



n°

Tunis, le 29 avril 2006

**Rédigé par :**

Abdel Kader Dodo, M. Baba Sy, Ahmed Mamou

**Destinataires :**

Secrétariat exécutif de l'OSS

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

**Dates :** du 18 au 29 avril 2006

**Lieu :** Siège de l'OSS, Tunis

**P. Jointes : Annexes**

1. Programme de formation
  2. Liste des participants
  3. Modèle conceptuel du SAI
  4. Modèle conceptuel du SAI (détaillé)
  5. Format des données géologiques
  6. Format des données (caractéristiques hydrodynamiques)
  7. Format des données d'exploitation
  8. Format des données piézométriques
- 

**I- CADRE**

Conformément aux décisions de la réunion du comité de pilotage du projet d'Iullemeden (Abuja, 25-26/02/06), il a été retenu le principe que l'OSS assure avec ses propres moyens, la formation en modélisation hydrogéologique, initialement prévue par l'ETH de Zürich. L'OSS a procédé à l'élaboration du contenu du programme de formation qui a été soumis pour approbation, au GEF et envoyé par la suite aux pays.

Cette session de formation en modélisation mathématique des représentants des pays (Niger, Nigeria, Mali) se partageant le Système Aquifère d'Iullemeden (SAI), s'est déroulée du 18 au 29 avril 2006 au siège de l'OSS à Tunis (Tunisie). La liste des participants et le Programme de formation sont joints en annexes 1 et 2, respectivement..

**II- OBJECTIF**

L'objectif de cette formation est d'initier les participants à la modélisation des systèmes aquifères et d'élaborer un modèle élémentaire 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 participants 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.

**III- PARTICIPANTS**

Deux représentants de chaque pays 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. Les experts ainsi formés, sont désormais

appelés à gérer le modèle du SAI. Cette session a été aminée par de Abdel Kader Dodo, Ahmed Mamou et Baba Sy de l'OSS.

La liste des participants est portée en Annexe 1.

#### **IV- DEROULEMENT**

Les travaux ont démarré par une présentation de la problématique de la gestion concertée des ressources en eau des aquifères partagés et une introduction aux principes de base en hydrogéologie pour la modélisation des aquifères.

Matinée :

- « Le Système Aquifère du Sahara Septentrional SASS »
- « Pourquoi un modèle pour le Système Aquifère d'Iullemeden SAI ? »
- « Principes de base de la modélisation en hydrogéologie »

La présentation du SASS a pour principal objectif de donner un exemple d'approche sur la résolution de risques hydrogéologiques transfrontaliers communs à plusieurs pays (l'Algérie, la Libye et la Tunisie) et la stratégie développée pour les maîtriser.

Quant au SAI, la quantification des risques hydrogéologiques transfrontaliers représente la première des quatre (4) recommandations retenues au cours de la réunion du comité de pilotage du SAI tenue à Abuja les 25 et 26 février 2006.

La gestion de tels risques et la manière de les atténuer constituent l'objectif global du projet SAI. Elle ne saurait être réalisée par la seule activité de l'Analyse Diagnostique Transfrontalière limitée aux réunions des comités nationaux de coordination et de suivi des activités du projet et des rapports des consultations. L'Analyse Diagnostique Transfrontalière a mis en évidence une liste de risques hydrogéologiques transfrontaliers. Ceux-ci ont été appréciés dans chaque pays seulement d'un point de vue qualitatif. Leur détermination quantitative, la délimitation des zones à risques élevés et/ou menacées restent encore à réaliser.

La modélisation mathématique opérationnelle, telle qu'utilisée à cette fin dans le cadre du SASS, est une méthode appropriée pour quantifier ces risques.

L'introduction aux « Principes de base de la modélisation en hydrogéologie » consiste à rappeler aux représentants des pays et ce, dans les grandes lignes, l'hydrogéologie opérationnelle utile pour la compréhension de la modélisation des aquifères. En d'autres termes, il s'agit davantage de traduire dans la pratique les équations fondamentales de base qui régissent la dynamique des écoulements souterrains, et l'approche de résolution de ces équations qui est utilisée dans le logiciel approprié pour le SAI, c'est-à-dire le PM5 (Processing MODFLOW version 5).

#### **Le logiciel PM5 : prise en main**

La première étape de cette formation pratique a consisté en une mise à niveau des participants sur les fonctionnalités du logiciel à travers un exemple simple, théorique, mais qui s'apparente à la situation hydrogéologique de la région d'Iullemeden. Les régimes permanent et transitoire ont été élaborés avec les représentants des pays à toutes les étapes du processus.

Au préalable, le logiciel PM5 a été installé sur les ordinateurs portables de chacun des participants. Une copie du logiciel sur CD-ROM leur a été remise pour une installation ultérieure sur les ordinateurs de grande capacité de leurs services nationaux de manière à poursuivre la modélisation du SAI à travers les échanges d'informations entre l'équipe de l'OSS et les structures focales nationales.

Par cette démarche, les représentants sont sensibilisés sur le type de données et leur précision requise pour réaliser un modèle.

A partir de ce stade, un cas réel, celui du Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS), a été pris pour servir d'exemple d'application pouvant être dupliqué et adapté au SAI.

Au préalable, la démarche adoptée pour réaliser le modèle conceptuel du SASS, a été présentée. Elle a suscité des interrogations et des comparaisons édifiantes pour réfléchir dès à présent, sur le cas du SAI. Il s'agit notamment de la relation hydraulique qui existe entre le fleuve Niger et les aquifères. Tout le long de son parcours et selon la période (hautes eaux, basses eaux), le fleuve Niger est par endroits drainant (présence de sources), par endroits infiltrant.

Ainsi, étape par étape, l'élaboration d'un modèle hydrodynamique a été explicitée avec à chaque étape, l'explication de la procédure pratique et les données nécessaires.

### **Application du PM5 au SASS : le modèle du Continental Intercalaire**

L'exemple du modèle SASS traité a été limité à l'aquifère du Continental intercalaire. Il s'agit donc d'un modèle simplifié monocouche discrétisé en 3500 mailles carrées régulières de 25 km de côté. Pour le calage du modèle en régime permanent, les données utilisées ont consisté en une série de fichiers pré-élaborés dont l'analyse a permis aux stagiaires de bien saisir les différentes étapes de modélisation et le processus de réflexion qui lui est associé.

Cette étape a davantage amené les participants à reconnaître l'importance des données minimales nécessaire à la réalisation d'un modèle qui traduit fidèlement le comportement du système aquifère et le degré de leur précision souhaité. L'aspect de la configuration structurale du système avec ce que ceci exige comme données géologiques et valeurs de paramètres hydrodynamiques (résultants des pompages d'essai), a 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.

Le régime transitoire du modèle du Continental intercalaire a également été élaboré par la suite, et a porté sur cinquante (50) années (1950-2000).

Pour ce faire,, seuls les ouvrages qui captent cet aquifère ont été considérés, en termes de suivi de la variation du niveau d'eau, des prélèvements, et du coefficient d'emménagement. Ce dernier paramètre a toujours été un dilemme; en effet, sa détermination nécessite la réalisation un ouvrage supplémentaire (piézomètre) à proximité du forage d'exploitation. Cependant, le coût de ce piézomètre peut désenclaver des agglomérations qui sont peu ou pas dotées d'ouvrages hydrauliques adéquats (puits modernes) pour l'accès à l'eau potable.

La prise en compte des ouvrages d'exploitation propres à cet aquifère et ce, sur la base de l'historique des prélèvements, a encore convaincu les 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. Les participants ont tiré ensemble la conclusion selon laquelle l'élargissement de la coopération entre ces agences et leurs Ministères concernés, est indispensable pour actualiser l'état des connaissances sur le potentiel hydraulique dont les chiffres avancés dans les documents nationaux de référence sont demeurés intacts.

L'intérêt de l'exemple du SASS est aussi d'apprécier de l'autre côté de la frontière, l'influence des pompages excessifs dans les deux autres pays. A titre d'exemple, un débit de 50 litres/sec a été imposé pour chaque année, sur un ouvrage situé à proximité du point triple de la zone transfrontalière des trois pays (bassin de Ghadamès). Par cet exemple édifiant, les participants ont pu apprécier à quel point il est important de connaître les prélèvements

et la nécessité d'échanger mutuellement les données nécessaires à une gestion optimale des ressources en eau.

## **Modélisation du SAI**

### **1- Modèle conceptuel du SAI :**

Le modèle conceptuel du SAI a été introduit en tenant compte de l'état de connaissances que l'OSS a synthétisé à partir de la documentation disponible. Il était primordial que les participants aboutissent à un consensus au sujet de l'objectif attendu de cette modélisation. L'avis était unanime que les trois pays sont actuellement dans une situation de connaissance partielle des ressources mobilisables à l'échelle du SAI. Des imprécisions existent encore concernant l'exploitation actuelle ainsi que sur les impacts que celle-ci engendre. Il est donc primordial d'avoir un bilan aussi précis que possible des ressources en eau du bassin d'Iullemeden et de tenter de préciser les impacts de l'exploitation actuelle et les tendances de son évolution.

Sur la base de cette analyse des documents disponibles (cartes géologique et topographique digitalisées, coupes géologiques, logs de forages), des informations et données issues des rapports des activités des comités nationaux et des consultants ainsi que les documents rapportés pour la circonstance, des corrélations géologiques et hydrogéologiques à travers le bassin débordant les frontières entre les trois pays, ont été élaborées en vue d'assurer la conceptualisation de la configuration physique du bassin hydrogéologique en question.

Les participants ont abouti à la configuration simplifiée du SAI qui se compose de deux principales formations aquifères : le Continental intercalaire (groupant le niveau supérieur du crétacé inférieur CI3 et le Continental hamadien ) et le Continental Terminal (groupant les séries aquifères du Tertiaire, CT<sub>1</sub>, CT<sub>2</sub> et CT<sub>3</sub>) qui intègre également le Quaternaire (nappe phréatique).

La base de ce système aquifère est constituée par le socle birrimien au Mali, les argilites de l'Irhazer (au nord) et du socle indifférencié (au sud) au Niger, le socle précambrien au Nigeria.

Ces deux principales formations aquifères sont séparées par des formations peu perméables (schistes, calcaire marneux, calcaires argileux) du Crétacé supérieur (Cénomaniens – Maestrichtien) - Paléocène - Eocène – Oligocène dont le rôle aquifère n'est pas de règle et il a été décidé de les traiter en première étape comme un semi-imperméable.

Cependant, le Mæstrichtien au Nigeria (Rima group) est un ensemble constitué de deux aquifères (Wurno et Taloka) séparés par endroits, par les argiles lenticulaires de Dukamaje.

Le Continental Terminal est subdivisé en trois couches au Niger, en une seule couche au Mali et au Nigeria (Gwandu).

Le Continental intercalaire se compose principalement des grès arkosiques du Crétacé inférieur.

Il a été retenu que la modélisation du SAI se déroulera 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 (annexe 3). 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, il sera la référence pour les modèles locaux.
- Phase 2 : des modèles multi-couches locaux pour considérer les spécificités de chaque pays. Ainsi, le Continental Terminal sera décomposé au Niger. Les aquifères

secondaires du Crétacé supérieur seront pris en compte au Mali, au Niger et au Nigeria (annexe 4).

Cependant, dans le cas du bassin du Sokoto, le Nigeria suggère une option intermédiaire qui comprend Gundumi, Rima, Gwandu. Cette option sera testée lors du calage du modèle.

Une étape importante dans l'élaboration du modèle conceptuel a été réalisée lors de cet atelier. Des données ont été recueillies à partir des dossiers et fichiers de forages rapportés par les pays et de la base de données élaborée par l'OSS. L'aspect structural du SAI fut bien discuté et analysé 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. Pour ce faire, le format du fichier de données a été défini sous Excel sur la base de la colonne lithostratigraphique adoptée. Ce fichier contient les informations suivantes :

- les coordonnées (X, Y) ;
- l'altitude du terrain naturel à l'emplacement du forage ;
- la profondeur totale du forage ;
- le toit de chaque formation traversée.

L'application de Rockworks a permis de visualiser la répartition des forages dans le SAI et de s'assurer de la bonne représentation des données disponibles. Plusieurs coupes ont été tracées dans toutes les directions et ont permis quelques interprétations.

Par cette méthode, les représentants des pays ont pu apprécier les données requises pour la construction du modèle et la nécessité d'acquérir les données spécifiques complémentaires.

Cette activité a abouti à l'élaboration d'un schéma type de la table « géologie » de la base de données qui groupera l'ensemble de l'information géologique nécessaire à l'élaboration de cartes structurales du bassin du SAI. Un tableau type (annexe 5) groupant les données déjà harmonisées, sera instruit par les trois pays pour servir de base à l'élaboration des cartes structurales (épaisseur, mur et toit de chaque formation considérée) ainsi que le traçage des corrélations géologiques et hydrogéologiques.

## 2 – Données hydrogéologiques :

Les données hydrogéologiques nécessaires à l'élaboration du modèle du SAI, sont principalement :

- **les caractéristiques hydrodynamiques** (transmissivités et coefficients d'emmagasinement) rattachées aux pompages d'essai dont elles sont déduites,
- **la piézométrie** des aquifères avec historique et rattachement au repère de mesure,
- **l'exploitation** par points d'eau ou par groupe d'exploitation, avec précision du régime d'exploitation (pompage, artésianisme), durée d'exploitation (par jour ou mois).

Pour toutes ces données, des tableaux types (annexe 6, 7 et 8) dont les contenus ont été discutés avec les participants, seront instruits par les pays et renvoyé à l'OSS avant le début du mois de juillet 2006 en vue de poursuivre la construction du modèle et son calage en régime permanent avant la fin de l'année 2006.

### 3- Conclusion

Cette session a permis de mettre en exergue l'importance de l'acquisition de certaines données pertinentes telles que les historiques des prélèvements par pays. La grande part des informations provient des Agences Nationales d'exploitation des eaux qui gèrent essentiellement les zones urbaines et périurbaines. Les prélèvements opérés dans les puits et forages, certains équipés de pompe à motricité humaine, solaire ou thermique, dans les zones rurales, restent encore inconnus.

Par ailleurs les volumes d'eau prélevés concernent parfois des forages dont l'aquifère capté n'est pas spécifié. Ces volumes concernent, parfois, une région ou une zone, sans spécification précise de l'origine de la ressource. Par exemple, les agglomérations riveraines sont alimentées à la fois en eaux du fleuve Niger et en eaux souterraines, sans faire la distinction entre elles.

Ces volumes d'eau prélevés par ces agences n'intègrent pas les puits (modernes et traditionnels) et les points d'eau qui concernent notamment l'hydraulique pastorale.

L'examen des données issues des pays permet de faire un bilan par pays.

- **Niger** : Les données sur les prélèvements mentionnent le forage et l'aquifère capté selon les villes et les régions.

- **Mali** : Les données des prélèvements sont fournies par localité et par région. Les agences nationales de distribution d'eau potable ne notifient pas l'aquifère capté selon l'ouvrage désigné. Cependant, la Direction Nationale de l'Hydraulique (Service d'Inventaire des Ressources Hydrauliques) a enregistré ces points d'eau dans la base nationale SIGMA. Le cas de ASONGO est particulier. Les données ne sont pas précises ; elles sont fournies dans leur globalité. De plus, SIGMA contient des données sur la piézométrie par aquifère capté, et les données sur les caractéristiques des forages.

- **Nigeria**: Le Nigeria a noté le type de données importantes qui devraient être retenues pour les besoins de la modélisation. Cette collecte des données sera effective dès le retour à Abuja.

Le suivi des nappes pour améliorer la piézométrie des aquifères a suscité un débat sur la contribution de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA). L'Agence a équipé les pays en matériels scientifiques notamment les enregistreurs automatiques pour suivre en continu la variation du niveau des nappes.

Le Niger a présenté une carte des seize (16) enregistreurs automatiques qu'il a reçus. Ils ont été installés sur des ouvrages d'exploitation. Il n'existe pas de piézomètre prévu pour la circonstance. Les puits ne sont pas toujours appropriés.

Des fichiers types ont été élaborés, représentant les formats de données piézométriques, géologiques, d'exploitation et des caractéristiques hydrodynamiques. Ces fichiers seront complétés par les représentants des pays et envoyés à l'OSS.

Les représentants ont reconnu en la modélisation hydrogéologique une démarche permettant d'avoir un état homogène des connaissances sur les ressources en eau à l'échelle du bassin, dans la transparence et la complémentarité des efforts. De même qu'ils ont été convaincus que cette approche permet de quantifier les risques hydrogéologiques transfrontaliers tout en dotant les pays d'un outil de suivi et de planification de ses ressources en eau.

Les participants ont souligné l'importance de certaines données qui ont toujours été ignorées dans les Bases de données nationales et sans lesquelles, il serait difficile d'évaluer le potentiel hydraulique des aquifères et d'assurer leur gestion planifiée. En effet, le volume des ressources en eau renouvelables et non renouvelables mentionné dans les documents de politiques et stratégies dans les pays fut évalué sur des bases très approximatives et il est resté le même sans vérification à l'aide de méthodes plus précises et plus performantes.



C'est le cas des aquifères du SAI dont le suivi n'a pu être que sporadique et discontinu et dont les ressources exploitables n'ont pas été évaluées avec précision.

#### **4 – Recommandations :**

Satisfaits par l'apport de cette session de formation, et convaincu de la nécessité de poursuivre la dynamique engagée, les participants des trois pays ont formulé, à l'issue de l'atelier, quelques recommandations ci-après listées :

1. acquisition des logiciels appropriés qui serviront de support aux techniciens des pays pour assurer une gestion effective des ressources en eau du SAI ; ces outils sont utilisés pour l'élaboration des bases de données, des cartes thématiques, des corrélations géologiques et des modèles hydrogéologiques (Access, Arcview, Rockworks, Processing Modflow) ;
2. organisation de sessions de formation sur les logiciels dont seront équipées les administrations des pays ;
3. acquisition d'équipements scientifiques (PC et accessoires (imprimante et scanner)) pour le stockage et le traitement des données (bases de données) ainsi que pour la élaboration du modèle du SAI et son utilisation dans des applications spécifiques aux besoins de la planification nationale ;
4. établissement de liaisons de communication entre les pays et l'OSS par l'installation de la ligne Internet spécialisée permettant l'échange rapide des données et le travail en groupe à distance ;
5. organisation de la prochaine session de formation en modélisation avant la fin de l'année en vue de valider le calage du modèle en régime permanent.



**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 <b>NIAMEY</b>	Fixe : +227 20 723889 Cel : +227 96 975190	+227 72 4015	<a href="mailto:koumoussa@yahoo.fr">koumoussa@yahoo.fr</a>
	SANOUSSE Rabé		+227 72 3889 Cel : +227 592204		<a href="mailto:rsanoussi2001@yahoo.fr">rsanoussi2001@yahoo.fr</a>
MALI	BOUARE Damassa	Direction Nationale de l'Hydraulique BP66 – Square Patrice Lumumba - <b>BAMAKO</b>	+223 2214877 +223 2212588 Cel : +223 6162546	+223 221 8635	<a href="mailto:bouaredamassa@yahoo.fr">bouaredamassa@yahoo.fr</a> <a href="mailto:cdidnh@afribone.net.ml">cdidnh@afribone.net.ml</a>
	MAIGA Seïdou		+223 2214877 +223 2212588 Cel : +223 6726879		<a href="mailto:dnhe@afribone.net.ml">dnhe@afribone.net.ml</a>
NIGERIA	CHABO John	Federal Ministry of Water Resources Area 1, Garki <b>ABUJA</b>	+234-9-2342520	+234-9-2343714	<a href="mailto:johnchabo@yahoo.com">johnchabo@yahoo.com</a>
	JABO Stephen				<a href="mailto:stephenjabo@yahoo.com">stephenjabo@yahoo.com</a>
TUNISIE	MAMOU Ahmed	Observatoire du Sahara et du Sahel Boulevard du Leader Yasser Arafat BP 31 – 1080 Chargaia. <b>TUNIS</b>	+216 71 206633	+21671 206636	<a href="mailto:Ahmed.mamou@oss.org.tn">Ahmed.mamou@oss.org.tn</a>
	DODO Abdel Kader				<a href="mailto:Abdelkader.dodo@oss.org.tn">Abdelkader.dodo@oss.org.tn</a>
	BABA SY Lamine				<a href="mailto:Lamine.babasy@oss.org.tn">Lamine.babasy@oss.org.tn</a>





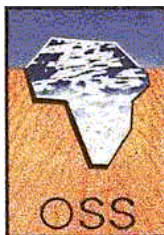
## Annexe 2 : Programme des activités de la formation

**Période :** Du 18 au 29 avril 2006    **Lieu :** Dans les locaux de l'OSS  
**Durée :** Deux semaines    **Participants :** Six (6), soit Deux (2) représentants par pays.

### AGENDA :

<b>Semaine 1 : Principes et outils de modélisation du SAI + Exemple du SASS</b>		
<b>1. Rappel des principes de l'hydrogéologie (1 jour)</b>		
Lundi	09h – 10h30	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Domaine de référence, terminologie et grandeurs fondamentales</li> <li>➤ Lois de l'hydrodynamique en milieu poreux saturé</li> <li>➤ Équations d'écoulement et transport</li> <li>➤ Principes des modèles hydrodynamiques</li> <li>➤ Résolution des systèmes linéaires d'équations d'écoulement (méthodes de discrétisation, modèles conceptuels, conditions aux limites, écoulements permanent et transitoire, calibrage)</li> </ul>
	11h – 12h30	
	14h-16h	
<b>2. Processing Modflow (PM 5) et ses fonctionnalités (2 jours)</b>		
Mardi	09h – 10h30	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Les principes de base (Conceptualisation, Construction, Calage, Simulation, Sensibilité)</li> <li>➤ Fonctionnalités de PM5 (Maillage, Conditions aux limites, Pompages, Injections)</li> <li>➤ Application sur un système simple (Zone de recharge du SAI, : Recharge)</li> </ul>
	11h – 12h30	
	14h-16h	
Mercredi	09h – 10h30	
	11h – 12h30	
	14h-16h	
<b>3. Application (suite) et Présentation du modèle existant du SASS (3 jours)</b>		
Jeudi	09h – 10h30	Le modèle de la nappe du Continental intercalaire du SASS : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Modèle conceptuel,</li> <li>○ Choix d'un état de référence,</li> <li>○ Conditions aux limites,</li> <li>○ Construction du modèle :               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaboration du maillage,</li> <li>• Introduction des données.</li> </ul> </li> <li>○ Calage en régime permanent</li> <li>○ Calage en régime transitoire</li> <li>○ Révision</li> <li>○ Questions diverses</li> </ul>
	11h – 12h30	
	14h-16h	
Vendredi	9h – 10h30	
	11h – 12h30	
	14h-16h	
Samedi	9h – 10h30	
	11h – 12h30	

Semaine 2 : Construction du modèle élémentaire du SAI (6 jours)		
Lundi	09h – 10h30	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Modèle conceptuel,</li> <li>➤ Conditions aux limites,</li> <li>➤ Mise en forme des données : Données de base (Niveaux Piézométriques, Paramètres hydrodynamiques, Prélèvements...)</li> <li>- recharge,</li> <li>- historiques d'exploitation,</li> <li>- historiques piézométriques,</li> <li>- transmissivités,</li> <li>- coefficients d'emmagasinement.</li> <li>➤ Choix d'un état de référence</li> <li>➤ Construction du modèle : <ul style="list-style-type: none"> <li>- élaboration du maillage,</li> <li>- introduction des données</li> </ul> </li> <li>➤ Calage du modèle en régime permanent</li> <li>➤ Synthèse et critiques des résultats</li> </ul>
	11h – 12h30	
	14h-16h	
Mardi	09h – 10h30	
	11h – 12h30	
	14h-16h	
Mercredi	09h – 10h30	
	11h – 12h30	
	14h-16h	
Jeudi	09h – 10h30	
	11h – 12h30	
	14h-16h	
Vendredi	09h – 10h30	
	11h – 12h30	
	14h-16h	
Samedi	09h – 10h30	
	11h – 12h30	



### Annexe 3 : Modèle conceptuel du SAI

Age		Mali		Niger		Nigeria		
		Groupe	Formation	Groupe	Formation	Groupe	Formation	
Quaternaire		Quaternaire	Alluvions, dunes <b>Aquifère</b>	Quaternaire	Alluvions, dunes <b>Aquifère</b>	Quaternary	Alluvium <b>Aquifère</b>	
Tertiaire	Pliocène	Continental Terminal	sablo – gréseux et argileux <b>Aquifère</b>	Continental Terminal CT <sub>3</sub>	Série des grès argileux du Moyen Niger ( <b>Aquifère</b> )	Continental Terminal	Gwandu <b>Aquifère</b>	
	Miocène			Continental Terminal CT <sub>2</sub>	Série argilo-sableuse à lignite - <b>Aquifère</b>			
	Oligocène			Continental Terminal CT <sub>1</sub>	Série Sidérolithique - <b>Aquifère</b>			
	Eocène	Eocène moyen	schistes		Schistes papyracés supérieurs - <b>Aquitard</b>	Sokoto	Kalambaina	
	Paléocène	Paléocène terminal	calcaire et marno – sableux avec	Formation de Garadawa -	Calcaires - <b>Aquifère</b>		Dange <b>Aquitard</b>	
		Paléocène inférieur	calcaire - sable	Paléocène marin	Schistes papyracés inférieurs - <b>Aquitard</b>			
	Crétacé - Jurassique	Crétacé Supérieur	Maestrichtien - Cénomanién	grès – argileux <b>Aquifère</b>	Grès supérieur	Grès d'Im Wouagar	Rima (Maestrichtien)	Wurno <b>Aquifère</b>
					Sénonien Moyen	Argiles de Doutchi Zana - <b>Aquitard</b>		
				Sénonien Moyen (Grès Inférieur)	Silts de Bouza			Taloka <b>Aquifère</b>
				Sénonien inférieur	Argiles du Sénonien Inférieur - <b>Aquitard</b>			
			Turonien	Calcaires blancs				
		Cénomano-turonien	Argiles Sénomano-turonien - <b>Aquitard</b>					
Crétacé Inférieur		Continental intercalaire	Grès quartzitique, micro conglomératique, arkoses, sable, argiles Tégama <b>Aquifère</b>	Continental intercalaire (Jurassique-Albien) <b>Aquifère</b>	Continental Hamadien	Continental intercalaire / Continental Hamadien	Gundumi & Illo <b>Aquifère</b>	
Trias-Jurassique - Précambrien		Trias-Jurassique - Précambrien / <b>Aquitard</b>		Argile de l'Irazer / Socle	Précambrien			
Paléozoïque		Précambrien	Birimien					

#### Annexe 4 : Modèle conceptuel du SAI (détaillé)

Age		Mali		Niger		Nigeria		
		Groupe	Formation	Groupe	Formation	Groupe	Formation	
Quaternaire		Quaternaire	Alluvions, dunes <b>Aquifère</b>	Quaternaire	Alluvions, dunes <b>Aquifère</b>	Quaternary	Alluvium <b>Aquifère</b>	
Tertiaire	Pliocène	Continental Terminal	sablo – gréseux et argileux <b>Aquifère</b>	Continental Terminal CT <sub>3</sub>	Série des grès argileux du Moyen Niger ( <b>Aquifère</b> )	Continental Terminal	Gwandu <b>Aquifère</b>	
	Miocène			Continental Terminal CT <sub>2</sub>	Série argilo-sableuse à lignite - <b>Aquifère</b>			
				Aquitard				
	Oligocène			Continental Terminal CT <sub>1</sub>	Série Sidérolithique - <b>Aquifère</b>			
	Eocène	Eocène moyen	schistes		Schistes papyracés supérieurs - <b>Aquitard</b>	Sokoto	Kalambaina	
		Paléocène	Paléocène terminal	calcaire et marno – sableux avec	Formation de Garadawa -		Calcaires - <b>Aquifère</b>	
	Paléocène inférieur		calcaire - sable	grès – argileux <b>Aquifère</b>	Paléocène marin	Schistes papyracés inférieurs - <b>Aquitard</b>	Dange <b>Aquitard</b>	
	Crétacé - Jurassique	Crétacé Supérieur	Maëstrichtien - Cénonanien		Grès supérieur	Grès d'Im Wouagar	Rima (Maëstrichtien)	Wurno <b>Aquifère</b>
					Sénonien Moyen	Argiles de Doutchi Zana - <b>Aquitard</b>		Dukamaje <b>(Aquifère)</b>
					Sénonien Moyen (Grès Inférieur)	Silts de Bouza		Taloka
Sénonien inférieur					Argiles du Sénonien Inférieur - <b>Aquitard</b>	<b>Aquifère</b>		
Crétacé Inférieur		Continental intercalaire	Grès quartzitique, micro conglomératique, arkoses, sable, argiles Tégama <b>Aquifère</b>	Continental intercalaire (Jurassique-Albien) <b>Aquifère</b>	Continental Hamadien	Continental intercalaire / Continental Hamadien	Gundumi & Illo <b>Aquifère</b>	
					Argiles du Farak			
					Grès de Tégama			
Trias-Jurassique - Précambrien			Trias-Jurassique - Précambrien / <b>Aquitard</b>	Argile de l'Irazer / Socle	Précambrien			
Paléozoïque		Précambrien Birrimien						

**Annexe 5 : Format des données géologiques**

ID	X	Y	Z	Quat	Plioc	Mioc	Olig	Eoc	Pal	Sen	Tur	Cen	CI	Jur	Trias	Palz	TD
Ibeceten	5.8611	15.2344	400	400	394	394	394	394	394	394	394	247	227	165	165	165	165
Chin Salatine	6.2475	16.4631	450	450	447	447	447	447	447	447	447	412	337	245	245	245	245

**Annexe 6 : Format des données (caractéristiques hydrodynamiques)**

Localité / Locality	X_deg- decimaux	Ydeg- decimaux	Aquifère / Aquifer	Année de mesure / Date of measurement	Débit (M3/s)	Rabattement (m)	Epaisseur aquifère	K (m/s)	T (M2/s)	S	Source / Reference	Observations
				1950								
				1951								
				1980								

**Annexe 7 : Format des données d'exploitation**

Aquifère / Aquifer	Type d'ouvrage / Well Type	X (deg- decimaux)	Y (deg- decimaux)	Altitude (m)	Année de mesure / Date of measurement	Niveau statique / Static level	Niveau piezométrique / Piezometric level	Source / Reference	Observations
					1950				
					1951				
					1980				

**Annexe 8 : Format des données piézométriques**

Localité / Locality	X_deg- decimaux	Ydeg- decimaux	Aquifère / Aquifer	Année de mesure / Date of measurement	Débit (M3/s)	Rabattement (m)	Epaisseur aquifère	K (m/s)	T (M2/s)	S	Source / Reference	Observations
				1950								
				1951								
				1980								