

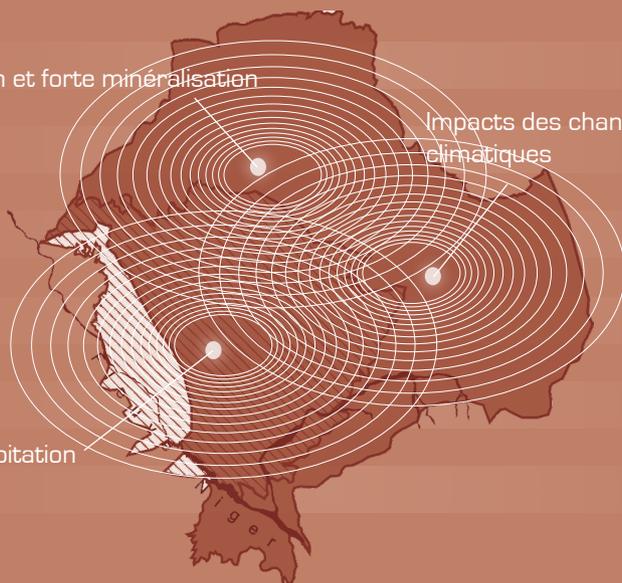
Système Aquifère d'Iullemeden

L'APPROCHE ADT/PAS DU FEM APPLIQUÉE AU SAI

Pollution et forte minéralisation

Impacts des changements
climatiques

Surexploitation



OBSERVATOIRE DU SAHARA ET DU SAHEL

Système Aquifère d'Iullemeden

Mali - Niger - Nigeria

APPROCHE DE L'ADT/PAS DU FEM APPLI- QUÉE AU SAI

Tunis, 2011

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

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

ISBN : 978-9973-856-47-0

Remerciements

Ce document a été relu et édité sous la supervision de M. Chedli Fezzani, Secrétaire exécutif de l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS). Il émane du travail conséquent mené de janvier 2004 à juin 2009, en partenariat avec le Mali, le Niger et le Nigéria, sous la coordination scientifique technique de l'équipe du projet « Système aquifère d'Iullemeden » basé à l'OSS, composé de M. Abdel Kader Dodo, coordinateur régional du projet, M. Mohamedou Ould Baba Sy, expert en Base de données, SIG et modélisation hydrogéologique, Ahmed Mamou, conseiller scientifique et Wafa Jouini, assistante du programme Eau de l'OSS.

A cette œuvre ont contribué des personnalités à qui nous exprimons notre profonde gratitude. Il s'agit tout particulièrement des experts nationaux suivants :

MALI

- Mme Ly Fatoumata, Directrice nationale de l'hydraulique
- M. Malick Alhousseini, ex-directeur national de l'hydraulique, actuellement Conseiller du ministre des Transports
- M. Sidi Touré, Chef de division Inventaire des ressources hydrauliques à la DNH
- M. Séidou Maïga IRH/DNH, Point focal national
- M. Alpha Oumar Kergna, IER/ECOFIL
- M. Amadou Maïga, ministère de l'Environnement et de l'Assainissement, STP/CIGQE

PR AMADOU ZANGA TRAORÉ, ECOLE NATIONALE D'INGÉNIEURS

NIGER

- M. Radji Garba, Directeur national des ressources en eau, ministère de l'Hydraulique,
- Dr Abdou Guero, ex-directeur des ressources en eau, actuellement Directeur technique à l'Autorité du bassin du Niger,
- M. Abdou Moumouni Moussa, Hydrogéologue, ex-point focal national et chef de la Division hydrogéologie, actuellement en thèse de doctorat [Ph. D]
- M. Sanoussi Rabe, Hydrogéologue, chef de la Division hydrogéologie, Direction des ressources en eau
- M. Kaïgama Kiari Noudjia, Juriste, Directeur national de la législation, MH
- M. Rouscoua Boubacar, Socio-économiste, MH

NIGERIA

- Mrs Doris Isoken Enobakhare, Senior Advisor of the Permanent Secretary, Federal Ministry of Agriculture and Water Resources (FMWR), Abuja
- Mr. John Chabo, Executive Director of Nigeria Hydrological Services Agency (NHSA), FMWR, Abuja
- Mr. Patrick Oburo, Assistant Director, NHSA, FMWR, Abuja
- Mr. Stephan M. Jabo, ACHg., NHSA, FMWR, Abuja
- Prof. L.J. Goldface-Irokalibe, Lawyer, University of Zaria

Nous exprimons toute notre profonde gratitude à nos partenaires de coopération pour leur soutien financier, scientifique et technique :

- Takehiro Nakamura, PNUE/GEF

- Alice Aureli, Unesco/PHI
- Stephano Burchi, FAO

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

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

Le Coordinateur du
programme Eau

Abdelkader Dodo



Le Secrétariat exécutif

Dr Chedli Fezzani



Table des matières

| | |
|---|-----------|
| I. INTRODUCTION GÉNÉRALE | 11 |
| II. LES EAUX INTERNATIONALES | 13 |
| III. DÉVELOPPEMENT DE L'ANALYSE DIAGNOSTIQUE TRANSFRONTALIÈRE..... | 15 |
| III.1. Identification et « prioritisation » des problèmes transfrontaliers | 18 |
| III.1.1. L'impact de la variabilité et changements climatiques.. | 19 |
| III.1.2. Déforestation..... | 20 |
| III.1.3. Exploitation des ressources en eau..... | 20 |
| III.1.4. Déclin de l'artésianisme | 21 |
| III.1.5. Pollution des eaux..... | 21 |
| III.1.6. Salinisation des sols | 22 |
| III.1.7. Exploitation non concertée des ressources en eau... | 22 |
| III.2. Prioritisation finale détaillée des problèmes transfrontaliers | 24 |
| IV. ANALYSE DE LA CHAÎNE CAUSALE..... | 29 |
| V. APPORT DE L'ADT DANS L'IDENTIFICATION DES RISQUES HYDROGÉOLOGIQUES | 33 |

Liste des acronymes

| | |
|----------------|---|
| ADT | Analyse diagnostique transfrontalière |
| AUE | Associations d'usager d'Eau |
| CCSEA | Comité de coordination du secteur eau et assainissement |
| CEDEAO | Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest |
| CES/DRS | Conservation des eaux et des sols / Défense et restauration des sols |
| CH | Continental Hamadien |
| CI | Continental intercalaire |
| CNCS | Comités nationaux de coordination et de suivi des activités du projet |
| CT | Continental Terminal |
| FAO | Organisation des Nations unies pour l'agriculture et l'alimentation |
| FEM | Fonds pour l'environnement mondial |
| GIRE | Gestion intégrée des ressources en eau |
| GIS | Geographic Information System |
| OMS | Organisation mondiale de la santé |
| ONG | Organisation non gouvernementale |
| OSS | Observatoire du Sahara et du Sahel |
| PANA | Plans d'action nationaux d'adaptation aux changements climatiques |

| | |
|-------------|---|
| PAS | Programme d'action stratégique |
| PNUD | Programme des Nations unies pour le développement |
| SAI | Système aquifère d'Iullemeden |
| SAP | Système d'alerte précoce |
| SIG | Système d'information géographique |

I. Introduction générale

Le SAI constitue une ressource stratégique pour le développement durable des pays concernés. Cependant, il est :

- **exposé à un environnement fragile et contraignant :** 1) baisse de la pluviométrie de l'ordre 20 à 30% depuis 1968 ; 2) réduction des écoulements de surface d'environ 20 à 50% avec des étiages parfois sévères allant jusqu'à l'arrêt des écoulements ; 3) ensablement et installation de cordons dunaires dans les aires de recharge des aquifères et dans le réseau hydrographique du fleuve Niger ;
- **confronté à de multiples contraintes en particulier :** 1) difficultés d'accessibilité à la ressource liées par endroits à la profondeur excessive des captages (plus de 600 mètres) ; 2) dégradation de la qualité des eaux (pollution, appel d'eaux profondes très minéralisées) ; 3) gestion non concertée des eaux partagées par plusieurs pays ;
- **soumis à :** 1) la pression démographique croissante (de l'ordre de 6 millions d'habitants en 1970, 15 millions en 2000, 30 millions d'habitants en 2025) ; 2) une intensification des prélèvements annuels de l'ordre de 50 millions m³ en 1970 à 180 millions m³ en 2004.

Pour identifier, analyser et évaluer les risques hydrogéologiques qui peuvent affecter les eaux souterraines du Système aquifère d'Iullemeden, la démarche Analyse diagnostique transfrontalière/Programme d'action stratégique (ADT/PAS) préconisée par le Fonds pour l'environnement mondial

(FEM) pour les Eaux internationales a été adaptée et appliquée. Il est important de rappeler qu'il s'agit du premier cas d'application de cette démarche sur les aquifères transfrontaliers en Afrique, et le second dans le monde après le Système aquifère du Guarani en Amérique latine.

II. Les eaux internationales

Pour faire la distinction entre le concept du FEM pour les Eaux Internationales et la définition légale de la loi des Nations Unies sur la convention¹ des mers (United Nations Convention on

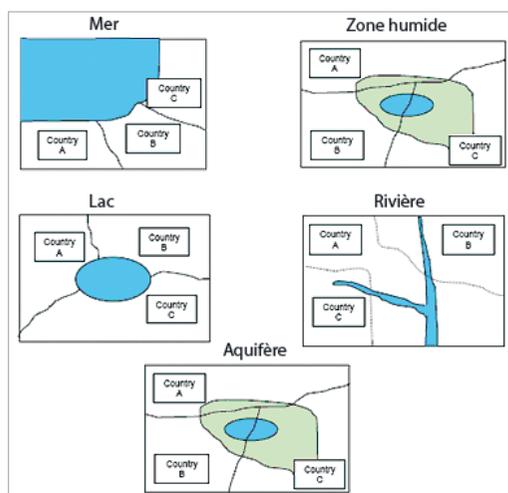


FIGURE 1 : exemples d'eaux transfrontalières

the Law of the Sea, aussi appelé the Law of the Sea Convention ou the Law of the Sea treaty), la stratégie opérationnelle du FEM se focalise sur les ressources « transfrontalières » en eau, et met l'accent sur la gestion de la pollution et les ressources en eau à travers un processus participatif des parties prenantes² bilatérales et multilatérales.

La majorité des projets portant sur les eaux internationales, financés par le FEM, sont concernés par des problèmes environnementaux hydriques

¹ Dans le cadre du United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS III) les hautes mers [ou les eaux internationales] s'appliquent à toutes les parties de la mer qui ne sont pas incluses dans la zone économique exclusive, de la mer territoriale ou des eaux internes d'un Etat ou des eaux archipélagiques d'un état archipélagique.

² Les parties prenantes sont les parties qui sont impliquées ou affectées par un problème environnemental ou par sa solution.

qui vont au-delà de tout pays et ont donc un caractère trans-frontalier. Les domaines concernés sont : les eaux marines, les lacs, les cours d'eau, les zones humides, et les aquifères (figure 1).

Chaque problème de gestion des eaux internationales peut justifier la réalisation des objectifs environnementaux désirables par un projet des Eaux Internationales. Une composante d'un projet des Eaux Internationales est le processus de l'ADT/PAS.

Trois principes clés sont prédominants dans l'ensemble du processus :

- la consultation³ avec les personnes qui sont affectées par le problème (ce sont les parties-prenantes) ;
- la gestion adaptative⁴, le suivi, l'ajustement et la révision au fur et à mesure que le travail progresse ;
- l'engagement progressif des eaux qui sont responsables

³ En incluant une représentation claire des parties prenantes à tous les stades, la construction du consensus sera plus probable et augmentera la probabilité que les parties prenantes vont s'approprier du résultat qui aura une viabilité à long terme.

⁴ La gestion adaptative est un processus par lequel les buts environnementaux à long terme convenus sont atteints dans une série de mesures d'actions pragmatiques. Au sein de chaque mesure, des indicateurs de réalisation agréés sont contrôlés et un exercice de planification conjointe est initié pour revoir les progrès et modifier les approches requis et planifier la prochaine étape.



III. Développement de l'Analyse diagnostique transfrontalière

L'Analyse diagnostique transfrontalière est une évaluation objective, une analyse d'étude des faits scientifiques et techniques qui sert à déterminer l'importance relative des sources, des causes et ses impacts sur les problèmes transfrontaliers en matière d'eau. En d'autres termes, l'Analyse diagnostique transfrontalière utilise la meilleure information technique et scientifique **disponible et vérifiée**, pour examiner l'état de l'environnement ainsi que les causes profondes de sa dégradation. Elle doit être une évaluation objective et pas un document négocié.

L'analyse est effectuée de façon trans-sectorielle en se focalisant sur les problèmes transfrontaliers sans ignorer les préoccupations et les priorités nationales. Pour rendre l'analyse plus efficace et durable, elle doit inclure l'analyse détaillée de la gouvernance qui examine l'environnement institutionnel local, légal et politique.

Le processus de l'Analyse diagnostique transfrontalière permet de décomposer des situations transfrontalières complexes en des composantes plus petites, plus faciles à gérer dans le cadre des actions comme les sous-zones spécifiques de dégradation.

L'ADT a pour objectif de :

- identifier, quantifier et fixer des priorités pour les problèmes environnementaux ayant un caractère transfrontalier ;
- identifier leurs causes immédiates, sous-jacentes et profondes.

L'identification des causes comprend : les pratiques, les sources, les emplacements et les secteurs d'activités humaines à partir desquels la dégradation environnementale sévit ou est menacée.

Les étapes qui sont impliquées dans le processus de développement de l'ADT sont (figure 2) :

- la préparation de l'ADT ;
- l'analyse des impacts et conséquences de chaque problème transfrontalier ;
- la priorisation finale des problèmes transfrontaliers ;
- l'analyse de la chaîne causale et l'analyse de la gouvernance ;
- la production et la soumission du projet complet de l'ADT ;
- l'adoption de l'ADT par le comité de pilotage.

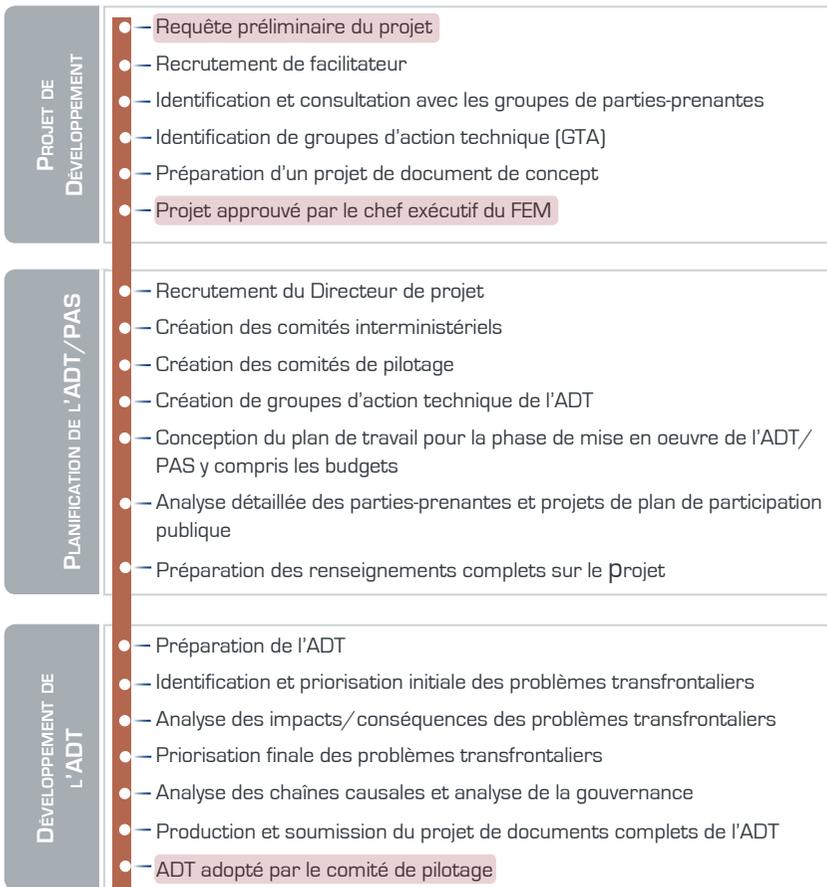
A travers le monde, l'Analyse diagnostique transfrontalière a été très souvent appliquée sur les quatre premiers domaines de surface c'est-à-dire, les cours d'eau (bassins), les lacs, les zones humides, les eaux marines¹.

Le premier Système aquifère qui a bénéficié de la démarche du FEM est le Système aquifère de Guarani (SAG) partagé

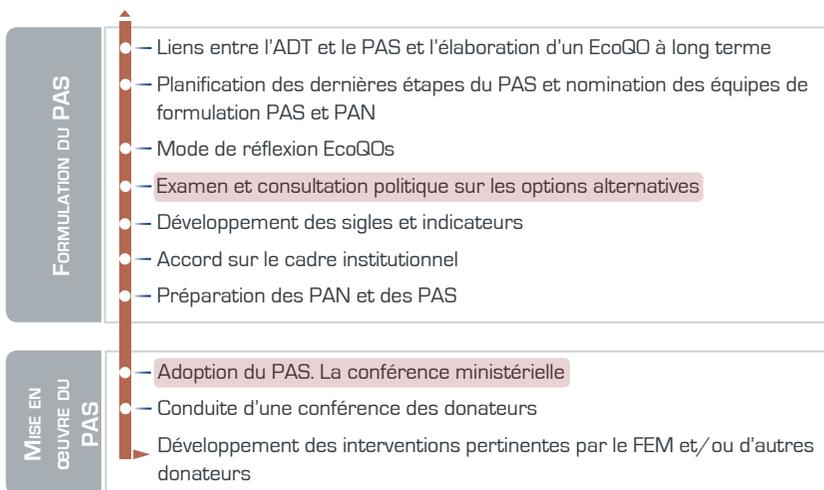
¹ <http://www.iwlearn.net/ftp/iwps.pdf>

par l'Argentine, le Brésil, le Paraguay et l'Uruguay. Cependant, le SAG n'est pas encore connu dans ses limites naturelles pour mieux appréhender la dynamique des écoulements souterrains bien que des outils de gestion de la ressource aient été développés. Le Système aquifère d'Iullemeden représente

FIGURE 2 : diagramme de l'ensemble du processus. Les principales lignes de décisions sont surlignées en rouge



▼ suite page suivante



le premier cas, tout au moins sur le continent africain, à développer l'Analyse diagnostique transfrontalière.

III.1. Identification et « priorisation » des problèmes transfrontaliers

L'Analyse diagnostique transfrontalière (ADT) a été menée par les comités nationaux de coordination et de suivi des activités du projet (CNCS) et les consultations nationales, sur la base des données et informations existantes et disponibles. Le CNCS mis en place dans chacun des pays est pluridisciplinaire ; il regroupe les institutions étatiques (ministères de l'Hydraulique, de l'Environnement, de l'Agriculture, de l'Élevage, des Affaires Étrangères sur les aspects juridiques transfrontaliers, les agences de l'Eau) et les organisations non gouvernementales concernées par la question de l'Eau.

Les activités des CNCS ont été réalisées sous forme de réflexions à travers leurs réunions périodiques pour identifier les

risques qui menacent les ressources en eau du SAI et examiner également les investigations menées par les consultants nationaux. Des ateliers nationaux portant sur l'Analyse Diagnostique Transfrontalière ont également été organisés pour valider ces risques transfrontaliers. Ainsi, **14 risques ont été identifiés au Mali, 8 au Niger et 24 au Nigeria.**

Les rapports de ces travaux ont mis en évidence la richesse des données disponibles dans les domaines des eaux de surface, des eaux souterraines, de la géologie et de la climatologie. Ces rapports renseignent aussi sur l'existence d'une base de données nationale, d'études et projets réalisés, et de modèles des aquifères développés, pouvant intéresser le Système aquifère d'Iullemeden.

Les risques transfrontaliers qui menacent les ressources en eau, analysés par les CNCS et consultant national, et sur la base des investigations menées par l'équipe OSS, ont été synthétisés comme suit.

III.1.1. L'impact de la Variabilité et Changements climatiques

Dans toute la région, il a été enregistré une période humide du début du XX^e siècle à 1967 et une période sèche à partir de 1968 jusqu'en 1993. Le déficit pluviométrique s'est traduit par une baisse de la pluviosité de l'ordre de 20 % à 50 % engendrant d'une part, un déplacement des isohyètes de près de 200 km vers le sud, et d'autre part une réduction des écoulements du fleuve Niger de 20 % (Mali) à 36 % (Niger) et une baisse de la recharge de la nappe par le réseau hydrographique et la pluie efficace.

Ce déplacement a eu pour conséquence, la dégradation accélérée des terres cultivées, la migration et la concentration

des populations vers les zones humides au Sud favorisant la déforestation.

III.1.2. Déforestation

La coupe de bois pour la production d'énergie est une activité génératrice d'emplois et de revenus. Elle produit 270 879 stères (soit 37 095 quintaux de charbon de bois) au Mali, et 827 442 tonnes de bois au Niger. Les estimations du Nigeria ne sont pas disponibles. Cette production en bois et en charbon engendre, en moyenne annuelle, une perte en terres de 100 000 ha au Mali, et de 338 180 ha au Niger.

La perte en terres favorise les érosions éolienne et hydrique qui contribuent à l'ensablement du réseau hydrographique (fleuve Niger, mares). L'ensablement a tendance à réduire la recharge des nappes par la pluie efficace et le réseau hydrographique, par colmatage des aires de recharge. De plus, les dépôts de sable dans les lits des cours d'eau, en occupant la place des eaux d'écoulement dans le lit du fleuve Niger, provoquent de fréquentes inondations pour des débits normaux.

III.1.3. Exploitation des ressources en eau

Les prélèvements opérés sur les ressources en eau pour répondre à la demande en eau concernent tous les ouvrages de captage (tableau 1).

Malgré le potentiel en **terres irrigables (390 000 ha au Mali, 226 600 ha au Niger et 42 272 ha au Nigeria)** et les **terres irriguées (26 030 ha au Mali, 13 500 ha au Niger, 27 230 ha au Nigeria)** par les eaux du fleuve et/ou les forages ou les puits, les estimations sur les volumes prélevés ne

| | Mali | Niger | Nigeria |
|--|-------------------------------------|--|----------------------------|
| Consommation en eau potable (millions m³/an) | 1,3 (Eaux du fleuve principalement) | 117,6 (dont 14,3 eaux du fleuve pour Niamey) | 15,4 (1990) 32,3 (2020) |
| Elevage (millions m³/an) | 84 | 119,77 | 271,36 |
| Industries, Mines (millions m³/an) | - | 9,9 | - |

TABEAU 1 : Consommation en eau par secteur socio-économique.

sont pas disponibles. Pourtant, cette activité est l'une des plus grosses consommatrices d'eau.

III.1.4. Déclin de l'artésianisme

Ce phénomène a été relevé sur des forages artésiens captant l'aquifère du Continental intercalaire au Mali et au Niger, et/ou le Continental Terminal au Niger. Ces forages jaillissants sont restés ouverts depuis leur date de réalisation créant parfois, dans leurs environs immédiats, des mares. Les débits ont diminué depuis lors mais ne sont pas suivis pour apprécier la baisse d'artésianisme et tenter de définir les causes (baisse naturelle généralisée de la nappe ou signe de surexploitation ?).

III.1.5. Pollution des eaux

Une grande partie des polluants rejetés dans l'environnement (rejets agricoles) parvient dans le fleuve Niger soit directement soit par ruissellement. La culture irriguée est pratiquée surtout à partir des eaux du fleuve Niger qui alimente la nappe en période de hautes eaux. Cette activité génératrice de revenu emploie des engrais chimiques et des pesticides. Ce sont

en moyenne par an (entre 2000 et 2002) 10 000 tonnes d'engrais (Urée, NPK 15-15-15, Super triple, phosphates de Tahoua, DAP) recensés au Niger.

Au Mali, en moyenne 200 tonnes d'engrais finissent chaque année dans les eaux du fleuve ou des nappes aux environs de Bamako. En 1994, 5 939 tonnes d'urée et 4 055 tonnes de phosphate d'ammonium sont déversées sur les 47 000 ha de terres irriguées.

Au Nigeria, plus de 15 millions de personnes et autant de bétail vivent dans le bassin de Sokoto grâce à l'exploitation des nappes par les puits traditionnels sans périmètre de protection. Des teneurs anormalement élevées en nitrates sont fréquemment enregistrées dans ces ouvrages d'exploitation.

III.1.6. Salinisation des sols

La **dégradation des sols** par **salinisation et alcalinisation** au Mali, **affecte 7 à 15 % des terres aménagées** qui sont en voie d'être abandonnées. Au Niger, les zones irriguées dans les vallées le long du fleuve, les dallols et aux abords des mares, sont affectées de salinisation par suite de drainage inadéquat des eaux usées mal drainées ainsi que les phénomènes d'évaporation.

III.1.7. Exploitation non concertée des ressources en eau

Bien que des structures sous-régionales existent dans la sous-région ouest-africaine telles que l'Autorité du bassin du Niger (ABN), le Centre de coordination des ressources en eau de la CEDEAO pour la Gestion intégrée des ressources en eau (CCRE/CEDEAO), le CILSS (Comité Inter-Etats de lutte contre la sécheresse dans le Sahel), l'ALG (Autorité du Liptako-Gourma),

il n'existe pas d'organisation qui assure le suivi de l'exploitation des ressources en eau souterraines transfrontalières. Seule l'ABN est doté d'un réseau de suivi des eaux de surface équipé d'outils scientifiques pour estimer en temps réel les débits du fleuve à une station donnée mais pas les prélèvements qui s'opèrent. En revanche, les réseaux de suivi des aquifères restent un devoir régalien de chaque pays ; ces réseaux ne sont pas adaptés pour le suivi et l'évaluation des aquifères, mais conçus à l'origine pour satisfaire la demande en eau des populations.

En conclusion, des risques réels menacent en quantité et en qualité les ressources en eau souterraines (et de surface également). Cependant, ces risques ont été identifiés sur la base des données et informations issues de la documentation existante. Leur évaluation est davantage qualitative quand bien même d'importantes études sont réalisées dans la zone (tableau 2).

| Catégorie de risques | Mali | Niger | Nigeria | Valeur moyenne |
|--|------|-------|---------|----------------|
| Changements climatiques : inondations, sécheresses | E | E | E | E |
| Déforestation | E | E | E | E |
| Exploitation des ressources en eau | F | F | F | F |
| Déclin de l'artésianisme non maîtrisé | M | E | E | E |
| Pollution des eaux | E | E | E | E |
| Salinisation des sols | M | M | F | M |
| Réseau de suivi des aquifères inadéquat | E | M | E | E |
| Exploitation non concertée des ressources en eau | E | E | E | E |

TABLEAU 2 : Appréciation qualitative des risques qui menacent les aquifères du SAI. E = Elevé M = Moyen F = Faible

Une harmonisation des risques identifiés par les trois pays (Mali, Niger et Nigeria) a été réalisée à travers une analyse basée sur un ensemble de critères. C'est l'objet de la priorisation détaillée des risques.

III.2. Prioritisation finale détaillée des problèmes transfrontaliers

Une analyse de la liste des risques identifiés par les pays est nécessaire pour s'assurer notamment de :

- la nature transfrontalière du risque identifié ;
- la portée du risque par rapport aux priorités nationales et aux conventions régionales et internationales ainsi que les différentes initiatives mondiales ;
- les impacts du risque sur l'économie, l'environnement et la santé humaine ;
- les bénéfices escomptés à l'examen du risque.

C'est ainsi que cette analyse, facilitée par l'OSS, fait apparaître, entre autres, que certains risques sont soit des causes ou des conséquences et/ou impacts. C'est le cas, par exemple, du déclin de l'artésianisme ou la baisse du niveau piézométrique des nappes qui sont une conséquence des effets conjugués des prélèvements opérés sur les eaux et de l'impact de la variabilité et du changement climatique. Le phénomène de déforestation fait partie des causes des changements climatiques contribuant au réchauffement de la terre. La pollution des nappes est un risque majeur. L'exploitation des ressources en eau est une cause de la diminution des eaux. L'exploitation non concertée de la ressource commune intervient dans la gouvernance des eaux liée aux dispositifs législatif et institutionnel de chaque pays.

D'autres risques transfrontaliers intéressent surtout les ressources naturelles de surface. Il s'agit de la perte de la diversité biologique. Dans le cas de l'étude des eaux souterraines, la perte de la diversité biologique peut être considérée comme la conséquence de plusieurs facteurs : 1) la dégradation du milieu à cause des activités anthropiques (déforestation par exemple), 2) de l'impact des changements climatiques (sécheresses récurrentes), 3) la baisse généralisée du niveau des nappes engendrant l'augmentation de la zone non saturée puis l'assèchement des zones des racines des plantes ; **ce processus conduit, à terme, à l'aridité puis à la désertification.**

Par cette seconde analyse, les risques transfrontaliers pouvant être considérés comme des préoccupations majeures communes aux trois pays et pour lesquelles les efforts d'un seul pays ne sauraient trouver une solution remédiable et durable, sont de trois types :

1. **la diminution des ressources en eau** : elle est due aux effets conjugués des prélèvements progressifs, et de la diminution de la recharge des aquifères à cause du changement climatique dans la région. Ce type de risque se caractérise par la modification du potentiel en eaux souterraines en termes de diminution ou de rareté de la ressource. Cette diminution peut être due aux effets conjugués 1) des prélèvements progressifs, et 2) de la réduction de la recharge des aquifères à cause de la diminution de la pluviométrie.

Les résultats de la modélisation mathématique du Système aquifère d'ullemeden ont permis de quantifier ce risque. Le seuil de surexploitation a été franchi en 1995 année à partir de laquelle les prélèvements (152 millions m³) excè-

dent la recharge (ligne rouge) estimée à 150 millions m³ en 1970 (figure 2).

2. **la dégradation de la qualité de l'eau** : elle s'identifie à la pollution des nappes à cause des rejets d'eaux usées ne répondant pas aux normes de qualité, et de l'appel d'eaux souterraines anormalement minéralisées (fluorures) conditionnées par la géologie de la formation aquifère ;
3. **(les impacts de) la variabilité et des changements climatiques** : le risque climatique proprement dit se manifeste par son caractère aléatoire à cause de l'occurrence des extrêmes climatiques (sécheresses, inondations) durant les années et les décennies à venir. Les modèles globaux climatiques sont davantage développés pour les eaux de surface (notamment la pluie) que les eaux souterraines.

Ce type de risque lié aux impacts de la variabilité et/ou changements climatiques se caractérise notamment par 1) l'ensablement du réseau hydrographique du fleuve Niger qui réduit son alimentation par les eaux souterraines issues des aquifères du Continental intercalaire (Ci) et du Continental Terminal (CT) et favorise des inondations de plus en plus fréquentes, 2) l'installation des cordons dunaires dans les aires de recharge et sur le couvert végétal réduisant l'infiltration des eaux de pluie notamment, 3) l'aménagement des zones humides par les populations ayant migré des zones désertiques.

Ces trois risques ont ensuite fait l'objet d'une analyse de leurs causes à savoir les causes immédiates, les causes fondamentales et les causes profondes. Les causes profondes intègrent la gouvernance.

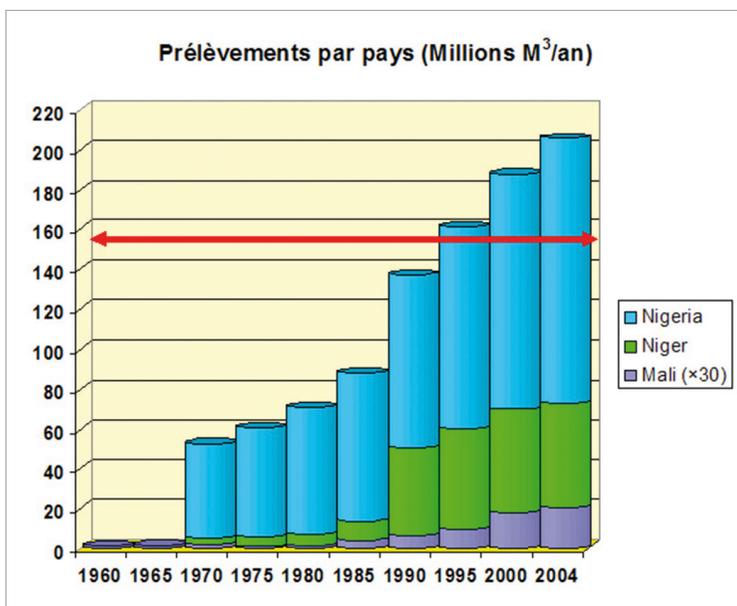


FIGURE 3 : le seuil de surexploitation franchi en 1995 selon les premières estimations. . Il s'agit des estimations fondées sur les données fournies par les pays. Ces données sur les prélèvements sont celles issues de réalisations et ce, pour une durée d'exploitation de 04 heures par jour. Ces estimations restent à être corroborées par un inventaire exhaustif des prélèvements réels opérés sur tous les ouvrages d'exploitation.

IV. Analyse de la chaîne causale

Une chaîne causale est une série de déclarations qui lient les causes d'un problème à ses effets. La chaîne causale se compose de trois types de causes :

- **les causes immédiates** : ou causes primaires, sont souvent les causes techniques directes du problème. Elles sont principalement tangibles ;
- **les causes fondamentales** : elles contribuent aux causes immédiates et regroupent les utilisations et les pratiques sur les ressources fondamentales, les causes sociales et économiques y afférentes ;
- **les causes profondes** : elles 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, à la gouvernance.

Ainsi, les trois risques majeurs transfrontaliers seront examinés à travers ces trois catégories de causes (tableau 3).

TABLEAU 3 : Analyse de la chaîne des causes appliquée des ressources en eau du Système aquifère d'Iullemeden (SAI)



| Causes immédiates | Risques majeurs transfrontaliers |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la pluie • Réduction des écoulements de surface • Réduction de la recharge (colmatage des aires de recharge par ensablement, etc..) • Sécheresses fréquentes | <p>Diminution de la ressource en eau</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Dégradation naturelle contrôlée par la géologie (paragenèse minérale : forte concentration fluor-Apatite, nitrates, etc...) | <p>Dégradation de la qualité de la ressource en eau</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Augmentation dans la Troposphère des gaz à effets de serre | <p>Impacts de la variabilité & changements climatiques sur les eaux souterraines</p> |

| Causes fondamentales | Causes profondes |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Accroissement des prélèvements (augmentation des points d'eau) • Accroissement de la demande en eau (croissance de la population, activités dans les secteurs socio-économiques) • Réduction de la recharge à cause du colmatage des aires de recharge dû aux activités anthropiques -occupation des sols) | <ul style="list-style-type: none"> • Insuffisance de concertation entre les pays concernés • Non-application des lois et règlements • Insuffisance voire inexistence de gouvernance et de conscience de bassin • Indice de développement humain |
| <ul style="list-style-type: none"> • Pollution d'origines diverses (domestiques, industrielles, minières, élevage, rejets de toutes sortes) • Activités agricoles (engrais, pesticides) • Déversement de polluants dans le fleuve en liaison hydraulique avec les aquifères • Utilisation des terres et changement dans le mode d'utilisation des terres | <ul style="list-style-type: none"> • Non respect des lois en vigueur (code de l'eau) • Insuffisance voire absence de suivi de la qualité des eaux • Gouvernance de l'eau inadéquate • Indice de développement humain |
| <ul style="list-style-type: none"> • Déforestation (production de bois de chauffe) • Défrichage des terres pour l'agriculture et autres activités d'aménagement des terres • Migration des populations des terres arides vers les zones humides • Utilisation des terres et changement dans le mode d'utilisation des terres | <ul style="list-style-type: none"> • Insuffisance dans la conscientisation à l'échelle nationale et régionale • Faible ou absence d'engagement des pays à contribuer financièrement dans la recherche de solutions durables • Insuffisance voire absence d'application des résultats et produits issus de plusieurs études sur les risques climatiques |

V. Apport de l'ADT dans l'identification des risques hydrogéologiques

L'Analyse diagnostique transfrontalière se base sur les informations techniques et scientifiques **disponibles et vérifiées**, pour examiner l'état de l'environnement et les causes profondes de sa dégradation en se focalisant sur les problèmes transfrontaliers sans ignorer les préoccupations et les priorités nationales.

Dans le domaine des eaux souterraines transfrontalières, l'Analyse diagnostique transfrontalière permet d'identifier et d'apprécier les risques transfrontaliers d'un point de vue qualitatif. Dans la plupart des cas en effet, le système aquifère partagé par les pays « riverains » n'a jamais fait l'objet d'une étude régionale comme : **comprendre d'abord la dynamique transfrontalière des écoulements souterrains.**

S'il est vrai que l'Analyse diagnostique transfrontalière offre une flexibilité dans son concept, il est fort aisé de reconnaître qu'elle a été conçue, de préférence, vers les ressources hydriques de surface à savoir : les eaux marines, les cours d'eau (fleuves et rivières), les lacs, et les zones humides, quand bien même les zones humides traduisent parfois certains exutoires des aquifères (faible artésianisme, résurgences).

Les ressources de surface font l'objet de suivi régulier de leurs caractéristiques depuis des décennies ce qui n'est pas

le cas des aquifères. En effet, le suivi de la fluctuation des niveaux des nappes sur le terrain est réalisé au gré des projets. Lorsqu'elles sont disponibles, ces données permettent de construire les outils communs de gestion (Base de données, Système d'information géographique, Modèle mathématique) qui renforcent une gestion concertée entre les équipes nationales et de quantifier certains risques.

L'Analyse diagnostique transfrontalière est certes une méthode efficace pour identifier des problèmes majeurs transfrontaliers (tableau 4). Son application et son adaptation aux eaux souterraines transfrontalières requièrent cependant une révision de la démarche ADT/PAS en intégrant la collecte de données sur le terrain (« **la vérité Terrain** ») et le développement d'outils de gestion tels que la Base de données commune, le Système d'information géographique et le Modèle mathématique. Le projet Système aquifère du Sahara septentrional (SASS) est un excellent exemple prêt à recevoir la démarche ADT/PAS.

TABLEAU 4 : forces et faiblesses de l'apport de l'Analyse diagnostique transfrontalière



| FORCES | FAIBLESSES |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • L'Analyse diagnostique transfrontalière est flexible et donne un champ d'application large pour l'adapter aux aquifères transfrontaliers de la zone concernée ; • L'ADT est une approche participative impliquant toutes les parties prenantes concernées par la problématique. A cet effet, elle contribue à l'instauration d'un climat de solidarité et de confiance entre elles. • L'application de l'Analyse diagnostique transfrontalière encourage la construction d'une base de données sur les aquifères, un Système d'information géographique et l'élaboration d'un modèle mathématique | <ul style="list-style-type: none"> • L'Analyse diagnostique transfrontalière reste qualitative ; elle se base sur les données préexistantes collectées à travers les réunions des comités interministériels et les rapports des consultants ; elle n'approfondit pas suffisamment les risques par manque d'études effectives sur le terrain [collecte de données « Vérité terrain »] ; • Le délai d'exécution selon un canevas prédéterminé réduit la liberté d'exploitation de l'Analyse diagnostique transfrontalière dans le domaine des eaux souterraines ; |
| OPPORTUNITES | MENACES |
| <ul style="list-style-type: none"> • Le processus conduisant à l'élaboration de l'Analyse diagnostique transfrontalière au Programme d'actions stratégique n'est pas très explicite pour le domaine des aquifères ; cette imprécision offre la possibilité d'adapter le processus à la problématique des aquifères transfrontaliers à examiner ; • Le développement de l'Analyse diagnostique transfrontalière du SAI a encouragé la coopération avec les organismes (OMVS) et Autorités (ABN) de bassin de fleuve ayant déjà élaboré l'ADT des eaux de surface. • La démarche ADT/PAS pour les aquifères transfrontaliers ouvre des perspectives d'une coopération durable avec des Institutions et organismes spécialisés dans l'étude des aquifères transfrontaliers comme l'OSS. | <ul style="list-style-type: none"> • L'ADT peut ne pas aboutir en cas de refus d'un ou plusieurs pays à fournir leurs données sur les eaux souterraines • L'application de la démarche ADT/PAS est très souvent un critère d'éligibilité d'accès au financement du FEM |

Conclusion générale

L'Analyse diagnostique transfrontalière (ADT) préconisée par le Fonds pour l'environnement mondial (FEM) pour les Eaux internationales a été appliquée aux Eaux souterraines du Système aquifère d'Iullemeden partagé par le Mali, le Niger et le Nigeria. Trois risques majeurs transfrontaliers ont été identifiés : (1) la diminution de la ressource, (2) la dégradation de la qualité des eaux, et (3) les impacts négatifs de la variabilité/ changements climatiques.

Compte tenu du caractère « invisible » des eaux souterraines, le suivi de leurs caractéristiques hydrodynamiques depuis des décennies est irrégulier ce qui n'est pas le cas des quatre autres domaines d'intervention du FEM à savoir : (1) les eaux marines, (2) les cours d'eau (fleuves et rivières), (3) les lacs, et (4) les zones humides, quand bien même les zones humides traduisent parfois certains exutoires des aquifères [faible artésianisme, résurgences].

Cela a nécessité le développement d'une base de données regroupant plus de 17 200 points d'eau, un Système d'information géographique et un Modèle mathématique. Ce dernier a entre autres, mis en évidence la surexploitation de la ressource à partir de 1995 et l'interconnexion entre le fleuve Niger et eaux souterraines.

La démarche ADT est une approche participative qui implique toutes les parties prenantes concernées par la problématique.

que. A cet effet, elle contribue à l'instauration d'un climat de solidarité et de confiance entre elles. Elle renforce ainsi l'appétence d'une gestion concertée entre les équipes nationales.

Bibliographie

UNDP/GEF/UNEP/UNIVERSITY PLYMOUTH. Training course on the TDA/SAP approach in the GEF International Waters Programme (Documents disponibles en français sauf le module 2) :

- Module 1 : overview of the TDA/SAP process
- Module 2 : the project development phase and planning the TDA/SAP
- Module 3 : joint fact-finding 1 - identification and prioritisation of problems and the analysis of impacts
- Module 4 : joint fact-finding 2 - causal chain analysis, governance analysis, integration and submission of the TDA
- Module 5 : formulating the SAP
- Module 6 : governance analysis & stakeholder involvement

UNDP. The GEF IW TDA/SAP Process: Notes on a proposed best practice approach.

<http://www.iwlearn.net/ftp/iwps.pdf>

UNDP/GEF, 2005. Brief introduction on the TDA/SAP processes and their requirements. Project entitled “reducing environmental stress in the yellow sea large marine ecosystem”.

OSS, 2007. Analyse diagnostique transfrontalière du Sys-

tème aquifère d'lullemeden. Tunis. Edité par l'OSS en 2011 (Tome I).

OSS, 2007. Base de données du Système aquifère d'lullemeden. Tunis. Edité par l'OSS en 2011 (Tome II).

OSS, 2007. Modèle hydrogéologique du Système aquifère d'lullemeden. Tunis : Observatoire du Sahara et du Sahel. Edité par l'OSS en 2011 (Tome III).

OSS, 2008. Système aquifère d'lullemeden : gestion concertée des ressources en eau partagées d'un bassin transfrontalier sahélien. Tunis. Edité par l'OSS en 2011 (Tome V).

L'APPROCHE ADT/PAS DU FEM APPLIQUÉE AU SYSTÈME AQUIFÈRE D'ILLEMEDEN

L'Analyse diagnostique transfrontalière préconisée par le Fonds pour l'environnement mondial a été appliquée aux Eaux souterraines transfrontalières du Système aquifère d'Iullemeden partagé par le Mali, le Niger et le Nigeria. C'est une évaluation objective des faits scientifiques et techniques basée sur des informations disponibles et vérifiées, pour examiner l'état de l'environnement et les causes de sa dégradation, en se focalisant sur les problèmes transfrontaliers sans ignorer les préoccupations et les priorités nationales.

Trois risques majeurs transfrontaliers ont été identifiés : (1) la diminution de la disponibilité de la ressource, (2) la dégradation de la qualité des eaux, et (3) les impacts de la variabilité/changements climatiques. Cela a nécessité le développement d'une base de données regroupant plus de 17 000 points d'eau, un système d'Information géographique et un modèle mathématique. Ces trois risques ont ensuite fait l'objet d'une analyse de leurs causes à savoir les causes immédiates, fondamentales et profondes.

L'Analyse diagnostique transfrontalière est une approche participative impliquant toutes les parties prenantes concernées par la problématique. A cet effet, elle contribue à l'instauration d'un climat de solidarité et de confiance entre elles.

Partenaires



Mali



Niger



Nigeria



AIEA



ESA



FEM



FAO



PNUE



Unesco

Edité avec le soutien
financier de



Organisation
des Nations Unies
pour l'éducation,
la science et la culture



Programme
Hydrologique
International

giz



Observatoire du Sahara et du Sahel

Bd du Leader Y. Arafat, BP 31, 1080 Tunis Carthage, Tunisie

Tél. : (+216).71.206.633 - Fax : (+216).71.206.633

URL : www.oss-online.org - Email : boc@oss.org.tn