

Facilité africaine de l'eau

Observatoire du Sahara et du Sahel

GEOAQUIFER : Amélioration de la connaissance et de la gestion concertée du système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) par l'utilisation des images satellitaires

Août 2010

African Water Facility | Facilité africaine de l'eau

African Development Bank | Banque africaine de développement

BP 323 – 1002 Tunis Belvédère - Tunisie
Tel : + 216 71 102 055 Fax: + 216 71 103 744
E-mail: africanwaterfacility@afdb.org
www.africanwaterfacility.org

**BANQUE AFRICAINE DE DEVELOPPEMENT
FACILITÉ AFRICAINE DE L'EAU**

OBSERVATOIRE DU SAHARA ET DU SAHEL

GEOAQUIFER : Amélioration de la connaissance et de la gestion concertée
du Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS)
par l'utilisation des images satellitaires.

Etude de Cas :

**« GEOAQUIFER, Cartographie des usages de l'eau par télédétection dans
un bassin transfrontière: le Système Aquifère du Sahara Septentrional. »**

Août 2010

GEOAQUIFER, Cartographie des usages de l'eau par télédétection dans un bassin transfrontière : le Système Aquifère du Sahara Septentrional.

RESUME

Ce document présente les principaux résultats obtenus par le projet GEOAQUIFER. Réalisé avec le financement de la Facilité Africaine de l'Eau (FAE) et exécuté par l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS), GEOAQUIFER illustre ce que peut apporter la télédétection au service de la gestion concertée d'un grand bassin transfrontière : le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS). Périodiquement, des études ont été réalisées pour évaluer les quantités d'eau exploitables dans le SASS. La précision de ces évaluations dépend de plusieurs éléments, parmi lesquels figure l'estimation des quantités effectivement prélevées, dont la bonne connaissance et l'information mutuelle conditionne le fonctionnement objectif, équitable et durable du mécanisme de concertation mis en place par les pays riverains du SASS. Cet objectif de connaissance peut être atteint au moyen de la télédétection, par l'analyse d'images de satellites d'observation de la terre, qui permettent notamment de réaliser une cartographie numérique précise et à jour de l'état d'occupation des sols et des zones irriguées, puis de reconstituer les quantités d'eau utilisées pour l'irrigation, en les confrontant aux volumes inventoriés au sol par les agences nationales de gestion de l'eau.

INTRODUCTION

Le projet Geoaquifer recouvre le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) étendu à l'aquifère côtier tuniso-libyen de la Djeffara. Le SASS s'étend sur plus de un Million de km² en Algérie, Tunisie et Libye (Figure 1). L'extension et l'épaisseur des couches ont favorisé l'accumulation de réserves considérables, qui se renouvellent peu et ne sont exploitables qu'en partie. Au cours des 40 dernières années, l'exploitation annuelle du SASS a quintuplé, atteignant 3 fois le niveau moyen de sa réalimentation naturelle, et l'aquifère se trouve confronté à plusieurs risques majeurs: fortes interférences transfrontières, salinisation des eaux, disparition de l'artésianisme, tarissement des exutoires, hauteurs de pompage excessives... Les trois pays concernés par le devenir du système étaient donc condamnés à rechercher ensemble une forme de gestion solidaire du bassin. C'est ainsi qu'est né le « Mécanisme de Concertation du SASS », un cadre institutionnel formel de gestion commune de ces ressources en eau souterraines partagées.

La Djeffara désigne la plaine côtière tuniso-libyenne, renfermant un système aquifère dont la partie continentale s'étend sur 40000 km². En matière de risques, la Djeffara se distingue par un niveau d'alerte prononcé : en 40 ans, les prélèvements y ont également quintuplé. Il en est résulté d'importantes baisses du niveau de la nappe dans les zones côtières où se concentre l'exploitation, avec notamment dans la région de Tripoli, de très dangereuses intrusions salines d'eau de mer.

Périodiquement dans la région, les études d'évaluation des ressources en eau ont été confrontées à des besoins toujours croissants des utilisateurs. A chaque fois, un compromis a été trouvé, accordant des quantités supplémentaires en contre partie de niveaux qui s'approfondissent (SASS) et d'une intrusion marine qui progresse (Djeffara), laissant aux générations futures le soin d'apporter des précisions sur les paramètres les plus incertains des

modèles élaborés. Parmi ces paramètres figure en bonne place l'estimation des quantités prélevées, dont la bonne connaissance conditionne par ailleurs le fonctionnement objectif, équitable et durable du mécanisme de concertation. Les agences nationales de l'eau ont en effet besoin de : i) mieux localiser les zones de prélèvement d'eau pour l'usage agricole et détecter les consommations non déclarées ; ii) améliorer le suivi des infrastructures de mobilisation de l'eau ; iii) faciliter les décisions dans le cadre du Mécanisme de Concertation à l'aide de données objectives, transparentes, neutres et comparables. Ces objectifs peuvent être atteints au moyen de la télédétection et de l'analyse d'images de satellites d'observation de la terre, qui permettent de réaliser une cartographie numérique précise et à jour de l'état d'occupation des sols.

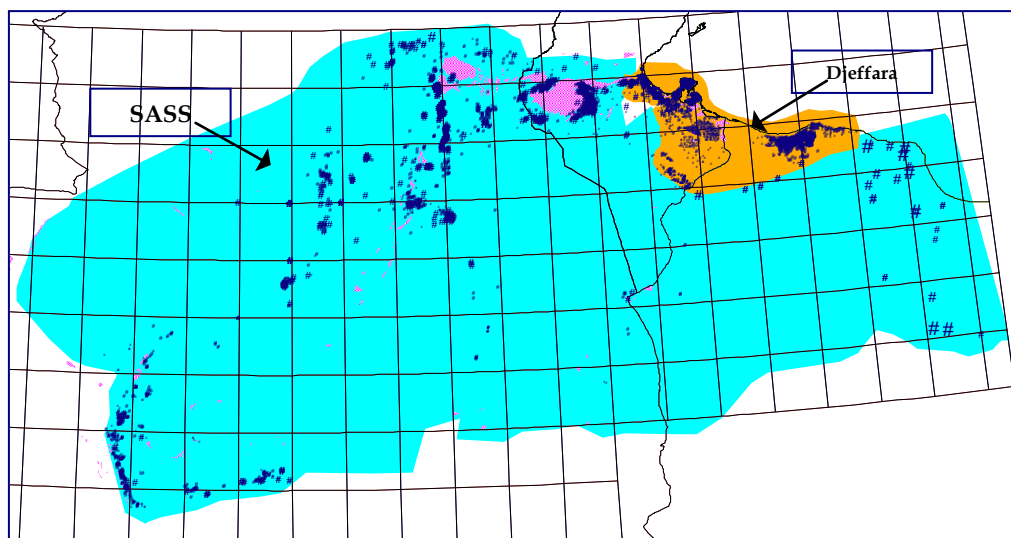


Figure 1 : Extension et points d'eau exploités dans le SASS et la Djeffara.

LE PROJET GEOAQUIFER

Le projet Geoaquifer, qui répond à ces attentes, a notamment pour objectifs: i) de mettre à la disposition des agences nationales de l'eau des outils géographiques d'aide à la décision, ii) de développer les capacités de ces agences, iii) d'initier un processus répliquable à d'autres bassins africains. Les principaux résultats à long terme du projet Geoaquifer sont de doter les pays riverains du SASS d'outils permettant de mieux définir les usages de l'eau, l'occupation du sol, la dégradation des terres, les pressions exercées par la surexploitation des ressources en eau, et promouvoir ainsi l'action solidaire engagée par le mécanisme de concertation.

Mené par l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS) et financé par la Facilité Africaine de l'Eau (FAE), GéoAquifer comprend quatre composantes : A) production de cartes d'occupation des sols; B) MNT sur l'ensemble du bassin et produits dérivés ; C) réalisation d'un globe virtuel régional et d'un outil de dissémination des données sur internet ; D) formation des agences de l'eau aux techniques de gestion des données géographiques.

Le présent papier décrit la méthodologie utilisée pour la réalisation de la composante A du projet, et l'utilisation de la télédétection et de l'analyse d'images de satellites d'observation de la terre pour réaliser une cartographie numérique précise et à jour de l'état d'occupation des sols et plus particulièrement des zones irriguées. La méthodologie présentée

reprend partiellement et sous une forme condensée le contenu du rapport final du projet Géoaquifer¹.

CARTES D'OCCUPATION DES SOLS SUR LES ZONES TEMOINS

Etant donné l'extension du domaine d'étude et la grande dispersion des aires cultivées dans les régions sahariennes, il a été décidé de focaliser l'étude sur onze zones témoins considérées comme zones d'intérêt majeur à cartographier au 1/50000 : quatre ont été définies en Libye, trois en Tunisie et quatre en Algérie (Fig.2). L'étude de l'occupation des sols des zones témoins a par ailleurs été réalisée à deux dates de prises de vue (circa1990 et circa2000) dans le but de suivre l'évolution correspondante de l'exploitation des nappes.

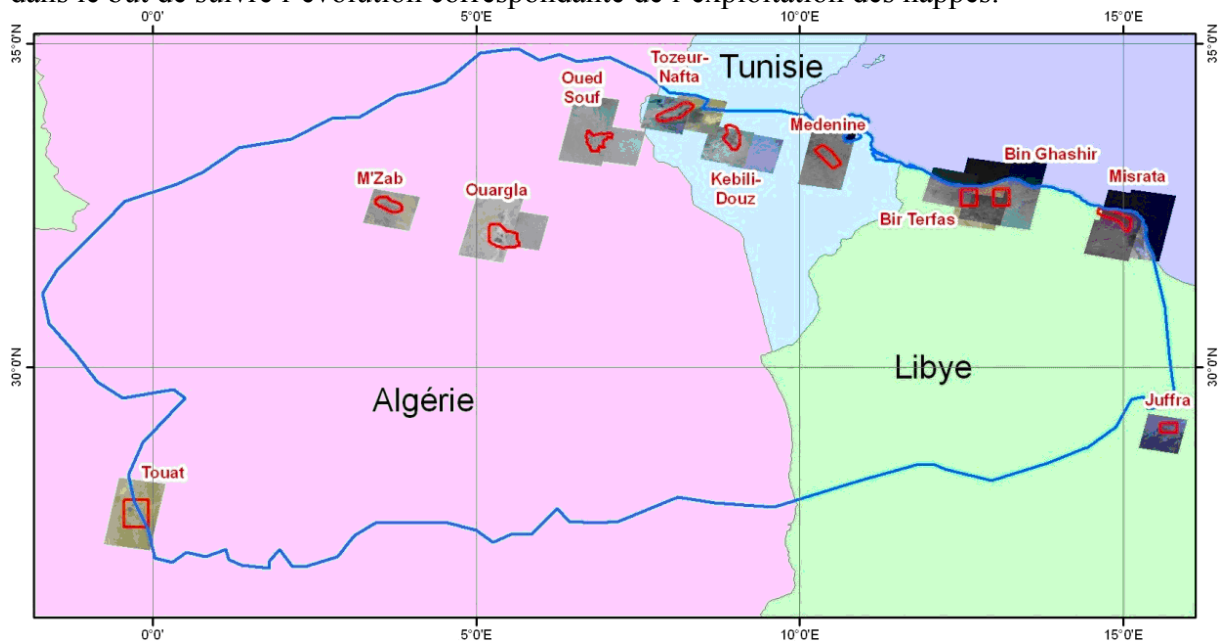


Fig. 2 : Distribution des Zones témoins sur le domaine du SASS et de la Djefara.

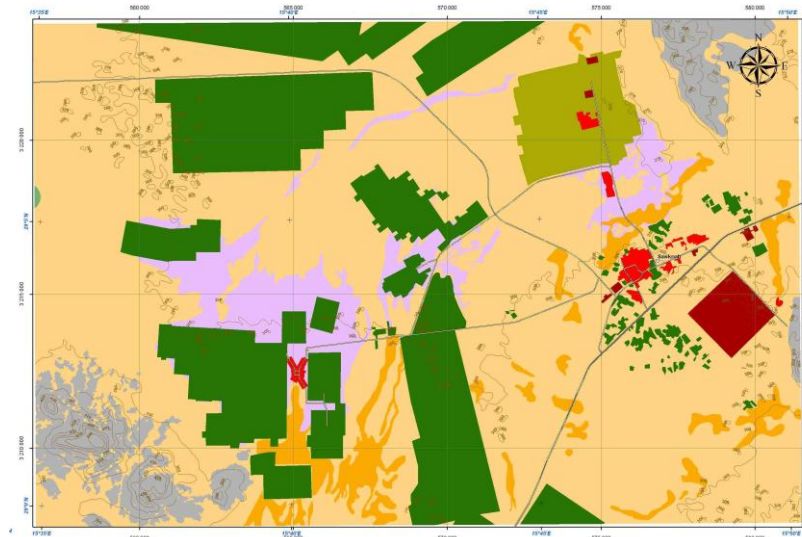


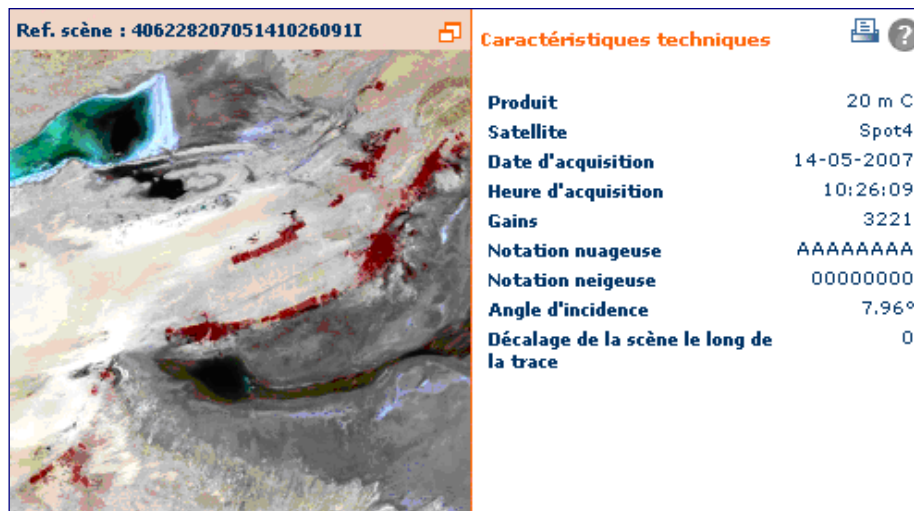
Fig.3 : Carte d'occupation des sols de la zone pilote de Juffra en Libye (cf.légende fig.8).

¹ Labidi.O, S.Stockhammer, J.Pommier : Géoaquifer ; Rapport Final ; Observatoire du Sahara et du Sahel; Mars2009.

En plus des données Spot utilisées à 20m de résolution, il a été possible d'appuyer la photo-interprétation des images actuelles par des données à très haute résolution (75 cm) exploitées librement à partir de Google-Earth. La photo-interprétation a par la suite été validée par des missions de vérité terrain sur les onze zones témoins. Au total, 22 Cartes à 1/50 000 de l'occupation ancienne et actuelle du sol sur les zones témoins ont été produites. La figure 3 en fournit une à titre d'exemple : la carte actuelle de l'occupation du sol à Jufrah en Libye.

Acquisition et traitement des données moyenne résolution :

En moyenne résolution, nous avons utilisé les images Spot à 20 m de résolution en mode multi spectral. 62 scènes Spot ont ainsi été sélectionnées, couvrant 100% des zones témoins durant la même saison (15 mars-15 mai) pour autoriser les comparaisons, et aux deux dates convenues : choix des scènes les plus récentes dans l'intervalle 2000-2007 et les plus anciennes dans l'intervalle 1985-1992. Le tableau 1 décrit les scènes retenues par zone témoin avec dates de prises de vues et sources. Entre les deux dates pour chaque zone témoin nous avons une moyenne de 20 ans de décalage pour la carte des changements de l'occupation des sols.



Caractéristiques techniques	
Produit	20 m C
Satellite	Spot4
Date d'acquisition	14-05-2007
Heure d'acquisition	10:26:09
Gains	3221
Notation nuageuse	AAAAAAAA
Notation neigeuse	00000000
Angle d'incidence	7.96°
Décalage de la scène le long de la trace	0

Fig. 4 : Exemple de fiche technique d'image Spot sur le catalogue en ligne de Spot Image; Sirius.

Exploitation des données haute résolution disponibles sur le serveur Google Earth.

Il a été possible d'appuyer la photo-interprétation des images récentes par des données à très haute résolution à 75 cm (ce sont généralement des images QuickBird²) servies par Google (GoogleMaps ou Google Earth). Nous avons délimité le parcellaire sur les zones témoins à partir des images extraites de Google Earth pour les zones couvertes. Les onze zones témoins sont couvertes à 67% avec des données de 1m et moins et à 18% avec 2.5m (Tableau 2).

² <http://www.digitalglobe.com/index.php/85/QuickBird>

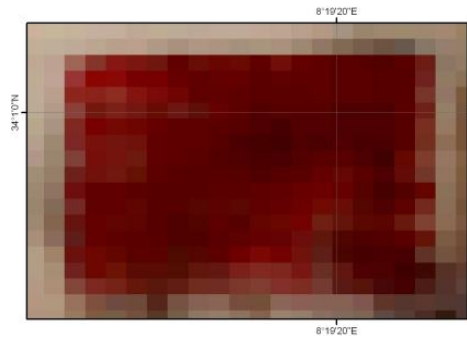


Fig.5a : Palmeraie observée sur une image Spot (20m de résolution)

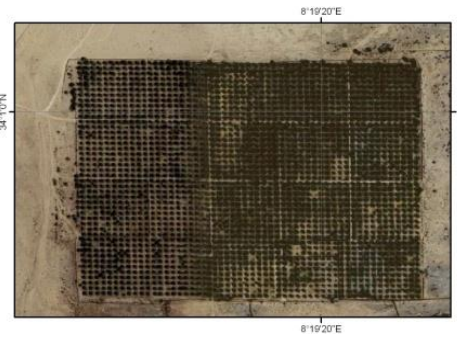


Fig.5.b : La même Palmeraie observée sur une image très haute résolution (75cm)

Tableau 1 : Scènes retenues par zone témoin.

Pays	N°	Zone témoin	Couverture récente		Couverture ancienne		Ecart ans
			Date	Source	Date	Source	
Tunisie	01	Médenine	2007-05-10	2 Scènes Spot4	1987-04-27	4 Scènes Spot1	20
Tunisie	02	Tozeur-Nafta	2007-05-14 2007-05-15	1 Scène Spot4 1 Scène Spot2	1986-04-17	2 Scènes Spot1	21
Tunisie	03	Douz	2007-04-18	2 Scènes Spot4	1988-04-30 1988-04-09	2 Scènes Spot1	19
Libye	04	Bir Terfas	2007-03-24 2007-03-25	1 Scène Spot4 1 Scène Spot2	1987-05-13 1992-03-26	1 Scène Spot4 1 Scène Spot4	20
Libye	05	Bin Ghashir	2007-05-12	4 Scènes Spot2	1986-03-18 1990-03-23	1 Scène Spot1 1 Scène Spot1	21
Libye	06	Misrata	2006-04-02 2006-04-05 2006-04-15	1 Scène Spot2 1 Scène Spot4 1 Scène Spot4	1991-05-01	4 Scènes Spot2	15
Libye	07	Juffra	2007-03-25	1 Scène Spot4	1991-03-26	1 Scène Spot2	16
Algérie	08	Oued Souf	2007-05-04	3 Scènes Spot4	1987-04-21	4 Scènes Spot1	20
Algérie	09	Ouargla	2007-03-19 2007-05-29	1 Scène Spot2 2 Scènes Spot2	1986-04-01	4 Scènes Spot1	21
Algérie	10	M'Zab	2007-05-09	1 Scène Spot2	1986-05-07 1992-04-14	1 Scène Spot1 2 Scènes Spot1	21
Algérie	11	Touat	2006-03-25	2 Scènes Spot2	1987-04-20 1987-04-25	2 Scènes Spot1 2 Scènes Spot1	19

Tableau 2 : Résolution de couverture des zones témoins.

ordre	zone	pays	Résolution		
			60 cm-1 m	2.5 m	15 m
			%		
01	Médenine	Tunisie	86	14	
02	Tozeur-Nafta	Tunisie	82	18	
03	Douz	Tunisie	1	99	
04	Bir Terfas	Libye	100		
05	Bin Ghashir	Libye	100		
06	Misrata	Libye	88	12	
07	Juffra	Libye	0	0	100
08	Oued Souf	Algérie	85	0	15
09	Ouargla	Algérie	53		47
10	M'Zab	Algérie	99		1
11	Touat	Algérie	55		45

METHODE UTILISEE POUR LA CARTOGRAPHIE

Prétraitement des images

Chaque couverture d'images devait être rectifiée géométriquement avant d'être intégrée dans une mosaïque représentant toute la zone à traiter. L'ensemble des images a été soumis à une rectification géométrique par rapport aux mesures GPS enregistrées lors des missions de validation terrain. Pour corriger les erreurs de parallaxe, nous avons utilisé le modèle numérique de terrain srtm90 (NASA's Shuttle Radar Topography Mission³). En sortie, les images ont été projetées sur le système UTM sous WGS84⁴ zone 32 Nord. Les images rectifiées sont alors découpées par rapport à la limite de la zone d'intérêt aux fins du mosaïquage.

Classification des images par photo-interprétation

L'objectif était de réaliser une classification des images, récentes et anciennes, à l'aide d'une photo-interprétation suivie d'une validation terrain. Cette tâche a été facilitée par les données disponibles sur GoogleEarth : on délimite le parcellaire sur les images très haute résolution représentant l'état actuel (le plus récent) de l'occupation des sols. Pour la photo-interprétation, l'apport des images QuickBird de Google Earth est évident. Les images SPOT sont ensuite utilisées comme images d'archives permettant d'avoir le recul de 10 ans ou plus pour l'étude des évolutions dans le temps de l'occupation des sols.



Figure 6.a : échantillon d'image Spot



Figure 6.b : image QuickBird pour la même zone à la même échelle

Dans le cas de la figure 6.b, nous pouvons percevoir des serres que l'on ne peut déceler sur l'image Spot à 20m. Par ailleurs, sur les parcelles occupées par de l'arboriculture, nous pouvons mesurer la distance entre les arbres. Elle est de 10 m ce qui porte à croire que ce sont des palmiers. Si l'on pousse l'exploitation de cette image, on peut compter les pieds de palmiers par parcelle, compter les serres et leurs superficies. On peut ainsi décliner leur besoins en eau. Selon que ces besoins sont plus ou moins satisfaits (on distingue bien dans la classification entre « agriculture irriguée intensive en palmeraie » et « palmeraies en déclin ou non exploitées » ; voir légende), il est possible de se faire une idée relativement précise des quantités prélevées sur la nappe.

³ http://www.microimages.com/documentation/TechGuides/73SRM_DVD.pdf

⁴ World Geodetic System (Système géodésique mondial) révision de 1984. Système de coordonnées terrestres basé sur un géoïde de référence ayant la forme d'un ellipsoïde de révolution.

Afin de saisir l'occupation des sols en partant de la photo-interprétation d'images de télédétection, pour chaque zone pilote, une couche vecteur a été créée pour couvrir la zone témoin étudiée et accueillir les polygones dont les limites représentent les limites des parcelles ayant un intérêt en terme d'occupation des sols par rapport à la légende. Tout ce travail est fait manuellement. Suite à la délimitation du parcellaire la table attributaire de la couche occupation des sols ainsi créée est renseignée conformément à la légende adoptée.



Figure 7.a: délimitation du parcellaire



Figure 7.b: la même zone classifiée selon la légende adoptée















Légende / Legend	
	Agriculture en sec et jachère Rainfed crops and fallow
	Agriculture irriguée intensive en palmeraie Intensive irrigated crops in palm grove
	Agriculture irriguée intensive hors palmeraie Intensive irrigated crops out of palm grove
	Palmeraie en déclin ou non exploité Declining or unfarmed palm grove
	Haie vive Living hedge
	Broussaille Bushes
	Steppe ligneuse ou herbacée Woody or herbaceous steppes
	Formation halophyte Halophyte formation
	Sol nu rocheux Bare stony areas
	Sol nu sableux Bare sandy areas
	Sol nu salé (salin) Bare saline areas
	Habitat Habitat (urban habitats or housing)
	Zone industrielle et commerciale Industrial and commercial zone
	Plan d'eau Water bodies

Fig.8 : Classification et Légende adoptées pour les différentes catégories représentées sur les cartes d'occupation des sols.

Après établissement de la carte d'occupation actuelle (récente) des sols, le résultat obtenu est comparé à l'image ancienne : on superpose la couche de polygones de l'occupation actuelle et l'on tente de déterminer les modifications. On peut ainsi établir la carte d'occupation des sols pour la situation ancienne et faire ressortir la carte des changements.

Missions de validation terrain

Les images très haute résolution ont certes facilité la photo-interprétation et fourni des cartes d'occupation des sols précises. Il était nécessaire toutefois de valider les premiers résultats obtenus en procédant à des missions de vérité terrain sur les onze zones témoins dans les trois pays, avec le concours des agences de l'eau nationales.

Au cours de ces missions, dont l'objectif était la reconnaissance et la vérification des occupations, nous avons procédé à un balayage systématique des zones et à une prise d'échantillons (photos avec coordonnées au GPS) représentatifs des divers types de faciès rencontrés. Ces informations ont servi à compléter le descriptif des types d'occupation des sols consignés dans les notices explicatives qui accompagnent les diverses cartes d'occupation des sols des zones témoins. Par ailleurs, les interviews des responsables

régionaux et des agriculteurs locaux des zones d'études, réalisés sur le terrain, ont permis de se faire une idée précise et de conforter l'historique d'occupation des zones témoins, lesquelles ont connu un développement conséquent ces dernières années, au prix certes d'une exploitation plus intense des eaux souterraines.

Le tableau 3 dresse un état récapitulatif de la distribution de l'occupation des sols établie au terme de l'analyse d'images.

Tableau 3 : Etat de l'occupation des sols dans les zones pilotes, en ha.

Désignation des classes	Tozeur Nefta	Kebili Douz	Médenin	El Oued Souf	Ouargla	Mzab	Touat	Bir Terfess	Bin Ghashir	Misrata	Jufrah
Agriculture en sec et jachères	28	388	26 393	1 063	2 366	392	2 931	41 070	42 544	32 146	
Agriculture irriguée intensive en palmeraie	7 351	13 096		4 338	4 631	1 878	2 364				8 012
Agriculture irriguée intensive hors palmeraie	79	328	1 404	4 630	774	794	1 349	7 271	11 382	19 965	10
Palmeraie en déclin ou non exploitée		302			320		97				1 210
Matorral, Haies vive	665	774	132		15			1 885	693	2 076	
Broussaille	281		2 968		16	36		9 922	2 993	7 666	
Steppes ligneuse ou herbacée	31 933	21 573	30 545		40 763	224	3 745	2 785	4 889	4 112	1 727
Formation halophyte	11 620	9 157	0	362	893	282	108				2 335
Sols nus rocheux	5 621		110		12 182	29 148	48 822		39		2 303
Sols nus sableux	11 448	21 349	4 083	59 397	55 342	28 033	114 061	105	4	4 560	24 394
Sols nus salés	9 652	12 074			5 347		684				
Habitat	1 617	2 295	1 875	3 977	3 165	1 302	1 858	2 213	1 235	653	238
Zones industrielles et commerciales	805	177	116	221	1 439	473	489	49	1 547	2 090	445
Plans d'eau	2 852	1 307	0		1 726	7	26				1
Total (en Ha)	83 952	82 820	67 626	73 988	128 979	62 569	176 534	65 300	65 326	73 268	40 675

TYPLOGIE DES CLASSES D'OCCUPATION DE SOLS ADOPTEES

A partir de l'analyse conjointe des images de satellites d'observation de la terre, et des campagnes de vérification sur le terrain, il a été décidé de retenir quatorze classes pour représenter les différents types d'occupation du sol identifiées. Les principales classes adoptées sont décrites ci après.

Agriculture en sec et jachère : Dans les zones sahariennes du SASS, la pluviométrie est insuffisante et les températures moyennes trop élevées pour le développement d'une agriculture pluviale ; par ailleurs, certaines parcelles de palmeraies n'ont jamais réussi à se développer en raison d'une mauvaise qualité de sols ou de dépôt salin. Ces parcelles ont été classées en jachères. Ont également été classées jachères les parcelles, comme au Touat ou à Ouargla, qui ont été exploitées pour l'agriculture intensive irriguée et qui n'étaient pas en exploitation à la date de prise de vue de l'image satellite. Dans la plaine côtière de la Djeffara (Ben Ghashir, Bir Terfess), c'est au contraire l'agriculture en sec (arboriculture, notamment l'olivier) qui prédomine (favorisée par des aménagements hydrauliques traditionnels de surface à Médenine).



Fig.9 : Oliviers en sec (Misrata)

Agriculture irriguée intensive en palmeraie : Dans le SASS, on trouve généralement trois types de palmeraies : i) les palmeraies traditionnelles péri urbaines où l'importance de la densité des palmiers (160/ha ; jusqu'à 270/ha à Kebili) offre un micro climat propice aux cultures à trois étages : palmiers/ vergers (grenadiers abricotiers, figuiers,...)/ maraîchages et fourrages (à Ouargla, on ne trouve pas l'étage intermédiaire) ; ii) les palmeraies récentes, extensions des précédentes ou érigées loin des agglomérations, avec forage, réseau d'irrigation et système de drainage. La densité est y moins importante (100 pieds/ha), ce qui offre moins d'ombre et d'humidité et ne favorise pas la culture à étages ; iii) les palmeraies nouvelles, privées, avec une densité moyenne (100/ha à Kebili) à forte (160/ha à Tozeur) exploitant des forages privés peu profonds ou la nappe phréatique, et où il n'est pas encore possible de pratiquer la culture étagée. Une quatrième catégorie est particulière et spécifique de la zone d'El Oued : ce sont les palmeraies traditionnelles des « Ghouts » où les arbres sont disposés de telle manière que leurs racines puisent directement dans la nappe phréatique.



Fig.10 : Palmeraies à étages à Tozeur et Kebili.

Agriculture irriguée intensive hors palmeraie : Dans l'espace du SASS, ce sont soit : i) des espaces de maraîchages sous serre, exploitant parfois l'énergie géothermique comme à Tozeur et Kebili, ii) des maraîchages et des vergers hors serres comme au Mzab, iii) de l'irrigation par pivots en parcelles circulaires : de petit diamètre à El Oued (une dizaine de milliers de parcelles de 40 à 100 m de diamètre inventoriées) puisant sur la nappe phréatique, de plus grand diamètre à Ouargla et au Touat (700m à 1km de diamètre en céréales). Dans la Djefara (Ben Ghashir, Bir Terfess, Médenine), à cette classe ont été alloués : vergers, maraîchage, fourrage, céréales, serres. Ces parcelles sont souvent mélangées avec des oliveraies.



Fig.11: Irrigation de céréales par pivot (Ouargla).



Fig. 12 : Oliveraie et fourrage irrigué (Misrata)

Palmeraies en déclin ou non exploitées : Ce faciès correspond à des palmeraies où la ressource en eau n'est plus en mesure de satisfaire les besoins des plantes, ou encore c'est la salinisation des sols ou celle de l'eau de la nappe qui est en cause. A Ouargla et sous l'effet de la remontée de la nappe phréatique, une partie importante des palmeraies a été submergée et déperée. Suite à des travaux d'assainissement, l'eau s'est retirée, mais les sols se sont saturés en sel.



Fig.13: Palmeraie morte par salinisation du sol après remontée de la nappe phréatique (Ouargla).

Steppes ligneuses ou herbacées (Parcours extensifs) : formation discontinue de végétaux xérophi les herbacés caractéristique du Sud Tunisien ; couvre la majorité des terres non utilisées dans la zone témoin de Tozeur.

Formations halophytes : plantes vivant sur sols salés aux abords des sebkhas et sur les exutoires des drains des palmeraies, ou encore végétation halophyte ayant (à El Oued) remplacé les palmiers de ghouts ayant péri suite à la remontée de la nappe phréatique.

Plans d'eau : se sont généralement constitués aux exutoires des eaux de drainage de nouvelles palmeraies.



Fig.14 : Plan d'eau constitué à l'exutoire d'un système de drainage.

L'EVOLUTION DE L'OCCUPATION DES SOLS ENTRE 1980 ET 2000

Sur les 11 zones pilotes du projet, l'analyse d'images satellitaires à deux époques différentes et les missions de vérification sur le terrain ont permis de mettre en évidence les modifications subies par les cartes d'occupation des sols dans l'intervalle. Nous avons choisi de présenter ci après les modifications les plus significatives enregistrées sur les zones pilotes

respectivement de El Oued Souf et de Ouargla.

Zone Pilote d'El Oued-Souf :

L'évolution de l'occupation des sols dans la région d'El Oued Souf réside essentiellement en l'explosion du nombre de pivots d'irrigation. Pour comprendre cette évolution, nous devons revenir sur l'histoire des problèmes relatifs aux eaux souterraines de la région.

Dès la fin du dix-neuvième siècle, le niveau de la nappe phréatique a commencé à baisser en raison d'une surexploitation due vraisemblablement au succès du système des Ghouts et à la multiplication des palmeraies. Avec l'abaissement du niveau de la nappe la productivité des palmiers diminua, ce qui nécessita le recours à l'irrigation. C'est ainsi qu'apparurent les premiers forages artésiens, dès le début des années cinquante, pour répondre aux besoins croissants en eau de l'agriculture. Le développement urbain et celui d'une irrigation, et l'absence de drainage eurent comme conséquence une remontée inéluctable de la nappe phréatique, qui engloutit les Ghouts et asphyxie les palmiers. Aujourd'hui, de très nombreux puits ont été aménagés sur toute la région pour encourager les agriculteurs à exploiter et ainsi désengorger la nappe phréatique. Ceci explique que les pivots d'irrigation, alimentés par des puits creusés dans la nappe phréatique, représentent actuellement le type d'occupation des sols le plus typique de la région. Au niveau de ces parcelles « circulaires », on cultive des primeurs et principalement de la pomme de terre. Les pivots ont des dimensions très modestes (diamètre allant de 40 à 100 m), fabriqués localement d'une manière artisanale. Cette pratique de pivots occupe actuellement presque la totalité des sols de la région, et leur nombre est estimé à plus d'une douzaine de milliers sur la zone témoin d'El Oued Souf.

Cette technique des pivots est extrêmement récente : la comparaison des images de la région prises respectivement en 1987 et 2007 montre une très importante prolifération de ce type d'exploitation pendant l'intervalle. La figure XXX indique clairement en effet que le mode de culture en 1987 (image SPOT) se limitait quasi exclusivement aux Ghouts, alors qu'en 2007 (image QuickBird) l'emprise des pivots circulaires est devenue considérable.

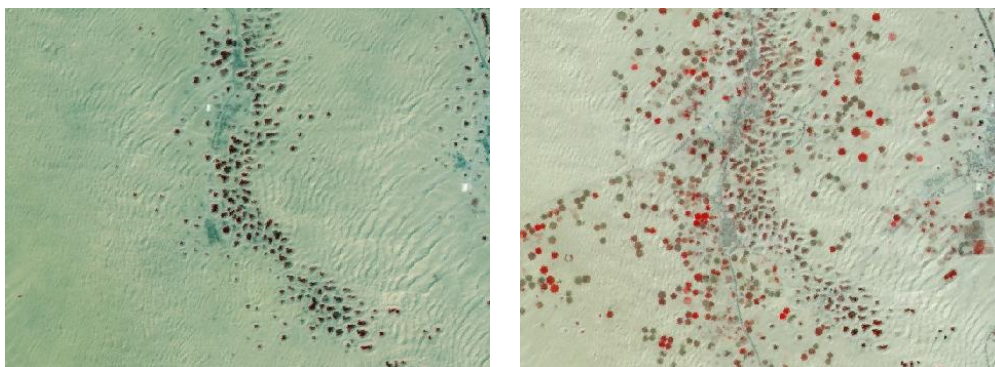


Fig.15 : Série de Ghouts à El Oued en 1987 ; Fig.16 : Image du même secteur prise en 2007

Zone pilote de Ouargla :

Sur les nouveaux projets agricoles intensifs en irrigué, notamment les 32 pivots de céréales, selon les images satellites qu'il a été possible d'étudier, le constat fut qu'en 1986 ces projets n'existaient pas encore (fig.17), en 2000 ces projets étaient presque tous en production (fig.18) et sur l'image de 2007 seulement 3 sur les 32 pivots étaient en production (fig.19) le reste de ces pivots étaient abandonnés ou ont littéralement disparu.



Figure 17: situation en 1987

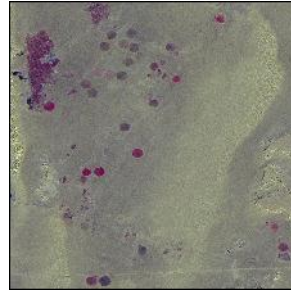


Figure 18: situation en 2000

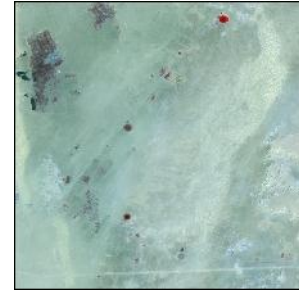


Figure 19: situation en 2007

Pareillement et en rapport avec l'évolution des projets agricoles intensifs en irrigué, les zones humides ont aussi considérablement évolué dans la zone témoin de Ouargla. En prenant l'exemple de la zone humide d'Omm Erraneb et en comparant une image de 1976 (fig.20) avec l'image correspondante de 2007 (fig.21), on remarque qu'en 1976, la zone humide était quasiment asséchée et occupée par de la végétation halophile alors qu'actuellement elle s'est transformée en un plan d'eau permanent.



Figure 20: Zone humide Oum Eraneb (Ouargla) ;
Image MSS 1976



Figure 21: Zone humide Oum Eraneb
(Ouargla) ; Image Spot 2007

Les causes de ces changements majeurs se trouvent dans l'interaction entre plusieurs facteurs : i) le rabattement de la nappe phréatique avait déjà justifié durant les années cinquante la construction de forages puisant dans le Complexe terminal ; ii) vers la fin des années 70 les forages se sont multipliés en réponse à l'augmentation des besoins en eau ; iii) depuis le début des années 80, et encouragé par une réglementation incitant à la mise en valeur des terres sahariennes, le nombre de ces forages a encore augmenté autorisant le développement dans la région de grands projets d'agriculture intensive ; iv) cette consommation croissante de la ressource en eau s'est accompagnée d'une augmentation considérable des volumes d'eaux usées et de drainage, dont l'exutoire naturel a été de suralimenter la zone humide située à proximité.

CARTE D'OCCUPATION DU SOL SUR TOUTE LA REGION SASS-DJEFFARA

La couverture GeoCover LC⁵ de l'ensemble du domaine SASS-Djeffara a été acquise, qui fait partie de la carte mondiale d'occupation des sols dérivée de la couverture moyenne résolution EarthSat. Elle est produite et commercialisée par MDA Fédéral⁶ sous forme de tuiles de 01 degré carré. Notre zone est ainsi couverte par cent quatorze (114) tuiles homogènes du point de vue de la légende. Deux dates de couvertures ont été acquises circa 2000 et circa 1990. Pour chaque date l'ensemble de ces tuiles ont été rassemblées en une seule couche raster qui a ensuite été vectorisée. Cette couche a été comparée à l'occupation détaillée des zones témoins à échelle 1/50 000 préalablement établie.

Une adaptation de la légende GeoCover LC⁷ a été nécessaire, notamment au niveau des « forêts de conifères » dans la Djeffara libyenne, corrigées et renseignées comme « agriculture irriguée » dans la nouvelle légende. Cette dernière comporte 9 classes : i) agriculture en sec, ii) agriculture irriguée, iii) broussailles et matorral, iv) steppes ligneuses ou herbacées, v) formations halophytes, vi) sols nus rocheux ou sableux, vii) sols nus salés, viii) habitat et industries, ix) plans d'eau. Les données ainsi ajustées ont servi à la réalisation de la Carte générale de l'occupation actuelle du sol sur la zone SASS-Djeffara à échelle 1/200 000.

Sur le plan hydrologique, cette carte possède un potentiel théoriquement gigantesque : elle offre la possibilité de fournir une information rapide, transparente et évolutive sur l'ensemble des zones irriguées de la région SASS-Djeffara, et par là, de procéder à une estimation immédiate des quantités prélevées en tout point de l'aquifère.

Sur un plan méthodologique et au préalable, il était donc intéressant de comparer, de caler, cette carte à celle de l'occupation détaillée des zones témoins à échelle 1/50000 préalablement établie et vérifiée au sol. Un bon calage autoriserait ainsi l'usage généralisé de cet outil ; usage dont les insuffisances demeureraient certes attachées à l'échelle à laquelle il a été conçu. Nous avons choisi d'effectuer cette comparaison sur trois zones témoins : i) El Oued Souf, ii) Kebili, iii) Bir Terfess.

Zone de Oued Souf :

La figure 22, qui met en vis-à-vis et pour un même domaine, les superficies des zones irriguées obtenues respectivement par la carte d'occupation des sols au 1/200000 et au 1/50000, indique une correspondance de qualité plutôt moyenne à médiocre au niveau de l'Oued Souf. Outre la résolution qui n'est évidemment pas du même ordre de grandeur, la raison physique est à rechercher au niveau des dates de prises de vues. Dans la région en effet, et alors que les Ghouts forment une base d'irrigation quasi invariante à l'échelle de quelques années, les pivots d'irrigation (dont le nombre est estimé à près de 12000) constituent une structure extrêmement volatile et instable : plusieurs dizaines, voire des centaines, de pivots peuvent apparaître ou disparaître en l'espace de une, deux ou trois années. La fig. 23 présente ces pivots circulaires et offre une comparaison détaillée entre les superficies issues des types de cartes élaborées.

⁵ <http://www.mdafederal.com/geocover/geocoverlc/gclcoverview/>

⁶ <http://www.mdafederal.com/home>

⁷ http://www.mdafederal.com/geocover/geocoverlc/geocover_legend/

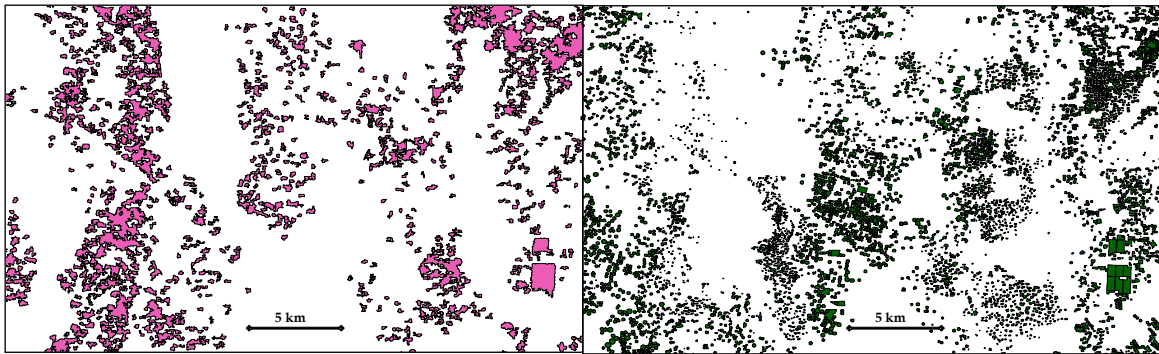


Figure 22 : Oued Souf ; extension actuelle (circa 2000) des zones irriguées obtenues respectivement par la carte d'occupation des sols au 1/200000 et au 1/50000.

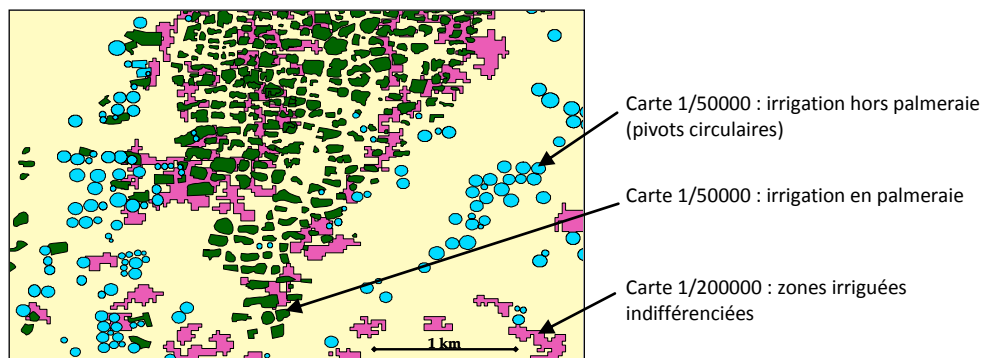


Figure 23 : Oued Souf ; extension des zones irriguées obtenues respectivement par la carte d'occupation des sols au 1/200000 et au 1/50000 ; examen de détail.

Zone de Kebili :

En première analyse, la comparaison des superficies irriguées tirées des deux types de cartes (respectivement 1/200000 et 1/50000) offre, à la différence de résolution près, une analogie et une correspondance d'excellente qualité dans toute la région de Kebili.

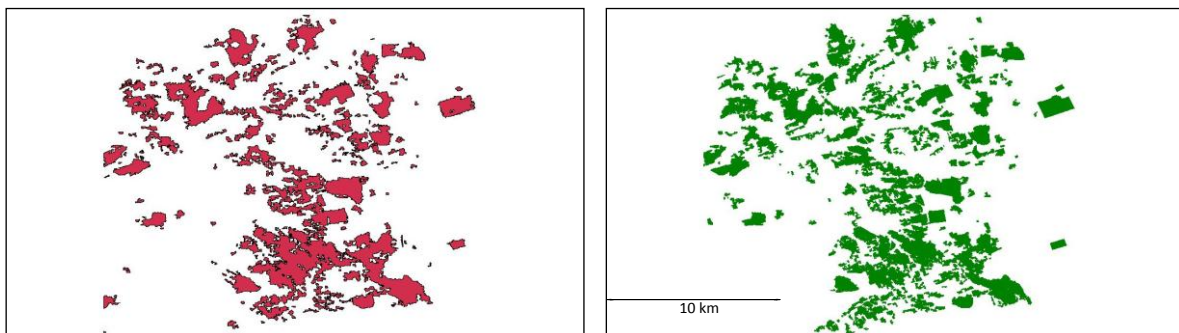


Figure 24 : Kebili ; extension actuelle (circa 2000) des zones irriguées obtenues respectivement par la carte d'occupation des sols au 1/200000 et au 1/50000.

Zone de Bir Terfess :

La fig.25 compare les superficies irriguées obtenues à partir des deux types de cartes. La région, où le climat n'est pas propice à un grand développement des palmeraies, est caractérisée par une prolifération de petites exploitations, une multitude de parcelles aux formes géométriques régulières, dont la distribution dans l'espace est bien restituée sur la carte au 1/50000. Quant à la carte au 1/200000, elle restitue la quasi-totalité des terres comme étant des zones irriguées, et cette interprétation est générale sur toute la Djeffara libyenne. Ce dernier résultat paraît de prime abord excessif, et pourrait provenir de la classification adoptée dans la légende de la couverture GeoCover LC, d'où est issue la carte d'occupation du sol au 1/200000.

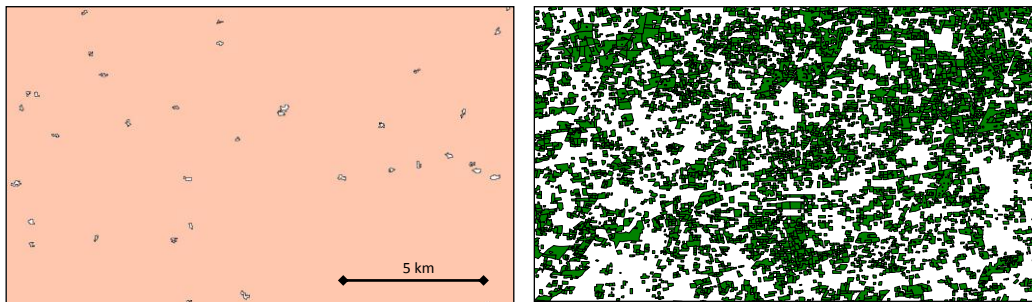


Figure 25 : Bir Terfess ; extension actuelle (circa 2000) des zones irriguées obtenues respectivement par la carte d'occupation des sols au 1/200000 et au 1/50000.

Distribution des zones irriguées sur l'ensemble du domaine SASS-Djeffara :

En conclusion de cette brève comparaison entre les deux types de cartes d'occupation des sols, Il semble que la carte au 1/200000, établie à partir de la couverture GeoCover LC, puisse être très utile pour des premières estimations des superficies irriguées sur le domaine du SASS, mais que, en raison de la méthode de classification adoptée, les superficies cartographiées sur la Djeffara sont surestimées.

Dans la Djeffara en effet, la culture intercalée de luzerne durant toute l'année, sur des parcelles très petites (inférieurs à l'hectare) et très rapprochées, fait que le critère utilisé pour identifier les parcelles irriguées n'est plus respecté. Ce critère est le suivant : « la réponse chlorophyllienne des cultures sur la bande passante du proche infrarouge des images de télédétection est maximale du 15 mars au 15 mai (pour notre zone climatique) et devrait s'amenuiser voire disparaître pendant la saison d'été ». Par ailleurs, les images utilisées ont 30 mètres de résolution. Vue l'exiguïté des parcelles (ce sont souvent des parcelles de 15 mètres de largeur), les confusions pour la classification automatique sont importantes. Sachant par ailleurs que le fournisseur de la donnée, le MDA, effectue cette opération à l'échelle du globe terrestre, on peut imaginer que la Djeffara ait pu être l'objet d'une telle méprise.

Moyennant la prise en compte de cette anomalie, la carte d'occupation des sols au 1/200000 offre des possibilités d'inventaire des zones irriguées sur tout le SASS. Le tableau 4 récapitule, par région administrative (wilaya), les superficies irriguées estimées par télédétection, les superficies irriguées estimées au sol par les différentes études agro-pédologiques et socio-

économiques réalisées⁸, les volumes prélevés sur le SASS enregistrés dans la Base de données du SASS.

Tableau 4 : Superficies irriguées par wilaya et prélèvements d'eau dans le SASS.

		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Wilaya	Sup_irrig_ha carte_1/200 000 Geoaquifer	Superf_irrig(ha) estimation SASS II	Prélèvements Base de Données SASS ; 10 ⁶ m ³ /an	Vol spéc m ³ /ha/an (3) / (1)	Vol spéc m ³ /ha/an (3) / (2)
Libye	Al Jufrah	4 919	7 200	62	12 592	8 603
	Bani Walid	12 533	1 000	21	1 710	21 436
	Surt	2 670		26	9 609	
Algérie	Adrar	18 267	27 500	196	10 737	7 132
	Biskra	63 751	58 000	740	11 603	12 754
	El Oued	30 015	39 900	368	12 251	9 216
	Ghardaia	10 559		202	19 172	
	Ouargla	19 302	18 100	403	20 904	22 293
	Tamanghasset	3 403		45	13 185	
Tunisie	Kebili	17 842	12 000	384	21 506	31 976
	Tozeur	7 261	6 500	112	15 380	17 182

En Libye et en nous limitant aux wilayas du SASS, les ordres de grandeur paraissent à priori acceptables, mais à Bani Walid le contraste est très grand entre les deux méthodes d'estimation des superficies irriguées. En Tunisie, les estimations sur Tozeur et Kebili sont conformes aux ordres de grandeur établis par ailleurs : à Tozeur, les deux procédés d'estimation des superficies donnent des résultats quasi identiques, ce qui n'est pas le cas à Kebili, où Geoaquifer semble fournir une valeur plus plausible. Concernant l'Algérie, les superficies fournies par la carte au 1/200000 y paraissent tout à fait conformes aux valeurs estimées au préalable, que ce soit à Biskra, El Oued, ou Ouargla ; mais on note un fort écart à Adrar. Ce tableau généralise en quelque sorte la validation de la carte au 1/200000 en Algérie, en Tunisie et en Libye hors Djeffara.

Quant aux résultats en termes hydrologiques, en termes d'allocation d'eau à l'hectare, le tableau 4 indique des valeurs tout à fait plausibles que ce soit : i) en Tunisie (15000 à 20000 m³/ha/an en palmeraies exclusives, hors l'anomalie de Kebili à 32 000 m³/an/ha), ii) en Algérie (10 à 12000 m³/ha/an dans les wilayas où le palmier n'est pas exclusif : Adrar, Biskra, El Oued ; 20000 m³/ha/an à Ghardaia et Ouargla), iii) ou en Libye hors Djeffara (10 à 12000 m³/ha/an à Surt, Jufrah).

⁸ i) Bedrani S. & Chehat F. (2005) : Données agronomiques et socio-économiques sur la zone du SASS en Algérie. OSS, Janv. 2005, 74 p et annexes ; ii) M'hiri A. (2004) : Les systèmes de cultures et d'élevage de la zone SASS du sud tunisien ; OSS, sept. 2004, 87p et annexes ; iii) Tamimi M., Sbeita A. & Shawesh N.(2004): Agricultural activities and production within the agricultural systems in NW region of Libya. OSS, Oct.2004, 25 p & annexes.

CONSIDERATIONS SUR LA DURABILITE DE L'EXPLOITATION DU SASS :

Aux indicateurs classiques de mesure de la pression exercée sur les ressources naturelles du SASS (croissance démographique, amélioration du niveau de vie des populations), le projet Geoaquifer a apporté la possibilité d'estimer le niveau d'accroissement de la demande agricole par la mesure de l'extension des zones irriguées. Cette pression s'est d'ores et déjà traduite par un certain nombre de symptômes menaçant la durabilité de la ressource (baisse de niveau des nappes, salinisation des eaux, dégradation des terres agricoles, etc.) et avait incité les trois pays concernés à entreprendre, sous l'égide de l'OSS, une étude approfondie du devenir des ressources en eau du Sahara à l'aide du Modèle du SASS⁹. Les principales conclusions de cette étude, partiellement résumées ci après, décrivent bien les perspectives dans lesquelles s'inscrit le devenir des ressources en eau de la région.

Exploitation des Ressources et Gestion des Risques : L'approche purement « minière » de la ressource exploitable des nappes réputées « fossiles », qualifiée classiquement par les rabattements de niveau économiquement admissibles, a dû être abandonnée. Les premières simulations effectuées sur le modèle SASS ont en effet mis en exergue un certain nombre de nuisances et de « risques » auxquels est exposée la ressource en eau du simple fait de son exploitation. Vouloir continuer à exploiter encore plus les nappes du CI et du CT nécessitera désormais de savoir, en connaissance de cause, minimiser et gérer ces risques, parmi lesquels on peut notamment citer, dans un ordre de gravité décroissant : la réalimentation potentielle par les Chotts et l'augmentation des salinités, le tarissement des exutoires, d'importantes interférences entre les pays, la disparition de l'artésianisme, des hauteurs de pompes excessives.

Risques liés au simple maintien de l'actuel : Les calculs effectués sur le Modèle ont clairement montré que la simple poursuite des prélèvements actuels¹⁰ entraînerait, à l'horizon 2050, des rabattements supplémentaires de l'ordre de 30 à 50 mètres sur chacune des deux nappes, et ce notamment sur l'ensemble du bassin des chotts. Une telle situation serait inacceptable pour le Complexe Terminal : le risque de percolation du chott vers la nappe serait fatal pour cette dernière en termes de salinité. La simple poursuite de l'existant, du moins dans le CT, serait donc tout à fait inacceptable pour la région des Chotts. Là, il faudra sérieusement envisager la réduction des prélèvements comme un scénario plausible, et s'y préparer d'ores et déjà

Perspectives nouvelles et Durabilité du système : Comment assurer le maintien, voire un accroissement, des prélèvements d'eau pour le meilleur développement de la région sans risquer pour autant de dégrader l'état de la ressource ? Et comment parvenir à formuler le « meilleur » schéma d'exploitation dans ce sens ? Il a d'abord fallu inventorier les risques encourus et préciser les contraintes à respecter pour minimiser ces risques. Cela nécessitait de pouvoir quantifier ces risques, et de savoir les modéliser. Le Modèle Numérique du SASS était précisément investi d'une telle fonction.

L'un des résultats des investigations effectuées sur ce modèle a permis de vérifier qu'il existait une possibilité de porter l'exploitation par forages du SASS, estimée à 2.2 km³/an en 2000 [1.33 en Algérie, 0.55 en Tunisie, 0.34 en Libye], jusqu'à un niveau de 7.7 km³/an à l'horizon 2030, et ce, tout en respectant dans une certaine mesure les contraintes relatives aux risques de dégradation de la ressource. L'atteinte d'un tel niveau de développement de la

⁹ OSS : *Système Aquifère du Sahara Septentrional, Rapport de Synthèse, 2003.*

¹⁰ La période de référence est ici l'année 2000

ressource ne pouvait se faire qu'au prix d'une rupture totale avec les régions traditionnelles d'exploitation intensive. En effet, 80% des prélèvements additionnels devront se faire dans des régions «nouvelles» et parfois très éloignées des zones habitées: Bassin Occidental du CI, confins sud du CT. Par pays, cette exploitation supplémentaire se décompose comme suit : 6. km³/an en Algérie, 0.7 km³/an en Tunisie, 1 km³/an en Libye.

Un tel scénario ferait passer l'exploitation du SASS à niveau égal à huit fois ses ressources renouvelables. Une telle opération n'est évidemment réalisable que par un très important puisage sur les réserves du système, dans les zones à surface libre du bassin occidental, là où l'on est assuré que les rabattements demeureront à un niveau minime, dans des régions difficiles d'accès du Grand Erg Occidental. Il faut toutefois souligner la nécessité de confirmer certains des résultats obtenus : malgré les progrès réalisés par le projet SASS, de nombreuses incertitudes subsistent dans la connaissance du système, qui nécessiteront d'entreprendre de nouvelles investigations.

Maîtrise des Risques et Indicateurs de suivi de la ressource : Comment exploiter les nappes sahariennes dans l'optique d'un développement durable ? Les trois pays concernés par le devenir du système étaient condamnés à rechercher ensemble une forme de gestion commune pour minimiser les risques liés à l'exploitation du bassin. L'un des facteurs de risque concerne l'ignorance des effets et les dangers qui résultent d'une mauvaise connaissance de la nappe. La levée de ces incertitudes contribue à améliorer davantage la représentativité du modèle et augmenter encore la fiabilité des calculs effectués. Les investigations et les recherches à venir devaient porter sur les questions relatives aux paramètres physiques de la nappe. Il était par ailleurs primordial qu'un Réseau de Référence permanent fût mis en place pour assurer la production d'Indicateurs fiables et permettre le suivi et l'évaluation de la ressource : niveaux de prélèvements, réseau piézométrique, réseau qualité, réseau hydro-pluviométrique, etc.

GEOAQUIFER, DE LA THEORIE A LA PRATIQUE DE LA CONCERTATION

La pérennité des acquis du projet est assurée par le fonctionnement du mécanisme de concertation du SASS mis en place par les trois les pays partageant la même ressource. Le mécanisme de concertation du SASS, qui constitue une première expérience de gestion commune des eaux souterraines, est doté d'une structure opérationnelle financée sur fonds des pays pour son fonctionnement et la mise en œuvre d'activités permanentes (gestion des réseaux, production d'indicateurs, ...). Le projet Geoaquifer, qui a certes bénéficié de la mise en place du mécanisme, a en retour fortement contribué à la consolidation du mécanisme en concrétisant la mise en pratique du concept de concertation : durant les trois années du projet, Geoaquifer a en effet mobilisé autour d'un même objectif les institutions du secteur de l'eau d'Algérie, de Tunisie et de Libye, ainsi que des bureaux d'études et des consultants des trois pays.

Par sa contribution à l'inventaire des zones irriguées, et par là, à la connaissance des prélèvements d'eau, Geoaquifer a contribué à assurer un fonctionnement objectif, équitable et durable du mécanisme de concertation. Pour les agences nationales de l'eau, il était important de bien localiser les zones de prélèvement d'eau d'irrigation et de faciliter ainsi les décisions dans le cadre du Mécanisme de Concertation à l'aide de données objectives, transparentes, neutres et comparables.

En théorie, les quatre composantes du projet s'intègrent parfaitement dans les objectifs et les activités prévues pour le mécanisme de concertation. En pratique, les problèmes techniques rencontrés par les différents pays pour la mise en œuvre de Geoaquifer les ont naturellement conduits à s'organiser ensemble : la pratique du partenariat, du travail en commun et des

formations suivies ensemble au cours du projet ont progressivement renforcé la solidarité et la confiance mutuelle entre les différentes équipes techniques.

Par ailleurs, la conscience renforcée, que les problèmes rencontrés par les uns peuvent être résolus grâce en partie aux actions menées par les autres, et la certitude que l'échange d'informations, qui fonde toute décision commune, est devenu avec la transparence que procure Geoaquifer, une activité utile, nécessaire et incontournable, ont considérablement contribué à une adhésion forte et massive de toutes les parties prenantes à la réalisation du projet, illustrant par des activités quotidiennes et des résultats pratiques et concrets, les principes énoncés dans les textes fondateurs [9] du Mécanisme de concertation du SASS.

CONCLUSIONS

1. Malgré la complexité du projet, la diversité des intervenants, la dispersion des activités sur un territoire très étendu et le caractère transnational du projet, Geoaquifer s'est achevé sur un ensemble de réalisations conformes aux objectifs fixés à l'évaluation et les résultats prévus ont été globalement atteints; parfois même dépassés, notamment en terme de qualité de certains produits élaborés. Le projet a notamment permis des avancées significatives en termes de maîtrise et de traitement des données géo scientifiques. Le produit phare du projet : les cartes d'occupation du sol des onze zones pilotes à l'échelle 1/50000, constitue une belle réussite technologique dénotant un remarquable savoir faire.
2. Certes le projet Geoaquifer s'est terminé en laissant d'importantes interrogations et des zones d'incertitudes sur le plan technique. Au terme du projet, un certain nombre de questions et de défis demeurent posés : meilleure connaissance des périmètres irrigués sur l'ensemble de la Djéffara libyenne, meilleure connaissance des prélèvements d'eau sur le SASS et la Djéffara, meilleure utilisation des données géo scientifiques et des images satellites pour la gestion des ressources en eau et le fonctionnement ordinaire du Mécanisme de concertation du SASS. Tous ces défis, qui forment les prolongements naturels du projet Geoaquifer, devraient s'inscrire dans les programmes de coopération à venir entre l'Observatoire du Sahara et du Sahel et la Facilité Africaine de l'Eau.
3. Cohérence du projet avec les domaines d'intervention de la FAE : Les objectifs et les activités du projet Geoaquifer correspondent bien aux domaines d'intervention de la Facilité Africaine de l'Eau que sont : i) la gestion des ressources en eau transfrontières et le développement commun des eaux partagées, par la sensibilisation, le partenariat et les programmes conjoints de développement d'intérêt mutuel ; ii) l'établissement et l'amélioration des compétences dans les domaines des systèmes d'information et de connaissance et des capacités de gestion, au niveau national et régional, pour soutenir le développement et la gestion des ressources en eau avec en perspective l'amélioration du suivi et de l'évaluation de cette ressource.
4. Le projet s'inscrit par ailleurs parfaitement dans les axes prioritaires du NEPAD de gestion intégrée des ressources en eaux transfrontières et dans les stratégies de réduction de la pauvreté des pays riverains du bassin du SASS, qui ont placé la gestion de l'eau comme priorité pour le développement durable. Geoaquifer s'inscrit également dans le cadre du programme opérationnel 2005-2009 de la Facilité Africaine de l'Eau, en améliorant le cadre de connaissance et de gestion concertée du

système aquifère du SASS partagé entre l'Algérie, la Libye et la Tunisie. Il a mis en œuvre des technologies innovantes en matière d'utilisation des images satellitaires, et a contribué au renforcement des capacités nationales dans une perspective de durabilité et de renforcement du mécanisme de concertation.

5. Réplicabilité du projet à d'autres bassins transfrontières : le projet peut être considéré comme une réussite exemplaire et un modèle original et transposable au regard de l'élaboration de cartes numériques des zones irriguées pour servir de donnée complémentaire et contradictoire, et assurer une meilleure fiabilité à l'estimation des prélèvements souterrains généralement peu précis. Le projet a par ailleurs efficacement contribué à la formation des praticiens de l'hydrologie aux techniques de télédétection et aux méthodes d'analyse hydro géographique, qui font désormais partie de l'arsenal des connaissances de tout spécialiste de l'eau.

REMERCIEMENTS

Le contenu de l'étude de cas reprend partiellement et sous une forme condensée le rapport de synthèse du projet SASS [OSS : Système Aquifère du Sahara Septentrional ; Rapport de Synthèse, 2003] et le rapport final du projet Geoaquifer [Labidi.O, S. Stockhammer, J. Pommier : Geoaquifer ; Rapport Final ; Observatoire du Sahara et du Sahel; Mars2009].

Le projet Geoaquifer, qui a rassemblé un grand nombre de spécialistes de l'eau d'Algérie, de Libye et de Tunisie, représente une œuvre collective et résulte d'un travail d'équipe soutenu. Nous tenons à remercier tout particulièrement, pour leur contribution déterminante au déroulement et à la réussite du projet : Rachid Taibi, Abderrazak Zahrouna, Taha Ansari (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, ANRH, Algérie), Omar Salem, Sadek Kadri, Houssine Telloua (General Water Authority, Libye), Mekki Hamza, Brahim Ben Baccar, Brahim Labidi, Houcine Yahyaoui, Lahmadi Moumni, Aissa Agoun (Direction Générale des Ressources en Eau, Tunisie), Christian Crépeau, Omar Labidi, S. Stockhammer, J. Pommier (Consultants), Djamel Latrech, Lamine Baba Sy, Rachid Khanfir, Abdelkader Dodo (Observatoire du Sahara et du Sahel), Yvon Kedaj, Francis Bougaire (Facilité Africaine de l'Eau).

Le projet GEOAQUIFER est financé par la Facilité Africaine de l'Eau, Don N°5600155000251.

REFERENCES

- 1- AFDB-OSS : Amélioration de la connaissance et de la gestion concertée du Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) par l'utilisation de l'imagerie satellitale ; Rapport d'évaluation ; Facilité Africaine de l'Eau ; Décembre 2006.
- 2- AWF: Request for Financing Submitted by the Sahara and Sahel Observatory (OSS) to The African Water Facility (AWF); Tunis, July 2006.
- 3- AWF-OSS: Rapport d'achèvement du projet présenté par le donataire, Février 2010
- 4- Bedrani S. & Chehat F. (2005) : Données agronomiques et socio-économiques sur la zone du SASS en Algérie. OSS, Janv. 2005, 74 p et annexes ;
- 5- Besbes M, Abdous B, Abidi B, Ayed A, Bachtta M, Babasy M, Ben Baccar B, El Batti D, Ben Salah Y, Charreton MB, Biout F, Douma A, Fezzani C, Gadhi M, Horriche F, Kadri S,

- Khadraoui A., Khanfir R., Kinzelbach W., Larbes A., Latrech D., Margat J., de Marsily G., Mamou A., El Mejerbi M., Mekrazi A., Mhiri A., Moumni L., Nanni M., Pallas P., Pizzi G., Salem A., Salem O.M., Taibi R., Zammouri M., 2003. Le Système Aquifère du Sahara Septentrional, Gestion commune d'un bassin transfrontier ; La Houille Blanche-Rev Int Eau ; 5:128–133.
- 6- Fezzani C., Latrech D., Mamou A., Trux A., 2005. Le système aquifère du Sahara septentrional (SASS). Gestion conjointe d'un bassin hydrologique international. Agriculture & Développement rural, 1/2005, 57-59
 - 7- Geoaquifer website: <http://prog.oss.org.tn/geoaquifer/index.php/fr/geocatalogue>; consulté ce 8/7/2010.
 - 8- Labidi.O, S. Stockhammer, J. Pommier : Geoaquifer ; Rapport Final ; Observatoire du Sahara et du Sahel; Mars 2009
 - 9- M'hiri A. (2004) : Les systèmes de cultures et d'élevage de la zone SASS du sud tunisien ; OSS, sept. 2004, 87p et annexes ;
 - 10- Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS), 2008, Système Aquifère du Sahara Septentrional – Gestion concertée d'un bassin transfrontière. Tunis, Observatoire du Sahara et du Sahel, 49 p. Collection Synthèse, n°1
 - 11- OSS : Atelier de lancement du projet GeoAquifer, Tunis, 6-7 Juin 2007
 - 12- OSS : Compte rendu de Réunion du Comité de pilotage du projet Geo Aquifer ; Alger ; 15-16 Nov.2009
 - 13- OSS : Déclaration des Ministres des ressources en eau des pays partageant le SASS : Système Aquifère du Sahara Septentrional (Tunis, 2007).
 - 14- OSS : Projet GEOAQUIFER, Etude de conception préliminaire ; 17 Sept.2007
 - 15- OSS : Projet Geoaquifer; Rapport d'activités soumis au Comité de pilotage ; Alger ; 15-16 Nov.2009
 - 16- OSS : Session de formation sur les outils du Système d'Information Géographique ; compte rendu de mission à Toulouse ; 15 Juin 2009.
 - 17- OSS : Système Aquifère du Sahara Septentrional ; Rapport de Synthèse, 2003.
 - 18- OSS-AWF : Cartes d'occupation des sols au 1/50.000, et notices explicatives; zones pilotes de Tozeur, Kebili, Medenine, El Oued Souf, Mzab, Ouargla, Touat, Bin Ghashir, Bir Terfess, Misratah, Jufrah.
 - 19- Tamimi M., Sbeitia A. & Shawesh N.(2004): Agricultural activities and production within the agricultural systems in NW region of Libya. OSS, Oct.2004, 25 p & annexes.