Académie tunisienne des sciences, des lettres et des arts
Beit al Hikma

Département des Sciences Mathématiques et Naturelles
Groupe d'Etude des Problèmes de l'Eau

© OSS et J. Margat 1995

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional

Conférence du 23 avril 2025

Palais de l'Académie

Mustapha Besbes

Synthèse

Principaux contributeurs de l'Etude du SASS
1999-2007. Ed. Observatoire du Sahara et du Sahel. Tunis

Ahmed MAMOU, Mounira ZAMMOURI, Belcacem ABDOUS, Philippe PALLAS, Jamel LATRECHE, Chedli FEZZANI, Djemili El BATTI, Omar SALEM, Rachid TAIBI, Abedelmalek AYED, Mehdi El MEJEBRI, Rachid KHANFIR, Abderrazak KHADHRAOUI, Ali LARBES, Fatima BIOUT, Ali DOUMA, Assem AYOUBI, Lotfi MADHI, Tahar BOUFILA, Brahim Ben BACCAR, Brahim ABIDI, A. MESSAOUDENE, M. FEDEL, M. EL HAJ, S. EL BAROUNI, Brahim MERZOUGUI, Lahmadi El-MOUMNI, Yosra BEN SALAH, Abdelmajid SLAMA, Stefano BURCHI, Sadek KADRI, Faten HORRICHE, Mohamadou Lamine BABASY, Ghislain de MARSILY, Giuseppe PIZZI, Jean MARGAT, Wolfgang KINZELBACH, Mustapha BESBES.

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional

Sommaire

Préambule

Le Complexe Terminal

Le Continental Intercalaire

Le Modèle Mathématique du SASS

Le SASS 20 ans après !

Peut-on prélever encore sur les réserves du SASS ?

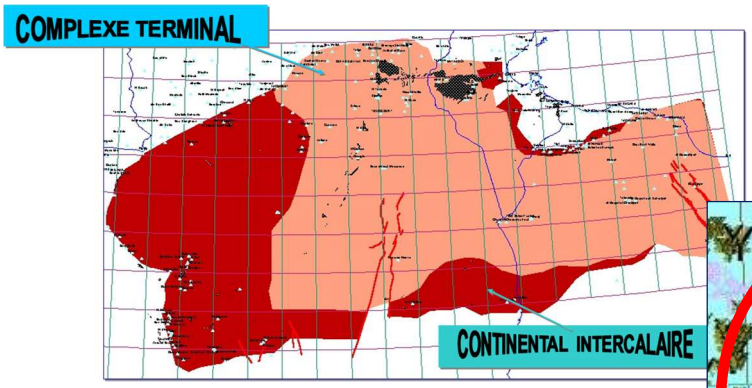
- ✓ Quelles sont les réserves du SASS ?
- ✓ Quelle est l'exploitation du SASS en Libye et en Algérie ? Et quel en est l'impact sur la Tunisie ?
- ✓ Exploitation du Bassin Occidental : Horizon 2200

En guise de conclusion : peut-on puiser encore plus dans les Réserves du SASS en Tunisie ?

Préambule

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional [SASS], partagé par l'Algérie, la Tunisie et la Libye, renferme des réserves d'eau considérables, qui ne sont pas exploitables en totalité et se renouvellent peu. L'exploitation par forages, de l'ordre 3 km^3/an, se trouve confrontée à de nombreux risques : importants rabattements, fortes interférences entre pays, dégradation de la qualité des eaux[1]... Les simulations réalisées sur le Modèle du SASS[2] ont mis en évidence les zones les plus vulnérables et dressé la carte des risques hydrologiques. Par ailleurs, la Tunisie vient de subir l'une des sécheresses les plus sévères de son Histoire, et avec ses réserves, le SASS pourrait se présenter comme une opportunité permettant de traverser des périodes climatiques aussi difficiles. C'est la thèse défendue par un certain nombre de personnalités de la société civile, mais les experts n'y sont pas favorables : peut-on en effet, sans dommage irrémédiable, puiser encore plus dans les réserves du SASS ? Le débat est introduit par une rétrospective des études et recherches conduites au début des années 2000 par l'Observatoire du Sahara et du Sahel sous l'égide des gouvernements de l'Algérie, de la Libye et de la Tunisie. Le présent document constitue une version fidèle mais abrégée de la conférence prononcée le 23 avril 2025 à Beit al Hikma, avec des développements inspirés par le débat suscité.

Le SASS comprend deux grands aquifères recouvrant l'Algérie, la Libye et la Tunisie ; ces aquifères s'étendent sur plus de 1 M km2, dont 80 000 km2 en Tunisie.



Le **Continental intercalaire** (**CI**) désigne l'épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins : à la base, le cycle Paléozoïque, au sommet, le cycle du Crétacé supérieur. Le

Complexe Terminal (**CT**) est un ensemble comprenant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire, notamment Miocènes.

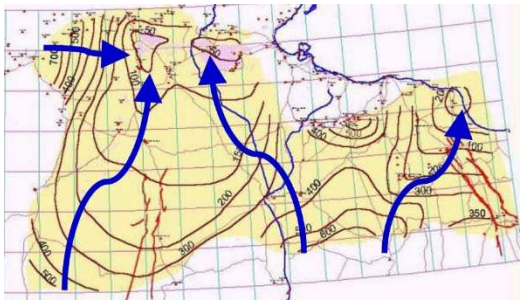
[1] Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS). 2003. Besbes M., Abdous B., Abidi B., Ayed A., Bachta M., Babasy M., Ben Baccar B., El Batti D., Ben Salah Y., Biet Charreton M., Biout F., Douma A., Fezzani C., Gadhi M., Horriche F., Kadri S., Khadraoui A., Khanfir R., Kinzelbach W., Larbes A., Latrech 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. Système aquifère du Sahara septentrional. *Gestion Commune d'un Bassin Transfrontière. La Houille Blanche.5/2003.*

[2] Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS). Besbes M., Zammouri M. Système Aquifère du Sahara Septentrional. Modèle Mathématique. Oct.2002.

L'étude du SASS s'est poursuivie de 1999 à 2006.

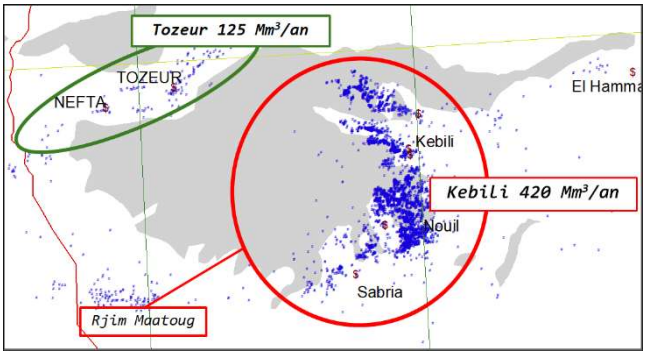
En Tunisie, SASS & Djeffara recèlent la totalité des ressources en eau du Sud. Ces systèmes offrent, selon les estimations actuelles, un Potentiel Exploitable de 920[3] Mm³/an, dont 460[4] Mm³/an sont renouvelables.

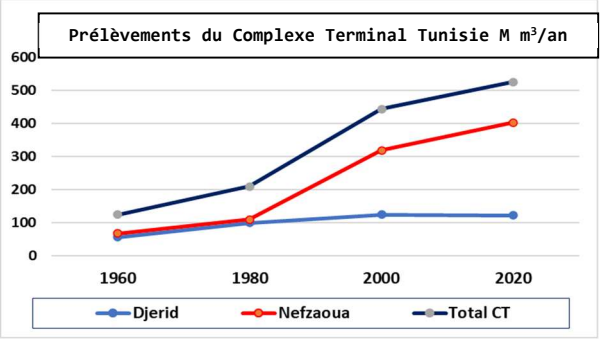
Le Complexe Terminal



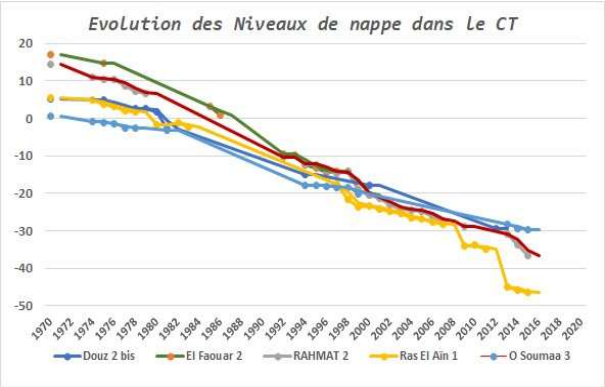
Sur la carte en courbes de niveau de la nappe (isopiézométriques, en mètres), la frontière algéro-tunisienne correspond globalement à une ligne de courant principale du CT, indiquant une ligne de flux nul avec une entrée en Tunisie sur le Nord vers le Chott Djerid, et des flux régionaux au Sud originaires du Fezzan.

Voici comment se répartissent les prélèvements du CT en Tunisie : Tozeur comporte environ 600 forages, avec une profondeur moyenne de 600 à 700 m ; la Nefzaoua près de 10000 forages avec des profondeurs moyennes de 100 m.

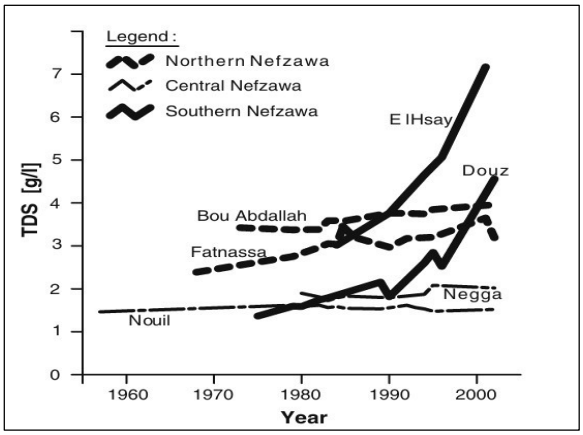




Le développement du CT a connu une évolution remarquable, sous l'effet d'incitations essentiellement privées → Le Prélèvement total en 2020 atteint 520 Mm3/an (source Bases de Données DGRE).



Conséquence : une baisse des niveaux de



la nappe de 30 à 50 m dans toute la Nefzaoua avec comme corollaire des augmentations de salinités

Selon M.Zammouri & al. 2007. « Les sources de contamination pourraient être : des remontées d'eau plus salée du CI ou un retour d'eaux de drainage agricole… mais

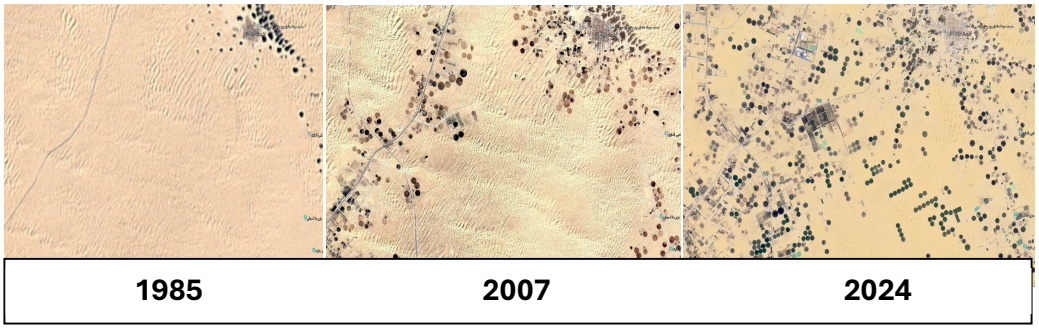
[3] Scénario retenu du Modèle SASS : CI Tunisie (155 Mm3/an) -CT Tunisie (555) -Djeffara (210)
[4] Recharge locale SASS (210), Flux aux frontières (150), Recharge Djeffara Tun. (100)

pas le Chott Djerid au stade actuel, … l'état des salinités ne pourra que s'aggraver si l'on maintient le régime actuel des prélèvements ».

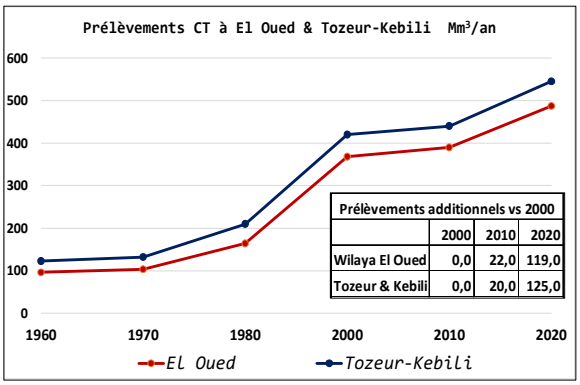
… Et de l'autre côté de la frontière, que se passe-t-il ?

Une irrigation centralisée par pivots orientée cultures maraichères.

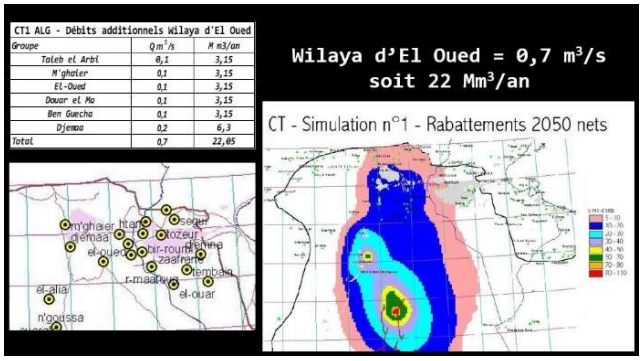
L'évolution des prélèvements à El Oued (secteur de Lizerg, schéma suivant) semble similaire à ce qui se passe en Tunisie (prises de vues Google Earth 1985 ; 2007 et 2024).



Cette observation locale est confirmée par les tendances globales sur toute la Wilaya d'El Oued. Les projections agricoles (Bedrani,2005) prévoyaient une superficie irriguée de 140 000 ha avec un prélèvement de 1 Mrd m3/an ; par comparaison, une publication plus récente (**2015**)[5] fait état de 70 000 ha irrigués, que l'on peut convertir en 500 Mm3/an

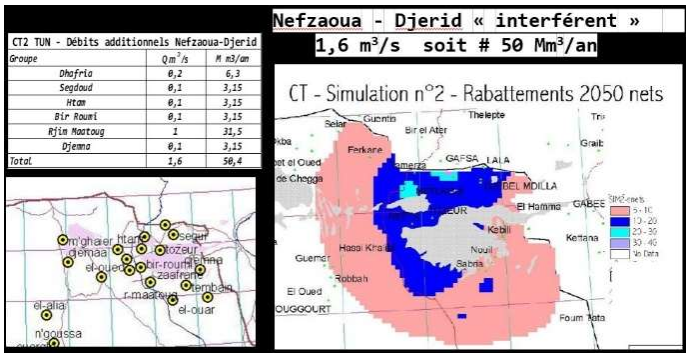


Les effets des prélèvements supplémentaires par rapport à l'an 2000 peuvent être jugés objectivement par leurs rabattements induits, évalués sur le Modèle SASS. Le scénario CT Algérie SIM1 a très peu d'impacts sur la Tunisie pour des prélèvements additionnels prévus sur la wilaya d'El Oued de 0,7 m3/s (soit 22 Mm3/an). En réalité, <u>ce que l'on observe en 2020 c'est 5 fois plus</u> ! En termes de rabattements 2050 on doit donc s'attendre à bien plus que ce qui a été prédit

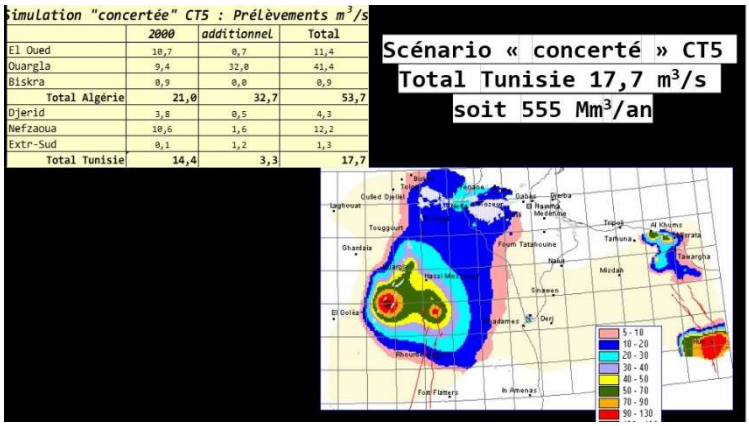


[5](Secteur des ressources en eau à El-Oued : investissement de plus de | vitaminedz)

Il en est de même en Tunisie, où le scénario CT SIM2 a peu d'impacts sur l'Algérie pour un prélèvement additionnel de 1,6 m3/s (soit 50 Mm3/an hors El Ouaar, Tembain, Borj el Khadhra) ; mais ce qui est observé effectivement en 2020 c'est 2,5 fois ce qui a été prévu dans ce secteur !

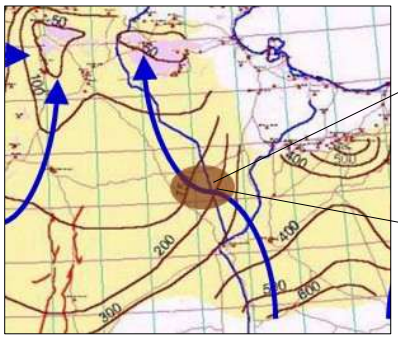


CT2 TUN - Débits additionnels Nefzaoua-Djerid		
Groupe	Q m³/s	M m3/an
Dhofria	0,2	6,3
Segdoud	0,1	3,15
Htam	0,1	3,15
Bir Roumi	0,1	3,15
Rjim Maatoug	1	31,5
Djemma	0,1	3,15
Total	1,6	50,4



Simulation "concertée" CT5 : Prélèvements m³/s			
	2000	additionnel	Total
El Oued	10,7	0,7	11,4
Ouargla	9,4	32,0	41,4
Biskra	0,9	0,0	0,9
Total Algérie	21,0	32,7	53,7
Djerid	3,8	0,5	4,3
Nefzaoua	10,6	1,6	12,2
Extr-Sud	0,1	1,2	1,3
Total Tunisie	14,4	3,3	17,7

Synthèse des prédictions sur le CT avec le scénario CT5 : les prélèvements CT Algérie ayant été fortement « délocalisés » au SW de Ouargla.



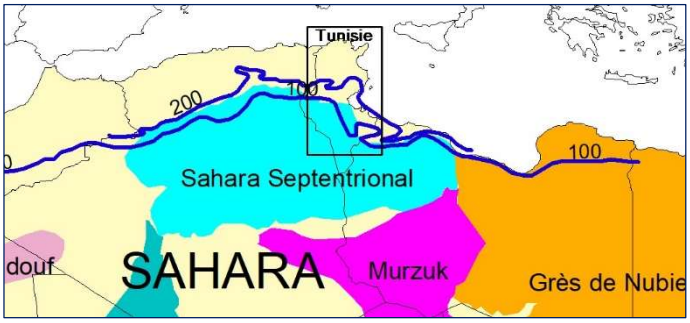
Ce bref exposé du CT se termine malheureusement sur une note inquiétante. Outre les risques de salinisation des eaux évoqués plus haut, un autre danger majeur existe sur le plus long terme : dans ce « lac d'El Borma » sont rejetés, probablement dans la nappe du CT depuis plus de 50 ans, les eaux de production du site, soit plusieurs centaines de Millions de m3 à des salinités de plus de 100 g/L. Certes les particules de sel et d'hydrocarbures mettraient, selon le modèle du SASS, entre 1000 et 10000 ans pour parvenir à Rjim Maatoug puis au Djerid ! Mais tout cela demande à être précisé. Malheureusement, ce phénomène n'est pas documenté, à l'exception d'un travail de recherche[6] publié en 1988.

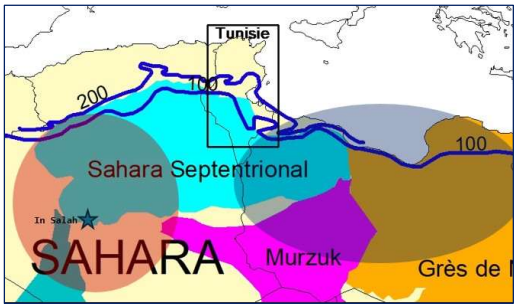
Le Continental Intercalaire

C'est l'épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins : à la base, le Paléozoïque, au sommet, la grande transgression cénomanienne (Crétacé supérieur).

[6] F. Shel : Devenir des eaux de production du gisement pétrolifère d'El Borma- DEA : FSTunis-1988

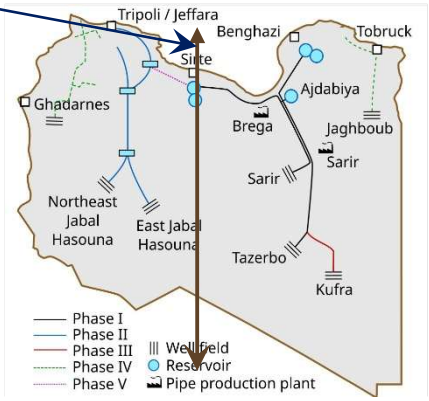
Le Sahara comprend d'autres grands systèmes aquifères, limitrophes du SASS : i) le Murzuk au sud, dont les liens hydrauliques avec le SASS, notamment le CI, sont connus[7], ii) à l'Est, le système des Grès de Nubie, un aquifère immense analogue au SASS





A la limite Ouest du SASS : le transfert In Salah- Tamanrasset # Max 50 Mm3/an (1,5 m3/s) (population à terme de 500 000 hab et tourisme). Selon les simulations du Modèle SASS, aucun impact sur la Tunisie (distance 1000 km ; voir plus bas p20 : « Bassin Occidental à 108 m3/s »)

Limite orientale de la nappe du Continental Intercalaire

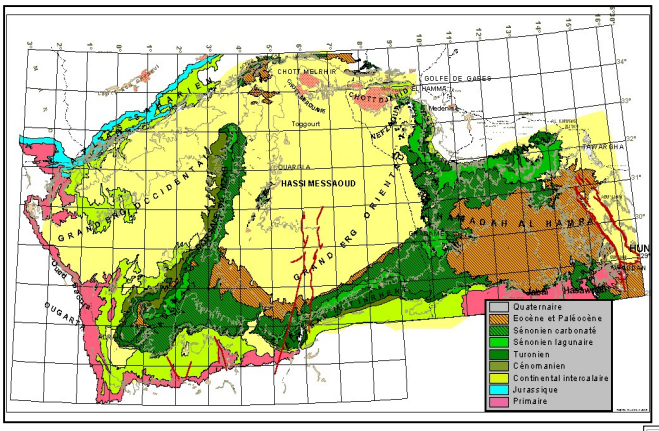


© Wikipédia

Great Man-Made River Project

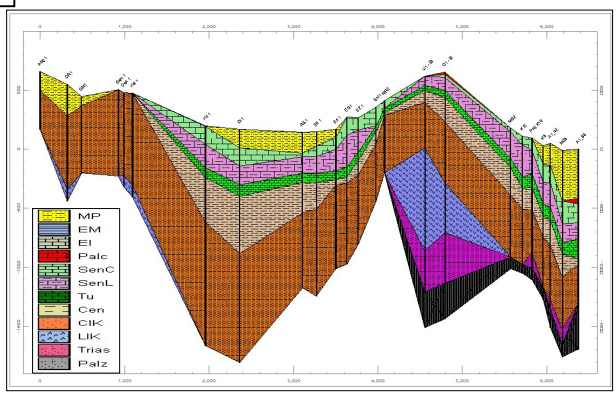
Dans sa partie orientale, la nappe du Continental Intercalaire est directement concernée par la 4ème phase de la Grande Rivière artificielle de Libye ; Il s'agit du transfert de Ghadamès vers la côte. Le champ de Ghadamès prévoit de prélever 90 Mm3/an, à raison de 140 puits de 20 à 25 L/s. Les études et les essais de Ghadamès sont terminés, mais le projet n'est pas encore opérationnel.

[7] « Au niveau du J. Hassawnah la piézométrie du CI (Kikla) se raccorde parfaitement à celle de la nappe du Cambro-Ordovicien » ; extrait de « Bilan d'Activités de l'Unité de Coordination du Mécanisme de Concertation du SASS. » OSS, Tunis. Janvier 2000



Revenons au tout début : ceci représente la carte géologique du Sahara Septentrional. En surface prédominent les formations tertiaires et quaternaires (couleur claire sur la carte) ; mais déjà on observe 3 grands Bassins, 3 grands systèmes : i) le Bassin occidental, celui du Grand Erg Occidental, ii) le Bassin Algéro-Tunisien au centre, Bassin des Chotts et du Grand Erg Oriental, iii) le Bassin Libyen à l'Est.

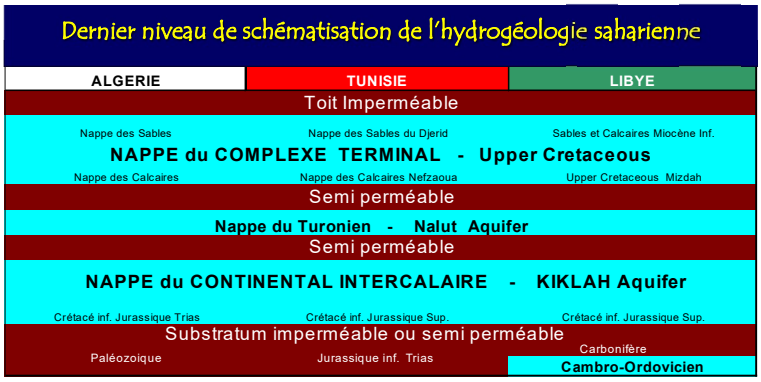
Ces Structures sont confirmées par cette grande coupe WE, qui fait 1800 Km de portée ; où l'on distingue bien les 3 grands bassins sédimentaires et 2 grands réservoirs perméables continus : au-dessus, un ensemble comprenant les calcaires Sénoniens en vert et les sables Mio Pliocènes en jaune (le Complexe Terminal) ; en profondeur, les formations détritiques du Continental Intercalaire (Formation Kiklah en Libye), une couche remarquablement continue sur toute la coupe, d'épaisseur 500 à 1000 m.

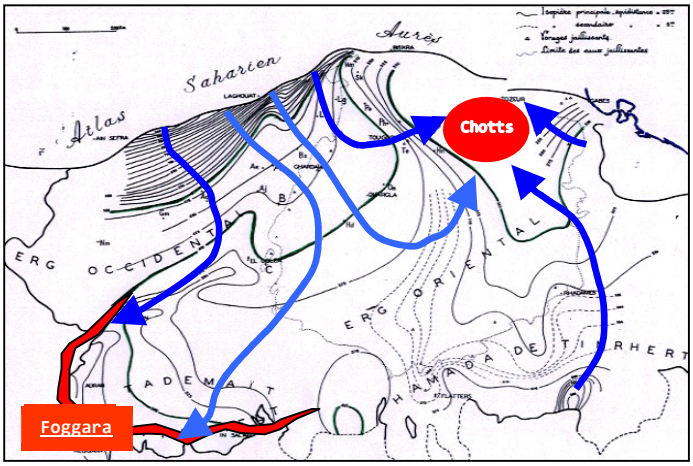


Unité stratigraphique		Aquifères & Aquitards		
		ALGERIE	TUNISIE	LIBYE
Plioquaternaire	Mio-Pliocène	2ème nappe des sables	Toit Imperméable	aquifère local
Miocène	Mio-Pliocène	semiperméable		semiperméable
Aquitanien	Mio-Pliocène	1ère nappe des SABLES	Nappe des SABLES du Djerid	aquifère
Oligocène	Mio-Pliocène	semiperméable		aquifère local
Eocène Moyen		Semi perméable	Semi perméable	aquifère médiocre
Eocène Inférieur		Nappe des CALCAIRES	aquifère non reconnu	
Paléocène			Semi perméable	
Sénonien Sup	Maestrichtien		Nappe des Calcaires Sup de Nefzaoua	Upper Cretaceous - Paleocene : MIZDA Aquifer
Sénonien Sup	Campanien			
Sénonien Sup	Santonien		Semi perméable	
Senonien Inférieur		Imperméable	Nappe Calcaires Inf/Nefzaoua	semiperméable
			Semi perméable	
Turonien		Nappe du TURONIEN	Nappe du TURONIEN	NALUT Aquifer
Cénomanien		Imperméable	Imperméable	imperméable
Albien		Nappe du CONTINENTAL INTERCALAIRE	Nappe du CONTINENTAL INTERCALAIRE	Jurassic - Low er Cretaceous : KIKLAH Aquifer
Aptien				
Barremien				
Néocomien		eau salée		
Malm	Kimmeridgien	Nappe du Jurassique	semi-perméable	
Malm	Callovo-Oxfordien		Nappe du JURASSIQUE	
Dogger	Bathonien			
Lias		Toit imperméable	Imperméable	imperméable
Keuper				
Muschelkalk				Trias : AZIZIA Aquifer
Bundstandstein		Nappe salée du Trias	Nappe du TRIAS	

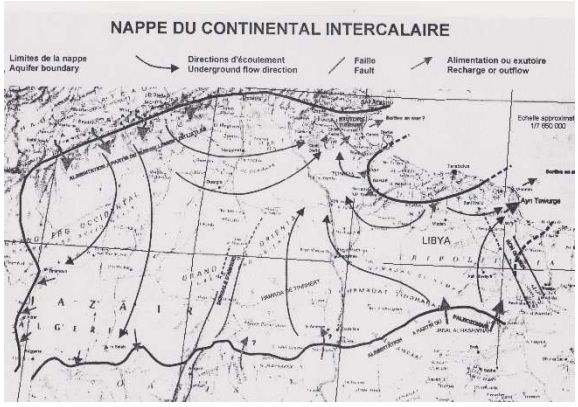
Les niveaux géologiques recoupés aux forages sont souvent rattachés à des appellations locales. Ils sont ensuite calés sur l'échelle stratigraphique universelle. Ce résultat a nécessité un long et minutieux travail de schématisation.

Pour aboutir à ce résultat final schématisé en Bicouche, le Turonien aquifère étant passablement inconstant sauf en Libye.

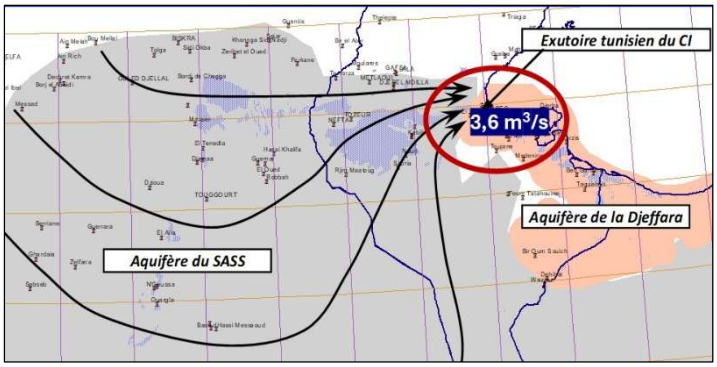




Le premier géologue à avoir imaginé une dynamique plausible du système aquifère du Sahara septentrional s'appelle André Cornet ; cela a donné cette carte des équipotentielles du CI publiée en 1964, à partir de laquelle on peut tracer les lignes de courant principales.



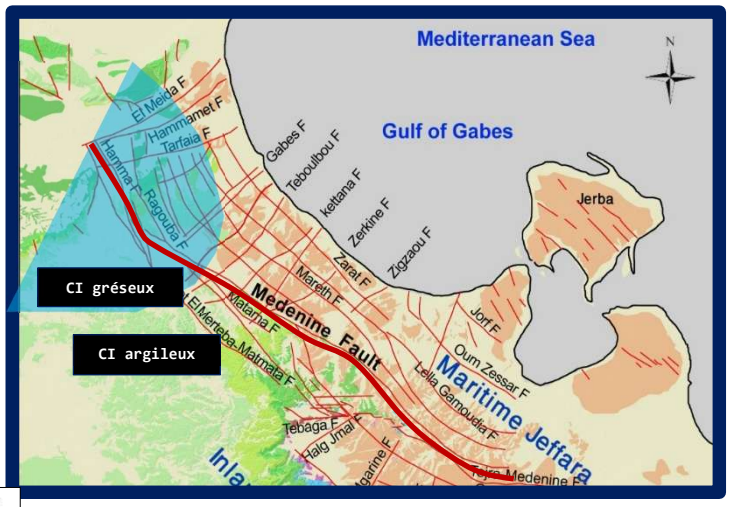
Ce 1er schéma considérait déjà deux bassins hydrauliques principaux avec deux grands exutoires : i) le bassin oriental concentre les écoulements du Continental Intercalaire vers les chotts algéro-tunisiens, ii) le bassin occidental concentre les écoulements du CI vers les foggaras du Touat. Par la suite, il a été montré que le bassin oriental ne s'écoulait (pour l'essentiel) pas dans les chotts mais dans le golfe de Gabès[8], plus précisément dans la nappe de la Djeffara, en profondeur et à travers des discontinuités dont la plus importante est la faille de Médenine. C'est ce que l'on appelle l'Exutoire Tunisien du CI, à la connaissance duquel Ridha Rouatbi, premier tunisien à explorer l'hydrogéologie du SASS, a apporté une contribution significative.

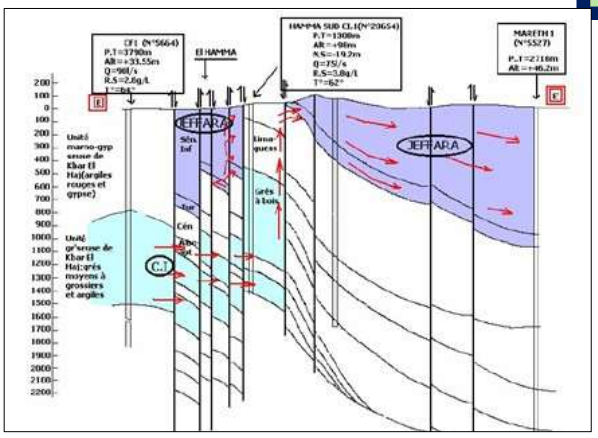


Dans le bassin des chotts algéro-tunisiens, les écoulements du CI, qui sont originaires de l'Atlas saharien, traversent allègrement la frontière (là on n'est pas du tout dans la configuration du CT !), pour converger vers le Nord de la Djeffara.

[8] Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional, UNESCO, 1972.

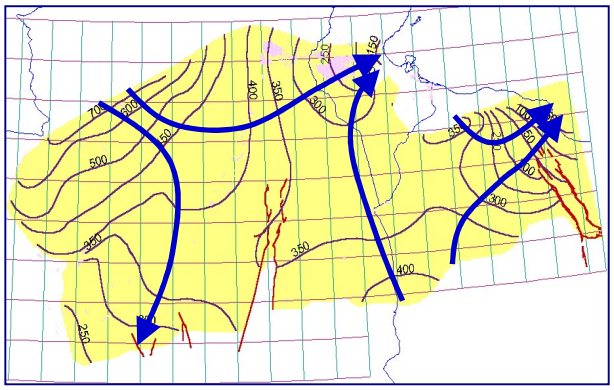
Ces écoulements convergent dans le CI gréseux de la région d'El Hamma, puis sont distribués dans toute la plaine de la Djeffara par la faille de Médenine[9].



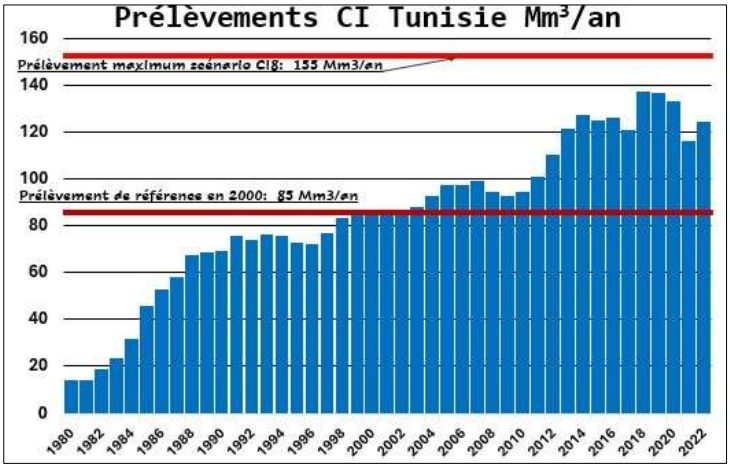


Ce schéma explique ce qui est censé se passer en profondeur[10].

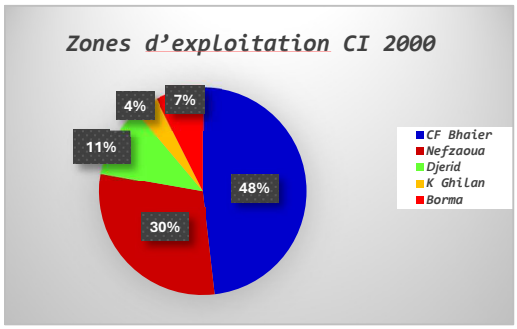
Et celui-ci reconstitue les écoulements régionaux du CI.



[9] Source: H. Chihi & al 2023; OSS 2006.
[10] K.Abid, Master Univ.Sfax.



Les Bases de Données DGRE permettent de reconstituer les prélèvements au CI durant les 40 dernières années. Nous ne sommes pas loin aujourd'hui en Tunisie, des valeurs limites (155 Mm3/an) simulées sur le Modèle SASS.

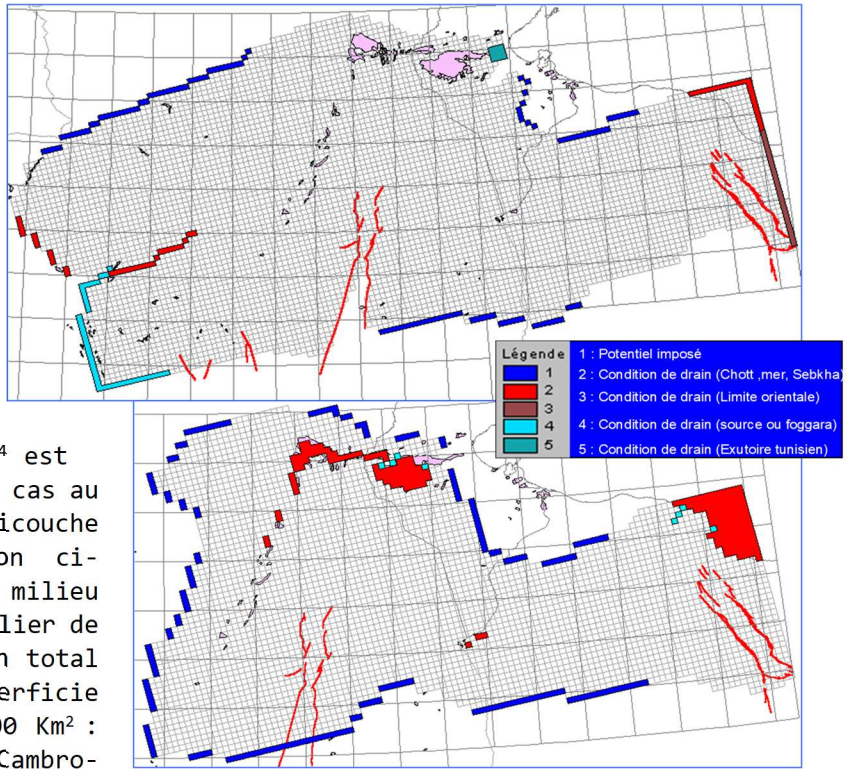


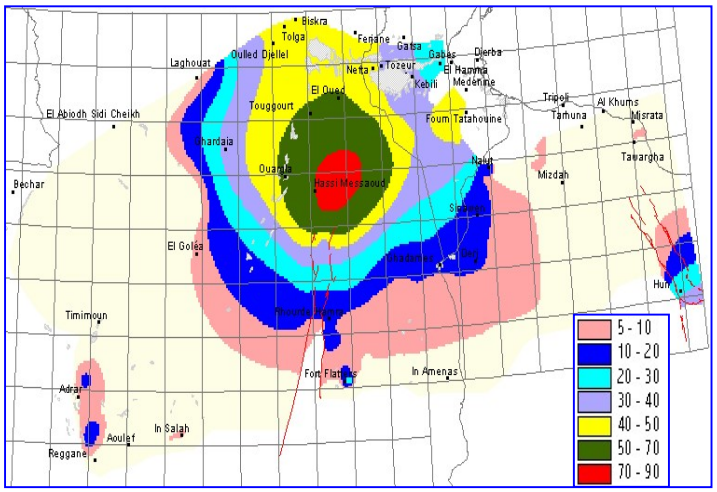
Avec une répartition régionale dans laquelle Nefzaoua, Chott Fejej et Bhaier prélèvent près de 80%.

Le Modèle Mathématique du SASS :

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(T_x\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(T_y\frac{\partial h}{\partial y}\right)+q_H+q_B=S\frac{\partial h}{\partial t}+q \qquad q_H=K_v\frac{H_H-H_C}{e_H} \qquad q_B=K_v\frac{H_B-H_C}{e_B}$$

C'est un modèle quasi-tridimensionnel fondé sur l'hypothèse du multicouche : les écoulements dans les semiperméables (aquitards) sont strictement verticaux lorsque l'on considère que les écoulements dans les aquifères principaux sont horizontaux. Cette hypothèse est vérifiée lorsque le contraste de perméabilités entre formations est important : un rapport de 10^4 est suffisant, ce qui est bien le cas au Sahara. L'équation du multicouche est donnée par l'expression ci-dessus. La discrétisation du milieu décrit un maillage carré régulier de 12,5x12,5 Km, représentant un total de 16523 mailles avec une superficie développée de près de 2500000 Km² : CT, Turonien, CI et Cambro-ordovicien du Dj. Hassaouna.

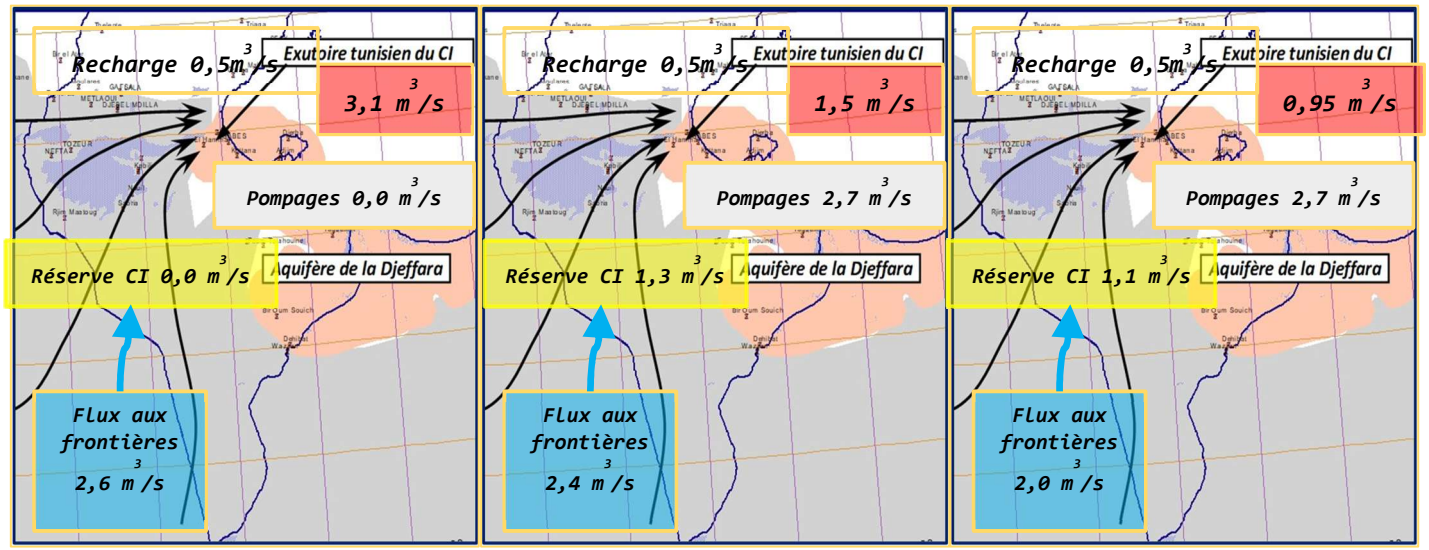




Les Simulations du Modèle SASS

Continental Intercalaire : SIM0.
C'est la *poursuite de l'Actuel, le Scénario Zéro,* qui constitue la référence pour estimer l'effet de tout prélèvement additionnel. Les Rabattements (en mètres sur la fig. ci-contre) sont calculés par rapport aux Niveaux restitués par le Modèle en 2000.

SIM0, Bilan du CI Tunisie :



1950 **2000** **2050**

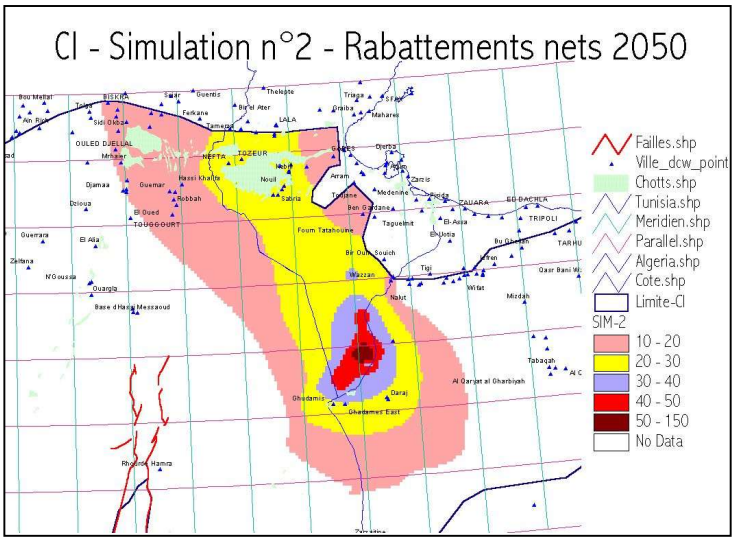
Simulation SIMCI2 - Principes de la simulation :

i) Débits additionnels exclusivement localisés en Tunisie afin d'en mesurer l'incidence sur chacun des deux autres pays

ii) Soutirages maxima en respectant les contraintes suivantes :

- ✓ Eloignement du champ des Chott Fedjej afin de garantir le minimum d'influence sur le débit de l'exutoire tunisien
- ✓ Conserver l'artésianisme en minimisant les rabattements

iii) Débits additionnels imposés (Chott Fejej 0,2- Hazoua 0,3- Degache 0,1- PIK 0,2- Bj BG 0,2- B.Zar 0,2- Tieret 0,5- Bj Kh 0,5- Total 2,2 m3/s).

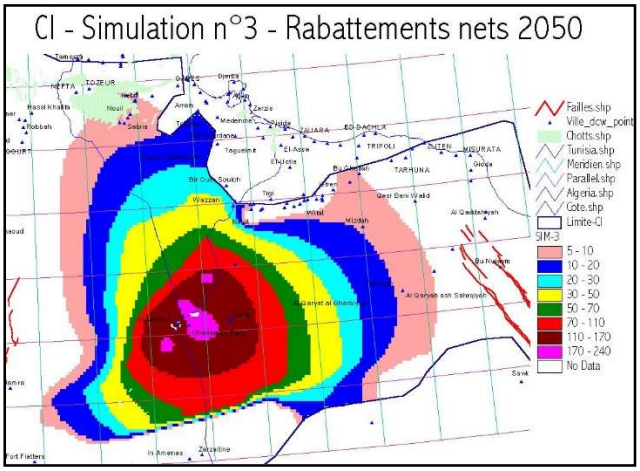


Bilan de SIMCI2 Tunisie :

Le bilan confirme les rabattements importants calculés, avec un tarissement des réserves conséquent. La contribution de l'Exutoire Tunisien est aussi conséquente, avec un léger accroissement des flux aux frontières provenant d'Algérie.

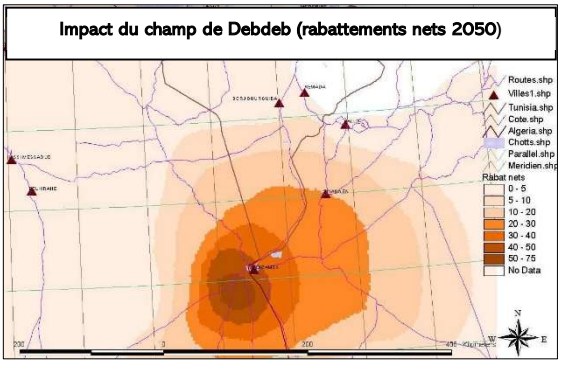
Scénario SIM0: Bilan TUN 2050 m^3/s				
Entrées m3/s			**Sorties**	
Recharge CI	0,5		Pompages	2,7
Frontières	2,05		Exut Tunisien	0,95
Réserve CI	1,1			
Total	3,65		Total	3,65

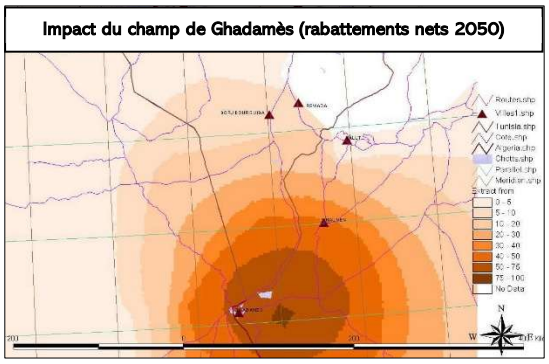
Scénario CI2: Bilan TUN 2050 m^3/s				
Entrées m3/s			**Sorties**	
Recharge CI	0,5		Pompages	4,9
Frontières	2,2		Exut Tunisien	0,5
Réserve CI	2,7			
Total	5,4		Total	5,4



SIMCI3 : la triade de Ghadamès

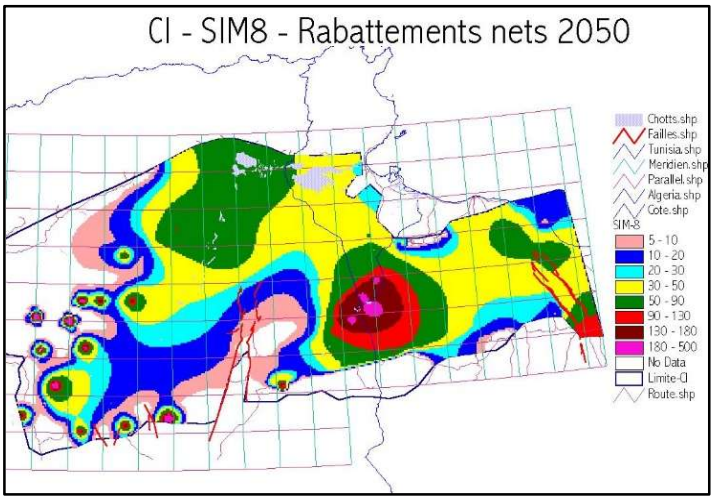
Correspond à la mise en route des champs de l'Extrême Sud tunisien (Bj Khadra 0,5, Bj BG 0,2, B Zar 0,2, Tiaret 0,5 m3/s soit 1,4 m3/s en Tunisie) et des champs voisins : champ de Ghadamès (4ème phase du GMRP : 2,85 m3/s) et champ de Debdeb (2 m3/s). En rabattements, le résultat en 2050 est catastrophique pour les 3 pays : 200m à Debdeb, Ghadamès, Bj Khadra, Tiaret ; 100m dans un cercle de 100 à 150km de rayon jusqu'à El Borma. Ce sont ici des rabattements nets, auxquels il faut ajouter les rabattements du scénario zéro. Il s'agit d'un véritable scénario catastrophe pour l'ensemble de l'Extrême Sud tunisien (gouvernorat de Tataouine).



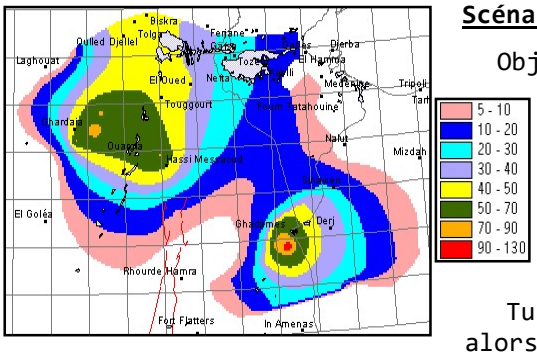


La question de Ghadamès-Debdeb-Borj el Khadra demeure encore ouverte. Rappelons à cet égard que la Résolution 63/124 des Nations Unies adoptée par l'AG du 11/12/2008 se fonde sur la souveraineté de chacun des États d'un aquifère transfrontière sur la portion située sur son territoire, conformément aux principes d'utilisation équitable et raisonnable, ce qui implique de ne pas causer de dommage significatif aux autres États, d'échanger en continu les données et informations établies par les États, de prévenir, réduire et maîtriser la pollution par la mise en œuvre de plans de gestion et de surveillance.

Scénario SIMCI8 : Exploitation de l'ensemble du CI



Débits additionnels totaux : 128 m3/s (4 Milliards m3/an) dont 118 m3/s en Algérie (108 m3/s étant délocalisés dans le Bassin Occidental). Le présent scénario explore les propriétés **capacitives** du Continental Intercalaire dans sa partie à surface libre, mettant à profit le phénomène de faible diffusion des rabattements mis en évidence lors de simulations préliminaires. Il s'agit ici d'explorer une région encore assez mal connue, mais dont on peut raisonnablement escompter qu'elle pourrait notablement contribuer à puiser une partie des réserves immenses accumulées dans ce gigantesque réservoir du CI. La région du Grand Erg Occidental, qui repose sur de grandes étendues où la nappe du CI est à surface libre, répond précisément à cette perspective. Les prélèvements additionnels sont par ailleurs de 2,2 m3/s en Tunisie et 7,7 m3/s en Libye. Hormis le cas de la Triade de Ghadamès, le Scénario CI8 a été discuté et agréé par l'assemblée des Directeurs Généraux de l'Hydraulique, le 2 avril 2002 à l'OSS à Tunis. Ce scénario correspond à des prélèvements additionnels algériens « délocalisés » à 90 % dans le Bassin Occidental. En Tunisie (hors extrême sud), les rabattements sont de 30 à 50m.

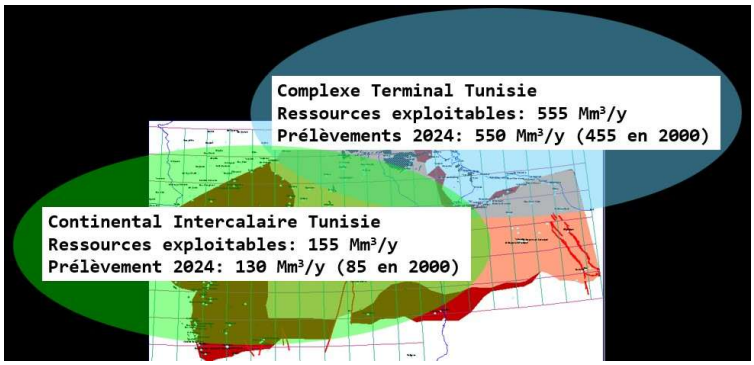


Scénario CI1 : Algérie sans le Bassin Occidental

Objectif : mesurer l'impact des débits additionnels algériens hors bassin occidental (8,5 m3/s) → Les rabattements sont concentrés autour de Zelfana – Ouargla et du champ de Debdeb. En Tunisie, le rabattement induit est de 25 m à Tozeur-Nefta, et 15 m à Chott Fejej et Nefzaoua. Dans l'extrême sud tunisien : 50 m à Bj Khadhra et 30 m à Tiaret. Exutoire Tunisien : le débit 2050 est passé à 0.6 m3/s, alors qu'il aurait été de 0.94 m3/s dans le scénario zéro. (Le cumul CI1+CI2 → 0,1 m3/s à l'ET).

Le SASS 20 ans après !

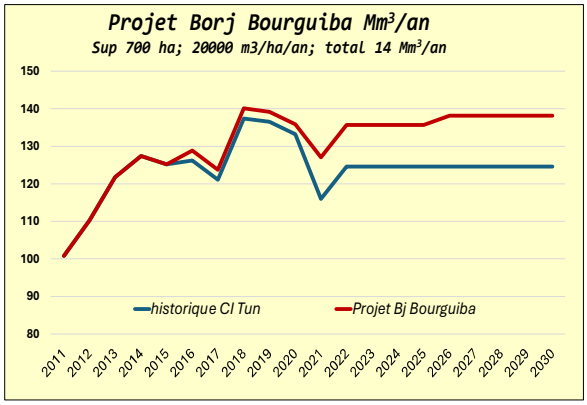
L'Etude du SASS a notamment permis d'établir le constat suivant :



i) Les simulations du Modèle ont défini ce que l'on désigne par « les ressources exploitables du SASS », dont la répartition géographique a été agréée par les Autorités de l'eau des 3 pays, lors de la réunion des DG du 2 avril 2002.

ii) Pour le Complexe Terminal Tunisie, ces ressources exploitables s'élèvent à 555 Mm3/an. Elles ont été fixées de manière à minimiser les risques de nuisances sur le CT, à savoir : a-position du niveau de la nappe par rapport aux chotts, b-impacts sur l'Algérie en termes de rabattements. Les prélèvements 2024 sont de 550 Mm3, ce qui représente 100% des Ressources.

iii) Pour le Continental Intercalaire Tunisie les ressources exploitables sont de 155 Mm3/an. Elles doivent minimiser les risques de rabattements élevés, qui se traduisent en : a-tarissement de l'ET, b-disparition de l'artésianisme, c-pompages énergivores. Les prélèvements 2024 sont à 126 Mm3/an.



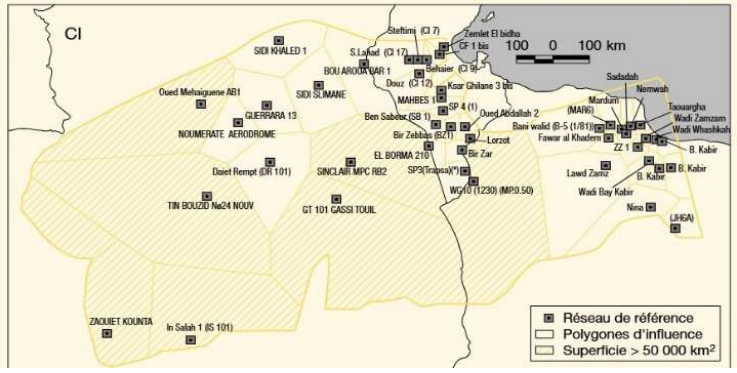
Le projet de développement de Borj Bourguiba (CRDA Tataouine) devrait utiliser 14 Mm3/an, portant le total à 140 Mm3/an. Ce qui reste représente pour ainsi dire la marge d'incertitude sur nos connaissances.

Signature du 1er *Accord sur le Mécanisme de* Concertation du SASS, FAO, Rome, 2002.
© Mustapha Besbes

Le SASS est régi par un Mécanisme de concertation tripartite initié lors d'une réunion des trois pays du SASS à la FAO en 2002. En 2006, une Déclaration conjointe des ministres de l'eau des trois pays établit un Conseil des ministres de l'eau, un Comité Technique Permanent et des Comités nationaux. Sous la responsabilité d'un Coordinateur régional, le Mécanisme est chargé de développer la Base de données, le Modèle mathématique, les réseaux de surveillance, et de rendre compte de l'état du SASS aux gouvernements. Jusqu'en 2023, l'Unité de Coordination du SASS est hébergée provisoirement par le Secrétariat Exécutif de l'OSS à Tunis. Cela fait plusieurs années que les trois instances nationales et l'OSS s'interrogent sur les possibilités d'évolution institutionnelle du Mécanisme en remplaçant la Déclaration Ministérielle par un « accord inter étatique » qui lui donnerait plus d'envergure et un plus grand

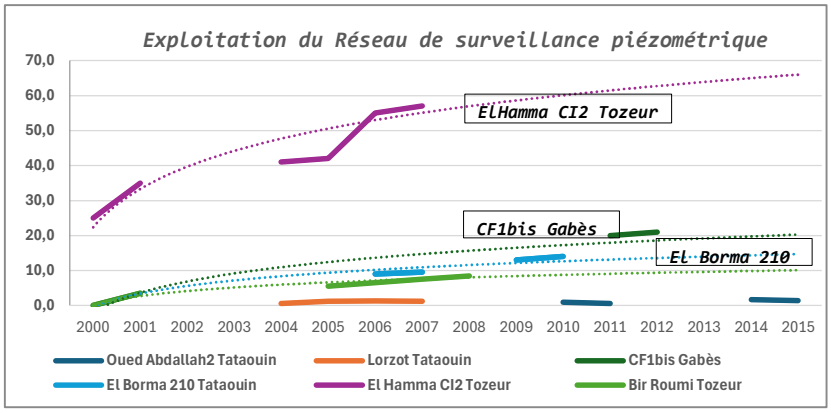
poids[11]. En avril 2024, les ministres de l'eau des trois pays du SASS conviennent de mettre en œuvre une telle option. Désormais hébergé par l'Algérie, le Mécanisme de concertation est doté de nouveaux objectifs d'échange de données et d'expériences, avec la perspective de développer encore la concertation pour l'exploitation des ressources en eau partagées. Cette convention a été paraphée par les trois Chefs d'Etats en 2025.

De la qualité du Modèle dépend la qualité des résultats obtenus. Le premier mécanisme de concertation du SASS, conçu dès 2002 et mis en place en 2008, devait notamment développer les données et les séries de suivi des prélèvements et des niveaux. Cette tâche s'est avérée particulièrement difficile à mettre en œuvre.



Voici par exemple le Réseau de Contrôle des niveaux du CI tel qu'il a été défini à la fin du projet SASS, soit 16 points retenus au CI Tunisie (réf. F. Horriche 2008)

Et voici l'état de l'exploitation qui en a été faite en Tunisie : le taux de remplissage des mesures annuelles (période 2000-2024) est à environ **10% ; ce qui est** difficilement exploitable pour une validation du Modèle SASS. En Algérie, la situation n'est pas meilleure !

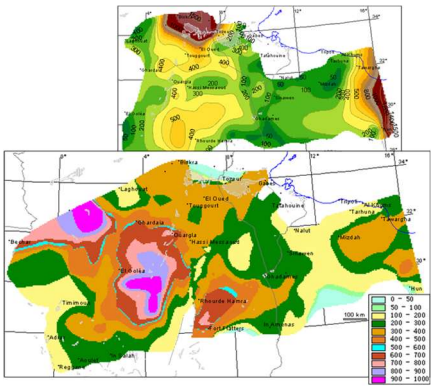


Peut-on prélever encore plus sur les réserves du SASS ?

Sommes-nous aujourd'hui en mesure de répondre à cette question, qu'un certain nombre d'observateurs se posent légitimement ? Légitimement pour deux raisons : i) on leur dit que sous le Sahara il y a des réserves considérables d'eau douce, qui se comptent en dizaines de milliers de Mrds de m3, ii) on dit également que nos amis algériens et libyens utilisent cette nappe à volonté, et puisent sans limites dans ses *réserves*. *Essayons* tout d'abord de développer brièvement ces deux questions.

[11] OSS. 2018. 12ème session du Comité Technique Permanent du Mécanisme de Concertation du SASS, Tunis, 03 octobre 2018

Quelles sont les réserves du SASS[12] ?

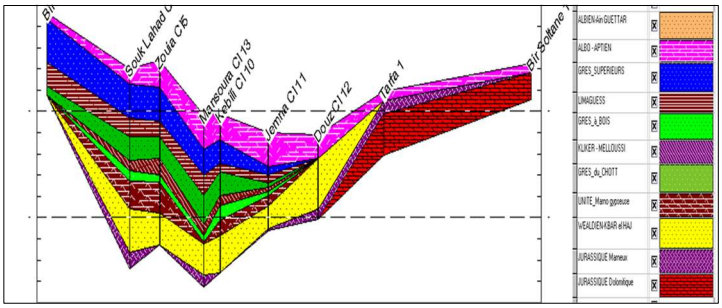


L. BabaSy utilise les valeurs moyennes suivantes :

CT : Épaisseur moyenne 330 m ; surface 0,66E+6 km² porosité 10% → Réserves 22 000 km³

CI : Épaisseur moyenne 360 m ; surface 1E+6 km² ; porosité 10% → Réserves 36 000 km³

Soit un total SASS # 60 000 km³



CI Tunisie ; Coupe W-E dans le sillon des Chotts[13]

Si l'on va un peu plus dans le détail des structures géologiques, cela devient plus complexe, notamment au CI Tunisie, avec une hétérogénéité qui nous éloigne du mythe d'un « océan d'eau douce sous le désert » → En pratique, les réserves calculées plus haut sont revues à la baisse...jusqu'à atteindre # 800 Mrd m³ pour le Continental Intercalaire en Tunisie.

Quelle est l'exploitation du SASS en Libye et en Algérie ? Et quel en est l'impact sur la Tunisie ?

En Libye :

Très éloignée, l'exploitation actuelle et prévue du CT n'a aucun impact sur la Tunisie (cf. scénario CT5 plus haut). Quant au CI, l'unique projet d'envergure impactant la Tunisie est constitué par la Phase IV du projet de Rivière artificielle (GMRP) : le transfert Ghadamès – Zouara. Nous avons vu plus haut (Simulation CI3) que la mise en œuvre du Champ de Ghadamès simultanément avec le projet Debdeb et les projets Borj el Khadra et Tiaret constitue un scénario catastrophe pour le Sud Tunisien mais pas seulement : le Bassin de Ghadamès et la région de Debdeb en seraient aussi profondément impactées.

Libye et Algérie :

Toujours au CI, les lignes de courant et le bilan des flux des simulations CI0 et CI2 (voir plus haut) indiquent que les débits pompés en Tunisie proviennent en bonne partie d'Algérie, et dans une moindre mesure de Libye. Les très importants rabattements induits par le scénario « Triade de Ghadamès » risquent de provoquer une inversion des flux du CI au niveau des frontières tunisiennes, une situation qui contrevient aux principes d'utilisation équitable et raisonnable des aquifères transfrontières et à l'obligation de ne pas causer de dommage significatif aux États voisins.

En Algérie :

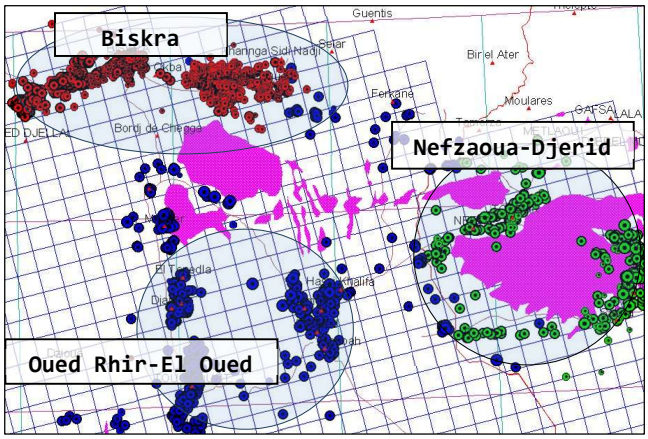
Les premiers pivots d'irrigation de céréales dans le Sahara algérien ont été installés au cours des années 1980 à Gassi-Touil, El Oued, Menia, Zelfana ainsi

[12] L. BabaSy, 2005

[13] L'exutoire tunisien. M.Besbes, M.Zammouri, B.Ben Baccar, B.Abidi, L.Moumni, A.Mamou. Observatoire du Sahara & du Sahel. Oct.2001

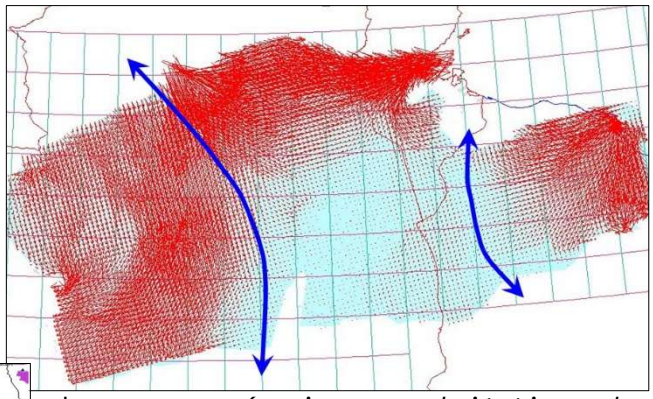
qu'au Touat-Gourara-Tidikelt et Adrar. Depuis quelques années, l'Algérie développe d'ambitieux projets de culture de blé dur irrigué sur de vastes surfaces au Sahara : projet de 36.000 ha à Timimoun, 2.000 ha à Ouargla[14]… à Adrar, Menia, Biskra, ainsi que des projets de production de lait et de fourrage irrigué à Adrar[15]. Si les projets de développement d'El Oued -que nous avons évoqué en détail plus haut), Biskra et en partie Ouargla concernent le CT, les autres projets concernent les eaux du Continental Intercalaire, dont le gisement se trouve à faible profondeur au Touat-Gourara-Tidikelt et Adrar. On doit enfin rappeler le transfert In Salah – Tamanrasset à partir des eaux du CI dans le Bassin Occidental, qui a été évoqué plus haut.

Pour ce qui concerne le Complexe Terminal, on peut admettre en première analyse que les interférences respectives d'El Oued et de Nefzaoua-Djerid se neutralisent mutuellement, Algérie et Tunisie ayant « progressé » certes sans se concerter mais « équitablement » dans la surexploitation des eaux souterraines. Ce constat reste néanmoins à vérifier et préciser. Quant à Biskra, l'autre pôle de développement important du CT, on peut affirmer qu'il n'interagit avec la Tunisie, étant séparé de Nefzaoua-Djerid par les Chotts algéro-tunisiens qui jouent un rôle de barrière hydraulique.

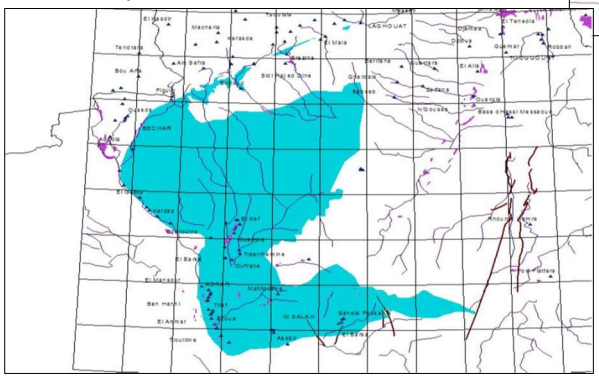


Exploitation du Bassin Occidental : Horizon 2200

Vecteurs vitesses du Modèle SASS en régime permanent



Les scénarios prévisionnels simulés sur le modèle SASS ont laissé entrevoir de sérieuses **possibilités d'exploitation des réserves du Bassin Occidental**, gisement privilégié des secteurs à surface libre du CI. Les capacités de la région à supporter une telle exploitation ont été simulées



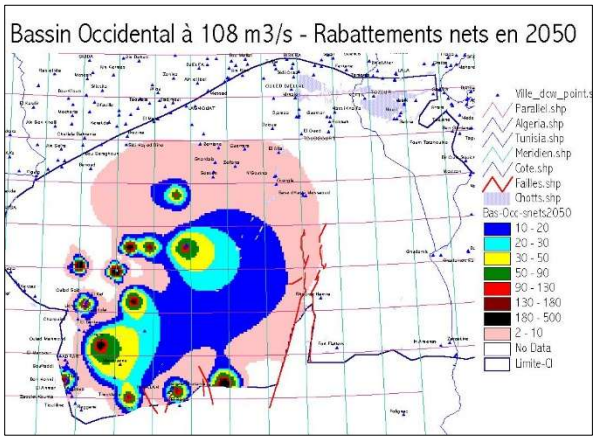
dans un *scénario « exploitation des réserves du B.Occidental » à 80 m3/s, avec 5m3/s dans chacun des sites d'Akabli, Timimoun, Titaf, In Salah, et 8m3/s à Menia ; soit un prélèvement additionnel (par rapport à l'actuel 2000, de 108 m3/s.*

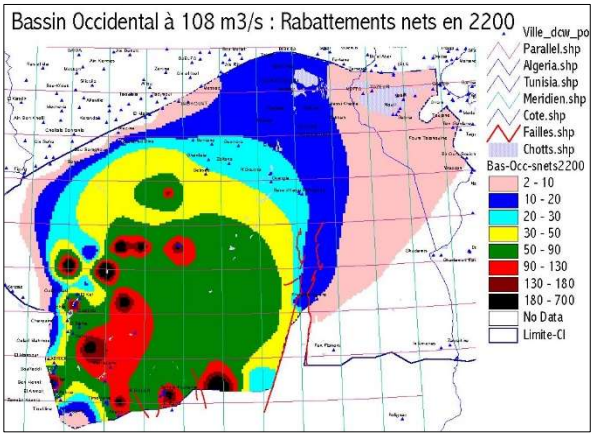
[14] Comment l'Algérie transforme son vaste Sahara en grenier à blé, consulté le 10/05/2025.

[15] Algérie : un demi-million d'hectares dans le Sahara pour les cultures stratégiques, 02/07/2024.

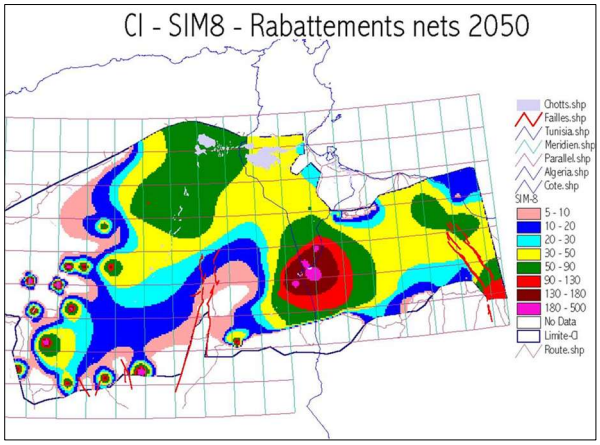
Extension de la zone à surface libre du Bassin Occidental[16] (coef emmagasinement-déstockage sup à 0,05) déterminée sur des critères structuraux : superficie estimée à 200 000 km².

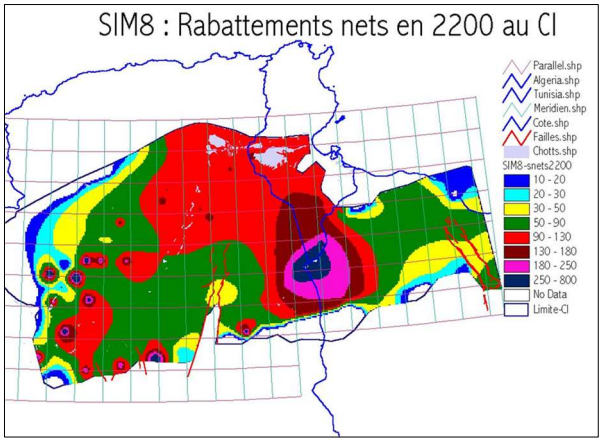
Etant donné le poids spécifique des débits additionnels simulés [90 % des prélèvements de l'Algérie], il était important de savoir estimer : a) quelles sont les influences du Bassin Occidental sur le reste du SASS à l'horizon de prévision 2050 ? ; b) étant donnée l'importance des quantités mises en jeu et la participation exclusive des réserves du CI à la production de ces quantités, *quels en seraient les impacts sur le très long terme* (sur *deux siècles* ***à climat constant****, soit l'horizon 2200*), dans le bassin lui-même et sur les autres régions, voire les autres pays sachant que Tunisie et Libye se trouvent à un millier de km ?
Le Bilan calculé en 2050 et 2200 autorisent les observations suivantes :
→Les débits pompés sont fournis exclusivement par le déstockage des réserves de la nappe.
→A l'horizon 2050, les rabattements induits par les prélèvements additionnels (rabattements nets) restent cantonnés dans la région. **En 2200**, les influences en rabattement sont bien plus marquées à l'extérieur de la région : 25m à Ouargla, 20m à Touggourt, …et 3 à 8m en Tunisie, à environ 1000km du barycentre des prélèvements !





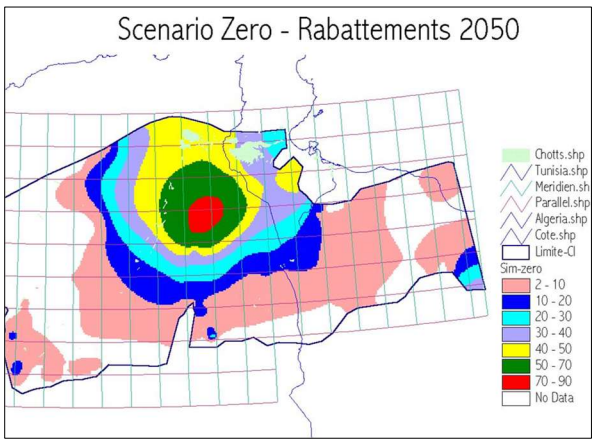
Voici à titre comparatif, l'empreinte « rabattements nets » du scénario SIM-CI8 sur le Continental Intercalaire en 2050 et 2200 :

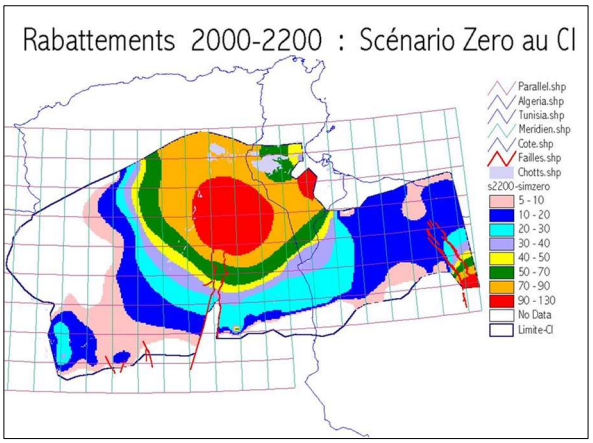




[16] Besbes, Larbes, BabaSy, Merzougui. Modélisation du Système Aquifère du Bassin Occidental. Rapport OSS. *SASS - Hydrogéologie et Modèle conceptuel – Juin 2005*

Et l'empreinte « rabattements nets » du scénario SIM-CI0 sur le Continental Intercalaire en 2050 et 2200 :





En guise de conclusion: peut-on puiser encore plus dans les Réserves du SASS en Tunisie?

Il convient tout d'abord de rappeler les principales conclusions du Projet SASS[17] , notamment celles qui concernent plus particulièrement la Tunisie : « *Les nappes du Système Aquifère du Sahara Septentrional sont soumises à des contraintes qui limitent la faculté d'exploiter leur potentiel… les risques environnementaux constituent les contraintes les plus déterminantes. … au terme des simulations effectuées, les résultats du projet montrent que : i) la simple poursuite des rythmes de prélèvements actuels peut constituer un grave danger pour la nappe du Complexe Terminal dans la région des chotts, ii) en dehors de la région des chotts … de légères augmentations des rythmes d'exploitation peuvent encore être supportées au CT… au prix d'une délocalisation des champs de pompage additionnels vers des régions éloignées aux confins de l'Erg Oriental…* ».

Pour ce qui concerne le Complexe Terminal : La région des Chotts (Djerid et Nefzaoua), deviendrait désormais une zone interdite pour tout projet de prélèvements additionnels, projets dorénavant à délocaliser aux confins de l'Erg Oriental, tels les sites El Ouaar et Tembain envisagés par le Modèle SASS à 100 km au sud du Chott Djerid, à raison de 0,5 m^3/s chacun, avec un débit additionnel de près de 100 Mm3/an au total[18] par rapport à l'exploitation 2000, qui correspond au scénario CT5 concerté entre les 3 pays. En Tunisie, le niveau de prélèvements CT5 a d'ores et déjà été atteint en 2024. Il convient donc de demeurer prudent et d'éviter d'entreprendre de nouveaux prélèvements avant que ne soient entreprises de nouvelles investigations sur la relation CT-Chott, sur une connaissance plus rigoureuse des prélèvements actuels[19], sur le suivi des réseaux piézométriques et des réseaux qualité chimique, sur la connaissance de la recharge.

Puisage accru dans les réserves du Continental Intercalaire : Conformément au scénario CI8, le débit exploitable du CI Tunisie est fixé à 155 Mm3/an. Cette valeur est quasiment atteinte par les prélèvements recensés et les projets en cours, qui totalisent aujourd'hui 140 Mm3/an et atteignent le niveau du scénario CI2, jugé acceptable par les Algériens et les Tunisiens car respectant les contraintes d'influence sur l'exutoire tunisien et l'artésianisme.

Accroitre sensiblement les prélèvements du CI en Tunisie reviendrait à dupliquer en Tunisie un projet similaire à la « Triade de Ghadamès », soit environ 200 Mm3/an

[17] OSS. 2003. Système Aquifère du Sahara Septentrional. Rapport de Synthèse.
[18] OSS. 2002. SASS. Rapport du Modèle Mathématique.
[19] https://www.researchgate.net/publication/381023758_Geoaquifer_la_teledetection_au_service_de_la_gestion_concertee_d'un_bassin_transfrontiere_le_Systeme_Aquifere_du_Sahara_Septentrional

avec des effets réciproques : 200m de rabattements supplémentaires en Tunisie, 100m en Algérie et en Libye avec la certitude d'une ré inversion des flux du CI au niveau des frontières tunisiennes, « une situation qui contrevient aux principes d'utilisation équitable et raisonnable des aquifères transfrontières et à l'obligation de ne pas causer de dommage significatif aux États voisins ». Avec en prime la perspective de négociations tripartites sans fin.

Il faut noter que, au terme d'importantes études entamées dans les années 1980[20], la SONEDE a renoncé à des programmes de transferts massifs des eaux du Continental Intercalaire de l'Extrême Sud pour l'alimentation en eau potable des régions côtières du Sud-Est et opté pour la construction d'importantes stations de dessalement d'eau de mer à Sfax, Gabes et Jerba.

[20] Mansouri. Etude Hydrogéologique du Continental Intercalaire dans l'Extrême Sud, Mansouri. SONEDE, 1988.