéristiques hydrodynamiques et les données géologiques relatives aux sondages pétroliers et forages d'eau, non existants dans les BD des pays.

II.3.1. Les données géologiques

Plusieurs Logs et coupes de forage publiés dans la bibliographie ont été exploités et ont contribué à la définition de la géométrie des aquifères et à la conceptualisation du système.

II.3.2. Autres données issues de documents d'études

Il s'agit notamment de données hydrogéologiques relatives essentiellement aux niveaux d'eau, à l'exploitation, à la chimie, et aux paramètres hydrodynamiques (transmissivités, coefficients d'emmagasinement, perméabilités).

II.3.3. Anomalies et lacunes

▶▶ EXPLOITATION

La table « Exploitation » n'a pu être suffisamment alimentée en données spécifiques (Débit, date) comme il est attendu, et ce à cause du manque d'un historique des mesures des débits ou des volumes exploités pour un usage spécifique (AEP, irrigation, cheptel, industrie). Cette lacune principale dans le suivi des aquifères du SAI rend le calage du modèle relativement fastidieux, du fait qu'on est amené à utiliser des méthodes de recoupement pour évaluer cette exploitation.

C'est donc un recoupement basé sur l'effectif (population ou animaux) et la « demande » sectorielle (besoins en eau/hab/j, besoins en eau /TB, besoins en eau/ha irrigué, etc.), ou l'effectif et la « production en eau » (production journalière des centres communaux) que cette exploitation est approchée d'une manière très sommaire. D'autres hypothèses sont prises en considérations dans cette évaluation chaque fois que des éléments d'appréciation sont disponibles en vue de présenter des estimations de l'exploitation par aquifère et par pays qui soient les plus plausibles.

▶▶ CHAMPS IMPORTANTS NON RENSEIGNÉS

Comme c'est une étape d'initialisation du système d'information, les données rassemblées proviennent de sources diverses :

- /// les formats sont différents ;
- /// la codification, quand elle existe, est hétérogène ;
- /// le niveau d'informations diffère d'un pays à l'autre ;
- /// beaucoup de données sont extraites de documents d'étude (ce ne sont donc pas des données de base).

2. C'est le cas des équipes du Mali et du Niger dont la contribution est synthétisée par les deux documents produits spécifiquement pour les besoins de la modélisation des aquifères du SAI, à savoir :

- Moumouni Moussa A. & Rabé S. (Janvier 2007). Collecte des données hydrogéologiques du Système aquifère d'Iullemeden dans la partie nigérienne. OSS, 12 p. et tableaux annexes
- Maïga S. & Bouaré D. Collecte des données hydrogéologiques du Système aquifère d'Iullemeden dans la partie malienne. OSS, décembre 2006, tableaux annexes

Pour toutes ces raisons, les données recueillies ne sont pas toujours compatibles avec la structure de la base de données. Par conséquent, certains champs restent non renseignés.

Caractéristiques des points d'eau

Des champs sont définis pour décrire le point d'eau et des solutions adoptées pour le caractériser.

Champ	description	Solution adoptée
NoClas	Numéro d'identification du point d'eau	Codification manuelle
Code_aquif	Code de l'aquifère capté par le point d'eau	Utilisation du SIG et requête
Nom_admin	Unité administrative	Utilisation du SIG
Code_usage	Usage du point d'eau	Requête de transformation
Code_etat	Etat du point d'eau	
Artesien	Forage artésien ou non	Requête
Alt	Altitude du point d'eau en mètres	MNT de meilleure résolution 90 mètres

Coordonnées

- ⚡ Beaucoup de points d'eau disposant d'un historique de prélèvement sont dépourvus de coordonnées. Ce qui les exclut du modèle PM5, car ne pouvant pas avoir un numéro de maille ;
- ⚡ il existe des doublons par les coordonnées : points d'eau ayant des caractéristiques différentes (identifiant, nom, ...) mais avec des coordonnées identiques.

II.4. Les données géographiques communes

II.4.1. Topographie et fonds de base

Dès le démarrage du projet SAI, nous avons été confrontés au besoin de disposer d'un fond topographique commun à l'ensemble du bassin d'Iullemeden. Celui-ci s'est avéré nécessaire pour délimiter le système surtout que les limites hydrologiques ne sont pas forcément partout identiques aux limites des aquifères. L'OSS a procédé à l'élaboration de ce fond au 1/1 000 000^e (figure 1).

Le fond topographique adopté dans cette carte, est celui de l'IGN grâce auquel a été élaboré un MNT regroupant les données topographiques de la Digital Word Chart (DWC) (figure 2).



FIGURE 1 : fond topographique au 1/1 000 000^e

La carte topographique ainsi élaborée, déborde les limites du bassin d'Iullemeden proprement dit. Elle s'étend entre les méridiens 0° et 15° E et les parallèles 10° et 22° N. Cette extension volontairement choisie est adoptée en vue de pouvoir examiner toutes les hypothèses sur les liaisons hydrauliques des aquifères du bassin d'Iullemeden avec ceux des autres bassins limitrophes comme celui du lac Tchad.

Les informations géographiques associées à ce fond topographique sont les suivantes :

- /// le réseau hydrographique : cours d'eau permanent, cours d'eau temporaires, zones humides permanentes, zones humides temporaires, plan d'eau ;
- /// courbes de niveau : principales et secondaires avec équidistance de 100 m ;
- /// points cotés ;
- /// principales agglomérations : capitale, chef lieu de région, ville chef lieu de département, ville chef lieu de subdivision, ville secondaire ;
- /// routes : principales, secondaires, chemin de fer, pistes ;
- /// autres indications : palmier, points d'eau, végétation halophile, végétation marine.

Ces couches sont listées dans le tableau ci-dessous :

Nom du fichier Shp	Description	Type	Source
Hydrography.shp	Réseau hydrographique	Ligne	DCW
Fleuve_niger.shp	Fleuve Niger	Polygone	DCW
Villes_principales	Agglomérations principales	Point	DCW
Cnv_50_1-int.shp	Courbes de niveau (équidistance 50 m)	Ligne	Cartes topographiques
Water_bodies.shp	Lacs	Polygone	Cartes topographiques
Dallols.shp	Dallols	Polygone	Cartes topographiques
Humide.shp	Zones humides	Polygone	Cartes topographiques
Limite_zone	Limites de la zone du SAI	Polygone	OSS
Routes.shp	Routes principales	Ligne	Cartes topographiques
Pcote.shp	Points cotés	point	Cartes topographiques

II.4.2. Le MNT

C'est un fichier au format EsriGrid constitué à partir de GTOPO30. La résolution est de 30" d'arc.

La résolution kilométrique varie donc avec la latitude. Le système de coordonnées original est en degrés décimaux sur l'ellipsoïde WGS84. L'altitude est exprimée en mètres depuis le niveau moyen de la mer.

Cette résolution ne permet pas une représentation très précise du terrain. Toutefois, La reconstitution des altitudes des points, indispensable

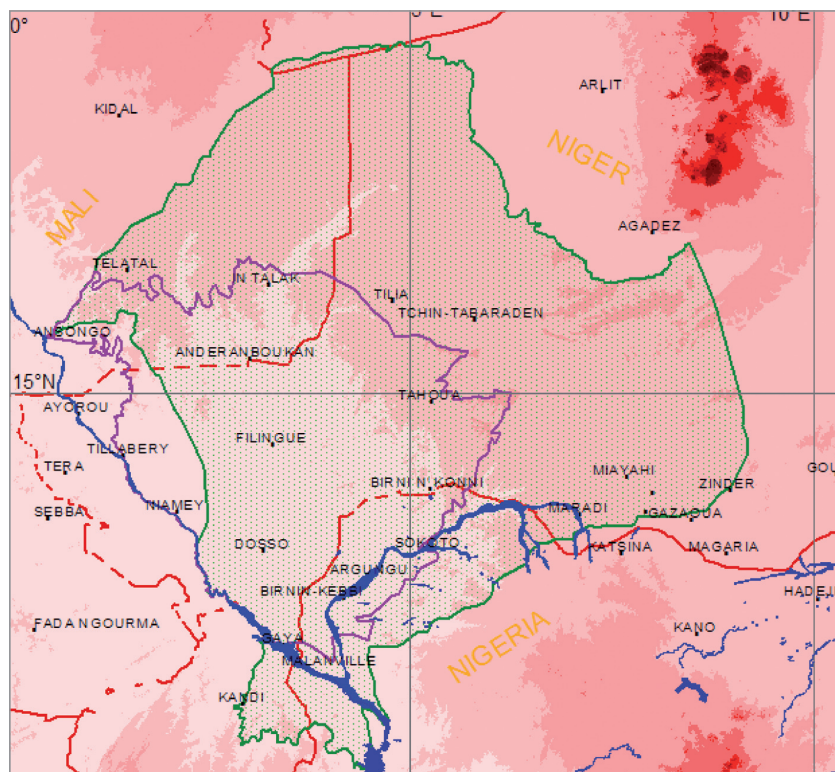


FIGURE 2 : MNT de la zone SAI

au traitement de la piézométrie, peut donner des résultats exploitables.

II.4.3. Hydrogéologie (Aquifères)

Les couches hydrogéologiques représentées sur les cartes du SAI sont principalement :

- /// les « points d'eau » qui sont en lien direct avec la BD et apparaissent sur carte, suivant une configuration spécifique au point de rattachement géographique,
- /// les « limites des systèmes aquifères » dont principalement les deux couches aquifères du Continental intercalaire (Ci) et du Continental Terminal (CT). Ces limites sont établies sur la base d'une analyse structurale poussée qui se réfère aux données de la géologie de surface, des sondages et des études géophysiques,
- /// les « failles » ou « accidents tectoniques majeurs » sont configurés sur carte, sur la base de la documentation disponible, particulièrement la carte tectonique de l'Afrique. Cette configuration est validée par la suite, par le tracé de corrélations entre les sondages mécaniques,
- /// carte piézométrique initiale : cette carte regroupe toutes les mesures piézométriques antérieures ou réalisées en 1970 rapportées à cette date pour représenter l'état piézométrique initial. Cette piézométrie est rapportée au niveau général des mers (NGM) en se référant au nivellement de l'altitude des points d'eau ou au MNT en cas d'indisponibilité de mesure locale d'altitude.

Nom du fichier	Description	Type	Source
Failles.shp	failles	Ligne	Cartes géologiques
Extension_ci_sai.shp	Limites du Ci	Polygone	OSS
Extension_ct_sai.shp	Limites du CT	Polygone	OSS
Zonesderecharge_ci	Zones de recharge du Ci	Polygone	OSS
Zonesderecharge_ct	Zones de recharge du CT	Polygone	OSS
Piezo_ensemble-ci.shp	Piezometrie initiale du Ci	Ligne	OSS
Piezo_ensemble-ct.shp	Piezometrie initiale du Ci	Ligne	OSS
Transmissivites_ci_courb	Transmissivités dans le Ci	Ligne	OSS

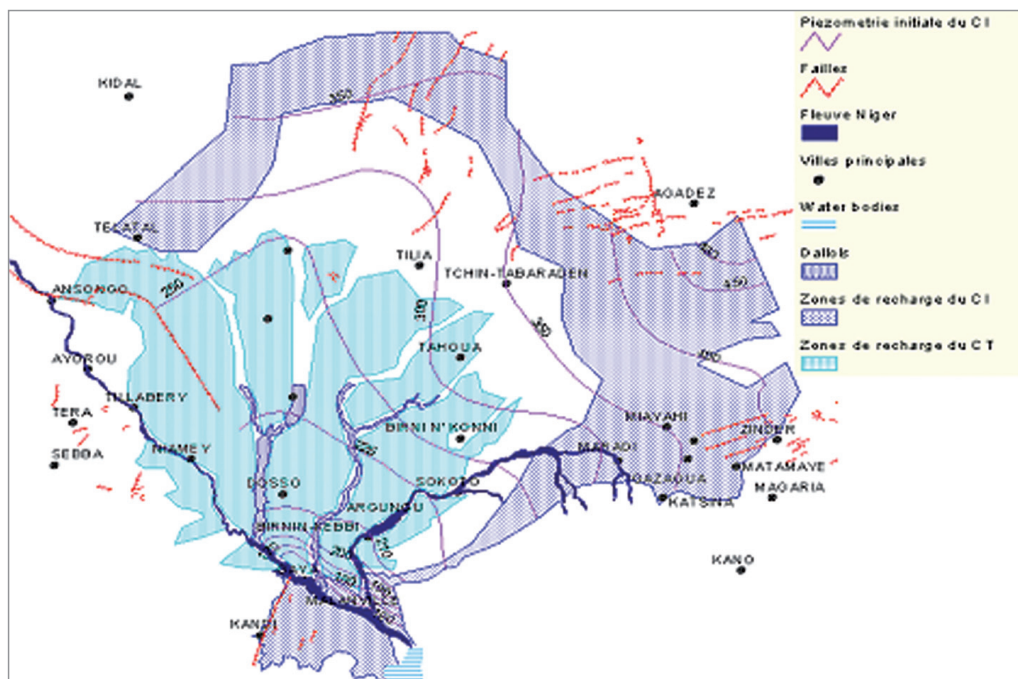
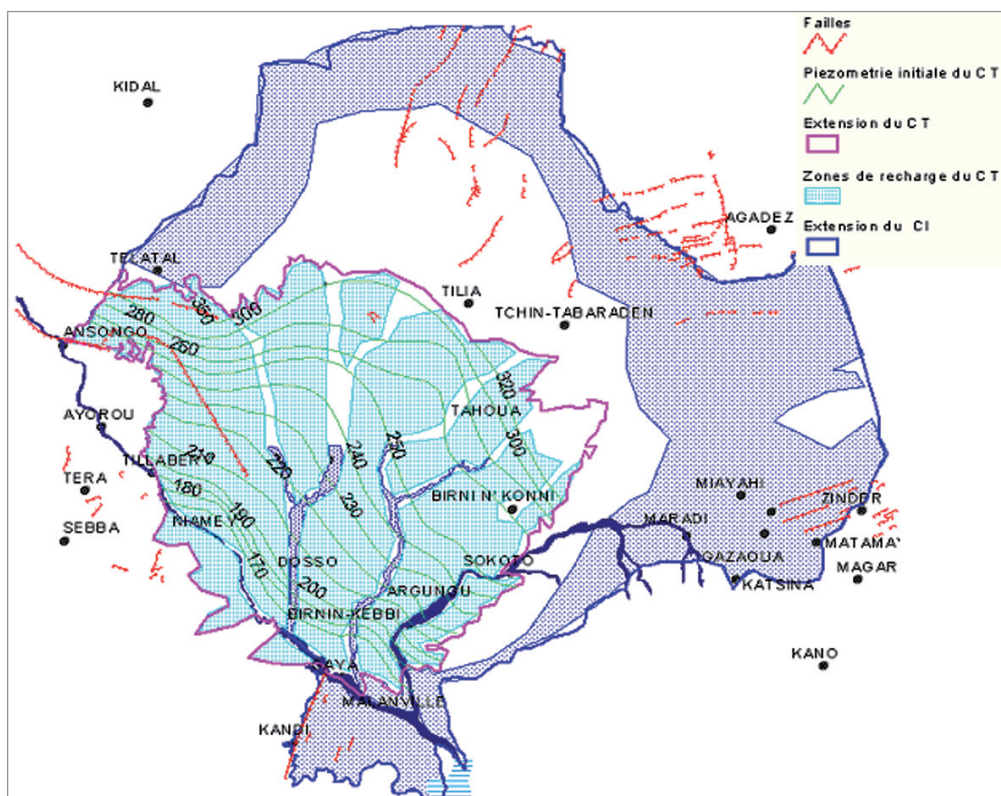


FIGURE 3 : piézométrie initiale du Ci



Liste des couches :

FIGURE 4 : piézométrie initiale du CT

II.4.4. Géologie

La carte géologique de la zone du SAI est élaborée à 1/2 000 000 (1/2M), en se référant aux différents documents géologiques disponibles ; principalement la carte géologique du Niger à 1/2M et à 1/1M, la carte géologique du Nigeria à 1/0,5M et à certaines autres feuilles de la carte géologique du Mali et de l'Algérie à 1/0,5M.

Cette carte (figure 5) a été dressée dans le cadre du projet. Elle fait la synthèse de l'ensemble de l'information géologique sur les affleurements des différentes couches. Il a été utile de conserver le maximum d'information spécifique aux documents consultés (nomenclature des formations et séries) tout en établissant l'homogénéisation nécessaire pour avoir une légende commune.

Liste des couches pour le thème géologie :

Fichier Shp	Description	Type	Source
Geol_iullumenden	Géologie du SAI	Polygone	OSS
Affl_ci_sai	Affleurement du Ci	Polygone	OSS
Affl_ct_sai	Affleurement du CT	Polygone	OSS
Affl_plio-quat	Affleurement du plio-quaternaire	Polygone	OSS
Cretace-sup	Affleurement du crétacé supérieur	Polygone	OSS
Failles	failles	Ligne	Cartes géologiques

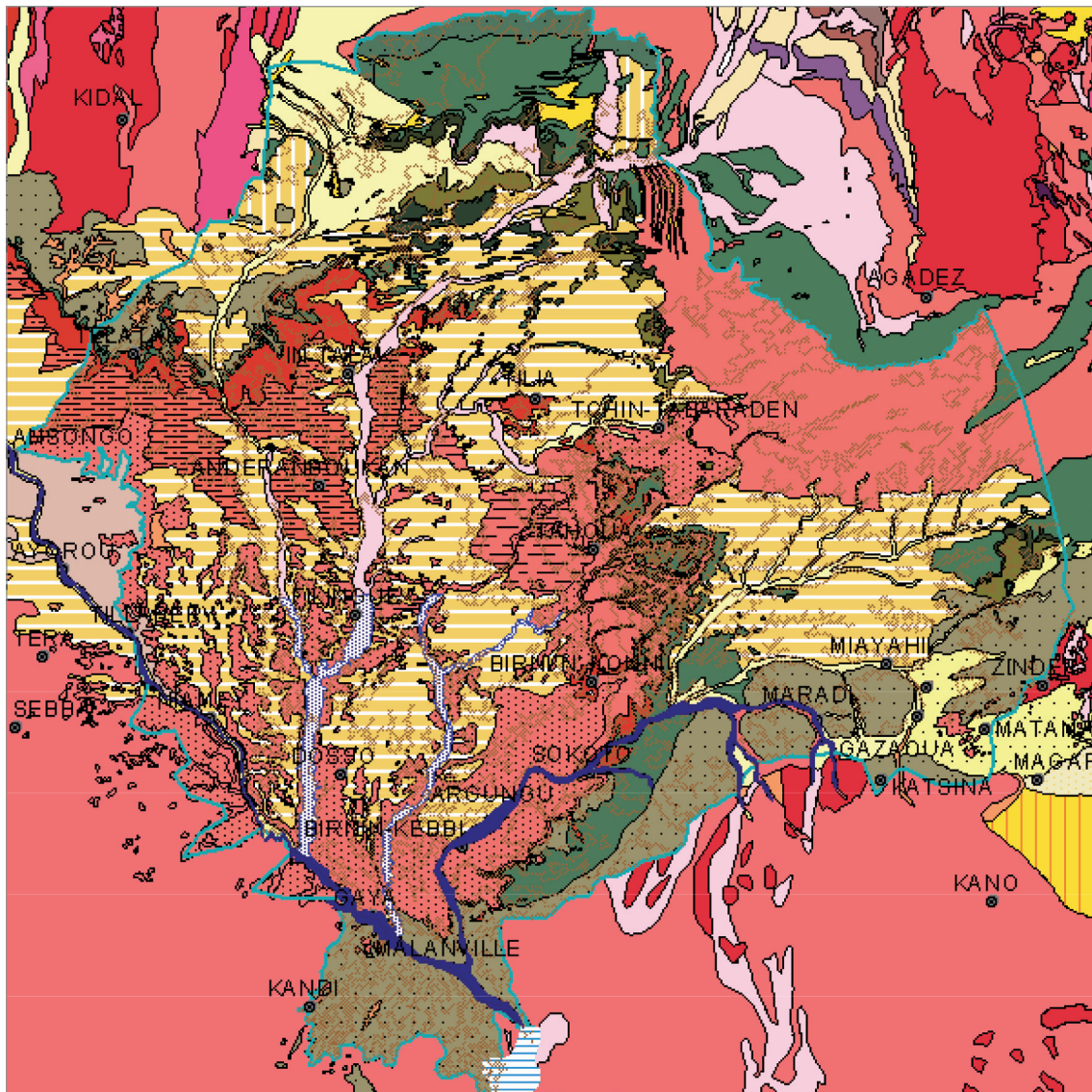


FIGURE 5 : carte géologique du SAI

L'ensemble de cette information géologique a servi pour élucider la structure du sous-sol du SAI et à identifier les différents niveaux aquifères au sein de ce système. Ainsi on a pu délimiter avec le maximum de précision, l'extension géographique des couches et leur répartition entre les trois pays qui se partagent le système aquifère. De même que cette information a été exploitée pour la précision de l'évolution verticale de l'épaisseur des couches qui est une donnée fondamentale pour le modèle hydrogéologique. La localisation géographique des failles au sein du SAI a permis de bien délimiter les différentes couches ainsi que les discontinuités latérales qu'elles subissent.

III. DESCRIPTION DE SISAI

La solution globale organisationnelle, qui a été définie pour mettre en œuvre le système d'information commun du SAI, est représentée sur la figure ci-dessous décrivant le processus de collecte et de mise en forme des données. Ce processus se base sur la contribution des équipes nationales dans la collecte et la sélection des données nécessaires au projet pour qu'elles soient partagées par les trois pays, par la suite.

L'adoption de formats spécifiques dans la base de données commune du SAI impose l'harmonisation et la validation de ces données. C'est à ce niveau qu'intervient l'équipe de l'OSS pour apporter son «savoir faire» à la lumière des objectifs attendus de l'utilisation de cette information dans le suivi des aquifères, de l'élaboration du bilan du système aquifère et de dégagement des tendances dans l'évolution de certains paramètres climatiques, hydrologiques ou hydrogéologiques.

La base de données commune du SAI est ainsi conçue comme un élément d'un processus d'analyse de l'information disponible et également comme un outil de génération des résultats qui servent l'Analyse diagnostique transfrontière (ADT).

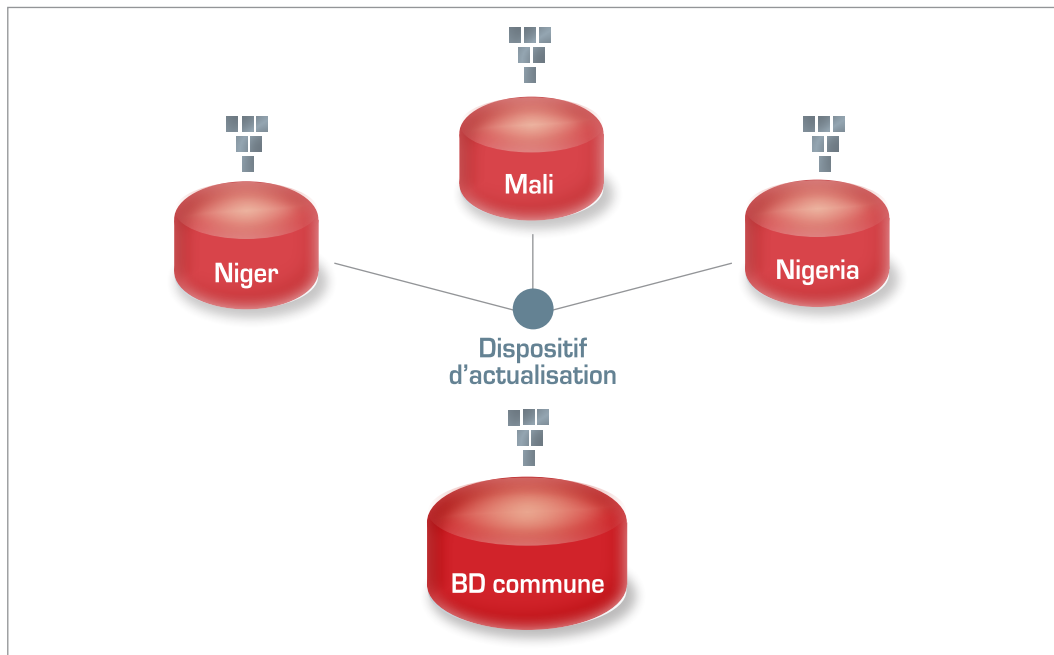
Ce sont ces objectifs qui ont imposés la participation active des équipes techniques des pays chargées de la gestion des ressources en eau du SAI. Ce choix a impliqué à son tour, la nécessité d'assurer une formation à ces équipes pour qu'elles soient en mesure de prendre, elles-mêmes, en charge les tâches de mise en place du système, de sa maintenance et de son adaptation aux besoins nationaux. La stratégie de mise en place progressive du système d'information commun du SAI appelée « SISAI », est portée sur le tableau 1 suivant :

Phase	Niveau régional	Niveau national
Pour l'Analyse diagnostique transfrontalière (ADT) : <ul style="list-style-type: none"> • Base de données • Modélisation • indicateurs 	Constitution de système d'information géoréférencé commun (Cartes numérisées, BD et GIS) Modèle de simulation du fonctionnement du Système aquifère	Amélioration du suivi des aquifères (points d'eau nouveaux, piézométrie, exploitation et hydrochimie) Consolidation des bases de données et GIS (performances de gestion, récupération des données en archives et acquisition de nouvelles données)
Pour le Programme d'actions stratégique (SAP) : <ul style="list-style-type: none"> • mécanisme de concertation • réseau de suivi • Planification concertée 	Cadre de concertation (gestion contrôlée) Réseau de suivi du SAI (aide à la décision) Indicateurs de suivi (aide à la décision)	Mise au point de stratégies de développement des ressources en eau Meilleure réponse à la demande en eau Préservation des aquifères et des milieux d'utilisation des eaux

TABLEAU 1 : Etapes de mise en place du SI du SAI et son rôle dans l'évaluation des risques hydrogéologiques

La solution globale organisationnelle de la base de données du SAI :

Le schéma ci-dessous représente une solution organisationnelle de l'instruction de la base de données commune, retenue d'un commun accord avec les équipes nationales. Il constitue l'approche d'harmonisation des bases de données nationales spécifiques à la gestion et au suivi des ressources en eau et se traduit par une architecture d'ensemble similaire pour les trois pays. Sur cette base, la tâche de gestion des eaux souterraines du SAI devient plus maîtrisable.



Cette structure de la base de données répondant à une gestion à l'échelle du bassin, peut être facilement adaptée à l'échelle des pays pour des besoins de suivi et de gestion beaucoup plus sectoriels ou localisés.

Le modèle conceptuel de la base de données commune (MCBD) du SAI répond en premier lieu aux objectifs suivants :

- /// **harmonisation des données** dans les trois pays en vue de s'en assurer une bonne compréhension du fonctionnement hydrodynamique du système aquifère dont une des premières applications est l'ADT ;
- /// **collecte de l'ensemble des données** climatiques, géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques permettant d'élaborer un modèle de simulation du système qui restitue son fonctionnement, son bilan en eau et ses échanges en fonction des entrées, des sorties et des transformations qui s'y produisent ;
- /// **collecte de l'ensemble de planifications, demandes en eau par secteur et visions sur l'évolution des besoins** pour mettre en place des simulations prévisionnelles, traduisant les réactions futures du système en fonction des pressions auxquelles ses aquifères sont soumis, et concrétiser ainsi le SAP.

Ces objectifs se traduisent par un ensemble de « **tables** » qui regroupent l'information nécessaire à la construction du modèle représentatif des aquifères du SAI, à son fonctionnement et aux conditions de l'exploitation de ces différents aquifères. Ces tables doivent être liées entre elles, par des **liaisons** – sur la base d'une certaine codification d'identification - permettant les échanges entre les tables ainsi que la restitution des résultats et leur groupement ou superposition en couches thématiques.

Les liaisons entre le « système d'information » [base de données commune et SIG] d'un côté et le modèle de simulation du système aquifère, d'un autre côté sera examiné postérieurement dans le cadre de l'utilisation de l'information de la base de données dans l'élaboration du modèle hydrogéologique.

Pour que ce système d'information soit adopté comme outil d'aide à la décision et pour la gestion à moyen et long terme du SAI, des procédures de mise à jour régulières de l'information sont définies en même temps que les protocoles d'accès et privilèges des différents utilisateurs vis à vis de la base de données commune.

L'objectif immédiat de ce système d'information est la préparation des données pour l'élaboration du modèle numérique simulant le fonctionnement du SAI et permettant d'élaborer son bilan en eau, la base de données commune a été réalisée et validée avec les pays, à partir d'un modèle conceptuel global répondant à ces objectifs et admettant les hypothèses et conditions aux limites ayant reçu l'accord des trois pays (extension géographique, configuration structurale, liaisons avec le réseau hydrographique...).

Sur le plan structurel, les pays ont opté pour :

- /// la mise en place d'une base de données commune au niveau du SAI en vue de la gestion concertée des ressources en eau partagées ;
- /// l'adoption du schéma structurel de la base de données commune en vue de son adaptation dans les BD nationales assurant la gestion et le suivi des ressources en eau, vu que ce schéma est spécifique à ces tâches et admet les ajouts et modifications le rendant conforme aux besoins des pays. En effet, basé sur des règles de « bases relationnelles », ce système est extensible et adaptable tout en permettant l'harmonisation des données et d'en assurer l'actualisation ;
- /// la définition de procédures claires de mise à jour des données entre les différents partenaires ;
- /// la mise en place de mécanismes de sécurisation des données (autorisations d'accès, niveaux d'utilisation...).

Chaque fois que des améliorations sont portées sur la structure du système d'information du SAI ou de son contenu, les trois pays bénéficient de ces améliorations et sont associés à ces améliorations. Ils disposent de toute latitude pour poursuivre les extensions souhaitées à l'échelle nationale, afin d'utiliser ce système en tant qu'outil de gestion de leurs ressources en eau et ne sont appelés à mettre en commun que les données qu'ils jugent nécessaires aux objectifs du projet.

Les mécanismes de mise à jour des données qui a été adopté, en cas de modification, se basent sur le principe de la réplication qui est fourni dans la plupart des SGBD du marché. Il a été jugé plus pratique, durant cette phase du projet de ne pas imposer à la base de données commune, un certain mécanisme de sécurisation du système, mais d'opter pour l'échange mutuel d'information avec référence à la copie de la base de données gérée par l'OSS jusqu'à l'achèvement de toute les opération de l'implémentation de l'information et de son traitement pour les besoins du modèle hydrogéologique.

III.1. Choix techniques et maîtrise des outils informatiques

La solution technique, pour les logiciels assurant le fonctionnement du système d'informations du SAI, est adoptée en tenant compte des points suivants :

- /// la disponibilité dans le secteur publique (l'existant au sein des trois pays) ;
- /// la simplicité de mise en œuvre et la maîtrise par les équipes nationales du projet ;
- /// les formats et modes d'échange des données avec le modèle numérique ;
- /// les tendances technologiques du moment.

Il est d'une importance primordiale que les outils à utiliser soient **facilement accessibles** aux techniciens des administrations des ressources en eau responsables de la gestion des aquifères du SAI. En effet, avec de nouveaux logiciels non disponibles dans le secteur public, il serait très difficile à ces gestionnaires du système d'information du SAI de disposer au bon moment du matériel nécessaire et de la maîtrise de son utilisation. Il ne sert à rien d'ajouter de nouveaux outils technologiques à ceux qui se sont déjà révélés peu efficaces après un certain nombre d'années (cas du Mali et du Niger).

La simplicité de mise en œuvre et la maîtrise des outils de gestion de ce 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 d'une importance capitale que la maîtrise de cet outil se fasse sans une longue période de formation afin de passer aux applications envisagées.

Les liens du système d'information avec les autres applications, particulièrement le modèle de simulation des aquifères du bassin, constituent un aspect à ne pas négliger du fait que vu l'hétérogénéité de l'information disponible, sa masse exhaustive et le besoin de son traitement géo-référencié. Il est pratiquement très difficile d'assurer son analyse par modélisation en ayant uniquement recours aux méthodes manuelles d'introduction des données. Le traitement géo-référencié de cette information est un moyen de sa validation et de son homogénéisation.

Le contexte technologique au démarrage du projet (2004) se caractérisait dans le domaine informatique, par la puissance de plus en plus accrue des SGBD (bureautique) qui les rapprochent des véritables SGBD. Cette tendance ne devait donc pas être négligée afin de ne pas se trouver rapidement dépassé par l'évolution technologique et qu'on puisse assurer par la suite aux logiciels adoptés, les possibilités de transfert sur d'autres supports plus performants. C'est pour cette raison que le choix s'est fixé sur **ACCESS** qui dans sa version récente, dispose de fonctionnalités intéressantes.

En effet, dans sa version 2000, ACCESS possède des caractéristiques qui permettent de gérer des bases des données dont le volume est assez important (jusqu'à 2 Go) dans un environnement réseau et même en Intranet. Ce dernier dispose également d'utilitaires intéressants comme :

- /// **la réplication** qui permet la mise à jour d'une base centrale par des BD régionales: l'actualisation des données après modification par les équipes des pays ou du projet SAI, est réalisée à l'aide d'un mécanisme qui synchronise le contenu de toutes les BD en maintenant la cohérence des données ;
- /// **l'accès concurrent aux données** dans un environnement multi-utilisateur ;
- /// **une sécurisation élaborée des données** : possibilité de créer plusieurs groupes ayant chacun des autorisations et droits d'accès ;
- /// **la possibilité de migration** aisée vers des systèmes plus importants tels que SQL/SERVER par le biais d'un simple utilitaire livré avec le produit.

Le choix s'est donc porté sur le logiciel ACCESS car la nature des traitements et le volume de données gérées par le projet SAI ne nécessitent pas un SGBD plus important. Ce logiciel, élément du système de gestion OFFICE, est largement employé dans les administrations et les équipes des trois pays en ont une maîtrise suffisante pour exploiter et administrer la base de données qui est gérée par son biais. C'est dans la même optique qu'a été faite la sélection des autres logiciels de gestion du système d'information du SAI.

Les logiciels de gestion du système d'information du SAI ainsi retenus sont les suivants :

- /// SGBD : **ACCESS** pour son utilisation et sa maîtrise dans les trois pays et sa facilité d'interfaçage avec le SIG. La version 2000 permet en outre une migration aisée vers SQL-SERVER envisagée par le Niger dont la Base de données IRH a évolué de Dbase III vers ACCESS, il y a un an maintenant.
- /// Logiciel SIG : **ARCVIEW** a été choisi pour sa simplicité, sa puissance, sa compatibilité parfaite avec ACCESS et son usage assez généralisé dans le domaine des ressources en eau. Doté d'un langage de développement puissant, il permet l'écriture d'utilitaires personnalisés nécessaires pour effectuer les liens SIG-Modèle mathématique.
- /// Ce logiciel est utilisé dans les administrations des ressources en eau des trois pays du projet.

Le SIG assurant actuellement l'interface graphique de la BD IRH (du Niger) est l'**Atlas GIS**. Les besoins en documents cartographiques géo-référencés ont démontré les limites de cet outil. Des sessions de formations sur Arcview ont été effectuées, au sein de la Direction des Ressources en Eau du Niger pour familiariser les utilisateurs de la Base IRH avec cet outil, dans le but d'assurer le passage d'Atlas GIS à Arcview.

- /// Extension **SPATIAL ANALYST** sous Arcview, acquise pour réaliser les opérations d'interpolation et d'élaboration de cartes d'iso-valeurs.
- /// Extension **IMAGE ANALYSIS** sous Arcview, pour le traitement des cartes scannées et leur numérisation.

A l'aide de ces outils, le système d'information du SAI est un système performant de gestion et de traitement des données, et il le restera pour quelques années encore sur la base d'un inventaire exhaustif des procédures de traitement et du mode organisationnel retenu.

III.2. Architecture générale du SISAI

Une des caractéristiques de la démarche adoptée pour la mise en place de la base de données commune du SAI, est la séparation entre **la structure de données** et **les traitements** subis par celles-ci.

En d'autres termes, et pour aboutir à un système d'information ouvert et évolutif, il est fait abstraction, dans un premier temps, des **procédures de traitement** qui, elles, sont sujettes à des changements. L'accent est donc mis sur la partie la plus stable constituée par les données en cernant de façon précise :

- /// les ensembles d'informations (entités) ;
- /// la nature des liens existants entre ces ensembles ;
- /// les règles de gestion associées à ces entités.

Cette approche qui permet d'élaborer la représentation la plus proche possible du réel perçu, vise la production d'un modèle de données (MCD) qui synthétise les entités et les relations à l'aide d'un formalisme qui découle des règles existantes ou envisagées :

- /// un point d'eau peut capter un ou plusieurs aquifères ;
- /// un point d'eau à une date donnée fournit un certain débit ;
- /// un point d'eau peut servir à plusieurs utilisateurs ;
- /// un usager peut être alimenté par plusieurs points d'eau ;
- /// un point d'eau possède un numéro de maille au sein d'un maillage donné de l'espace.

C'est l'identification des relations entre les différents éléments du modèle des données qui requiert la plus grande importance pour que les applications qui en découlent puissent répondre aux besoins en informations attendues.

Cette séparation entre données et traitements se traduit également par la mise en place au niveau physique, de deux fichiers distincts :

- /// « SAI_DATA.MDB », qui contient les données seulement (tables) ;
- /// et « SISAI.MDB » qui contient les programmes (interface et modules de traitement).

Cette structure offre les avantages suivants :

- /// la possibilité d'utilisation dans un environnement multiutilisateurs : « SAI_DATA.MDB » sur un serveur et « SISAI.MDB » sur des postes de travail. Ce qui permet de disposer d'une source

de données unique, pouvant être partagée.

- /// Une meilleure stabilité du système qui garantit ouverture et évolutivité.

III.3. Description de la base de données

Partant du principe d'une base de données relationnelle et tenant compte du besoin de disposer d'une base de données pour l'élaboration d'un modèle hydrogéologique qui simule le fonctionnement du système aquifère d'Iullemeden, la conception de cette base de données est faite avec une structure qui se réfère aux points d'eau comme clé principale d'aboutissement à l'information. De ce fait, le schéma d'ensemble de la base de données est conçu en plusieurs « tables » reliées entre elles par des relations univoques ou multiples pour traiter l'information spécifique à un certain aspect (Piézométrie, Pluviométrie, exploitation...). Une série de requête a été élaborée pour répondre à des questions spécifiques sur la répartition spatio-temporelle de l'information, en vue de répondre à une application donnée (ex : exploitation dans un pays à partir d'une nappe durant une certaine période).

Des formulaires ont été utilisés pour introduire l'information concernée dans la BD commune conformément au format qui permet son traitement adéquat. Ces formulaires sont également utilisés pour l'ajout de l'information ou sa vérification. Ces formulaires sont rendus nécessaires pour l'harmonisation de l'information à différentes origines stockée et traitée.

En se référant aux options adoptées par les représentants des pays lors des deux ateliers consacrés au système d'information du SAI, il a été convenu que la Base de données du SAI couvre les cinq domaines thématiques suivants :

- /// les eaux souterraines ;
- /// les eaux de surface (et les infrastructures hydrauliques) ;
- /// la climatologie ;
- /// les unités administratives ;
- /// les usagers des eaux souterraines.

LE DOMAINE DES EAUX SOUTERRAINES REGROUPE LES DONNÉES QUI DÉCRIVENT :

- les ouvrages hydrauliques réalisés sur le bassin,
- les caractéristiques de l'aquifère (nom, identifiants, superficie, direction, transmissivité, perméabilité, coefficient d'emmagasinement, etc.),
- les données piézométriques mesurées,
- les prélèvements effectués sur la nappe,
- les données hydrochimiques relevées,
- les analyses d'isotopes effectuées,
- les paramètres hydrodynamiques,
- les informations géologiques de la zone,
- les données géophysiques.

LE DOMAINE DES EAUX DE SURFACE REGROUPE LES DONNÉES QUI DÉCRIVENT :

- les ouvrages hydrauliques (Barrages) réalisés sur le bassin,
- la description du bassin de l'aquifère (nom, identifiants, superficie, densité de drainage, coefficient de ruissellement, indice de pente, etc.),
- les cours d'eau,

- les plans d'eau,
- la liste des stations hydrométriques,
- les débits liquides et solides,
- les données hydrochimiques relevées,
- les analyses d'isotopes effectuées.

LE DOMAINE DE LA CLIMATOLOGIE REGROUPE LES DONNÉES QUI DÉCRIVENT :

- les stations climatologiques,
- la pluviométrie,
- les températures,
- l'évapotranspiration

LE DOMAINE DES UNITÉS ADMINISTRATIVES REGROUPE LES DONNÉES QUI DÉCRIVENT :

- les subdivisions administratives
- les taux de croissances par périodes,
- les localités.

LE DOMAINE DES USAGERS DES EAUX REGROUPE LES DONNÉES RELATIVES AUX :

- les populations,
- les superficies irriguées,
- les zones industrielles,
- la consommation en eau potable domestique,
- la consommation de l'agriculture (irrigation et cheptel),
- la consommation de l'industrie,

Ainsi, une liste exhaustive des différentes entités devant figurer dans le système d'information a été élaborée en collaboration avec les équipes des pays. Cette liste prend en compte :

- /// les besoins immédiats pour le modèle,
- /// les possibilités d'évolution en information,
- /// l'élaboration de liens entre le SIG et la base de données pour l'exportation des données et la restitution des résultats.

III.3.1. Schéma de la BD

Le schéma de la base de données est une représentation logique du modèle de données (MCD) élaboré durant la phase de conception. Ce schéma fait apparaître le rôle central de la table « points » qui est reliée d'un côté aux tables d'identification (pays, Hydrodynamic, Type _Ouvrage, Admin, Objet_Ouvrage, maillage...), et de l'autre côté aux tables de variables (Géologie, Qualité, Piézométrie, exploitation, aquifère, usages...). Les relations qui rattachent la table « Points » aux autres tables peuvent être univoques [1 à 1] ou multiples [1 à plusieurs].

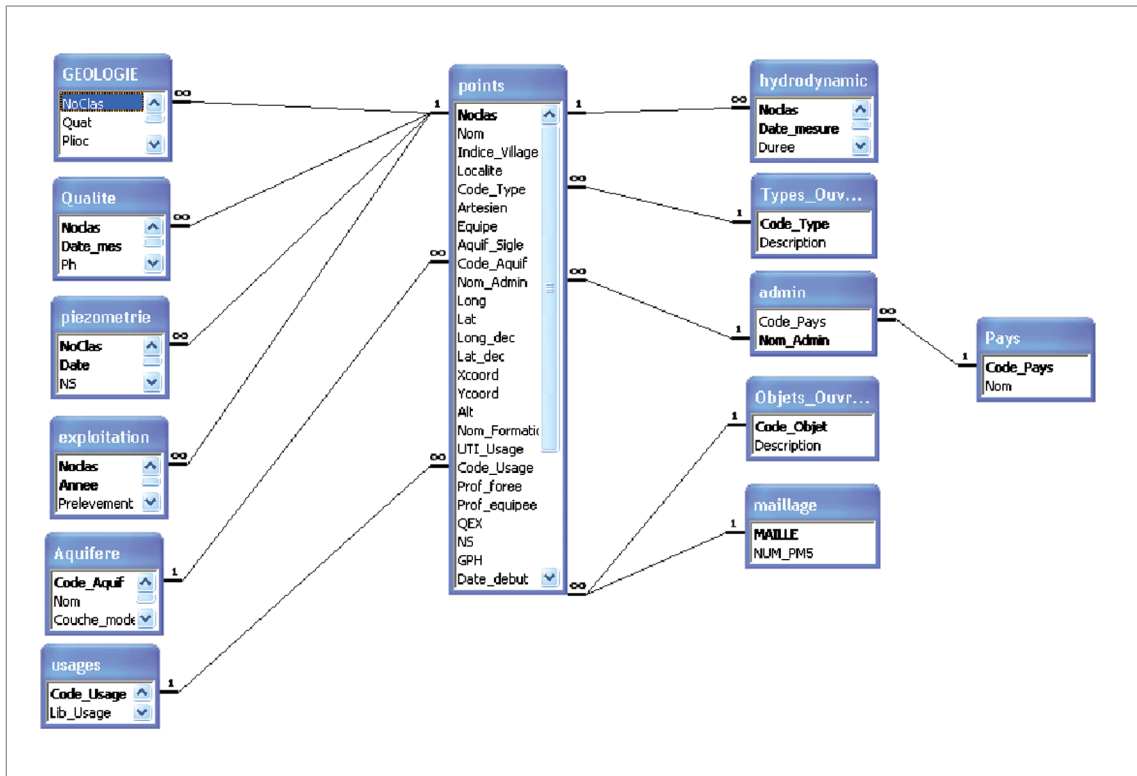


FIGURE 6 : Schéma de la base de données

La structure détaillée des tables est fournie en annexe 1

III.3.2. Modèle relationnel

Le modèle relationnel part du principe que le SGBD est structuré en un ensemble de « tables » dont chacune englobe un ensemble de « champs » et que le tout est régi par des relations définies sans confusion ou ambiguïté. La réalisation du modèle relationnel est une étape qui prépare l'implémentation du MCD sur le SGBD. Selon la nature des relations et en fonction des cardinalités issues des règles de gestion, des procédures de passage sont appliquées (OSS, 2003). Le modèle relationnel est examiné, au sein de chaque table et pour l'ensemble des tables en vue de définir les différentes relations entre les « champs » et les tables permettant la combinaison et le traitement des données.

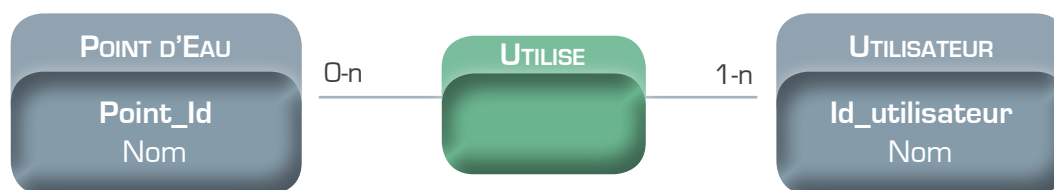
La nature des relations liant deux entités peuvent se résumer comme suit :

CAS N° 1 : RELATION « 1-1 » À « 0-n » :



Cette relation traduit le fait qu'une région administrative contient zéro ou plusieurs points d'eau et que par conséquent, un point d'eau appartient obligatoirement à une région administrative.

CAS N° 2 : RELATION « 0-N » À « 1-n »



Entre les entités « Point d'eau » et « utilisateur » la liaison peut être formulée de la façon suivante :

Un même point d'eau est destiné à zéro (s'il n'est pas exploité) ou plusieurs usagers. Un utilisateur quant à lui, peut être alimenté par un ou plusieurs points d'eau.

CAS N° 3 : RELATION « 0-N » À « 0-N »



Ici la relation « capte » renferme elle-même des attributs ou propriétés.

Les règles qui régissent un SGBD répondent aux exigences suivantes :

- /// toutes les entités deviennent des **tables** et leurs attributs des **champs** ;
- /// pour les associations de type « 1-n », l'identifiant de l'entité principale migre vers l'entité secondaire.

Si l'on prend l'exemple qui illustre le cas n° 1, le passage au modèle relationnel engendre la création de deux tables « points d'eau » et « Région Admin ». La table « points d'eau » doit comporter un champ supplémentaire qui est « code_region » afin de pouvoir établir la relation entre ces deux tables.

- /// Les associations de type « 1-n », « 1-n » (cas n° 2) sont traitées comme suit :
 - appliquer la règle 1 ;
 - créer une troisième table qui comprendra comme attribut les clés des deux autres tables.

L'exemple du cas n° 3 se traduira en plus de la création des tables « points d'eau » et « utilisateurs », par une troisième table « Utilise » contenant les identifiants des deux premières.

- /// Les associations porteuses d'informations (cas n° 3) se traitent de la façon suivante :
 - les associations deviennent des tables ;
 - pour les clés, appliquer les règles précédentes.

Le résultat est identique au cas n° 2, sauf que la table intermédiaire ainsi créée va comporter en plus de l'identifiant, les attributs « prof_deb » et « prof_fin ».

III.3.3. Les tables

Les tables sont, dans ce type d'organisation de la base de données, l'artifice qui permet de les regrouper suivant une certaine affinité (Piézométrie, exploitation, pluviométrie...). C'est le moyen de rassembler les données des pays sous une même rubrique pour assurer leur analyse critique, leur harmonisation et leurs utilisations ou échanges, à travers les liens établis. Les tables sont

des entités de bases pour la mise en forme et le traitement des données. Elles doivent répondre à des formats qui permettent d'y faire figurer les données de manière à visualiser les aspects recherchés.

Les tables de la base de données commune du SAI comportent deux parties :

- /// une partie identification qui regroupe les données clés relatives à l'attribution des données à une origine géographique ou à un niveau aquifère (pays, Administration, Ci ou CT...),
- /// une partie variable qui permet de juger des valeurs ponctuelles de la variable considérée (exploitation, piézométrie...) dans l'espace et dans le temps.

La combinaison de certains champs ou colonnes de deux ou plusieurs tables permet d'en déduire une nouvelle table qui se réfère à des clés communes. Le tableau suivant donne les principales tables de la partie hydrogéologique de la BD commune du SAI.

Nom	Signification	Type
Admin	Unité administrative de premier niveau [Département, province] d'une certaine signification pour la répartition des différentes variables thématiques considérées (population, bétail, points d'eau, exploitation, ...)	Attachée
Aliment	Contient les valeurs d'alimentation en m ³ /s par maille. Elle complète la table « Exploitation » pour le calcul du débit par maille	Attachée
Aquifere	Entité naturelle (aquifère, nappe) délimitée dans l'espace selon des critères hydrogéologiques. C'est une unité d'évaluation et de gestion des ressources.	Attachée
Carte Topo	Référence géographique de localisation spatiale correspondant à une feuille dans le découpage de la carte, sur laquelle le point d'eau inventorié a été localisé suivant ses coordonnées géographiques. L'identifiant de cette entité consiste en l'échelle et le numéro de la carte	Attachée
Config	Table contenant les paramètres de configuration de l'application	Locale
Couches_SIG	Liste et attributs des couches SIG utilisée par l'application	Locale
Etats	Différents états d'un point d'eau (exploité, non exploité,...)	Attachée
exp_tmp	Table temporaire utilisée lors de l'importation des données Excel	Locale
Exploitation	Chronique des prélèvements. la clé d'accès se compose de l'identifiant du point d'eau suivi de la date de mesure.	Attachée
Hydrodynamic	Historique des paramètres hydrodynamiques d'un point d'eau	Attachée
Geologie	Description géologique des formations traversées par le point d'eau	Attachée
Maillage	Attributs du maillage utilisé par le modèle.	Attachée
Objet_ouvrage	Objet du point d'eau au moment de sa réalisation (reconnaissance, exploitation...)	Attachée
Pays	Liste des pays qui partagent le système aquifère SAI	Attachée
Piezometrie	Chronique des niveaux piézométriques. La clé d'accès se compose de l'identifiant du point d'eau suivi de la date de mesure.	Attachée
Points	Ouvrage de captage de l'eau souterraine pouvant être un forage, un puits, un contre-puits, une source, un piézomètre, ...	Attachée
Qualite	Historique des résultats d'analyses chimiques. la clé d'accès se compose de l'identifiant du point d'eau suivi de la date de mesure.	Attachée
Tmp_Mesures	Table temporaire utilisée par le formulaire campagne de mesures de débits	Locale
Tmp_Piezo	Table temporaire utilisée par le formulaire campagne de mesures de niveaux	Locale
Types_ouvrage	Liste des types d'ouvrage (forage, puits, source, ...)	Attachée
Usages	Liste des usages possibles d'un point d'eau : (alimentation domestique, irrigation, tourisme...)	Attachée

TABLEAU 2 : Liste des tables de SISAI_DATA

III.3.4. Les requêtes

Les requêtes constituent une étape de traitement des données qui permet de générer de nouvelles tables avec des données traitées ou mises en forme à partir de deux ou plusieurs tables. Elles se différencient en deux catégories :

- ✦ des **requêtes système** qui sont des requêtes utilisées par l'application, soit par d'autres requêtes, soit par des modules ou formulaires. Elles ne doivent donc en aucun cas être supprimées ou modifiées,
- ✦ des **requêtes informations** qui traduisent la répartition spatio-temporelle des données variables.

La combinaison des données à l'aide des requêtes permet d'en déduire une information qui serait difficile à obtenir par traitement manuel, en même temps qu'il devient ainsi aisé d'assurer sa représentation graphique ou géo-référenciée dans un objectif de corrélation ou de comparaison. Les requêtes sont des réponses apportées à des questions élémentaires concernant l'ensemble ou une partie des données. La sauvegarde des résultats des requêtes facilite leur utilisation pour de nouvelles requêtes ou représentation.

Le tableau n° 2 donne des exemples de requêtes élaborées dans le cadre du traitement des données du SAI pour répondre à certaines interrogations relatives à l'exploitation et à la piézométrie.

Nom	Nature	Description
Verif_historique exploitation horizontal		Prélèvements par point d'eau et par année pour un aquifère donné
Statistiques sur les profondeurs		Profondeurs Min, Moy et Max des points d'eau par un aquifère
somme des prélèvements par Pays		Prélèvements globaux par pays pour une année donnée
somme des prelevements par maille en 1970		Prélèvements par maille du modèle en 1970 (année de référence)
Prélèvements Globaux par Unité Administrative et par année		Tableau croisé des prélèvements par unité administrative et par année
Prel_prelevements annuels globaux par Unite Administrative		Tableau donnant pour une année donnée, les prélèvements et le nombre de points par aquifère
Prel_prelevements repartis par type ouvrage et par aquifere		Tableau donnant, par aquifère et pour une année donnée, les prélèvements répartis par type de points d'eau.
Prel_prelevements par Unite administrative et par type ouvrage		Tableau donnant, par unité administrative et pour une année donnée, les prélèvements répartis par type de points d'eau.
Points_avec_Coordonnees		Liste des points d'eau disposant de coordonnées
Points sans exploitation		Liste des points d'eau ayant un historique d'exploitation
Points ayant au moins deux mesures piezo		Liste des points d'eau disposant d'au moins deux mesures de niveau
Series les plus longues de piezometrie		Tableau par unité administrative fournissant le nombre de points ayant au moins 2 mesures de niveaux, et les écarts en années entre les mesures
pm5_observ	Système	Liste des points d'eau et leur piézométrie. Utilisé par PM5
pm5 boreholes	Système	Liste des points d'eau avec code aquifère, coordonnées et nombre de mesures de niveau. Utilisé par PM5.

TABLEAU 3 : Liste des requêtes

Piezomètres par maille		Liste des piézomètres par maille PM5. Extrait les colonnes : aquifère, ligne, colonne et N° du point d'eau
piezo distinct	Système	Liste des piézomètres (points d'eau ayant au moins une mesure de niveau)
nombre de points par aquifere		Tableau donnant le nombre de points d'eau par aquifère
nombre de points deau ayant exploitation		Tableau donnant, par unité administrative, le nombre de points d'eau disposant d'un historique de prélèvements
Historiques prélèvements		Tableau croisé des prélèvements par point d'eau sur toute la durée (1956 - année actuelle).
Historique prelevements par maille	Système	Liste des mailles PM5 avec la somme des prélèvements pour chaque année. Utilisé lors de la préparation des fichiers PM5.
historique Prélèvements par aquifère		Tableau croisé de la somme des prélèvements par aquifère sur toute la durée (1956 - année actuelle).
Historique piezométrie		Tableau croisé fournissant la liste des piézomètres regroupés par aquifère avec la valeur de niveau sur toute la durée (1959 -année actuelle)
Historique niveaux piezométriques		Tableau croisé des niveaux par point d'eau sur toute la durée (1959 - année actuelle).
Historique exploitation par maille	Système	Tableau croisé donnant l'année, le numéro de couche PM5, la maille (ligne et colonne), le débit. Utilisé lors de la préparation des fichiers PM5
Historique altitude NP		Tableau croisé des altitudes piezométriques par point d'eau sur toute la durée (1959 - année actuelle).
histo_Prelev	Système	Liste des points d'eau regroupés par aquifère avec les coordonnées, et la valeur annuelle de prélèvement. Utilisée lors de la saisie d'une campagne de mesures de débits.
histo_Prelev_par_nappe	Système	Idem que requête précédente, mais l'utilisateur doit entrer le code aquifère. La liste concerne uniquement l'aquifère donné. Utilisée lors de la saisie d'une campagne de mesures de débits.
histo_Piezo	Système	Liste des points d'eau regroupés par aquifère avec les coordonnées, et la valeur annuelle de niveau. Utilisée lors de la saisie d'une campagne de mesures de niveaux.
histo_Piezo_par_nappe	Système	Idem, mais la liste concerne le code aquifère fourni par l'utilisateur. Utilisée lors de la saisie d'une campagne de mesures de niveaux.
Exploitation distinct	Système	Liste des points d'eau ayant au moins une mesure de prélèvement.
exploit sans_coord		Liste des points d'eau ayant au moins deux mesures de prélèvement.
Evolution des prelevements par Unite administrative et aquifere		Tableau croisé donnant la somme des prélèvement par unité administrative sur toute la durée (1956 - année actuelle).
deux mesures de piezo		Tableau croisé donnant la liste des points d'eau avec le nombre de mesures par période (avant et après 1990)
aquifere_piezo		Liste des points d'eau ayant au moins une mesure de piezométrie avec code aquifère et année de mesure
aquifere_exploit		Liste des points d'eau ayant au moins une mesure de prélèvement avec code aquifère et année de mesure
alimentation par maille	Système	Tableau croisé donnant l'aquifère, la maille (ligne et colonne) et la valeur d'alimentation. Utilisée lors de la préparation des fichiers PM5.
taux renseignement champs		Tableau montrant le taux de renseignements des champs importants de la table « points »

Les requêtes dont la nature est « système » sont des requêtes utilisées par l'application, soit par d'autres requêtes, soit par des modules ou formulaires. Elles ne doivent donc en aucun cas être supprimées ou modifiées.

III.3.5. Les formulaires

Les formulaires permettent d'harmoniser la mise en forme des données à introduire dans la base de données. Ils sont élaborés suivant des formats qui permettent de faciliter la saisie, le traitement des données et la visualisation des résultats en vue d'en assurer la validation sans risques d'erreurs. La fixation à l'avance des formats des champs pour l'introduction des données et la mise en forme des différents champs donne une vision graphique assez complète sur l'ensemble du processus de saisie et du traitement de l'information.

Nom	Description
accueil	Ecran d'accueil qui apparaît à l'ouverture de l'application.
Bd_Sig_Modele	Formulaire principal servant à établir les liens entre la BD, le SIG et PM5. Il permet essentiellement d'affecter un numéro de maille aux points d'eau.
Controle couches	Formulaire permettant de visualiser et d'agir sur les paramètres relatifs à l'affichage cartographique au sein du formulaire « Principal ».
Donnees generales	Formulaire destiné à visualiser et modifier l'ensemble des informations concernant un point d'eau.
graphique exploitation	Sert à visualiser le graphique d'une série de prélèvement. Appelé par le formulaire « Donnees generales »
graphique NS	Sert à visualiser le graphique d'une série de niveaux statiques. Appelé par le formulaire « Donnees generales »
graphique piezometrie	Sert à visualiser le graphique d'une série de niveaux piezométriques. Appelé par le formulaire « Donnees generales »
Importer_debits_sans interpolation	Formulaire permettant de choisir un fichier Excel contenant des débits et de l'importer dans la BD.
Importer_niveaux	Formulaire permettant de choisir un fichier Excel contenant des niveaux et de l'importer dans la BD.
Mesures_debits	Visualisation, modification et création d'une campagne de débits extraits.
Mesures_Piezo	Visualisation, modification et création d'une campagne de niveaux.
param_maillage	Formulaire servant à entrer les paramètres et de créer un maillage PM5. Appelé par le formulaire « Bd_Sig_Modele ».
Pre_modele	Utilisé pour préparer les fichiers nécessaires au modèle PM5 (pour le permanent et pour le transitoire)
principal	Explorateur qui permet de visualiser les contenus de la BD. En plus de la visualisation en mode listview, Il permet l'affichage cartographique sans quitter l'environnement ACCESS.
Recharge	Formulaire permettant de saisir sur carte, les valeurs de recharge. Ces valeurs sont stockées dans la BD pour être utilisées au moment de la préparation des fichiers PM5.
Rechercher par Noclas	Boîte de dialogue permettant de sélectionner un point d'eau par son numéro. Si une sélection est effectuée, le formulaire « Donnees generales » affiche les données de ce point.
sf piezo	Sous-formulaire rattaché au formulaire « Donnees generales » permettant de visualiser l'historique des niveaux du point d'eau courant
Sf_Campagne_P	Sous formulaire dépendant de « Mesures_Piezo »
Sf_Campagne_d	Sous formulaire dépendant de « Mesures_debits »
sf_exploit	Sous-formulaire rattaché au formulaire « Donnees generales » permettant de visualiser l'historique des niveaux du point d'eau courant
sf_hydro	Sous-formulaire rattaché au formulaire « Donnees generales » permettant de visualiser les données hydrodynamiques du point d'eau courant
sf_qualite	Sous formulaire pour les données de qualité

TABLEAU 4 : liste des formulaires

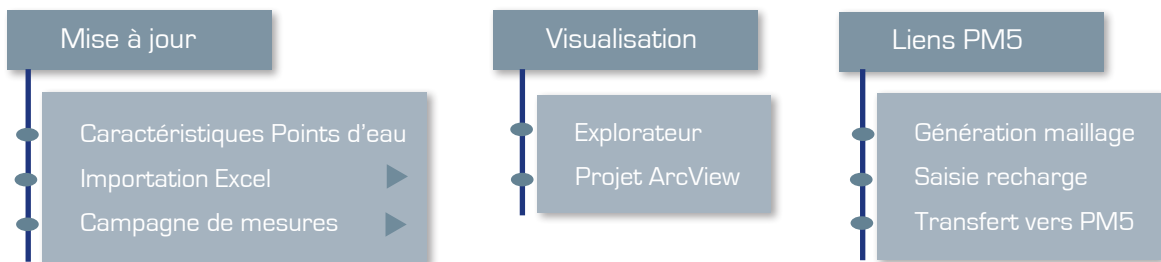
Les formulaires ne doivent en aucun cas être modifiés ou supprimés. Ils constituent l'aspect formel de la conception de la mise en forme des données ou de l'information, permettant ainsi le tri et la mise en forme des données.

III.4. Description de l'interface

L'application possède un menu général permettant de faire appel aux fonctions disponibles :

- /// **mise à jour des données** : saisie, modification des informations relatives aux points d'eau et aux historiques associés ;
- /// **visualisation** : navigation à travers les contenus de la base de données et du SIG ;
- /// **liens avec PM5** : accès aux fonctions de traitements pré-modèle (préparation des fichiers d'entrée et leur transfert vers PM5).

Ce menu se présente comme suit :



III.4.1. Mise à jour des données

Cette option est destinée à accéder aux fonctions de saisie et d'actualisation des données : intégration de données nouvelles, correction de données existantes... Elle concerne l'ensemble des informations de base relatives aux points d'eau :

- /// caractéristiques générales : identification, localisation, caractéristiques hydrauliques ;
- /// historique des prélèvements annuels associés à un point d'eau ;
- /// historique des niveaux concernant ce point ;
- /// historique des données sur la qualité de l'eau.

Trois sous-menus sont disponibles pour cette option :

▶▶▶ CARACTÉRISTIQUES POINTS D'EAU

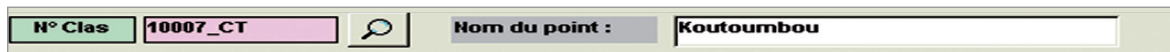
Cette option fait appel à un formulaire qui regroupe l'ensemble des informations concernant un point d'eau.

Caractéristiques Hydrodynamiques						
Date	Débit	Durée	Rabat	NS	Transm.	Coeff emmag
01/01/1978					3.20E-03	
*						

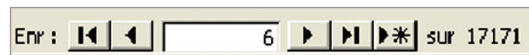
FIGURE 7 : Formulaire de saisie des caractéristiques des points d'eau


Ce formulaire comporte une zone d'en-tête et une zone à onglets correspondant chacun à une catégorie d'informations. La zone d'entête qui sert à :

- /// sélectionner le point d'eau pour lequel on désire visualiser les données ou les modifier ;
- /// saisir le code et le nom d'un point d'eau nouveau à créer.



Dans le cas d'une visualisation/modification, la zone de texte de couleur rose permet d'afficher le numéro du point d'eau sur lequel est positionné le pointeur qui parcourt la table « **points** ». Les boutons situés en bas de formulaire permettent de se déplacer d'un enregistrement à un autre selon l'ordre croissant des numéros d'identification des points d'eau.



Si l'utilisateur désire accéder à un point d'eau dont il connaît le numéro d'identification, il suffit de cliquer sur le bouton  qui affiche une boîte de dialogue qui permet de sélectionner le numéro d'identification du point d'eau (figure 8) :

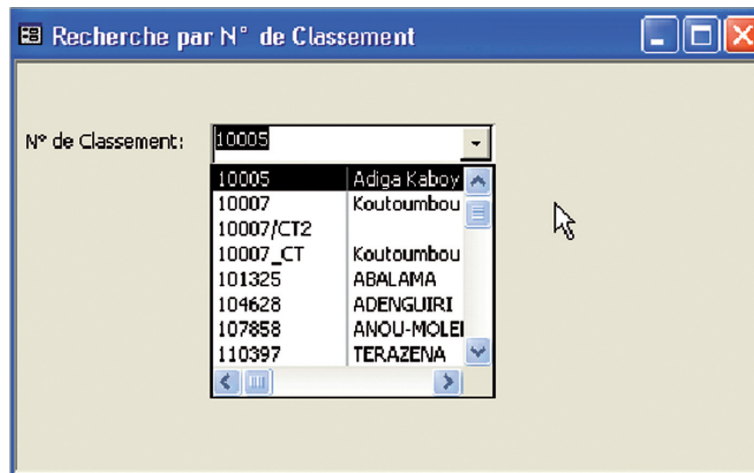




FIGURE 8 : Boîte de dialogue de recherche d'un point

La liste déroulante affiche tous les numéros et noms des points d'eau existants dans la base de données pour permettre d'en choisir un. Mais on peut également taper un ou plusieurs caractères qui composent la clé du point d'eau, et à chaque fois qu'un caractère est fourni, le système recherche et se positionne sur la clé commençant par ce (ces) caractères ainsi entrés.

Pour valider la sélection et se positionner sur le point d'eau choisi, il faut cliquer sur 

Sinon, cliquer sur le bouton annuler, et dans ce cas le pointeur reste sur la position précédant l'affichage de la boîte de dialogue.

Dans le cas d'une création d'un point nouveau, la procédure est la suivante :

- /// cliquer sur le bouton  afin de mettre en mode création. A ce moment, la zone de texte est vide ;
- /// saisir le code du point d'eau nouveau à intégrer ;
- /// compléter le reste des informations concernant ce point d'eau.

La sauvegarde des données est automatique : il n'est pas besoin de chercher un bouton ou une option de menu qui effectue l'enregistrement des modifications. Par contre, l'annulation des mo-

difications se fait en appuyant sur la touche « **Esc** ».

»»» L'ONGLET « CARACTÉRISTIQUES »

Il comporte les informations de base comme l'identification ou la localisation du point d'eau.

Type d'ouvrage : liste déroulante qui propose le contenu de la table « **Types_Ouvrage** », à savoir les valeurs suivantes :

	Code_Type	Description
▶ +	0	Inconnu
+	1	Forage
+	2	Puits
+	3	Source
+	4	Piézomètre
+	5	Groupe de Forages
*		

Si l'on veut donc incorporer une valeur inexistante (nouvelle valeur), il faudrait l'ajouter à la table « **Types_Ouvrage** ». La liste déroulante va la proposer automatiquement au prochain lancement.

Pays : liste déroulante pour sélectionner le pays où se trouve le point d'eau (Niger, Mali ou Nigeria). De la même manière, si on veut incorporer un autre pays (dans le cas où le projet SAI est élargi à d'autres pays), il suffit de l'ajouter dans la table « **Pays** ».

Unité administrative : liste déroulante qui propose la liste des départements ou provinces situées dans la zone du SAI. Ne sont affichées que les unités administratives appartenant au pays sélectionné (champ précédent).

La liste des unités administratives disponibles est la suivante (table « **Admin** ») :

	Code_Pays	Nom_Admin
▶ +	Ni	Agadez
+	Ni	Dosso
+	Ma	Gao
+	Ng	Katsina
+	Ng	Kebbi
+	Ni	Maradi
+	Ni	Niamey
+	Ng	Sokoto
+	Ni	Tahoua
+	Ni	Zinder
*		

Ma = Mali
Ng = Nigeria
Ni = Niger

Localisation : localité ou lieu-dit où se situe le point d'eau. C'est du texte libre.

Année_Réal. : année de réalisation du point d'eau sur quatre positions. Un contrôle en cours de saisie a été incorporé pour valider la valeur. La condition de validité est la suivante :

« Année ≥ 1900 et ≤ année actuelle »

Altitude : Altitude du point d'eau en mètres.

Profondeur forée : profondeur forée de l'ouvrage en mètres.

Equipé : case à cocher pour indiquer si le point d'eau est équipé ou non.

Prof_equipée : désigne la profondeur équipée en mètres, si le point d'eau est équipé (champ précédent).

Aquifère : liste déroulante permettant de choisir l'aquifère capté par le point d'eau. Les valeurs possibles proviennent de la table « **Aquifere** » dont le contenu est le suivant (colonne « **Nom** ») :

		Code_Aquif	Nom	Couche_modele	Shape_file
▶	+	CI	Continental intercalaire	2	Extension_CI
	+	CT	Complexe terminal	1	Extension_CT
*					

Etat : état du point d'eau. Les valeurs possibles de la liste déroulante sont issues de la table « **Etats** ».

	Code_Etat	Description
▶	1	EXPLOITE
	11	A L'ARRET
	3	NON EXPLOITE
	4	ABANDONNE
*		

Il est possible d'élargir la liste en ajoutant d'autres éléments à la table « **Etats** ». Mais cette opération ne doit être effectuée que par l'administrateur de la BD.

Qmax exploitable : Débit maximum exploitable du point d'eau en l/s.

Artésien : case à cocher indiquant si le point d'eau est artésien ou non.

Usage : liste déroulante permettant de choisir la catégorie d'usager du point d'eau. Les valeurs proviennent de la table « **Usages** ».

		Code_Usage	Lib_Usage	Categorie
	+	0	Inutilisé	NON
	+	1	AEP Urbaine	AEP
	+	2	AEP villageoise	AEP
	+	3	Irrigation	AGR
	+	4	Pastoralisme	AGR
▶	+	5	Industrie	IND
*		0		

NS : niveau statique en mètres, au moment de la création du point d'eau.

Formation géologique : nom de la formation captée par le point d'eau. Dans cette version, elle consiste en un texte libre.

Observations : commentaires divers concernant le point d'eau. La taille maximale est de 60 caractères.

Longitude : longitude en degrés décimaux du point d'eau. La partie décimale doit être de 5 chiffres au moins.

Latitude : latitude en degrés décimaux du point d'eau. La partie décimale doit être de 5 chiffres au moins.

X_Lambert : X en mètres, dans le système Lambert Niger zone II.

Y_Lambert : Y en mètres, dans le système Lambert Niger zone II.

La procédure de conversion géographique – Lambert est décrite dans le chapitre consacré au SIG.

»» L'ONGLET « HISTORIQUE EXPLOITATION »

Cet onglet est consacré à la visualisation, la modification ou la création d'une série de prélèvements annuels associés à un point d'eau. Il s'agit d'un sous-formulaire comprenant trois colonnes.

année	Vol. Annuel	Origine_Info
1955	219.8	
1957	227.3	
1958	247.0	
1959	266.7	
1960	269.7	
1961	296.3	
1962	316.1	
1963	335.8	
1964	339.6	
1965	343.4	
1966	345.6	
1967	349.5	
1968	365.3	
1969	369.4	
1970	373.5	
1971	377.7	
1972	382.0	
1973	386.3	

FIGURE 9 : Formulaire de saisie des données de prélèvement

Description des colonnes :

- /// **Année** : année où le prélèvement est observé. Un contrôle est effectué à l'aide de la condition « année comprise entre l'année de réalisation du point d'eau et l'année courante » ;
- /// **Vol. Annuel** : prélèvement total annuel exprimé en m³ ;
- /// **Origine_Info** : source de l'information.

Il est possible d'afficher le graphique représentant la série en cliquant sur le bouton 

Ce qui génère l'affichage de la fenêtre suivante :

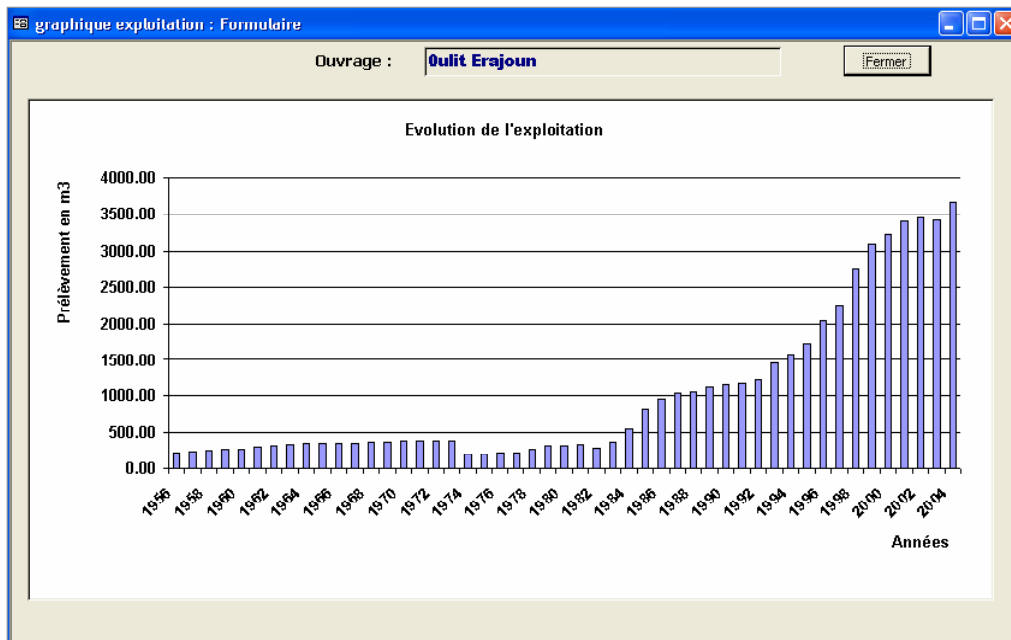


FIGURE 10 : Graphe exploitation

En faisant un double clic sur le graphique, il est possible de modifier les attributs de ce dernier: type de graphe, titres, couleurs...

La fermeture de la fenêtre du graphe doit se faire en cliquant sur le bouton

Fermer

▶▶▶ L'ONGLET « HISTORIQUE NIVEAU »

Cet onglet est réservé à la visualisation, la modification ou la création d'une série de niveaux rattachée au point d'eau courant (celui qui s'affiche en entête). C'est aussi un sous-formulaire qui contient les colonnes suivantes :

- ⚡ **An_mes** : année de la mesure ;
- ⚡ **NS** : niveau statique en mètres (signe négatif si artésien) ;
- ⚡ **ALT_NP** : altitude piézométrique en mètres. Cette colonne est soit calculée à l'aide du Z du point d'eau et du NS, soit saisie directement.
- ⚡ **Origine_Info** : source de l'information.

an_mes	NS	ALT_NP	Origine_Info
▶ 1970	5	190	(projet FAO, 1970)
*			

Graphique NP

Graphique NS

Enr : 1 sur 1

FIGURE 11 : Formulaire de saisie des niveaux

Il est possible d'afficher les graphiques NP (niveaux piézométriques) et NS (niveaux statiques) en cliquant sur les boutons « **Graphique NP** » ou « **Graphique NS** ».

▶▶ L'ONGLET « HISTORIQUE QUALITÉ »

Cette page comporte les données de qualité.

	date	ph	EC	temp	ca	mg	k	Fe2+	Mn	na	HCO32-	co3	cl	NO3	so4	ø180	ø2H	ø3HTU	14C	13C	Nom_Fichier	
▶	1/01/9999	5.9	126		10.7	3.9	5.1	0.1		4.4	57		5.3	1.2	9.8							ANNEXE II-1
*																						

FIGURE 12 : Formulaire de saisie des données de qualité

C'est aussi un sous-formulaire contenant les colonnes suivantes :

Date : date de l'analyse

pH : valeur du pH

EC : conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$) à 250°C

Temp : température en °C

Ca : Calcium en mg/l

Mg : Magnésium mg/l

K : Potassium mg/l

Fe⁺⁺ : Fer

Mn : Manganèse mg/l

Na : Sodium mg/l

HCO₃²⁻ : Bicarbonates

CO₃ : Carbonates

Cl : Chlore

NO₃ : Nitrates en mg/l

SO₄ : Sulfates en mg/l

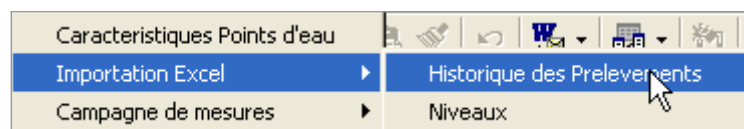
¹⁴C : carbone 14 (pmc)

¹³C : carbone 13 (pmc)

Nom_Fichier_source : nom du fichier à partir duquel sont importées les données.

▶▶ IMPORTATION EXCEL

Cette option permet d'importer automatiquement des données existantes au format Excel. Cela concerne les données de prélèvements et les données de niveaux.



Pour chacun des deux cas, un canevas (modèle de fichier) Excel a été élaboré. Ces modèles doivent être respectés pour que le système arrive à lire ces données.

▶▶▶ IMPORTATION D'UN HISTORIQUE DE PRÉLÈVEMENTS

En choisissant l'option « Historique de prélèvements », le formulaire suivant (figure 13) apparaît :

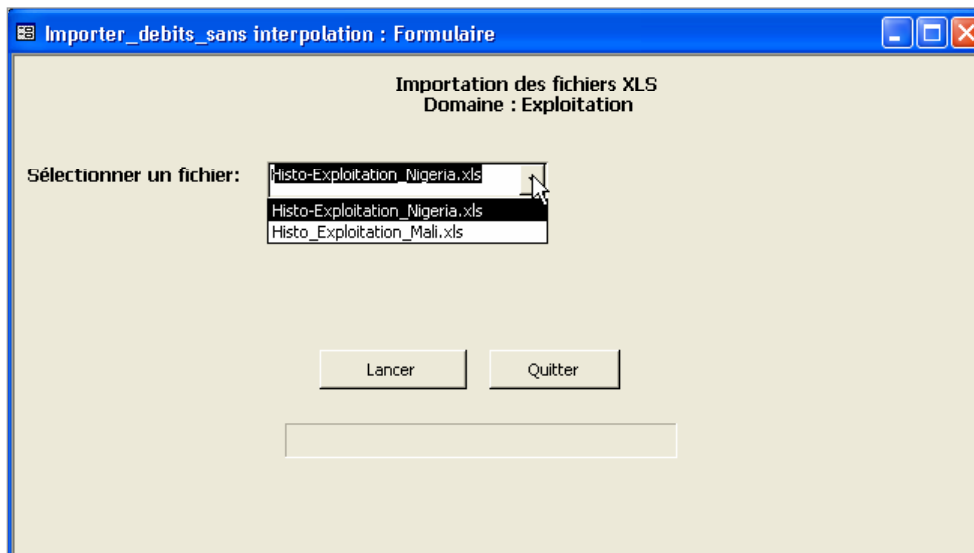


FIGURE 13 : Formulaire d'importation de données Excel

En cliquant sur le bouton « Lancer », l'importation des données contenues dans le fichier sélectionné démarre. Une jauge permet d'indiquer le taux d'évolution de la procédure qui s'achève par un message de fin de traitement.

Le fichier Excel doit absolument avoir le format suivant :

Code_Pays	Noclas	Nom	Code_Type	Code_Aquif	Long_dec	Lat_dec	Nom_Admin	1955	1956	...	2004

TABLEAU 5 : Modèle de fichiers Excel pour les prélèvements

- /// **Code_Pays** : « Ma », « Ni » ou « Ng ».
- /// **Noclas** : numéro d'identification du point d'eau.
- /// **Nom** : nom du point d'eau.
- /// **Code_Type** : code du type de point d'eau (voir table « **Types_Ouvrage** »).
- /// **Code_Aquif** : code aquifère (voir table « **aquifere** »).
- /// **Long_Dec** : longitude en degrés décimaux (au moins 5 chiffres décimaux).

/// **Lat_dec** : latitude en degrés décimaux (au moins 5 chiffres décimaux).

/// **Nom_Admin** : unité administrative.

Les colonnes qui suivent doivent contenir les valeurs de prélèvement, les entêtes de colonnes étant les années de mesure.

La procédure d'importation obéit à la règle suivante :

- si le point d'eau existe dans la BD, ses données sont remplacées par celles trouvées dans le fichier Excel (tables « **points** » et « **exploitation** ») ;
- sinon, un point d'eau nouveau est créé dans la table « **points** » avec les attributs lus dans le fichier Excel. L'historique est ajouté à la table « **exploitation** ».

▶▶ IMPORTATION D'UN HISTORIQUE DE NIVEAUX

La procédure relative à l'importation d'un historique des niveaux est similaire à celle des prélèvements. Le format du fichier Excel est également similaire à celui des prélèvements.

▶▶ CAMPAGNES DE MESURES

C'est une fonctionnalité (figure 14) développée dans le cadre du projet « Djefara³ » qui permettra de faciliter l'actualisation périodique des données sans passer par les fichiers Excel. Cette option est particulièrement utile quand un réseau de mesures est mis en place. Le traitement se fait de même manière pour les débits (prélèvements) et les niveaux.

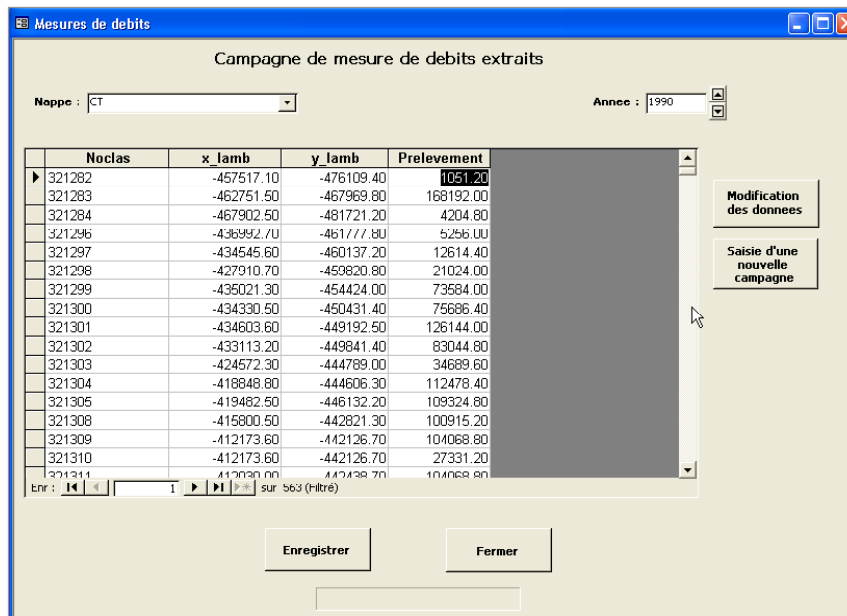



FIGURE 14 : Visualisation et saisie d'une campagne de mesures de débits

En sélectionnant la nappe l'application extrait l'ensemble des points d'eau captant cette nappe avec leurs coordonnées et leurs valeurs de prélèvement pour la première année de mesure existante dans la BD.

L'utilisateur a la possibilité d'extraire les données pour l'ensemble des années disponibles :

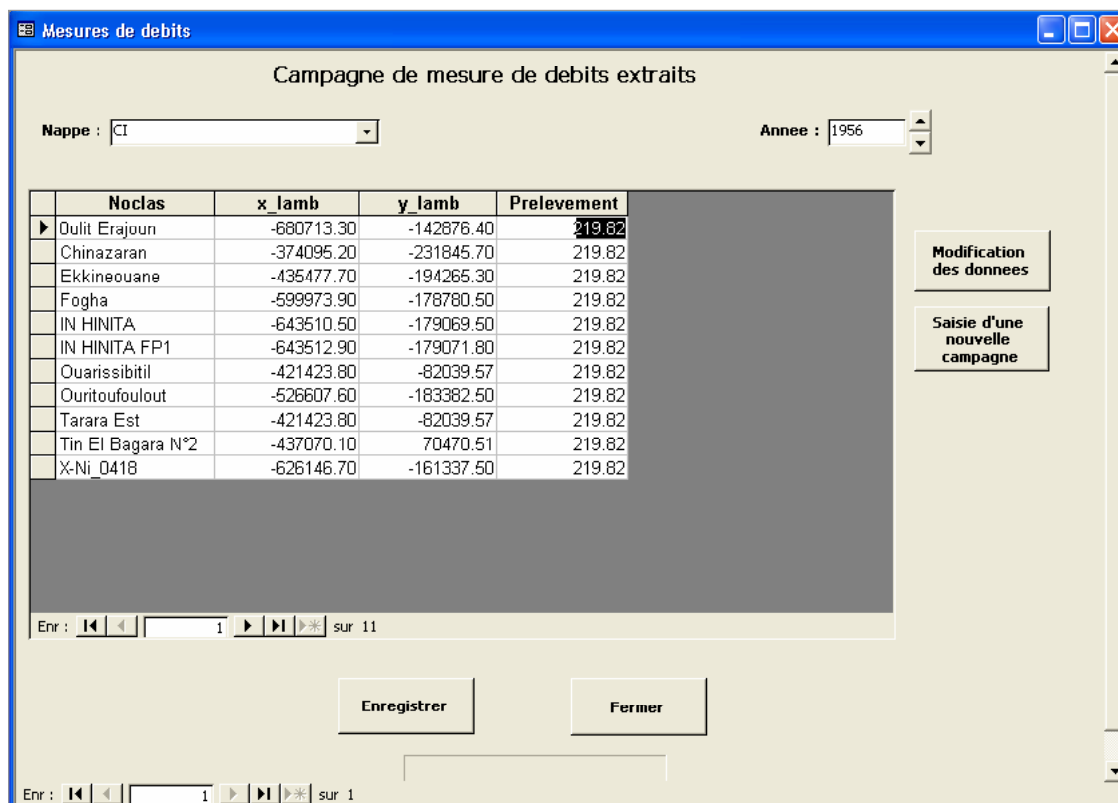
/// soit en utilisant le contrôle SpinBouton  qui permet d'incrémenter ou de décrémenter l'année ;

³ Le projet « Djefara » est réalisé dans le cadre du SASS II entre 2003 et 2006. Il a porté sur l'étude hydrogéologique avec modélisation du système aquifère de la Djefara tuniso-libyenne.

/// soit en saisissant l'année dans la zone de texte.

A ce moment, une requête est lancée et les données obéissant au critère sont affichées.

Le bouton  permet d'accéder aux données prélèvement pour les corriger.



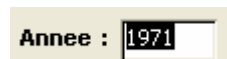
Le curseur se positionne sur les valeurs de prélèvement pour pouvoir les modifier éventuellement. A la fin des corrections, l'utilisateur a la possibilité de :

- /// sauvegarder les modifications en cliquant sur le bouton « Enregistrer » ;
- /// annuler celles-ci en cliquant sur le bouton « Fermer ».

Il est possible de saisir une nouvelle campagne (année nouvelle) en appuyant sur le bouton



Dans ce cas, l'application demande à l'utilisateur d'entrer l'année pour laquelle il désire introduire les débits.



Notons que l'application affiche une valeur par défaut dans la zone de texte. Cette valeur étant égale à l'année courante incrémentée de 1.

III.4.2. Visualisation des données

La visualisation des données est assurée dans la base de données commune du SAI, à l'aide de l'explorateur, soit par mode tabulaire, soit par mode cartographique.

►► L'EXPLORATEUR

Il permet l'affichage, la recherche des données concernant les points d'eau, selon plusieurs

critères. Deux modes de visualisation sont possibles :

Mode tabulaire

Les données affichées sont des valeurs numériques se présentant sous forme de listview (figure 15).

Classe...	Nom	Nom...	X_Lamb	Y_Lamb	Altitude	Prof. Fo...	Prof. Equ...	Année Réal.,700
10007/CT2		Dosso	-491788.8	614803.6	182.3			
13732		Dosso	-401362.7	-469873.3	231			
13733	Yaya	Taho...	-359226.7	-459963.9	270			
13734		Taho...	-330785.5	-466753.3	265			
15930		Niam...	-516608.9	-379637	225			
165		Niam...	-569478.9	-429081.4	237.5			
Groupe de Forages		Niam...	-556227.4	-458317.1	206			
20508		Dosso	-442092.7	-495638.2	230			
20566		Dosso	-542799.6	-521985.5	220			
23541		Dosso	-459181.7	-520120	242			
26494		Dosso	-509793.7	-575429.1	195			
26495		Dosso	-505007	-575997.1	220			
26496		Dosso	-506277.9	-578743.5	215			
26521		Dosso	-509391.6	-568325.6	196			
26522		Dosso	-509641.3	-569541.8	195			
26525		Dosso	-504388.9	-551895.3	218			
26530		Dosso	-513927.5	-570764.2	217			
26531		Dosso	-513779.1	-573435.8	225			
26532		Dosso	-512244.7	-577366.4	210			
26533		Dosso	-510554.5	-579522.4	185			
26534		Dosso	-510554.5	-579522.4	185			
26535		Dosso	-512909.4	-586131.6	183			
26571		Dosso	-513933.3	-570986.3	225			
26575		Dosso	-509090.1	-607357.9	210			
26592		Dosso	-494024.1	-599289.5	223.3			
26595		Dosso	-505556.9	-597440.4	188			
26598		Dosso	-486016.1	-602379.7	199			
26625		Dosso	-487931.8	-635701.5	190			
26642		Dosso	-498336.2	-614305.6	175			
26645		Dosso	-487649.8	-580102.8	203.4			
26661		Dosso	-481962.6	-575151.7	217			
26768		Dosso	-496151	-614360.7	174			
3.505		Dosso	-497854	-552061.8	204.8			
3111005	ALFA MABEYE KOARA	Dosso	-566173.4	-531570.9			1992	
3111010	ALZANA FANDOU	Dosso	-562619.3	-523649.4			1992	
3111015	BARBE DJERMA	Dosso	-564955.9	-526051			1992	

FIGURE 15 : Fenêtre d'exploration (mode tabulaire)

On peut choisir de trier les données :

- /// par pays et unités administratives
- /// par aquifère et type de point d'eau

Ceci se fait en faisant dérouler la liste de choix de la clé de parcours pour sélectionner l'un des deux critères.



L'affichage par défaut se fait par unité administrative.

Mode cartographique

Dans ce mode, le listview est remplacé par une fenêtre cartographique qui affiche les couches de base du SIG auxquelles on superpose les points d'eau. La représentation de ces derniers se fait à partir de la table « **points** » ; c'est à dire que les modifications éventuelles sur les coordonnées des points d'eau se répercutent automatiquement sur la fenêtre carte.

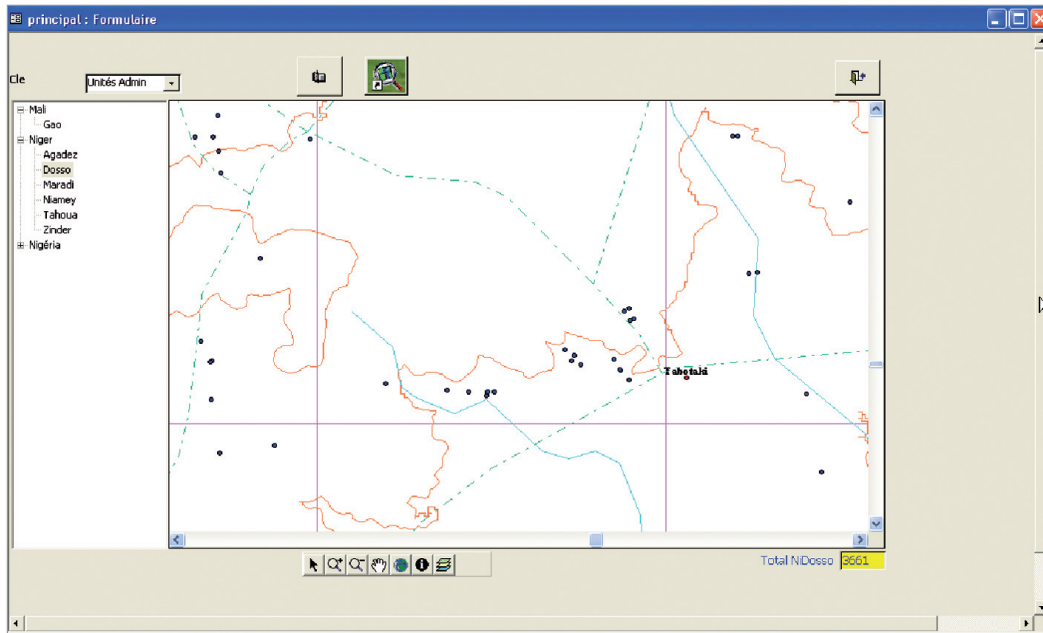









FIGURE 16 : Fenêtre d'exploration (mode cartographique)

Une barre d'outils permet d'effectuer les tâches de base des logiciels SIG :

-  Zoom personnalisé (rectangle à l'aide de la souris)
-  Zoom in facteur 1,5. sélectionner le bouton et cliquer une fois sur la fenêtre carte.
-  Zoom in facteur 0,5. sélectionner le bouton et cliquer une fois sur la fenêtre carte.
-  Pan (déplacement et recentrage sur une zone). Fonctionne si un zoom in a été réalisé
-  Pleine extension : zoom 100 % (affichage de toutes les couches dans la fenêtre carte)
-  Identification d'un point d'eau. En cliquant sur un point d'eau, le formulaire « **Donnees generales** » est chargé avec les renseignements du point d'eau sélectionné.
-  contrôle des couches (changer les attributs d'affichage des couches). En cliquant sur ce bouton, le formulaire suivant est affiché :

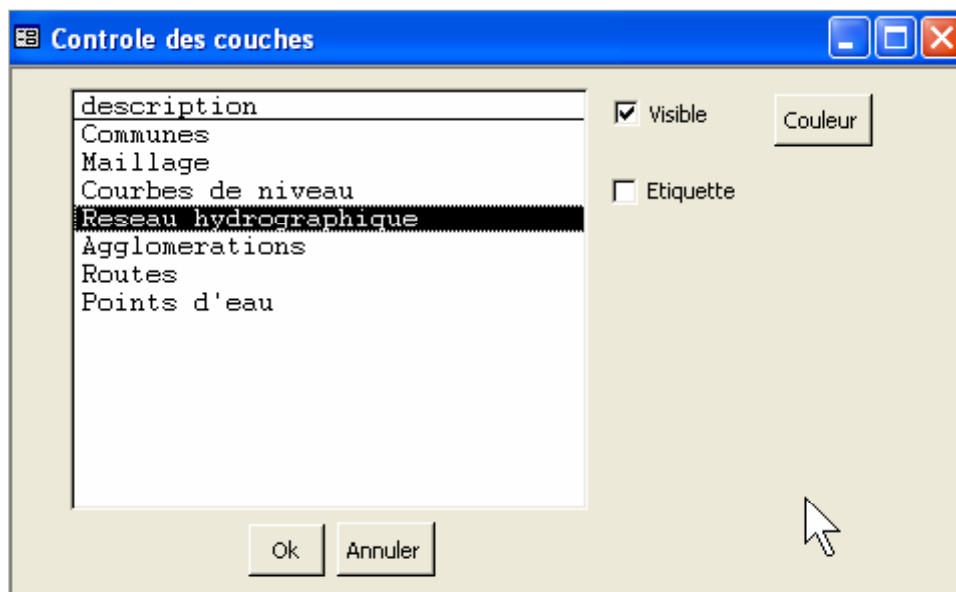


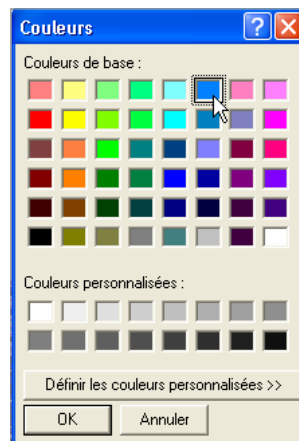
FIGURE 17 : Boîte de dialogue pour le contrôle des couches

La case à cocher « **Visible** » permet d'afficher ou non la couche sélectionnée.

La case à cocher « **Etiquette** » sert à afficher ou non les étiquettes concernant la couche sélectionnée. Le texte affiché dépend de la configuration [voir table « **couches_SIG** »]. Pour changer le texte qui apparaît comme étiquette, il faudrait ouvrir cette table et modifier la valeur du champ « **chp_etiq** ».


Attention : d'abord le champ doit exister dans la table attributaire liée à la couche.

Le bouton « **couleur** » permet de modifier la couleur d'affichage de la couche sélectionnée. En cliquant sur ce bouton, la boîte de dialogue de choix de couleur apparaît afin de choisir la couleur d'affichage de la couche sélectionnée.



Important : ces changements sont valables uniquement durant la session et ne sont donc pas enregistrés.

▶▶▶ PROJET ARCVIEW

Le bouton  permet de charger ArcView et le projet principal contenant l'ensemble des couches afin de les modifier éventuellement ou réaliser des mises en page.

III.4.3. Liens avec le modèle de simulation PM5

Cette option permet d'effectuer les tâches de préparation des données pour le modèle de simulation hydrogéologique PM5 :

- /// affectation d'un numéro de maille à tous les points d'eau se situant à l'intérieur de la zone,
- /// saisie de la recharge,
- /// création des fichiers utilisés par PM5 pour le calage et les simulations.

▶▶▶ INTERFACE BD – SIG – MODÈLE

L'avantage d'avoir recours à des bases de données spécifiques dans le cas d'étude de systèmes aquifères partagés par deux pays ou plus, est d'utiliser cet outil comme un moyen élémentaire dans l'harmonisation et l'homogénéisation des données. A travers les liens qui sont établis entre cette base de données et les modèles, les données nécessaires au calage et fonctionnement du modèle sont directement acheminées de la BD au modèle et les résultats des traitements du modèle peuvent être également, directement restitués à la BD sans risque d'altération ou déformation. D'autres part, les liens entre la BD et le SIG permettent la reprise des données de la base de données ainsi que les résultats du modèle pour assurer des sorties et représentations

graphiques ou cartographiques. L'élaboration de ces liens est l'œuvre commune de l'informaticien gestionnaire du SISAI et l'ingénieur de modélisation du système aquifère. Ces liens répondent aux différentes fonctionnalités dans les deux systèmes numériques et permettent de mettre en place un système intégré de traitement et de gestion des données qui se traduit par des produits d'aide à la décision pour les gestionnaires du système aquifère.

Nous examinerons dans ce qui suit, certaines procédures pour l'élaboration de ces liens.

▶▶ GÉNÉRATION DU MAILLAGE

Ce module (figure 18) permet de réaliser les traitements suivants :

- /// générer un maillage ;
- /// affecter un numéro de maille aux points d'eau ;
- /// procéder à des vérifications concernant les prélèvements par maille.

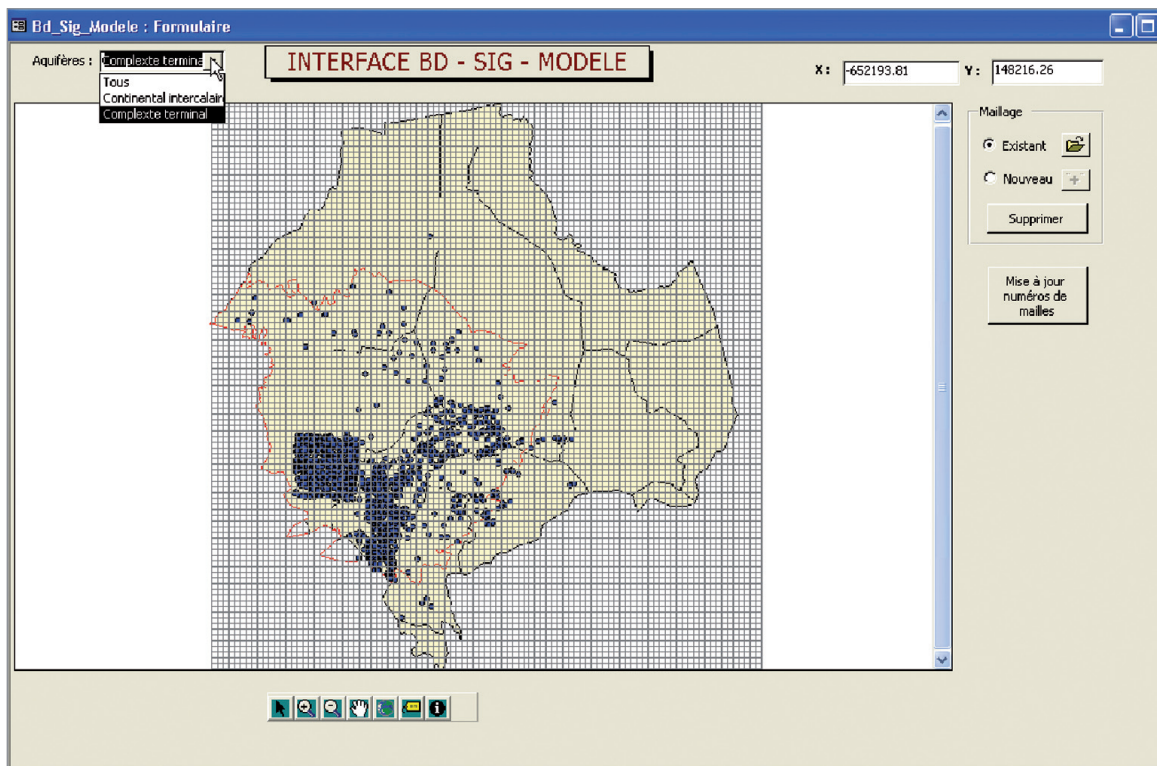
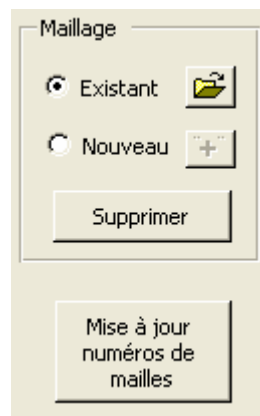


FIGURE 18 : Formulaire de génération du maillage et de liaison «points» - «modèle»

Procédure

Quand on sélectionne un aquifère, le programme affiche la couche SIG correspondante, puis l'ensemble des points appartenant à cet aquifère.

En deuxième lieu on affiche le maillage du modèle. On peut ouvrir un maillage existant (le rechercher dans le dossier \lullemeden\SIG) ou créer un nouveau maillage.



- ▶ Ouvrir un maillage existant
- ▶ Créer un nouveau maillage
- ▶ enlever le maillage de la fenêtre carte
- ▶ Renseigner le champ n° de maille la table points (tous les points situés dans l'aquifère choisi).

Si on clique sur l'option « Nouveau maillage », le bouton devient actif. Ce bouton permet de charger une boîte de dialogue pour entrer les paramètres de ce nouveau maillage à créer (figure 19) :

FIGURE 19 : Formulaire pour l'entrée des paramètres d'un nouveau maillage

Signification des champs du formulaire :

X origine : X de l'origine du maillage dans le système de coordonnées Lambert sud.

Y origine : Y de l'origine du maillage dans le système de coordonnées Lambert sud.

Nb Mailles X : nombre de mailles selon l'axe des X (lignes).


Nb mailles Y : nombre de mailles selon l'axe des Y (colonnes).

Angle : angle d'orientation de la grille.

Taille : taille de chaque maille en mètres.

Limites maillage : extension de type polygone si on veut découper le maillage (optionnel).

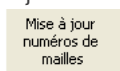
Fichier SHP : chemin et nom du fichier shp qui sera créé (par défaut « **grd_map** », mais on peut fournir un autre nom). Il faut savoir que le nom utilisé dans les programmes est « **maillage** ».

On peut saisir le chemin et le nom du fichier dans la zone de texte ou bien on clique sur le bouton  qui affiche la boîte de dialogue d'enregistrement de fichier.

Le bouton « **lancer** » déclenche l'exécution du module de génération de la grille.

Affectation des numéros de maille

Cette fonctionnalité permet de mettre à jour la table « **points** » en renseignant la colonne « **maille** ». Ceci se fait en cliquant sur le bouton



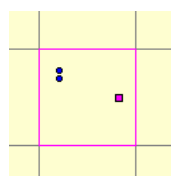
Un traitement géographique est alors lancé qui affecte à chaque point d'eau le numéro de maille dans laquelle il est situé.

Tâches de vérification

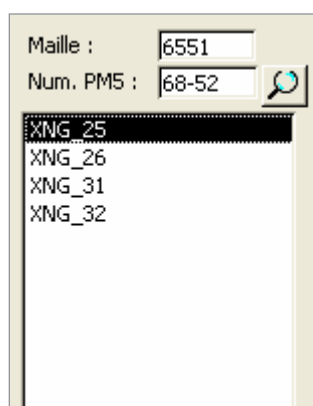
En plus des fonctionnalités habituelles des logiciels SIG (Zoom, Pan...), la barre d'outils dispose de boutons supplémentaires permettant d'aider l'utilisateur dans le contrôle des données pendant la phase de calage du modèle.

Le bouton  permet d'activer la sélection d'une maille sur le dessin.

En cliquant sur une maille, celle-ci change de couleur.




Son numéro de Maille et le numéro PM5 correspondant s'affichent en même temps que la liste des points d'eau se situant dans cette maille :

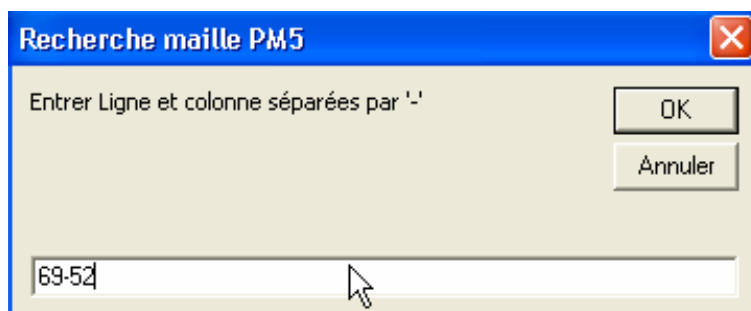


▶ Numéro séquentiel de la maille. C'est cette valeur qui identifie la maille.

▶ Liste des points d'eau appartenant à la maille sélectionnée. En double cliquant sur un point, le formulaire « **données générales** » s'affiche et on peut consulter ou éditer ses données.

On peut également sélectionner une maille si on connaît son numéro PM5 en cliquant sur le bouton 

La boîte de dialogue suivante apparaît :



En cliquant sur « Ok », on obtient le même résultat qu'une sélection sur la fenêtre carte (changement de couleur de la maille et liste des points qu'elle contient).

▶▶ SAISIE DE LA RECHARGE

L'option « Saisie Recharge » lance le formulaire suivant (figure 20) :

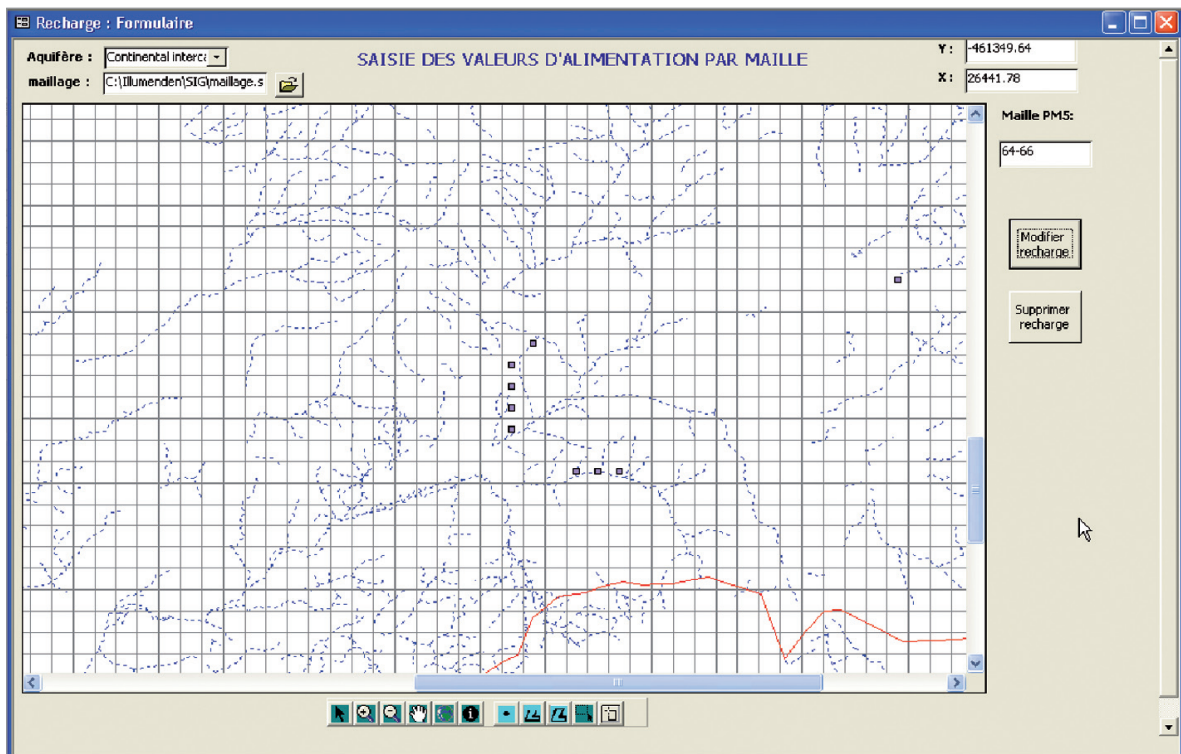


FIGURE 20 : Formulaire de saisie graphique de la recharge


Au lancement du formulaire, le chevelu hydrographique de la zone est affiché.

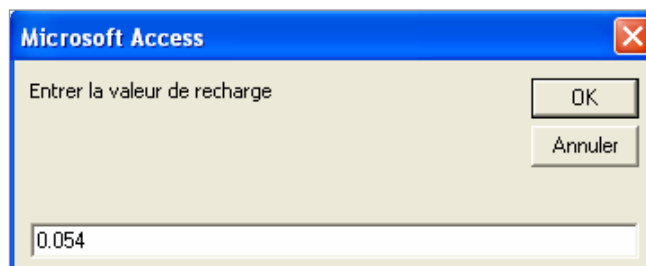
Procédure

- /// Choisir un aquifère. A ce moment, la couche correspondante est chargée puis ajoutée à la fenêtre carte.
- /// Ouvrir le maillage.
- /// Saisir les valeurs :
 - par point (une seule maille),
 - par ligne (ensemble des mailles qui sont en intersection avec la ligne),
 - par polygone (ensemble des mailles touchant le polygone).

Barre d'outils

 affiche le numéro de la maille sélectionné (numéro PM5)

 crée un point et la maille est mise en évidence. Pour saisir sa valeur d'alimentation, faire un click droit ; une boîte de dialogue apparaît :



Saisir la valeur d'alimentation dans la zone de texte et cliquer sur « **Ok** » pour valider ou « **annuler** » pour ne pas la prendre en compte.

Cette valeur est affectée à la maille sur laquelle on aura cliqué. Le point est également ajouté à la couche SIG.



créer une ligne en déplaçant la souris et en cliquant pour ajouter des vertex. Pour finir faire un double click. A ce moment toutes les mailles qui sont en intersection avec cette ligne sont mises en évidence (couleur magenta).



trace un polygone : chaque clique ajoute un vertex. Pour finir faire un double clic.



permet de sélectionner un ensemble de points en traçant un polygone. Quand on aura formé à l'aide de quelques vertex le polygone en question, tous les points d'alimentation sont mis en évidence (en magenta).



permet de sélectionner un point d'alimentation. Ce point devient en magenta.

Modifier recharge ➔ Affiche une boîte de dialogue. la zone de texte contient l'ancienne valeur que l'on peut modifier.

Supprimer recharge ➔ Supprime le point et l'enregistrement correspondant dans la table « **aliment** ».

▶▶ TRANSFERT VERS PM5

Cette dernière option permet de générer automatiquement les fichiers WEL et OBS afin de lancer PM5 en utilisant les informations stockées dans la BD (figure 21).

PMS

Transfert des données vers PM-5

Noclas	Nom	Type	X_Lamb	Y_Lamb	aquifere	NOBS
18782	Gao	1	-534296.8	-410105	CI	2
343015	SABON BIRNI	1	-490510.8	-673421.1	CI	2
42600	Digdiga	1	-444024.8	-266365.8	CI	2
8457	Abala	1	-506354.7	-334339.6	CI	2
Ibeceten	Ibeceten 1	1	-238645.5	-304626.7	CI	2
Tassara	Tassara	1	-262519.3	-127290.1	CI	2
XNG_1	ISA-DUGWELL	1	-181872.3	-529939.1	CI	2
XNG_10	GORONYO	1	-261919.4	-503743.9	CI	2
XNG_11	GADA	1	-317775.2	-467153.8	CI	2
XNG_12	RAFIN DUNA	1	-274227.6	-455791.3	CI	2
XNG_13	GIDAN CIWAKE	1	-287952.1	-467615	CI	2
XNG_14	ILLELA	1	-301536.6	-469259.9	CI	2
XNG_15	NAMMAN SU...	1	-300049.7	-490246.8	CI	2
XNG_17	KWARE	1	-304246.7	-527499.6	CI	2
XNG_2	ISA	1	-182482.3	-530550.3	CI	2
XNG_21	SOKOTO YAU...	1	-310618.8	-548225.7	CI	2
XNG_22	SOKOTO YAU...	1	-310618.8	-548225.7	CI	2
XNG_24	BARAN ZAKI	1	-273598.4	-518696.6	CI	2
XNG_25	WURNO N°3	1	-289173.5	-519861.4	CI	2
XNG_26	WURNO N°1	1	-289173.5	-519861.4	CI	2
XNG_27	GIDAN TUDU	1	-278864.3	-527876.4	CI	2
XNG_28	G.G.S.S. RAB...	1	-280520.4	-538033.2	CI	2
XNG_29	ACIDA	1	-291326.5	-532631.3	CI	2
XNG_3	SHINKAFE B...	1	-171121.7	-544843.4	CI	2
XNG_30	KANDAN	1	-298032.1	-536232.9	CI	2
XNG_31	CHINOLA N°1	1	-295486.3	-517762.6	CI	2
XNG_32	CHINOLA N°2	1	-295474.7	-516991.6	CI	2
XNG_34	LAMBA BAKU...	1	-239832.8	-598757.8	CI	2

Débits par maille (PM5)

Boreholes

Observations

Quitter

Période Historique

An début :

An fin :

FIGURE 21 : Formulaire destiné au transfert des données vers PM5

Le formulaire affiche la liste des points d'eau ayant au moins deux valeurs de niveau, afin de les transférer éventuellement vers le fichier « PMWIN5000_BOR_FILE » [ce qui permettra de comparer les niveaux observés et les niveaux calculés par le PM5].

Colonnes affichées

NoClas : numéro d'identification des points d'eau.

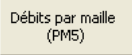
Nom : nom des points d'eau.

X_Lamb : X Lambert en mètres.

Y_Lamb : Y Lambert en mètres.

Aquifère : Code de l'aquifère où se situe le point d'eau.

Nobs : nombre de mesures de niveau réalisées sur le point d'eau.

En cliquant sur le bouton  l'application lance la requête qui permet de lister les mailles du modèle et la somme des débits des points d'eau qu'elles contiennent :

Transfert des données vers PM-5

Année	Couche	Ligne	Colonne	debit
1956	1	33	25	5.37211177676901E-02
1956	1	34	32	8.05816766515352E-02
1956	1	35	8	0.026860558883845
1956	1	37	34	5.37211177676901E-02
1956	1	38	8	0.026860558883845
1956	1	38	16	0.026860558883845
1956	1	38	20	0.21488447107076
1956	1	39	5	0.026860558883845
1956	1	39	7	5.37211177676901E-02
1956	1	39	14	8.05816766515352E-02
1956	1	40	31	0.026860558883845
1956	1	40	34	0.026860558883845
1956	1	41	22	0.026860558883845
1956	1	41	26	8.05816766515352E-02
1956	1	41	30	0.026860558883845
1956	1	41	32	5.37211177676901E-02
1956	1	42	26	8.05816766515352E-02
1956	1	44	17	5.37211177676901E-02
1956	2	9	38	6.97042251346923E-03
1956	2	24	39	1.39408450269385E-02
1956	2	30	13	6.97042251346923E-03
1956	2	32	19	6.97042251346923E-03
1956	2	32	38	6.97042251346923E-03
1956	2	34	17	1.39408450269385E-02
1956	2	34	21	6.97042251346923E-03
1956	2	34	29	6.97042251346923E-03
1956	2	35	38	6.97042251346923E-03
1957	1	33	25	5.55892510803625E-02

Débits par maille (PM5)

Boreholes

Observations

Quitter

Période Historique

An début :

An fin :

Signification des colonnes affichées

Année : année de la mesure.

Couche : numéro de couche (CT = 1 ; Ci = 2).

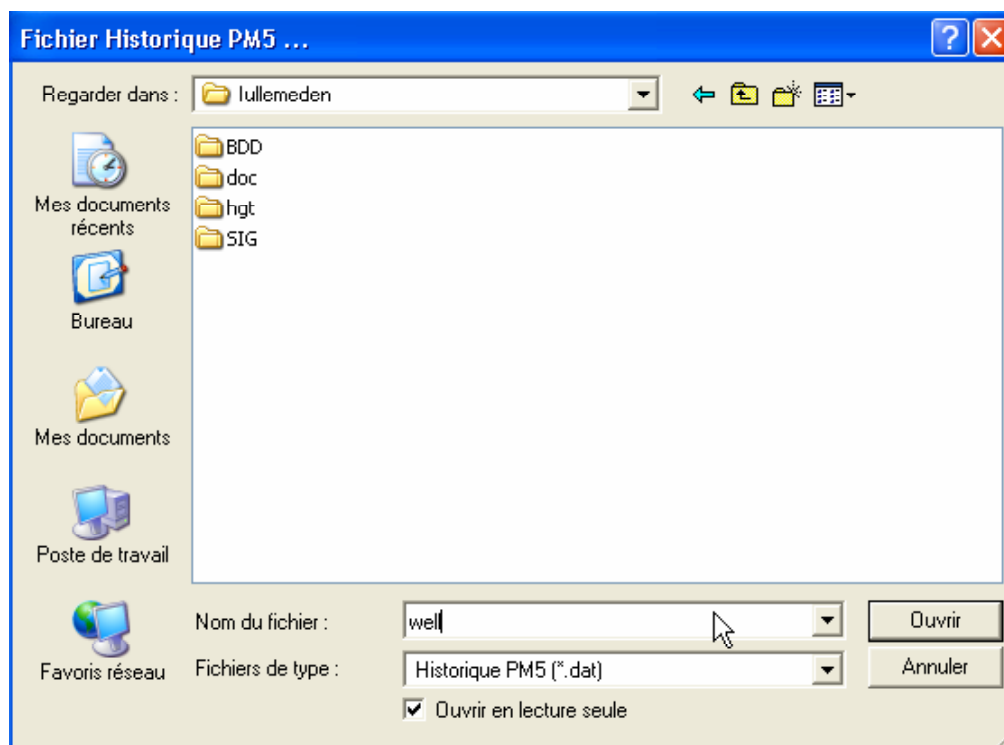
Ligne : numéro de ligne de la maille.

Colonne : numéro de colonne de la maille.

Débit : valeur du débit (somme des débits des points d'eau).

Dès que la liste est affichée, les zones de texte « **Année début** » et « **An fin** » sont activées.

Une fois renseignée la période (années début et fin) et en cliquant sur Ok, l'application fait apparaître la boîte de dialogue d'enregistrement de fichier.



L'utilisateur entre le nom d'un nouveau fichier ou sélectionne un fichier existant (attention, celui va être écrasé). En cliquant sur « Ouvrir », l'application lance la génération du fichier contenant les valeurs de débits par maille. Ces valeurs constituent la somme algébrique « **Alimentation - Prélèvement** ».

IV. SYNTHÈSE DES CONTENUS (BD ET SIG)

Le projet a permis de rassembler, de mettre en forme et d'homogénéiser l'ensemble des informations existantes à ce jour, sur les aquifères du SAI. En effet, une structure de base de données relationnelle cohérente, évolutive et permettant une exploitation aisée des informations, a été mise en place au niveau des trois pays.

Parmi les bénéfices les plus importants acquis par la mise en place de ce système, on peut citer :

- /// une base de données commune concernant la totalité du bassin : structure, codification, procédures de traitement ;
- /// des outils opérationnels maîtrisés par les experts des pays et permettant la mise à jour permanente du système et l'actualisation aisée du modèle ;
- /// un référentiel géographique commun partagé par les trois pays : système de projection, couches de base, MNT...

Pour une fois, l'ensemble de l'information spécifique aux aquifères du SAI est harmonisée et partagée par les trois administrations gestionnaires des ressources en eau de ce bassin. Elle est accessible sous des formats permettant son exploitation directe ou adaptée à la modélisation.

Cette information sert ainsi, d'aide à la décision pour ce qui concerne la planification du développement des ressources en eau du bassin. Son adaptation au support cartographique à l'échelle du bassin versant, ainsi que les possibilités de son traitement pour la simulation du fonctionnement hydrodynamique des aquifères du SAI lui donne une valeur ajoutée par rapport à son état dans les bases de données nationales des trois pays.

IV.1. La base de données commune

La base de données commune du SAI constitue l'élément central du système d'information de cette entité hydrogéologique. Elle est ainsi un maillon dans les éléments du système d'aide à la décision pour la concertation entre les trois pays en vue d'assurer une meilleure gestion et planification des ressources en eau du bassin. La description détaillée de la structure ayant été explicitement développée de façon détaillée dans le chapitre précédent, nous présentons ici les contenus, autrement dit l'ensemble des données recueillies soit par les équipes des pays, soit par l'équipe de l'OSS.

IV.1.1. Caractéristiques des points d'eau

Le fait d'avoir bâti la structuration de la base de données commune du SAI sur « **le point d'eau** » trouve sa justification dans l'importance et la diversification de l'information qui y est rattachée. Le « point d'eau » vu ici dans son sens le plus général (station climatologique, site de jaugeage et point de captage ou d'exploitation des eaux souterraines), constitue une clé primaire permettant d'accéder à l'information dans son référentiel spatio-temporel. Une importance particulière est accordée, suivant les tables de données, aux points d'eau relatifs aux eaux souterraines du fait que les aquifères du SAI sont l'objet principal d'analyse visé par les risques hydrogéologiques. Ces points d'eau (puits, forages, sondages, sources, etc.) constituent le point d'accessibilité à la connaissance physique et hydraulique de ces aquifères. Les autres points d'eau spécifiques à

l'identification des données climatiques ou hydrologiques permettent de mieux appréhender les échanges en eau du système aquifère avec son environnement.

Le nombre total de points d'eau recueillis et intégrés dans la table « **points** » de la BD commune du SAI est de **17 171**. Ce nombre concerne principalement :

- /// les forages et puits recueillis auprès des trois administrations de gestion des ressources en eau dans les pays ;
- /// les forages ayant servi pour le traitement de la géologie dont une majorité est recueillie chez les pays et le complément extrait des études disponibles ;
- /// les points d'eau autres comme les sondages pétroliers, créés car comportant des informations utiles à la connaissance des aquifères comme : la transmissivité, les données de qualité de l'eau, les données sur la piézométrie des nappes ou les plans d'eau...

L'accumulation de l'ensemble de cette information ne manque pas de refléter certaines redondances, qui résultent des origines diversifiées pour la collecte des données. Ceci est le prix à payer pour disposer dans la BD de toutes les données disponibles et de l'ensemble de l'information utile. Une des tâches de mise en forme de cette information, entreprise dans le cadre du projet, est son analyse et son traitement en vue d'éviter la redondance et d'harmoniser les formats adoptés pour sa présentation.

La systématisation de saisie et d'harmonisation des données a fait que plusieurs champs de la BD commune ont été renseignés :

- /// de manière automatique : unité administrative (par le SIG), maille,
- /// par requête : code_usage, pays, annee_sce.

Il en résulte certains dédoublements de points d'eau identifiés sous des codes différents tout en se référant à la même localisation géographique. C'est seulement à travers une analyse poussée de l'information qu'il devient possible d'identifier ces dédoublements et de limiter les erreurs qui y sont attachées.



Champ	Enregistrements renseignés	%	Champ	Enregistrements renseignés	%
nom	16151	94.06	Etat	0	0
Type	17171	100	Artesien	17171	100
Aquif	2671	15.56	Equipe	17171	100
Admin	17135	99.79	Prof_foree	14898	86.76
longitude	17170	99.99	Prof_equipee	13782	80.26
latitude	17170	99.99	QEX	13302	77.47
Altitude	7860	45.77	NS	14855	86.51
usage	12572	73.22	Maille	2609	15.19
Année	5089	29.64			

TABLEAU 6 : Taux de remplissage des champs importants

▶▶▶ RÉPARTITION PAR UNITÉ ADMINISTRATIVE

La répartition géographique de l'information est une option de base qui permet son identification par la suite vu que cette approche est celle utilisée par l'administration pour la classification des points d'eau et le suivi des ressources en eau de ces aquifères. Le choix de l'unité administrative de base est dicté par la classification administrative adoptée dans le pays, tout en ayant présent à l'esprit la nécessité d'avoir une harmonisation d'échelle d'un pays à l'autre pour ne pas présenter

beaucoup de détails ou insuffisamment de précision dans la restitution des données pour les différentes applications entreprises dans le cadre du projet. Ainsi, vu la taille du bassin il a été opté de se limiter au département comme subdivision administrative de base.

Le tableau ci-contre présente pour les trois pays, le nombre de points d'eau, toutes catégories confondues, par unité administrative.

Cette situation ne traduit qu'un état de la base de données à une date donnée (janvier 2007). Elle est évolutive en fonction de l'apport des équipes des pays pour ajouter de nouvelles données. Cet état est considéré comme

l'aboutissement d'un effort de plus de deux années de collecte des données dans les pays. Il a été utilisé pour entreprendre l'élaboration du modèle de simulation hydrogéologique.

Le nombre de points d'eau non rattaché à un pays parmi les trois qui se partagent le SAI est relativement réduit par rapport au nombre global de points d'eau (2 ‰). Il traduit un effort d'identification de ces points d'eau qui est relativement élevé.

La répartition des points d'eau entre les trois pays doit être prise ici avec beaucoup de prudence du fait que la superficie du bassin revenant à chaque pays et l'importance des aquifères est variable d'un pays à l'autre. Il n'est donc pas attendu qu'il y ait une certaine corrélation entre le nombre de points d'eau et l'extension géographique du bassin par pays.

De même qu'il n'est pas attendu que les trois pays aient une densité de points d'eau relativement comparable. Mais, il est évident que le Niger où se localise la grande partie du bassin du SAI (plus de 80 %) englobe le plus grand nombre de points d'eau identifiés (93,7 %).

▶▶▶ RÉPARTITION PAR AQUIFÈRE

L'affectation d'un code aquifère aux points d'eau s'est faite essentiellement au niveau de l'OSS en présence des experts des pays : car il y a eu un travail d'homogénéisation des formations lithostratigraphiques locales. Ce champ est essentiel pour les points d'eau disposant d'un historique de prélèvement.

Le tableau ci-contre fait apparaître que près de 85 % des points d'eau du bassin ne sont pas rattachés à un aquifère donné. Ceci résulte du fait que la saisie des points inclus dans la base de données a été faite de manière systématique (carte de ressources en eau), à partir de sources n'accordant pas une importance clé à cette spécification.

Code Aquifère	Nom Aquifère	Nombre de points
Ci	Continental intercalaire	275
CT	Complexe terminal	2396
Inconnu		14500
Total SAI		17171

TABLEAU 8 : Points d'eau par aquifère

L'affectation des points d'eau par aquifère, pour les besoins de la modélisation, a été faite sur la base de la localisation géographique, des formations recoupées et de la profondeur atteinte.

▶▶ RÉPARTITION PAR TYPE

Le type de point d'eau est une caractéristique qui est principalement utilisée dans un but purement statistique, pour caractériser l'infra-structure hydraulique de mobilisation des eaux souterraines du SAI. On note dans ce cas, l'absence de sources qui sont des apparitions naturelles des eaux des nappes souterraines. Ceci s'explique par l'aspect confiné des aquifères et le rôle réduit des accidents tectoniques dans l'émergence des eaux des différents aquifères du bassin.

La prépondérance des **puits de surface (60,1 %)** dans l'effectif des points ainsi identifiés (tableau 9), résulte du fait qu'ils constituent l'infra-structure hydraulique la plus adaptée aux conditions d'exploitation dans le bassin.

En effet, comme les forages sont plus coûteux et moins maîtrisée en tant que technique de mobilisation des eaux dans une bonne partie du bassin, leur pourcentage est relativement plus modeste (**25,3 %**).

Les groupes de forages sont un artifice qui est utilisé quand il s'avère difficile de faire représenter un grand nombre de forages et dans la mesure où ces points d'eau ne sont pas bien identifiables sur carte. Ceci a été le cas des forages du Nigeria dont l'information qui leur est spécifique n'englobe pas les coordonnées géographiques pour leur localisation. C'est pour cette raison qu'ils ont été introduits sous forme de groupes de forages affectés à la localité dont ils portent le nom (destination d'utilisation).

Type de point	Nombre de points
Non identifié (14 %)	2463
Forage	4346
Groupe de Forages	12
Piézomètre	20
Puits (60,1 %)	10330
Total SAI	17171

TABLEAU 9 : Points d'eau par type

▶▶ POINTS D'EAU AYANT UN HISTORIQUE

Les données historiques (séries) relatives à la piézométrie, à l'exploitation et à la qualité chimique de l'eau constituent une information de base pour le calage du modèle de simulation hydrogéologique. Il est donc important de bien identifier les points d'eau disposant d'un certain historique relatif à ces trois variables.

Les historiques relatifs aux caractéristiques hydrodynamiques soulignent la fréquence des opérations de tests hydrauliques effectués sur ces points d'eau.

Le tableau ci-dessous fournit, pour chaque aquifère, le nombre de points disposant d'au moins un enregistrement dans chacune des tables en relation. Si on prend l'exemple de la piézométrie, nous avons :

- /// **42** points d'eau, dont le code aquifère n'est pas renseigné, qui disposent d'au moins une observation de niveau ;
- /// **200** points dans la **Ci** et **296** dans le **CT** qui ont au moins une mesure de niveau.

Aquifère	Exploitation	piezométrie	Hydrodynamique	Qualité
Inconnu	0	42	2	24
Ci	162	200	81	0
CT	629	296	15	0

TABLEAU 10 : Nombre de points d'eau ayant au moins un historique

On remarque pour la qualité de l'eau qu'aucun des 24 points d'eau dotés de mesures n'est renseigné pour le champ « **code_aquif** ».

Les données de ce tableau font apparaître une lacune principale dans l'implémentation de la base de données commune du SAI. En effet, sur les 17 171 points d'eau identifiés, seul un pourcentage de **8 %** est susceptible de **servir pour l'élaboration des historiques de suivi de la piézométrie ou de l'exploitation**, indispensables pour le calage en régime transitoire du modèle de simulation hydrodynamique.

Cette lacune de taille fait que l'information ainsi collectée ne peut servir qu'au calage du modèle en régime permanent. Les indices quantitatifs sur l'évolution de l'exploitation ou de la baisse piézométrique des différents niveaux aquifères du SAI sont réduits et font que des hypothèses se référant à des variables indirectes à l'utilisation de l'eau (population, cheptel, superficies irriguées), sont nécessaires pour tracer l'évolution de l'exploitation ou de la baisse piézométrique dans le temps.

IV.1.2. Prélèvements

Les prélèvements sur les réserves des aquifères ou l'exploitation est un aspect capital dans l'information nécessaire à l'élaboration du modèle de simulation hydrogéologique du fonctionnement hydrodynamique du SAI.

Les données relatives à cet aspect sont complexes et nécessitent une identification précise des points d'eau exploités, du type d'exploitation (par artésianisme ou par pompage), de la durée d'exploitation (par jour, par saison ou durant la durée de vie de l'ouvrage).

Cette identification ne peut être assurée qu'à l'aide d'une gestion bien structurée qui accorde au suivi les moyens nécessaires pour effectuer des mesures régulières ou périodiques, ce qui n'est pas le cas dans les trois pays qui se partagent le SAI.

En effet, l'information relative à l'évaluation de l'exploitation n'a jamais fait, dans le cadre du SAI, l'objet d'une analyse de quantification détaillée et exhaustive. Elle a toujours été sommaire et partielle. Il en est résulté que les données spécifiques à cet aspect, sont rudimentaires, fragmentaires et insuffisantes pour assurer une évaluation satisfaisante.

De ce fait, la base de données commune souffre de certaines lacunes à ce niveau en même temps qu'elle exige une meilleure analyse des données existantes chez les trois pays pour en déduire une information permettant de combler partiellement les lacunes flagrantes de mesures.

La structure de la base de données impose que les prélèvements soient rattachés aux points d'eau. Or, les quelques informations disponibles sur cette variable sont plutôt fournies de façon synthétisée (volume annuel par secteur d'utilisation) et ne se présentent pas de la même manière d'un pays à l'autre :

- /// **pour le Nigeria** : les prélèvements globaux sont fournis par province et par usage (domestique, élevage) ;
- /// **pour le Mali** : les prélèvements globaux sont donnés par usage (cheptel, nomades, sédentaires) ;

- /// **pour le Niger** : les volumes d'exploitation sont donnés par point d'eau mais ce n'est pas forcément le débit instantané prélevé. Dans plusieurs cas, les numéros de classement ainsi que les aquifères captés n'ont pas été suffisamment renseignés pour identifier les débits unitaires d'exploitation.

L'objectif de ce traitement est de constituer un historique d'exploitation (1970–2004) par point d'eau à partir des informations recueillies. Pour cela, la démarche suivante a été adoptée :

- /// répartir les prélèvements globaux par point d'eau pour le Mali et le Nigeria. Cela suppose que les champs « **aquifere** » et « **unite_admin** » soient renseignés ;
- /// affecter aux points d'eau du Niger une valeur annuelle de prélèvement en se basant sur le débit d'exploitation et en considérant une durée moyenne uniforme d'exploitation de 4 heures par jour.

La constitution de la table « **Exploitation** » a été réalisée selon la démarche suivante :

- /// acquisition à partir du SIG du champ « **Code_Admin** » ;
- /// affectation du code aquifère (Ci ou CT) aux points d'eau, selon la valeur du champ « Aquif_Ci-CT » :
 - si « Quat »,
 - ▶▶ si les points sont à l'intérieur de l'intersection Ci-CT, la valeur de CODE_AQUIF = CT,
 - ▶▶ sinon,
 - ▶ si les points sont dans le Ci, la valeur de CODE_AQUIF = Ci
 - ▶ sinon la valeur de CODE_AQUIF = CT
 - si « Palz » ou « BASE » ou « Aquitard », la valeur de CODE_AQUIF = Null,
- /// répartition des prélèvements globaux par point d'eau à l'aide d'une requête ACCESS, pour les parties nigérienne et malienne ;
- /// pour la partie nigérienne, nous avons appliqué la règle suivante :
 - requête calculant le prélèvement annuel à partir du débit d'exploitation en se basant sur une durée d'utilisation de 8 heures par jour. Ce calcul a touché uniquement les points d'eau dont l'année de réalisation est renseignée. En l'absence de l'unité, nous avons considéré que ce débit est exprimé en litres/secondes.
 - remplissage de la table « exploitation » à partir d'une requête « Ajout » après conversion en m³/an.

Après ce traitement, la table « exploitation » est remplie de la manière exigée par la structure de la BD.

▶▶▶ RÉPARTITION DES PRÉLÈVEMENTS PAR AQUIFÈRE ET PAR UNITÉ ADMINISTRATIVE

La requête visant à présenter les prélèvements sur les réserves en eau du SAI répartis par pays et aquifère, fait apparaître une lacune d'identification de certains points d'eau qui n'ont pu être affectés à un niveau aquifère donné.

Ces prélèvements équivalents à 1,55 hm³/an (1,4 % des prélèvements globaux) sont relativement négligeables et l'indétermination de leur affectation à un des trois pays ne semble pas changer la signification des résultats, surtout que ce volume a pu être affecté aux aquifères du CT.

Dans l'ensemble, l'exploitation faite à partir du Ci (**65,31 hm³/an**) dans les trois pays, n'est que de 62 % de celle faite à partir du CT (**105 hm³/an**). Cette constatation confirme l'accessibilité plus grande des aquifères du CT à l'exploitation que ceux du Ci, ce qui est en relation avec le type d'ouvrages de mobilisation le plus étendu (les puits).

L'exploitation de la nappe du Ci est plus étendue au Nigeria (**57,39 hm³/an**) que dans les deux autres pays. Dans ce pays, les ouvrages nécessaires à la mobilisation de l'eau souterraine, sont moins profonds (forages de moins de 100 m de profondeur). C'est également le cas des nappes du CT (**Nigeria : 60,21 hm³/an**), mais dans ce cas, l'exploitation du Niger est également importante (**42,68 hm³/an**). L'exploitation du SAI au Mali est relativement négligeable, ce qui nécessite qu'elle soit mieux vérifiée.

Les pourcentages que reflète le tableau suivant quand à l'exploitation des aquifères du SAI, dans les trois pays, s'expliquent par deux paramètres :

- une plus grande accessibilité des aquifères du CT au Niger et du Ci au Nigeria vu que la profondeur des ouvrages de captage est relativement faible,
- une densité démographique et des usages diversifiés (AEP, irrigation, cheptel et industrie) plus développés au Nigeria et au Niger.

Aquifère	Pays	Unité Admin.	Vol(hm ³ /an)
Ci	Mali	Gao	0.03
		Nigeria	Katsina
	Kebbi		19.14
	Sokoto		30.58
	Total Nigeria		57.39
	Niger	Dosso	0.57
		Maradi	0.21
		Tahoua	7.10
		Zinder	0.01
	Total Niger	7.89	
Total Ci		65.31	
CT	Inconnu	Inconnue	1.55
	Mali	Gao	0.56
		Nigeria	Kebbi
	Sokoto		36.04
	Total Nigeria		60.21
	Niger	Dosso	29.34
		Niamey	1.84
		Tahoua	11.53
Total Niger		42.68	
Total CT		105.0	
Total Ci + CT (hm³/an)			170.31

TABLEAU 11 : Prélèvements par aquifère et par unité administrative

On remarque que quelques points d'eau qui totalisent un prélèvement de 1,55 hm³, n'appartiennent à aucune unité administrative.

▶▶▶ PRÉLÈVEMENTS GLOBAUX PAR UNITÉ ADMINISTRATIVE

Ce sont les prélèvements globaux (Ci + CT) par unité administrative dans chaque pays. Le nombre de points fournissant ce volume est également affiché, ainsi que le ratio « prélèvement/nombre de points ». Le ratio déduit de la répartition des prélèvements sur le nombre de points d'eau accuse une variation notable d'un pays à l'autre et d'une subdivision administrative d'un pays à une autre (tableau 12).

Les valeurs de ce ratio varient entre **0,01 hm³/an** et par points d'eau au Mali, à **0,50 hm³/an** et par points d'eau au Nigeria, en passant par **0,103 hm³/an** et par points d'eau au Niger. Ces valeurs peuvent être utilisées comme « normes » de vérification des prélèvements des points d'eau dans les trois pays dans la mesure où on considère l'échantillon de 781 points d'eau identifié, représentatif de la répartition des prélèvements au sein du SAI.

Pour ce qui est du Mali, du fait qu'une seule subdivision administrative est prise en considération (Gao avec 54 points d'eau), on ne dispose pas de référence permettant d'en déduire la variation spatiale de ce ratio. On considère la valeur de **0,01 hm³/an** par point d'eau comme représentative de cette partie du bassin.

Dans le cas du Nigeria, on dispose de trois valeurs de ce ratio en fonction des trois subdivisions administratives (Sokoto, Kebbi et Katsina). Ces valeurs évoluent entre **0,30 et 0,55 hm³/an** et par point d'eau, donne une valeur moyenne représentative de cette portion du bassin qui est de **0,5 hm³/an** et par point d'eau.

Dans le cas du Niger, en excluant le département où le nombre de points d'eau considérés est relativement faible (un seul point d'eau à Zinder), pour les autres, ce ratio évolue entre **0,07 et 0,17 hm³/an** et par point d'eau. La valeur moyenne est de **0,10 hm³/an**.

Pays	Unité Admin	Nb points	Prélèvements hm ³ /an	Ratio
Mali	Gao	54	0.60	0.01
Nigeria	Sokoto	122	66.61	0.55
	Kebbi	86	43.31	0.50
	Katsina	26	7.67	0.30
	Total Nigeria	234	117.59	0.50
Niger	Dosso	343	29.91	0.09
	Tahoua	135	18.62	0.14
	Niamey	11	1.84	0.17
	Maradi	3	0.21	0.07
	Zinder	1	0.01	0.01
	Total Niger	493	50.59	0.103
Total SAI (Ci+CT)		781	168.78	0.216

TABLEAU 12 : Prélèvements globaux par unité administrative (année 2000)

En considérant l'ensemble des départements du bassin dans les trois pays et l'échantillon de 781 points d'eau, le ratio d'exploitation moyen par point d'eau, est de **0,22 hm³/an** (6,8 l/s en débit fictif continu). Il en résulte ainsi que l'exploitation unitaire par ouvrage est la plus forte au Nigeria (**0,5 hm³/an**) et la plus faible au Mali (**0,01 hm³/an**).

▶▶ HISTORIQUE DES PRÉLÈVEMENTS PAR POINT D'EAU

Cette requête croisée est destinée à vérifier les données de prélèvements :

- ⚡ période de disponibilité des données
- ⚡ évolution des valeurs dans le temps

Noclas	1956	...	1988	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Oulit Erajoun	219.819	...	1048.147	3091.056	3226.209	3399.933	3462.902	3429.897	3678.123
321282		...	1051.2	1051.2	1051.2	1051.2	1051.2	1051.2	1051.2
321283			168192	168192	168192	168192	168192	168192	168192
321284			4204.8	4204.8	4204.8	4204.8	4204.8	4204.8	4204.8
321296		...	5256	5256	5256	5256	5256	5256	5256

TABLEAU 13 : Historique exploitation par point d'eau (en m³)

▶▶ PRÉLÈVEMENTS PAR TYPE D'USAGE

Le tableau croisé fournit les volumes en hm³/an par unité administrative et par usage. Si la somme des volumes ne correspond pas au volume global du SAI, c'est parce que le champ « **code_usage** » n'est pas renseigné pour l'ensemble des points d'eau (table « **points** »).

Pays	Unité Admin	AEP Urbaine	AEP villageoise	Inutilisé	Irrigation	Pastoralisme
Niger	Dosso	0.67	28.96			0.18
	Maradi		0.02			
	Niamey		1.28			0.56
	Tahoua	1.23	16.87		0.53	
	Zinder		0.01			
Nigeria	Katsina	3.24	4.42			
	Kebbi	8.56		1.01		
	Sokoto	11.47		8.19		

TABLEAU 14 : Prélèvements par unité administrative et par usage (année 2000)

IV.1.3. Piézométrie

En l'absence d'un réseau de suivi piézométrique, les informations sur les niveaux ont été recueillies à partir de diverses sources par :

- /// les équipes des pays lors des ateliers ;
- /// exploitation des documents d'études existants.

L'ensemble de ces données traitées et validées ont été transférées dans la BD, soit par saisie manuelle, soit par requêtes ACCESS après mise en forme et validation.

▶▶▶ RÉPARTITION PAR ORIGINE DES DONNÉES

L'origine de l'information piézométrique est une information très importante durant la phase de contrôle et de validation des données.

Source	Mali	Nigéria	Niger	Total par source
Non renseignée	6	10	133	149
Projet FAO, 1970	4	18	44	66
Atelier-Novembre 2006	5		53	58
BCEOM-CE, 1988 et 2000			34	34
Greigert, 1978			8	8
K.F. SAAD, 1971	17		28	45
MHE-1983			5	5
Rapport_JICA_Sokoto_1990 et 1991		242	4	246
Total par pays	32	270	309	611

TABLEAU 15 : Répartition des mesures de niveaux par source de données

▶▶▶ SÉRIES DE NIVEAUX

Aucun suivi spatio-temporel de la piézométrie des différents aquifères du SAI n'est assuré dans les trois pays concernés. Les mesures piézométriques collectées et exploitées pour les besoins de cette étude proviennent des caractéristiques des points d'eau identifiées à la date de la création de l'ouvrage de reconnaissance ou d'exploitation, ou des quelques compagnes de mesures réalisées à l'occasion des études de synthèse effectuées par pays.

Il s'avère ainsi qu'aucun historique piézométrique n'est disponible et que les quelques mesures validées constituent des jalons espacés dans le temps et très insuffisants dans leur répartition spatiale, pour assurer une vision claire de l'évolution de la piézométrie dans le temps.

Les points d'eau disposant d'au moins deux mesures de niveaux ne sont pas très nombreux (68 pour les deux aquifères confondus). Les écarts entre ces mesures sont, pour la majorité, de 1 an (ce qui est insuffisant pour analyser les variations de niveaux). Aucun point ne dispose d'au moins 3 mesures.

Pays	Unité Administrative	Période la plus longue (ans)	Nombre de points à plus de deux mesures	Nombre MAX
Mali	Gao	0	0	2
Nigéria	Kebbi	1	19	2
	Sokoto	1	36	2
Niger	Dosso	28	7	2
	Maradi	1	1	2
	Niamey	13	1	2
	Tahoua	8	4	2

TABLEAU 16 : Points ayant au moins deux mesures de niveau : longueur des séries et répartition par unité administrative

On constate qu'aucun point d'eau au Mali ne dispose de deux mesures de niveau et plus.

Si on examine la répartition de ces séries par aquifère (tableau 17), on constate que pour le CT le nombre de points d'eau ayant deux mesures n'est que de 12.

Aquifère	Période la plus longue (ans)	Nombre de points à plus de 2 mesures
Inconnu	1	3
Ci	28	53
CT	12	12

TABLEAU 17 : Points ayant au moins deux mesures de niveau : longueur des séries et répartition par aquifère

La répartition spatiale des points appartenant au Ci, montre que (figure 22, page 79) :

- /// leur nombre est élevé au Nigéria, mais la période la plus longue n'est que de 1 an ;
- /// il n'y a pas de points au Mali ;
- /// seuls 3 points ont une période longue de plus de 3 ans, ils sont tous au Niger.

La répartition spatiale des points du CT est illustrée par la carte ci-dessous (figure 23, page 79).

Les points du CT ayant une période ≥ 10 ans, sont au nombre de 3 et situés dans la zone de Dosso, comme le montre le tableau suivant :

Shape	Nom	Code_Aquif	Nom_Admin	Xcoord	Ycoord	NB_Mes	PremierDeDate	DernierDeDate	Long_période
Point	26598	CT	Dosso	-486016.062500	-602379.687500	2	1988	2000	12
Point	323252	CT	Dosso	-453538.156250	-499637.906250	2	1988	1998	10
Point	331508	CT	Dosso	-534328.562500	-572905.437500	2	1988	1998	10
Point	344050	CT	Dosso	-485413.562500	-577934.812500	2	1998	2000	2
Point	344079	CT	Dosso	-483258.625000	-579099.375000	2	1998	2000	2
Point	26595	CT	Dosso	-505556.937500	-597440.375000	2	1998	2000	2
Point	XNG_40	CT	Kebbi	-398052.187500	-592492.187500	2	1988	1989	1
Point	XNG_41	CT	Kebbi	-369370.687500	-567116.687500	2	1988	1989	1
Point	XNG_42	CT	Kebbi	-393001.031250	-612977.875000	2	1988	1989	1
Point	XNG_54	CT	Kebbi	-444860.437500	-650812.312500	2	1988	1989	1
Point	XNG_56	CT	Kebbi	-423876.093750	-608631.875000	2	1988	1989	1
Point	XNG_58	CT	Kebbi	-374932.687500	-620743.312500	2	1988	1989	1

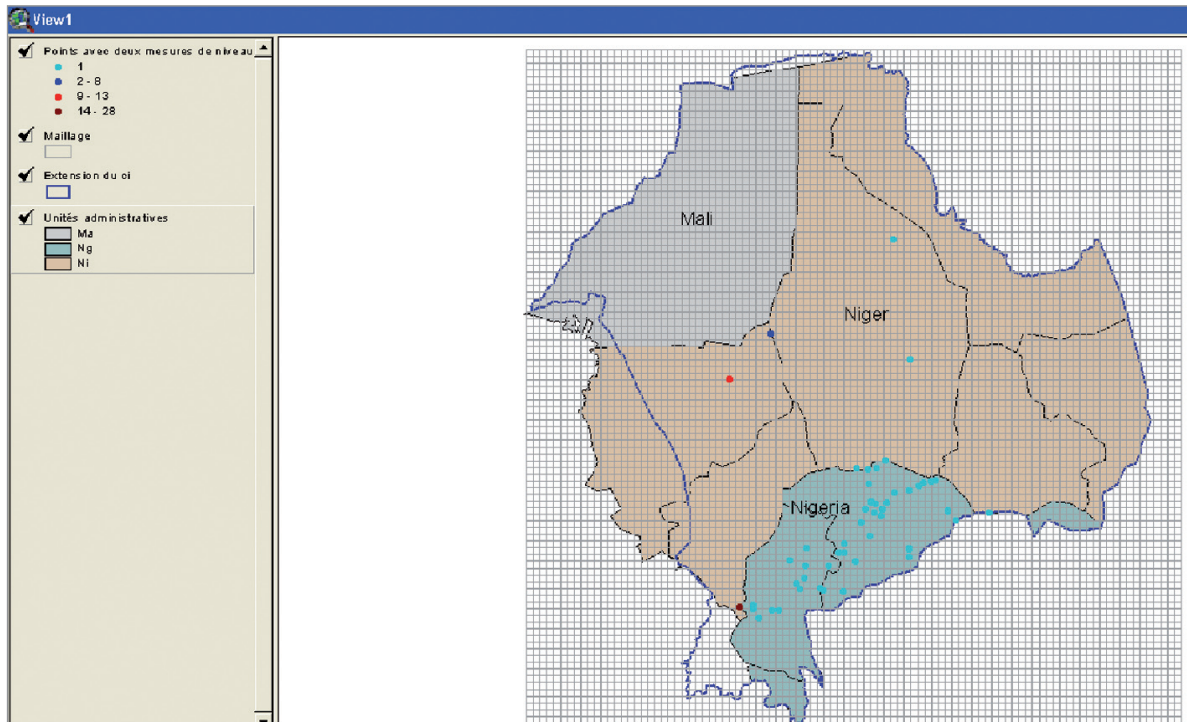


FIGURE 22 : Répartition spatiales des points du Ci ayant deux mesures de niveau et plus

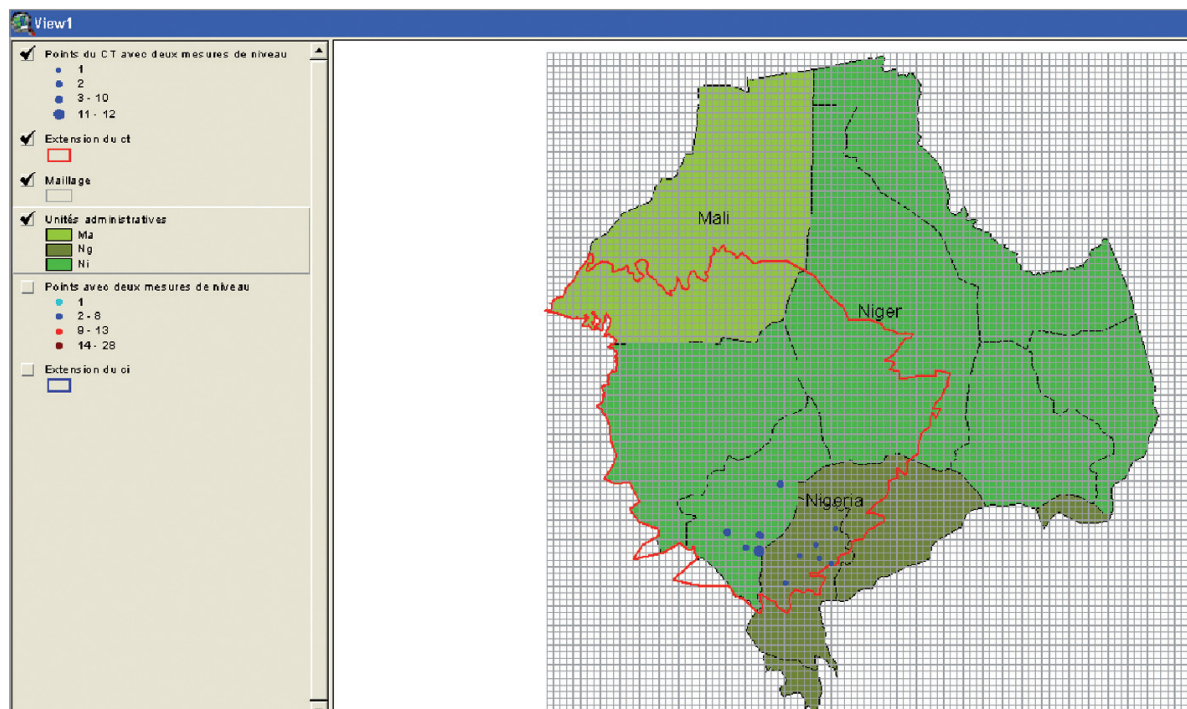


FIGURE 23 : Répartition spatiales des points du CT ayant deux mesures de niveau et plus

Conclusion sur la piézométrie

L'aspect en cuvette du SAI a rendu relativement aisée l'interprétation des données piézométriques des différents aquifères, surtout que l'essentiel du système aquifère est localisé au Niger et accessoirement au Nigeria.

Les études hydrogéologiques antérieures réalisées au Mali [K.F Saad, 1971], au Niger [FAO,

1970 ; BCEM, 1978 ; MHE, 1983) et au Nigeria (JICA, 1991) avancent certaines hypothèses de base pour l'interprétation de l'allure piézométrique d'ensemble.

Comme l'exploitation du système aquifère a évolué ces derniers temps de manière plus ou moins équilibrée au Mali et au Niger et que la plus forte exploitation est enregistrée au Nigéria (exutoire du SAI), l'allure générale des courbes isopièzes ne semble pas être trop déformée par cette exploitation.

Le calage en régime permanent du système a pu être obtenu sur la base de l'information disponible qui a été jugée acceptable.

Le calage du modèle en régime transitoire est jugée plus aléatoire avec l'absence d'un historique piézométrique fiable et représentatif. Les quelques mesures espacées constituent des repères précieux qui ont permis de guider le calage en du modèle, sachant que l'évolution de l'exploitation du système aquifère est restée plus ou moins dans les limites de ses ressources renouvelables. Ce n'est que ces dernières années que l'exploitation semble dépasser l'alimentation annuelle.

IV.1.4. Géologie

Les données géologiques introduites dans la BD commune du SAI correspondent aux données des sondages réalisés dans le bassin. Elles se présentent sous forme d'une description litho-stratigraphique des couches traversées par ces sondages. Des subdivisions stratigraphiques ont été adoptées avant d'assurer le traitement de cette information à l'aide du logiciel « **Rockworks** », utilisé pour l'élaboration de corrélations entre les sondages suivant des directions préférentielles permettant de faire ressortir les particularités de la structure géologique du système aquifère. Ainsi, sont dégagées les variations structurales et les anomalies géologiques associées à chaque corrélation.

A l'aide de cette information, des **cartes du toit et du mur** de chaque formation aquifère ainsi que de **son épaisseur**, ont pu être **tracées** avec le maximum de précision, vu la bonne densité des points considérés et le fin découpage stratigraphique adopté.

A travers ce travail d'analyse géologique, la conceptualisation de la configuration structurale du système aquifère d'Iullemeden, a pu être menée avec plus de précision et d'harmonisation. Cette approche a beaucoup aidé les représentants des trois pays à :

- /// opter pour une conception partagée de la structure du SAI dans chaque partie du bassin ;
- /// adopter des subdivisions harmonisées pour dégager les principaux niveaux aquifères du SAI et décider en commun du nombre des couches à adapter dans le modèle ;
- /// adopter des épaisseurs de couches (aquifères ou aquicludes) en se référant à l'ensemble des données des trois pays harmonisées.

Ainsi, les données géologiques ont été à la base de l'information ayant permis de dégager le schéma conceptuel de la structure du système aquifère. C'est particulièrement l'élaboration des cartes structurales (cartes de toit, mur et épaisseur) pour les formations considérées qui a beaucoup facilité cette opération.

Les cartes d'épaisseurs constituent une donnée fondamentale pour le calage du modèle, à travers la répartition des transmissivités. A la lumière de ces cartes, les données physiques relatives à l'épaisseur de chaque couche, ont pu être mieux appréhendées et la structure du système aquifère simulée avec beaucoup de précision.

La table « géologie » comporte 690 points, mais seuls 89 ont le « **code_aquif** » (Ci ou CT) renseigné. L'identification du rattachement du point d'eau à l'un des deux aquifères du SAI est une opération accessoire dans ce cadre pour l'utilisation des données, du fait que la plupart des points dont le rattachement n'est pas fait intègrent l'information relative aux deux aquifères.

Aquifère	Nombre de points
Non renseigné	509
Ci	31
CT	58

IV.1.5. Paramètres hydrodynamiques

La table « **Hydrodynamic** » regroupe les données relatives aux caractéristiques hydrodynamiques des aquifères du SAI (transmissivités et coefficients d'emmagasinement), particulièrement les valeurs des transmissivités déduites de l'interprétation des pompages d'essai. Ces valeurs couplées à celles des épaisseurs noyées des aquifères permettent d'évaluer les **réserves globales** en eau du système aquifère. Adoptées dans le modèle hydrodynamique, elles ont servi à la restitution de l'état du système aquifère en régime d'équilibre.

L'indisponibilité des données relatives aux caractéristiques hydrodynamiques des deux aquifères au Mali et au Nigeria, à la date de janvier 2007, a fait que cette information collectée pour les besoins du modèle par la suite, n'a pu être intégrée, à temps, dans la base de données (tableau 18).

Aquifère	Pays	Admin	Nombre de points
Ci	Niger	Dosso	11
		Maradi	7
		Niamey	3
		Tahoua	24
		Zinder	3
CT	Niger	Dosso	12
		Niamey	2
		Tahoua	1

TABLEAU 18 : Répartition des points disposant d'une valeur de transmissivité

On constate qu'il n'y a pas de données concernant les paramètres hydrodynamiques pour le Mali et le Nigeria.

IV.1.6. Qualité

Les données hydro-chimiques et isotopiques ont été très utiles pour bien orienter la conceptualisation du fonctionnement hydrodynamique du SAI. Les données relatives à ces deux aspects n'ont été qu'accessoirement pris en considération lors de la collecte des données pour la base de données commune, vu que les équipes nationales n'ont pas eu le temps de s'en occuper. En fait, cet aspect n'est pas pris en considération dans l'élaboration du modèle hydrodynamique du SAI, raison pour laquelle il n'a pas pu être développé à temps dans la base de données.

La table « qualité » existant dans la BD commune du SAI ne comprend que 24 enregistrements qui se trouvent tous au Mali:

Pays	Admin	Nombre de points
Mali	Gao	24
Nigeria	Katsina	0
	Kebbi	0
	Sokoto	0
Niger	Agadez	0
	Dosso	0
	Maradi	0
	Niamey	0
	Tahoua	0
	Zinder	0

TABLEAU 19 : Répartition des points ayant des valeurs d'analyses chimiques

L'ensemble des points disposant de données de qualité se trouvent au Mali.

IV.2. Le SIG

Le système d'information géographique du SAI est un ensemble de logiciels qui permet de disposer d'une représentation cartographique des données existant dans la base de données commune. Le support de cartes numérisées nécessaires à cette représentation, a été élaboré dans le cadre du projet comme une activité à part.

Le SIG utilisé pour représenter le SAI est conçu comme une partie intégrante du Système d'information global (conçu pour des besoins très larges), en ce sens que toutes les informations descriptives des objets géographiques sont prévues dans la structure de la base de données. Le but primordial est que chaque information soit stockée à un seul endroit (non-redondance).

Le second objectif concerne les liens entre la Base de données et le modèle d'un côté, le SIG et le modèle d'un autre côté. Ces liens doivent être établis de façon automatique et transparente pour l'utilisateur. Ces liens peuvent être établis ultérieurement, après la mise en place de la base de données, mais avant l'alimentation du modèle en données spécifiques.

Le Système d'information du SAI comporte deux éléments principaux qui sont : la Base de Données et le SIG. Cet ensemble est couplé au maillage du modèle, qui est en même temps une table de la BD et une couche du SIG, permettant ainsi d'assurer le lien entre BD – modèle et SIG.

IV.2.1. Le système de projection

Afin de disposer d'un référentiel cartographique commun aux trois pays et de réaliser automatiquement le maillage du modèle hydrodynamique, qui nécessite un système de coordonnées projeté, la projection Lambert a été adoptée.

Dans la région du SAI, le Niger, qui occupe la majorité du bassin, est couvert par trois zones Lambert, comme le montre le tableau suivant :

Désignation	N° Zone		
	I	II	III
Ellipsoïde	Clarke 1880	Clarke 1880	Clarke 1880
Sphéroïde de référence	<u>International 1900</u>	<u>International 1900</u>	<u>International 1900</u>
Méridien central	8.08	8.08	8.08
Parallèle de référence (reference latitude)	22.00	18.00	14.00
Latitude Sud (Standard parallèle 1)	20.66	16.66	12.66
Latitude Nord (Standard parallèle 2)	23.33	20.33	16.33
False easting	0	0	0
False northing	0	0	0

TABLEAU 20 : Paramètres des trois zones Lambert couvrant le Niger

Les trois zones en question sont (figure 24) :

- /// le nord, latitude > 20°,
- /// le centre, latitude comprise entre 16 et 20°,
- /// le sud, latitude < 16°.

Le système de projection : paramètres, intégration dans ArcView, transformations géo-Lambert :

- /// Les couches rajoutées : agglomérations, unités administratives, le maillage
- /// La géologie : traitement sur les classes

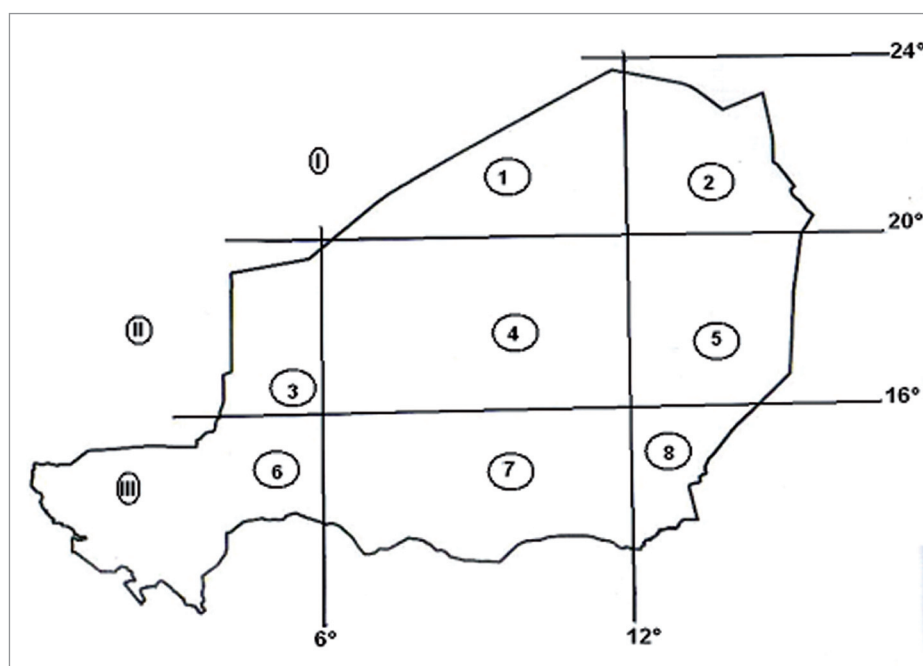


FIGURE 24 : Les trois zones Lambert du territoire du Niger

Le système commun retenu pour le SAI est celui qui correspond à la zone II dont les paramètres sont :

- /// Central méridien : 8.08
- /// Réf. Latitude : 18
- /// Parallèle 1 : 16.66
- /// Parallèle 2 : 20.33
- /// False Easting : 0
- /// False Northing : 0

Afin de faciliter le traitement de conversion des couches du géographique vers le Lambert, les paramètres ci-dessus ont été intégrés dans le fichier « Default.prj » de Arcview. L'ensemble des couches citées au chapitre 2 ont été converties en Lambert.

Afin de faciliter le traitement de conversion des couches du géographique vers le Lambert, les paramètres ci-dessus ont été intégrés dans le fichier « Default.prj » de Arcview. L'ensemble des couches citées au chapitre 2 ont été converties en Lambert.

IV.2.2. Couches rajoutées pour les besoins de l'étude

Lors de la mise au point des liens entre la base de données commune du SAI et de son SIG, les couches suivantes ont été rajoutées :

▶▶▶ LIMITES ADMINISTRATIVES

C'est une couche utilisée aussi bien dans le SIG que dans la BD : voir requêtes statistiques sur le nombre de points d'eau et les prélèvements. Elle a été extraite des données ESRI.

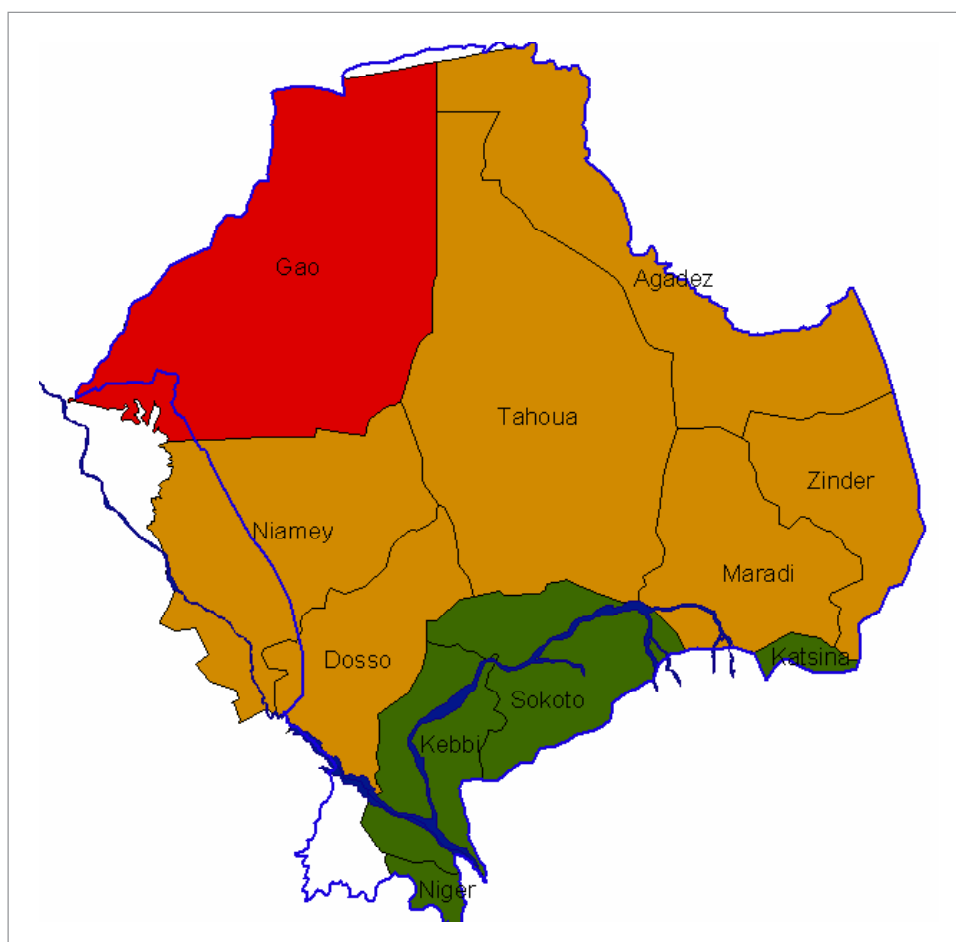


FIGURE 25 : Couches des unités administratives

▶▶▶ LE MAILLAGE

Le maillage est généré à partir de la BD par un traitement automatique (formulaire « Bd_Sig_Mo-
dele »), mais ce traitement crée la couche « maillage » dans le même système de projection que
les autres. Cette couche est nécessaire pour le modèle hydrodynamique. Elle permet d'assurer le
lien entre la BD et le modèle (figure 26).

La table attributaire de la couche « maillage » et la table « maillage » de la base de données ont
un champ commun qui est le numéro de maille. Cette table attributaire est attachée automati-
quement à la BD.

▶▶▶ LA COUCHE DES POINTS D'EAU

La couche des points d'eau n'est pas une couche figée : elle est générée automatiquement à par-
tir de la table « points » au moment de l'ouverture de l'explorateur. De ce fait, tout changement
dans les coordonnées se répercute sans intervention manuelle, sur cette couche (figure 27).

On peut, à partir du logiciel ArcView, afficher la couche des points d'eau en utilisant SQL Connect.
La procédure est la suivante :

- /// réaliser une requête au niveau de la base de données « SISAI », utilisant la table « points » avec
éventuellement une autre table en relation. Dans cette requête, doivent figurer au moins les
champs « NoClas », « Xcoord » et « Ycoord ». Sauvegarder la requête ;
- /// sous Arcview, faire « Project », « SQL connect ». Choisir le driver « MS access Database», puis
cliquer sur « connect » pour rechercher l'emplacement de « SISAI.MDB » qui doit se trouver
par défaut dans le dossier « C:\lullemeden\BD\ » ;

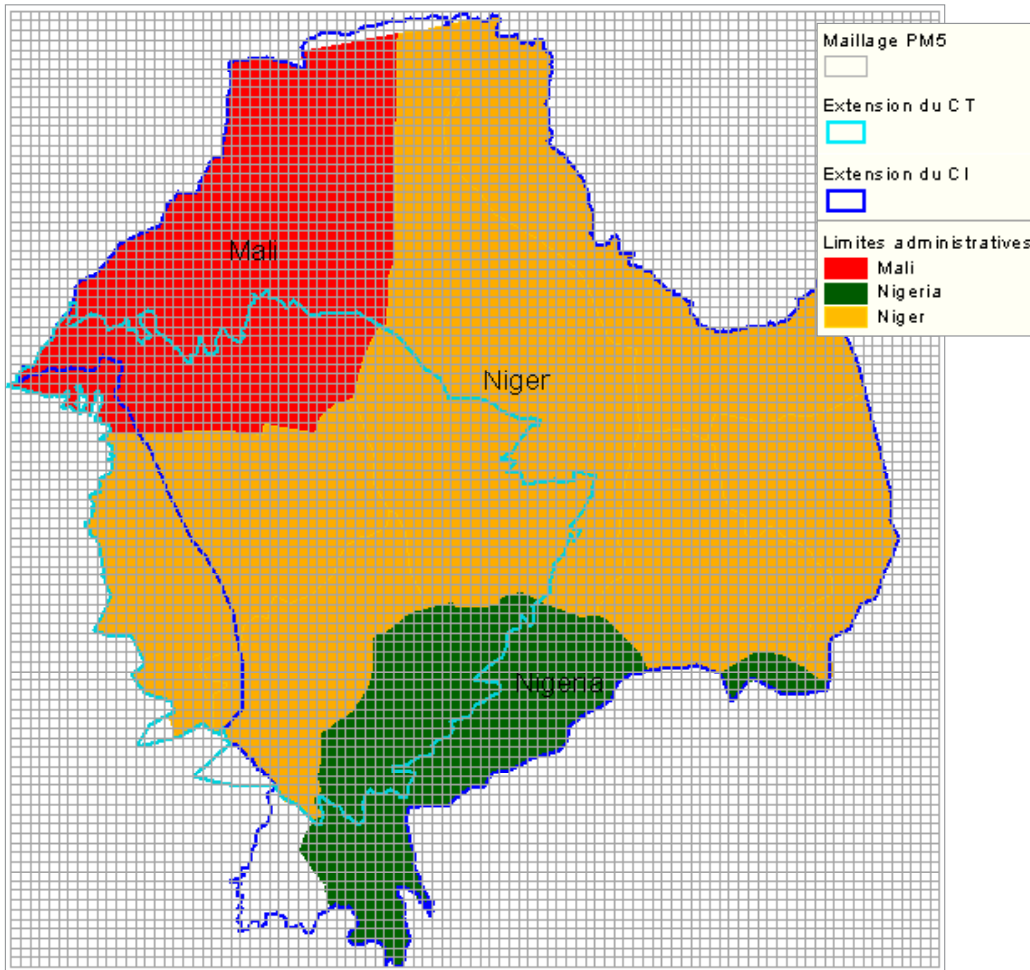


FIGURE 26 : Maillage PM5

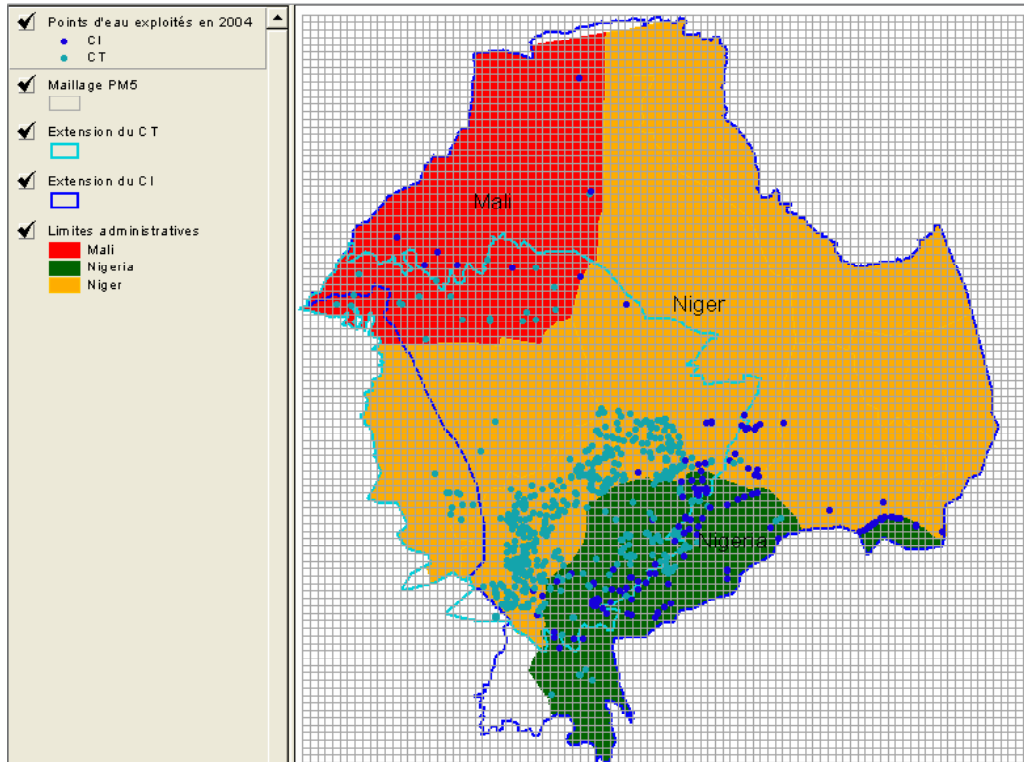


FIGURE 27 : Couche des points d'eau

- /// sélectionner la requête qui vient d'être créée et terminer en cliquant sur « Query » ;
- /// dans une vue, faire « View », « Add event theme » et fournir le nom des champs « Xcoord » et « Ycoord ».

IV.2.3. Modèle numérique de terrain (MNT) 90 mètres

Ce MNT a été constitué au mois de Septembre 2007. Il a une résolution de 90 mètres et il est issu d'un traitement sur des fichiers téléchargés gratuitement à l'adresse suivante : [ftp://e0mss21u.ecs.nasa.gov/srtm/Africa/]. Contrairement à la première version, la version 2 propose des données corrigées exploitables.

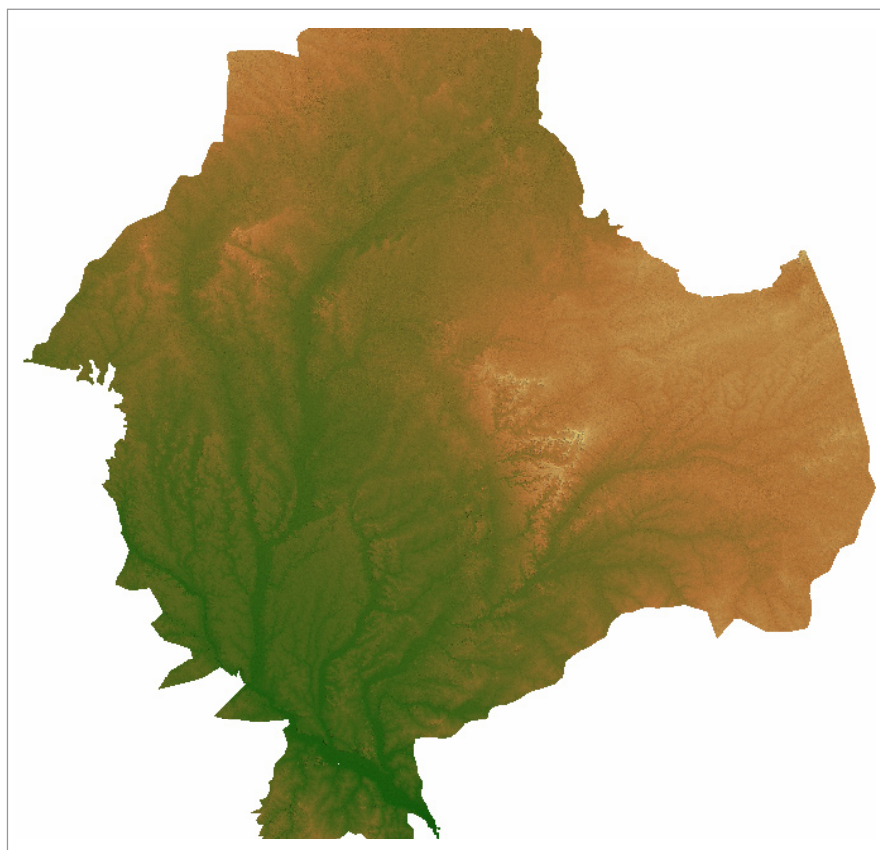


FIGURE 28 : MNT 90 mètres

Ce sont des fichiers au format SRTM qui couvrent chacun 1 degré carré dont le nom a la structure suivante : NxxExx.hgt, où xx représente la longitude et la latitude en degrés.

La zone du SAI est couverte par 60 fichiers comme le montre le tableau ci-contre :

Le traitement s'est déroulé comme suit :

- /// lecture des fichiers hgt par un programme avenue et conversion en grid ESRI ;
- /// mosaïquage de toutes les grilles (extension Grid Analyst) ;
- /// découpage par l'extension du SAI ;
- /// projection de la grille en Lambert, à l'aide de Grid Analyst.

	Nombre de fichiers
N10E02 à N10E04	03
N11E02 à N11E04	03
N12E01 à N12E08	08
N13E01 à N13E08	08
N14E01 à N14E09	09
N15E00 à N15E09	10
N16E00 à N16E08	09
N17E01 à N17E06	06
N18E02 à N18E05	04
N19E03 à N19E05	03
Total	60

V. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La mise en place de la base de données commune du SAI a permis de regrouper l'ensemble des données hydrogéologiques disponibles sur les aquifères de ce système et de les rendre homogènes et cohérentes sur les plans de :

- /// la codification ;
- /// formats ;
- /// mode de traitement.

Mais, étant donné que c'est la première fois que les contenus des différents fichiers de cette BD sont issus de sources diverses avant leur adaptation à cette structure commune, ceux-ci doivent faire l'objet d'un examen plus approfondi les valider et les rendre directement exploitables. Ce sera la tâche la plus urgente des équipes des pays, assistées dans un premier temps par l'OSS.

Le principal apport du projet, à ce niveau réside dans le fait que la base de données commune ainsi que les outils qui l'accompagnent sont en mesure de permettre des mises à jour (corrections, ajout de données nouvelles, ...) dans un format standard, partagé par les équipes des trois pays. Ceci facilitera l'actualisation périodique du réservoir commun et les échanges de données entre les différents partenaires.

Au plan des contenus, beaucoup de choses ont été faites, mais des anomalies subsistent encore :

- /// bon nombre de points d'eau sont encore sans identifiant ou sans coordonnées ;
- /// il y a de nombreux doublons qu'il faudra épurer ;
- /// pour tous les points d'eau, les prélèvements ont été estimés car l'information n'était pas disponible ;
- /// les champs non renseignés sont encore nombreux.

L'installation de la BD et du SIG au sein des trois pays, la formation des équipes sur l'exploitation, voire l'administration des outils ayant été mis au point durant le projet, sont à consolider afin de permettre cette actualisation régulière du système.

Ce qui facilitera la mise en place du système d'information qui garantira la mise à jour périodique et permettra de monter progressivement un système d'aide à la décision. Ce système doit être accompagné d'un mécanisme d'échange entre les pays et de la mise en place de la fonction d'administration des données au niveau des pays et au sein d'un organe de gestion concerté du SAI.

Les deux ateliers organisés dans le cadre du projet, au profit des spécialistes des trois pays destinés à la gestion de la BD commune, sont considérés comme une étape facilitant la prise en charge de sa gestion en même temps qu'ils constituent une implication des pays dans sa conceptualisation et la sélection de son contenu. Ces ateliers ont également servi pour l'accommodation de ces équipes au SIG, en même temps que progressait l'élaboration du modèle hydrodynamique.

L'implémentation de cette base de données par la nouvelle information que les équipes nationales continuent à collecter, dans la perspective d'actualiser les historiques, est envisagée jusqu'à la fin du projet (Mars 2008). L'installation de cette base de données dans les pays est l'étape ultime qui doit couronner cette activité de mise en place du SISAI.

Cette base de données est conçue suivant un schéma évolutif et extensible afin d'assurer sa pérennité pour la gestion des données relatives aux ressources en eau du SAI. Si à cette étape, l'information qui y est stockée est principalement orientée vers l'aspect hydrogéologique, il y a lieu de ne pas perdre de vue la nécessité de :

- /// compléter les données saisies, spécifiques à l'hydrogéologie du SAI par le complément de données récemment collectées et permettant l'actualisation des historiques ;
- /// compléter les données hydrogéologiques par les autres données hydrologiques, climatologiques et hydro-agricoles permettant de mieux consolider les résultats du modèle hydrodynamique et le rendre apte à effectuer des simulations prévisionnelles (à moyen et long termes) et pour assurer la gestion des ressources en eau du SAI ;
- /// étoffer la structure et le contenu de cette base de données par les aspects qui lui permettent de devenir un outil de suivi de l'état des ressources en eau du SAI dans le cadre d'une structure de concertation entre les trois pays pour la planification optimisée des ressources en eau du bassin, minimisant les risques hydrogéologiques et garantissant le développement.

Pour ceci, il est indiqué de responsabiliser davantage les spécialistes des pays pour s'approprier cette BD commune ainsi que le SISAI. Cette appropriation ne peut se réaliser sans un complément de formation des techniciens désignés à cette tâche et un renforcement des capacités en informatique des structures concernées.

Dans son état actuel, cette base de données contient une information précieuse qui n'avait pu être rassemblée auparavant. Cette information exige encore des traitements spécifiques pour la validation, le traitement et la génération d'autres résultats. Cet effort est en premier lieu du ressort des équipes nationales, mais peut servir également à d'autres applications menées par l'OSS dans le cadre du suivi des ressources en eau de ses pays membres. De même que l'approche méthodologique développée par l'équipe du projet pour la validation des données et leur harmonisation peut servir d'exemple pour le développement d'activités similaires sur d'autres systèmes aquifères.

BIBLIOGRAPHIE

FAO (1970). Etudes en vue de la mise en valeur du Dallol Maouri, Niger : les eaux souterraines. Rome, Italie - 162p. ; cart., graph.. PROJET FAO/SF: 281/NIR 8, 1970.

GREIGERT J. (1978). Atlas des eaux souterraines de la République du Niger. Etat des connaissances. Rapport BRGM, 79 AGE001. Orléans, France.

JICA (1990) ET (1991). The Study Groudwater Development in Sokoto State.

OSS, MAÏGA S. & BOUARÉ D., (2006). Collecte des données hydrogéologiques du Système aquifère d'Iullemeden dans la partie malienne. Tableaux annexes.

OSS, MOUMOUNI MOUSSA A. & RABÉ S., (JANVIER 2007). Collecte des données hydrogéologiques du Système aquifère d'Iullemeden dans la partie nigérienne. 12 p. et tableaux annexes.

OSS (2003). Rapport Base de données du projet Système aquifère du Sahara septentrional (SASS). OSS, Tunis.

OSS (2004). Rapport de l'atelier sur l'élaboration d'une base de données commune aux trois pays (Mali, Niger, Nigeria) ; Tunis, du 26 au 30 avril 2004 à l'OSS.

OSS-AIEA (2005). Rapport de l'atelier de formation sur l'élaboration de la base de données du SAI ; Niamey, du 26 avril au 6 mai 2005 au Centre régional AGRHYMET (CRA).

OSS (2006). Deuxième session de renforcement des capacités des représentants des pays en modélisation mathématique. Système aquifère d'Iullemeden (SAI). Atelier ; OSS-Tunis, novembre-décembre 2006, 16 p.

ANNEXE : Structure détaillée des tables de la BD

Base de données : C:\lullemeden\BD\SAI_DATA.mdb

TABLE : ADMIN (UNITÉS ADMINISTRATIVES)

Propriétés

Date de création: 05/03/2007 09:41:49 Dernier mis à jour: 05/03/2007 12:39:24
GUID: Donnée binaire NameMap: Donnée binaire
Orientation: 0 RecordCount: 10
TriActif: Faux Updatable: Vrai

Colonnes

Nom	Type	Description	Taille
Code_Pays	Texte	Code pays (Ma = Mali, Ni = Niger, Ng = Nigéria)	2
Nom_Admin	Texte	Nom complet du pays	20

TABLE: AGGLOMERATIONS (AGGLOMÉRATIONS PRINCIPALES)

Propriétés

Date de création: 05/03/2007 09:42:01 Dernier mis à jour: 03/04/2007 20:35:07
NameMap: Donnée binaire Orientation: 0
RecordCount: 249 TriActif: Faux
Updatable: Vrai

Colonnes

Nom	Type	Description	Taille
AGGLOM_ID	Réel double	Identifiant de l'agglomération	8
NOM	Texte	Nom de l'agglomération	30
CODE_ADMIN	Texte	Code de l'unité administrative où se situe l'agglomération	30

TABLE: ALIMENT (VALEURS D'ALIMENTATION PAR MAILLE)

Propriétés

Date de création: 06/03/2007 16:17:20 Dernier mis à jour: 06/03/2007 16:17:23
GUID: Donnée binaire NameMap: Donnée binaire
RecordCount: 9 TriActif: Vrai
Updatable: Vrai

Nom	Type	Description	Taille
NOCLAS	Texte	Numéro d'identification (similaire à celui des points d'eau)	22
couche	Texte	Numéro de couche PM5	1
aquif	Texte	Nom de l'aquifère	30
X	Réel double	X du centre de la maille	8
Y	Réel double	Y du centre de la maille	8
Alim	Réel double	Valeur de l'alimentation en l/s	8
MAILLE	Texte	Identifiant de la maille	10
NOM	Texte	Nom du point d'alimentation	100

TABLE: AQUIFERE (LISTE DES AQUIFÈRES DU SAI)

Propriétés

Date de création:	05/03/2007 10:01:25	Dernier mis à jour:	05/03/2007 10:20:58
GUID:	Donnée binaire	NameMap:	Donnée binaire
Orientation:	0	RecordCount:	2
TriActif:	Faux	Updatable:	Vrai

Colonnes

Nom	Type	Description	Taille
Code_Aquif	Texte	Code aquifère (CT = Complexe terminal, Ci = continental intercalaire)	2
Nom	Texte	Nom de l'aquifère	30
Couche_modele	Texte	Numéro de couche dans PM5	1
Shape_file	Texte	Nom du fichier Shp correspondant	30



TABLE: ETATS (LISTE DES ÉTATS QUE PEUT PRENDRE UN POINT D'EAU)

Propriétés

Date de création:	06/03/2007 10:01:59	Dernier mis à jour:	06/03/2007 10:02:24
GUID:	Donnée binaire	NameMap:	Donnée binaire
Orientation:	0	RecordCount:	4
TriActif:	Faux	Updatable:	Vrai

Colonnes

Nom	Type	Description	Taille
Code_Etat	Texte	Code état d'un point d'eau	2
Description	Texte	Libellé de l'état	30

TABLE: EXPLOITATION (HISTORIQUE DES PRÉLÈVEMENTS ANNUELS)

Propriétés

Date de création:	06/03/2007 08:48:04	Dernier mis à jour:	27/03/2007 22:47:24
-------------------	---------------------	---------------------	---------------------

GUID: Donnée binaire NameMap: Donnée binaire
 Orientation: 0 RecordCount: 20242
 TriActif: Faux Updatable: Vrai

Colonnes

Nom	Type	Description	Taille
Noclas	Texte	Numéro d'identification du point d'eau	22
Annee	Entier	Année de mesure	2
Prelevement	Réel simple	Valeur du prélèvement en m ³	4
Origine	Texte	Source de l'information	50
Date_Maj	Date/Heure	Date de mise à jour de l'enregistrement	8

TABLE: GEOLOGIE (DESCRIPTION GÉOLOGIQUE DES POINTS D'EAU)

Propriétés

AffichParDéfaut: Feuille de données Date de création: 07/10/2006 09:42:00
 Dernier mis à jour: 03/04/2007 21:54:22 GUID: Donnée binaire
 NameMap: Donnée binaire Orientation: 0
 RecordCount: 598 TriActif: Faux
 Updatable: Vrai

Colonnes

Nom	Type	Description	Taille
NoClas	Texte	Numéro d'identification du point d'eau	22
Quat	Réel double	Altitude en mètres du Quaternaire	8
Plioc	Réel double	Altitude en mètres du Pliocène	8
Mioc	Réel double	Altitude en mètres du Miocène	8
Olig	Réel double	Altitude en mètres de l'Oligocène	8
Eoc	Réel double	Altitude en mètres de l'Eocène	8
Pal	Réel double	Altitude en mètres du Paléocène	8
Sen	Réel double	Altitude en mètres du Sénonien	8
Tur	Réel double	Altitude en mètres du Turonien	8
Cen	Réel double	Altitude en mètres du Cénomaniens	8
Ci	Réel double	Altitude en mètres du Ci	8
Jur	Réel double	Altitude en mètres du Jurassique	8
Trias	Réel double	Altitude en mètres du Trias	8
Palz	Réel double	Altitude en mètres du Paléozoïque	8
TD	Réel double	Profondeur totale en mètres	8
Date_Maj	Date/Heure	Date de mise à jour de l'enregistrement	8

TABLE: HYDRODYNAMIC (PARAMÈTRES HYDRODYNAMIQUES)

Propriétés

AffichParDéfaut: Feuille de données Date de création: 19/07/2006 11:06:02
 Dernier mis à jour: 08/03/2007 16:07:15 GUID: Donnée binaire

NameMap: Donnée binaire Orientation: 0
 RecordCount: 98 TriActif: Faux
 Updatable: Vrai

Colonnes

Nom	Type	Description	Taille
Noclas	Texte	Numéro d'identification du point d'eau	14
Date_mesure	Date/Heure	Date de l'essai de pompage	8
Duree	Octet	Durée de l'essai en heures	1
NS	Réel simple	Niveau statique en mètres	4
Debit	Réel simple	Débit de l'essai en l/s	4
Rabattement	Réel simple	Rabattement en mètres	4
Méthod_interp	Octet	Méthode d'interprétation de l'essai	1
Type_essai	Octet	Type d'essai	1
Transmis	Réel double	Transmissivité m/s ²	8
Permeab	Réel double	perméabilité	8
Coeff_emmag	Réel double	Coefficient d'emmagasinement	8
Source	Texte	Origine des informations	50
Fichier	Texte	Nom du fichier ayant servi à l'importation des données	50
date_maj	Date/Heure	Date de mise à jour de l'enregistrement	8
Observations	Texte	Observations (commentaires)	50

TABLE: MAILLAGE (MAILLES DU MODÈLE)

Propriétés

Date de création: 06/03/2007 15:38:32 Dernier mis à jour: 06/03/2007 15:58:16
 GUID: Donnée binaire NameMap: Donnée binaire
 Orientation: 0 RecordCount: 9700
 TriActif: Faux Updatable: Vrai

Colonnes

Nom	Type	Description	Taille
MAILLE	Texte	Numéro de maille	10
NUM_PM5	Texte	Numéro PM5 correspondant (ligne - colonne)	16

TABLE: OBJETS_OUVRAGE

Propriétés

Date de création: 02/03/2007 16:30:05 Dernier mis à jour: 05/03/2007 12:24:33
 NameMap: Donnée binaire Orientation: 0
 RecordCount: 5 TriActif: Faux
 Updatable: Vrai

Colonnes

Nom	Type	Description	Taille
Code_Obj	Octet		1
Description	Texte		30

TABLE: PAYS

Propriétés

Date de création:	02/03/2007 12:23:48	Dernier mis à jour:	05/03/2007 18:16:59
GUID:	Donnée binaire	NameMap:	Donnée binaire
Orientation:	0	RecordCount:	3
TriActif:	Faux	Updatable:	Vrai

Colonnes

Nom	Type	Description	Taille
Code_Pays	Texte		2
Nom	Texte		255

TABLE: PIEZOMETRIE (HISTORIQUE DES NIVEAUX)

Propriétés

AffichParDéfaut:	Feuille de données	Date de création:	08/10/2006 16:06:22
Dernier mis à jour:	06/03/2007 15:23:42	GUID:	Donnée binaire
NameMap:	Donnée binaire	Orientation:	0
RecordCount:	611	TriActif:	Faux
Updatable:	Vrai		

Colonnes

Nom	Type	Description	Taille
NoClas	Texte	Numéro d'identification du point d'eau	22
Date	Entier	Date de la mesure	2
NS	Entier long	Niveau statique en mètres	4
NP	Entier long	Niveau piézométrique	4
Observations	Texte	commentaires	50
Source	Texte	Origine de l'information	50
Fichier	Texte	Nom du fichier d'où sont importées les données	50
Date_maj	Date/Heure	Date de mise à jour de l'enregistrement	8

TABLE: QUALITE

Propriétés

Date de création:	03/03/2007 17:40:12	Dernier mis à jour:	08/03/2007 14:27:19
GUID:	Donnée binaire	NameMap:	Donnée binaire
Orientation:	0	RecordCount:	24
TriActif:	Faux	Updatable:	Vrai

Colonnes

Nom	Type	Description	Taille
Noclas	Texte	Numéro d'identification du point d'eau	22
Date_mes	Date/Heure	Date de la mesure	8

Ph	Réel simple		4
EC	Réel simple		4
TEMP	Réel simple		4
Ca2+	Réel simple		4
Mg2+	Réel simple		4
K+	Réel simple		4
Fe2+	Réel simple		4
Mn	Réel simple		4
Na+	Réel simple		4
HCO32-	Réel simple		4
CO32-	Réel simple		4
Cl-	Réel simple		4
NO3-	Réel simple		4
SO42-	Réel simple		4
d18O	Réel simple		4
d2H	Réel simple		4
d3HTU	Réel simple		4
14C	Réel simple		4
13C	Réel simple		4
Nom_Fichier_Source	Texte	Nom du fichier d'où les données sont importées	50

TABLE: POINTS (CARACTÉRISTIQUES DES POINTS D'EAU)

Propriétés

AffichParDéfaut:	Feuille de données	Date de création:	11/07/2005 12:28:36
Dernier mis à jour:	03/04/2007 21:25:28	GUID:	Donnée binaire
NameMap:	Donnée binaire	Orientation:	0
RecordCount:	17171	TriActif:	Vrai
Updatable:	Vrai		

Colonnes

Nom	Type	Description	Taille
Noclas	Texte	Numéro d'identification du point d'eau	22
Nom	Texte	Nom du point d'eau	50
Indice_Village	Texte	Village [concerne les points d'eau maliens]	7
Localite	Texte	Nom de la localité où se situe le point d'eau	50
Code_Type	Octet	Type de point	1
Artesien	Oui/Non	Artésien (ui ou non)	1
Equipe	Oui/Non	Equipé (oui ou non)	1
Code_Aquif	Texte	Code de l'aquifère capté (voir table « aquifere »)	2
Nom_Admin	Texte	Unité administrative	20
Long	Texte	longitude	20
Lat	Texte	latitude	20
Long_dec	Réel simple	Longitude en degrés décimaux	4
Lat_dec	Réel simple	Latitude en degrés décimaux	4
Xcoord	Réel simple	X lambert	4
Ycoord	Réel simple	Y lambert	4

Alt	Réel simple	Altitude	4
Nom_Formation_Geol	Texte	Nom de la formation captée	50
Code_Usage	Octet	Code usage du point d'eau (table "usages")	1
Prof_foree	Réel simple	Profondeur forée en m	4
Prof_equipée	Réel simple	Profondeur équipée	4
QEX	Réel simple	Débit d'exploitation à la réalisation	4
NS	Réel simple	Niveau statique à la réalisation	4
GPH	Texte		1
Date_debut	Date/Heure	Date début des travaux	8
Date_fin	Date/Heure	Date fin des travaux	8
Annee_sce	Entier	Année de mise en service	2
Code_Objet	Octet	Code objet du point d'eau (objectif)	1
Code_Etat	Entier long	Code état du point d'eau (table « etats »)	4
Observations	Texte	commentaires	60
Source_Info	Texte	Origine des informations	50
Nom_Fichier_Origine	Texte	Nom du fichier origine	50
Date_maj	Date/Heure	Date de mise à jour de l'enregistrement	8
Maille	Texte	Numéro de maille	10

TABLE: TYPES_OUVRAGE (LISTE DES TYPES D'OUVRAGE)

Propriétés

Date de création: 02/03/2007 11:52:48 Dernier mis à jour: 05/03/2007 12:22:16
 GUID: Donnée binaire NameMap: Donnée binaire
 Orientation: 0 RecordCount: 6
 TriActif: Faux Updatable: Vrai

Colonnes

Nom	Type	Description	Taille
Code_Type	Octet	Code type ouvrage	1
Description	Texte	Libellé type	30

TABLE: USAGES (LISTE DES USAGES QUE PEUT AVOIR UN POINT D'EAU)

Propriétés

Date de création: 02/03/2007 12:18:34 Dernier mis à jour: 05/03/2007 12:22:34
 GUID: Donnée binaire NameMap: Donnée binaire
 Orientation: 0 RecordCount: 6
 TriActif: Faux Updatable: Vrai

Colonnes

Nom	Type	Description	Taille
Code_Usage	Octet	Code usage	1
Lib_Usage	Texte	Libellé usage	30
Categorie	Texte	Catégorie (AEP, IRR, ...)	3

Systeme Aquifere d'Iullemeden

Tome II – Base de donnees commune

La mise en place de la Base de donnees (BD) du SAI a permis de rassembler et de rendre homogene l'ensemble des informations disponibles a ce jour sur ce bassin dans une structure relationnelle coherente. Sans une telle architecture ouverte, il aurait ete difficile d'imaginer que se realisent tous les traitements, requetes et cartes thematiques que ce projet a pu produire.

Le systeme developpe au cours de l'execution du projet, qui s'articule autour des liaisons BD-SIG-Modele, a ete d'une grande utilite et constitue pour les pays une base de depart pour le developpement d'outils de gestion efficaces. Ce systeme est d'autant plus performant qu'il permet de gagner un temps considerable en comparaison avec le temps que necessitait, il y a juste quelques annees, l'actualisation d'un modele apres un changement de maillage, l'integration de donnees nouvelles ou l'incorporation d'un nouveau scenario de prelevement.

Sur le plan des contenus des BD, des avancees considerables ont ete faites, mais des anomalies et lacunes subsistent qu'il convient de corriger avec les equipes nationales.

Afin de se hisser a un niveau de fiabilite eleve et pour que les donnees ne soient plus entachees de doute, il est necessaire de travailler davantage sur les donnees collectees et de definir des procedures claires pour le recueil de donnees nouvelles.

La premiere tache ne pourra etre realisee que par les pays eux-memes en utilisant les outils et moyens mis a leur disposition par le projet. Quant aux mises a jour ulterieurs, elles ne seront fiables que si les procedes de collecte, de codification et de controle sont realises au niveau local. Une decentralisation des moyens de gestion et de traitement devra etre prevue et encouragee pour faciliter les mises a jour ulterieurs et regulieres des donnees ●

- Tome I : Analyse diagnostique transfrontaliere
- Tome II : Base de donnees commune
- Tome III : Modele hydrologique
- Tome IV : Gestion participative des risques transfrontaliers
- Tome V : Suivi-evaluation des aquiferes transfrontaliers

Partenaires



Edite
avec le soutien financier de



giz



Observatoire du Sahara et du Sahel

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