



Modélisation du SAI Rapport du 2^e atelier

n°

Tunis, le 11 décembre 2006

Rédigé par :

M. Baba Sy, A. Mamou, A. Dodo

Destinataires :

1. Secrétariat exécutif de l'OSS
2. Pays.

Objet : Session de Renforcement des capacités des représentants des pays en modélisation mathématique du Système Aquifère d'Iullemeden (SAI)

Dates : du 29 novembre au 08 décembre 2006

Lieu : Siège de l'OSS, Tunis

P. Jointes :

1. Liste des participants ;
2. Programme de la session de formation ;
3. Le guide pour l'approfondissement de l'Analyse Diagnostique Transfrontalière ;
4. Recommandations formulées par les représentants des pays.

1. CADRE

La modélisation mathématique du Système Aquifère d'Iullemeden est une réponse à la première recommandation issue de la réunion du comité de pilotage du projet qui stipule que l'Analyse Diagnostique Transfrontalière soit approfondie par la quantification des risques hydrogéologiques transfrontaliers identifiés d'un point de vue qualitatif.

La présente session de formation en modélisation mathématique, la seconde et dernière après celle organisée en avril 2006 au siège de l'OSS par l'équipe de l'OSS affectée au projet, constitue une étape fondamentale du processus. Il s'agit en effet, d'élaborer le modèle mathématique du Système Aquifère d'Iullemeden en régime permanent d'abord puis en régime transitoire, sur la base d'une série de deux travaux réalisés simultanément : 1) la collecte et la saisie des données par les équipes nationales puis leur transmission progressive à l'OSS ; 2) le traitement des données reçues, leur harmonisation et leur intégration dans la base de données commune, et la préparation des données nécessaires à la tenue de la seconde session de formation du 29 novembre au 08 décembre 2006, au siège de l'OSS.

2. OBJECTIF

L'objectif de cette formation est d'améliorer les capacités des équipes nationales dans le domaine de la modélisation des systèmes aquifères et d'élaborer un modèle du Système Aquifère de l'Iullemeden (SAI) ou, tout au moins poser les bases nécessaires pour y parvenir. Pour ce faire, le logiciel utilisé est le PMWIN (Processing Modflow for Windows (PM5), W.H Chiang & W.Kinzelbach, ETH - Zurich –Suisse). Il s'agit de familiariser les équipes nationales à l'utilisation du logiciel. Le choix de cet outil est dicté par: sa

disponibilité, sa convivialité et son aptitude à reproduire fidèlement les phénomènes hydrogéologiques. Il est utile de rappeler qu'en prélude au projet SAI, un atelier en modélisation mathématique et sur la recharge des aquifères a été organisé en février 2000 à Niamey, à l'attention des équipes nationales, par l'ETH et l'Université Abdou Moumouni de Niamey. Certains participants du présent atelier y ont pris part.

Cette formation est conçue comme approche pratique permettant :

- de collecter, d'analyser et de critiquer l'information climatique, hydrologique et hydrogéologique nécessaire à la gestion des ressources en eau du SAI,
- d'harmoniser l'information disponible en vue de la partager par les trois pays au moyen d'outils commun (BD, SIG et modèle) et d'en faire la référence partagée pour l'évaluation et le suivi des ressources en eau des aquifères partagés,
- de dégager les risques hydrogéologiques qui menacent les ressources en eau du SAI.

3. PARTICIPANTS

Comme lors de la première session de formation en modélisation du SAI, deux représentants de chaque pays (les mêmes qu'en avril) ont pris part à cette session qui s'adresse aux cadres administratifs qui, de par leurs attributions, sont sollicités pour assurer la gestion des aquifères sur le double plan qualitatif et quantitatif. Cette session a été aminée par A. Dodo, A. Mamou et M. Baba Sy de l'OSS.

La liste des participants est portée en Annexe 1.

4. DÉROULEMENT DE LA SESSION DE FORMATION

Les travaux de la session ont démarré par un rappel de la problématique relative à la quantification des ressources en eau du Système Aquifère d'Iullemeden et l'intérêt de disposer d'un modèle de simulation du fonctionnement du SAI. La suite de l'atelier s'est déroulée selon les étapes ci-après définies et ce, conformément au programme de formation joint en annexe 2 :

- analyse de la problématique et des objectifs du projet SAI sous l'angle de la maîtrise des connaissances relatives à l'évaluation des ressources exploitables et des risques éventuels de leur dégradation,
- passage en revue des activités réalisées depuis l'atelier d'avril dans le cadre de la collecte de l'information nécessaire et son traitement pour l'adapter à la modélisation,
- analyse et mise en forme des données complémentaires présentées par les pays,
- élaboration du modèle hydrodynamique du SAI conformément aux hypothèses arrêtées d'un commun accord entre les experts des pays.

Comme il a été souligné dans le rapport de l'atelier d'avril, la quantification des risques hydrogéologiques transfrontaliers du SAI fait partie de la première des cinq (5) recommandations formulées au cours de la réunion du comité de pilotage du SAI tenue à Abuja les 25 et 26 février 2006. L'évaluation exhaustive de ces risques ne pouvant être réalisée dans le cadre du projet sur la base d'une observation de terrain durant plusieurs années, sera abordée par modélisation prévisionnelle en ayant recours à un modèle qui simule de manière acceptable le comportement hydraulique du système aquifère en question.

Sur la base de cette évaluation, il devient plus aisé d'orienter les travaux de suivi sur terrain ainsi que la gestion de ces risques. Comme la manière d'atténuer ces risques contribue à l'atteinte de l'objectif global du projet SAI, elle ne saurait être réalisée par la seule activité de l'Analyse Diagnostique Transfrontalière (ADT) limitée aux travaux des consultants et des

réunions périodiques de réflexion des comités nationaux de coordination et de suivi des activités du projet.

En effet, les résultats jusque-là issus de l'Analyse Diagnostique Transfrontalière réalisée par les équipes nationales, ont été synthétisés sous la forme d'un tableau pour dégager une liste de risques hydrogéologiques transfrontaliers ; cependant, l'appréciation du degré de chaque risque est qualitative (fort, moyen et faible). Leur quantification permet d'apprécier rationnellement, l'extension des zones à risques et éventuellement, les tendances de leur évolution en fonction des impacts des prélèvements jusqu'ici opérés sur les ressources en eau du Système. Le résultat global de la modélisation enrichira l'approfondissement de l'Analyse Diagnostique Transfrontalière qui se déroulera à dans chaque pays selon un canevas préparé pour la circonstance par l'OSS (annexe 3).

Il est utile de rappeler que la modélisation mathématique opérationnelle, telle conçue et réalisée à cette fin dans le cadre du SASS, est une méthode appropriée pouvant être dupliquée et adaptée pour quantifier ces risques dans le cadre du SAI et de proposer des éléments d'aide à la décision pour le développement des ressources en eau du SAI. Cette méthode est fondée sur le processus de la modélisation mathématique ci-après brièvement rappelé.

4.1. Processus de la modélisation hydrodynamique en Hydrogéologie

La modélisation hydrodynamique du fonctionnement hydrogéologique des systèmes aquifères est un processus qui est mené en plusieurs étapes, et pour lequel certaines décisions sont prises en vue d'arriver à simuler à travers le fonctionnement du modèle mathématique, le comportement physique du système aquifère. Ces différentes étapes de la modélisation; sont principalement:

- la conception du fonctionnement hydrodynamique du système aquifère comme entité naturelle soumise à des impacts externes à travers les échanges d'eau (entrées et sorties) avec son milieu naturel et les transformations qui se produisent au sein du système aquifère.
- la construction du modèle mathématique reproduisant le fonctionnement physique des aquifères et capable de simuler des situations prévisionnelles,
- la préparation des données nécessaires, leurs traitements, leur analyse et leur mise en forme en vue de les adapter pour le fonctionnement du modèle,
- l'introduction des données nécessaires pour le fonctionnement du modèle afin d'assurer la similitude de son fonctionnement avec la réalité physique du système aquifère (calage du modèle).
- l'analyse et la validation des différents résultats obtenus, ses sorties (résultats du modèle).

La mise en œuvre de la modélisation a été réalisée à l'aide du logiciel PM5 (Processing MODFLOW version 5) ci-après introduit succinctement.

Le logiciel utilisé : PM5 (Processing MODFLOW version 5).

Le logiciel MODFLOW est d'un usage bien courant pour la modélisation des systèmes aquifères souterrains. Sa version PM5 a été testée par l'OSS pour la simulation des aquifères du SASS et elle s'est révélée d'un usage commode et convivial. Comme l'OSS dispose d'une autorisation pour l'utilisation de cette version de l'ETH de Zürich qui l'a produite, son utilisation pour la simulation des aquifères du SAI semble indiquée. Les participants à cet atelier ont pu disposer de cet outil depuis l'atelier d'avril 2006. Les fonctionnalités de cet outil et ses avantages par rapport à d'autres outils de modélisation, ayant guidé à son choix, ont été vérifiés lors des différentes étapes de construction du modèle.

4.2. Présentation des activités réalisées depuis l'atelier d'avril 2006

Il a été procédé à la présentation des activités réalisées, sur la base des données collectées pendant et après l'atelier d'avril. Il s'agit de :

- la présentation et l'interprétation de la structure du Système Aquifère d'Iullemeden, en ayant recours à l'élaboration de corrélations géologiques basées sur les données des sondages, des cartes géologiques et des prospections géophysiques ;
- l'adoption des limites d'extension latérale des deux couches du Continental intercalaire (CI) et du Continental Terminal (CT) ainsi que de leurs épontes (limite inférieure) et des aires de recharge (limite supérieure),
- la discussion du choix de l'état de référence pour le calage du modèle,
- l'analyse des données piézométriques en vue de l'élaboration de la carte de la piézométrie initiale du CI et du CT,
- discussions et de l'adoption d'un état des valeurs des paramètres hydrodynamiques pour chacun des deux aquifères,
- la discussion sur des prélèvements en eau opérés sur les aquifères du SAI depuis la date de référence.

Les discussions relatives à chacun de ces aspects et l'adoption d'un état commun constitué des données rassemblées dans les trois pays, ont convaincu les participants à accorder les lettres de noblesse à l'importance de la structuration des données minimales nécessaires à la réalisation d'un modèle qui traduit fidèlement le comportement du système aquifère et le degré de leur précision souhaité.

L'aspect relatif à la configuration structurale du système avec ce que ceci exige comme données géologiques et valeurs de paramètres hydrodynamiques (résultants des pompages d'essai), a encore permis aux participants de toucher de près la nécessité d'une approche basée sur l'utilisation de l'information géo-référencée. D'où la nécessité de cartes numérisées du bassin et de base de données aidant à assurer l'harmonisation de l'information traitée.

Les ouvrages qui captent un aquifère ont été considérés, en termes de suivi de la variation du niveau d'eau, pour dresser la carte piézométrique cohérente reflétant le comportement de cet aquifère du système.

La prise en compte des ouvrages d'exploitation propres à chaque aquifère et ce, sur la base de l'historique des prélèvements, a encore convaincu les représentants des pays de la nécessité d'enrichir les bases de données nationales par les statistiques des prélèvements qui relèvent, en général, du patrimoine des Agences nationales de distribution de l'eau potable et la société civile. Les participants avaient déjà, en avril 2006, tiré la conclusion commune selon laquelle l'élargissement de la coopération aux agences et leurs Ministères concernés, est indispensable pour actualiser l'état des connaissances sur le potentiel hydraulique dont les chiffres estimatifs avancés dans les documents nationaux de référence nécessitent une mise à jour rationnelle.

Dans le cas du SAI, l'absence d'un suivi continu de l'exploitation de chaque aquifère par les services étatiques a rendu difficile l'estimation des volumes d'eau prélevés. Cette lacune a été palliée par l'adoption des estimations basées sur des évaluations indirectes qui se réfèrent aux besoins de la population humaine fondée sur l'évolution des recensements généraux, des besoins en eau du cheptel ainsi que ceux des périmètres irrigués en fonction respectivement du nombre de points d'eau et des superficies cultivées.

4.3. Modélisation du Système Aquifère d'Iullemeden

4.3.1. Discrétisation des couches du modèle

Compte tenu de l'état des connaissances limité sur l'évolution hydrogéologique du SAI, sa modélisation a été conçue, comme il a été convenu lors de l'atelier d'avril 2006, en deux phases :

- **Phase 1** : un **modèle global** bi-couche (Continental intercalaire et Continental Terminal) dont la continuité est assurée à travers les trois pays. Ce modèle servira de base pour l'établissement du bilan hydrodynamique du système et des inter-influences ou échanges de part et d'autre des frontières. Dans la mesure où des besoins l'imposent, et que les données deviennent plus denses spatialement et dans le temps, il sera la référence pour les modèles locaux.
- **Phase 2** : des sous-modèles multi-couches locaux pour considérer les spécificités de chaque pays. Ainsi, le Continental Terminal peut être décomposé au Niger, en deux ou trois niveaux (CT₁, CT₂ et CT₃). Les aquifères secondaires du Crétacé supérieur, ayant une certaine importance locale, peuvent être ultérieurement, pris en compte au Mali, au Niger et au Nigeria.

Cependant, dans le cas du bassin du Sokoto, le Nigeria a suggéré une option intermédiaire qui permet de représenter les trois aquifères: Gundumi, Rima, Gwandu. Cette option est prise en considération pour être testée par le modèle.

Une étape importante dans l'élaboration du modèle mathématique a été réalisée lors de cet atelier. En effet, outre les données préparées par l'équipe de l'OSS en prélude au présent atelier, des données supplémentaires sur la géologie, la piézométrie, les caractéristiques hydrodynamiques et l'exploitation des aquifères, ont été recueillies à partir des documents rapportés par les pays et intégrées dans la base de données élaborée par l'OSS.

La géologie structurale du SAI fut bien discutée et analysée sur la base de corrélations établies selon des directions préférentielles à l'aide du logiciel Rockworks qui a largement contribué à l'analyse des données géologiques.

L'utilisation du logiciel Rockworks pour l'analyse de la structure géologique du SAI et le collationnement des données des sondages, a permis de visualiser la répartition bidimensionnelle (plan, coupes transversales) des forages dans le SAI et d'assurer une excellente représentation des données disponibles. Plusieurs coupes ont ainsi été élaborées dans des directions préférentielles (nord-sud, est-ouest) et ont permis à travers leur interprétation, d'approcher le modèle de remplissage du bassin et de bien préciser les conditions aux limites.

Par cette méthode, les représentants des pays ont pu apprécier la masse de données dont dispose le projet pour la caractérisation de la géométrie de l'aquifère et pour l'identification des zones qui nécessitent la recherche de données complémentaires issues de sondages afin de formuler les hypothèses relatives à la structure et aux conditions aux limites.

La configuration simplifiée retenue du SAI est celle d'un système aquifère bi-couche: 1) le Continental intercalaire (groupant le niveau supérieur du Crétacé inférieur Ci₃ et le Continental Hamadien) ; et 2) le Continental Terminal (groupant les formations aquifères du Tertiaire, CT₁, CT₂ et CT₃) qui intègre également le Quaternaire (nappe phréatique des alluvions). Cette simplification est dictée par l'insuffisance des informations pertinentes, reconnue par tous, sur les discontinuités latérales des aquifères majeurs et ceux secondaires limités parfois à un ou deux pays.

L'extension de ces deux couches du modèle (CI et CT) a été réajustée et définitivement adoptée sur la base des nouvelles données acquises et des résultats des corrélations litho-stratigraphiques ainsi élaborées. Sur cette base, ces couches ont été discrétisées dans le modèle en mailles carrées régulières de 10 km de côté, à l'aide du logiciel PM5 pour chacune des deux couches aquifères retenues.

4.3.2. Analyse des données hydrogéologiques

Etant donné que la masse de données hydrogéologiques disponibles était insuffisante pour mettre en place un modèle exhaustif qui prend en compte toutes les couches aquifères reconnues par les sondages, il a été convenu que les équipes nationales s'attèlent à la collecte des données complémentaires, à leur traitement, leur analyse et leur mise en forme pour pouvoir disposer d'un minimum nécessaire aux besoins du modèle, et ce, conformément à la configuration retenue.

Il s'agit essentiellement des données concernant :

- **les caractéristiques hydrodynamiques** (transmissivités, coefficients d'emmagasinement) rattachées aux pompages d'essai dont elles sont déduites: si la partie congrue du bassin au Niger, est suffisamment dotée en données sur la transmissivité, celles du Mali et du Nigeria par contre requièrent des données complémentaires.
- **la piézométrie** des aquifères avec l'historique des observations et son rattachement au repère de mesure: de nouvelles données ont été acquises, ce qui a permis de fixer le choix de l'année 1970 comme état la référence piézométrique ou «Etat initial» caractérisant l'état d'équilibre d'un système aquifère pratiquement non perturbé par l'exploitation. Sur la base des travaux antérieurs et des données nouvellement acquises, les cartes piézométriques de l'état initial (1970) de chacune des deux couches CI et CT ont été établies. Ces cartes serviront de référence pour le calage du modèle et pour le calcul des ressources exploitables du SAI.
- **l'exploitation** par points d'eau ou par groupe d'exploitation, avec précision du régime d'exploitation (pompage, artésianisme), et durée d'exploitation (par jour ou mois) :

Les travaux de l'atelier d'avril 2006 avait relevé des volumes d'eau prélevés à certains points d'eau (puits ou forages) sans préciser le nom de l'aquifère affecté. Cela est dû au fait que, jusqu'à un passé récent, les ouvrages d'hydraulique (villageoise notamment) ont été réalisés pour répondre à une urgence pour la couverture nationale en points d'eau modernes (Décennie Internationale sur l'Eau Potable et l'Assainissement). C'est ainsi qu'ils concernent, dans la plupart des cas, une région ou une zone, sans spécification précise de l'origine de la ressource. Cette information est dans la plupart des cas relative aux quantités d'eau destinées à l'Alimentation en Eau Potable. Par exemple, les agglomérations riveraines sont alimentées à la fois en eaux de surface (fleuve Niger en particulier) et en eaux souterraines, sans qu'il ne soit possible de faire la distinction entre les deux sources d'approvisionnement en eau.

Les statistiques sur les volumes d'eau prélevés par les agences nationales pour la distribution d'eau potable ne concernent que les villes et des principales agglomérations, En revanche, il n'existe pas de statistiques des prélèvements opérés pour l'hydraulique dans les zones rurales et pastorales qui enregistrent le plus grand nombre d'ouvrages pour la plupart des puits modernes.

L'examen des données relatives à l'exploitation du SAI présentées par les pays, permet de faire le diagnostic suivant :

- **Niger** : la carte des ressources en eau est la situation la plus complète et la plus actualisée (2004). La disponibilité de cette précieuse information permet d'avoir la référence la plus fiable pour l'évaluation de l'exploitation actuelle. Les données sur les prélèvements mentionnent le forage et l'aquifère capté selon les villes et les régions. Les lacunes de données concernent essentiellement l'exploitation pour l'irrigation, l'élevage et l'hydraulique villageoise (alimentation en eau de la population du monde rural).

- **Mali** : Sur la base des données de la carte des ressources en eau du Mali (2003), il a été possible d'initier l'équipe de la Direction Nationale de l'Hydraulique à l'extraction de l'information recherchée sur l'exploitation des aquifères du SAI. Les données des

prélèvements sont fournies par localité et par région. L'agence nationale de distribution d'eau potable ne notifie pas l'aquifère capté selon l'ouvrage désigné. Cependant, le Service d'Inventaire des Ressources Hydrauliques relevant de la Direction Nationale de l'Hydraulique dispose de ces points d'eau dans la base nationale SIGMA (Système d'Information et de Gestion des données du Mali). SIGMA contient également des données sur la piézométrie de certains ouvrages identifiés par aquifère capté, ainsi que des données sur les caractéristiques des forages. Malgré tout, des recoupements ont permis de rattacher certains points d'eau à l'aquifère capté. Le cas d'Asongo est particulier. Les données ne sont pas précises ; elles sont fournies dans leur globalité.

- **Nigeria:** Le Nigeria n'est pas encore doté d'une base de données fédérale sur les prélèvements à partir des aquifères du SAI quand bien même ces informations sont disponibles. Dans l'immédiat, un des défis majeurs de la Direction d'Hydrologie et d'Hydrogéologie est de réaliser un inventaire exhaustif des ouvrages hydrauliques non recensés par les services compétents. A travers cet inventaire, les données sur l'exploitation par aquifère seront collectées.

Certes, des imprécisions existent encore concernant l'historique de l'exploitation pour établir un bilan aussi précis que possible des ressources en eau du Système Aquifère d'Iullemeden. Cependant, à l'aide des nouvelles données ainsi acquises par les équipes nationales dans cette opération, les estimations sur des prélèvements par pays sont réalisables selon une méthode d'estimation rationnelle et exhaustive des prélèvements, méthode devant être adaptée et généralisée à l'échelle des autres bassins aquifères transfrontaliers de l'espace OSS.

5. Conclusion

Cette session de formation en modélisation hydrogéologique a permis de collecter une masse de données suffisante à l'élaboration d'un premier modèle global du SAI. La mise en forme de ces données ainsi que leur analyse critique et leur harmonisation ont été l'occasion pour les représentants des pays d'apprécier le caractère participatif de cette activité. Leur excellente connaissance du terrain, puisqu'ils ont la charge de l'inventaire et du suivi des ressources en eau, a facilité l'identification d'une bonne partie des points d'eau ainsi que leur localisation exacte. De plus, les données issues de leurs bases de données nationales ont permis de compléter l'information nécessaire à la modélisation, l'harmonisation de l'ensemble des données et leur traitement suivant les formats de la base de données commune du SAI.

Cette formation, sans être purement académique; a porté sur l'aspect opérationnel de la mise en forme des données et leur exploitation pour la mise en place d'un modèle simulant le comportement naturel des aquifères du SAI. Les participants ont été profondément impliqués dès la conceptualisation et la construction du modèle en question. Leur apport a été appréciable dans la prise des décisions techniques relatives aux hypothèses de construction du modèle (conditions aux limites) ainsi que dans l'élaboration des cartes piézométriques et l'évaluation des prélèvements.

Les données ainsi collectées, traitées, harmonisées et mises en forme seront intégrées dans le modèle et permettront son calibrage. Ce modèle correspondant à un état homogène de connaissances sur les ressources en eau à l'échelle du bassin, est élaboré dans la transparence et la complémentarité des efforts entre les experts des pays. Ce nouvel outil appelé à présenter une certaine évaluation des ressources en eau exploitables à partir du SAI, sera également utilisé pour la quantification de certains risques hydrogéologiques transfrontaliers (comme la diminution de la ressource) et de leurs impacts de part et d'autre des frontières étatiques. Avec d'autres étapes d'amélioration, il est susceptible de devenir un outil de gestion partagée des ressources en eau du bassin.

Ces résultats seront pris en compte pour approfondir l'Analyse Diagnostique Transfrontalière.

6. Recommandations

A l'issue de cet atelier, les participants des trois pays ont formulé les recommandations ci-après listées, dont certaines constituent la synthèse des points que les équipes nationales sont appelées à instruire pour pouvoir disposer de l'information nécessaire à l'élaboration finale du modèle du SAI.

Français	English
1. Il y a encore besoin de certaines données (piézométrie, exploitation, transmissivités) et toutes les données doivent être encore examinées pour assurer la validation par les points focaux avant l'envoi à OSS	Additional data still needed (piezometry, abstraction, transmissivity) and all data need to be checked again for validation by the focal points before sending to OSS
2. Les pays souhaiteraient, après calage, recevoir les résultats du modèle, analysés et les conclusions qui en découlent.	The countries would like to receive, after calibration, the analysed results of the model, and the related conclusions
3. Les pays demandent à l'OSS de contacter l'AIEA pour appuyer les Etats dans la collecte des données hydrodynamiques et isotopiques, dans le cadre de la mise en œuvre du projet RAF/8/038	Countries want OSS to contact IAEA to support collecting hydrodynamic and isotopic data, in the framework of the implementation of RAF/8/038 project
4. Doter chaque point focal d'un ordinateur portable pour la collecte des données et d'une ligne Internet pour les liaisons avec la coordination régionale	To equip each focal point with a laptop for the data-gathering and with a line Internet for the connections with regional coordination

D'autres recommandations ont été évoquées par les participants ; n'ayant pas directement trait au modèle, elles ont été portées en annexe 4.

**Annexe 1 : ATELIER DE FORMATION EN MODELISATION DANS LE CADRE DU PROJET IULLEMEDEN
(OSS – Tunis, 18-29 avril 2006)**

Pays	Nom & Prénom	Adresse	Téléphone	Fax	E-mail
NIGER	MOUSSA ABDOU Moumouni	Ministère de l'Hydraulique, de l'Environnement et de la Lutte contre la Désertification BP 257 NIAMEY	Fixe : +227 723889 Cel : +227 975190	+227 72 4015	koumoussa@yahoo.fr
	SANOUSSE Rabé		+227 72 3889 Cel : +227 592204		rsanoussi2001@yahoo.fr
MALI	BOUARE Damassa	Direction Nationale de l'Hydraulique BP66 – Square Patrice Lumumba - BAMAKO	+223 2214877 +223 2212588 Cel : +223 6162546	+223 221 8635	bouaredamassa@yahoo.fr cdidnh@afribone.net.ml
	MAIGA Seïdou		+223 2214877 +223 2212588 Cel : +223 6726879		dnhe@afribone.net.ml
NIGERIA	CHABO John	Federal Ministry of Water Resources Area 1, Garki ABUJA	+234-9-2342520	+234-9-2343714	johnchabo@yahoo.com
	JABO Stephen				stephenjabo@yahoo.com
TUNISIE	MAMOU Ahmed	Observatoire du Sahara et du Sahel Boulevard du Leader Yasser Arafat BP 31 – 1080 Chargaia. TUNIS	+216 71 206633	+21671 206636	Ahmed.mamou@oss.org.tn
	DODO Abdel Kader				Abdelkader.dodo@oss.org.tn
	BABA SY Lamine				Lamine.babasy@oss.org.tn

Annexe 2 : Agenda

Période : Du 29 novembre au 08 Décembre 2006
Lieu : Dans les locaux de l'OSS

Durée : Deux semaines

Participants : 6, soit Deux (2) représentants par pays.

Cette deuxième session de formation fait suite à celle tenue au mois d'avril dernier. Elle a pour objectif de discuter et analyser avec les participants les données collectées et traitées et de procéder à l'élaboration du modèle du SAI (calage en régime permanent et transitoire).

Elle est destinée aux techniciens de l'administration appelés par leur fonction à assurer dans le cadre de la gestion des eaux souterraines, la réalisation de modèles de simulations en vue de prévoir le comportement des aquifères.

Semaine 1 : Présentation des travaux réalisés et discussion sur le modèle du SAI		
1. Bref rappel des principes et discussion sur le modèle du SAI		
Lundi	9h – 10h30	<ul style="list-style-type: none">➤ Domaine de référence, terminologie et grandeurs fondamentales➤ Principes des modèles hydrodynamiques➤ Présentation des travaux réalisés depuis le dernier atelier de modélisation en avril 2006 (coupes géologiques, discrétisation des couches du modèle, cartes piézométriques...)
	11h – 12h30	
	14h-16h	
2. Discussion et analyse des données d'entrées du modèle		
Mardi	9h – 10h30	Passage en revue des données de la BD et nouvelles données apportées par les participants :
	11h – 12h30	
	14h-16h	
Mercredi	9h – 10h30	<ul style="list-style-type: none">➤ Choix de l'état de référence➤ Conditions aux limites➤ Données d'Alimentation➤ Données de transmissivités➤ Données aux exutoires du système➤ Données sur les prélèvements➤ Toits et murs des couches➤ Coefficients d'emmagasinement
	11h – 12h30	
	14h-16h	
3. Développement du modèle		
Jeudi	9h – 10h30	Calage du modèle en régime permanent :
	11h – 12h30	
	14h-16h	
Vendredi	9h – 10h30	<ul style="list-style-type: none">- Introduction des données,- Ajustement des transmissivités- Ajustement de la recharge,
	11h – 12h30	
	14h-16h	
Samedi	9h – 10h30	
	11h – 12h30	
Semaine 2 : Développement du modèle (suite)		
Lundi	9h – 10h30	Calage du modèle en régime permanent (suite) :
	11h – 12h30	
	14h-16h	
Mardi	9h – 10h30	<ul style="list-style-type: none">- Ajustement des transmissivités,- Ajustement de la recharge,- Vérification
	11h – 12h30	
	14h-16h	
Mercredi	9h – 10h30	<ul style="list-style-type: none">- Validation- Analyse des résultats
	11h – 12h30	
	14h-16h	
Jeudi	9h – 10h30	En fonction de l'avancement du calage :
	11h – 12h30	
	14h-16h	
Vendredi	9h – 10h30	<ul style="list-style-type: none">➤ Préparation et introduction des données pour le régime transitoire
	11h – 12h30	
	14h-16h	
Samedi	9h – 10h30	<ul style="list-style-type: none">➤ Calage du modèle en régime transitoire
	11h – 12h30	

Annexe 3 : Guide pour l'approfondissement de l'Analyse Diagnostique Transfrontalière pour les Eaux souterraines Internationales du Système Aquifère d'Iullemeden

Introduction

Un atelier national devra se dérouler au Mali, au Niger et au Nigeria pour approfondir l'Analyse Diagnostique transfrontalière adaptée aux eaux souterraines du SAI, conformément à la première recommandation de la seconde réunion du comité de pilotage tenue à Abuja les 25 et 26 février 2006. Cet important travail sera réalisé par des spécialistes pour bien examiner les différents chapitres de l'Analyse Diagnostique Transfrontalière, sur la base de :

- Rapports élaborés par les consultants sur l'ADT ;
- Les résultats de la modélisation mathématique du SAI ;
- Le rapport sur la base de données commune du SAI ;
- Les rapports sur la mise en place du Mécanisme Tripartite de concertation ;
- Leurs propres investigations.

La première étape du processus de l'Analyse Diagnostique Transfrontalière est de se mettre d'accord sur les problèmes transfrontaliers qui varient d'une région à l'autre (pertinence transfrontalière, priorités préliminaires, portée géographique, portée temporelle, impacts/conséquences du problème).

La méthodologie d'une Analyse Diagnostique Transfrontalière comprend les étapes suivantes :

- Identification et priorisation initiale des problèmes transfrontaliers ;
- collecte et l'interprétation des informations sur les impacts environnementaux et les conséquences socio-économiques de chaque problème ;
- priorisation finale des problèmes transfrontaliers ;
- analyse de la chaîne causale (y compris les causes fondamentales) ;
- achèvement d'une analyse des institutions, des lois, des politiques et des investissements projetés.

1. Identification et priorisation initiale des problèmes transfrontaliers

1.1. Identification des problèmes

L'objectif de prioriser les problèmes transfrontaliers vise à les ranger suivant leur ordre de grandeur ce qui veut généralement dire que ces problèmes ont le plus généralement besoin d'attention.

Le Mali, le Niger et le Nigeria, à travers les réunions des comités nationaux de coordination et de suivi des activités du projet et les ateliers nationaux portant sur l'Analyse Diagnostique Transfrontalière, ont identifié plusieurs risques transfrontaliers. 14 risques ont été identifiés au Mali, 08 au Niger et 24 au Nigeria (cf. tableau).

Le Nigeria a classé les risques par ordre de priorité. Le Mali et le Niger ont développé un tableau en fournissant pour chaque risque, une explication notamment les causes.

L'identification de ces risques n'a pas développé leurs Impacts environnementaux et leurs Evaluation des conséquences socio-économiques. Cependant, le Mali a tenté d'évaluer chacun des risques par un degré de priorité (élevé, moyen, faible).

Les résultats de ces travaux permettent malgré tout, d'analyser ces risques et de tenter une synthèse.

1.2. Prioritisation des problèmes

La priorisation initiale n'a pas besoin d'être complexe. Pour prioriser, il faudra classer les critères. Les critères incluront généralement un degré d'évaluation de la gravité du problème en terme de ses impacts.

La plupart des risques évoqués par les pays sont des causes et/ou conséquences. Il se dégage **quatre (4) préoccupations majeures transfrontalières** autour desquelles les autres « risques » peuvent être réparties en causes immédiates (ou primaires), fondamentales, ou profondes. Il s'agit de :

1. changement de la disponibilité de l'eau (Rareté ? Diminution de la ressource ?) ;
2. la dégradation de la qualité de l'eau ;
3. les changements et/ou variabilités climatiques ;
4. la perte de la diversité biologique.

Les pays ont déjà mentionné ces préoccupations :

1. changement de la disponibilité de l'eau (Rareté, Diminution de la ressource) :
 14. Inégale répartition spatiale des ressources en eau (Mali)
 1. Modification des caractéristiques de l'écoulement souterrain (Niger)
 3. Loss of strategic water resources (Nigeria)
2. la dégradation de la qualité de l'eau :
 3. Détérioration de la qualité de l'eau (Niger)
 1. Groundwater contamination and pollution (Nigeria)
3. les changements et/ou variabilités climatiques :
 13. Impact du changement climatique sur les aquifères (Mali)
 5. Impacts des changements climatiques sur les aquifères transfrontaliers à faible taux de recharge (Niger)
 13. Critically, examine the issue of climate change with respect to aquifer recharge in the lullemeden basin (Nigeria)
4. la perte de la diversité biologique.
 4. Détérioration de la biodiversité dans les zones de décharge des aquifères transfrontaliers (Niger)

Les changements et/ou variabilités climatiques sont aussi des causes des trois (3) autres préoccupations majeures. Quant à la perte de la diversité biologique, elle n'influe pas directement sur les aquifères en termes de quantité ou de qualité des eaux souterraines. Pour cela, dans l'espace lullemeden, il apparaît plus réaliste de retenir en définitive, les préoccupations ci-après comme les risques transfrontaliers majeurs identifiés par les 3 pays :

1. La modification de la disponibilité de l'eau douce ;
2. La dégradation de la qualité des eaux souterraines ;
3. Les changements climatiques (sécheresses et inondations récurrentes).

Ces trois risques feront l'objet d'une analyse de la chaîne causale et de l'examen des impacts environnementaux et de l'évaluation des conséquences socio-économiques. Les causes des deux (2) premiers risques ont été implicitement signalées dans les travaux des pays.

2. Analyse des impacts/conséquences des problèmes transfrontaliers

L'analyse se basera sur des informations objectives et quantitatives dans les rapports finaux. Le travail doit :

- Décrire le problème (en utilisant les données de l'étude disponibles affichant des changements temporels et autres)
- Examiner l'impact du problème sur l'environnement
- Examiner les conséquences sociales et économiques du problème

Les rapports finaux seront assez courts (05 pages par problème).

2.1. Analyse des impacts environnementaux

Le but de cette étape est d'examiner l'impact de chaque problème prioritaire sur l'environnement à savoir : 1) la modification de la disponibilité des ressources en eau, 2) la dégradation de la qualité des eaux, et 3) les changements climatiques. Il ne faut pas confondre ceci avec l'évaluation d'impact environnemental (EIE) qui est un instrument pour identifier et évaluer les impacts potentiels environnementaux d'un projet proposé.

L'analyse des impacts environnementaux est plus simple et plus facile que celle des conséquences socio-économiques.

Une approche logique pour faciliter le processus est le développement du statut robuste et pertinent de l'environnement, des indicateurs d'impact et de pression pour lesquels les données sont disponibles.

Ces indicateurs auront plusieurs formes d'utilisation :

- Les indicateurs du statut seront utilisés pour décrire les caractéristiques physiques et géographiques, le statut socio-économique et environnemental ;
- Les indicateurs d'impact décriront et quantifieront les impacts de chaque problème transfrontalier ; il est recommandé de recueillir les informations des 10 20 dernières années si possible (c'est-à-dire les années 80 et 90 voire 70) ;
- Les indicateurs de pression justifieront les chaînes causales (voir plus loin) élaborées pour résoudre les problèmes prioritaires transfrontaliers.

2.2. Evaluation des conséquences socio-économiques

Le but de cette mesure est d'identifier les conséquences socio-économiques de chaque problème prioritaire transfrontalier à savoir Modification de la disponibilité des ressources en eau, dégradation de la qualité des eaux, changements/variabilité climatiques.

Les mesures des conséquences socio-économiques peuvent généralement être classées selon le niveau de détails dans lequel on est imprégné.

- 1) La déclaration – La gamme de conséquences socio-économiques associées à un problème est identifiée en déclarant la gamme de conséquences associées au problème ;
- 2) Quantification – Des nombres sont joints aux conséquences pour indiquer leurs échelles. Ces nombres peuvent se référer à l'ampleur ou à la fréquence des événements ;
- 3) Evaluation indicative – La capacité de présenter des valeurs monétaires aux avantages importants. Des valeurs indicatives sont accordées aux coûts qui sont associés aux conséquences. Par exemple, dans le cas des maladies des êtres humains, bien que le coût de traitement ne soit que l'un des coûts associés à la maladie, il est indicatif de l'ensemble.
- 4) Evaluation totale – Ce niveau plus élevé d'évaluation prend en compte tous les coûts économiques qui sont associés à la conséquence.

L'avantage d'utiliser des valeurs monétaires en cas de conséquences socio-économiques a l'inévitable avantage de pouvoir les regrouper et de comparer les problèmes. Un autre avantage est que les coûts monétaires d'un problème mesurent l'avantage qu'on peut obtenir en abordant ce problème. Ceci de retour indique le montant maximal qu'on doit dépenser sur le problème ou si les avantages dépassent le coût d'un programme d'action.

2.3. Cartographie des problèmes

Il serait essentiel de décrire l'ampleur géographique du problème, les foyers ardents qui sont associés au problème et l'échelle géographique des impacts environnementaux et les conséquences socio-économiques.

3. Analyse de la chaîne causale

Une chaîne causale est une série de déclarations liant les causes d'un problème à ses effets. Chaque maillon de la chaîne est déterminé par la réponse à la question « Pourquoi – Qu'est-ce qui en est la cause ? ». Une chaîne causale doit être décrite pour chaque problème prioritaire transfrontalier qui aura déjà été analysé quant à ses impacts environnementaux et à ses conséquences socio-économiques.

3.1. Les causes immédiates

Les causes immédiates (parfois connues sous le vocable causes primaires) sont souvent les causes techniques directes de chacun des 3 problèmes. Elles sont principalement tangibles.

3.2. Les causes fondamentales

Les causes fondamentales sont celles qui contribuent aux causes immédiates. Elles peuvent généralement être définies comme :

- **Les utilisations et les pratiques des ressources fondamentales, et** les causes sociales et économiques y afférentes. Les utilisations et les pratiques de ressources peuvent comprendre : **1)** l'usage du sol ; **2)** les dépotoirs ; **3)** les préjudices ou les pratiques non durables ; et **4)** les utilisations de l'eau (déviations, stockage, etc).
- **Les causes sociales et économiques** pouvant comprendre : **1)** le Développement croissant des secteurs ; **2)** l'Investissement, opération et maintenance ; **3)** les Procédures de minimisation des déchets ; et **4)** la Gestion latérale de l'offre et de la demande, etc.

3.3. Les causes Profondes

Les causes profondes sont souvent liées aux aspects fondamentaux de la macroéconomie, de la démographie, des modèles de consommation, aux valeurs environnementales, à l'accès à l'information et aux processus démocratiques.

Les causes profondes peuvent se répartir dans les catégories suivantes : **1)** la gouvernance ; **2)** la pression et le changement démographiques ; **3)** la pauvreté, la richesse et l'inégalité ; **4)** les modèles de développement et les politiques macroéconomiques nationales ; **5)** les changements sociaux et les préjugés de développement ; et **6)** l'éducation et la formulation des valeurs.

A ce stade, il est nécessaire de lier les utilisations et les pratiques de ressources et les causes fondamentales sociales, économiques, légales et politiques. Ceci peut se faire surtout par secteur, c'est-à-dire en répétant les causes intersectorielles dans chaque secteur (les politiques nationales et régionales et plans de gestion inefficaces peuvent être répétés dans l'agriculture, l'industrie et l'urbanisation, etc).

Présentation de la forme de l'analyse de la chaîne des causes

Il y a deux manières, soit sous forme de tableau, soit sous forme d'organigramme :

- Les chaînes causales basées sur les tableaux ou (les matrices) sont généralement faciles à établir mais elles fournissent très peu d'informations et ne montrent pas les liens entre les causes.
- Les organigrammes sont plus difficiles à produire mais fournissent généralement plus d'informations et montrent les liens entre les causes.

4. Analyse de la Gouvernance

L'analyse de la gouvernance devra passer en revue les instruments essentiels et donner un résumé succinct de leur évolution historique et de leurs tendances. Ce sera important pour l'exercice de la chaîne des causes afin d'éviter de tomber dans le piège de trouver des solutions qui ont déjà été appliquées et qui ont échoué ou d'identifier des solutions qui vont à l'encontre des priorités gouvernementales. La dimension régionale doit être prise en compte.

La gouvernance englobe les parties prenantes qui sont : ministères et les agences régulatrices (**institutions gouvernementales**) ; les organisations non gouvernementales (ONG) tels que les groupements environnementaux ; et les groupements commerciaux et les communautés de résidents, le 'public' (**entreprises publiques et privées**).

Outre les parties prenantes, les deux autres éléments de l'analyse de la gouvernance (l'analyse institutionnelle et l'analyse politique/juridique) sont intimement liés. Ils constituent également des outils du processus de l'ADT.

4.1. Analyse institutionnelle et analyse politique/juridique

4.1.1. Analyse institutionnelle

L'analyse se situe à deux niveaux :

1. **L'analyse statique** : une description des structures politiques, institutionnelles et sociales et des systèmes aux niveaux national et régional.
2. **L'analyse dynamique** : un diagnostic des échecs des dynamiques institutionnelles et de la gouvernance spécifique qui sont identifiées dans l'analyse de la série des causes comme étant les causes sous-jacentes.

L'analyse institutionnelle devrait se référer aux secteurs pertinents. Le préjugé sectoriel qui caractérise la société peut constituer des barrières et des contraintes à la gouvernance environnementale effective.

4.1.2. Analyse politique/juridique

Le but de l'étude est de jeter les bases de la recommandation de réformes politiques et juridiques.

Plusieurs pays disposent de constitutions 'vertes' et de cadres législatifs exhaustifs qui se penchent sur une large gamme de questions environnementales. Mais elles souffrent souvent de niveaux faibles de conformité et de mise en vigueur.

Tout comme avec l'analyse institutionnelle, l'analyse juridique/politique devrait se situer à deux niveaux : statique et dynamique. Les éléments essentiels à inclure dans cette analyse sont :

- les plans/stratégies nationaux actuels de **développement** ;
- les plans/stratégies nationaux **environnementaux** tels que, par exemple, les **stratégies** de la biodiversité ;
- les **investissements** importants.

Il est essentiel de décrire comment un instrument politique/juridique a défini le problème qu'il envisage d'aborder car un problème similaire peut être identifié dans l'ADT. Mais sa nature est comprise de façon complètement différente.

Synthèse des Risques Transfrontaliers identifiés par le Mali, le Niger et le Nigeria et adoptés lors des ateliers nationaux

Mali	Niger	Nigeria
1. Méconnaissance des aquifères et leur relation avec les eaux de surface	1. Modification des caractéristiques de l'écoulement souterrain	1. Groundwater contamination and pollution
2. Divergence de la compréhension de base et des perceptions du SAI dans les différents pays	2. Modification de la surface piézométrique d'un aquifère	2. Land Degradation, Agricultural land degradation and post harvest losses
3. Impact des aménagements hydrauliques sur les ressources en eau partagée	3. Détérioration de la qualité de l'eau	3. Loss of strategic water resources
4. Inadéquation entre l'utilisation des eaux souterraines et des eaux de surface	4. Détérioration de la biodiversité dans les zones de décharge des aquifères transfrontaliers	4. Uncontrolled Artesian flows
5. La gestion des problèmes liés à l'eau à échelle inappropriée : les questions du bassin global gérées à l'échelle locale et du sous bassin et vice versa	5. Impacts des changements climatiques sur les aquifères transfrontaliers à faible taux de recharge	5. Inadequate monitoring networks
6. Exploitation abusive, non planifiée et gestion non concertée des aquifères partagés	6. Entrave au développement socio-économique de certains pays partageant le SAI à travers une dégradation des ressources naturelles (eau, sol, air...).	6. Absence of single authority in charge of the overall management of the IAS
7. Exploitation non planifiée et non durable des eaux très anciennes	7. Conflits et Disputes liés à l'eau	7. Increasing population growth leading to increasing demand on the aquifer
8. Exploitation et utilisation des eaux souterraines inaptes et/ou de mauvaise qualité	8. Destruction de l'intégrité physique de la ressource en eau souterraine (aquifère)	8. Movement of people to and fro in the region
9. Impact de l'utilisation des terres sur les ressources en eau souterraines		9. Lack of control and monitoring of the various aquifers within the basin
10. Impact de l'utilisation polluante des terres et des eaux dans les zones de recharge		10. Network systems of monitoring of the various aquifers
11. Contamination irrémédiable avec des polluants à partir des forages profonds des zones d'exploitation minière et pétrolière		11. Exchange of information among aquifer users
12. Impact de la déforestation		12. Sensitization of people of the area on what their role should be
13. Impact du changement climatique sur les aquifères		
14. Inégale répartition spatiale des ressources en eau		
		13. Critically, examine the issue of climate change with respect to aquifer recharge in the lullemeden basin
		14. Look at the existing institutions on ground, their functionality and what need to be done to make them effective in the discharge of their respective mandates
		15. Examine the consultation mechanisms in place among the relevant institutions within the country
		16. Examine the groundwater flow pattern in the basin with respect to pollution detection and control measures
		17. Creation of awareness of the development in groundwater exploitation among the concerned countries of IAS with respect to sustainability of the resources
		18. Examine the type of relationship that exist between surface and groundwater in the lullemeden basin
		19. Examine the issue of population increase and the subsequent pressure on groundwater exploitation within the basin
		20. Need to modernize data collection methods in the country and recommended the use of satellite technology, automatic pressure loggers in monitoring wells etc., but expressed concern on funding to undertake field baseline data collection and the security of data collection equipment
		21. The need to focus on the issue of capacity building so that whatever investment made on water resources development does not lay waste due to management problems
		22. The NBA, by its mandate and treaty setting it up does not cover groundwater and that it would be difficult to amend the treaty to cover the IAS but rather that a separate institution in the like of the NBA be set up to handle the basin
		23. The hydrogeological section of the Nigerian portion of the lullemeden Aquifer System should be correlated with that of the Niger Republic
		24. Afforestation programmes be effected in the basin to improve recharge and soil conservation

Annexe 4 : Autres recommandations des participants :

Français	English
Les points focaux souhaiteraient recevoir, au préalable, une note administrative de l'OSS pour les permettre de se préparer de manière adéquate les réunions et autres activités prévues	Administratively, a well advance notice should be given to focal persons of project members to enable them prepare adequately for meetings and others activities
Respecter les engagements solennellement pris (de manière tacite) lors de l'atelier d'avril 2006 entre les points focaux et l'OSS : signer les contrats avec les points focaux, dans la mesure où se sont eux qui font les travaux.	To respect the commitments solemnly undertaken (in a tacit way) at the time of the workshop of April 2006 between the focal points and the OSS: to sign the contracts with the focal points, as they are doing the work.
Les pays suggèrent à l'OSS de suivre les décisions prises à Rome pour que la FAO soutienne l'établissement du mécanisme de concertation	The countries remind OSS to follow up on decisions taken at Rome for FAO to extend the support for establishment of the consultation mechanism