

SYSTEME AQUIFERE DU SAHARA SEPTENTRIONAL

Gestion commune d'un bassin transfrontière



RESULTATS DE LA PREMIERE PHASE DU SASS

JUIN 2003

OBSERVATOIRE DU SAHARA ET DU SAHAEL

SYSTEME AQUIFERE DU SAHARA SEPTENTRIONAL

Gestion commune d'un bassin transfrontière

RESULTATS DE LA PREMIERE PHASE DU SASS

JUIN 2003

OBSERVATOIRE DU SAHARA ET DU SAHEL

© 2003/Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS)

Observatoire du Sahara et du Sahel
Boulevard de l'Environnement – BP 31 Tunis Cedex
Tel. + 216 71 806 522 – Fax. + 216 71 807 310
E-mail : boc@oss.org.tn - URL : <http://www.unesco.org/oss>

SOMMAIRE

1 – QU'EST CE QUE LE SYSTEME AQUIFERE DU SAHARA SEPTENTRIONAL.	5
PROBLEMATIQUE DU « PROJET SASS ».	5
2. LES OBJECTIFS DU PROJET SASS	8
3. LES RESULTATS OBTENUS	8
3.1 - L'hydrogéologie et la base de données SASS	8
3.1.1 <i>L'hydrogéologie</i>	8
3.1.2 <i>La base de données SASS</i>	12
3.2 - Le modèle SASS	15
3.3 – Le mécanisme de concertation	20
4- CONCLUSIONS : GESTION DURABLE DU SASS	23

RESUME

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional [SASS], partagé par l'Algérie, la Tunisie et la Libye, renferme des réserves d'eau considérables, qui ne sont pas exploitables en totalité et se renouvellent peu. Le SASS s'étend sur un Million de Km² ; il comprend les deux grandes nappes du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal. Au cours des trente dernières années, l'exploitation par forages est passée de 0,6 à 2,5 milliards de m³/an. Les usages sont l'agriculture, pour l'irrigation des oasis, l'alimentation en eau des villes et les industries, notamment pétrole et tourisme .

L'intense évolution de l'exploitation des aquifères du SASS se trouve confrontée à de nombreux risques: **fortes interférences entre pays, salinisation des eaux, disparition de l'artésianisme, tarissement des exutoires, hauteurs de pompage excessives** ... Les simulations réalisées sur le Modèle du SASS ont mis en évidence les zones les plus vulnérables. Le secteur le plus exposé est le bassin des chotts : c'est là où se trouvent les plus fortes densités de population, et où la pression sur la ressource est la plus forte . Les calculs effectués ont clairement montré que la simple poursuite des prélèvements actuels entraînerait, à l'horizon 2050, des rabattements supplémentaires inacceptables pour la nappe.

Les investigations effectuées sur le modèle montrent qu'il existe des possibilités d'augmenter encore substantiellement le niveau d'exploitation du SASS, mais au prix d'une rupture avec les régions traditionnelles d'exploitation : 80% des prélèvements additionnels se feraient dans des régions «nouvelles» et éloignées : Grand Erg Occidental, confins de l'Erg Oriental. Mais des incertitudes subsistent sur la connaissance du système, qui nécessiteront d'entreprendre de nouvelles investigations .

Les trois pays concernés par le devenir du SASS sont amenés à rechercher ensemble une forme de gestion commune du Bassin . Le point de départ est la nécessité de maintenir et de développer la base de données commune et le modèle : la mise en place d'un mécanisme institutionnel de concertation s'avère nécessaire, sa mise en œuvre devant se faire d'une manière progressive .

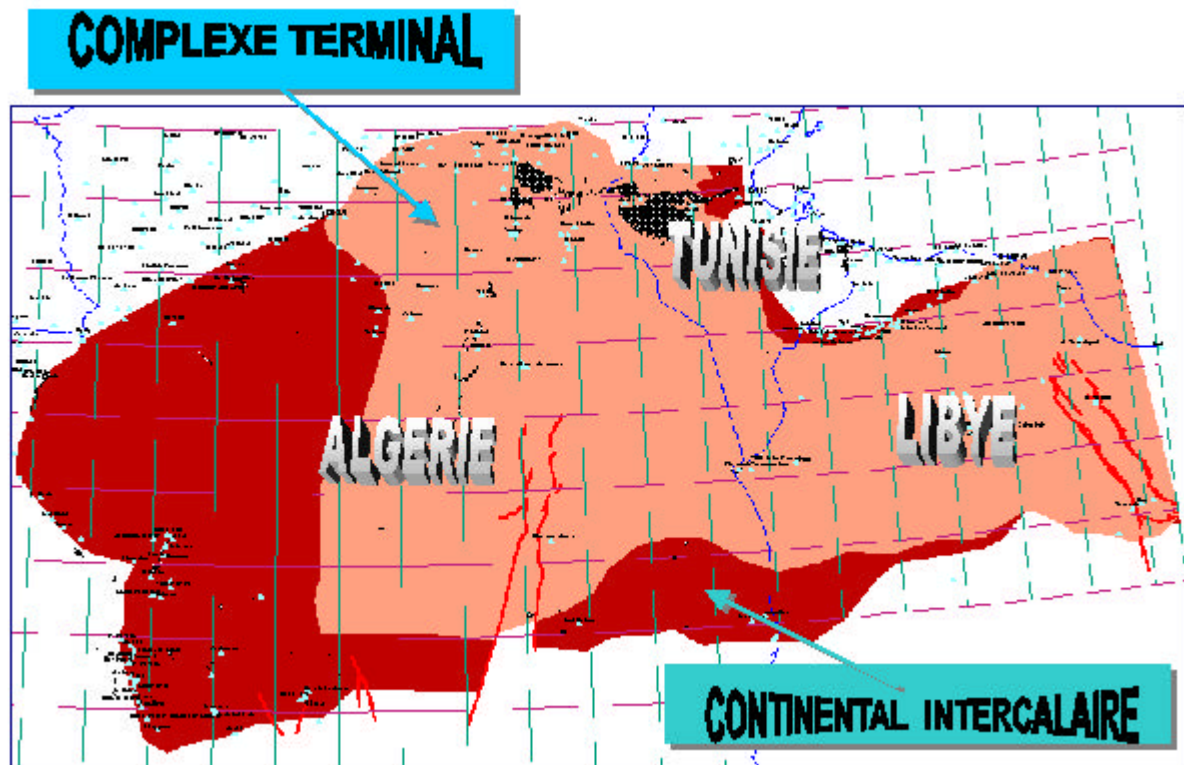
La présente note rend compte de l'ensemble des travaux réalisés, de Juillet 1999 à Décembre 2002, pour la mise en oeuvre des différentes composantes du projet SASS : **Acquisition, Analyse et Synthèse des données hydrogéologiques ; Elaboration de la Base de Données commune et du Système d'Informations ; Développement et Exploitation du Modèle Mathématique du SASS ; Mise en Place d'un Mécanisme de Concertation pour la gestion commune du bassin.**

1 – Qu'est ce que le Système aquifère du Sahara Septentrional. Problématique du « projet SASS ».

Le **Système aquifère du Sahara Septentrional** [SASS] occupe une superficie d'un peu plus d'un million de km² dans la partie occidentale de l'Afrique du Nord : environ 700 000 km² en Algérie, 80 000 km² en Tunisie et 250000 km² en Libye. Ce sont des dépôts continentaux dans lesquels on distingue deux principales formations aquifères : celle du « **Continental Intercalaire, ou CI** » et celle du « **Complexe Terminal, ou CT** ». Le gisement géologique est constitué de couches datant de l'ère secondaire et tertiaire : Jurassique et Crétacé inférieur pour le Continental Intercalaire, et du Crétacé supérieur au Mio- Pliocène pour le Complexe Terminal.

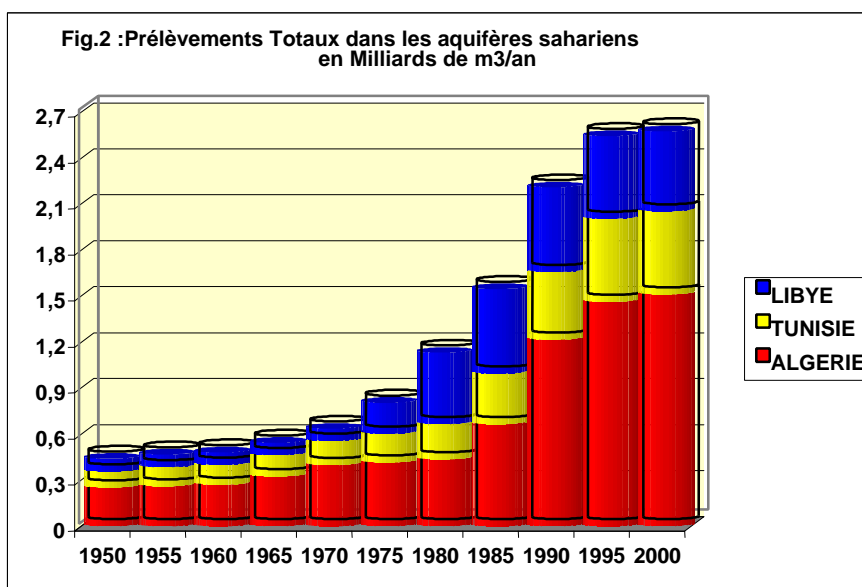
La mise en place de ces réserves d'eau s'est effectuée sur plusieurs milliers, voire dizaines de milliers d'années . Un écoulement souterrain complexe se manifeste en surface par des sources et des foggaras, exploitées depuis des temps lointains, et qui ont donné naissance à des oasis bien connus dans les trois pays concernés. Le SASS constitue un énorme réservoir d'eau dont le volume est estimé à 30.000 Milliards m³. Toute cette eau n'est hélas pas utilisable . La recharge du système est de l'ordre de un milliard de m³ par an. Il s'agit donc d'une ressource naturelle faiblement renouvelable.

Fig.1 : extension des principales formations aquifères du SASS



Depuis plus d'une cinquantaine d'années, on a commencé à exploiter cette ressource : les prélèvements sont passés de 600 hm³/an en 1970 à environ 2,5 milliards de m³/an en 2000 ; Ces quantités sont utilisées à des fins agricoles pour l'irrigation, pour l'eau potable et pour l'industrie (exploitation du pétrole, tourisme). Le nombre de points d'eau inventoriés a atteint 8800, forages et sources : 3500 au Continental Intercalaire et 5300 au Complexe Terminal. Par pays, ces points se répartissent ainsi : 6500 en Algérie, 1200 en Tunisie et 1100 en Libye.

Dans les trois pays concernés les administrations responsables de l'eau sont en charge de la gestion de cette ressource : ce sont respectivement l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques) en Algérie, la DGRE (Direction Générale des Ressources en Eau)en Tunisie et la GWA (General Water Authority) en Libye. Les utilisateurs sont les agriculteurs traditionnels qui cultivent les oasis, ceux qui pratiquent la céréaliculture irriguée, les éleveurs qui bénéficient de points d'eau ou forages, des maraîchers, les habitants des villes, des industries, notamment les exploitants de pétrole . En général l'administration fait les investissements nécessaires à la mise à disposition de l'eau. Des systèmes traditionnels ou modernes en assurent la distribution .



La problématique du SASS, c'est à dire la question essentielle qui se pose maintenant, est celle de la meilleure utilisation possible de ce réservoir d'eau dans une optique de durabilité, sachant qu'un certain nombre de problèmes se posent de plus en plus sérieusement :

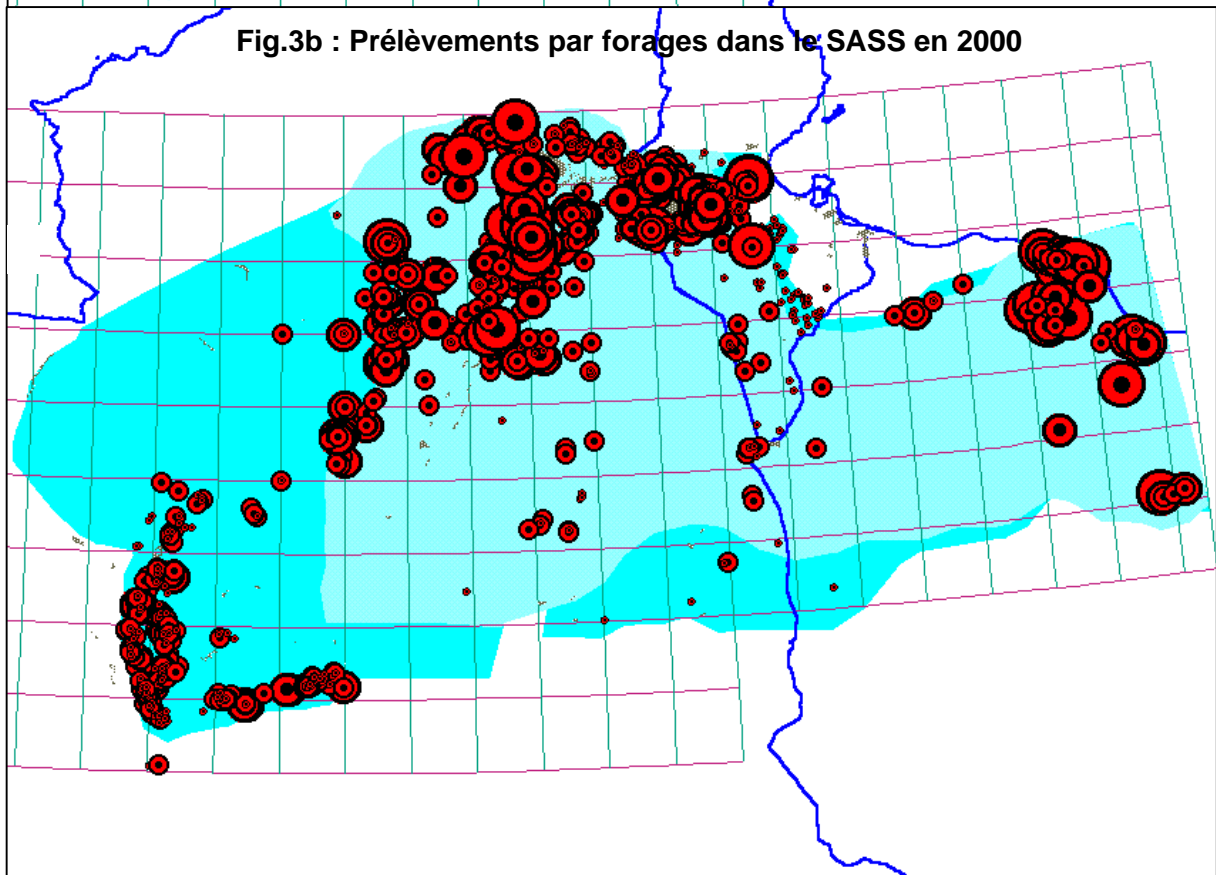
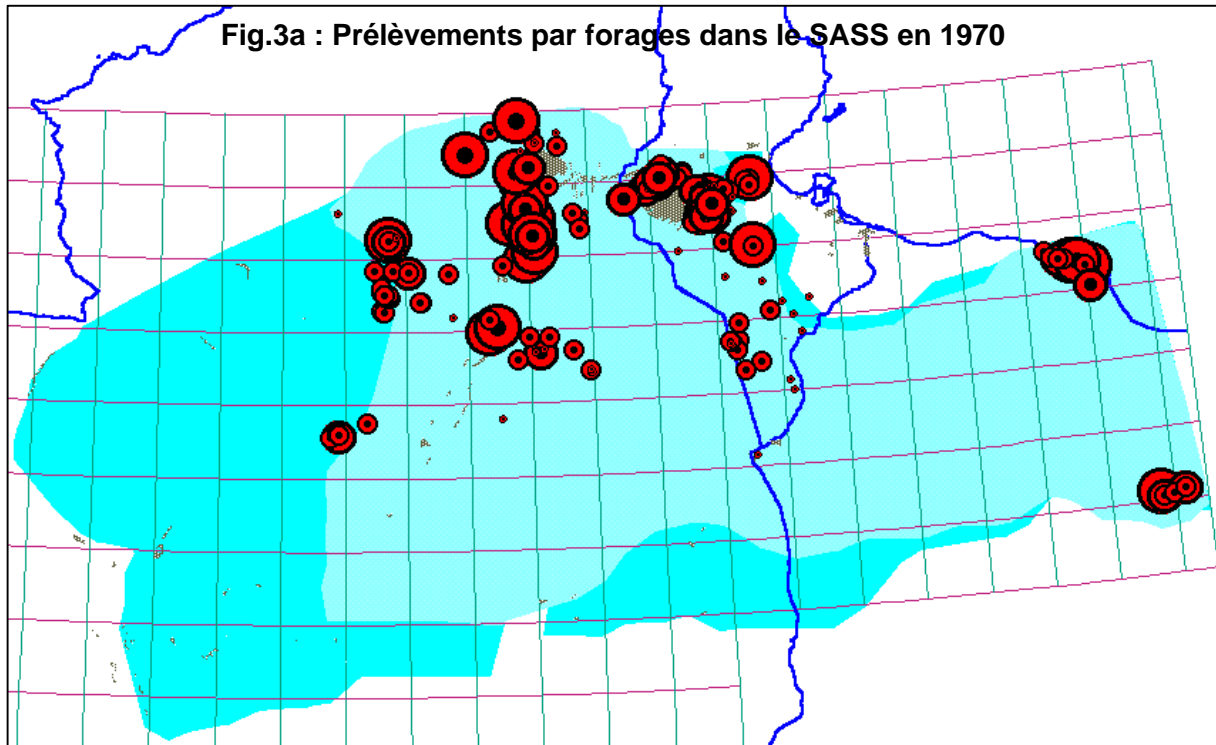
- à force de pomper dans les deux systèmes le niveau de l'eau baisse régulièrement, et le coût du pompage augmente ;
- les exutoires naturels tarissent (sources, puits artésiens);
- on s'est aperçu que pomper en un lieu avait des répercussions sur le reste de la nappe . Les interférences entre différents points du bassin sont parfois très importantes ;
- l'irrigation des cultures céréalières en milieu aride peut avoir des conséquences graves sur la salinisation des sols et rendre ceux-ci improductifs ;
- sous l'effet du pompage, le risque de détérioration de la qualité de l'eau et d'accroissement de sa salinité est grand ;
- à ces risques viennent s'ajouter des problèmes locaux de drainage des eaux,

Les responsables des trois pays ont pris conscience de ces risques à la fin des années 60 et en 1972 un grand programme algéro-tunisien, l'ERESS, a permis de procéder à une première modélisation de l'exploitation de cet aquifère sur la base des prélèvements dans les deux pays et de prévisions d'utilisation.

Vingt ans plus tard, l'Observatoire du Sahara et du Sahel "OSS" organisait au Caire, en 1992,le premier atelier de travail sur les aquifères des grands bassins, suivi d'un autre atelier en 1994, au Caire également, consacré aux impacts économiques et environnementaux de l'exploitation de ces aquifères. C'est dans le cadre global du programme OSS intitulé

« aquifères des grands bassins » que le projet spécifique « **SASS** » est né après une série de séminaires et d'ateliers nationaux entre 1994 et 1997. Un document de projet a été adopté lors d'un séminaire organisé à Tunis en septembre 1997 à l'issue duquel l'OSS a été chargé de la maîtrise d'ouvrage du programme et de la recherche de financements.

En 1998 l'OSS a obtenu l'appui de la coopération suisse, du FIDA et de la FAO pour une première phase de trois ans qui a été lancée officiellement en mai 1999 à Rome.



2. Les objectifs du projet SASS

Les objectifs du projet SASS ont été ainsi définis :

- **apporter une valeur ajoutée aux modèles précédents**, notamment l'ERESS, en intégrant la partie libyenne et en exploitant les données et les études qui se sont accumulées en trente ans ;
- faire une évaluation des volumes d'eau exploitables et **mettre au point un modèle mathématique** de gestion en associant en permanence les compétences nationales des trois pays et en tenant compte des politiques nationales ;
- réaliser **une base de données commune aux trois pays** destinée à valoriser l'information et être un outil d'échange ; cette base de données devrait préfigurer un futur « **observatoire du SASS** » ;
- organiser des **séminaires thématiques et de formation regroupant les techniciens des trois pays** travaillant sur un même système, pour la mise à jour des informations et les échanges d'expériences ;
- **actualiser les états des prélèvements** ;
- mettre en place un **mécanisme de concertation** destiné à institutionnaliser le cadre de coopération créé par le programme, rendre durable les programmes d'actualisation des informations, d'échanges et de suivi et concrétiser la « conscience de bassin » qui a progressivement vu le jour à la suite des ateliers entrepris par l'OSS dès les années 90.
- Susciter des réflexions quant à **la durabilité de cette ressource**, à l'optimisation de son exploitation, aux liens avec la lutte contre la désertification, l'amélioration du niveau de vie des habitants et la coopération régionale.

Ce projet a nécessité une coopération de tous les instants entre les trois autorités responsables de l'eau dans les trois pays et la constitution d'une équipe du projet SASS, à Tunis, composée de spécialistes des trois pays .

Les objectifs exposés ci-dessus ont été déclinés en « activités » détaillées, portant sur trois composantes : une composante « **système d'information** », dont les principaux résultats sont exposés dans le paragraphe 3-1 « **l'hydrogéologie et la base de données SASS** », une composante « **modèles de gestion** » et « **simulations exploratoires** », dont les résultats sont exposés dans le paragraphe 3-2 « **le modèle SASS** », enfin une composante « **mécanisme de concertation** », exposée dans le paragraphe 3-3.

3. Les résultats obtenus

3.1 - L'hydrogéologie et la base de données SASS

3.1.1 L'hydrogéologie

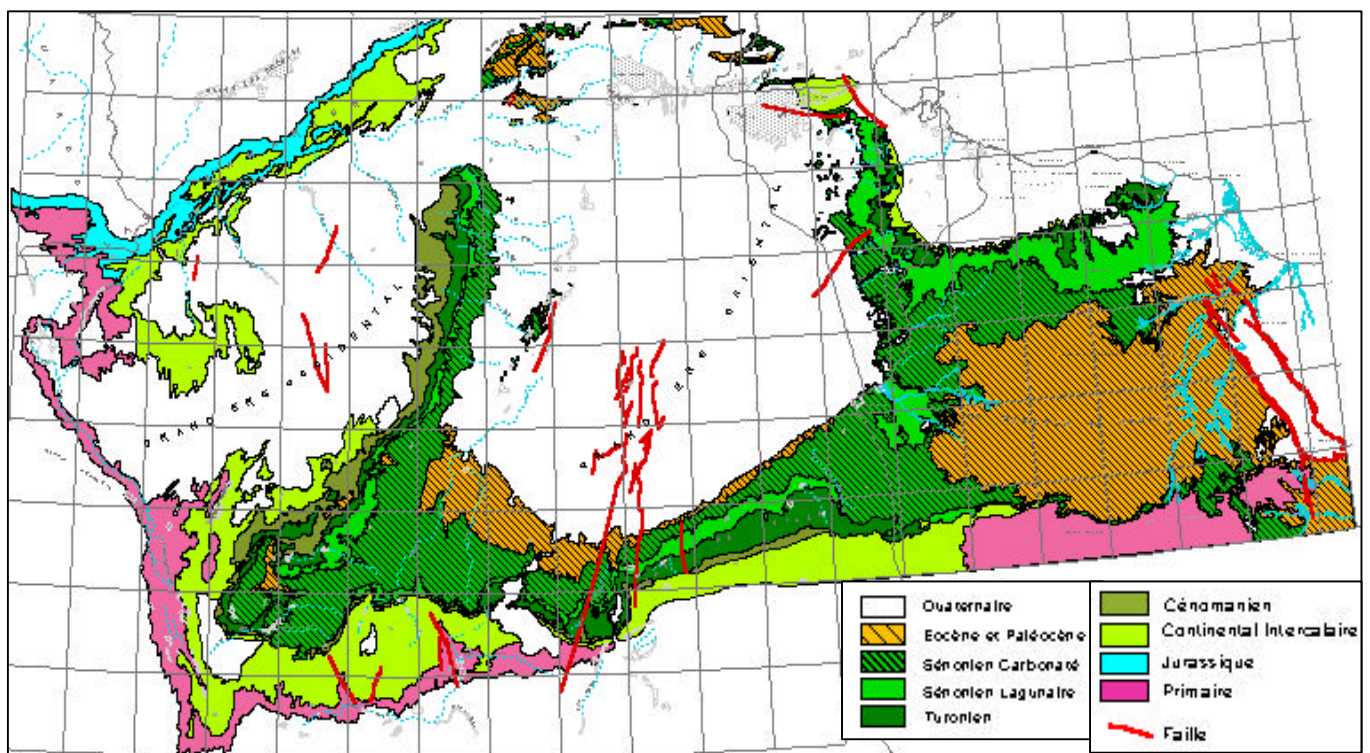
Le projet SASS a permis d'améliorer la connaissance géologique du bassin dans son ensemble et celle des sous-bassins du grand Erg occidental, de l'exutoire tunisien et de la Hamada El Hamra, grâce à de nouveaux sondages et de nouvelles études hydrogéologiques .

Une étude historique sur 50 ans (1950 – 2000) de la **piézométrie** (côte du niveau d'eau mesurée dans des sources ou des forages), de la **salinité** de l'eau et de son **exploitation**, d'analyses chimiques et isotopiques, et des mesures de la **transmissivité** (aptitude du sol à transmettre des débits d'eau) ont permis cette synthèse.

Les formations aquifères du SASS ont été définies avec une précision suffisante par corrélation stratigraphique des couches du bassin. L'extension des aquifères dans ces couches a été précisée et la carte des affleurements des principales formations aquifères a été dressée. Des coupes Nord-Sud et Est-Ouest ont mis en évidence les corrélations entre différents points du bassin.

La **géométrie des principaux aquifères** a été définie en précisant l'épaisseur des couches saturées d'eau dans les différentes zones, soit la différence entre le « mur », c'est à dire la base de la couche aquifère, et la surface piézométrique; les **coefficients d'emmagasinement** (capacité de stockage-déstockage) par couche ont été aussi caractérisés.

Fig. 4 : Carte Géologique du bassin du SASS

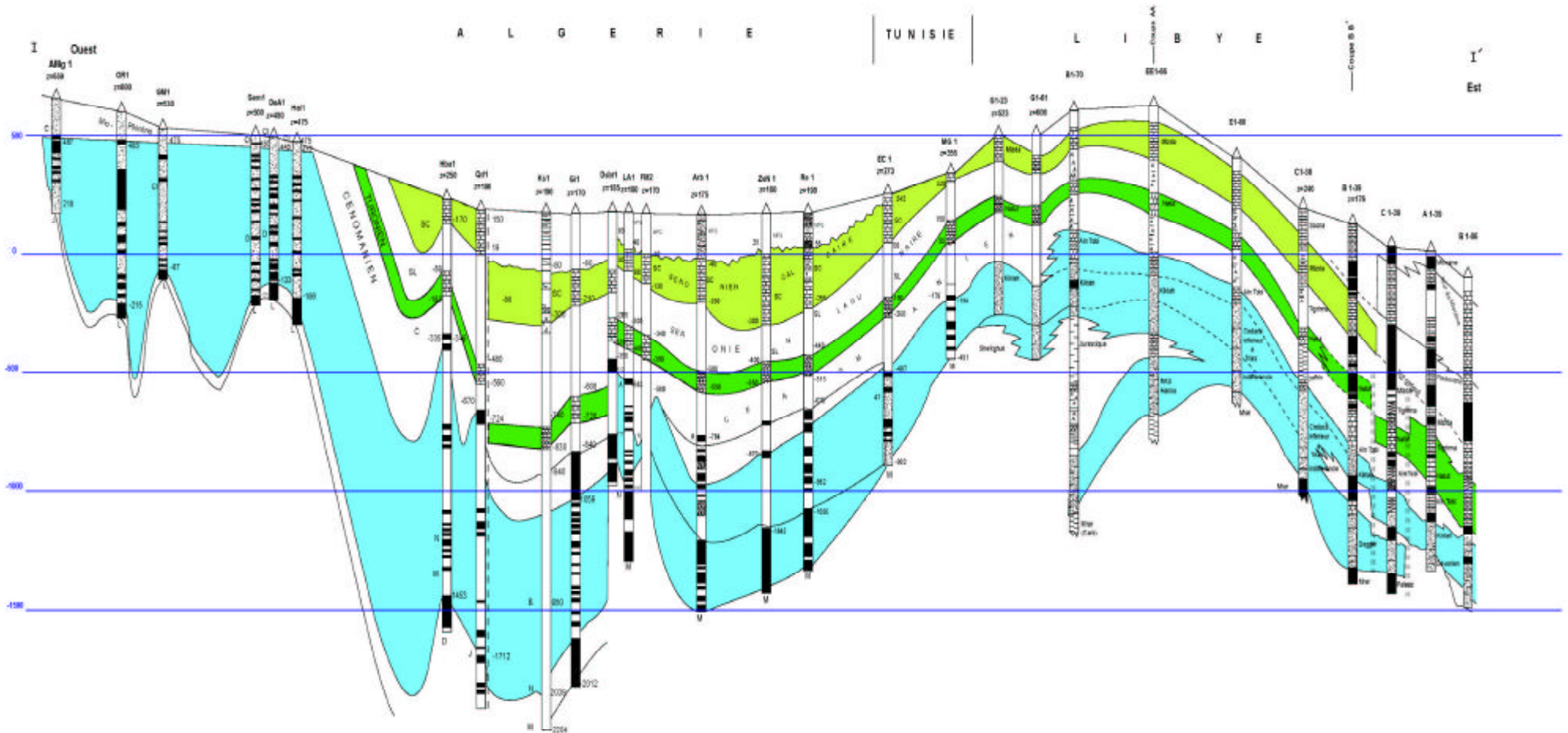


Un autre résultat est une meilleure connaissance des exutoires et des zones qui contribuent à la recharge (l'alimentation) des nappes comme l'Atlas Saharien, le Dahar, le Dj. Nefussa.

Le résultat de cette connaissance approfondie de l'hydrogéologie du bassin est une schématisation des aquifères en vue de la réalisation du modèle mathématique. Une alternance de couches perméables ayant entre elles des liaisons hydrauliques forment des « aquifères », d'épaisseur variable, avec des couches moins perméables, que l'on appelle « aquitards ».

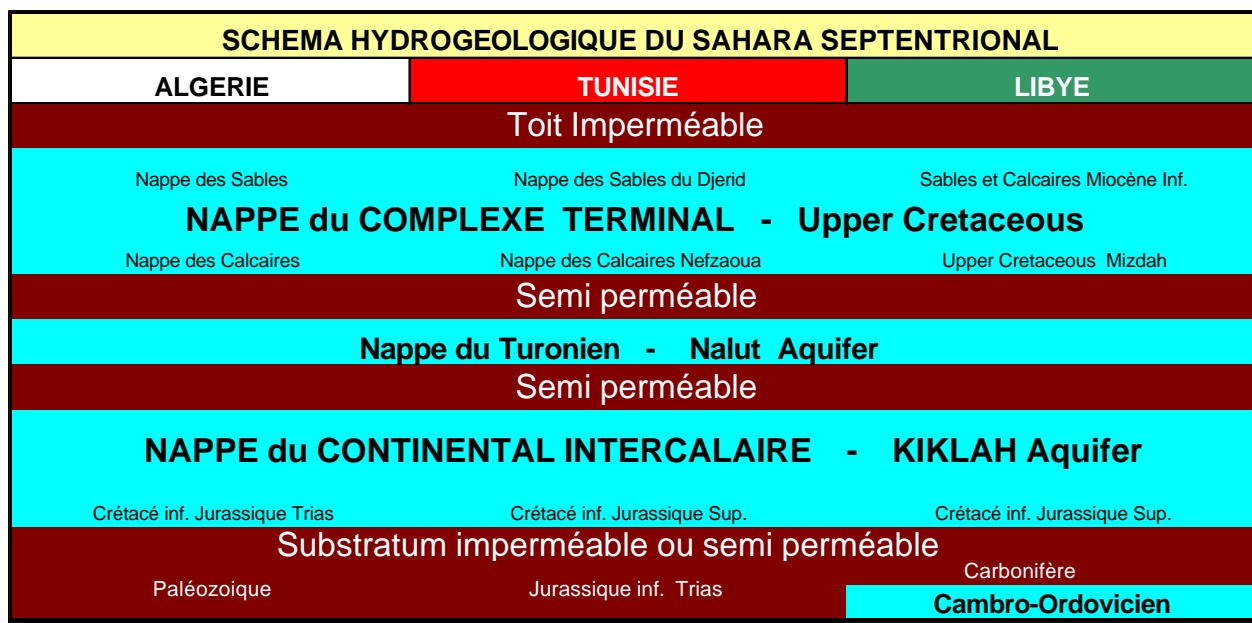
Le bassin saharien est une grande entité sédimentaire multicouche . L'adoption d'une représentation de l'ensemble des couches « aquifères – aquitards » en un système multicouche a permis de rendre compte des liaisons latérales et verticales qui conditionnent les échanges hydrauliques et chimiques, et donc du comportement de système à moyen et long terme. La séquence des couches du SASS est schématisée par le croquis de la fig. 6 .

Fig. 5 : Corrélation ouest- EST du Bassin Occidental à Tawargha
[sources : UNESCO 1972, et Base de Données SASS]



Un autre problème a consisté à définir les limites nord, sud, est et ouest des différentes couches aquifères afin de bien délimiter le domaine d'application du modèle. **L'hydrodynamique du SASS a été précisée grâce aux relevés piézométriques des points contrôlés et une carte piézométrique de référence a été dressée.** Les secteurs d'alimentation ont été précisés. Les exutoires naturels ont été étudiés dans une optique prévisionnelle compte tenu de la diminution constatée du débit des sources. La carte des transmissivités de tout le bassin a été établie.

Fig.6 : Schéma du Multicouche Saharien

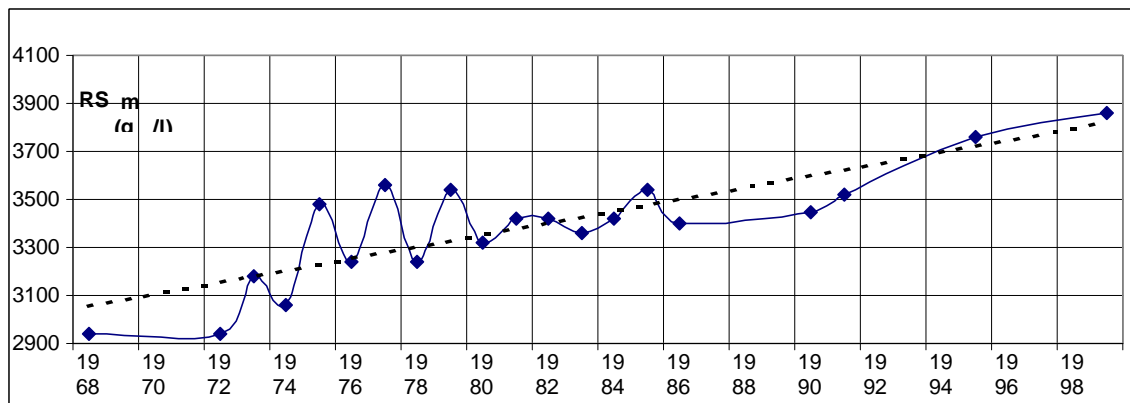


Le projet s'est ensuite attaché à l'analyse des **prélèvements, par aquifère et par pays**, en établissant l'historique des débits. Il a été constaté que la multiplication des forages a eu une influence négative sur les débits artésiens et le jaillissement des sources. Un historique piézométrique de chaque nappe dans les trois pays a été dressé. On en conclut à une baisse piézométrique générale sur l'ensemble du CT et du CI, baisse qui est liée à la multiplication des forages : elle est en moyenne de 25 à 50 mètres.

Le projet a poursuivi les études de qualité chimique des eaux entreprises dans chaque pays, et plus particulièrement de la salinité de l'eau. Il a été constaté un accroissement différencié de celle-ci, qui pourrait être dû aux chotts et au retour des eaux de drainage dans les zones où la couverture de la nappe est peu épaisse.

La composition chimique en ions Ca, Mg, Na, K, SO₄, Cl et HCO₃ a été mise en évidence ainsi que son évolution. Les vitesses de circulation souterraine et les temps de transit ont été étudiés par analyse isotopique (O¹⁸, deutérium). Il est à observer que les eaux du SASS ont été mises en place sur plusieurs dizaines de milliers d'années, lors d'épisodes pluviaux du quaternaire. La zone des chotts algéro-tunisiens étaient alors composée de grandes lagunes deux à trois fois plus étendues que les chotts actuels. Le climat est devenu plus aride et on a assisté à une vidange lente de ces lagunes et du système aquifère. Le système aquifère connaît une décompression de plus en plus importante depuis le début du XX^e siècle .

Fig.7 Evolution du RS des eaux du forage Bou Abdellah 1



3.1.2 La base de données SASS

Les objectifs du projet SASS nécessitent la réalisation d'une base de données spécifique qui d'une part soit capable de reprendre et de reformater les données des trois pays d'une façon homogène et d'autre part absorber une quantité très importante de données nouvelles.

Rappelons qu'une base de donnée, élément constitutif d'un système d'information, est une collection structurée de données relatives à un domaine, gérée par un ou des logiciels spécifiques qui permettent la gestion de la base.

Le Système de Gestion des Bases de Données "SGBD" mis en place est l'outil que va manier l'utilisateur afin d'établir des relations entre les informations qu'il souhaite. Dans le cas du SASS l'entité de base la plus importante sera le « **point d'eau** », en général un forage défini par des paramètres, des unités de mesure: leur origine, leur date d'acquisition, leur localisation, etc...

L'équipe du projet SASS a donc réalisé successivement les phases :

- de **diagnostic de l'existant** dans les trois pays, et des orientations de développement de la base ;
- de **conceptualisation d'un modèle de données** (MCD, modèle conceptuel des données) pour la base;
- de **réalisation** de la base de données, après avoir choisi le SGBD et ses composantes (matériels, logiciels, périphériques,...) ;
- de **mise en œuvre de la base**, avec l'objectif d'assurer sa mise en place simultanément au siège du projet et dans chaque administration responsable de l'eau dans chacun des trois pays.

On mesure la difficulté de la tâche quand on connaît les problèmes d'hétérogénéité des données, dans le temps et dans l'espace, d'habitude de manipulation de tel ou tel système pré-existant dans chacun des trois pays, et de la difficulté d'apprivoiser un nouveau système.

Des choix techniques ont été faits, en tenant compte du format et de l'entrée des données dans le modèle numérique, des tendances technologiques du moment, de l'existant au sein des trois pays et de la simplicité de mise en œuvre et de la maîtrise par les équipes nationales. Compte tenu de la puissance croissante des SGBD de bureautique, le choix s'est porté sur **ACCESS** version 2000 qui permet de manipuler jusqu'à 2 Go, en réseau et en intranet, une bonne sécurisation, un accès multi-utilisateur et la possibilité de migrer vers des systèmes plus lourds comme SQL/SERVER, envisagée par la DGRE et l'ANRH.

Tableau1 : Etapes de mise en place du SI à court et moyen terme

Phase	Niveau régional	Niveau national	Niveau SASS
Pour les besoins du modèle		<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la structure des BD - Harmonisation des codifications - Récupération des données hétérogènes 	<ul style="list-style-type: none"> - Conception d'une base de données commune et d'un SIG sur la zone du SASS - Rassemblement de toutes les données disponibles à ce jour - Mise au point d'outils permettant l'interfaçage avec le modèle numérique
Pour le mécanisme de concertation	Constitution de bases régionales compatibles avec possibilités d'actualisation des BD centrales	<ul style="list-style-type: none"> -Mise au point des mécanismes de mise à jour de la base commune -Intégration de données socio-économiques -SIG plus détaillé 	- Mise au point d'outils de gestion concertée à l'échelle du bassin

Compte tenu de l'importance de la localisation des 9 000 entités de base (les points d'eau) et des traitements géographiques à effectuer, et des sorties cartographiques nécessaires, le SI est complété par un **SIG** (système d'information géographique). Le choix s'est porté sur **ARCVIEW** pour sa simplicité, sa puissance, sa compatibilité avec ACCESS et son usage déjà courant en gestion de l'eau. De plus il permet d'écrire des utilitaires spécifiques d'entrée dans le modèle. On a acquis aussi les extensions SPATIAL ANALYST et IMAGE ANALYST pour faire des interpolations entre les points, des cartes d'isovaleurs, la numérisation et le traitement de cartes scannées. **Le tableau ci-dessous** donne la liste des entités constituant le SI, avec la première d'entre elle, le point d'eau.

Tableau 2 : liste des entités constituant le SI

Entité	Signification
Point d'eau ou ouvrage	Ouvrage d'eau souterraine pouvant être un forage, un puits, une source, un piezomètre, ...
Unité Hydrogéol. ou unité aquifère	Entité naturelle délimitée dans l'espace selon des critères hydrogéologiques. C'est une unité d'évaluation et de gestion des ressources.
Carte Topo	Référence de la feuille dans laquelle le point d'eau a été inventorié. L'identifiant de cette entité consiste en l'échelle + n°de carte
Région Administrat.	Unité administrative de premier niveau (Gouvernorat, wilaya, province)
Zone géophysique	Etendue délimitée ayant subie une étude géophysique. La clé d'accès étant la référence de l'étude.
Utilisateur	Dénomination de l'utilisateur des eaux de l'ouvrage : Nom d'une agglomération, entreprise de distribution d'eau, périmètre irrigué, unité industrielle ou touristique, ...
Destination	Code et dénomination de la destination de l'ouvrage, une fois mis en exploitation.
Type	Type d'ouvrage (forage, puits, source, ...)
Etat	Etat actuel du point d'eau
Objet	Objet du point d'eau au moment de sa réalisation (reconnaissance, exploitation, ...)
Usage	Usage du point d'eau : domestique, irrigation, tourisme, ...
Etage	Etage géologique des couches traversées par le point d'eau (la codification internationale est adoptée suivie du nom local quand il existe)
Couche Lithologique	caractéristiques des formations rencontrées qu'elles soient aquifères ou non.
Stratigraphie	Relation décrivant la stratigraphie des couches traversées par le point d'eau
Tubage	Relation décrivant les équipements du point d'eau
Bassin versant	Entité naturelle de surface
Poste climato	Poste d'observation des paramètres climatologiques
Historique climat	Relation contenant l'historique des valeurs d'observations climatologiques

Entité	Signification
Source pollution	Point identifié susceptible d'engendrer une pollution : rejets urbains, unité industrielle, exploitation agricole, ...
Date	Entité créée pour permettre d'établir des relations avec le point d'eau. Ces relations consistent en les observations et mesures chronologiques (piézométrie, prélèvements, ...).
Piézométrie	Chronique des niveaux piézométriques . la clé d'accès se compose de l'identifiant du point d'eau suivi de la date de mesure.
Prélèvements	Chronique des prélèvements . la clé d'accès se compose de l'identifiant du point d'eau suivi de la date de mesure.
chimie	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.

Le modèle conceptuel des données a été élaboré dans le respect du principe de séparation de la structure des données et des traitements subies par celles-ci. On a considéré que :

- 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 plusieurs utilisateurs ;
- un usager peut être alimenté par plusieurs points d'eau ;
- un point d'eau possède un numéro de maille dans un maillage donné.

On voit que sur un point d'eau on entre de nombreux paramètres comme la climatologie, l'appartenance à un bassin versant, la topographie, la géologie (couches lithologique, stratigraphie, étage, etc...) la piézométrie, les prélèvements, les utilisateurs, la chimie, avec, bien sur, la date d'entrée des données et le lieu précis du point d'eau (coordonnées, entité administrative), l'historique de l'exploitation.

Le SI ainsi constitué permet un certain nombre d'opérations : des **requêtes statistiques** (comme nombre de points d'eau par wilaya et par aquifère, année par année, prélèvements, variation de la piézométrie,...), des **graphiques** (comme l'évolution des prélèvements par aquifère et par année), des **transferts de données**, **l'introduction de nouvelles données**, des vérifications, des tests de cohérence, des **connections BD-SIG et des cartes**.

L'ensemble de ces outils a été appelé « **SAGESSE** », **système d'aide à la gestion des eaux du Sahara Septentrional**. SAGESSE comporte tous les éléments de base pour constituer le tableau de bord du suivi et de l'exploitation des eaux du bassin. On verra plus loin que la liaison de SAGESS avec le modèle SASS permettra, par des simulations appropriées, des prévisions et des perspectives de gestion durable des eaux, but ultime du programme SASS.

En conclusion, on dispose maintenant d'un outil de gestion de très bonne qualité pour chacun des trois pays et fonctionnel dans chaque administration. Les matériels et les logiciels nécessaires à son utilisation ont été acquis et installés dans chaque pays, les personnels formés.

Il y a lieu encore de le perfectionner. En effet, beaucoup de forages sont encore sans identifiant et sans coordonnées, la répartition spatiale et temporelle des données n'est pas homogène, les prélèvements ne sont pas bien maîtrisés. En outre, un grand nombre de forages ne sont pas répertoriés et entrés dans la base. Une liste de tâches spécifiques à chaque pays a été constituée, à charge pour chaque administration de les réaliser.

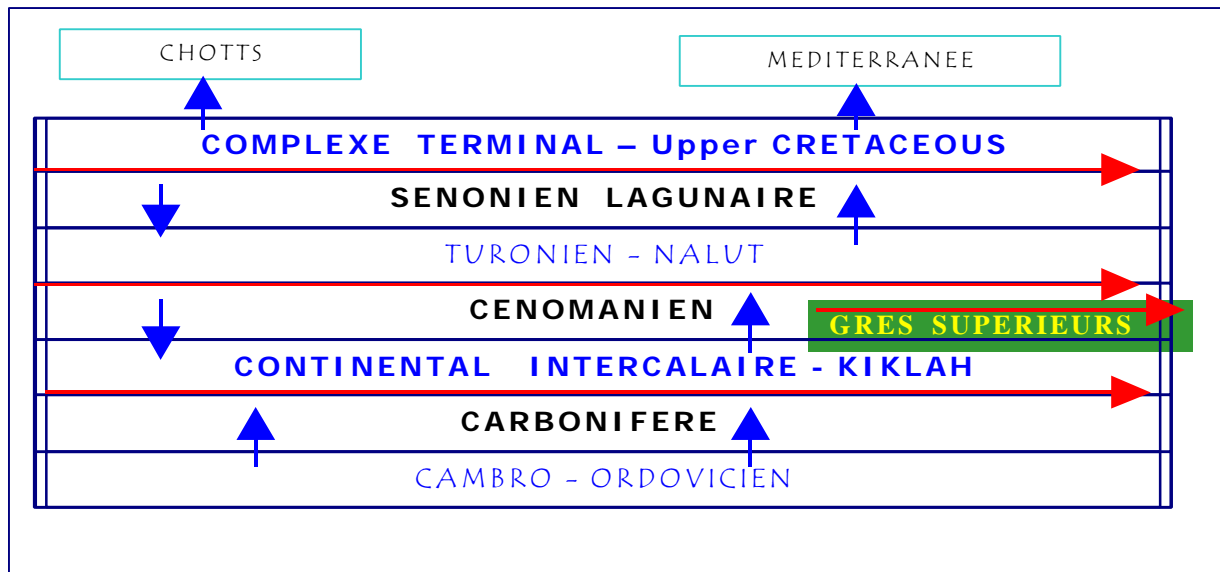
3.2 - Le modèle SASS

Le modèle SASS a été élaboré en trois phases : une première phase a permis de caractériser le système aquifère, en bénéficiant des acquis des études hydrogéologiques décrites en paragraphe 3-1, une seconde phase a consisté en l'élaboration du modèle mathématique, avec les étapes de sa construction et de son calage ; une troisième phase a été dédiée à la réalisation de simulations prévisionnelles selon diverses hypothèses.

Le modèle SASS va partir du système multicouches décrit en 3-1, puis établir une répartition spatiale des niveaux piézométriques à une date donnée, des transmissivités, des cotes du toit et du substratum, des zones d'apports et de drainage avec une estimation préliminaire des échanges de flux, des échanges potentiels de flux entre couches adjacentes. Ensuite, pour chaque couche perméable, on identifie les séries historiques de prélèvements, de niveaux, de salinité, sont analysées et mises en forme; la répartition spatiale des coefficients d'emménagement est aussi établie.

Tous les paramètres décrits dans les paragraphes précédents sont ensuite pris en compte pour les caractérisations hydrologiques et hydrodynamiques. Après une première phase d'ajustement, la structure du modèle dans le sud tunisien a été révisée et on a abouti à un nouveau schéma structural du modèle décrit dans le schéma ci-dessous :

Fig.8 : Structure du Modèle du SASS



La grille du modèle décrit un **maillage carré de 12,5 km x 12,5 km**, soit un total de 16 523 mailles, représentant une superficie développée de près de **2,6 millions de km²**. Le modèle SASS est un modèle quasi- tridimensionnel fondé sur l'hypothèse du multicouche : **écoulement parallèle aux couches dans les aquifères et perpendiculaire aux couches dans les aquitards**.

Le logiciel retenu, devant être porté sur PC dans les trois pays, **est PMWIN dans sa version PM5**. Un programme d'interfaçage entre la base de données et PM5 a été développé.

Le **calage du modèle** a été ensuite réalisé après, définissant d'un état de référence. L'état de référence pour le calage d'un modèle doit refléter un **régime permanent du système**. L'année **1950 a servi de référence pour le calage en régime permanent**. Les variables d'état du système (cartes piézométriques, valeurs ponctuelles observées, débits) ont été reconstitués ; quelques modifications des paramètres ont été effectuées et on a effectué un bilan en eau du SASS, calculé pour 1950. La distribution des différences de niveau piézométrique [calculé – observé] constitue un bon indicateur de « *fidélité régionalisée* » du

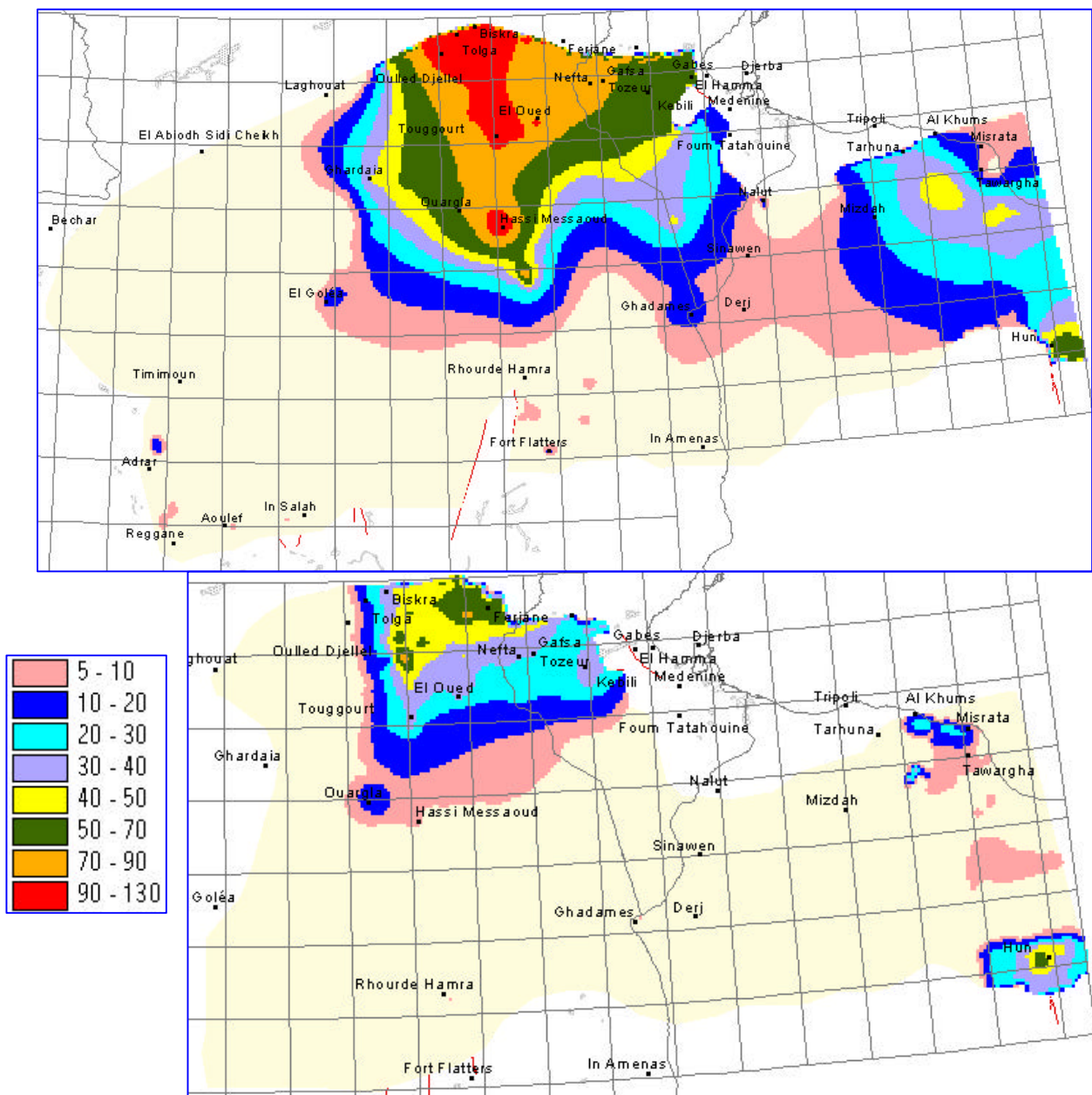
modèle par rapport à la réalité du terrain : 70% de la superficie d'aquifère, aussi bien du CI que du CT présentent des écarts inférieurs à 25 m. La superposition des courbes isopiézométriques calculées et observées permet d'avoir une idée de la capacité du modèle à épouser les formes des courbes et donc le point de vue de l'hydrogéologue.

Après cette phase on a effectué un **calage du modèle en régime transitoire**, où l'on s'assure de la répartition spatiale des coefficients d'emmagasinement. Le modèle a pu sortir des **cartes de rabattements 1950 – 2000** pour le CI et le CT, c'est à dire des **cartes représentant la baisse du niveau de ces deux aquifères**. Il a aussi sorti un bilan du SASS en 1950 et en 2000 .

Le bilan 2000 montre que la somme des recharges du système ne représente que 43% des prélèvements des forages, alors que le prélèvement sur les réserves représente déjà 66% des prélèvement des forages. Le débit de l'exutoire tunisien a diminué d'environ 50% ; on note également une forte diminution des sorties du CT vers les chotts et les sebkas : 2m³/sec en 2000 contre 8m³/s en 1950 ; cette évolution est présumée très dangereuse pour la région des chotts.

L'étape suivante a été celle des simulations prévisionnelles:

Fig. 9 : Rabattements 1950-2000 restitués par le Modèle



Des simulations exploratoires ont été d'abord définies pour évaluer la capacité du SASS à répondre aux sollicitations envisageables. Pour cela, des scénarios ou des plans de développement, par rapport à l'an 2000, en terme de prélèvements additionnels spatialement distribués ont été précisés. Les conditions de calcul, l'état initial, les paramètres d'entrée, les conditions aux limites ont été définis.

La durée de simulation adoptée est de **cinquante ans**, l'état initial du système étant celui de l'an 2000 est reconstitué par le modèle. On simule un débit constant sur toute la durée du calcul, ce débit représentant le débit maximum envisagé. Chaque scénario est défini par un débit maximum. Pour chaque scénario les résultats suivants sont obtenus:

- carte des rabattements 2000 – 2050 ;
- courbes des rabattements pour cette période ;
- principaux termes du bilan 2050;
- évaluation de l'impact du scénario sur chacun des pays voisins ;
- carte des profondeurs du niveau piézométrique 2050 par rapport au sol ;
- carte des profondeurs de ce niveau sous les chotts algéro-tunisiens, définition de l'intensité du risque de salinisation.

Un **scénario de référence**, qui consiste en le maintien de l'actuel, ou **simulation zéro**, quelque fois nommé « business as usual ». a été défini. Il consiste à maintenir constants les prélèvements effectués en 2000 et à calculer l'évolution correspondante cinquante ans plus tard.

Plusieurs scénarios ont ensuite été mis en oeuvre:

- **En Algérie**, deux scénarios :
 - une hypothèse dite **forte**, **représentant un prélèvement additionnel de 101 m3/s**, qui porterait les prélèvements algériens de 42 à 143 m3/s de 2000 à 2030 ;
 - une hypothèse dite **faible**, **pour un prélèvement additionnel de 62 m3/s**, qui porterait les prélèvements de 42 à 104 m3/s .
- **En Tunisie** le scénario envisagé prévoit que les économies réalisées par l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation vont compenser la demande additionnelle des nouveaux périmètres irrigués ; cela correspond au scénario « business as usual »
- **En Libye** les simulations exploratoires concernent deux programmes : le champ de pompage de Ghadames-Derj, avec un débit additionnel de 90 Mm3/an, et le champ captant de Djebel Hassaounah.

Les résultats de ces scénarios sont les suivants :

- **Scénario zéro :**
 - **pour le CI** : le scénario zéro entraînera d'importants rabattements, supérieurs à **40 mètres** dans le bas Sahara algérien ; en Tunisie ils seront de l'ordre de 20m, parfois 25 et 40 autour du Chott Fedjej ; en Libye les rabattements seront de l'ordre de 25m.
 - **pour le CT** : ce scénario donne les résultats suivants : en Algérie des rabattements dépassant 30m et 60m autour des chotts ; en Tunisie 20 à 30m, en Libye un maximum de 60m.
 - On constatera aussi la disparition totale de tout artésianisme dans la région des chotts algéro-tunisiens. On montre enfin que l'on risque une réalimentation de la nappe du CT par les eaux des chotts, avec une forte probabilité de contamination par les sels. **De ce point de vue, la poursuite du rythme actuel constitue un danger potentiel majeur.**

- **Scénario « hypothèse forte » :**

Au CI les rabattements seront de **300 à 400m** dans le bas Sahara algérien, avec disparition totale de l'artésianisme ; la Libye n'est pas touchée par ce scénario, pour la Tunisie on constatera des rabattements de **200 à 300m** et la disparition de l'artésianisme et des exutoires tunisiens.

Au CT, pas d'incidence en Libye, d'importants rabattements en Algérie, les chotts seront en position de réalimentation .

- **Scénario « hypothèse faible » :**

Au CI les rabattements sont également importants (250m), l'artésianisme disparaît de tout le bas Sahara, les profondeurs de pompage y sont de 100 m, l'exutoire tunisien est tari.

Au CT les rabattements sont élevés et les chotts sont en position de réalimentation potentielle. En Libye, pas d'incidence.

Ces simulations exploratoires ont mis en évidence les nuisances et les risques auxquels est exposée la ressource en eau. Pour continuer l'exploitation des nappes du CI et du CT il va falloir minimiser et gérer ces risques, que l'on peut synthétiser en :

- disparition de l'artésianisme
- hauteurs de pompage excessives et onéreuses
- tarissement de l'exutoire tunisien
- interférences exagérées des rabattements entre pays
- réalimentation potentielle par les Chotts.

Ces simulations ont montré les limites de l'approche simulation pure dans la perspective de recherche de plans de gestion durable du SASS. Une autre façon de procéder à la définition de solutions acceptables a été recherchée, en élaborant un **modèle miniature, ou micro modèle.**

Son principe est le suivant : on applique dans une maille « i » un prélèvement égal à l'unité de débit et maintenu constant pendant toute la durée de la simulation, et on calcule le rabattement dans chacune des mailles du modèle ; on répète ce calcul pour toutes les mailles et on aboutit à une matrice d'influence à n^2 si n est le nombre total des mailles du modèle. On obtient une formule qui définit le rabattement provoqué en j par un pompage en i. En fait on limite le calcul aux mailles qui seront amenées un jour à servir à des pompes. On s'affranchit ainsi de scénarios de développement à priori sans relations directes avec les propriétés de l'aquifère, fondés uniquement sur des prédictions de besoins en eau, pour bâtir des scénarios sur une base « **hydraulique** », c'est à dire fondés sur les capacités de production du SASS en minimisant les nuisances

On a été amené à définir tous les sites de pompage potentiel, soit **89 sites** (55 au CI et 34 au CT). Chaque site a fait l'objet d'une simulation unitaire calculant, sur 50 ans, la fonction de rabattement. On a du construire un convertisseur débits- rabattements qui permet à l'utilisateur de disposer, sur le même écran, des données et des résultats ; cela a en outre été facilité par la décomposition de l'espace d'étude en micro-modèles par pays et par nappe, avec des puits témoins transfrontaliers.

Fig.10: Convertisseur Débits - Rabattements

Zone	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	Rabattements
Debits	0	5	0	0	0	3	0	2	0	3	5	0	0	18
A	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
B	0	250	0	0	0	0	0	1	0	2	4	0	0	258
C	0	68	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	72
D	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	9
E	0	8	0	0	0	2	0	9	0	35	79	0	0	134
F	0	1	0	0	0	43	0	4	0	4	5	0	0	57
G	0	5	0	0	0	15	0	16	0	23	30	0	0	90
H	0	2	0	0	0	6	0	54	0	43	42	0	0	147
I	0	1	0	0	0	6	0	41	0	23	23	0	0	95
J	0	4	0	0	0	4	0	29	0	98	125	0	0	259
K	0	4	0	0	0	3	0	17	0	75	118	0	0	216
L	0	2	0	0	0	1	0	7	0	28	75	0	0	113
M	0	1	0	0	0	2	0	14	0	39	74	0	0	130

Le résultat des simulations réalisées sur le micro- modèle a permis de prévoir un certain nombre de scénarios qui répondent aux objectifs de développement tout en minimisant les risques de dégradation. Ces scénarios ont été ensuite simulés sur le modèle numérique et donnent des résultats plus complets, qui permettent de préciser les contraintes.

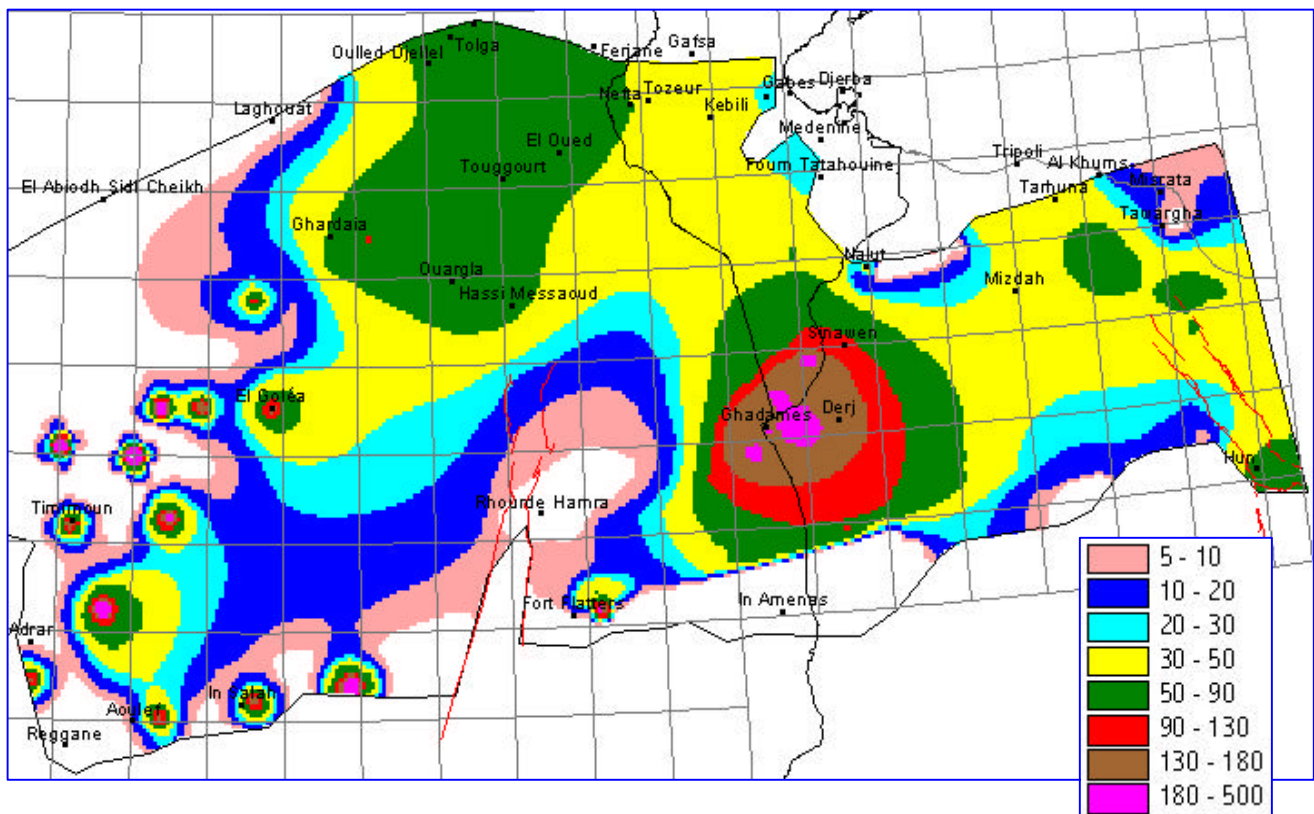
Les indicateurs de sortie sont : les rabattements nets ; les interférences en rabattements ; le débit des exutoires ; l'artésianisme pour le CI et la position des niveaux par rapport aux chotts pour le CT ; le bilan en eau en 2050. Huit simulations ont été réalisées sur le CI et cinq sur le CT, le nombre et la nature des simulations étant déterminés par provinces hydrogéologiques : bas Sahara algérien, Tunisie, bassin de Ghadames, ensemble du CI sur le bassin central, grand erg occidental ; ensemble du CI ; Libye ; Oued Mya.

L'un des résultats des investigations effectuées a permis de vérifier qu'il existe une possibilité de porter l'exploitation par forages du SASS jusqu'à un niveau de **7.8 Milliards de m3/an à l'horizon 2050**.

L'atteinte d'un tel niveau de développement ne peut se faire qu'au prix d'une rupture avec les régions traditionnelles d'exploitation : **80% des prélèvements additionnels devront se faire dans des régions «nouvelles» et éloignées** : Bassin Occidental du CI, confins sud du CT...

Par pays, cela donne **6.1 Milliards m3/an en Algérie, 0.72 Milliards m3/an en Tunisie, 0.95 Milliards m3/an en Libye**. Une telle éventualité ferait passer l'exploitation du SASS à un niveau représentant huit (8) fois ses ressources renouvelables. Cette opération n'est réalisable que par un important puisage sur les réserves du système.

Fig. 11 : Simulation finale au CI (CI8) ; Rabattements induits en 2050



Comme on peut le voir l' exploitation combinée des connaissances hydrogéologiques et de l'utilisation d'un modèle permet d'apporter des conclusions réalistes sur les capacités du SASS à fournir des quantités d'eau appréciables en minimisant les risques sur l'environnement. Les résultats obtenus montrent qu'il convient de gérer **conjointement** cette ressource. C'est dans le but de préparer cette utilisation conjointe qu'a été développé un « **mécanisme de concertation** » décrit dans le paragraphe ci-dessous.

3.3 – Le mécanisme de concertation

Les simulations réalisées sur le Modèle ont mis en évidence les zones où les ressources partagées paraissent les plus vulnérables . Entre l'Algérie, la Tunisie et la Libye, le Complexe Terminal aujourd'hui, le Continental Intercalaire demain, se trouvent dans un état d'exploitation tel qu'il faudra bien un jour ou l'autre penser à y contrôler ensemble, sinon à y réduire, les débits de pompages. Comment contrôler ces débits dans le cadre d'une volonté des Etats de contribuer mutuellement à garantir l'avenir de la région, notamment par une politique concertée de préservation des ressources en eau ?

Parmi les raisons qui incitent à la concertation, la gestion des crise, et notamment le risque de dégradation de la ressource par suite d'une surexploitation constitue une raison majeure.

Par ailleurs, la pratique du partenariat au cours du projet SASS a progressivement forgé la confiance mutuelle entre équipes techniques, la conviction que l'action commune augmente l'efficacité des solutions, et la certitude que l'échange d'informations, qui fonde toute solidarité, est devenu avec la fin du projet SASS une activité non seulement possible mais nécessaire.

Or, le procédé qui garantit le contrôle en présentant le minimum de contraintes, c'est bien l'échange d'informations.

A ce titre l'OSS, à travers le projet SASS, a d'ores et déjà permis des avancées considérables : la Base de Données élaborée renfermant l'ensemble des informations

actuelles et passées sur tous les points d'eau, leurs niveaux, leurs débits, est opérationnelle et accessible aux trois pays. A cet égard, la bonne volonté des trois autorités de l'eau pour la communication des informations a été exemplaire.

Par ailleurs, le Modèle du SASS est d'ores et déjà disponible et opérationnel dans chacun des trois pays. Une forme de concertation efficace peut d'abord consister à assurer l'entretien, le développement et l'actualisation permanente de ces deux outils : Base de Données et Modèle de Simulation. Cette mission doit être confiée à un organe permanent présentant les qualités indispensables à la pérennisation de l'opération.

De l'étude du SASS au projet de mécanisme

La situation actuelle du SASS nécessite une concertation étroite entre les trois pays, par le biais d'un mécanisme tripartite permanent chargé du SASS. A cet effet, un certain nombre de propositions portant mécanisme de concertation s'inspirant des formes institutionnelles existantes, ont été présentées dans le cadre du projet FAO-TCP/RAB/0065, mené en étroite coordination avec l'OSS et les pays concernés .

A la lumière de ces propositions, on peut considérer que les trois pays sont favorables à la création d'un mécanisme tripartite permanent de concertation au niveau du SASS.

Le point de départ est la nécessité de maintenir et de développer la base de données commune du SASS, ainsi que tout autre système pour l'échange régulier des données et des informations. L'échange de données doit par la suite servir de base à la formulation de politiques et de stratégies de l'eau. Ainsi, la mise en place d'un mécanisme institutionnel élaboré et durable s'avère nécessaire, sa mise en œuvre devant se faire d'une manière progressive.

Ateliers Nationaux et Atelier Régional

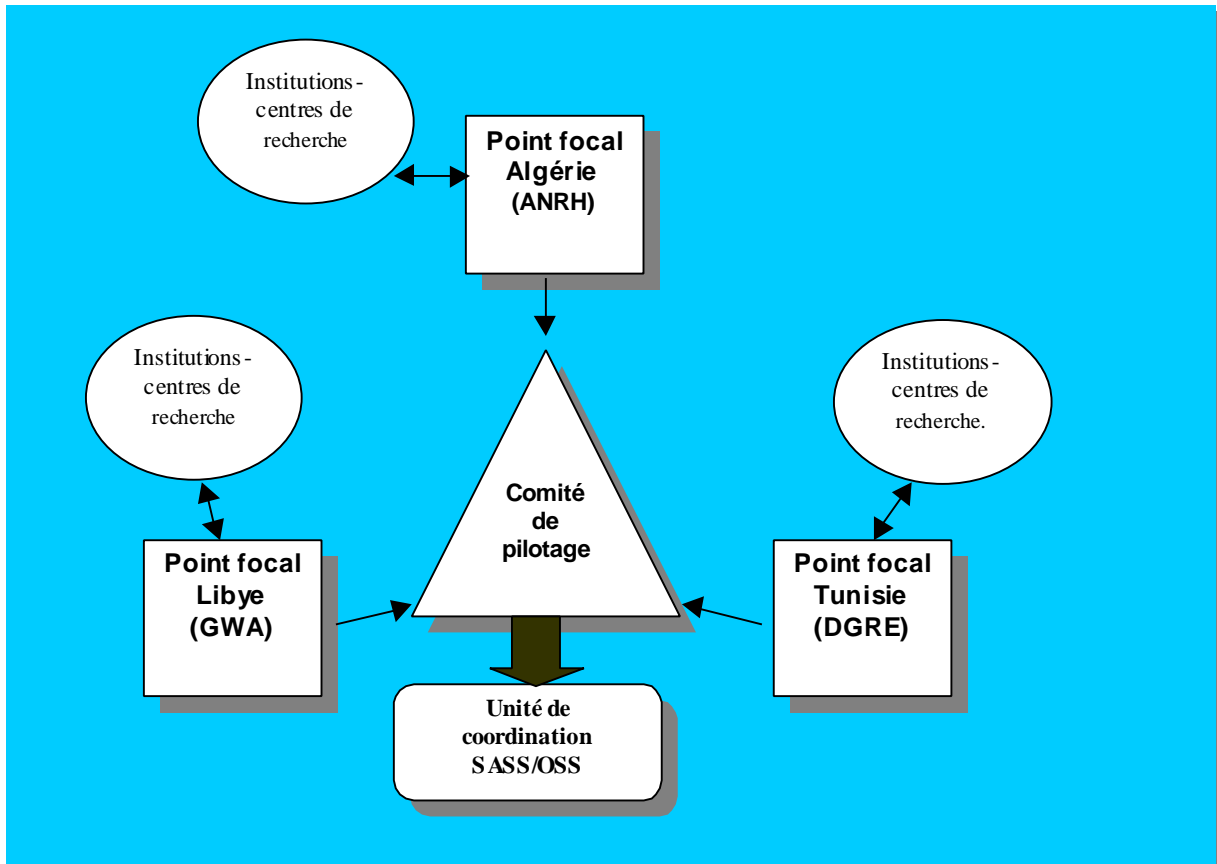
La méthode de travail choisie pour la préparation du mécanisme a consisté à élaborer toute la réflexion, les idées et les propositions au terme d'expertises réalisées par des consultants nationaux de chacun des trois pays. Toutes ces propositions ont ensuite été discutées au cours des trois ateliers nationaux réalisés respectivement à Tripoli, Tunis et Alger en Novembre 2002. De ces trois ateliers ressortent un certain nombre de points de convergence et de consensus portant sur :

- La nécessité d'assurer une continuité des travaux portant sur l'amélioration de la connaissance du système et de son exploitation (évaluation des risques, gestion de la Base de Données commune, réactualisation du Modèle, mise en place d'un réseau commun d'observation, formation, appréhension des aspects socio-économiques, développement de la recherche, etc...)
- La nécessité de la mise en place d'un mécanisme de concertation et de son ancrage institutionnel dans une première phase au sein d'un organisme international : l'OSS
- La nécessité de renforcer les outils techniques, la définition d'un programme de travail, notamment le réseau d'observation commun, et d'un protocole d'échange de l'information
- La mise en place progressive de ce mécanisme, partant d'une structure efficace et légère, vers un mécanisme autonome plus élaboré et doté d'attributions plus importantes à terme.

L'Atelier Régional de synthèse s'est tenu à Rome les 19-20 Décembre 2002. Au terme des discussions et des débats qui se sont déroulés au cours des deux journées, les participants

ont approuvé la forme présentée ci-après concernant la mise en place du Mécanisme de Concertation du SASS.

Fig.12 : Schéma du Mécanisme de concertation dans sa première phase



Caractéristiques du Mécanisme de concertation

Les principales caractéristiques, convenues lors de l'Atelier de Rome, sont les suivantes :
L'Objectif est de Coordonner, promouvoir et favoriser la gestion rationnelle et concertée des ressources en eau du SASS.

La Structure est composée de :

- un comité de pilotage composé par les structures nationales en charge des ressources en eau, agissant en tant que points focaux nationaux ;
- une unité de coordination gérée et abritée par l'OSS ;
- un comité scientifique *ad hoc* pour l'évaluation et l'orientation scientifique.

Les principales Attributions en sont :

- la gestion des outils développés par le projet 'SASS' (base de données et modèle de gestion) ;
- la mise en place et suivi d'un réseau d'observation de référence ;
- le traitement, l'analyse et la validation des données sur la connaissance de la ressource ;
- le développement de bases de données sur les activités socio-économiques dans la région, en rapport avec les usages de l'eau ;
- la production et publication des indicateurs sur la ressource et les usages dans les trois pays ;

- la promotion et réalisation d'études et de recherches conduites en partenariat par des compétences des trois pays ;
- l'élaboration et mise en œuvre de programmes de formation et de perfectionnement ;
- l'actualisation du modèle du SASS, d'une façon régulière ;
- la réflexion et la formulation de propositions sur l'évolution et le fonctionnement du mécanisme de concertation, et sur sa mise en œuvre dans la deuxième phase.

4- CONCLUSIONS : GESTION DURABLE DU SASS

Le projet SASS a rempli les objectifs qui lui été assignés : il a livré à ses partenaires, et en pleine coopération avec eux, une base de données opérationnelle et un modèle mathématique, en tant qu' outils de gestion durable de la ressource en eau. Grâce à la connaissance approfondie de l'hydrogéologie du SASS, la constitution de la base de données, la fabrication du modèle mathématique et la réalisation de simulations selon des hypothèses très diverses, les résultats tangibles sur le fond montrent :

- **que la simple poursuite des rythmes de prélèvements actuels peut constituer un danger pour la nappe du Complexe Terminal dans la région des chotts .**
- **que les simulations basées sur des hypothèses fortes aboutissent à une situation inacceptable ;**
- **qu'il existe une possibilité de tripler les prélèvements actuels, mais au prix d'une rupture avec les régions traditionnelles d'exploitation : 80% des prélèvements additionnels se feraient dans des régions «nouvelles» et éloignées : Grand Erg Occidental, confins de l'Erg Oriental.**
- **que malgré les efforts déployés par le projet, des incertitudes subsistent sur la connaissance du système, qui nécessiteront d'entreprendre de nouvelles investigations .**

La première phase du programme SASS de l'OSS s'est achevée fin 2002, dans le strict respect des délais et des financements du programme. *En conclusion, cette première phase apporte une perspective objective et plutôt optimiste de l'exploitation de l'eau pour peu que l'on prenne en compte de façon concertée les observations et les résultats issus du modèle et que l'on tienne compte désormais de tous les facteurs de risques mis en évidence par l'étude SASS, ainsi que des facteurs socio-économiques.*



SYSTEME AQUIFERE DU SAHARA SEPTENTRIONAL

GESTION COMMUNE D'UN BASSIN TRANSFRONTIERE

RESULTATS DE LA PREMIERE PHASE DU SASS

Agissant en tant que centre d'impulsion et de facilitation, l'OSS s'est appuyé, pour la réalisation du programme SASS, en premier lieu sur l'expertise des institutions spécialisées dans les trois pays, qui disposent d'une importante expérience dans le domaine et sur un large partenariat international.

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional [SASS], partagé par l'Algérie, la Tunisie et la Libye, renferme des réserves d'eau considérables, qui ne sont pas exploitables en totalité et se renouvellent peu. Le SASS s'étend sur un Million de Km² ; il comprend les deux grandes nappes du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal. Au cours des trente dernières années, l'exploitation par forages est passée de 0,6 à 2,5 milliards de m³/an. Cette exploitation se trouve aujourd'hui confrontée à de nombreux risques : fortes interférences entre pays, salinisation des eaux, disparition de l'artésianisme, tarissement des exutoires... Les simulations réalisées sur le Modèle du SASS ont mis en évidence les zones les plus vulnérables et permis de dresser la carte des risques du SASS.... Les trois pays concernés par le devenir du SASS sont amenés à rechercher ensemble une forme de gestion commune du Bassin : la mise en place d'un mécanisme institutionnel de concertation s'avère nécessaire, sa mise en oeuvre devant se faire d'une manière progressive.

La présente note rend compte de l'ensemble des travaux réalisés, de Juillet 1999 à Décembre 2002, pour la mise en oeuvre des différentes composantes du projet SASS : Acquisition, Analyse et Synthèse des données hydrogéologiques ; Elaboration de la Base de Données commune et du Système d'Informations ; Développement et Exploitation du Modèle Mathématique du SASS ; Mise en Place d'un Mécanisme de Concertation pour la gestion commune du bassin.

LES PARTENAIRES



Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
(ANRH, Algérie)



Direction Générale des Ressources en Eau
(DGRE, Tunisie)



General Water Authority
(GWA, Libye)



Fonds International de
Développement Agricole



Département du Développement
et de la Coopération Suisse



UNESCO



Organisation des Nations-unies
pour l'Alimentation et l'Agriculture



Allemagne (GTZ)



Fonds Français pour
l'Environnement Mondial (FFEM)



Fonds Mondial pour l'Environnement
(GEF)



Suisse Federal Institute of
Technology Zurich

Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS)

Boulevard de l'Environnement - BP 31 - 1080 Tunis Cedex, Tunisie

Tél.: 216 - 71 - 806 522 • 806 891 — Fax: 216 - 71 - 80 73 10 — e-mail: boc@oss.org.tn — site web : www.unesco.org/oss