



Concilier les utilisations des ressources: évaluation du nexus eau, alimentation, énergie et écosystèmes dans le Système Aquifère du Sahara Septentrional

Partie B: Évaluation technique des ressources et des secteurs

Remerciements

Le partenariat chargé du projet tient à remercier les organismes membres du mécanisme de concertation du Système Aquifère du Sahara Septentrional et le Comité de pilotage du projet pour les orientations fournies : l'Agence nationale des ressources hydrauliques d'Algérie, l'Autorité générale des ressources en eau de Libye, la Direction générale des ressources en eau de la Tunisie, et la Direction des études et aménagements hydrauliques rattachée au Ministère des ressources en eau d'Algérie.

L'évaluation nexus n'aurait pas pu être préparée sans l'aide et la contribution de nombreuses personnes et organisations. Le partenariat chargé du projet souhaite exprimer sa gratitude envers toutes les autorités et tous les acteurs, trop nombreux pour être cités ici, qui ont participé à ce processus, notamment à l'occasion des ateliers régionaux et des consultations nationales, et les remercie pour leur aide lors de la préparation de l'évaluation.

Auteures coordonnatrices :

Lucia de Strasser
Sarrah Touzi

Autres auteurs (par ordre alphabétique) :

Belhassen Abdelkafi
Youssef Almulla
Farah Hamamouche
Camilo Ramirez Gomez
Amine Saidani

Coordonnateurs du projet (par ordre alphabétique) :

Dimitris Faloutsos
Djamel Latrech
Annukka Lipponen

Autres contributeurs (par ordre alphabétique) :

Lamine Baba Sy
Chantal Demilecamps
Ali Karnib
Alexandros Korkovelos
Mustapha Mimouni

Avec le soutien de



TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	2
TABLE DES MATIÈRES	3
1. Géographie, ressources et climat.....	8
1.1. Emplacement et étendue.....	8
1.2. Climat, projections climatiques et mesures d'adaptation	8
1.3. Définition du SASS.....	10
1.3.1. Description géologique.....	10
1.3.2. Structure horizontale du SASS.....	11
1.3.3. Structure verticale du SASS	12
1.4. Ressources en eau.....	14
1.4.1. Aperçu des ressources en eau des trois pays	14
1.4.2. Ressources en eau dans le SASS	21
1.4.3. Piézométrie et qualité de l'eau dans le SASS.....	25
1.4.4. Données et surveillance.....	32
1.4.5. Tendances concernant la quantité et la qualité de l'eau dans le SASS et leurs implications 35	
1.5. Ressources en sols.....	36
1.5.1. Qualité des terres et sols	36
1.5.2. Types d'utilisation des sols et occupation	36
1.5.3. La problématique régionale de l'irrigation avec les eaux du SASS.....	38
1.6. Ressources énergétiques et système électrique.....	40
1.6.1. Ressources et réserves de combustibles fossiles	40
1.6.2. Oléoducs et gazoducs	47
1.6.3. Sources d'énergies renouvelables	48
1.6.4. Systèmes de production d'électricité	52
1.6.5. Capacité installée et production.....	55
1.6.6. La production d'énergie à partir de sources renouvelables	59
1.6.7. Évolution de la demande en électricité et plans nationaux	61
1.7. Environnement et services écosystémiques	66
1.7.1. Caractéristiques biogéographiques du SASS	66
1.7.2. Écosystèmes et habitats du SASS	66
1.7.3. Biodiversité et espèces importantes dans le SASS	69
1.7.4. Aires protégées du SASS	70
2. Situation socioéconomique et principales utilisations des ressources dans le SASS	72
2.1. Population	72

2.2.Établissements et ménages.....	74
2.3.Utilisation sectorielle de l'eau dans le SASS.....	75
2.4.Agriculture.....	76
2.4.1. Principaux systèmes agraires, modes d'accès et modalités d'usage de l'eau.....	77
2.4.2. Performance de l'usage de l'eau d'irrigation dans les agrosystèmes du SASS.....	85
2.5.Tendance socioéconomique	86
2.5.1. Démographie et population	86
2.5.2. Développement économique général	87
2.5.3. Impacts du changement climatique et mesures d'adaptation.....	89
Références bibliographiques	92
Annexe 1 : Espèces floristiques de la zone du SASS	99
Annexe 2 : Oiseaux de la zone du SASS	102
Annexe 3 : Espèces fauniques de la zone du SASS	108
Annexe 4 : Sites Ramsar de la zone du SASS	110
Annexe 5 : Caractéristiques des pays du SASS	112

Liste des figures

Figure 1 : Délimitation du SASS.....	8
Figure 2 : Carte du Sahara septentrional	10
Figure 3 : Carte des affleurements géologiques du SASS	11
Figure 4 : Coupe ouest-est à travers le SASS, du bassin occidental au Graben de Hun	12
Figure 5 : Corrélation lithostratigraphique ouest-est du Bassin occidental à Tawargha.....	12
Figure 6 : Schéma du multicouche saharien	13
Figure 7 : Schéma simplifié du multicouche saharien.....	14
Figure 8 : Extension des formations du SASS.....	21
Figure 9 : Prélèvements totaux dans les aquifères sahariens, en milliards de m ³ par an	22
Figure 10 : Évolution des prélèvements par pays, de 2000 à 2016	22
Figure 11 : Localisation des points d'eau de prélèvement en 1950 (en haut) et 2016 (en bas) .	23
Figure 12 : Carte des zones à risque et des zones à forte potentialité	24
Figure 13 : Carte de localisation des points d'eau dans la Djefara en 1950 (à gauche) et en 2010 (à droite)	25
Figure 14 : Carte piézométrique du Continental Intercalaire (2016).....	26
Figure 15 : Carte piézométrique du Complexe Terminal (2016).....	27
Figure 16 : Carte de la salinité du Continental Intercalaire (2016).....	29
Figure 17 : Augmentation du taux de salinité du Continental Intercalaire (1950-2016).....	29
Figure 18 : Carte de salinité du Complexe Terminal (2016).....	31
Figure 19 : Augmentation du taux de salinité du Complexe Terminal (1950-2016).....	32
Figure 20 : Proposition de renforcement (2016) du réseau piézométrique dans le CI-SASS (en haut) et dans le CT-SASS (en bas).....	33
Figure 21 : Réseau de suivi de la qualité dans le CI-SASS (en haut) et dans le CT-SASS (en bas) (proposition 2016).....	34
Figure 22 : Les infrastructures pétrolières et de gaz naturel de l'Algérie.....	40
Figure 23 : Les infrastructures pétrolières et de gaz naturel de la Libye.....	41
Figure 24 : Les infrastructures pétrolières et de gaz naturel de la Tunisie.....	42
Figure 25 : Gisements de gaz de schiste de l'Algérie et frontières du SASS	46
Figure 26 : Gisements de gaz de schiste de la Libye ²¹	46
Figure 27 : Gisements de gaz de schiste de la Tunisie	47
Figure 28 : Principaux gazoducs d'exportation de gaz naturel de la région du SASS vers l'Europe	48
Figure 29 : Rayonnement solaire horizontal dans le bassin du SASS.....	49
Figure 30 : Vitesse moyenne du vent dans le bassin du SASS	49

Figure 31 : Rayonnement solaire horizontal en Algérie, en Tunisie et en Libye.....	50
Figure 32 : Vitesse moyenne du vent en Algérie, en Tunisie et en Libye à une altitude de 50 mètres	50
Figure 33 : Les subventions à l'énergie en Tunisie, 2010-2016 (en millions de dinars tunisiens).....	54
Figure 34 : Capacité installée des sources d'énergie renouvelables – Algérie	59
Figure 35 : Capacité installée des sources d'énergie renouvelables – Tunisie.....	60
Figure 36 : Capacité installée des sources d'énergie renouvelables – Libye	61
Figure 37 : Nouvelles capacités d'exploitation des SER d'ici à 2030.....	62
Figure 38 : Capacités d'exploitation des SER visées par année en Libye	66
Figure 39 : Évolution de la population dans les trois pays du SASS.....	73
Figure 40 : Répartition de la population active par secteur dans la zone du SASS en Algérie et en Tunisie	75
Figure 41 : Principaux assolements dans la wilaya d'El Oued et d'Adrar	79
Figure 42 : Principaux assolements dans quatre gouvernorats de la zone SASS en Tunisie	82
Figure 43 : Principaux assolements dans la zone SASS en Libye.....	84

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Projections climatiques régionales dans les pays du SASS.....	9
Tableau 2 : Rabattements au Continental Intercalaire (en mètres)	28
Tableau 3 : Rabattements au Complexe Terminal (en mètres)	28
Tableau 4 : Réseau piézométrique du SASS	32
Tableau 5 : Réseau de suivi de la qualité du SASS	34
Tableau 6 : Nature des impacts négatifs sur les ressources et leurs tendances évolutives	39
Tableau 7 : Capacités de production de pétrole raffiné des pays de la région du SASS, par entreprise et par emplacement (en millier de barils par jour)	43
Tableau 8 : Les combustibles fossiles dans les pays de la région du SASS	45
Tableau 9 : Potentiel de production d'électricité à partir des énergies solaire et éolienne en Algérie, en Tunisie et Libye.	51
Tableau 10 : Indicateurs de subventionnement des produits énergétiques de l'AIE (2018)	53
Tableau 11 : La production d'électricité en Algérie (2016).....	55
Tableau 12 : La consommation d'électricité en Algérie en 2016.....	56
Tableau 13 : La production d'électricité en Tunisie en 2016	56
Tableau 14 : La consommation d'électricité par secteur en Tunisie en 2016.	57
Tableau 15 : La production d'électricité en Libye en 2016	58
Tableau 16 : La consommation d'électricité en Libye en 2016.....	58
Tableau 17 : La capacité installée des sources d'énergie renouvelables en Algérie en 2018	59

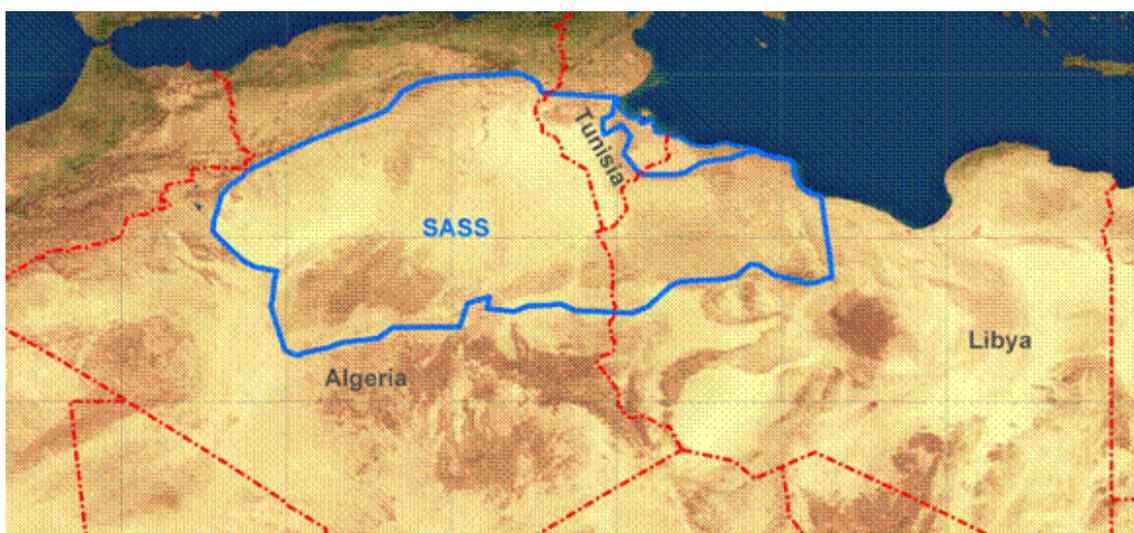
Tableau 18 : La capacité installée des sources d'énergie renouvelables en Tunisie en 2018	60
Tableau 19 : La capacité installée des sources d'énergie renouvelables en Libye en 2018	61
Tableau 20 : La demande d'électricité en Algérie entre 2015 et 2025.....	61
Tableau 21 : La demande d'électricité en Tunisie entre 2011 et 2031.....	63
Tableau 22 : Lignes de transport et installations solaires photovoltaïques privées devant être construites d'ici à 2023.	64
Tableau 23 : Parcs nationaux de la zone du SASS (Tunisie et Libye).....	71
Tableau 24 : Réserves naturelles de la zone du SASS en Tunisie et Libye	71
Tableau 25 : Répartition de la population dans la zone du SASS en 2000.....	73
Tableau 26 : Projection démographique des habitants de la zone SASS par pays	74
Tableau 27 : Population et densité dans les principales régions de la zone du SASS en Algérie et en Tunisie.	74
Tableau 28 : Évolution de la répartition sectorielle des besoins en eau par pays et pour la zone SASS en m ³ /an.....	76
Tableau 29 : Superficie irriguée moyenne par exploitation dans la zone SASS et importance de l'élevage en % de la recette agricole.....	77
Tableau 30 : Récapitulatif des résultats par catégorie d'accès à l'eau et par pays.	86
Tableau 31 : Projection de la population dans la zone SASS par pays.....	87
Tableau 32 : Indicateurs socioéconomiques dans les trois pays de la zone du SASS	88
Tableau 33 : Indicateurs économiques dans les trois pays de la zone du SASS	89

1. Géographie, ressources et climat

1.1. Emplacement et étendue

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) s'étend sur une vaste zone dont les limites se situent en Algérie, en Libye et en Tunisie (figure 1). Le SASS désigne la superposition de deux principales couches aquifères profondes en interconnexion avec la plaine de la Djeffara tuniso-libyenne : a) la formation du Continental Intercalaire, la couche la plus profonde, b) la formation du Complexe Terminal, notamment très sollicitée dans l'oued Rhir, le Souf, le Djérid, la Nefzaoua et le golfe de Syrte. Ce système recouvre une superficie de plus d'un million de km², dont 700 000 km² en Algérie, 250 000 km² en Libye et 80 000 km² en Tunisie.

Figure 1 : Délimitation du SASS



Source : OSS

1.2. Climat, projections climatiques et mesures d'adaptation

Le climat est aride et désertique dans les trois pays où s'étend le SASS. Les pluies sont rares et très irrégulières, provoquant parfois des inondations. En général, les précipitations sont inférieures à 150 mm par an, soit largement inférieures à l'évaporation potentielle annuelle. Seule la région nord de Tripoli (Jabal Nafusah et la plaine de la Djeffara) connaît une pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 250 et 300 mm, ce qui permet une agriculture pluviale. Les températures sont quant à elles très élevées dans la zone désertique, où elles dépassent les 40 °C, mais plus faibles en Libye, où elles oscillent entre 24,5 °C au sud du pays et environ 20 °C dans le nord.

Durant les 25 dernières années, l'Algérie a connu une période de sécheresse intense et persistante, caractérisée par un déficit pluviométrique important (près de 30 %) sur l'ensemble du pays. Le taux de réduction des apports pluviométriques au Sahara a été estimé à 28 %. Au cours du XX^e siècle, la température a augmenté de 1,5 à 2 °C, une hausse deux fois plus élevée que la moyenne de l'échelle planétaire sur la même période.

En Libye, la température moyenne annuelle a augmenté de 0,35 °C tous les dix ans entre 1951 et 2000. Les précipitations annuelles totales ont quant à elles augmenté de 0,03 mm tous les dix ans sur la même période, alors qu'une diminution de 0,36 mm par décennie a été enregistrée au cours de la période 1976-2000.

En Tunisie, les températures ont augmenté en moyenne de 1,4 °C au cours du XX^e siècle. Les tendances pluviométriques ne sont ni uniformes ni régulières. Les précipitations sont soit très élevées, soit très faibles, et l'ampleur et la régularité de cette évolution oscillatoire varient sensiblement d'une station pluviométrique à une autre. Même si les précipitations automnales ont tendance à augmenter, aucune

homogénéisation spatiale n'a pu être dégagée. C'est notamment le cas pour la station de Gafsa, proche du périmètre du SASS. Les sécheresses constituent toutefois un phénomène préoccupant et récurrent en Tunisie. Les années dites très sèches (déficit supérieur à 50 % par rapport à la moyenne) sont rares au nord, mais plus fréquentes dans les régions centrales et australes.

Selon le Cinquième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), les projections climatiques pour l'Afrique, et tout particulièrement pour l'Afrique du Nord, indiquent une légère réduction des précipitations à la fin du XXI^e siècle, une augmentation importante des températures, notamment les températures minimales, et surtout une augmentation des vagues de chaleur dans le Sahara au cours du XXI^e siècle.

Le rapport précise que tout au long du XXI^e siècle, les incidences du changement climatique devraient ralentir la croissance économique, entraver les efforts de lutte contre la pauvreté, réduire la sécurité alimentaire, entretenir les poches de pauvreté existantes et en créer de nouvelles. Dans la région du SASS, cela pourrait augmenter le risque de disparition des oasis.

En 2018, des travaux de réduction d'échelle ont été conduits en Tunisie dans le cadre de l'initiative Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (Cordex). Ces derniers se basaient sur deux scénarios « Representative Concentration Pathway » (RCP) : le RCP 8.5 (scénario pessimiste avec de fortes émissions) et le RCP 4.5 (scénario moyen-bas avec stabilisation à la fin du siècle). Selon le RCP 4.5 et le RCP 8.5, la température moyenne de la région du SASS augmenterait respectivement de 1,1 à 1,4 °C et de 2 à 2,4 °C à l'horizon 2050. La pluviométrie devrait quant à elle connaître une réduction de 0 à 5 % selon le RCP 4.5 et de 3 à 15 % selon le RCP 8.5. À l'horizon 2100, selon le RCP 4.5 et le RCP 8.5, la température augmenterait respectivement de 2 à 2,6 °C et de 4,4 à 5 °C. La pluviométrie connaîtrait quant à elle une réduction de 0 à 12 % selon le RCP 4.5 et de 17 à 27 % selon le RCP 8.5.

À notre connaissance, aucun travail récent de réduction d'échelle n'a été effectué en Algérie ou en Libye. Les projections régionales pour l'Algérie reposent donc sur les travaux effectués dans le cadre de la troisième communication nationale de l'Algérie, en 2010, ainsi que sur le scénario moyen IS92a¹ du rapport 2001 du GIEC. Les projections régionales pour la Libye ont quant à elle été réalisées à partir du Portail de connaissances sur le changement climatique de la Banque mondiale.

Le tableau ci-dessous synthétise les projections pour les trois pays, réalisées selon les deux paramètres susmentionnés (température et pluviométrie) :

Tableau 1 : Projections climatiques régionales dans les pays du SASS

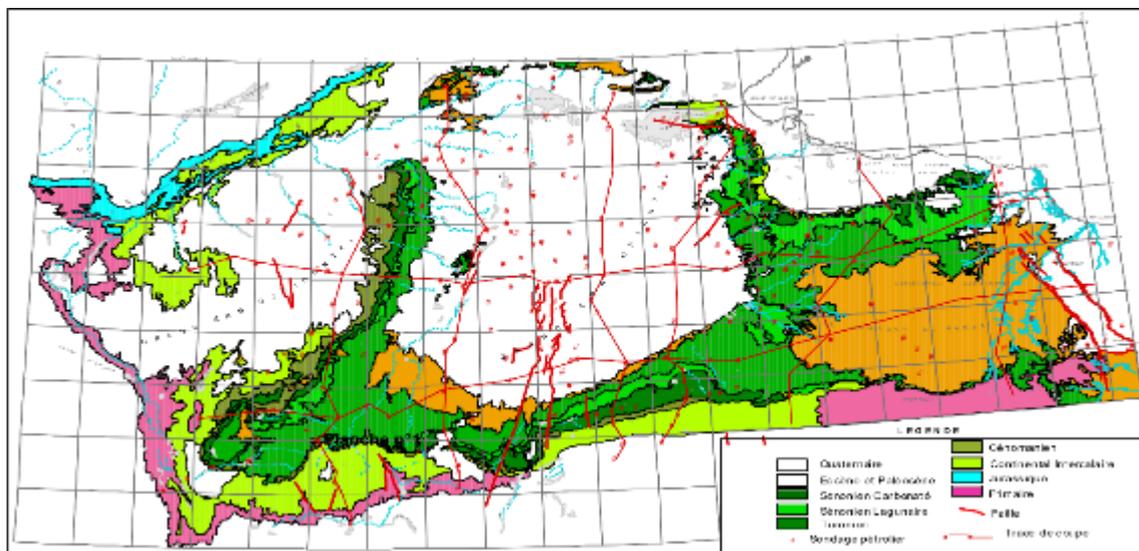
Zone concernée/ Paramètres	Scénario climatique	Température (°C)	Pluviométrie (%)	Horizon
Algérie (3 ^e rapport du GIEC, 2001)	IS92a	+ 0,8 à 1,1 + 1,6 à 2,2	- 5 à - 8 - 15 à 22	2020 2050
Libye (Portail de la Banque mondiale, consulté en mai 2020)	RCP 8.5	+ 2,3	- 7	2050
Tunisie (INM, 2018)	RCP 4.5	+ 1,1 à 1,4 + 2,0 à 2,6	- 0 à - 5 - 0 à - 12	2050 (région sud) 2100 (région sud)
	RCP 8.5	+ 2,0 à 2,4 + 4,4 à 5,0	- 3 à - 15 - 17 à - 27	2050 (région sud) 2100 (région sud)

Source : Compilation des auteurs

¹ Il s'agit de la première génération de scénarios IS92 élaborés par le GIEC en 1992.

On observe les affleurements des formations les plus anciennes sur les bordures méridionale et occidentale du bassin. Les séries sédimentaires secondaires et tertiaires s'épaississent au milieu des deux cuvettes et en bordure de la flexure sud-atlasique (figure 3).

Figure 3 : Carte des affleurements géologiques du SASS



Source : OSS, 2004.

1.3.2. Structure horizontale du SASS

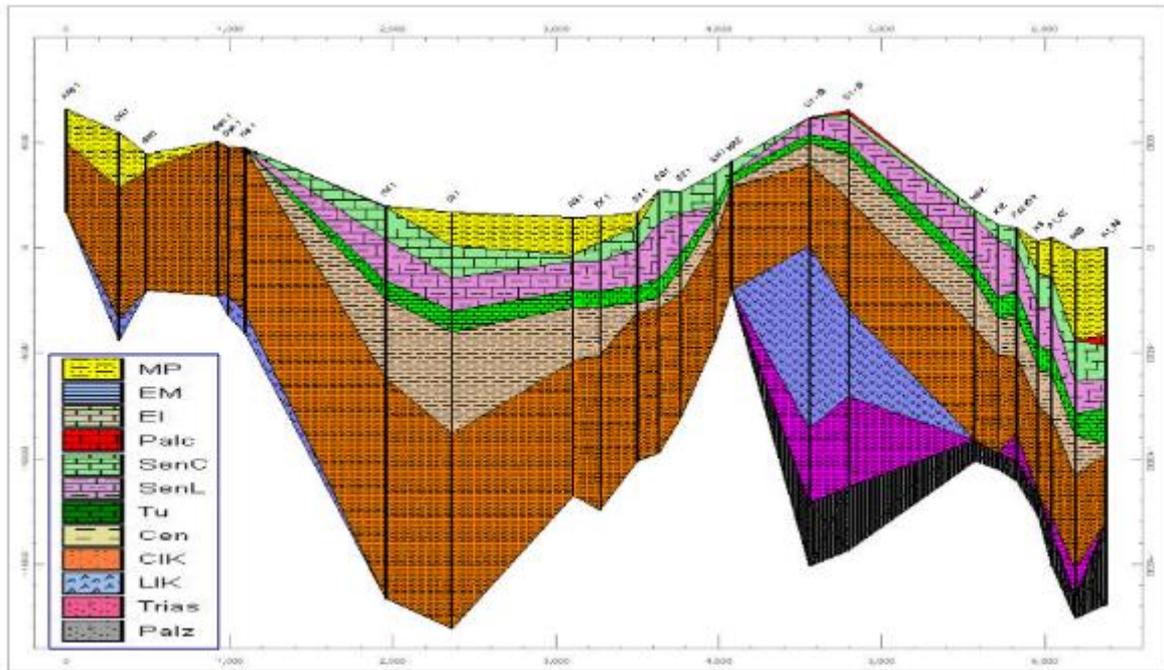
Le SASS est divisé en trois sous-bassins d'ouest en est (figure 4 et 5) :

- Le bassin occidental, comprenant le secteur des *foggaras*⁴ au sud, le Grand Erg occidental et l'Atlas saharien au nord. La nappe du Continental Intercalaire est en majeure partie libre et constitue de ce fait une réserve en eau souterraine facilement accessible à l'aide d'ouvrages (*foggaras*, puits et forages) de faible profondeur (quelques dizaines de mètres).
- Le bassin central, qui est le plus étendu et le plus profond, et présente les plus grandes épaisseurs d'aquifères. Ses ressources sont partagées entre les trois pays. Il est délimité par la dorsale du M'zab, à l'ouest, et par le plateau de la Hamadah el Hamra, à l'est. Le Grand Erg oriental et les *chotts* algéro-tunisiens constituent une grande partie de sa morphologie⁵.
- Le bassin oriental, caractérisé par le plateau de la Hamadah el Hamra, l'effondrement du Graben de Hun et l'accumulation des sédiments tertiaires.

⁴ Les *foggaras* sont des systèmes traditionnels de captage gravitaire des eaux souterraines en zone de piémont. On en trouve plusieurs en Algérie, où elles servent à l'irrigation des palmeraies dans le bassin du Sahara occidental.

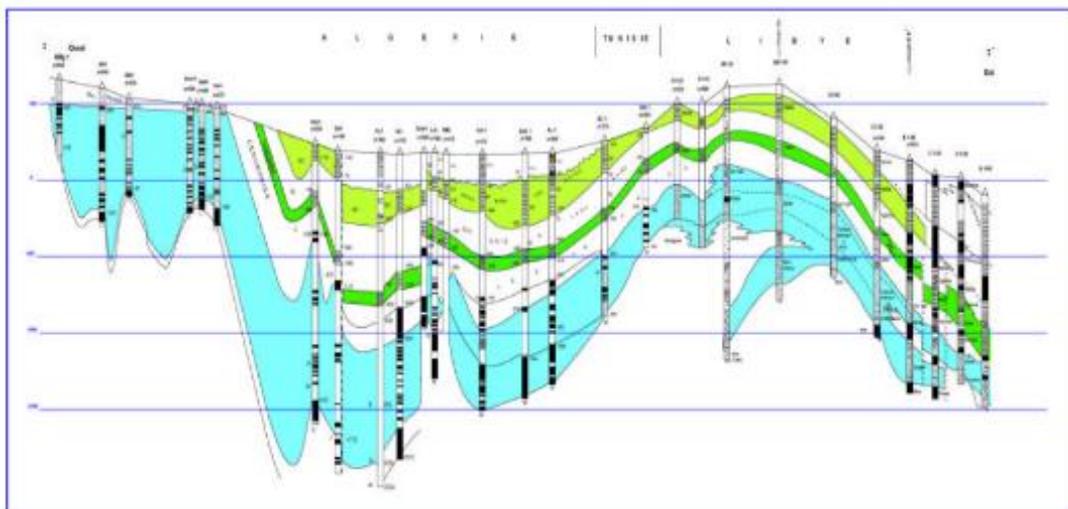
⁵ Étendue d'eau salée permanente, aux rivages changeants, située dans les régions arides et sahariennes. Les *chotts* sont alimentés de façon discontinue lors des rares pluies, et souvent par les nappes profondes auxquelles ils servent d'exutoires naturels. Ils subissent une forte évaporation qui accumule les sels à la surface des limons, qui sont parfois exploités.

Figure 4 : Coupe ouest-est à travers le SASS, du bassin occidental au Graben de Hun



Source : OSS, 2004.

Figure 5 : Corrélation lithostratigraphique ouest-est du Bassin occidental à Tawargha



Source : OSS, 2004.

1.3.3. Structure verticale du SASS

Le bassin saharien est une grande entité sédimentaire multicouche. Représenter de manière simultanée l'ensemble de ces couches permet de rendre compte des connexions et des échanges hydrauliques et chimiques qui s'opèrent entre elles, et donc du comportement du système à moyen et à long termes. Une étude sur 50 ans (1950-2000) du fonctionnement hydrodynamique de la piézométrie (côte du niveau d'eau), de la salinité de l'eau et de son exploitation a permis d'en apprendre plus sur son hydrogéologie. Ces connaissances approfondies de la géologie et de l'hydrogéologie du bassin ont permis de schématiser les aquifères en vue d'élaborer d'un modèle mathématique qui représente les échanges et les

écoulements d'eau au sein du système aquifère. Ce modèle conceptuel est l'aboutissement d'une succession de simplifications (OSS, 2004). Ainsi, la multicouche du SASS se présente sous la forme de trois niveaux aquifères superposés, séparés ou communiquant à travers des formations semi-perméables : la nappe du Continental Intercalaire, la nappe du Turonien, plus localisée, et la nappe du Complexe Terminal.

Le schéma présenté à la figure 6 illustre le stade ultime de la simplification géologique du Sahara septentrional, à travers l'établissement des coupes types pour chacun des pays, puis l'établissement des corrélations lithostratigraphiques régionales.

Précisément, la dernière étape de lecture des coupes types par pays a consisté à illustrer la succession des équivalents lithostratigraphiques des « aquifères » et des « aquitards ». Mis en vis à vis et rattachés à l'échelle stratigraphique, ces séries ont permis d'obtenir le schéma de la figure 6, où sont représentées en bleu les formations aquifères à eau douce les plus importantes et en rose, les aquifères à eau salée, le reste des formations (formations semi-perméables ou imperméables, aquifères de qualité médiocre) demeurant incolore.

Figure 6 : Schéma du multicouche saharien

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

Source : OSS, 2004.

Si l'on exclut les aquifères à eau salée du Trias, du Jurassique et du Néocomien, en Algérie, et du Trias gréseux libyen (renfermant de l'eau douce, mais relativement bien isolé du reste des systèmes aquifères), on se trouve, suivant des critères purement lithostratigraphiques, en présence de quatre grands niveaux aquifères superposés, certes d'importance inégale, dont on perçoit clairement l'organisation verticale et les connexions régionales. On distingue ainsi de bas en haut :

- La nappe du Continental Intercalaire en Algérie-Tunisie, passant en Libye à la formation Kiklah-

Aquifer (Jurassique et Crétacé inférieur).

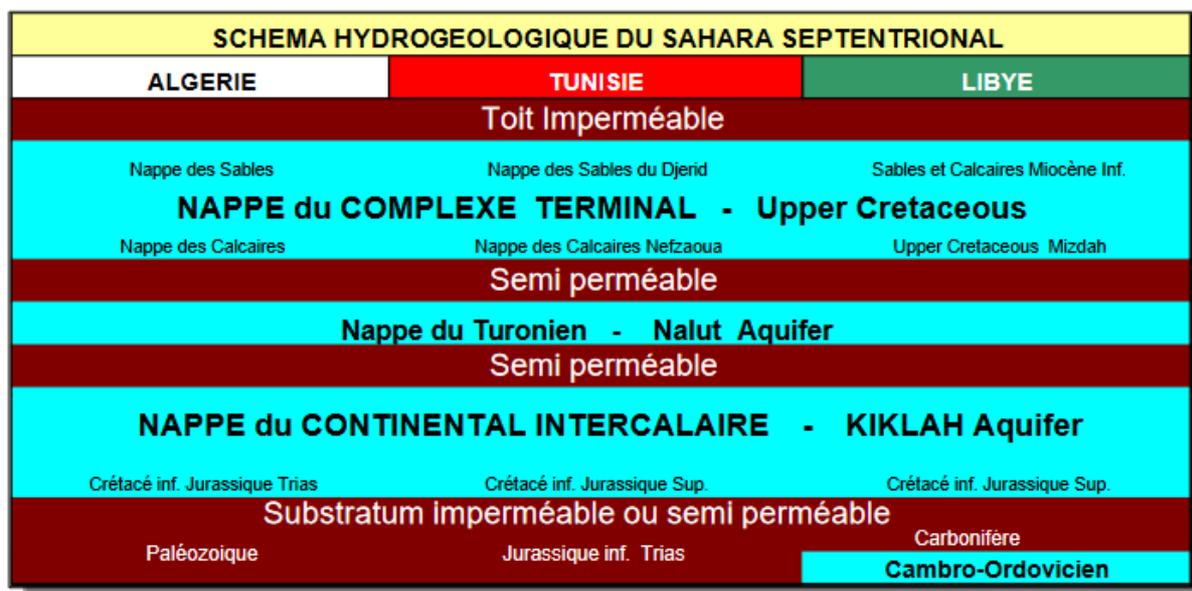
- La nappe du Turonien en Algérie-Tunisie, passant en Libye à la formation Nalut-Aquifer.
- La nappe des calcaires en Algérie (Sénonien carbonaté + Eocène carbonaté), passant en Tunisie à la nappe des calcaires (inférieurs et supérieurs) de Nefzaoua, équivalent en Libye du Mizdah-Aquifer.
- La nappe des sables du Mio-Pliocène en Algérie, passant en Tunisie à la nappe des sables pontiens du Djerid, ayant pour équivalent⁶ les deux nappes de l'Aquitaniens et du Plio-Quaternaire en Libye.

Pour parvenir à un degré de simplification supplémentaire, on peut exclure les nappes du paléozoïque et le Trias gréseux de Libye, et regrouper, comme cela se fait habituellement, la nappe des calcaires du Crétacé supérieur, celle de l'Eocène carbonaté et celle des sables du Mio-Pliocène (Mizdah et Plio-Quaternaire). Le multicouche du SASS se présente sous la forme de trois niveaux aquifères superposés, séparés par (ou communiquant à travers) des formations semi-perméables, soit :

- La nappe du Continental Intercalaire – Kiklah ;
- La nappe du Turonien – Nalut ;
- La nappe du Complexe Terminal – Mizdah.

Le multicouche du SASS est présenté à la figure 7.

Figure 7 : Schéma simplifié du multicouche saharien



Source : OSS, 2004.

1.4. Ressources en eau

1.4.1. Aperçu des ressources en eau des trois pays

La rive sud de la Méditerranée est caractérisée par la rareté des ressources en eau, qui sont en outre inégalement réparties dans le temps et dans l'espace. Les sécheresses et les pénuries récurrentes nous rappellent que les ressources en eau du Maghreb sont limitées, irrégulières et fragiles. Il est indispensable de veiller à la gestion parcimonieuse de l'eau dans l'ensemble de la région, un défi qui a été relevé avec plus ou moins de succès jusqu'à présent et qui a nécessité des investissements importants (construction

⁶ Cette « équivalence » se mesure en position stratigraphique ; mais ces aquifères libyens sont limités au bassin oriental et n'ont aucune relation physique avec les nappes équivalentes d'Algérie et de Tunisie.

de grands barrages, transferts sur de longues distances, etc.) afin de fournir l'eau nécessaire à une population croissante ainsi qu'à une agriculture en plein développement.

On constate également une certaine concurrence entre les campagnes et les villes : dans la zone littorale, les terres cultivables diminuent au profit de l'expansion des villes. Pour alimenter les zones urbaines, les pays de la région misent de plus en plus sur le dessalement de l'eau de mer – dont le coût est revu à la baisse depuis 20 ans – non sans avoir une incidence sur l'environnement.

La disponibilité des ressources en eau des trois pays est inférieure au seuil de stress hydrique, lequel est de 500 m³ par habitant et par an. Le changement climatique pourrait encore réduire la pluviométrie dans la région. De plus, des phénomènes climatiques inédits sont observés : il a neigé dans le Hoggar (Sahara), mais pas dans les Aurès (montagne de l'Est algérien).

1.4.1.1. Aperçu des ressources hydrauliques de l'Algérie

L'Algérie possède une superficie de 2,381 millions de km², dont 2,080 millions de km² (soit 87 % de son territoire) en zone désertique (Sahara), c'est-à-dire aride à semi-aride. Dans la partie nord du pays (zone côtière et zone tellienne), la pluviométrie oscille entre 200 et 1400 mm par an, alors que dans la région du Sahara et dans le sud de l'Atlas saharien, elle ne dépasse guère les 50 mm.

En janvier 2019, la population du pays était estimée à près de 43 millions d'habitants⁷, soit une densité moyenne de 17,6 habitants par km². Plus de **90 % de la population** vit dans la partie nord du pays, sur 13 % de la superficie totale du pays, et dispose de ressources en eaux superficielles et souterraines renouvelables.

La disponibilité des ressources en eau est de 320 m³ par habitant et par an (pays sous stress hydrique), alors que le degré de dépendance aux ressources en eau extérieures n'est que de 1 %.

Potentiel en eaux conventionnelles

- **Ressources en eau de surface** : Les eaux de surface, qui représentent les deux tiers des potentialités du pays, s'élèveraient à 11 milliards de m³ par an. Leur irrégularité et leur répartition spatiale ne permettent pas d'utiliser plus de 5 à 6 milliards de m³ d'eau. Des transferts importants sont donc nécessaires pour satisfaire les besoins des régions les plus pauvres en ressources hydrauliques.
- **Ressources en eau souterraine** : Les ressources en eaux souterraines renouvelables des 177 aquifères du nord du pays s'élèveraient à près de 2,5 milliards de m³ par an. Leur utilisation est rendue possible grâce à 92 000 points d'eau, soit : 9 000 sources ; 23 000 forages et 60 000 puits. Au sud, on trouve le « Système Aquifère du Sahara Septentrional » dont les réserves sont immenses, mais ne sont pas renouvelables. Les potentialités exploitables de ces aquifères sahariens sont estimées à près de 6 milliards de m³ par an en Algérie. Le volume d'eau utilisé à partir des réserves fossiles est de 2,3 milliards de m³ par an (2016).

Potentiel en eaux non conventionnelles

- **Eaux usées épurées** : L'Algérie produirait 1,2 milliard de m³ d'eaux usées par an. Sa capacité de traitement étant estimée à 0,8 milliard de m³, le pays a entrepris un ambitieux programme de réutilisation des eaux usées épurées notamment dans l'irrigation des terres agricoles ; les boues générées servent alors de fertilisant. Cependant, et en dépit des efforts consentis par l'État, le taux de réutilisation des eaux usées reste faible (environ 20 %).
- **Dessalement de l'eau de mer** : L'Algérie a mis en place 13 grandes stations de dessalement de l'eau de mer. En juillet 2018, 11 grandes stations d'une capacité de 2,21 hm³ par jour étaient en service, ce qui équivaut à une capacité de 806,6 hm³ par an. L'objectif stratégique de ce programme

⁷ ONS : <http://www.ons.dz/spip.php?rubrique34>.

consiste à sécuriser l'alimentation en eau potable des populations de la zone côtière et à réaffecter les eaux de barrages à des fins d'irrigation.

- **Déminéralisation des eaux saumâtres** : Dans le sud, la salinité de l'eau est souvent supérieure à 2g/l. Un programme de déminéralisation des eaux saumâtres (SDES) a été mis en œuvre au niveau de la *wilaya* d'Ouargla (11 stations SDES opérationnelles) et des *wilayas* de Tindouf, d'Adrar et de Tamanrasset (1 SDES opérationnelle dans chaque wilaya). Une station de déferrisation a par ailleurs été ouverte à Illizi en décembre 2016.

La qualité des eaux

- **Eaux de surface** : Le réseau de surveillance de la qualité des eaux de surface, géré par l'Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) et constitué de 124 stations, couvre l'ensemble des barrages destinés à l'approvisionnement en eau potable, ainsi que les principaux cours d'eau du pays. L'ANRH publie tous les mois une carte de qualité. On note que les principaux *oueds* du pays présentent une dégradation plus ou moins marquée de la qualité physico-chimique de leurs eaux de l'amont vers l'aval. Par ailleurs, des pics de pollution ont été enregistrés lors de la traversée des grandes villes.
- **Eaux souterraines** : Le réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines est implanté au niveau des principaux aquifères. Il compte 510 points de mesure. Ce réseau a mis en exergue une augmentation des teneurs en nitrates en certains endroits localisés (dans la Mitidja, par exemple). On a également constaté une intrusion des eaux marines dans certaines nappes côtières (Mitidja, Jijel, Annaba).

Mobilisation des ressources en eau de surface : les barrages

L'infrastructure hydraulique de l'Algérie s'est considérablement développée au cours des 50 dernières années : on comptait 78 barrages en activité en 2018 (contre 14 en 1960), soit une capacité de 5,8 milliards de m³. Le programme actuel de mobilisation des ressources en eau de surface vise à poursuivre et achever les grands transferts en cours : Béni Haroun, Hautes plaines sétifiennes, Koudiat Acerdoun. Le programme d'étude porte quant à lui sur près de 50 barrages, qui devraient être opérationnels d'ici à 2030.

Alimentation en eau potable

En 2018, l'Algérie a produit 3,6 milliards de m³ d'eau à des fins d'alimentation en eau potable. Les rendements du réseau sont environ de 70 %. Le taux de raccordement moyen national est de 98 % pour une dotation moyenne de 180 litres par jour et par habitant.

Assainissement

L'Algérie compte actuellement 173 stations d'épuration des eaux usées (STEP) d'une capacité de 800 millions de m³ par an, contre 10 stations seulement en 2000. Actuellement le linéaire du réseau est de 43 000 km pour un taux de raccordement de 90 %.

Ressources en eau à des fins agricoles

La surface irriguée du pays a augmenté, passant de 350 000 ha à 1 216 000 ha entre 2000 et 2015. La petite et moyenne hydraulique compte pour 92 % de cette superficie. Le pays devrait compter 1 million d'hectares irrigués supplémentaires d'ici à 2021. Il est aussi prévu de moderniser et de spécialiser les grands périmètres irrigués, afin d'améliorer la rentabilité et la gestion de l'eau, de généraliser les systèmes d'irrigation économiseurs d'eau et de promouvoir l'utilisation des eaux usées traitées à des fins d'irrigation. Près de 10 000 ha sont concernés : le périmètre de Hennaya (912 ha), projet en place ; le périmètre de la M'léta (8 000 ha), projet en cours ; et le périmètre du Sahel Algérois (1 300 ha), projet en cours d'étude.

Les enjeux : la gestion de l'offre et de la demande en eau

Afin de répondre rapidement aux besoins croissants en eau, surtout au niveau domestique, les autorités algériennes ont privilégié une politique de l'offre entre 2000 et 2016, une démarche qui s'est traduite par des investissements massifs, à la suite de quoi le parc de barrages et les transferts ont augmenté et le recours au dessalement de l'eau de mer s'est accru, tout comme la réutilisation des eaux usées. Le pays

se tourne actuellement vers une gestion rationnelle de l'eau (optimisation et rentabilité des infrastructures et des équipements, lutte contre le gaspillage et les fuites, etc.) afin de minimiser cette quatrième ressource que constituent « les eaux non facturées ». À cet effet, il encourage l'utilisation de systèmes économiseurs d'eau, revoit son système de tarification et met en place des programmes de sensibilisation.

1.4.1.2. Aperçu des ressources hydrauliques de la Tunisie

La Tunisie est un pays en majeure partie aride. Conjugée à la variabilité du climat méditerranéen, cette aridité fait de l'eau une ressource rare, inégalement répartie dans le temps et dans l'espace. Le pays possède une superficie de 164 000 km² et sa population était estimée à 11,722 millions d'habitants en 2019 (Institut national de la statistique)⁸, soit une densité moyenne de 70 habitants par km². La majorité de la population tunisienne vit en ville (64,8 %), notamment dans le Grand Tunis (20 %). Son potentiel en eau mobilisable, de 4,800 milliards de m³ par an, correspond à une dotation de 436m³par habitant et par an, un chiffre inférieur au seuil de stress hydrique (500 m³ par habitant et par an). L'empreinte eau de la Tunisie étant de 2 200 m³ par habitant et par an, la satisfaction des besoins du pays en eau provient surtout du secteur pluvial (1 300 m³ par habitant et par an) et de l'eau virtuelle.

L'allocation en eau au secteur irrigué est de 2,100 milliards de m³ par an en moyenne. La demande agricole en eau représente 80 % de la demande totale en eau. La demande du secteur de l'eau potable, de l'industrie et du tourisme est respectivement de 15 %, 4 % et 1 %.

Potentiel des ressources en eau de surface

Les apports en eau de surface proviennent de quatre régions naturelles distinctes de par leurs conditions climatiques et hydrologiques et leurs aspects géomorphologiques et géologiques⁹:

- L'extrême nord et Ichkeul, dont la superficie ne représente que 3 % de la superficie totale du pays, fournissent des apports en eau de surface évalués à 960 millions de m³ par an en moyenne, soit 36 % du potentiel total du pays.
- Le nord, qui comprend les bassins de la Medjerda, du Cap Bon et de Méliane, fournit des apports moyens de 1 230 millions de m³ par an, soit 46 % du potentiel total du pays en eau de surface.
- Le Centre, qui comprend les bassins versants de Nebhana, de Merguellil, de Zéroud et du Sahel, offre des ressources hydrauliques évaluées en moyenne à 320 millions de m³ par an, soit 12 % du potentiel du pays.
- Le sud, qui représente environ 62 % de la superficie totale du pays, est la région la plus pauvre en eau de surface. Ses ressources hydrauliques, très irrégulières, sont évaluées à 190 millions de m³ par an, soit 6 % du potentiel total du pays.

Outre cette disparité régionale, les apports se caractérisent par une grande variabilité interannuelle. Le ruissellement a atteint un taux maximal de 11,32 milliards de m³ entre 1969 et 1970 et un taux minimal de 0,78 milliard de m³ entre 1993 et 1994.

À l'échelle transfrontalière, la Tunisie partage une partie de ses eaux de surface avec l'Algérie. Ainsi, les *oueds* Barbara et Mellila fournissent à l'Algérie des ressources hydrauliques de l'ordre de 180 millions de m³ par an. En retour, l'Algérie fournit aux *oueds* Medjerda, Mellègue, Safsaf et el Kebir 275 millions de m³ de ressources hydrauliques par an.

Qualité des eaux de surface

Les eaux tunisiennes se caractérisent par une forte salinité. En effet, 53 % des ressources en eau conventionnelles ont une concentration en résidus secs (RS) supérieure à 1,5 g/l, et 30 % ont une concentration en RS supérieure à 3 g/l. Ces eaux sont notamment utilisées à des fins d'irrigation (avec

⁸ INS : <http://www.ins.tn/fr/themes/population>.

⁹ DGRE

une concentration en RS allant de 4 à 6 g/l dans les Gouvernorats de Gabès, Mahdia et Médenine), ce qui engendre des répercussions négatives sur les sols ainsi que sur la productivité, la rentabilité et la durabilité des exploitations irriguées.

Les eaux souterraines

- **Les nappes phréatiques** : 226 entités hydrogéologiques de nappes phréatiques (pour une profondeur comprise entre 0 et 50 m) ont été répertoriées. Elles sont largement surexploitées et 60 % d'entre elles ont une salinité supérieure à 3 g/l.
- **Les nappes profondes** (profondeur de captage supérieure à 50 m) : Au nombre de 347, elles fournissent environ 1,43 milliard de m³/an. L'exploitation des nappes profondes du pays se répartit comme suit : 1,143 milliard de m³ (77,5 %) pour l'irrigation ; 290 millions de m³ (19,6 %) pour l'AEP ; 42 millions de m³ (2,9 %) pour l'industrie.

Qualité de l'eau des nappes profondes

- 384,02 millions de m³ par an, avec une concentration en RS inférieur ou égal à 1,5 g/l (soit 28 % du volume exploité)
- 739,83 millions de m³ par an, avec une concentration en RS comprise entre 1,5 et 3 g/l (soit 54 % du volume exploité)
- 197,36 millions de m³ par an avec une concentration en RS comprise entre 3 et 5 g/l (soit 14 % du volume exploité)
- 48,08 millions de m³ par an, avec une concentration en RS supérieure à 5 g/l (soit 4 % du volume exploité).

Les ressources en eau non conventionnelles

Les ressources en eau non conventionnelles comprennent, entre autres, les eaux usées traitées, les eaux saumâtres et les eaux de dessalement.

- **Les eaux usées traitées**

Le nombre de stations d'épuration de l'Office national de l'assainissement (ONAS) est passé de 6 en 1975 à 122 en 2018. Les volumes d'eau traités sont passés de 6 millions de m³ en 1975 à 274 millions de m³ par an en 2018, pour un volume d'eau collectée total de 277,2 millions de m³ par an. Le taux de traitement des eaux usées collectées par l'ONAS s'élève donc à près de 99 %. Près de 50 % des eaux usées traitées sont collectées dans le Grand Tunis.

- **Les eaux de dessalement**

La Société nationale d'exploitation et de distribution des eaux (SONEDE) et le Groupe chimique tunisien sont responsables des activités de dessalement pratiquées en Tunisie à des fins d'alimentation en eau potable. Leurs capacités de dessalement sont appréciables, bien que réduites dans certaines zones touristiques et industrielles. 15 stations de dessalement des eaux saumâtres (31,2 millions de m³ en 2018, soit 4,5 % du volume produit) et 5 forages de déferrisation (8,1 millions de m³ en 2018, soit 1,2 % du volume produit) ont été installés dans le sud de la Tunisie afin de produire de l'eau potable. La première station de dessalement d'eau de mer du pays a été mise en service en 2018 à Jerba, avec une capacité de 50 000 m³ par jour. En 2018, la production de cette station s'élevait à 7,8 millions de m³, soit 1,1 % du volume total produit.

Mobilisation des eaux de surface : les barrages

La Tunisie dispose de 37 barrages cumulant une capacité utile de 2,285 milliards de m³, de 258 barrages collinaires et de 913 lacs collinaires, dont les capacités respectives sont de 365 millions de m³ et 58 millions de m³. Le transfert d'eau s'effectue selon un axe allant de l'Ouest vers l'Est. Les grands barrages du Nord sont interconnectés, si bien que l'eau de l'extrême Nord et de la Medjerda parcourt plus de 500 km et arrive jusqu'aux zones côtières de Bizerte, Tunis, Cap-Bon, Sousse et Sfax. De plus, l'eau de Nebhana est également acheminée vers les régions de Sousse, Monastir et Mahdia. Par ailleurs, le stockage des volumes transférés dans des réservoirs de surface ou souterrains (c.-à-d., recharge des

nappes) constitue un nouveau potentiel de mobilisation.

Alimentation en eau potable

En 2018, 98,1 % de la population a accès à une source d'eau potable. En milieu urbain, la desserte en eau est assurée par la SONEDE, avec un taux de branchement universel. En milieu rural, l'alimentation en eau potable est assurée soit par la SONEDE pour les localités agglomérées (52,7 %), soit par les services du Génie rural du Ministère de l'agriculture à travers des groupements de développement agricole pour les localités à faible densité de population (41,5 %).

Le système tarifaire pratiqué à l'heure actuelle couvre au mieux les frais d'exploitation et de maintenance des réseaux.

Assainissement

En 2018, l'ONAS a atteint un taux de raccordement au réseau public d'assainissement de 90,3 % dans les zones d'intervention et un taux de raccordement de 88 % aux stations d'épuration, contre, respectivement, 45,7 % et 9,6 % en 1975. Le nombre de communes prises en charge par l'ONAS également passé de 23 en 1975 à 178 en 2018, avec 122 stations d'épuration et un réseau public d'assainissement s'étendant sur 17 180 km.

Agriculture irriguée

Les périmètres irrigués, qui ne représentant que 8 % de la superficie agricole utile (SAU), contribuent au développement agricole du pays. Ils sont à l'origine de :

- 35 % de la valeur totale de la production agricole du pays ;
- 95 % de la production maraîchère ;
- 30 % des produits laitiers ;
- 20 % de la valeur des exportations en produits agricoles ; et
- 20 % de la création d'emplois dans le secteur de l'agriculture.

La superficie irriguée a évolué proportionnellement au taux de mobilisation des ressources en eau (398 000 hectares en 2000 et 435 000 hectares en 2018). On distingue les périmètres publics aménagés par l'État (54 %) et les périmètres irrigués privés (46 %).

Les besoins en irrigation s'élèvent à environ 2,40 milliards de m³ d'eau par an, dont près de 80 % proviennent de nappes souterraines, et 20 % de barrages. Cette situation est à l'origine de la surexploitation des nappes, qui ne cesse de s'intensifier du fait de la prolifération des forages illicites. 93 % des périmètres irrigués sont équipés de systèmes d'économie d'eau, soit une superficie totale de 405 000 hectares. En moyenne, les exploitations irriguées ont une superficie de 2,5 hectares. La pratique de l'irrigation est confrontée à plusieurs défis, parmi lesquels figurent le tarissement des ressources en eau, l'augmentation de la salinité des eaux, le faible rendement des cultures, l'effondrement des prix agricoles ainsi que la proximité ou l'envahissement des parcelles agricoles par les zones urbaines¹⁰.

Les enjeux : Pour une gestion intégrée des ressources en eau

La Tunisie a fait le choix d'une gestion durable de ses ressources en eau, d'une fourniture saine de l'eau et de son assainissement. Cette gestion doit aussi bien prendre en compte les dimensions techniques, qu'économiques, financières, sociales, culturelles, institutionnelles et environnementales. La Gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) est un processus amorcé depuis plus de deux décennies. La décentralisation de la gestion des ressources en eau doit être accélérée afin de garantir une nouvelle responsabilisation des différents partenaires. Les instruments financiers, économiques et institutionnels doivent être revus et adaptés au nouveau contexte sociopolitique ainsi qu'aux défis auxquels les sociétés font face et qui vont affecter les ressources en eau, au nombre desquels figurent, entre autres, le changement climatique et la libéralisation des marchés.

¹⁰ Ministère de l'Agriculture, de Ressources Hydraulique et de la Pêche, 2019. Rapport national du secteur de l'eau 2018

1.4.1.3. Aperçu sur les ressources hydrauliques en Libye

La Libye, dont 95 % du territoire est désertique, dispose de rares ressources en eau. Sa population, qui s'élève à 6,5 millions d'habitants en 2018, est surtout concentrée dans les grandes agglomérations. Les précipitations sont minimales, et seulement 5 % du territoire reçoit plus de 100 mm de pluie chaque année. Au nord, dans la région de Tripoli, au nord de Benghazi et dans l'est du pays, les précipitations peuvent atteindre 250 à 300 mm par an, permettant alors de pratiquer une agriculture pluviale.

La disponibilité des ressources en eau renouvelables est de 101 m³ d'eau par an et par habitant. La Libye s'est longtemps appuyée sur ses réserves souterraines pour s'approvisionner en eau, mais la consommation dépasse désormais les ressources renouvelables du pays. Le volume d'eau des sources a diminué et de nombreux aquifères souterrains du littoral sont devenus saumâtres en raison de l'intrusion marine. Ces derniers affichent un taux de salinité trop élevé, ce qui les rend pratiquement inutilisables.

Le pays compte 16 barrages qui retiennent en moyenne 61 millions de m³ d'eau, alors que leur capacité totale est de 385 millions de m³. Le barrage de Qattara est le plus important du pays, avec une capacité de rétention de 135 millions de m³.

Ressources en eau

Les ressources en eau renouvelables sont évaluées à près de 1 075 milliards de m³ au total, soit 200 millions de m³ d'eaux de surface et 875 millions de m³ d'eaux souterraines. Les nappes dont les ressources sont renouvelables se situent au nord de la Libye : la nappe de la Djefara, la nappe de Jabal Lakhdar et la nappe de la Hamada.

La Libye partage ses ressources en eau non renouvelables avec ses pays limitrophes, à savoir l'Algérie et la Tunisie pour l'Aquifère du SASS, et l'Égypte, le Soudan, et le Tchad pour l'Aquifère des grès nubiens.

Trois autres nappes (Merzouk, Sarir, Koufra) recèlent potentiellement de très importantes ressources en eau non renouvelables (4,4 milliards de m³ par an exploités). Ces nappes sont exploitées actuellement par l'intermédiaire du projet « Grande rivière artificielle », qui vise à transférer quotidiennement 6 millions de m³ d'eau du sud au nord du pays.

Qualité des eaux

La surexploitation des nappes de la bande côtière a entraîné une intrusion marine, allant à plus de 15 km de profondeur dans certains cas (la Nappe de la Djefara par exemple). Près de 35 % des nappes ont une salinité supérieure à 5 g/l.

Alimentation en eau potable

À l'échelle nationale, le taux d'accès à l'eau potable est estimé à 80 %, avec une dotation journalière actuelle de 220 litres par jour et par habitant. Compte tenu de la faiblesse des ressources en eau superficielles et de la surexploitation des nappes côtières, l'approvisionnement en eau est assuré à partir de la Grande rivière artificielle, dont 12 % des transferts sont réservés aux besoins domestiques, et 80 % à l'agriculture.

Dessalement

Des stations de dessalement installées dans les années 1980 permettent, malgré la baisse de leur production, de fournir entre 20 et 30 millions de m³ d'eau chaque année, alors que leur capacité installée est de 65 millions de m³ par an. La plupart des stations de dessalement construites dans les années 1980 à 2000 sont actuellement à l'arrêt.

Assainissement

En Libye, 48 % des logements sont raccordés à un réseau d'assainissement, mais ce taux varie de 9,5 % à 91 % selon les circonscriptions. Les eaux usées sont traitées par 55 stations dont les capacités de traitement varient entre 3 000 m³ par jour et 120 000 m³ par jour. Cependant seules 40 sont opérationnelles, ce qui réduit la capacité totale de traitement du pays de 400 000-500 000 m³ par jour à près de 184 000 m³ par jour. Une partie de ces eaux épurées est destinée à l'irrigation.

Agriculture

La superficie irriguée est estimée entre 350 000 et 400 000 hectares. 80 % des eaux transférées à partir de la Grande rivière artificielle sont destinées à l'irrigation des périmètres, dont la superficie totale devrait

atteindre 650 000 hectares d'ici à 2025, pour un volume d'eau alloué de 6,3 milliards de m³ par an.

Les enjeux : une gestion durable des ressources en eau

La Libye, qui dispose de ressources en eau très limitées, est depuis longtemps confrontée au déséquilibre entre ses ressources et ses besoins en eau. Pour y pallier, la Libye a recours aux ressources en eau non conventionnelles et à l'exploitation minière de ses ressources en eau souterraines, qui sont, il convient de le rappeler, non renouvelables.

1.4.2. Ressources en eau dans le SASS

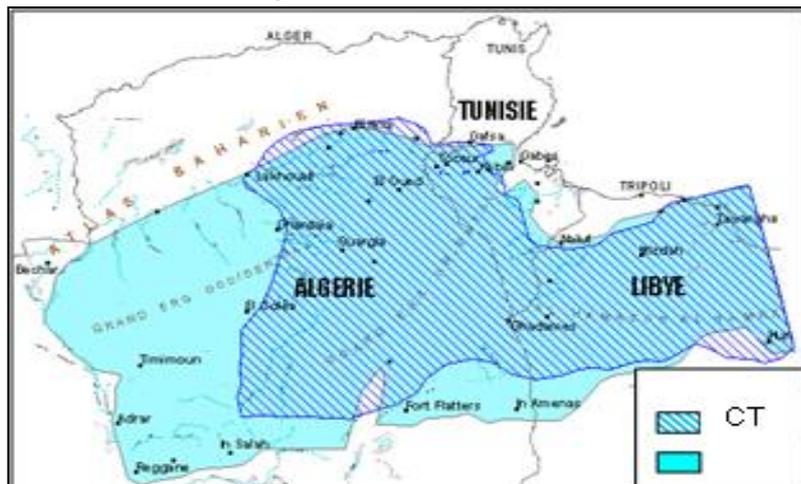
1.4.2.1. Le Système Aquifère du Sahara Septentrional

Comme indiqué précédemment, le Système Aquifère du Sahara Septentrional, commun à l'Algérie, à la Libye et à la Tunisie, désigne la superposition de deux principales couches aquifères profondes (figure 8) :

- La nappe du Continental Intercalaire, plus profonde et plus étendue, avec une superficie de 1 000 000 km² ; et
- La nappe du Complexe Terminal, qui s'étend sur une superficie de 600 000 km².

La superficie du bassin est répartie entre les trois pays comme suit : 60 % en Algérie, 30 % en Libye et un peu moins de 10 % en Tunisie.

Figure 8 : Extension des formations du SASS



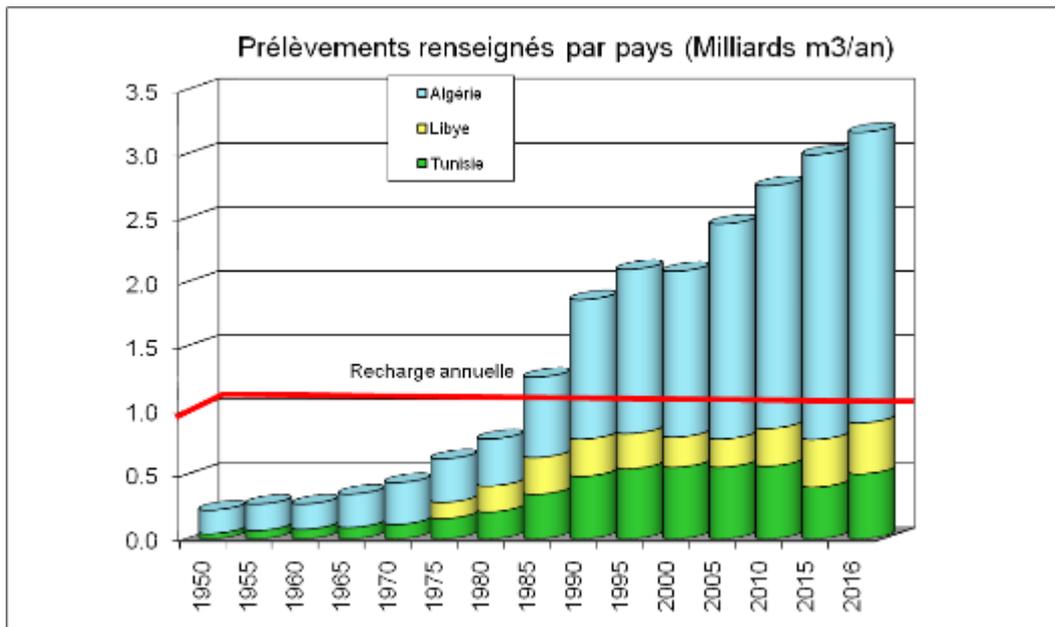
Source : OSS

L'extension du Système et l'épaisseur des couches ont favorisé l'accumulation de réserves en eau considérables, à hauteur de 60 000 milliards de m³ d'eau. Cependant, et compte tenu des conditions climatiques du Sahara, ces formations sont faiblement alimentées, avec seulement environ 1 milliard m³ d'eau par an. Or, les impératifs de développement de la région se traduisent par une demande en eau de plus en plus importante.

Les prélèvements d'eau ont fortement augmenté depuis les années 1980, et dépassent aujourd'hui largement les capacités de recharge du SASS (figure 9). Ces prélèvements, qui s'élevaient à 1 milliard de m³ d'eau en 1980, sont passés à environ 3,171 milliards de m³ en 2016, répartis comme suit : 2,297 milliards de m³ en Algérie, 0,506 milliard de m³ en Tunisie et 0,398 milliard de m³ en Libye (figure 10).

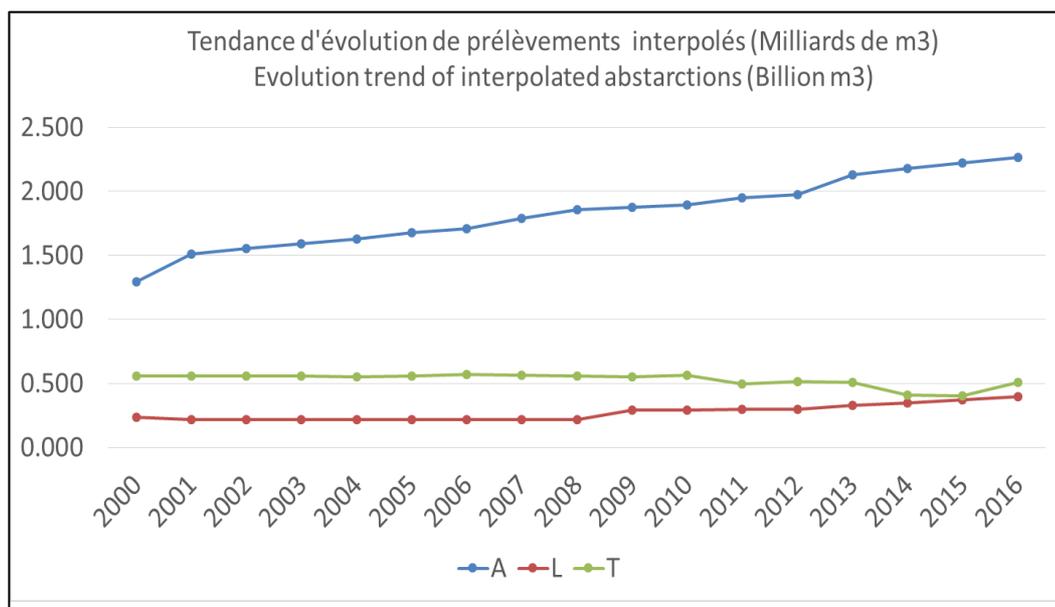
Les points de prélèvement se sont multipliés : plus de 8 000 points d'eau, forages et sources sont actuellement exploités (figure 11).

Figure 9 : Prélèvements totaux dans les aquifères sahariens, en milliards de m³ par an



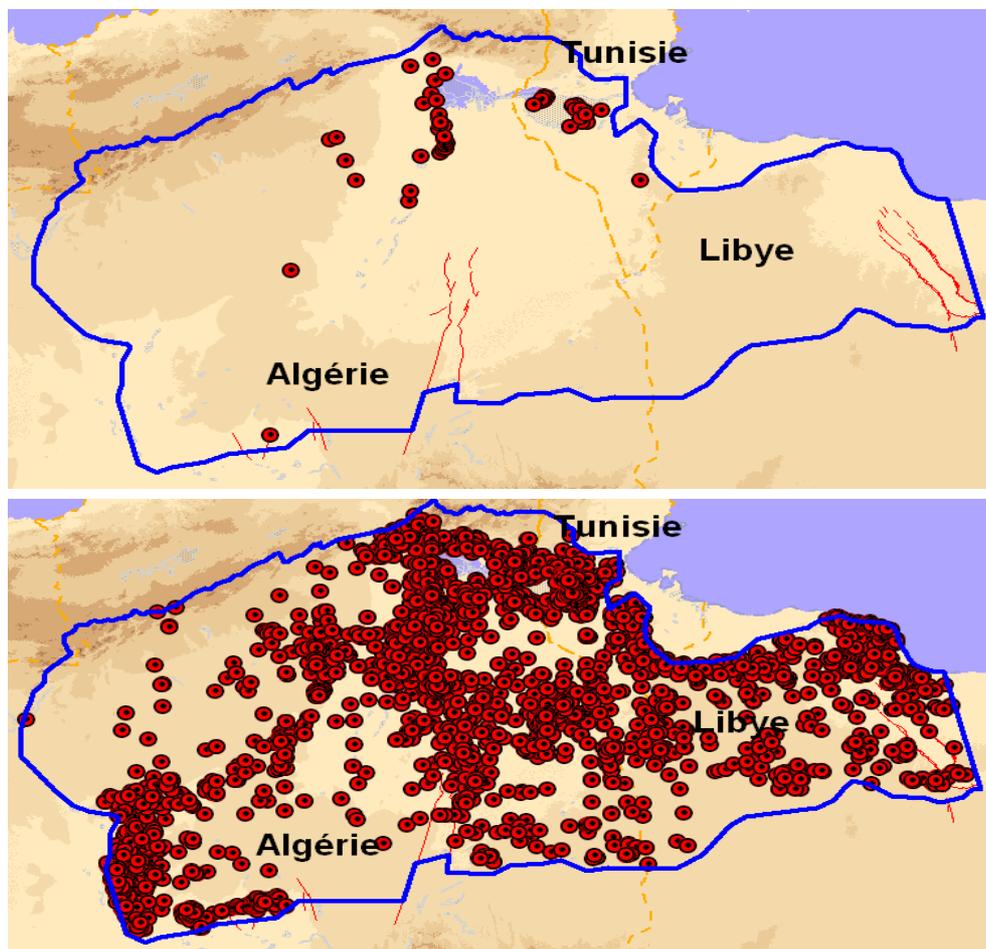
Source : OSS

Figure 10 : Évolution des prélèvements par pays, de 2000 à 2016



Source : OSS

Figure 11 : Localisation des points d'eau de prélèvement en 1950 (en haut) et 2016 (en bas)



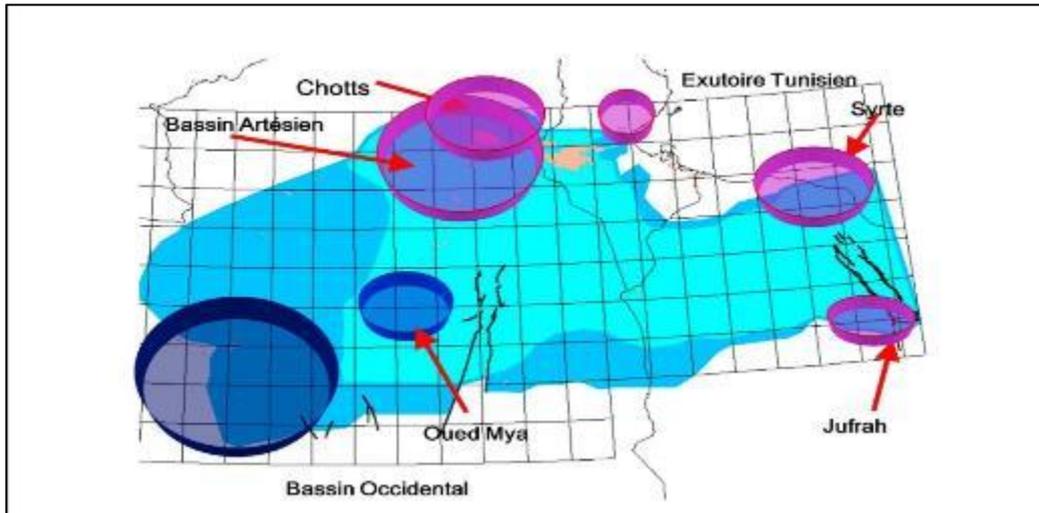
Source : OSS

L'intensification de l'exploitation des aquifères a mis en évidence des indices inquiétants de la présence de risques, qui se caractérisent notamment par :

- Des rabattements significatifs des aquifères ;
- Un accroissement du taux de salinité des eaux ;
- La disparition de l'artésianisme ;
- Le tarissement des exutoires ; et
- Des hauteurs de pompage excessives.

En 2002, les résultats des simulations ont permis de dresser une carte délimitant les zones à risque dont la surexploitation est avérée et les zones dont le potentiel reste intact (figure 12).

Figure 12 : Carte des zones à risque et des zones à forte potentialité



Zones à risque

Zones à forte potentialité (disponibilité de la ressource)

Source : OSS

Les pompages deviennent de plus en plus difficiles et coûteux, et les risques environnementaux sont accrus, en particulier s'ils sont liés au développement agricole. La problématique suivante émerge : comment effectuer des prélèvements d'eau optimaux de manière à assurer le développement des trois pays de la région, sans pour autant risquer de dégrader irrémédiablement l'état de la ressource ?

1.4.2.2. Le système aquifère côtier de la Djefara, exutoire naturel du SASS

Le système aquifère de la Djefara ne fait pas intrinsèquement partie du SASS. Cependant, il lui est très fortement lié, car il est essentiellement alimenté par le Continental Intercalaire, par l'intermédiaire de l'exutoire tunisien du SASS.

Par ailleurs, l'exploitation de cette ressource, située dans la plaine côtière tuniso-libyenne, s'est considérablement intensifiée au cours des trente dernières années.

L'amélioration des connaissances relatives au SASS semble donc une opportunité intéressante de proposer une vision homogène et coordonnée du système aquifère de la Djefara afin de répondre au besoin de définir des politiques d'exploitation des ressources en eau, d'en prédire les impacts à court et à long terme, d'identifier les risques, de contribuer à leur gestion et d'évaluer leurs conséquences.

Le modèle hydrodynamique simulant le comportement du système de la Djefara a permis d'estimer le volume total des sorties du système à 594 millions de m³ d'eau en 1950, dont 52 millions de m³ correspondent aux pompages. En 2000, les sorties ont été estimées à 1 365 millions de m³, dont 1 039 millions de m³ correspondent aux pompages. Le net déséquilibre auquel ce système aquifère est désormais soumis a ainsi été mis en évidence.

Ce bilan fait ressortir l'importance des infiltrations (330 millions de m³ par an) et de pressentir l'importance qui doit être accordée à l'étude de la recharge naturelle ainsi qu'à l'estimation des apports latéraux souterrains en provenance du Système Aquifère du Sahara Septentrional (de 260 millions de m³ par an en 1950 à 200 millions de m³ par an en 2000).

L'exploitation de l'aquifère de la Djefara s'est intensifiée au cours des quarante dernières années (figure 13)

Figure 13 : Carte de localisation des points d'eau dans la Djefara en 1950 (à gauche) et en 2010 (à droite)



Source : OSS

En matière de risques, le système aquifère de la Djefara se distingue d'ores et déjà par un niveau d'alerte élevé : en 50 ans, le volume des prélèvements d'eau y est passé de 200 millions de m³ par an (en 1960) à près de 1,4 milliard de m³ par an (en 2010), pour une recharge avoisinant les 600 millions de m³ par an. Il en résulte une surexploitation équivalente au volume de la recharge annuelle et d'importants rabattements (parfois supérieurs à 50 m) dans les zones côtières, où se concentre son exploitation. L'intrusion saline de l'eau de mer a déjà été constatée dans les deux pays, notamment aux alentours de Tripoli (de l'ordre de 34 millions de m³ par an). La plaine de la Djefara est d'autant plus sensible qu'une bonne partie de la recharge (330 millions de m³ par an) est directement liée à la pluviométrie.

1.4.3. Piézométrie et qualité de l'eau dans le SASS

1.4.3.1. Piézométrie

Des cartes piézométriques représentatives de la situation du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal en 2016 ont été dressées à partir des cartes de leur état de référence pour les années 1950, 2000 et 2012, et mises à jour avec des données actualisées en 2016¹¹. La comparaison entre ces cartes et celles des années 1950 et 2000 offre des renseignements sur les rabattements des nappes du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal au cours de ces dernières années.

Carte piézométrique du Continental Intercalaire

La carte piézométrique du Continental Intercalaire pour l'année 2016 (figure 14) montre :

- La division du domaine saharien en plusieurs provinces hydrogéologiques, qui sont :
 - ✓ Le Bas-Sahara à écoulement d'Ouest en Est ;
 - ✓ Le Tinrher et le Grand Erg oriental à écoulement du Sud vers le Nord ;
 - ✓ Le Grand Erg occidental, le Touat-Gourara et le Tidikelt à écoulement du Nord vers le Sud et du Sud vers l'Ouest ;
 - ✓ Le Dahar et le Jebel Nafusah à écoulement d'Est en Ouest et du Nord vers le Sud ;
 - ✓ Le Djebel Hassawna à écoulement du Sud vers le Nord et le Nord-Est.

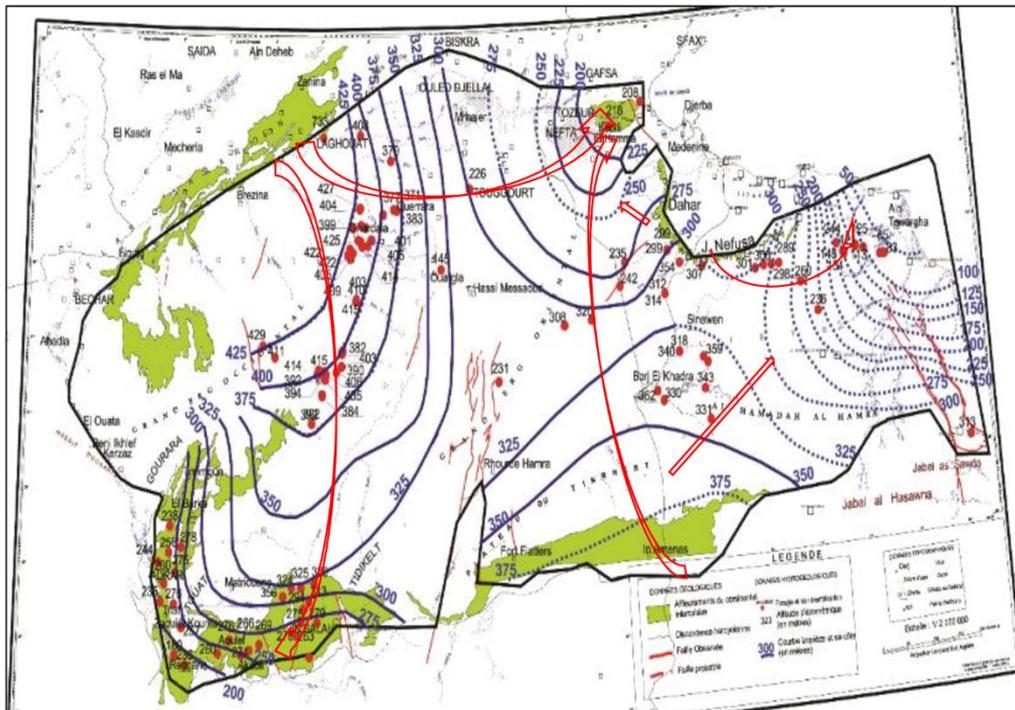
¹¹ De nouvelles données (89 points du Complexe Terminal et 65 points du Continental intercalaire) datées de 2013 à 2016 ont été collectées pour actualiser les cartes piézométriques et de salinité de 2012 à 2016

- Les zones d'alimentation, dont les limites sont suggérées par les directions d'écoulement de la nappe, sont :
 - ✓ Le piémont sud atlasique du Nord-Ouest ;
 - ✓ Le Tinrhert, où l'alimentation tient probablement davantage d'un effet de lente vidange du réservoir plutôt que d'une véritable recharge de la nappe à partir d'une pluie extrêmement rare ;
 - ✓ Le Dahar en Tunisie et le Jebel Nafusah en Libye ;
 - ✓ Le Djebel Hassawnah, où la piézométrie du Kiklah (Continental Intercalaire) se raccorde parfaitement à la piézométrie de la nappe du cambro-ordovicien.
- Les zones exutoires, suggérées par les points d'aboutissement des lignes de courant dessinées par la carte piézométrique, sont :
 - ✓ Le Touat-Gourara et le Tidikelt ;
 - ✓ L'exutoire tunisien marqué par la faille d'El Hamma ;
 - ✓ L'exutoire libyen au niveau d'Ain Tawargha.

La piézométrie de la nappe du Continental Intercalaire met en évidence l'indépendance quasi totale du sous-bassin du Grand Erg occidental vis-à-vis du reste de la nappe, avec un écoulement depuis l'Atlas saharien vers le Sud puis le Sud-Ouest, ainsi qu'une ligne de partage des eaux souterraines qui sépare l'écoulement s'effectuant vers l'Ouest de celui qui alimente la partie orientale du bassin. L'exutoire de la nappe apparaissait, en premier lieu, sous forme de sources transformées par l'homme, à savoir des foggaras, suite à la baisse de la surface piézométrique.

Le dôme piézométrique centré sur le Dahar-Jebel Nafusah (Libye) indique une aire d'alimentation locale, dans une zone où la nappe n'est pas jaillissante.

Figure 14 : Carte piézométrique du Continental Intercalaire (2016)



 Direction de l'écoulement

Source : OSS

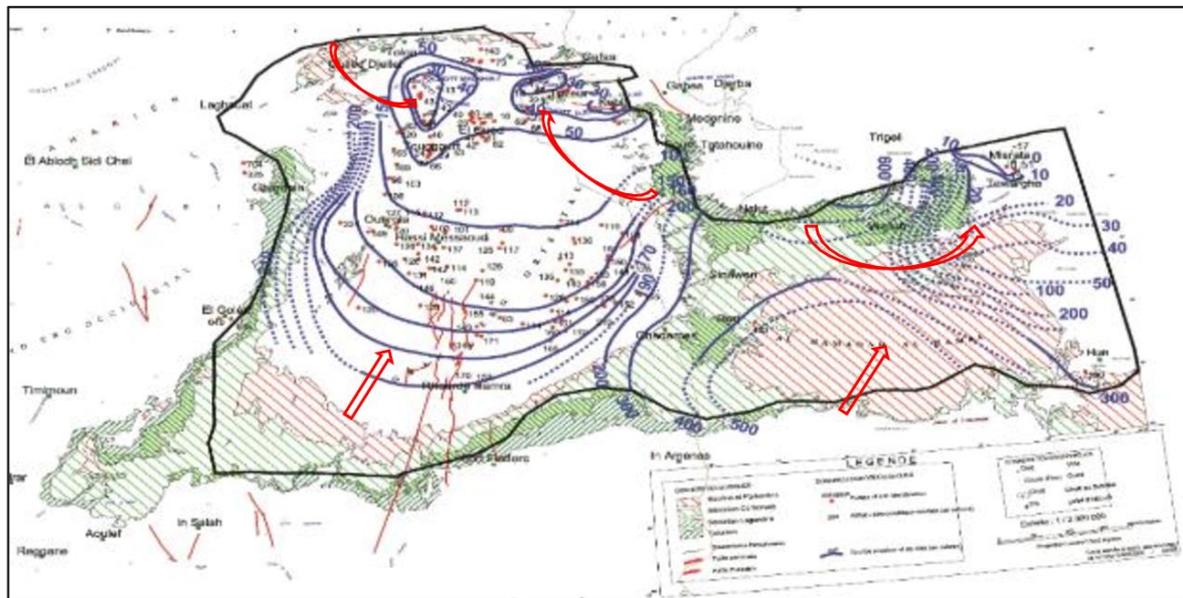
Carte piézométrique du Complexe Terminal

La carte piézométrique du Complexe Terminal (figure 15) met en évidence :

- La division du domaine saharien en deux principaux sous-bassins hydrogéologiques, à savoir le sous-bassin du Grand Erg oriental et celui de la Hamada al Hamra ;
- Les mêmes principales zones d'alimentation que la nappe du Continental Intercalaire-Kiklah (Atlas saharien, Dahar-Jebel Nafusah et Djebel Hassawnah) ; et
- Les zones exutoires principalement centrées sur les Chotts algéro-tunisiens et le golfe de Syrte, entre Misrata et Buwayrat Al Hasun.

La piézométrie de la nappe du Complexe Terminal montre, dans le sous-bassin du Grand Erg oriental, le rôle du Bas-Sahara algéro-tunisien dans la focalisation de l'écoulement souterrain formant un bassin endoréique. Les Chotts Merouan-Melrhir, en Algérie, et Gharsa-Djérid, en Tunisie, constituent l'exutoire de la nappe.

Figure 15 : Carte piézométrique du Complexe Terminal (2016)



 Direction de l'écoulement

Source : OSS, 2016

Le suivi piézométrique est plus ou moins bien assuré dans les trois pays, et les mesures disponibles, bien que discontinues et mal réparties dans l'espace, permettent cependant de déduire les baisses de niveau piézométrique des deux principales nappes du SASS dans les principales zones d'exploitation. Il convient d'améliorer la distribution spatiale et temporelle des observations. Le réseau de suivi piézométrique actuellement retenu comprend 307 points d'observations.

Les données sur les débits d'exploitation de 2012 ont permis de mener des simulations sur la période 1950-2012 afin d'apprécier les rabattements :

- Dans le Continental Intercalaire, des rabattements importants ont été identifiés dans les zones à forte exploitation. Ceux-ci sont de l'ordre de 100 m à El Oued en Algérie. Les rabattements les plus importants se trouvent en Algérie, dans la région de Ouargla-Hassi Messaoud où ils atteignent près de 160 m. En Tunisie, dans l'axe Nefta-Tozeur-Kébili, ils atteignent entre 30 et 100 mètres. Une baisse de 73 m du niveau piézométrique dans la zone frontalière algéro-tunisienne d'El Borma. En Libye, les rabattements sont de l'ordre de 10 m à Ghadamès et de 60 m

dans les régions d'Al Djoufrah et Mardum (tableau 2).

- Dans le Complexe Terminal, de très forts rabattements (jusqu'à 53 m) sont induits par les importants prélèvements au sud du Graben de Hun, en Libye, un secteur coincé entre deux limites étanches. Par ailleurs, les pompages effectués en Tunisie dans le Djérid et la Nefzaoua, ainsi qu'en Algérie dans la vallée de l'Oued Rhir ont causé des rabattements variant entre 30 et 50 m. Un rabattement maximum de 107 m a été enregistré dans la région de Chott Merouane en Algérie (tableau 3).

Tableau 2 : Rabattements au Continental Intercalaire (en mètres)

Pays	Zone	1950	2000	2012	2050 (prévision)
Algérie	Ouargla-Hassi Messaoud	0	110	140	170
Libye	Mardum	0	43	46	59
Tunisie	Djérid	0	74	94	104

Source : OSS

Tableau 3 : Rabattements au Complexe Terminal (en mètres)

Pays	Zone	1950	2000	2012	2050 (prévision)
Algérie	Oued Rhir	0	34	50	71
Libye	Hun-Djoufrah	0	49	53	80
Tunisie	Djérid, Nefzaoua	0	33	37	46

Source : OSS

1.4.3.2. Qualité de l'eau

Les nouvelles données collectées sur la période 2013-2016 (155 points du Complexe Terminal et 60 points du Continental Intercalaire) ont permis d'actualiser les cartes de salinité établies auparavant.

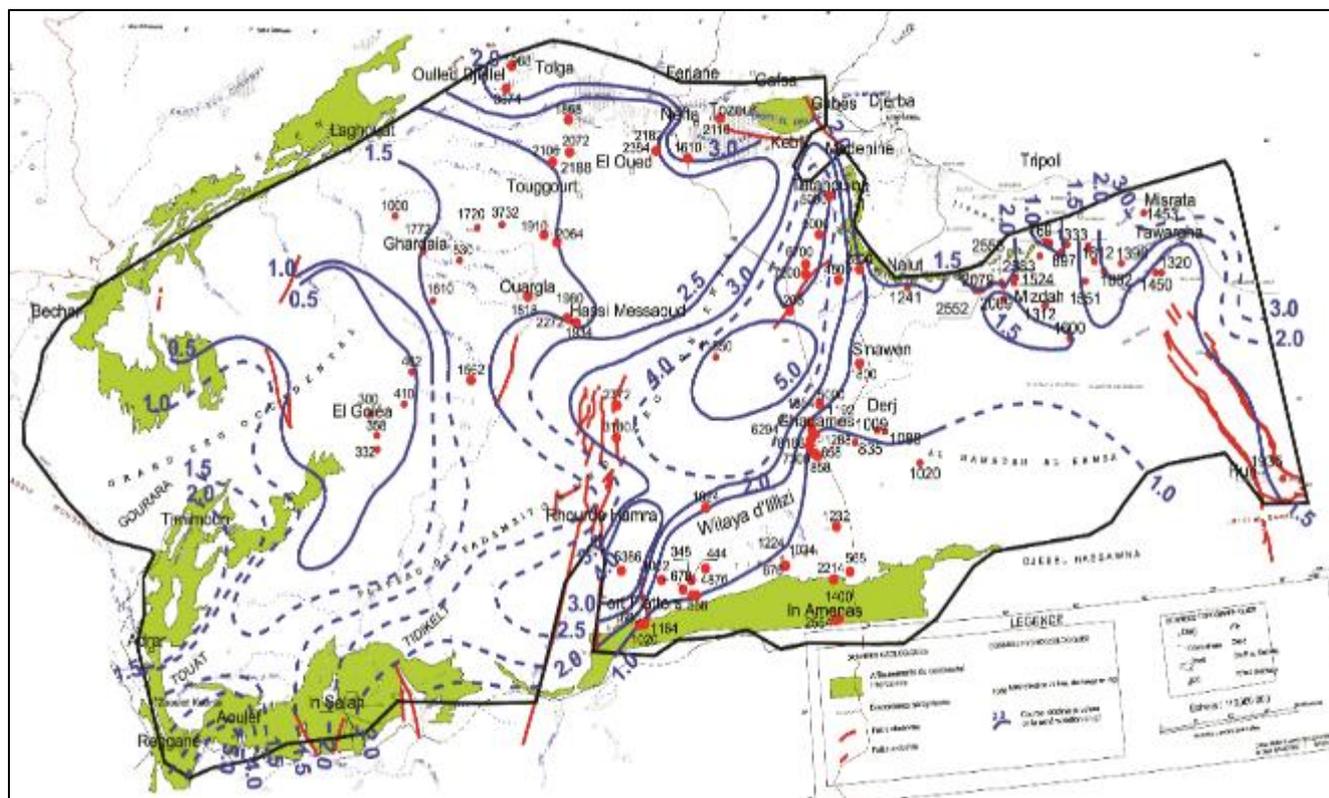
Carte de salinité du Continental Intercalaire (2016) et tendances d'évolution

En Algérie, les eaux du bassin du Grand Erg occidental présentent des taux de salinité pour la plupart inférieurs à 1 g/l dans la région d'El Goléa. Dans les régions du plateau de Tadmaït et de In Salah, ces taux montent jusqu'à 2,5 g/l. Ce n'est pas le cas dans le bassin du Grand Erg oriental, où la nappe est confinée à plusieurs centaines de mètres. Les taux de salinité y sont compris entre 1 et 3 g/l. Les taux les plus forts ont été enregistrés au sud-est de Hassi Messaoud, où la nappe est plus confinée. Dans la wilaya d'Illizi, au sud du pays, quelques minéralisations élevées (entre 4 et 8 g/l) ont été relevées (figure 16).

En Tunisie, les valeurs de concentration en résidus secs des eaux du Continental Intercalaire se trouvent entre 2 et 5 g/l, et atteignent 7 g/l dans la wilaya de Tataouine. Les valeurs les plus faibles correspondent aux formations les plus profondes (série Kébar el Hadj). Les eaux des sources du Chott el-Fejaj affichent les valeurs les plus fortes, avec 5 g/l.

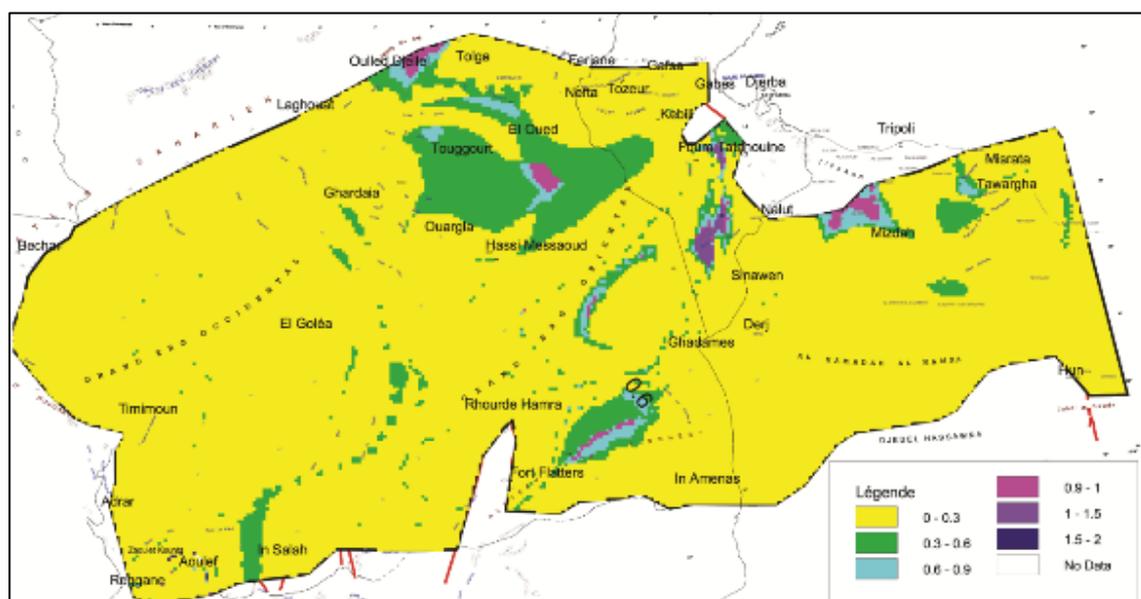
De manière générale, les eaux du Continental Intercalaire en Tunisie ont une salinité relativement élevée (RS > 2 g/l) ce qui limite leur usage à de fins d'alimentation en eau potable. Cela s'explique par l'emplacement de ces eaux, qui se situent généralement dans la partie confinée de la nappe, dans laquelle elles sont restées longtemps en contact avec des formations encaissantes contenant des impuretés argileuses et gypseuses, en raison de la faible vitesse de circulation souterraine.

Figure 16 : Carte de la salinité du Continental Intercalaire (2016)



Source : OSS

Figure 17 : Augmentation du taux de salinité du Continental Intercalaire (1950-2016)



Source : OSS

En Libye, les eaux de la formation Kiklah de la Hamada al Hamra présentent des concentrations en résidus secs souvent inférieures à 2,0 g/l. Cela s'explique par l'étanchéité de la formation aquifère, qui garantit sa propreté en prévenant toute inclusion argileuse. Quelques concentrations supérieures à 2 g/l ont été relevées dans la région de Mizdah, d'El Hun et au nord-est d'Ain Tawargha. De manière générale, les

concentrations en résidus secs en 2016 sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en 1950. Sur l'ensemble des zones d'alimentation, le taux de minéralisation total de l'eau du Continental Intercalaire est fréquemment mesuré à moins de 1 g/l. Cela tient probablement au fait qu'elle tire son origine de formations gréseuses à matrice peu soluble. Les zones affichant les plus fortes concentrations en résidus secs correspondent à la partie confinée de la nappe, où la formation aquifère est la plus profonde.

La comparaison entre les cartes de salinité du Continental Intercalaire de 1950 et de 2016 met en évidence une augmentation plus ou moins nette de la salinité, notamment dans les zones à forte exploitation (figure 17).

En Algérie, dans les régions d'El Goléa-plateau de Tadmaït et de In Salah, le taux de salinité a augmenté de 0,3 à 0,6 g/l par endroits (figure 17). Les plus fortes augmentations ont été enregistrées dans le bassin du Grand Erg oriental, où la nappe est confinée à plusieurs centaines de mètres, avec des concentrations accrues de 0,9 à 1 g/l entre Hassi Messaoud et El Oued. Dans la wilaya d'Illizi, au sud, l'augmentation est de l'ordre de 0,3 à 0,6 g/l, voire de 0,9 g/l par endroits.

En Tunisie, dans la région de Tozeur-Kébili, entre 1950 et 2016, le taux de salinité a augmenté de 0,5 g/l, notamment à Chott el-Fejaj. C'est dans la wilaya de Tataouine que les écarts les plus importants ont été relevés, avec une augmentation de 1,5 à 2 g/l.

En Libye, dans la région de Derj-Ghadamès et dans la Hamada al Hamra, le taux de salinité moyen est passé de 0,8 g/l à 1 g/l, soit une augmentation de 0,2 g/l. Dans la région de Tawargha-Mizda, le taux de salinité moyen est passé de 1,5 g/l à 2 g/l par endroits, soit une augmentation de 0,5 g/l.

Carte de salinité du Complexe Terminal (2016) et tendances d'évolution

Les points de mesure sont souvent limités aux zones d'exploitation. Des phénomènes particuliers, à l'instar des conséquences d'une exploitation intensive concentrée et du retour des eaux d'irrigation, sont à l'origine de certaines anomalies chimiques localisées.

Les courbes isohalines (figure 18) mettent en évidence :

- Une zone, entre Ouargla et l'Oued Rhir, où la nappe est logée dans les sables. Cette zone, qui couvre la moitié sud du Grand Erg oriental, présente un taux de salinité inférieur à 2 g/l. Elle correspond probablement à l'aire d'alimentation actuelle de la nappe, à partir de l'eau des précipitations exceptionnelles qui tombent sur l'Erg. Une autre zone affiche un taux de salinité du même ordre, dans la partie occidentale de la nappe. Elle correspond aux zones d'alimentation présentes dans les reliefs du Mزاب.
- Une zone, située en Tunisie et centrée sur le Drâa Djérid, avec un taux de salinité inférieur à 3 g/l. Elle correspond à l'affleurement des sables aquifères.
- Une zone faiblement minéralisée, centrée sur la partie est du Grand Erg oriental. Elle correspond aux zones d'infiltration directe des eaux de pluie dans les sables dunaires. Cette caractéristique est particulièrement visible sur le flanc occidental du Dahar.
- Une zone moyennement minéralisée sur le flanc sud du Jebel Nafusah. Elle correspond à une zone de recharge de la nappe.

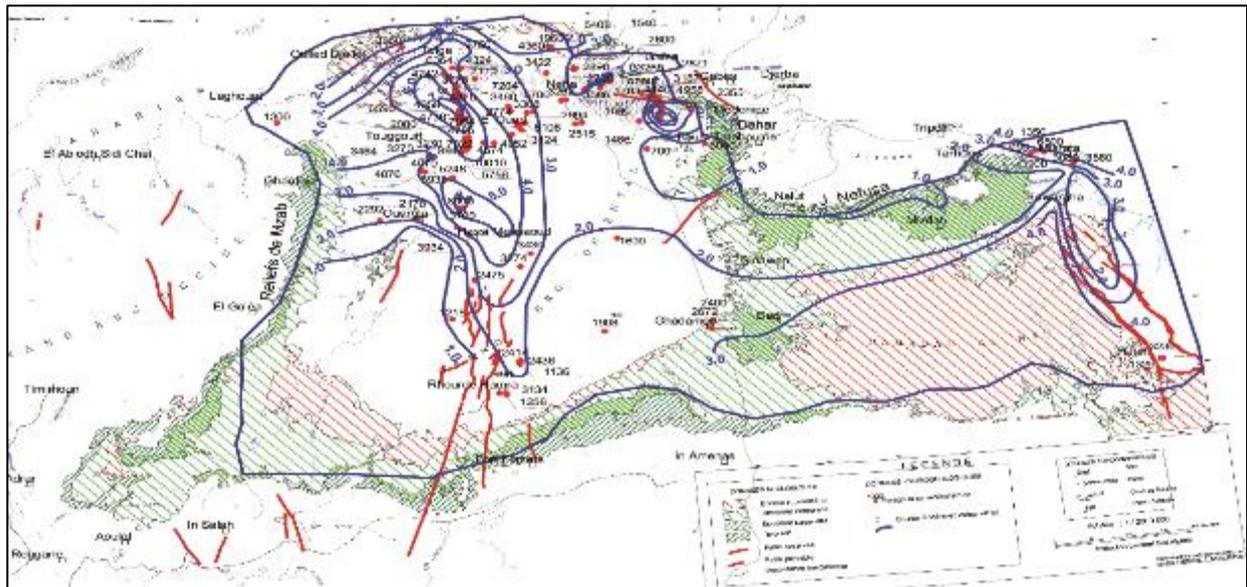
À l'exception de ces zones spécifiques, les taux de minéralisation sont généralement élevés. C'est notamment le cas :

- Dans la wilaya d'Ouargla, où une zone centrée sur l'Oued Mya présente un taux de salinité supérieur à 4 g/l ;
- Le long de l'axe reliant Hassi Messaoud au sud de l'Algérie au nord du Chott Melhrir (Oued Rhir), le taux de salinité y dépasse les 5 g/l, et atteint même 10 g/l par endroits ;

- Dans la wilaya d'El Oued, où une zone à forte minéralisation (taux supérieur à 5 g/l) s'étend sur la partie nord de l'Oued Rhir (El Meghaïer-Djamaa) ;
- Entre Ouargla et Touggourt, où une zone à forte minéralisation (taux supérieur à 5 g/l) s'étend sur El Hadjira.

La zone qui se situe le long de l'axe reliant Hassi Messaoud à Oued Rhir présente un taux de salinité relativement élevé (supérieur à 5 g/l). Il semble qu'elle illustre les effets combinés de la forte exploitation de la nappe et du retour des eaux d'irrigation dans les niveaux supérieurs de la nappe mal drainée. Dans ces zones, où la nappe libre présente une faible profondeur, affleurant même ponctuellement au cours des dernières années, l'évaporation a provoqué, en surface, des concentrations en sel. Sous l'effet de la baisse du niveau piézométrique, ces zones fonctionnent comme des aires d'alimentation en eau salée.

Figure 18 : Carte de salinité du Complexe Terminal (2016)

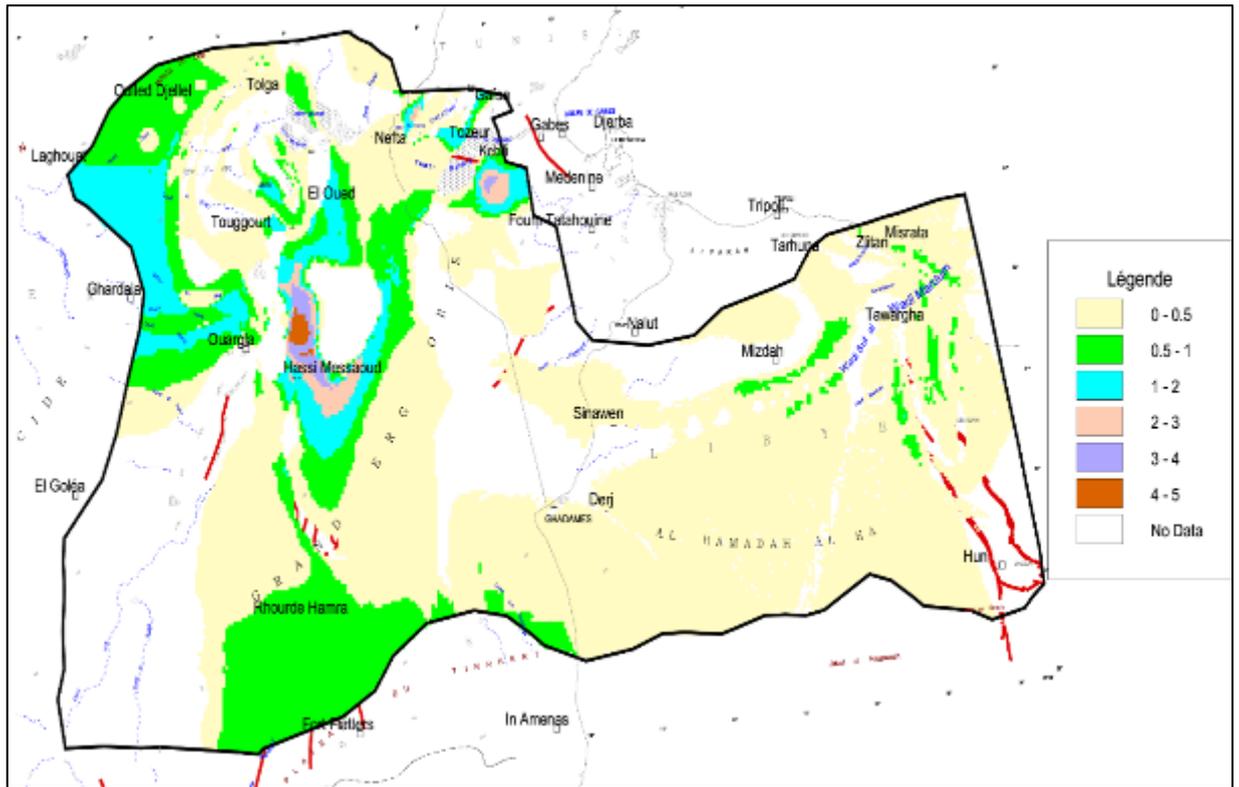


Source : OSS

La comparaison entre les cartes de salinité du Complexe Terminal de 1950 et de 2016 met en évidence les écarts suivants (figure 19) :

- Entre Ouargla et l'Oued Rhir, le taux de salinité a augmenté de 0,5 à 3 g/l. Les taux les plus hauts ont été enregistrés dans la région de Hassi Messaoud. En 1950, les taux de salinité y sont majoritairement compris entre 2,5 et 4 g/l ; en 2016, ces taux avoisinent les 5 g/l et atteignent même 10 g/l. Les taux de salinité y ont donc augmenté de 2 à 3 g/l, voire même de 5 g/l par endroits.
- En Tunisie, dans la région de Drâa Djérid (Tozeur)-Kébili, les taux de salinité, qui étaient compris entre 1,5 et 3 g/l, sont désormais compris entre 2 et 5 g/l. Ils ont donc augmenté, en moyenne, de 2 g/l.
- Les taux de minéralisation des aires d'alimentation situées dans la zone qui s'étend de l'est du Grand Erg oriental jusqu'au flanc ouest du Dahar (Tunisie) et au Jebel Nefusah (Libye) restent faibles (inférieures à 1 g/l), avec des écarts compris entre 0 et 0,5 g/l.

Figure 19 : Augmentation du taux de salinité du Complexe Terminal (1950-2016)



Source : OSS

1.4.4. Données et surveillance

1.4.4.1. Le réseau de surveillance piézométrique

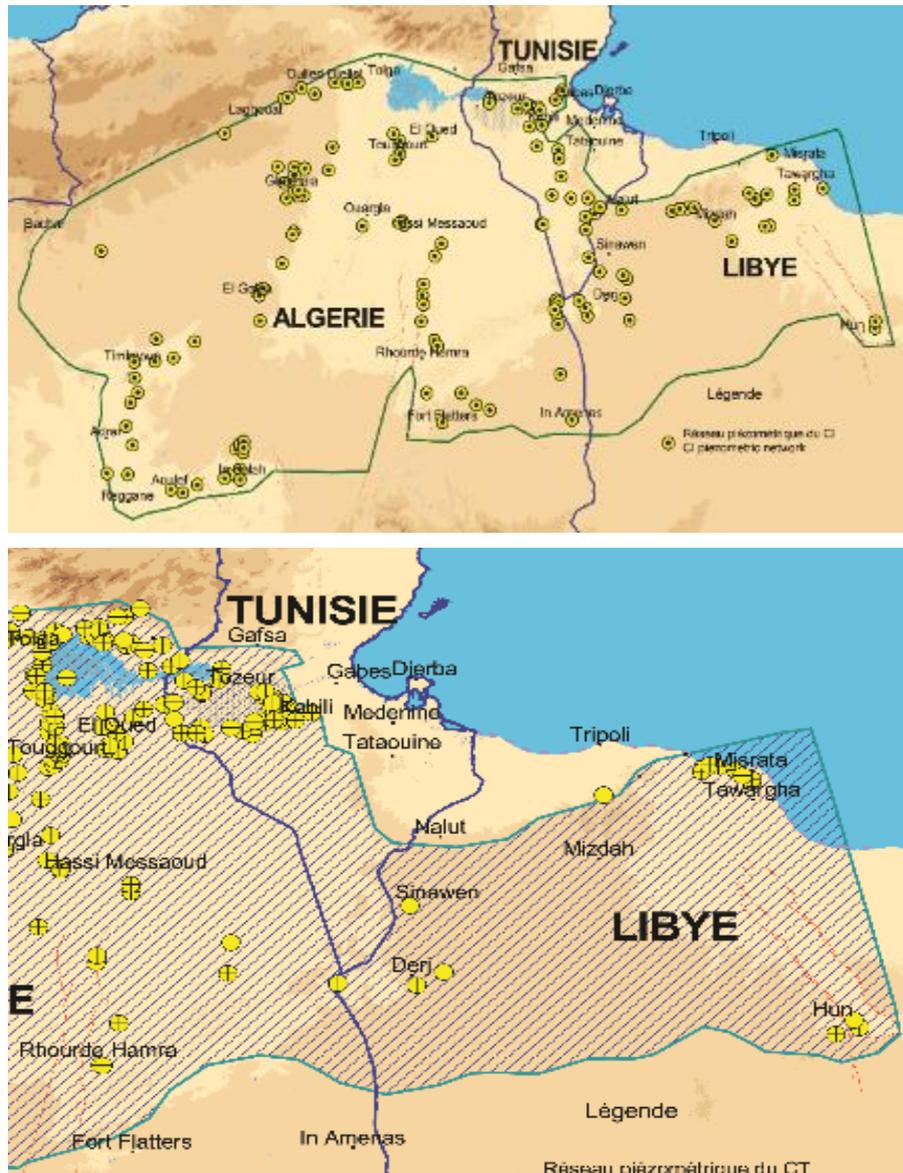
En 2005, le réseau piézométrique admis du SASS comptait 100 points de suivi (tableau 4), parmi lesquels seuls 29 étaient toujours effectifs après l'année 2000. Une proposition de renforcement du réseau a été retenue en 2017, au cours d'une consultation avec les pays concernés lors d'ateliers nationaux organisés dans le cadre des travaux du mécanisme de concertation du SASS. Elle vise à constituer 307 points de suivi, dont 142 se trouveraient dans le Continental Intercalaire et 165 dans le Complexe Terminal (figure 20).

Tableau 4 : Réseau piézométrique du SASS

Pays	Réseau admis (en 2005)			Proposition de renforcement du réseau (2016)		
	CI	CT	Total	CI	CT	Total
Algérie	26	20	46	85	103	188
Tunisie	18	19	37	27	44	71
Libye	12	5	17	30	18	48
TOTAL	56	44	100	142	165	307

Source : OSS

Figure 20 : Proposition de renforcement (2016) du réseau piézométrique dans le CI-SASS (en haut) et dans le CT-SASS (en bas)



Source : OSS

1.4.4.2. Réseau de surveillance de la qualité

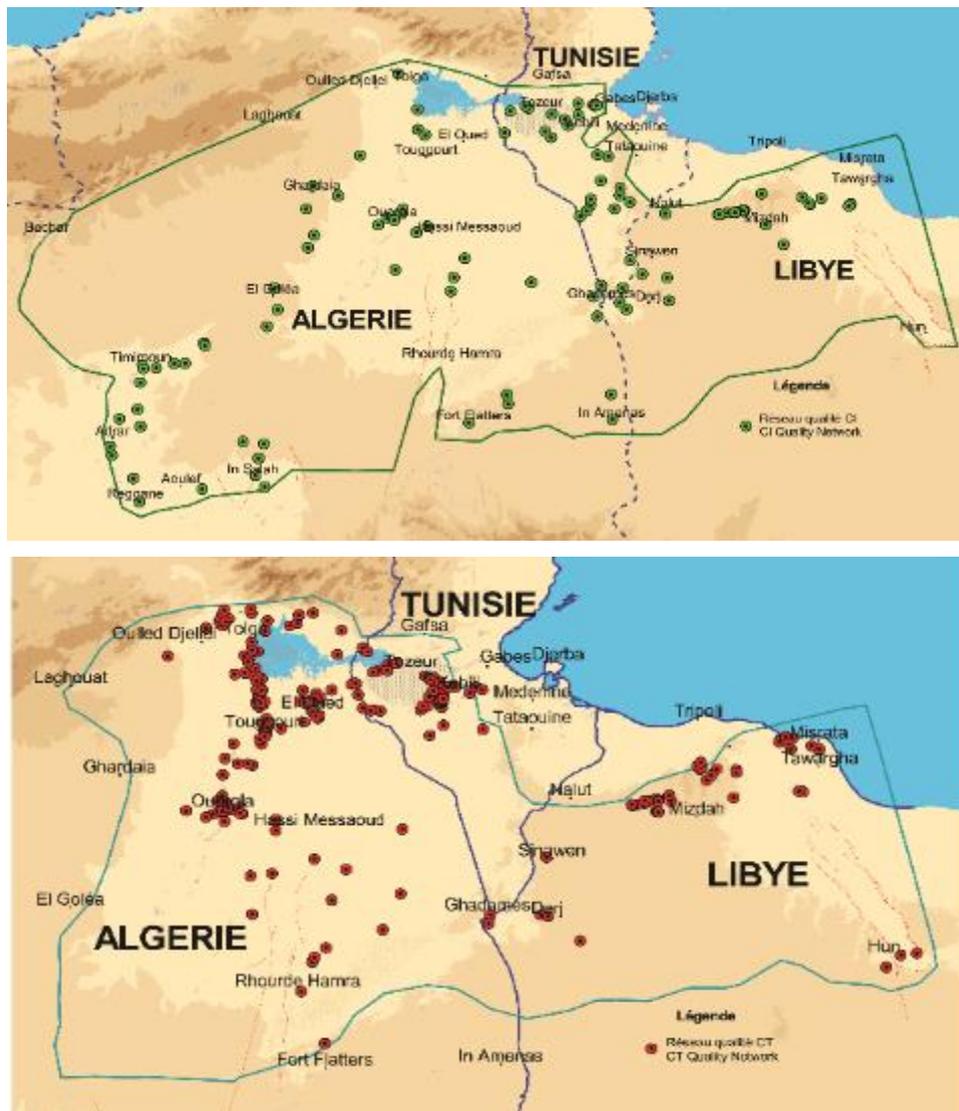
Le suivi de la qualité de l'eau est complémentaire à celui de l'exploitation et de la piézométrie. Il est impératif dans les zones où la qualité de l'eau a accusé des variations sensibles (zones des Chotts et région côtière en Libye). Une proposition de renforcement du réseau de suivi de la qualité a été également retenue dans le cadre des travaux du mécanisme de concertation du SASS portant le nombre de points de suivi à 384 (tableau 5 & figure 21). Pour la partie libyenne, le réseau de suivi est en cours de révision.

Tableau 5 : Réseau de suivi de la qualité du SASS

Pays	Proposition de renforcement du réseau de suivi (2016)		
	CI	CT	Total
Algérie	53	130	183
Tunisie	31	72	103
Libye	45	53	98
TOTAL	129	255	384

Source : OSS

Figure 21 : Réseau de suivi de la qualité dans le CI-SASS (en haut) et dans le CT-SASS (en bas) (proposition 2016)



Source : OSS

1.4.5. Tendances concernant la quantité et la qualité de l'eau dans le SASS et leurs implications

Les ressources en eau du SASS sont sujettes à une exploitation minière qui a atteint près de trois fois ses ressources renouvelables. Le volume des prélèvements est estimé à 3,17 milliards de m³/an en 2016 à travers plus de 8 000 points d'eau (pour le SASS) et près d'un milliard de m³/an par le biais de plus de 8 000 points d'eau (pour la Djefara).

Ceci a généré une baisse des niveaux des nappes et une dégradation de la qualité des eaux. Les rabattements importants restent dans les mêmes zones d'exploitation telles que, pour la nappe du CI : Ouargla et Hassi Messaoud en Algérie où les rabattements par rapport à 2012 ont atteint 20 mètres ; Kébili en Tunisie où les rabattements par rapport à 2012 ont atteint 5 mètres ; et Al Jufra en Libye où les rabattements par rapport à 2012 ont atteint 10 mètres. L'augmentation moyenne des rabattements par rapport à 1950 est de 100 mètres pour le CT et de 50 mètres pour le CI.

Les tendances nationales de développement dans le bassin multiplieraient par deux les estimations des besoins à l'horizon 2030-2050 (soit plus de 6 milliards m³/an). Ceci induit une mobilisation supplémentaire de 3 milliards de m³/an, soit l'équivalent du prélèvement actuel. Cette situation nécessitera :

- La réalisation de plus de 17000 points d'eau ;
- La réhabilitation de quelques milliers de forages compte tenu de la profondeur des pompes ;
- Le remplacement de milliers de forages.

Un rabattement de pas moins de 20 m pour le CI et de 50 m pour le CT à l'horizon 2050 est à prévoir – sans tenir compte des interférences entre les forages en raison de leur concentration.

La qualité de l'eau est directement corrélée au niveau de rabattement des nappes. Des forages destinés à l'alimentation ont été fermés en raison de l'augmentation de la salinité. La région des chotts reste toujours encline à une inversion des écoulements.

L'augmentation des prélèvements ne sera donc pas sans risques et sans impacts sur le système SASS (Djefara), à l'instar de l'accentuation de la salinisation et de la concurrence accrue entre usagers. Ainsi, la réponse aux besoins de développement n'est plus de nature strictement hydraulique, mais doit être recherchée au niveau de la gestion de la demande, d'une économie de l'eau et du recours aux technologies nouvelles pour la valorisation des eaux non conventionnelles.

La qualité de l'eau et son évolution future constituent l'aspect le plus préoccupant dans la maîtrise de la gestion des ressources en eau du SASS. Malheureusement, le suivi chimique des aquifères du SASS est loin d'être convenablement assuré partout et, dans les cas où il est peu ou prou assuré, il ne concerne que la salinité de l'eau. Ce suivi chimique devra graduellement être orienté vers la composition chimique de l'eau en plus de sa salinité globale. C'est à travers l'analyse de cette composition que seront mieux mises en évidence les origines de la contamination et les mesures à prendre pour y remédier. Le mécanisme de concertation du SASS a en revanche déjà émis des recommandations afin de ne plus réaliser de forages dans la zone des chotts (où la salinité a augmenté de 2,5 g/l dans le CT et de 0,5 g/l dans le CI – tendances dont il faudra tenir compte).

1.5. Ressources en sols

1.5.1. Qualité des terres et sols

Les sols de la région du SASS sont soumis à une grande variabilité, résultat de l'effet combiné du climat, de la nature de la roche-mère et du relief. Tous les types de sols méditerranéens et désertiques y sont représentés. Ils sont généralement pauvres en matière organique et présentent une forte concentration en sel.

Ce sont des sols squelettiques où la production d'argile est très faible, et la fraction grossière est dominante. Ils sont sableux et truffés de cailloux (DAMANGEOT, 1981 *in* DEHNOUN, 1998). Leur formation est due à l'influence du vent sur la roche-mère, avec un régime hydrique hyperaride. Ils connaissent une très faible évolution, une couverture pédologique globale qui présente une grande hétérogénéité.

Ce sont essentiellement des sols minéraux dans le sens où, en dehors des oasis, la fraction organique y est très faible, voire nulle. Sur les topographies élevées, les sols sont rocailleux ou sableux (Hamadas, regs, ergs). Dans les dépressions, la texture peut être fine, mais les sols sont salés (Sebkha et Chotts). Ainsi, rares sont les sols présentant les caractéristiques de profondeur, de texture, de structure ou encore de porosité leur permettant d'être irrigués sans risques pour la culture, pour eux-mêmes et pour l'environnement. Sur près d'un million d'hectares du Sahara où la cartographie pédologique a été réalisée, un peu moins du dixième a été considéré comme irrigable. Le sol apparaît donc comme une contrainte sérieuse à la mise en valeur en irrigué dans le SASS.

Dans ces conditions d'aridité, de sols et d'eau, l'irrigation des cultures exige une maîtrise particulière des techniques d'irrigation et de drainage. Les sols ont de faibles capacités de rétention de l'eau et des nutriments. Il s'agit alors d'éviter l'accumulation de sels en fortes quantités dans le sol d'une part, et d'autre part, de limiter les gaspillages d'eau. À titre d'exemple, un ha de blé consomme 6 000 m³/an, si l'eau d'irrigation contient 2 g/l de sels, la culture peut alors laisser 12 tonnes de sels dans le sol en fin de cycle !

1.5.2. Types d'utilisation des sols et occupation

Le SASS, d'une superficie de 1 million de km², se situe dans l'un des déserts les plus arides et les plus chauds du monde ; c'est aussi un système endoréique. Sous ce climat très sec et très évaporant, la vie s'est traditionnellement organisée autour de la culture du palmier dattier rendue possible par l'existence de points d'eau : les oasis. Une nouvelle agriculture « industrielle » s'est cependant développée ces trois dernières décennies.

1.5.2.1. L'agriculture oasienne

Cette agriculture est conçue sur la base de principes généraux adoptés dans toutes les oasis de la zone SASS :

- **1^{er} principe** : Intensification de l'exploitation de trois facteurs physiques de production, à savoir le sol, l'eau d'irrigation et la lumière solaire. Cette intensification est réalisée horizontalement par un taux d'occupation du sol qui peut atteindre 100 % avec l'adoption des cultures à trois étages (palmier dattier, cultures fruitières et diverses cultures légumières et vivrières). Avec une intensification verticale (deux cultures saisonnières dérobées successives sur la même parcelle), le taux d'occupation du sol peut atteindre 120-130 % dans certains cas.
- **2^e principe** : L'élevage familial est intégré à l'exploitation en poursuivant un double objectif : améliorer le revenu de l'exploitant et fertiliser le sol en azote à travers la fixation symbiotique avec l'introduction de cultures fourragères de la famille des légumineuses, la valorisation des déchets agricoles et le recyclage du fumier produit par cet élevage sur place. De la sorte, les systèmes oasiens étaient initialement tous des systèmes biologiques.

- **3^e principe** : Utiliser l'eau d'irrigation de la façon la plus efficace possible pour satisfaire d'abord les besoins alimentaires du ménage de l'exploitant et de son cheptel animal, et vendre les excédents de production pour se procurer d'autres biens de consommation.
- **4^e principe** : Assurer la maintenance de la qualité du sol par la maintenance des aménagements d'infrastructure interne à l'oasis (pistes, ponts, réseau de drainage et ouvrage de distribution de l'eau d'irrigation...).
- **5^e principe** : Le respect par tous les oasiens de ces principes, la contribution à leur réalisation, le respect du droit de l'eau et des règles de sa distribution aux usagers.

Sur la base de ces principes, divers systèmes de cultures oasiennes ont été développés en fonction des contraintes liées à l'eau, de la qualité de cette dernière, des opportunités du marché et du dynamisme des oasiens. En effet, l'étude réalisée par l'OSS sur les systèmes de production agricole en 2004 dans la zone du SASS (projet SASS 2) a identifié un grand nombre de variantes d'oasis qui témoignent des divers modes d'adaptation des exploitants aux multiples contraintes qui fragilisent la pérennité du système oasien traditionnel. On y distingue notamment : le système oasien extensif, le système oasien marginal (microparcelles familiales), le système oasien intensif où l'élevage n'est plus intégré à l'exploitation, le système oasien intensif intégré avec l'élevage familial incorporé au système des cultures, ou encore le système oasien de monoculture de palmier dattier.

Chacun de ces systèmes obéit à une logique socioéconomique en relation avec les capacités financières de l'exploitant.

1.5.2.2. Le système des périmètres irrigués à ciel ouvert

Le système de périmètres irrigués comprend des cultures fruitières et/ou maraichères. Il englobe l'ensemble des périmètres publics et des exploitations privées irriguées en dehors des oasis. Il s'agit en majorité de superficies modestes irriguées avec les eaux de forage ou de puits de surface à faible débit et à forte salinité.

1.5.2.3. Les systèmes de cultures protégées hors saison irriguées

Les systèmes de cultures protégées hors saison irriguées à l'eau conventionnelle ou à l'eau géothermale concernent les cultures intensives et hyperintensives dont les productions sont destinées à l'exportation.

1.5.2.4. Le système extensif de l'arboriculture fruitière pluviale

Le système extensif de l'arboriculture fruitière pluviale où domine la monoculture d'olivier à huile est particulièrement développé dans la Djéffara tunisienne (gouvernorat de Gabès et Médenine, et dans la Djéffara libyenne (à l'ouest de Tripoli).

1.5.2.5. Le système extensif mixte familial de polyculture

Le système extensif mixte familial de polyculture familiale a pour espèce principale l'olivier à huile pluvial et se caractérise par des cultures maraichères irriguées dans les espaces intercalaires. L'eau d'irrigation est issue de puits de surface traditionnels débitant des eaux saumâtres.

1.5.2.6. Les systèmes de production animale : le pastoralisme et son évolution actuelle

Le pastoralisme a été la toute première activité d'exploitation des ressources végétales naturelles développée dans cette zone avec un élevage extensif des petits ruminants et des dromadaires. Il s'agit d'un système d'élevage transhumant basé initialement sur :

- L'exploitation optimale de la diversité et de la variabilité des opportunités pastorales temporelles et spatiales des vastes steppes de la zone ;
- L'intégration des aptitudes et des performances des ovins, caprins et camelins, espèces connues par leur adaptation aux milieux arides, avec des aptitudes différentes, mais complémentaires permettant de valoriser au mieux les différentes potentialités des parcours.

De nos jours, ces systèmes continuent à constituer la toile de fond du développement, en évolution permanente pour s'adapter aux nouvelles conjonctures induites par les mutations socioéconomiques. Les plus importantes de ces adaptations sont liées à la sédentarisation des éleveurs, à l'extension des surfaces et à la sécurisation alimentaire du cheptel grâce à une politique volontariste des États relative à l'aide des éleveurs durant les périodes de sécheresse. Mais cet élevage est confronté à des difficultés de survie du fait de la surexploitation des parcours steppiques aux plans aussi bien quantitatif (décroissance des superficies de la steppe de plus en plus reconvertie en terre de culture et baisse de la productivité en unités fourragères/ha) que qualitatif (érosion des meilleures espèces palatables). En définitive, ce système est confronté à un défi existentiel sous sa forme actuelle et les menaces des changements climatiques ne font qu'amplifier les risques de sa régression. La prise de conscience de cette problématique ne cesse de se manifester chez la plupart des acteurs qui se mobilisent, à l'échelle des individus ou des groupes d'intérêt, pour identifier les modalités de préservation de ce pan important de l'économie des zones concernées.

Tous ces systèmes de production agricole n'ont pas échappé à l'évolution de la société, au progrès technologique et à l'influence du marché. Ils sont tous en grande difficulté et menacés de décrépitude à long terme. Plusieurs causes sont à l'origine de cette évolution régressive, dont notamment la pénurie d'eau dans un contexte de l'accroissement sans précédent de la demande en eau par tous les secteurs économiques, dont notamment l'agriculture irriguée.

1.5.3. La problématique régionale de l'irrigation avec les eaux du SASS

La zone SASS est soumise dans les trois pays à de multiples contraintes naturelles accentuées actuellement par de nouveaux défis et enjeux de développement socioéconomique. L'analyse des divers systèmes de culture et d'élevage de cette zone a dégagé et souligné :

- Leur très faible productivité physique et économique ;
- La dynamique affirmée d'une déstructuration sociale exposant les populations locales à une vulnérabilité économique qui les conduit à terme à l'émigration en quête d'autres revenus non agricoles ;
- Des impacts négatifs sur les ressources naturelles.

Pour l'agriculture irriguée, ces impacts se déclinent en impacts directs et impacts indirects.

➤ **Les impacts directs :**

Il s'agit des impacts liés à l'irrigation affectant l'intégrité des terres irriguées, leur fonctionnement hydrique et salin et leur fertilité, réduisant ainsi leur capacité de production agricole et la productivité de l'eau utilisée. On citera notamment :

- La salinisation des sols irrigués par suite d'une gestion non raisonnée de l'irrigation et du bilan cumulatif des sels incorporés dans les sols avec les eaux d'irrigation ;
- La remontée des nappes phréatiques due à plusieurs causes de déficience de drainage des sols irrigués ;
- La dégradation de la fertilité des terres irriguées par suite de l'abandon des systèmes de culture oasiens et des techniques traditionnelles de gestion intégrée de cette fertilité des terres.

➤ **Les impacts indirects :**

Ces derniers résultent de la surexploitation des autres ressources naturelles aux alentours des périmètres irrigués :

- L'érosion génétique et l'appauvrissement en biodiversité des oasis classiques, considérées comme des gisements riches en espèces et variétés de plantes cultivées adaptées au stress hydrique et à la variabilité climatique ;

- Le dysfonctionnement hydrologique des zones humides et leur pollution par les rejets d'effluents divers, industriels et domestiques ;
- La désertification des steppes et la dégradation de la qualité des paysages aux alentours des zones irriguées.

En ce qui concerne la qualité des sols, les travaux réalisés à ce jour portent sur l'inventaire des sols salés, l'évaluation des impacts de la salinisation, les stratégies de protection à adopter, la mise en place d'indicateurs et un essai de quantification économique de ces impacts. À titre d'exemple, la gravité de la salinisation, outre le préjudice porté à la qualité écologique des terres, peut se traduire par une perte considérable de la ressource en sol, évaluée à 4300 ha/an sur une superficie de 170 000 ha en Algérie, et à 300 ha/an sur une superficie de 40 000 ha en Tunisie. Le manque à gagner occasionné par ces pertes s'ajoute à la faible efficacité généralisée de l'irrigation en termes de productivité du mètre cube d'eau. Cette productivité est réduite à :

- 0,32 kg de dattes/m³ d'eau pour le palmier dattier, alors qu'elle peut normalement dépasser 0,5 kg/m³ ;
- 0,02 kg de grains de blé/m³ d'eau pour le blé sous pivot, alors qu'elle peut normalement dépasser 1,2 kg/m³ ;
- 2,5 kg de tomates/m³ d'eau pour la culture de tomates de plein champ alors qu'elle peut normalement dépasser 6 kg/m³.

Ces impacts négatifs sur les ressources sont résumés au tableau 6 :

Tableau 6 : Nature des impacts négatifs sur les ressources et leurs tendances évolutives

Ressources Menacées	Impact sur la nature	Zone SASS (Algérie)	Zone SASS (Tunisie)	Zone SASS (Libye)
Sol	Salinisation	75 % des terres sont salinisées	42 % des terres sont salinisées	Non documenté
	Mauvais drainage	Impact important Non chiffré	Impact important Estimé à 10 000 ha	Non documenté
	Perte de fertilité	Impact important Non chiffré	Impact important Non chiffré	Impact important Non chiffré
Oasis	Dysfonctionnement	Tendance lourde	Tendance lourde	Tendance lourde
Parcours steppique	Perte de biodiversité	Perte de variétés locales	Perte de variétés locales	Perte de variétés locales
	Désertification	Impact grave, par endroits irréversible	Impact grave, par endroits irréversible	Impact grave, par endroits irréversible
Zones humides	Assèchement Pollution	Risque de long terme	Risque de long terme	Risque de long terme
Paysages	Ensablement Salinisation	Impact grave	Impact grave	Impact grave

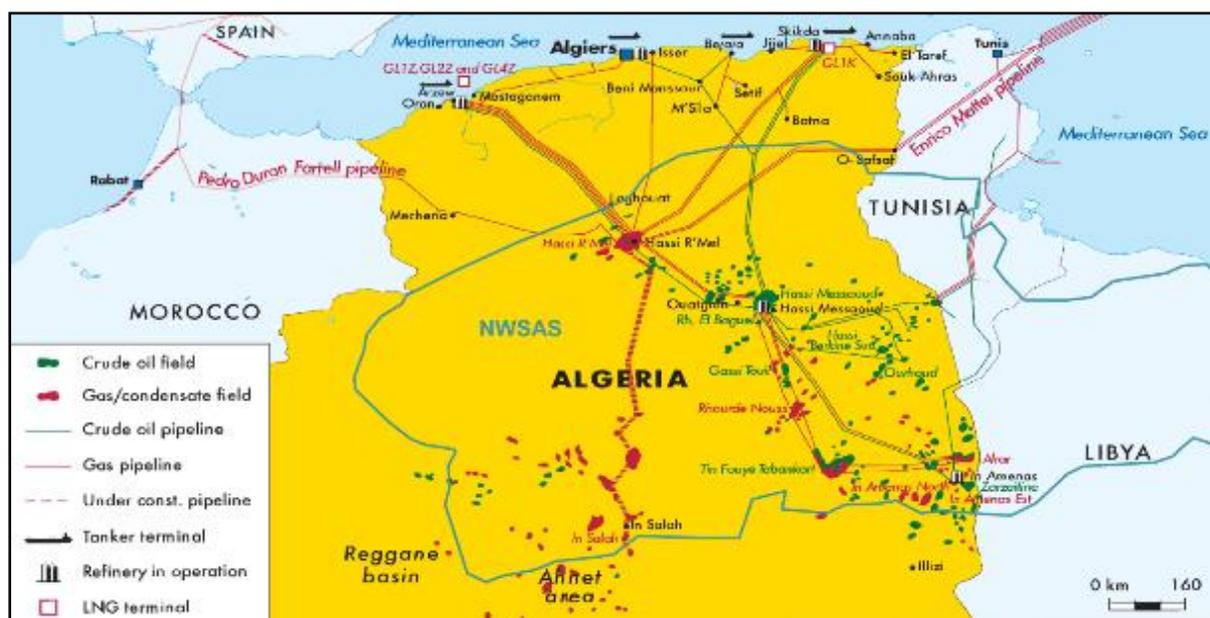
Source : Compilation des auteurs.

1.6. Ressources énergétiques et système électrique

1.6.1. Ressources et réserves de combustibles fossiles

Les combustibles fossiles font partie des ressources naturelles les plus abondantes dans les pays du SASS. Si la Tunisie est un importateur net de produits d'origine fossile, l'Algérie et la Libye sont des exportateurs nets de ceux-ci et se classent respectivement parmi les premiers producteurs au monde de gaz naturel et de pétrole brut. La Libye est membre de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP) depuis 1963 et l'Algérie en fait partie depuis 1969¹².

Figure 22 : Les infrastructures pétrolières et de gaz naturel de l'Algérie



Source : AIE, 2005

D'après les estimations de l'OPEP¹³, les réserves prouvées de pétrole brut de l'Algérie s'élevaient à environ 12,2 milliards de barils en 2018. Comme le montre la figure 22, les principales réserves pétrolières du pays sont situées au sein de la région du SASS, près de la frontière orientale avec la Libye. La province de la ville d'Hassi Messaoud et de la dépression de Dahar renferme plus de 70 % des réserves pétrolières prouvées, probables et possibles de l'Algérie. Les gisements d'Hassi Messaoud, d'Hassi R'Mel et d'Ourhoud contiennent respectivement 3,9 milliards de barils, 3,7 milliards de barils et 1,9 milliard de barils¹⁴. Hassi Messaoud est l'un des plus importants champs pétrolifères au monde, 296 milliers de barils y étant produits chaque jour. Ourhoud est le deuxième gisement le plus important du pays avec une production d'environ 55 milliers de barils par jour, tandis que celui d'Hassi R'Mel en produit 12,6 milliers par jour. La partie algérienne du SASS comprend en outre de nombreux autres champs pétrolifères ainsi que des gisements de gaz naturel et des oléoducs

¹² Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP), « Brief History », 2019. Disponible à l'adresse suivante : https://www.opec.org/opec_web/en/about_us/24.htm

¹³ OPEP, données téléchargées, 2019. Disponibles à l'adresse suivante : https://asb.opec.org/data/ASB_Data.php

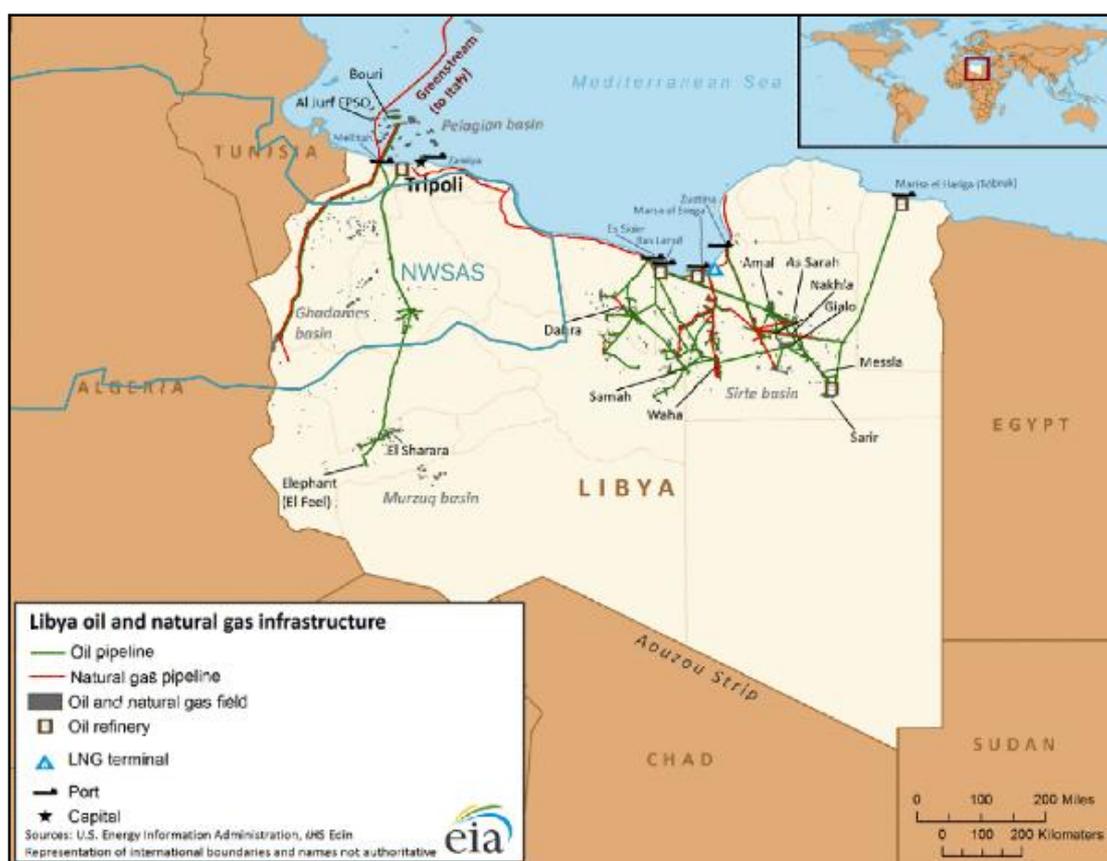
¹⁴ Agence d'information sur l'énergie (AIE), *Algeria country overview*, 2019. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.eia.gov/beta/international/analysis.php?iso=DZA>

et gazoducs.

Au total, l'Algérie dispose de 1 847 puits produisant approximativement un million de barils de pétrole brut par jour, dont environ 63 % sont exportés (estimations de 2018). La capacité de production de pétrole raffiné du pays est d'environ 657 milliers de barils par jour, dont 54 % sont produits par la raffinerie de Skikda. La production des barils restants est répartie dans les six autres raffineries du pays (tableau 7). Trois raffineries sont situées dans la région du SASS à Adrar, In Amenas et Hassi Messaoud.

Selon les estimations, les réserves prouvées de pétrole brut de la Libye s'élevaient à 48,4 milliards de barils en 2018. Parmi les six principaux bassins d'hydrocarbure (Syrtte, Mourzouk, Ghadamès, Cyrénaïque, Koufra, bassin pélagien au large des côtes), les bassins pélagien et de Ghadamès (ouest de la Libye) se situent dans la région du SASS (figure 23)¹⁵. Dans l'est de la Libye, le bassin de Syrtte renferme environ 80 % des réserves récupérables du pays et génère la majorité de la production pétrolière nationale. Il n'existe pas de données claires concernant la part des bassins pélagien et de Ghadamès dans la production totale de pétrole du pays. Concernant les capacités de raffinage de la Libye, 32 % sont attribuables à la raffinerie de Zaouïa, qui est la deuxième plus importante du pays et se trouve près de la frontière du SASS. Les autres raffineries de la Libye sont situées dans la région orientale du pays du fait de la proximité des principaux gisements de production et réserves en pétrole.

Figure 23 : Les infrastructures pétrolières et de gaz naturel de la Libye



Source : AIE, 2019.

¹⁵ En fonction de la délimitation adoptée pour la région du SASS, le bassin pélagien peut être considéré comme situé en dehors ou à l'intérieur de ses frontières.

En raison de l'instabilité qui touche le pays, la production de pétrole de la Libye a fluctué au cours de ces huit dernières années. En 2010, la Libye possédait environ 2 000 puits générant 1,48 million de barils de pétrole par jour. L'année suivante, le nombre de puits a chuté à 609 et la production de pétrole a diminué pour atteindre 489 milliers de barils par jour. En 2018, l'OPEP a indiqué qu'environ 1 000 puits produisant 951 milliers de barils par jour étaient fonctionnels. La Libye a la capacité de produire 380 milliers de barils de pétrole raffiné par jour au total (tableau 7). La plus grande installation de raffinage est celle de Ras Lanouf, qui génère environ 58 % de la production totale du pays.

La situation est différente en Tunisie, qui ne possède que très peu de réserves de pétrole brut (425 millions de barils selon des estimations de 2017)¹⁶. Le SASS couvre presque la moitié du territoire tunisien et comprend également la plupart des réserves terrestres de pétrole et de gaz du pays, tel que le montre la figure 24. Le sud-ouest de la Tunisie abrite plusieurs champs pétrolifères : celui d'El Borma (9 100 barils par jour en 2010), qui est l'un des principaux du pays, ainsi que ceux de Sanhar (95 barils par jour en 2010), de Makhrouga-Laarich-Debech, d'Ech Chouech, de Chourouq, d'Adam, etc.

Figure 24 : Les infrastructures pétrolières et de gaz naturel de la Tunisie



Source : ETAP, 2019.

¹⁶ AIE, *Tunisia country overview*, 2014. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.eia.gov/beta/international/analysis.php?iso=TUN>

Depuis les années 1980, la production de pétrole brut de la Tunisie enregistre une baisse principalement due à l'épuisement naturel de la plupart des gisements. En 2000, la demande dépasse l'offre et le pays devient un importateur net. En 2018, la Tunisie a produit environ 38,6 milliers de barils par jour, pour une consommation quotidienne d'approximativement 109 milliers de barils¹⁶. Les principaux champs pétrolifères tunisiens sont ceux d'El Borma, d'Ashtart et de Sidi El Kilani. El Borma se trouve à l'intérieur des frontières de la région du SASS. La Tunisie ne dispose que d'une raffinerie située à Zarzouna, dans le gouvernorat de Bizerte, dont la capacité totale de production est de 34 000 barils par jour¹⁶.

Tableau 7 : Capacités de production de pétrole raffiné des pays de la région du SASS, par entreprise et par emplacement (en millier de barils par jour)

Pays/entreprise	Emplacement	dans le SASS ^c	Année 2000	Année 2018
Algérie^a			462	657
Sonatrach	Skikda	Non	323	355
	Skikda (Condensat)	Non	s. o.	122
	Arzew	Non	54	87
	Alger	Non	58	58
	Hassi Messaoud	Oui	27	22
	In Amenas	Oui	s. o.	s. o.
	Adrar	Oui	s. o.	13
Libye^a			380	380
National Oil Corporation (NOC)	Ras Lanouf	Non	220	220
	Zaouïa	Non	120	120
	Tobrouk	Non	20	20
	Marsa El Brega	Non	10	10
	Sarir	Non	10	10
Tunisie^b			34	34
Société tunisienne des industries de raffinage (STIR)	Bizerte	Non	34	34

Source : ^a Données tirées de la base de données de l'OPEP, 2019.

^b Données de la STIR, 2016.

^c Compilation autonome de données de l'OPEP et du système d'information géographique QGIS.

Concernant le gaz naturel, les données de l'OPEP démontrent que les réserves prouvées de l'Algérie s'élevaient à 4 504 milliards de mètres cubes en 2018. Le gisement d'Hassi R'Mel demeure d'ailleurs l'un des plus importants au monde. Situé dans l'est du pays et à l'intérieur des frontières du SASS, il abrite des réserves prouvées d'environ 2 405 milliards de mètres cubes. Les autres gisements en Algérie sont à la fois pétroliers et gaziers ou soit l'un soit l'autre. Répartis dans le sud et le sud-est du pays, la plupart d'entre eux se situent dans le bassin du SASS. La production de gaz naturel en Algérie a augmenté de 83,12 milliards de mètres cubes en 2000 à 95,9 milliards de mètres cubes en 2018,

dont 51,42 milliards de mètres cubes ont été exportés (les 44,43 milliards de mètres cubes restants ayant été consommés à l'intérieur du pays).

D'après les estimations, les réserves de gaz naturel de la Libye étaient de 1 505 milliards de mètres cubes en 2018. Les gisements de gaz de la Libye contiennent tous également du pétrole, et la plupart sont situés dans le bassin de Syrte ainsi qu'au large des côtes. S'élevant à 5,88 milliards de mètres cubes en 2000, la production de gaz naturel a augmenté pour atteindre 16,8 milliards de mètres cubes en 2010, mais a fortement chuté à 7,8 milliards de mètres cubes en 2011. Si le conflit qui agite le pays peut expliquer ces fluctuations, la production a toutefois marqué une hausse importante au cours des deux années suivantes. En 2013, elle parvient à son plus haut niveau jamais enregistré, soit 18,4 milliards de mètres cubes. Cependant, principalement en raison de l'instabilité dans le pays, la production a depuis observé une baisse constante, passant à 13,88 milliards de mètres cubes en 2018. D'après les dernières données, 4,25 milliards de mètres cubes ont été exportés et 5,04 milliards de mètres cubes ont servi à la consommation domestique.

Les réserves prouvées de gaz naturel de la Tunisie étaient d'environ 77,87 milliards de mètres cubes en 2000 et de 65,13 milliards de mètres cubes en 2018¹⁷. Les principaux gisements de gaz (non-associé) de la Tunisie sont ceux de Miskar et d'El Franig¹⁸. Le premier se trouve au large des côtes tandis que le second est situé dans la plaine de Chott El Jerid, qui est comprise dans la région du SASS (figure 24). La production de gaz naturel était de 2,3 milliards de mètres cubes en 2000, elle a atteint son plus haut niveau en 2008 avec 3,49 milliards de mètres cubes, puis est passée à 2,47 milliards de mètres cubes en 2015. Pour ce qui est de la consommation, elle est passée d'environ 3 milliards de mètres cubes en 2000 à 4,54 milliards de mètres cubes en 2015. La Tunisie n'exporte donc pas de gaz naturel et dépend des importations en provenance de l'Algérie pour combler le déficit de l'offre par rapport à la demande^{19,20}. Les gisements de gaz naturel de Borj Bourguiba, d'Oued Zar, de Baguel, de Djebel Grouz et de Chouech Essaida sont également situés à l'intérieur des frontières du SASS. D'après l'Entreprise tunisienne d'activités pétrolières (ETAP), les gisements de la région du SASS ont contribué à la production totale de gaz du pays à hauteur de 20 % en 2012²¹.

Le tableau 8 présente une vue d'ensemble des réserves, de la production et des exportations de combustibles fossiles des trois pays.

¹⁷ Agence Centrale du Renseignement (CIA), « World Factbook », fiche sur la Tunisie, 2018. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/ts.html#field-anchor-energy-natural-gas-proved-reserves>

¹⁸ Rapport annuel 2018 de l'ETAP. Disponible à l'adresse suivante : <http://www.etap.com.tn/rapports/RapportAnnuel2018.pdf>

¹⁹ Saidi, L. et Fniech, F., « Experiences in renewable energy and energy efficiency in Tunisia: Case study of a developing country », 2014. Retiré par Elsevier. Disponible à l'adresse suivante : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114000562>

²⁰ AIE, *Tunisia country overview*, 2014. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.eia.gov/beta/international/analysis.php?iso=TUN>

²¹ Rapport annuel 2012 de l'ETAP. Disponible à l'adresse suivante : http://www.etap.com.tn/fileadmin/templates/etap/rapports/annuel_report_2012.pdf

Tableau 8 : Les combustibles fossiles dans les pays de la région du SASS

N°	Paramètre	Unité de mesure	Algérie ^a		Libye ^a		Tunisie ^b	
			2000	2018	2000	2018	2000	2018*
1	Réserves prouvées de pétrole brut	Million de barils	11 314	12 200	36 000	48 363	300	425**
2	Plates-formes pétrolières en activité	Nombre de plates-formes	17	50	8	9	1	1
3	Puits producteurs	Nombre de puits	1 235	1 847	1 436	1 091	-	-
4	Production journalière de pétrole brut	Milliers de barils	796	1 040	1 347	951	79	38,6
5	Capacités de raffinage	Milliers de barils par jour	462	657	380	380	34	34
6	Demande de pétrole	Milliers de barils par jour	192	431	203	215	85	109
7	Exportations de pétrole brut	Milliers de barils par jour	462,2	571	1 005	998,5	-	-
8	Exportations de produits pétroliers	Milliers de barils par jour	542,8	532,1	158,7	25,4	-	-
9	Réserves prouvées de gaz naturel	Milliard de mètres cubes	4 523	4 504	1 314	1 505	77,87	65,13
10	Production de gaz naturel	Milliard de mètres cubes	83,1	95,9	5,9	13,88	2,3	2,47***
11	Demande de gaz naturel	Milliard de mètres cubes	20,56	44,43	5,2	5,04	3	4,54***
12	Exportations de gaz naturel	Milliard de mètres cubes	61,69	51,42	0,8	4,25	-	-

* Données de l'année 2018, sauf mention contraire

** Données de l'année 2017

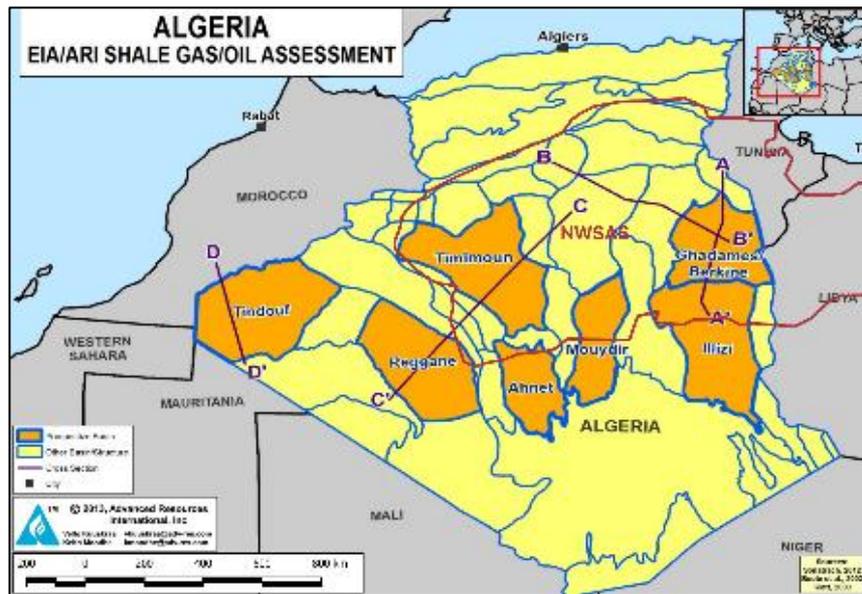
*** Données de l'année 2015

Source : ^a Données tirées de la base de données de l'OPEP, 2019

^b Données de l'ETAP, 2012, du World Factbook de la CIA, 2018 et de l'AIE, 2014.

Les pays et la région du SASS renferment également d'importantes réserves d'hydrocarbures non conventionnels, notamment d'huile et de gaz de schiste. L'Algérie se classe au troisième rang mondial avec des réserves de gaz de schiste techniquement récupérables estimées à 20 milliards de mètres cubes. Ces réserves sont réparties dans sept bassins, dont les quatre suivants sont partiellement ou entièrement situés à l'intérieur du SASS : Timimoun, Ghadamès, Illizi et Mouydir (figure 25). Sonatrach, l'entreprise nationale d'exploitation pétrolière et gazière, a prévu la construction de puits d'essai dans différents bassins. Bien que les sociétés Statoil et Repsol aient déjà conduit des études de caractérisation des réserves, aucune information n'est disponible concernant l'existence de puits de production.

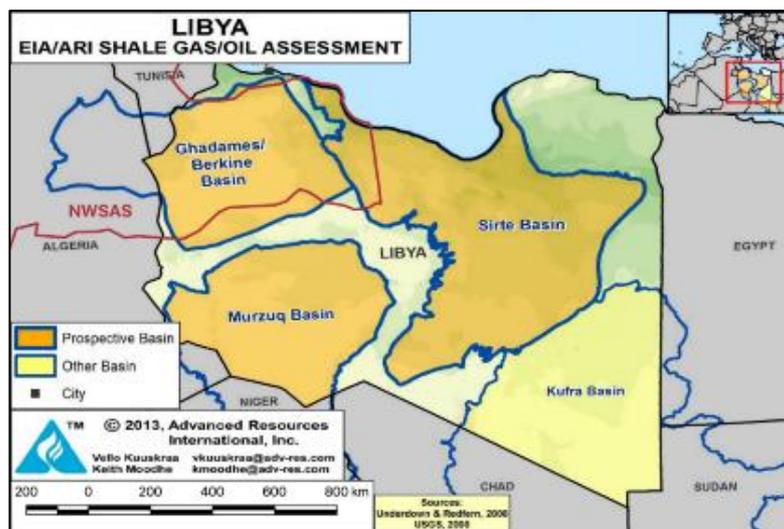
Figure 25 : Gisements de gaz de schiste de l'Algérie et frontières du SASS



Source : EIA, 2015.

La Libye comprend trois bassins pouvant potentiellement contenir du gaz et de l'huile de schiste (Ghadamès, Syrte et Mourzouk), ainsi qu'un quatrième dont les ressources potentielles n'ont pas encore été confirmées (figure 26). L'entièreté du bassin de Ghadamès ainsi qu'une petite partie de celui de Syrte se situent à l'intérieur du SASS. En raison du conflit en cours dans le pays, la recherche de sources de pétrole et de gaz, y compris non conventionnelles, a été interrompue²²Erreur. Il segnalibro non è definito. Aucune information n'est disponible au sujet de puits de production de gaz ou d'huile de schiste existants.

Figure 26 : Gisements de gaz de schiste de la Libye^{Erreur. Il segnalibro non è definito.}



Source : AIE, 2015.

²² AIE, 2015.

Figure 27 : Gisements de gaz de schiste de la Tunisie



Source : AIE, 2015.

En Tunisie, les bassins pélagien et de Ghadamès pourraient produire de l'huile de schiste (figure 27). Les ressources potentielles du bassin pélagien n'ont pas encore été confirmées. Situé dans le SASS, le bassin de Ghadamès est en cours d'exploration, principalement en vue de trouver des hydrocarbures conventionnels. À ce jour, aucune entreprise n'a signalé l'extraction d'hydrocarbures non conventionnels, bien que des puits d'essai soient déjà en cours de construction²³.

1.6.2. Oléoducs et gazoducs

Le SASS fournit à l'Europe environ 65,5 milliards de mètres cubes de gaz naturel par an au moyen de quatre conduites principales²⁴, tel que le montre la figure 28. La première et la plus grande de ces conduites est le gazoduc transméditerranéen (aussi appelé Transmed), qui permet d'acheminer le gaz de l'Algérie à l'Italie en passant par la Tunisie. Ce gazoduc part du plus grand gisement terrestre algérien, celui d'Hassi R'Mel, qui produit 2 000 milliards de mètres cubes de gaz naturel par an. Le gazoduc transméditerranéen s'étend sur 2 475 kilomètres et permet d'acheminer environ 33,5 milliards de mètres cubes de gaz naturel par an²⁵ depuis la région du SASS vers la Sicile, en Italie. La deuxième conduite est le gazoduc Maghreb-Europe, qui part également d'Hassi R'Mel et traverse l'Algérie et le Maroc pour livrer environ 12 milliards de mètres cubes de gaz naturel par an à l'Espagne. La troisième conduite est le gazoduc Medgaz, qui fournit 12 milliards de mètres cubes de gaz naturel supplémentaires à l'Espagne directement depuis l'Algérie. La quatrième conduite reliant l'Afrique du

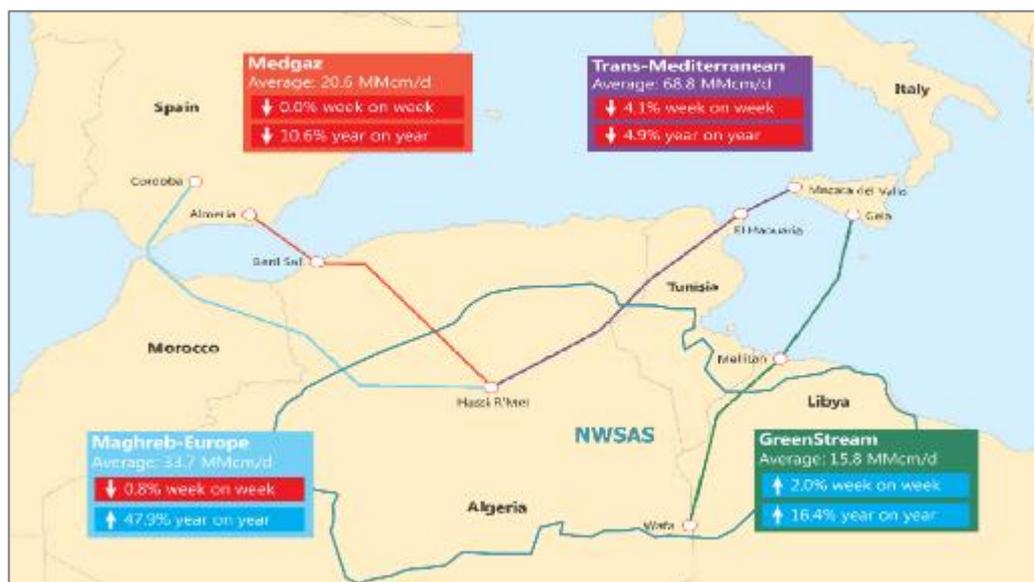
²³ AIE, 2015.

²⁴ SourceWatch, Center for Media and Democracy (CMD), 2018.

²⁵ Hydrocarbons Technology, 2019.

Nord à l'Europe est le gazoduc Greenstream²⁶, qui permet d'acheminer 8 milliards de mètres cubes de gaz par an depuis le gisement de Wafa, situé à la frontière entre l'Algérie et la Libye. Ce gazoduc traverse la partie libyenne du SASS avant de passer sous la mer Méditerranée pour finalement atteindre l'Italie. Ces conduites soulignent l'importance de la région du SASS à l'échelle des sources d'énergie mondiale.

Figure 28 : Principaux gazoducs d'exportation de gaz naturel de la région du SASS vers l'Europe



Source : Verity Ratcliffe, 2018.

1.6.3. Sources d'énergies renouvelables

Les pays du SASS sont riches en sources d'énergies renouvelables (SER) solaire et éolienne. En raison de la situation géographique du SASS, l'énergie solaire est disponible en quantités abondantes et pourrait ouvrir la voie à la refonte du secteur de l'énergie de la région. D'un point de vue industriel, l'énergie solaire peut être transformée en électricité au moyen des technologies photovoltaïque et de l'énergie solaire concentrée. À plus petite échelle et dans les ménages, l'énergie solaire est plus souvent utilisée pour l'approvisionnement en eau chaude et en électricité au moyen d'installations photovoltaïques en toiture.

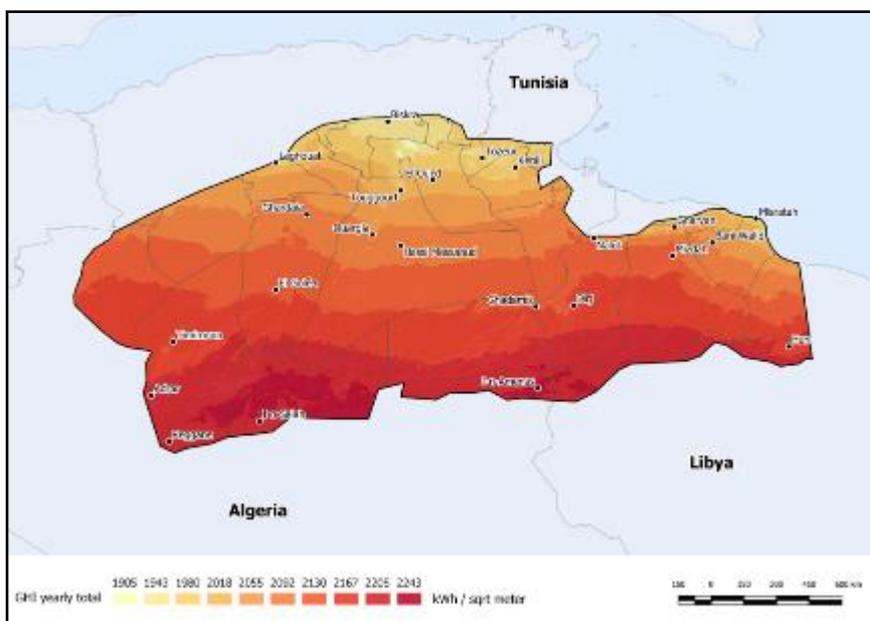
La région présente un important potentiel en énergie éolienne, la vitesse constante des vents observée tout au long de l'année rendant viable la mise en place de parcs éoliens de moyenne et grande taille sur son territoire.

Le bassin du SASS s'étend de 25° à 37,5° au nord de l'Équateur ainsi que de 8,7° à l'ouest et de 19° à l'est du méridien de Greenwich. De grandes parties de l'Algérie, de la Tunisie et de la Libye composant le SASS, ces trois pays présentent un potentiel similaire s'agissant de la production d'énergies solaire et éolienne – le rayonnement solaire horizontal est plus important au sud et la vitesse du vent plus élevée dans les zones montagneuses (figures 29 et 30). Le bassin du SASS constitue donc une région stratégique pour la mise en œuvre de projets d'énergie renouvelable. Certaines installations de production d'énergie renouvelable sont déjà fonctionnelles dans les pays et à l'intérieur du bassin,

²⁶ Les troubles politiques traversés par le pays ont perturbé le fonctionnement du gazoduc Greenstream, et on ne sait pas clairement s'il a été remis en activité ou non.

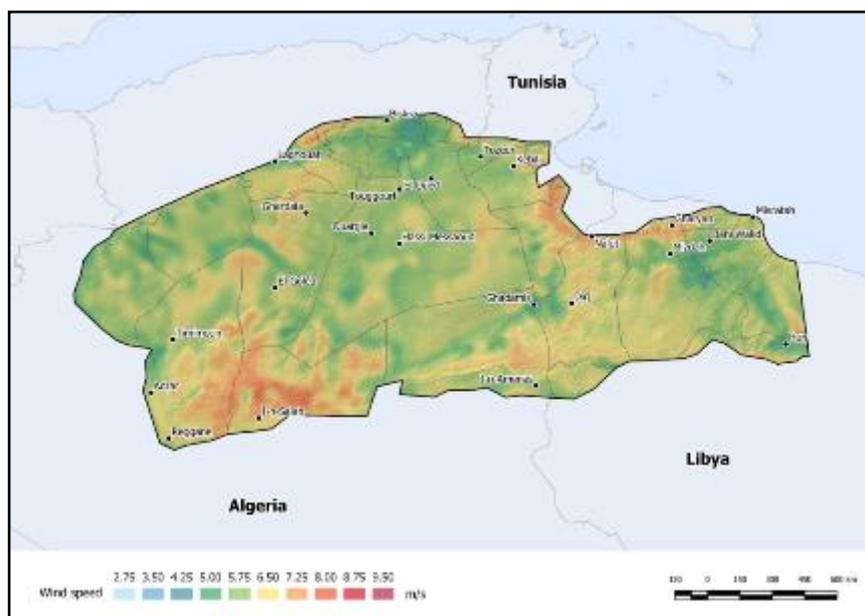
mais leur contribution aux productions d'énergie nationales demeure insignifiante. Les sections suivantes contiennent plus d'informations sur la part des SER dans la production énergétique des pays.

Figure 29 : Rayonnement solaire horizontal dans le bassin du SASS



Source : Global Solar Atlas, 2019.

Figure 30 : Vitesse moyenne du vent dans le bassin du SASS

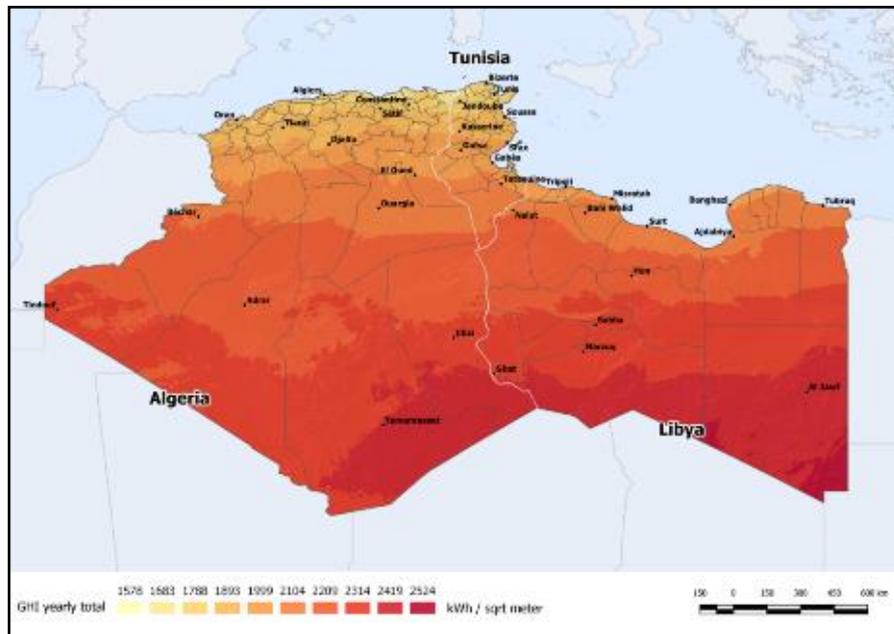


Source : Global Wind Atlas 2.0, 2019.

L'énergie solaire est disponible en quantité très importante dans les trois pays en raison du haut niveau de rayonnement solaire horizontal dont l'ensemble de leur territoire bénéficie. Compris entre 1 500 et 2 500 kilowattheures par mètre carré (kWh/m²), ce rayonnement augmente du nord au sud

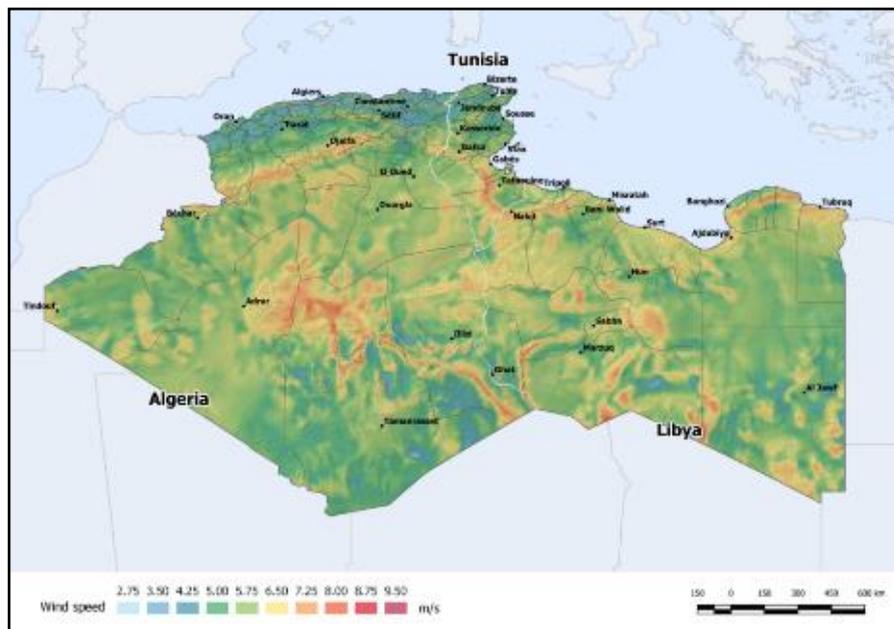
de la région (figure 31). De plus, la vitesse du vent dans ces pays peut atteindre 9,5 mètres par seconde (m/s) à une altitude de 50 mètres et être encore plus importante à une altitude plus élevée (figure 32).

Figure 31 : Rayonnement solaire horizontal en Algérie, en Tunisie et en Libye



Source : Global Wind Atlas 2.0, 2019

Figure 32 : Vitesse moyenne du vent en Algérie, en Tunisie et en Libye à une altitude de 50 mètres



Source : Global Wind Atlas 2.0, 2019

Tableau 9 : Potentiel de production d'électricité à partir des énergies solaire et éolienne en Algérie, en Tunisie et Libye.

Pays	Potentiel de production par énergie solaire (TWh/an)			Potentiel de production par énergie éolienne (TWh/an)		
	Énergie solaire concentrée	Énergie solaire photovoltaïque	Total	Coefficient de puissance ²⁷ > 20 %	Coefficient de puissance > 30 %	Coefficient de puissance > 40 %
Algérie	26 530	27 904	54 434	30 155	2 536	153
Tunisie	2 045	4 645	6 690	6 842	1 244	226
Libye	11 823	13 979	25 802	21 649	5 149	1 079

Source : IRENA, 2014.

L'Algérie possède un excellent potentiel de production à partir de l'énergie solaire et des ressources en énergie éolienne considérables. D'après une étude des sources d'énergie renouvelable potentielles réalisée par l'Agence internationale pour les énergies renouvelables²⁸, l'Algérie pourrait produire un total de 54 434 térawattheures (TWh) d'électricité par an au moyen de l'énergie solaire (tableau 9). Le potentiel de production de l'énergie éolienne est également significatif : de 153 TWh à 30 155 TWh d'électricité pourraient être générés annuellement, en fonction du coefficient de puissance envisagé. Les énergies renouvelables représentent donc une importante perspective d'avenir pour l'Algérie. Rien qu'en réalisant son potentiel de production par énergie éolienne avec un coefficient de puissance de 40 %, le pays ferait plus que doubler le total de sa consommation finale d'énergie (en tenant compte des pertes et de la consommation propre du secteur énergétique, qui seront abordées au cours des prochaines sections). Combiné à l'énergie solaire, la réalisation du potentiel de production par énergie éolienne permettrait, avec un coefficient de puissance moins élevé, d'atteindre des capacités de production d'électricité 1 200 fois supérieures à la consommation totale actuelle.

La situation en Tunisie est similaire. Malgré la très petite part des SER dans la production d'électricité, le pays dispose d'importantes ressources en énergies solaire et éolienne. L'énergie solaire pourrait servir à générer 6 690 TWh d'électricité par an, tandis que l'énergie éolienne pourrait en produire de 226 TWh à 6 852 TWh par an. La réalisation du potentiel de production par énergie éolienne avec le plus haut coefficient de puissance (40 %) permettrait de générer onze fois le total de la consommation finale d'électricité, et le potentiel de production combiné des énergies solaire et éolienne est près de sept cents fois supérieur au total actuel de la consommation finale d'électricité.

Enfin, la Libye bénéficie du même contexte hautement favorable à la production d'électricité par énergies solaire et éolienne que ses voisins. L'énergie solaire pourrait générer 25 802 TWh d'électricité par an, tandis que l'énergie du vent pourrait en produire entre 1 079 TWh et 21 649 TWh par an. Dans le cas de la Libye, la réalisation du potentiel de production par énergie éolienne avec le plus haut coefficient de puissance (40 %) permettrait de générer près de 50 fois le volume total final d'électricité consommée, et le potentiel de production combiné des énergies solaire et éolienne est plus de 2100 fois supérieur au total de la consommation finale d'électricité.

²⁷ Le coefficient de puissance mesure l'efficacité avec laquelle une éolienne peut convertir en électricité l'énergie du vent qui fait tourner ses pales. Ce coefficient varie selon la vitesse du vent et le type d'éolienne. Pour une éolienne de grande taille, un bon coefficient de puissance est compris entre 35 % et 45 %. Cependant, les éoliennes présentant un coefficient de 30 % sont encore compétitives et celles dont le coefficient est de 20 % peuvent convenir à des installations de petite échelle.

²⁸ IRENA, 2014.

1.6.4. Systèmes de production d'électricité

Cette section présente une vue d'ensemble des systèmes de production d'énergie, de la part des SER et des plans adoptés en Algérie, en Tunisie et en Libye. Le renforcement du système de production d'énergie est l'une des clés de la transition vers un modèle énergétique moderne et à faible émission de carbone. Ces mesures peuvent également être un moteur de modernisation du secteur agricole qui favorisera l'amélioration des moyens de subsistance et de la qualité de vie des communautés rurales. En plus de permettre de moderniser la production d'énergie au moyen de ressources nationales, les importantes SER de la région ont l'avantage notable de pouvoir être exportées. Telle était d'ailleurs l'idée à l'origine du projet Desertec, qui prévoyait d'utiliser l'énergie solaire dans le désert pour produire de l'électricité à grande échelle et acheminer cette dernière vers l'Europe au moyen de lignes à haute tension.

Malgré la grande disponibilité des SER, les pays du SASS recourent principalement aux combustibles fossiles pour produire de l'électricité. Moteur de l'économie en Algérie et en Libye, la production de combustibles fossiles bénéficie d'importantes subventions dans l'ensemble de la région (Encadré 1).

Si les trois pays ont élaboré des projets ambitieux pour le déploiement de technologies liées aux SER, leur mise en œuvre reste difficile, et les progrès réalisés en faveur de la décarbonisation sont lents. Par exemple, d'après la base de données *World Electric Power Plants*²⁹, seulement 0,7 % du total des capacités de production en cours de mise en place en Algérie en 2015 était attribuable à la capacité installée des infrastructures de SER en cours de construction, et les SER ne représentaient que 3,15 % des capacités de production prévues. Les chiffres sont similaires en Tunisie, où les SER n'étaient exploitées dans aucune des installations de production électrique en cours de construction et représentaient seulement 1,96 % des capacités de production prévues. Les chiffres sont encore plus bas en Libye, où aucune des installations n'est en cours de construction et seulement 0,12 % des capacités de production prévues font appel aux technologies liées aux SER.

Encadré 1. Les subventions au secteur de l'énergie en Algérie, en Tunisie et en Libye.

Il existe de nombreuses manières de subventionner la consommation d'une ressource en particulier. Une définition simple de la subvention serait : *la prise de toute mesure qui maintient les prix pour les consommateurs en dessous du niveau du marché ou au-dessus du niveau du marché pour les producteurs, ou qui réduit les coûts pour les consommateurs et les producteurs en fournissant un soutien direct ou indirect*³⁰.

En plus de stimuler la demande pour certains produits au détriment d'autres, les subventions octroyées en faveur des produits énergétiques (tels que l'électricité, le gaz naturel, le pétrole et ses dérivés, etc.) influent surtout sur la viabilité des entreprises et l'accessibilité financière des services. Ainsi, les pays d'Afrique du Nord ont initialement subventionné des projets énergétiques afin de favoriser l'industrialisation et de réduire les inégalités sociales³¹. À l'heure actuelle, le bas coût de l'énergie est indispensable à la poursuite des activités dans de nombreux secteurs de la société et de l'économie, notamment pour les personnes les plus vulnérables (tels que les petits exploitants agricoles). C'est pourquoi la modification des subventions accordées à l'énergie, qui serait aujourd'hui nécessaire pour faciliter la transition vers les SER ainsi qu'améliorer l'utilisation des sources d'énergie et, indirectement, de l'eau, est une question très délicate. Il ne faut pas non plus oublier que ces enjeux ne sont pas propres aux pays d'Afrique du Nord et que tous les gouvernements du monde, y compris d'Europe, ont des difficultés à procéder à la modification des subventions accordées à

²⁹ World Electric Power Plants Database, Platts, 2015.

³⁰ de Moor, A. et P. Calamai, 1997.

³¹ Eibl, F., 2017.

l'énergie.

Le subventionnement des produits énergétiques peut être difficile à déterminer, en particulier dans les pays producteurs de combustibles fossiles. La manière la plus directe d'évaluer les subventions est d'estimer l'écart entre le prix payé par les consommateurs et le coût d'approvisionnement. Cependant, il est utile de garder à l'esprit que cette approche a ses limites, notamment lorsque les combustibles fossiles représentent une part importante des exportations ou de la production d'un pays :

Estimer l'écart de prix consiste à comparer les prix moyens d'utilisation finale payés par les consommateurs aux prix de référence qui correspondent au coût total d'approvisionnement. Dans le cas des pays qui exportent un produit issu de combustibles fossiles à un prix plus élevé qu'il n'est vendu sur le marché intérieur, le subventionnement national est implicite : il n'a aucune incidence budgétaire directe tant que le prix couvre les coûts de production. Dans le cas des importateurs nets, les subventions évaluées par estimation de l'écart de prix peuvent être explicites, se traduisant par des dépenses budgétaires découlant de la vente sur le marché national d'importations d'énergie subventionnées. Elles peuvent aussi parfois être implicites. La méthode par estimation de l'écart de prix ne permet de repérer que les interventions entraînant la fixation de prix d'utilisation finale inférieurs à ceux qui prévaudraient sur un marché ouvert à la concurrence. Bien que ce type de subventions soit majoritaire s'agissant des combustibles fossiles, de nombreuses autres interventions ne peuvent être détectées au moyen de l'estimation de l'écart de prix. Cette méthode ne permet par exemple pas de mettre à jour le subventionnement de la recherche et du développement ou de la production de combustibles fossiles³².

Traditionnellement, l'Algérie a cherché à exporter ses importantes réserves en combustibles fossiles afin de subventionner sa consommation intérieure. Entre 2011 et 2012, le montant des subventions publiques a doublé et celles accordées au secteur de l'énergie ont représenté 12,1 % du produit intérieur brut (PIB)³³. En 2016, la législation budgétaire a fait augmenter les prix des produits énergétiques. Cependant, l'augmentation n'était que minime et les prix de l'énergie du pays sont demeurés parmi les plus bas au monde. En 2018, les subventions octroyées pour les produits énergétiques ont atteint 17 080 millions d'US\$ (soit 9,5 % du PIB), dont 56 % étaient consacrées au pétrole, 21 % à l'électricité et 23 % au gaz naturel. Ces chiffres représentent un taux moyen de subvention de 70 % (tableau 10).

Tableau 10 : Indicateurs de subventionnement des produits énergétiques de l'AIE (2018)

Pays	Taux moyen de subvention (%)	Montant de subvention par habitant (dollars/personne)	Total des subventions en part du PIB (%)
Algérie	70 %	407	9,5 %
Libye	78 %	726	10,8 %
Tunisie	s. o.	s. o.	s. o.

Source : AIE, 2019

Remontant aux années 1970, l'accord de subventions pour les produits énergétiques existe également depuis longtemps en Libye. Les produits subventionnés comprennent l'essence, le diesel, le gaz de pétrole liquéfié, le kérosène et l'électricité³⁴. Les subventions à l'énergie ont augmenté et sont passées

³² AIE, 2019.

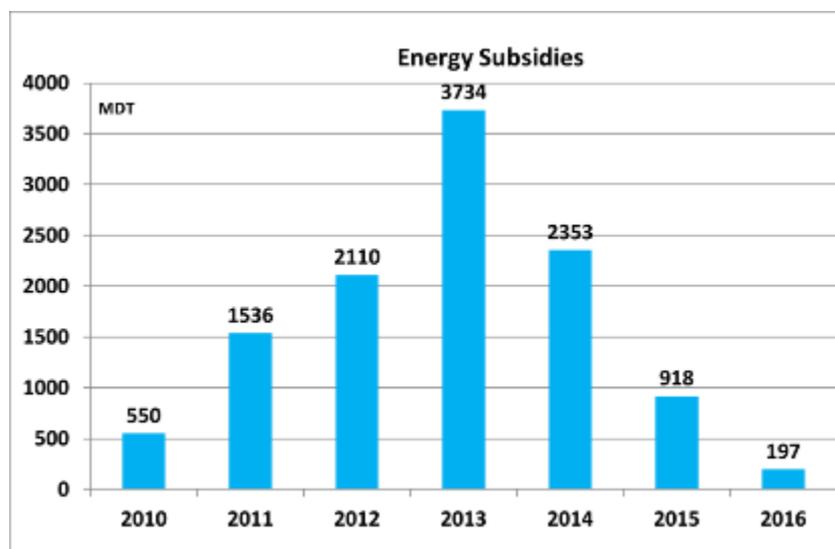
³³ FMI, 2014.

³⁴ Abdelkrim et al., 2017

d'à peu près 234 millions de dinars libyens en 1995 à 404 millions de dinars libyens en 2000, la majorité étant octroyée pour le pétrole (environ 87 %) et l'électricité (environ 12 %)³⁵³⁴. Les prix de l'énergie ont continué d'augmenter même après la révolution, culminant à 8 486 millions d'US\$ en 2012 d'après l'Agence internationale de l'énergie³⁶. De plus, le montant des subventions a été réduit à 4 698 millions d'US\$ en 2018, ce qui représente 10,8 % du PIB et un taux moyen de subvention de 78 % (tableau 10).

En Tunisie, le secteur de l'énergie s'efforce constamment de répondre à la hausse rapide de la demande en énergie, qui est en partie due au subventionnement des produits énergétiques. De fait, les produits énergétiques sont vendus à un prix inférieur à celui des marchés internationaux et le gouvernement compense les déficits des producteurs nationaux au moyen des fonds de l'État. Au cours des dernières décennies, les subventions à l'énergie ont représenté entre 4 % et 7 % du PIB, atteignant leur plus haut point à 7,2 % en 2013³⁷. En 2015, face à l'effondrement des cours internationaux des produits énergétiques et en particulier du pétrole, la part des subventions dans le budget public a chuté pour atteindre 0,5 % du PIB. Le gouvernement tunisien a également commencé à prendre quelques mesures. En 2012 et en 2013, il a augmenté les prix du pétrole de 7 % et, en 2014, a procédé à une hausse de 20 % du cours du gaz et de l'électricité pour les consommateurs de moyenne tension³⁸. La même année et après une première tentative en 2011, l'État tunisien a réinstauré une suppression progressive des subventions accordées aux secteurs à forte consommation d'énergie ainsi qu'un mécanisme automatique d'indexation des prix du pétrole à partir des cours internationaux. Ces mesures ont considérablement réduit l'impact du système énergétique sur le budget public (figure 33). En raison de la grande influence du marché de l'énergie international et de la forte volatilité des prix, l'État pourrait toutefois de nouveau augmenter les subventions au cours des années à venir, ce qui expose sa santé économique et ses finances publiques à un risque significatif.

Figure 33 : Les subventions à l'énergie en Tunisie, 2010-2016 (en millions de dinars tunisiens)



Source : Banque mondiale/République tunisienne, 2016.

³⁵ Abdelkrim et al., 2017.

³⁶ AIE, 2019;

³⁷ Banque mondiale/République tunisienne, 2018.

³⁸ Eibl, F., 2017.

1.6.5. Capacité installée et production

En 2016, l'Algérie a produit 70 999 gigawattheures (GWh) d'électricité, dont 69 693 GWh à partir de gaz naturel. Le gaz naturel a donc servi à générer 98,16 % du total de la production. Les autres ressources utilisées par le pays ont été le pétrole, l'énergie hydraulique, l'énergie solaire photovoltaïque et le vent, qui n'ont toutefois que très peu contribué à la production intérieure d'électricité, à hauteur de 1,37 %, 0,31 %, 0,29 % et 0,04 % respectivement³⁹ (tableau 11).

Tableau 11 : La production d'électricité en Algérie (2016).

Source	Quantité générée (GWh)	% de la production totale
Pétrole	970	1,37 %
Gaz	69 693	98,16 %
Énergie hydraulique (installations à réserve pompée comprises)	218	0,31 %
Énergie solaire photovoltaïque	205*	0,29 %
Énergie solaire concentrée	134*	0,19 %
Vent	29	0,04 %
Production totale	71 249	
Importations	257	0,36 %
Exportations	507	0,71 %
Approvisionnement domestique	70 999	

Source : Compilation des auteurs à partir des données de l'AIE, 2016 et de l'IRENA, 2018.

Concernant la consommation, les pertes liées à la transmission et à la distribution ont représenté 15,1 % du total de l'approvisionnement en électricité (tableau 12). Les plus gros consommateurs finaux sont l'industrie (35,5 %) et le secteur résidentiel (38,6 %), suivis des contextes d'usage non spécifiés (21,17 %) puis des secteurs de l'exploitation agricole et forestière ainsi que des transports (2,7 % et 1,9 %, respectivement).

³⁹ AIE, 2016.

Tableau 12 : La consommation d'électricité en Algérie en 2016

Secteur	Consommation (GWh)
Industrie	18 574
Transports	1 014
Résidentiel	20 210
Exploitation agricole et forestière	1 419
Usages non spécifiés	11 071
Consommation finale	52 288
Consommation propre du secteur de l'énergie	7 546
Pertes	10 682
Total	70 516
Différence statistique	-483

Source : Compilation des auteurs à partir de l'AIE, 2016.

Le secteur de l'électricité en Tunisie dépend largement du gaz naturel pour la majorité de sa production. En 2016, un total de 19 808 GWh d'électricité ont été générés, dont 18 961 GWh à partir de gaz naturel (tableau 13). Cette quantité représente 95,72 % du total de la production d'électricité nationale. La deuxième source employée, dont la contribution à la production est beaucoup moins importante à 474 GWh (2,39 %), est l'énergie éolienne. Les énergies photovoltaïque et hydraulique ainsi que le pétrole n'ont que peu participé à la production totale, générant respectivement 63 GWh, 45 GWh et 41 GWh.

Tableau 13 : La production d'électricité en Tunisie en 2016

Source	Quantité générée (GWh)	% de la production totale
Pétrole	41	0,21 %
Gaz	18 961	95,72 %
Énergie hydraulique (installations à réserve pompée comprises)	45	0,23 %
Énergie solaire photovoltaïque	63	0,32 %
Vent	474	2,39 %
Autres sources	224	1,13 %
Production totale	19 808	
Importations	134	0,68 %
Exportations	255	1,29 %
Approvisionnement domestique	19 687	

Source : Compilation des auteurs à partir de l'AIE, 2016.

Au fil des décennies, la demande en énergie a enregistré une hausse constante en Tunisie. Entre 1990 et 2000, le pays a connu une amélioration du niveau de vie et une période de croissance économique qui se sont traduites par un taux d'accroissement annuel de la demande en électricité de 6,2 %. En raison de l'instauration de mesures d'efficacité énergétique, ce taux d'accroissement a ralenti pour s'établir à 4,6 % par an entre 2000 et 2005, et a continué de chuter pour atteindre 3,7 % entre 2005 et 2009⁴⁰. La Société tunisienne de l'électricité et du gaz (STEG) prévoit que la demande en énergie se maintiendra à un taux de croissance de 4 % entre 2011 et 2031, ce qui impliquerait la réalisation d'importants investissements dans les infrastructures du secteur⁴¹.

S'agissant de l'utilisation de l'électricité en 2016, il est possible de remarquer que les pertes liées à la transmission et à la distribution ont représenté 15,5 % du total de l'approvisionnement, les consommateurs finaux et le secteur de l'énergie en ayant respectivement utilisé 79 % et 4,7 %. S'agissant de la consommation finale d'électricité (tableau 14), le secteur de l'industrie en est responsable à 34,83 %, le secteur résidentiel à 29,73 %, les services commerciaux et publics à 27,32 %, l'exploitation agricole et forestière à 7,5 % et les transports à seulement 0,62 %.

Tableau 14 : La consommation d'électricité par secteur en Tunisie en 2016.

Secteur	Consommation (GWh)
Industrie	5 423
Transports	96
Résidentiel	4 628
Services commerciaux et publics	4 254
Exploitation agricole et forestière	1 168
Consommation finale	15 569
Consommation propre du secteur de l'énergie	924
Pertes	3 052
Total	19 545
Différence statistique	-142

Source : Compilation des auteurs à partir de l'AIE, 2016.

En 2016, la Libye a produit 36 430 GWh d'électricité, dont 22 802 GWh à partir de gaz naturel, 13 620 GWh à partir de pétrole et une quantité très réduite de 8 GWh à partir de l'énergie solaire photovoltaïque (tableau 15). Une quantité supplémentaire de 376 GWh a été importée. Le gaz naturel a généré 62,5 % du total de la production, le pétrole 37,3 % et l'énergie solaire photovoltaïque seulement 0,02 %.

⁴⁰ IISD, 2014.

⁴¹ Lechtenboehmer, S. et al., 2012.

Tableau 15 : La production d'électricité en Libye en 2016

Source	Quantité générée (GWh)	% de la production totale
Pétrole	13 620	37,39 %
Gaz	22 802	62,59 %
Énergie solaire photovoltaïque	8	0,02 %
Production totale	36 430	
Importations	376	1,03 %
Exportations	0	-
Approvisionnement domestique	36 806	

Source : Compilation des auteurs à partir de l'AIE, 2016.

Concernant la consommation, il est surprenant de constater que seulement 37,9 % de l'approvisionnement domestique, soit 13 980 GWh, est disponible à la consommation (tableau 16). Parmi les consommateurs, les secteurs résidentiel (42,16 %) et des usages non spécifiés (29,64 %) sont les plus importants, suivis des secteurs des services commerciaux et publics (10,77 %), de l'exploitation agricole et forestière (8,74 %) et de l'industrie (8,67 %). Les pertes liées à la transmission et à la distribution signalées sont de 7 324 GWh (19,89 %), ce qui mène à une grande différence statistique de -14 892 GWh (40,4 %). La différence statistique consiste en la différence entre la consommation totale calculée (c'est-à-dire l'approvisionnement en énergie moins les pertes liées à la transmission et à la distribution) et la consommation totale observée (c'est-à-dire les quantités réellement enregistrées au moyen d'enquêtes sur les secteurs d'utilisation finale). Une différence aussi importante que celle mentionnée ci-dessus indique que les statistiques nationales sur l'énergie sont largement inexactes.

Tableau 16 : La consommation d'électricité en Libye en 2016.

Secteur	Consommation (GWh)
Industrie	1 213
Résidentiel	5 894
Services commerciaux et publics	1 506
Exploitation agricole et forestière	1 222
Usages non spécifiés	4 145
Consommation finale	13 980
Consommation propre du secteur de l'énergie	610
Pertes	7 324

Total	21 914
Différence statistique	-14 892

Source : Compilation des auteurs à partir de l'AIE, 2016.

1.6.6. La production d'énergie à partir de sources renouvelables

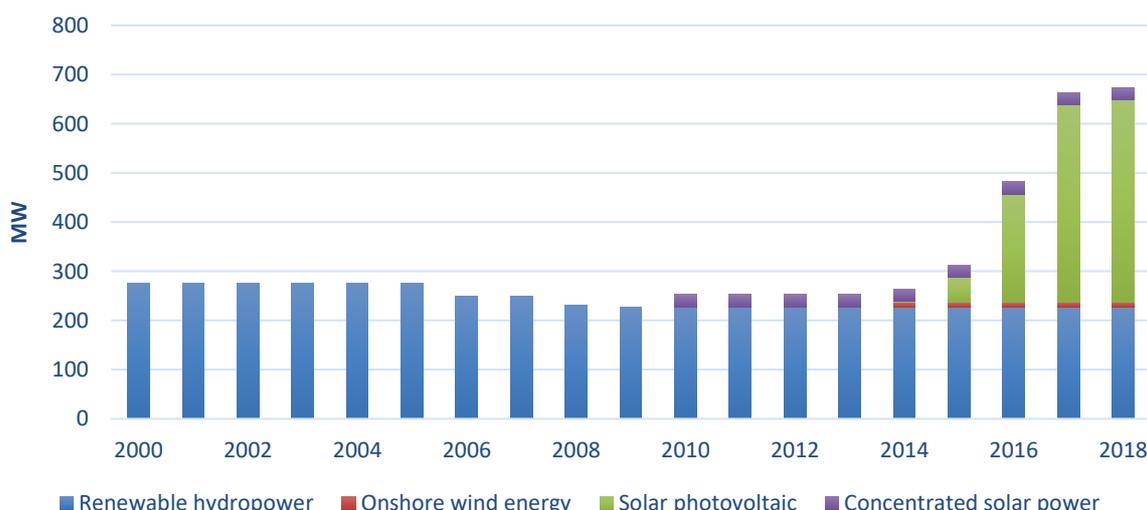
La production d'électricité à partir de SER est presque inexistante en Algérie. L'IRENA indique qu'en 2016, le pays disposait de 312 mégawatts (MW) de capacité installée et que seulement 0,8 % du total de l'électricité générée provenait de SER. En 2018, la capacité de production à partir de SER a augmenté et s'est établie à 673 MW, une hausse de 39,7 % par rapport à 2016 (tableau 17). Parmi les SER, l'énergie solaire photovoltaïque a représenté en 2018 la plus grande part de production (60,92 %), suivie de l'énergie hydraulique (33,88 %) et de l'énergie solaire concentrée (3,71 %). Le tableau ci-dessous et la figure 34 détaillent les capacités installées cumulées par type d'énergie.

Tableau 17 : La capacité installée des sources d'énergie renouvelables en Algérie en 2018

Technologie	Capacité installée (MW)	% du total des SER
Énergie hydraulique	228	33,88 %
Énergie solaire concentrée	25	3,71 %
Énergie éolienne terrestre	10	1,49 %
Énergie solaire photovoltaïque	410	60,92 %
Total	673	

Source : Compilation des auteurs à partir de l'IRENA, 2018.

Figure 34 : Capacité installée des sources d'énergie renouvelables – Algérie



Source : IRENA, 2018.

En 2016, la Tunisie a généré un total de 348 MW d'électricité à partir de sources renouvelables, ce qui a représenté 2,94 % de la production totale d'électricité de l'année. En 2018, la part des énergies

renouvelables a augmenté pour atteindre 358 MW, soit une hausse de 2,88 % par rapport à 2016.

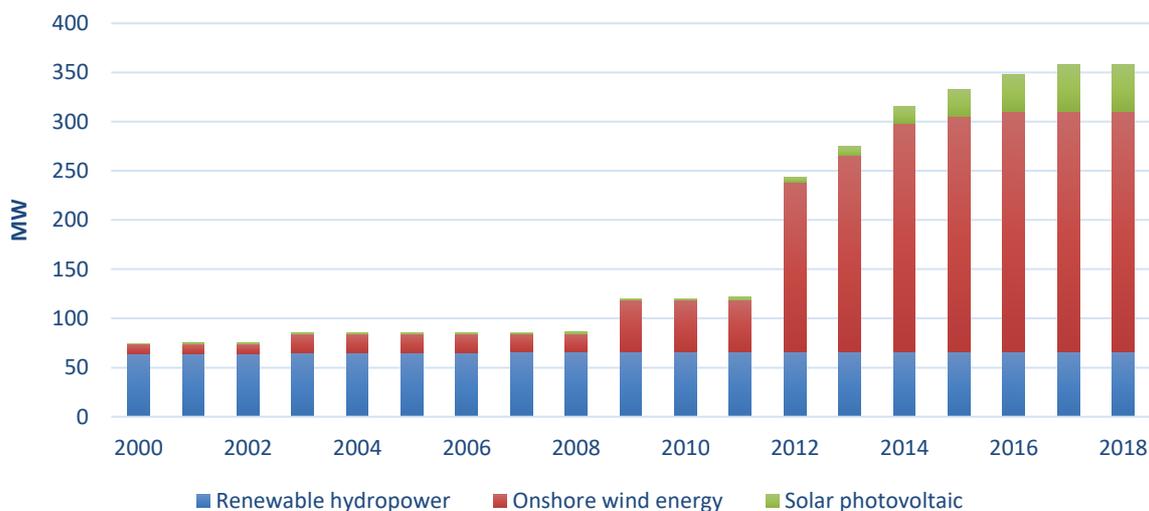
Avec 245 MW générés en 2018, l'énergie éolienne terrestre a été responsable de la part de production la plus importante parmi les SER (68,49 %). Les deux autres SER exploitées étaient les énergies hydraulique et solaire photovoltaïque, qui ont respectivement représenté 18,34 % et 13,17 % de la capacité installée des sources renouvelables. Le tableau 18 et la figure 35 détaillent les capacités installées cumulées par type d'énergie.

Tableau 18 : La capacité installée des sources d'énergie renouvelables en Tunisie en 2018

Technologie	Capacité installée (MW)	% du total des SER
Énergie éolienne terrestre	245	68,49 %
Énergie hydraulique	66	18,34 %
Énergie solaire photovoltaïque	47	13,17 %

Source : Compilation des auteurs à partir de l'IRENA, 2018.

Figure 35 : Capacité installée des sources d'énergie renouvelables – Tunisie.



Source : IRENA, 2018.

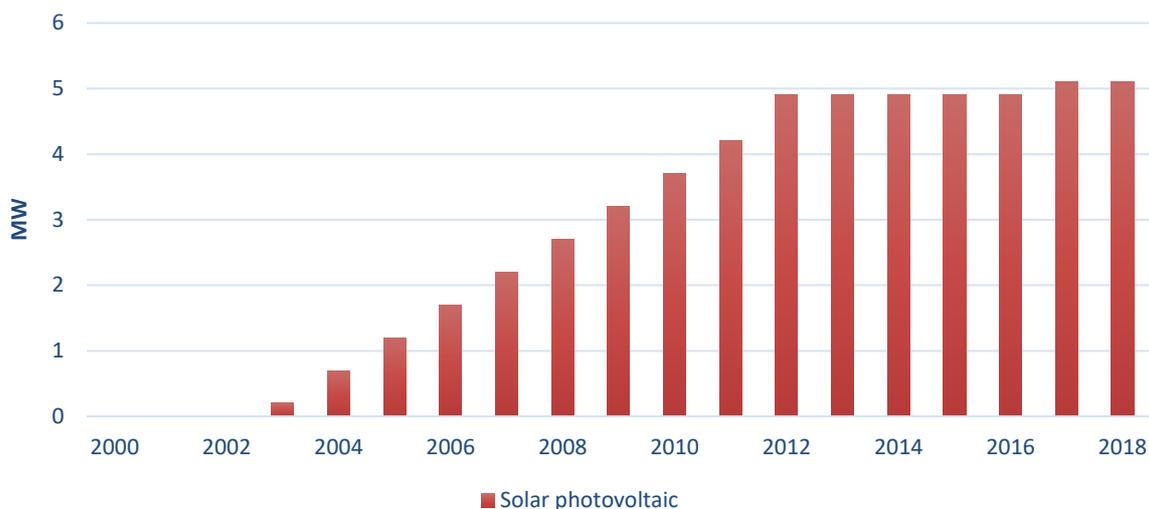
Les capacités de production d'électricité à partir de sources renouvelables de la Libye ne s'élèvent qu'à 5 MW par an, dont l'ensemble provient de l'énergie solaire photovoltaïque. Ce chiffre demeure inchangé depuis 2012. Le tableau 19 et la figure 36 détaillent les capacités installées cumulées par type d'énergie.

Tableau 19 : La capacité installée des sources d'énergie renouvelables en Libye en 2018

Technologie	Capacité installée	% du total des SER
Énergie solaire photovoltaïque	5	100 %

Source : Compilation des auteurs à partir de l'IRENA, 2018

Figure 36 : Capacité installée des sources d'énergie renouvelables – Libye



Source : IRENA, 2018.

1.6.7. Évolution de la demande en électricité et plans nationaux

Algérie

Prévisions de la demande d'électricité en Algérie

Sonelgaz, l'entreprise algérienne chargée de l'approvisionnement en électricité et en gaz, a préparé deux scénarios d'évolution de la demande en électricité (croissance moyenne ou élevée) pour 2025. Par rapport à 2015, la demande d'électricité augmente de 77 % dans le scénario de croissance moyenne et de 120 % dans le scénario de croissance élevée. La charge maximale attendue marque une hausse d'environ 76 % selon le scénario de croissance moyenne et fait plus que doubler selon celui de croissance élevée en comparaison à l'année 2015 (tableau 20).

Tableau 20 : La demande d'électricité en Algérie entre 2015 et 2025.

Année	Scénario de croissance moyenne		Scénario de croissance élevée	
	Charge maximale (MW)	Demande d'électricité (TWh)	Charge maximale (MW)	Demande d'électricité (TWh)
2015	12 355	63,047	13 060	66,619
2025	21 839	111,504	28 815	146,843

Source : Sonelgaz, 2015

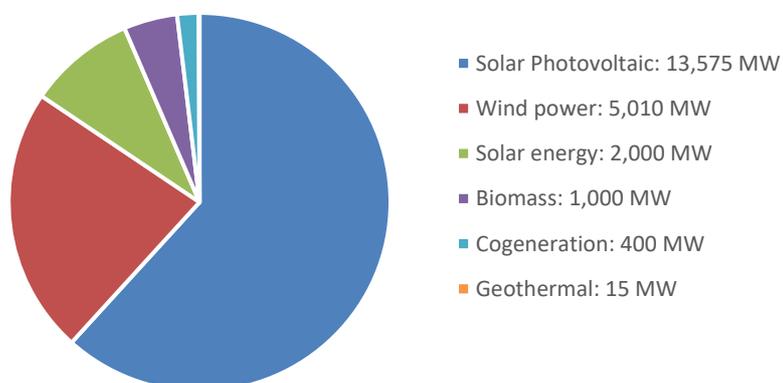
Pour répondre à la hausse de la demande, l'Algérie prévoit d'augmenter ses capacités de production au cours de la prochaine décennie, à la fois à partir de sources conventionnelles et de SER. Sonelgaz estime qu'entre 2020 et 2025, l'Algérie se dotera de capacités de production d'électricité au moyen de sources conventionnelles équivalentes à 12 415 MW⁴². Concernant les SER, le Programme de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique 2015-2030 établit de nouveaux objectifs d'exploitation.

Le Programme de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique 2015-2030

Ce document consiste en un examen et une mise à jour du Programme de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique 2011-2030. Il vise à augmenter la part des SER dans la production et à diversifier les sources d'énergie exploitées dans le pays. Le programme est centré sur l'installation de centrales solaires photovoltaïques et de parcs éoliens terrestres de grande échelle. Il prévoit également l'utilisation de la biomasse, des technologies de cogénération et de l'énergie géothermique d'ici à 2020. L'exploitation de l'énergie solaire concentrée est cependant retardée en raison du coût élevé des technologies⁴³.

Le programme vise à mettre en place de nouvelles capacités d'exploitation des SER à hauteur de 4 500 MW d'ici à 2020, pour atteindre un total de 22 000 MW d'ici à 2030. D'ici à 2020, le gouvernement prévoit de se doter de capacités d'exploitation de 800 MW pour l'énergie solaire photovoltaïque, de 1 200 MW pour l'énergie solaire concentrée et de 1 700 MW pour l'énergie éolienne⁴⁴.

Figure 37 : Nouvelles capacités d'exploitation des SER d'ici à 2030.



Source : Centre de Développement des Energies Renouvelables, Algérie (2015).

⁴² Sonelgaz

⁴³ AIE/IRENA, 2016.

⁴⁴ AIE/IRENA, 2011.

Les objectifs révisés pour 2030 concernant les capacités d'exploitation des sources renouvelables sont les suivants (figure 37) : 13 575 MW pour l'énergie solaire photovoltaïque, 5 010 MW pour l'énergie éolienne, 2 000 MW pour l'énergie solaire concentrée, 1 000 MW pour la biomasse, 400 MW pour les technologies de cogénération et 15 MW pour l'énergie géothermique⁴⁵.

La version mise à jour du programme fixe des objectifs plus ambitieux, visant l'augmentation des capacités installées des différentes sources d'énergie. Il prévoit également une augmentation de 20 % à 27 % de la part des SER dans la production totale d'énergie d'ici à 2030. Ce programme a également pour but de renforcer l'efficacité énergétique en améliorant l'isolation thermique des bâtiments, ce qui pourrait mener à une baisse de 40 % de la consommation d'énergie liée à la climatisation des foyers. Enfin, il vise le développement du chauffage de l'eau à l'énergie solaire ainsi que la promotion de la cogénération et des centrales électriques à cycle combiné, parmi d'autres mesures⁴⁶.

Si les objectifs établis sont atteints, les SER généreront 27 % de la production totale d'électricité en Algérie, entraînant une diminution de la consommation de gaz naturel et, par conséquent, des émissions de CO₂. Le Fonds national pour les énergies renouvelables et la cogénération (FNER) soutiendra la mise en œuvre du programme.

Tarif d'achat garanti pour l'électricité produite à partir des installations utilisant l'énergie solaire photovoltaïque

En avril 2014, le gouvernement a instauré un tarif d'achat garanti pour l'électricité produite à partir des installations utilisant la filière solaire photovoltaïque dans le but d'encourager les investissements dans cette technologie. Cependant, ce programme ne s'applique qu'aux installations d'une capacité de 1 MW ou plus et distingue celles qui peuvent produire plus ou moins de 5 MW. Les différents tarifs d'achat définis par le gouvernement sont détaillés dans la publication relative à cette politique⁴⁷.

Tunisie

Prévisions de la demande d'électricité

La STEG s'attend à ce que la demande en électricité double entre 2011 et 2031. La charge maximale prévue sera un peu moins de deux fois plus élevée (tableau 21).

Tableau 21 : La demande d'électricité en Tunisie entre 2011 et 2031.

Année	Charge maximale (MW)	Demande d'électricité (TWh)
2011	3 010	15,43
2013	3 144	17,064
2016	3 766	19,952
2021	4 472	23,515
2026	5 091	27,158
2031	5 687	30,862

Source : STEG, 2014.

⁴⁵ AIE/IRENA, 2016.

⁴⁶ AIE, IRENA, 2016.

⁴⁷ AIE/IRENA, 2014.

Objectifs et plans énergétiques nationaux

Le gouvernement de la Tunisie planifie d'augmenter la part des SER dans le système de production d'électricité du pays au cours des prochaines décennies. Cependant, il est attendu que l'énergie thermique demeure la principale source d'énergie. Pour répondre à la hausse de la demande, il sera nécessaire d'augmenter les capacités de production à partir de l'énergie thermique, et le gaz naturel restera l'une des sources d'énergie les plus utilisées. D'ici à 2030, l'énergie thermique devrait fournir de quoi subvenir à 70 % des besoins en électricité du pays.

La Tunisie s'efforce toutefois déjà d'augmenter la part des SER dans sa consommation d'énergie. Le gouvernement s'est fixé l'objectif de générer 11 % du total de l'électricité produite à partir de SER d'ici à 2016, puis 25 % d'ici à 2030⁴⁸. En 2012, cet objectif a été modifié dans le cadre du Plan solaire tunisien, qui prévoit une hausse de la part des SER de 30 % d'ici à 2030. 15 % de la production totale d'électricité serait ainsi attribuables à l'énergie éolienne, 10 % à l'énergie solaire photovoltaïque et 5 % à l'énergie solaire concentrée⁴⁹. À cette fin, le pays planifie des appels d'offres pour l'exploitation des SER à hauteur de 3 500 MW et pour une valeur approximative de 3,5 milliards d'US\$ d'ici à 2030 (soit 350 MW par an au cours des dix prochaines années). Un tiers des capacités proviendront de parcs éoliens et deux tiers d'installations solaires photovoltaïques⁵⁰.

L'exploitation de l'énergie hydraulique est également prévue, l'installation d'une centrale à réserve pompée d'une capacité de 400 MW étant planifiée pour 2020 sur l'oued el Melah⁵¹.

La Tunisie vise en outre à renforcer l'efficacité énergétique d'ici à 2020 en réduisant de 1,4 % par an la demande en électricité par rapport à la consommation, sans prendre de mesures ou intervenir dans ce domaine.

De nouvelles lignes de transport nationales devraient également être construites dans le but d'acheminer l'électricité produite à partir de SER dans le sud vers les principaux foyers de demande du nord⁵². Le tableau 22 présente certaines des lignes de transport d'électricité prévues pour 2023 et les installations solaires photovoltaïques qui leur sont associées.

Tableau 22 : Lignes de transport et installations solaires photovoltaïques privées devant être construites d'ici à 2023.

Emplacement	Technologie	Capacités de l'installation (MW)	Longueur de la ligne (km)
Metbasta (Kairouan)	Énergie solaire photovoltaïque	100	8
Mezzouna 2 (Sidi Bouzid)	Énergie solaire photovoltaïque	50	1,5
Segdoud (Gafsa)	Énergie solaire photovoltaïque	100	30
Tozeur 2 (Tozeur)	Énergie solaire photovoltaïque	50	2,5
Borj Bourguiba (Tataouine)	Énergie solaire photovoltaïque	200	100

Source : Banque mondiale, 2019.

⁴⁸ AIE, 2014.

⁴⁹ Cherif, M., 2016.

⁵⁰ International Trade Administration, 2019.

⁵¹ STEG, 2014.

⁵² Banque mondiale, 2019.

Tarif d'achat par la STEG d'électricité produite à partir de SER

En 2009, la Tunisie a adopté un décret fixant les règles de la vente d'électricité provenant de sources renouvelables à la STEG. Ces règles permettent aux autoproducteurs d'électricité à partir de SER appartenant aux secteurs industriel, agricole et commercial à vendre leurs excédents d'énergie à la STEG (en quantités équivalentes à jusqu'à 30 % de la production d'électricité annuelle du pays). Le tarif d'achat est établi par le Ministère de l'énergie et les coûts de raccordement au réseau sont à la charge des producteurs d'électricité provenant de sources renouvelables⁵³.

Libye

Prévisions de la demande d'électricité

En raison de l'instabilité politique en Libye, il est difficile d'anticiper l'évolution de la demande en électricité au cours des prochaines années. Il est cependant possible d'affirmer que, si le pays parvient à la stabilité politique, la demande d'électricité pourrait être tirée vers le haut par l'urbanisation, la croissance économique et de la population, l'industrialisation et la construction de nouvelles infrastructures⁵⁴. Le taux d'accroissement de la demande en électricité serait alors compris entre 7 % et 13 %⁵⁵.

Objectifs et plans énergétiques nationaux

En tant qu'un des premiers producteurs pétroliers mondiaux, la Libye continuera probablement d'utiliser le pétrole et le gaz comme principales sources de production d'électricité. Cependant, le pays planifie de renforcer le secteur de l'exploitation des SER et d'augmenter leur part dans la production d'énergie.

Les objectifs en la matière sont définis dans son plan stratégique pour les énergies renouvelables 2013-2025, qui prévoit l'exploitation des énergies solaire et éolienne parmi les sources renouvelables, en raison de leur grande disponibilité dans le pays. Pour résumer, le plan vise à établir la part des SER dans la production d'électricité à 7 % en 2020 et à 10 % en 2025⁵⁶. La figure 38 détaille les capacités visées par type d'énergie.

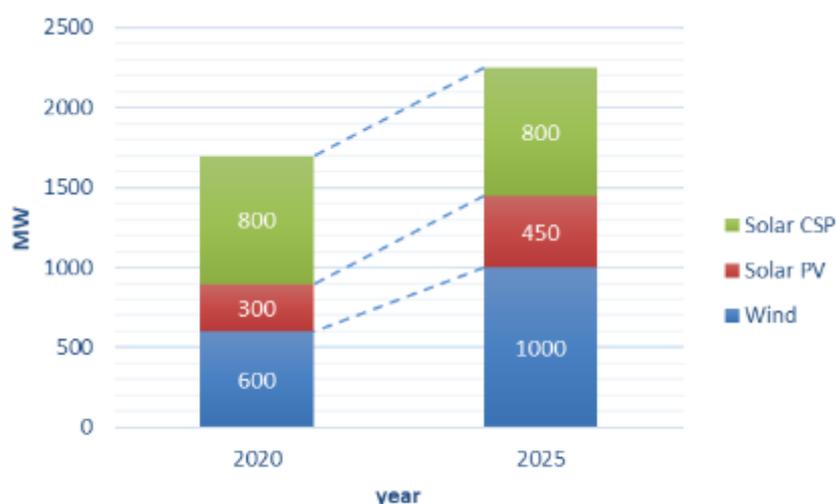
⁵³ AIE/IRENA, 2009.

⁵⁴ Al-Hashmi et al., 2017.

⁵⁵ AIE, 2016.

⁵⁶ AIE/IRENA, 2016.

Figure 38 : Capacités d'exploitation des SER visées par année en Libye



Source : AIE/IRENA, 2016.

1.7. Environnement et services écosystémiques

1.7.1. Caractéristiques biogéographiques du SASS

La zone d'influence du SASS compte plusieurs écosystèmes naturels (garâas, sebkhas, chotts, etc.)⁵⁷ et artificiels (oasis, etc.)⁵⁸ répartis dans différentes zones biogéographiques. Ces zones peuvent être réparties dans les quatre zones suivantes :

- ◆ La bande côtière le long de la mer méditerranéenne, au sud de laquelle s'étend la plaine de la Djefara ;
- ◆ Les djebels (ou montagnes), généralement rocheux et caillouteux, interceptés fréquemment par de nombreux oueds ;
- ◆ Les zones semi-désertiques, représentant la zone de transition entre les djebels et la zone désertique ;
- ◆ Le désert, composé de dunes de sable et de collines nues et graveleuses sur des plaines.

1.7.2. Écosystèmes et habitats du SASS

1.7.2.1. Écosystèmes à l'échelle nationale des trois pays

Les trois pays du SASS sont riches en diversité biologique. Cela est dû à la conjugaison de plusieurs facteurs : leur position géographique, leur grande diversité bioclimatique, leur géologie et les reliefs qui les constituent. À cette diversité géologique et bioclimatique se superpose une grande diversité bioécologique.

En Algérie, on distingue six types différents d'écosystèmes^{59,60} :

⁵⁷ Voir la définition dans la partie « Écosystèmes »

⁵⁸ Voir la définition dans la partie « Écosystèmes »

⁵⁹ Ministère de l'aménagement du territoire de l'environnement et du tourisme, 2019.

⁶⁰ Ministère du développement régional et environnemental, 2014.

- Les écosystèmes sahariens représentant 85 % de la superficie de l'Algérie ;
- Les steppes représentant 10 % de la superficie totale ;
- Les écosystèmes montagneux représentant 3,66 % de la superficie totale ;
- Les forêts représentant 1,7 % de la superficie totale ;
- Les écosystèmes marins et côtiers représentant 1 % de la superficie totale ;
- Et enfin les écosystèmes des zones humides représentant 0,07 % de la superficie totale.

Les écosystèmes les plus dégradés sont les écosystèmes côtiers, les forêts, les zones humides et les steppes⁶¹. On estime que, depuis 1989, la végétation de la steppe naturelle a diminué de 50 %⁶². Les pressions exercées sur ces écosystèmes sont dues à la surexploitation et à la pollution.

En Tunisie, les écosystèmes les plus importants sont :

- Les écosystèmes montagneux et forestiers, représentant 13 % de la superficie totale, essentiellement concentrés dans les chaînes de montagnes du Tell et sur les hauts massifs de la Dorsale au Nord ;
- Les *steppes*, étendues dans les zones du centre et du sud du pays⁶³ ;
- L'*écosystème oasien*, se situant au sud et qui couvre une zone d'environ 40 803 ha ;
- Les *zones humides*, représentant 5 % de la superficie totale⁶⁴, dont les sebkhas qui sont les plus répandues ;
- Et les écosystèmes désertiques représentant environ 40 % de la superficie totale.

La surexploitation des pâturages, des steppes et des forêts, la sécheresse, la désertification, l'érosion et le changement climatique menacent les écosystèmes tunisiens. Le défrichage et le surpâturage ont entraîné une érosion des sols, une dégradation de la couverture végétale et une désertification croissante⁶⁵. La perte de terres agricoles due à la désertification est estimée à 20 000 ha par année⁶⁶.

En Libye, il existe de nombreux écosystèmes allant de l'environnement côtier aux plaines verdoyantes du nord-est et aux hautes terres du nord-ouest, en passant par les écosystèmes désertiques et semi-désertiques abritant des oasis et des vallées⁶⁷. Trois zones riches en biodiversité représentent plus de 75 % de la diversité des espèces : jebel Nafusah, jebel Tibesti et jebel Al Akhdhar, situées dans la province de Cyrénaïque⁶⁸. La majeure partie de la surface est désertique ou semi-désertique. Seules certaines zones côtières ont une végétation extensive, tandis que la végétation intérieure ne se concentre que dans les oasis.

Fondamentalement, il existe quatre écosystèmes en Libye⁶⁹ :

- Les écosystèmes côtiers et marins qui peuvent s'étendre sur 120 km dans l'ouest du pays au niveau de la plaine de la Djefara ;
- Les écosystèmes montagnards constitués de deux zones montagneuses principales : jebel Nafusah au nord-ouest et jebel Al Akhdhar au nord-est, ainsi que d'autres montagnes, notamment celles de Haruj, Laouinet et Akakaws ;

⁶¹ Ministère du développement régional et environnemental, 2014.

⁶² Informations disponibles à l'adresse suivante : <https://www.cbd.int/countries/profile/default.shtml?country=dz#facts>

⁶³ Informations disponibles sur le site de la Convention sur la diversité biologique, « Tunisie – Profil Pays »

⁶⁴ Ministère de l'environnement et de développement durable, 2015.

⁶⁵ FAO, 2019.

⁶⁶ Ministère de l'environnement, 2012.

⁶⁷ Toschi A., 1969.

⁶⁸ Ahmed M. H. et al., 2018.

⁶⁹ Convention sur la diversité biologique, 2019.

- Les écosystèmes semi-désertiques, situés au sud des montagnes et représentant la principale zone de pâturage ;
- Et enfin des écosystèmes désertiques, qui constituent la majeure partie du pays, où le désert est sableux, caillouteux ou volcanique. En raison de la rareté des précipitations, la biodiversité se concentre principalement dans les oasis constituant cet écosystème.

1.7.2.2. Écosystèmes à l'échelle du SASS

Le domaine du SASS comprend des écosystèmes très riches en flore et en faune. Il comprend au total 19 écosystèmes et 7 zones humides classées sites RAMSAR⁷⁰. Les écosystèmes sont répartis en général en trois grandes catégories : les agrosystèmes, les zones humides et les écosystèmes pastoraux.

Les agrosystèmes : Ils comprennent les oasis et l'agriculture sur terres sèches, principalement côtières et basées sur l'oléiculture. Ils sont irrigués par l'eau profonde des aquifères. Ces agrosystèmes diffèrent considérablement selon la zone et le pays dans lesquels ils se trouvent⁷¹.

Les oasis sont des zones à fortes activités agricoles et pastorales rattachées à l'exploitation rationnelle de l'eau souterraine des nappes et réparties équitablement entre les autochtones. L'écosystème oasien revêt un intérêt primordial pour les habitants de ces milieux, où les précipitations sont généralement inférieures à 10 mm/an. Plusieurs espèces végétales d'intérêt pastoral et médicinal existent en sus de la principale espèce et ressource qui est le palmier dattier. La faune est abondante et très variée ; on note la présence d'espèces menacées d'extinction telles que le fennec, la gazelle et le varan du désert. Les oasis sont aussi considérées comme des zones humides représentant par ailleurs des lieux d'hivernage et de nidification pour une importante population avifaune⁷².

Les zones humides : Extrêmement vulnérables et fragiles, tout en faisant l'objet d'une pression humaine considérable, les zones humides du Sahara sont constituées de terres humides mais aussi de plans d'eau naturels, divisés en « garâas », « sebkhas », « chotts » et plans d'eau⁷³ :

- ◆ Les garâas : La garâa est un terme propre à la zone saharienne qui se réfère à des petits plans d'eau (marais d'eau), d'origine naturelle ou anthropique, de surface relativement petite, où l'eau est stagnante et peu profonde dans des dépressions. Il s'agit d'un exemple type de zone humide naturelle classique de l'Afrique du Nord, généralement temporaire et provenant souvent de sources d'eau douce⁷⁴ ;
- ◆ Les sebkhas : Ce sont des dépressions peu profondes contenant de l'eau saline qui ne sèche que pendant les fortes vagues de chaleur. Leur superficie est moins importante que celle des chotts. Elles sont situées à des altitudes supérieures au niveau de la mer. Elles servent d'exutoires drainant les eaux d'une partie de la nappe phréatique et les crues des oueds⁷⁵ ;
- ◆ Les chotts : Ce sont des dépressions localisées dans les bas-fonds des bassins endoréiques. Leur profondeur ne dépasse pas quelques mètres lors de la période hivernale et diminue fortement lors de la période sèche. Ils sont situés à des altitudes inférieures au niveau de la mer. L'eau y est salée et provient du drainage des eaux d'irrigation des palmeraies ainsi que

⁷⁰ CEDARE *et al.*, 2015.

⁷¹ GWP-Med, 2015.

⁷² OSS, 2005. *Synthèse des zones humides au Sahara septentrional* (Algérie, Tunisie, Libye). Décembre 2005.

⁷³ GWP-Med, 2015.

⁷⁴ OSS, 2005.

⁷⁵ OSS, 2005.

des aquifères qui peuvent remonter à la surface par endroit⁷⁶. Le chott est un biotope adéquat pour l'avifaune transcontinentale, aussi bien sédentaire que transhumante. C'est également une source d'alimentation importante pour la faune et un lieu de frayère et d'alevinage ;

- ◆ Les plans d'eau : situés dans des bassins fermés, ils sont généralement alimentés par les eaux de drainage des palmeraies, elles-mêmes soutirées des nappes profondes. La qualité de l'eau de ces plans est douce à peu salée. La faune et la flore sont moins importantes, mais ces lieux sont toujours considérés comme des lieux de transit de l'avifaune.

Les zones humides sont des écosystèmes vulnérables. Ce sont des milieux de vie, avec un microclimat favorable à la biodiversité, dans un Sahara aride et xérique. Elles constituent un lieu d'habitat privilégié pour l'avifaune migratrice de la Méditerranée vers le Sahara notamment en période hivernale.

Les écosystèmes pastoraux : Ils comprennent les steppes et le désert ainsi que les « ergs » (milieu de dépôt constitué de dunes de sable) et les « regs » (milieu d'érosion constituant une surface caillouteuse). Ils vont des formations forestières dégradées aux environnements proches du désert. Habituellement, les écosystèmes pastoraux occupent des endroits plus favorables à l'agriculture et enregistrent, de ce fait, une pression due à la reconversion en terres de cultures⁷⁷.

1.7.2.3. Habitats dans le SASS

Les habitats les plus propices au maintien de la faune et de la flore au niveau de la zone d'influence du SASS sont surtout les oueds, les vallées sèches, les habitats dunaires (ergs), les plateaux pierreux (reg), les groupements des jebels, rocailles et massifs montagneux, les halipédes, les berges des chotts et des sebkhas (ou les littoraux), les roselières (phragmitaires, typhaies, scirpaies et jonchées), les prairies humides servant de zones de pâturage, les palmeraies, les formations de zones humides avec une végétation purement aquatique, les îlots, les seguias, les petits canaux d'irrigation, le réseau hydrique et les bassins d'accumulation.

1.7.3. Biodiversité et espèces importantes dans le SASS

La diversité biologique au niveau de la zone d'influence du SASS est marquée par l'existence de différentes espèces floristiques et la migration de plusieurs espèces fauniques (oiseaux d'eau), surtout en hiver.

1.7.3.1. Flore du SASS

La flore est différente selon qu'il s'agisse d'une zone humide à eau douce (oasis) ou à eau salée (chotts, sebkhas). Dans le premier cas, les zones humides adjacentes aux oasis sont riches en plantes aquatiques, tandis que la flore des bordures des chotts et sebkhas est constituée essentiellement de salicornes. Les sols, peu évolués ou halomorphes, sont représentés le plus souvent par des hyperhalophiles ou gypso-psammophiles sur cryptosolontchaks.

La distribution de la flore est conditionnée par l'hydrophilie et la salinité du sol. Elle reste néanmoins très peu étudiée et peu recensée. La liste des espèces floristiques de la zone du SASS est donnée en annexe 1.

⁷⁶ OSS, 2005.

⁷⁷ GWP-Med, 2015.

1.7.3.2. Faune du SASS

La faune de la zone du SASS est très riche malgré un environnement aride et hostile. Les oiseaux migrateurs (canards, foulques, limicoles, flamants roses, passereaux, etc.) et sédentaires (à l'image de l'outarde Houbara, représentative de la région) constituent l'élément le plus important. Il s'agit, en effet, d'un milieu propice à la faune migratrice en période automnale et hivernale. La liste des espèces d'oiseaux de la zone du SASS est donnée en annexe 2.

La zone du SASS est le terrain d'accueil par excellence de certaines espèces menacées (fennec et gazelles). Cependant, les mammifères (chacals, renards, rongeurs, etc.) et les reptiles y trouvent également un milieu propice à leur développement. Il faut signaler que les invertébrés de ces zones sont encore assez mal connus et que la faune reste en général très peu étudiée. Ichtyofaune, herpétofaune et entomofaune sont encore peu connues. La liste des espèces fauniques de la zone du SASS (batraciens, mammifères, poissons, reptiles) est dressée en annexe 3.

1.7.4. Aires protégées du SASS

Les aires protégées sont définies comme tout espace géographique reconnu et géré par tout moyen et dont la finalité principale est la conservation de la diversité biologique, d'un écosystème ou d'un élément de faune, de flore ou d'un paysage⁷⁸.

Les aires protégées d'Afrique renferment une grande biodiversité animale et végétale, y compris des espèces rares ou endémiques, ainsi qu'une grande variété d'écosystèmes. Malheureusement, les aires protégées, ainsi que les services écosystémiques associés qu'elles génèrent, font face à des pressions croissantes, telles que la chasse illégale, la surexploitation, le changement climatique, etc.⁷⁹.

L'Algérie compte 24 aires protégées, couvrant une superficie de près de 86 593 065 ha, soit 36,5 % du territoire national. Ces aires classées sont réparties sur l'ensemble du territoire. Il s'agit essentiellement de parcs nationaux, de réserves de la biosphère, de réserves naturelles et de sanctuaires. On peut citer 10 parcs nationaux, couvrant une superficie de 56 565 361 ha, soit une proportion de 23,8 % du territoire national ; 5 réserves naturelles, d'une superficie de près de 39 484 ha ; 4 réserves de 50 700 ha de superficie⁸⁰ et 50 zones humides d'importance internationale (Ramsar).

En Tunisie, la protection des écosystèmes contre une aggravation de leur dégradation revêt une grande importance ; ceci transparait à travers les actions du pays pour la mise en œuvre progressive d'une politique de sauvegarde et de conservation de ses ressources naturelles par la création d'aires protégées permettant la préservation de certains sites naturels à haute valeur environnementale et des écosystèmes fragiles. En 2018, la Tunisie comptait⁸¹ 17 parcs nationaux, d'une superficie totale de 541 105 ha ; 27 réserves naturelles, d'une superficie de 92 186 ha ; 4 réserves de faune et 41 zones humides d'importance internationale (Ramsar).

⁷⁸ Abid H., 2013.

⁷⁹ IUCN. <https://www.iucn.org/fr/r%C3%A9gions/afrique-centrale-et-occidentale/notre-travail/programme-th%C3%A9matique-r%C3%A9gional-aires-prot%C3%A9g%C3%A9es-ptr-ap/th%C3%A9matiques-et-projets/formations-en-gestion-des-aires-prot%C3%A9g%C3%A9es>

⁷⁹ Argeliamanece, n.d.

⁸¹ Ministère de l'équipement et de l'environnement, 2015.

La Libye compte les aires protégées suivantes^{82,83} : 7 parcs nationaux, 5 réserves naturelles, 26 autres aires protégées et 2 zones humides d'importance internationale (Ramsar).

1.7.4.1. Parcs nationaux dans le SASS

Un parc national est un territoire relativement étendu qui présente un ou plusieurs écosystèmes généralement peu ou pas transformés par l'exploitation et l'occupation humaines, où les espèces végétales et animales, les sites géomorphologiques et les habitats offrent un intérêt spécial du point de vue scientifique, éducatif et récréatif, ou dans lesquels existent des paysages naturels de grande valeur esthétique⁸⁴. Le tableau 23 expose les différents parcs nationaux existant dans la zone du SASS.

Tableau 23 : Parcs nationaux de la zone du SASS (Tunisie et Libye)

Parc national	Année de création	Superficie (ha)	Gouvernorat/Wilaya
Tunisie			
Jbil	1994	150 000	Kébili
Dghoumès	2010	8 000	Tozeur
Sidi Toui	2010	6 315	Médenine
Senghar-Jabess	2010	2 870	Tataouine
Libye			
Abughilan		4 500	60 km au sud de Tripoli
El Kauf			Jebel Al Akhdhar
Karabolli			
Kouf		8 000	1 200 km à l'est de Tripoli
Naggaza			
Rajma		1 450	
Sirman			51 km à l'ouest de Tripoli

Source : Compilation des auteurs.

1.7.4.2. Réserves naturelles dans le SASS

Une réserve naturelle est un site peu étendu ayant pour but le maintien de l'existence d'espèces individuelles ou de groupes d'espèces naturelles, animales ou végétales, ainsi que leur habitat et la conservation d'espèces de faune migratrice d'importance nationale ou mondiale⁸⁵. Le tableau 24 expose les différentes réserves naturelles de la zone du SASS.

Tableau 24 : Réserves naturelles de la zone du SASS en Tunisie et Libye

⁸² Khatabi, K. 1993.

⁸³ Goodland R., 2013.

⁸⁴ Chapitre III du Code forestier tunisien, Loi n° 88-20 du 13 avril 1988.

⁸⁵ Chapitre III du Code forestier tunisien, Loi n° 88-20 du 13 avril 1988.

Réserve naturelle	Année de création	Superficie (ha)	Gouvernorat/Wilaya
Tunisie			
Khechem El Kelb	1993	307	Kasserine
Ettella	1993	96	Kasserine
Oued Dkouk	2009	5 750	Tataouine
Bassin versant de l'oued Gabès	2010	523	Gabès
Libye			
Bir Ayad		12 000	150 km au sud-ouest de Tripoli
New Hiesha Natural Reserve		100 000	300 km à l'est de Tripoli
Tripoli			
Zellaf			

Source : Compilation des auteurs.

1.7.4.3. Sites Ramsar dans le SASS

Signée en février 1971, la Convention de Ramsar fournit un cadre spécifique à la coopération internationale pour la conservation et l'utilisation durable des zones humides et de leurs ressources.

La Convention Ramsar a adopté une définition large des zones humides comprenant tous les lacs et cours d'eau, les aquifères souterrains, les marécages et marais, les prairies humides, les tourbières, les oasis, les estuaires, les deltas et étendues intertidales, les mangroves et autres zones côtières, les récifs coralliens et tous les sites artificiels, tels que les étangs de pisciculture, les rizières, les retenues et les marais salés⁸⁶. Une trentaine de sites sont classés Ramsar dans le bassin du SASS (8 en Algérie, 20 en Tunisie, 2 en Libye). La liste des différents sites Ramsar de la zone du SASS est donnée en annexe 4.

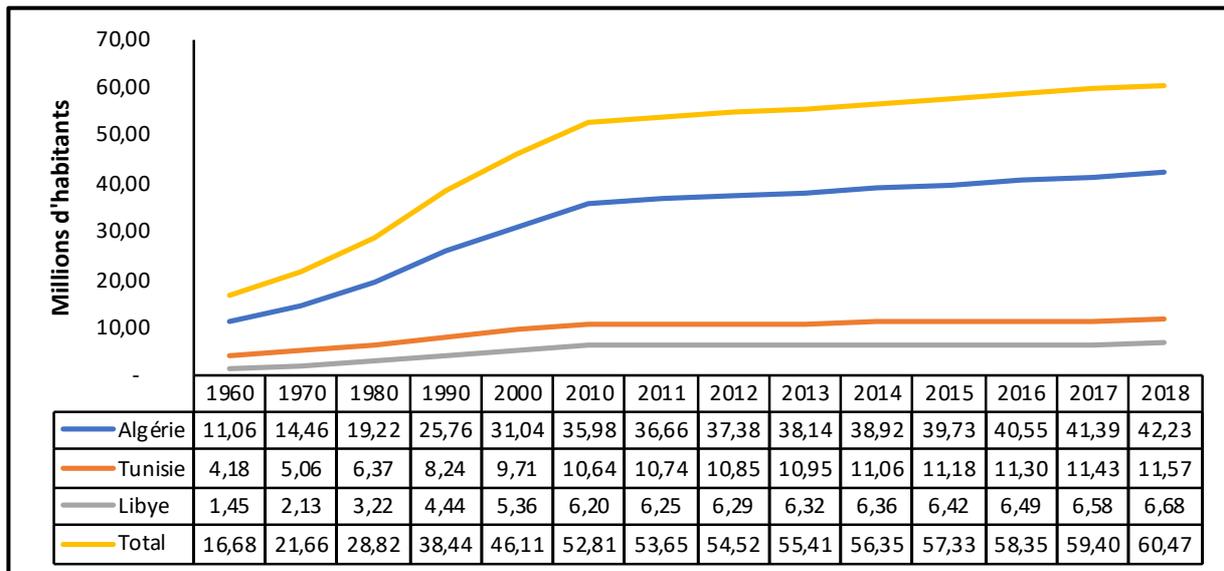
2. Situation socioéconomique et principales utilisations des ressources dans le SASS

2.1. Population

Selon la base de données de la Banque mondiale, la population totale des trois pays du SASS (Algérie, Libye et Tunisie) a presque quadruplé en 60 ans. Elle est passée de 17 millions d'habitants en 1960 à plus de 60 millions en 2018. La répartition de la population entre les trois pays montre que l'Algérie est la plus peuplée avec 70 % de la population totale, suivie par la Tunisie avec 19 % et enfin par la Libye avec 11 % (figure 39).

⁸⁶ <https://www.ramsar.org/>

Figure 39 : Évolution de la population dans les trois pays du SASS



Source : Banque mondiale, 2019.

D'après les données disponibles en 2018⁸⁷, la densité de la population par pays variait entre 4 habitants/km² en Libye et 74 habitants/km² en Tunisie. L'Algérie, quant à elle, comptait 18 habitants/km². La population habitant les principales régions du SASS par pays représente 8 % de la population nationale en Algérie, 12 % en Tunisie et 19 % en Libye (tableau 25).

Tableau 25 : Répartition de la population dans la zone du SASS en 2000.

	Algérie	Tunisie	Libye	Total
Population du bassin	2 600 000	1 000 000	1 200 000	4 800 000
Population totale du pays	39 666 519	11 107 800	6 278 438	57 852 757
Part de la population du bassin SASS / population totale du pays	7 %	9 %	19 %	8 %
Part de la population du bassin / population totale des 3 pays dans le bassin	54 %	21 %	25 %	100 %

Source : GWP-Med, 2015

Les prévisions de l'évolution de cette population par pays et au niveau du SASS sont données dans le tableau 26. Notons à cet égard que la population atteindra probablement 88 millions d'habitants en 2050, soit une augmentation de plus de 80 %.

⁸⁷ <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/EN.POP.DNST>

Tableau 26 : Projection démographique des habitants de la zone SASS par pays

	2000	2020	2050
Algérie	2,6	3,7	4,8
Libye	1	1,8	2,3
Tunisie	1,2	1,5	1,7
Total bassin	4,8	7,0	8,8

Source : OSS, 2014.

De plus, la densité de la population est très variable d'un gouvernorat/wilaya à l'autre (tableau 27). La plus forte densité est enregistrée à Gabès (Tunisie) avec 51 habitants/km² et la plus faible densité avec 1 habitant/km² à Adrar (Algérie). Ceci s'explique par l'étendue des zones sahariennes comparées aux zones littorales, a fortiori lorsqu'il s'agit des villes côtières, caractérisées par des taux de concentration élevés. En Algérie, l'écart observé entre la densité nationale et celle de sa zone du SASS est également lié à l'étendue du territoire.

Tableau 27 : Population et densité dans les principales régions de la zone du SASS en Algérie et en Tunisie.

Pays	Gouvernorat/Wilaya	Population (2010-2011)	Superficie (Km ²)	Densité (habitants/Km ²)
Algérie	Biskra	775 797	21 671	36
	El Oued	558 563	45 163	12
	Adrar	406 318	427 368	1
	Ouargla	558 563	211 980	3
	Ghardaïa	363 598	86 105	4
	Total	2 662 839	792 287	3
Tunisie	Tataouine	149 200	38 889	4
	Médenine	462 700	9 167	50
	Gabès	368 500	7 166	51
	Kébili	152 900	22 454	7
	Tozeur	105 500	5 593	19
	Gafsa	343 700	7 807	44
	Total	1 582 500	91 076	17

Source : GWP-Med. 2015. Données non disponibles pour la Libye

2.2. Établissements et ménages

L'augmentation de la population dans la zone du SASS s'accompagne d'une forte urbanisation. En Tunisie, par exemple, le taux moyen d'urbanisation dans les cinq gouvernorats que compte la zone du SASS dans ce pays est de l'ordre de 68 %⁸⁸. Il est comparable dans les principales régions du SASS en Algérie (Biskra, El Oued, Adrar, Ouargla, Ghardaïa). Cette forte urbanisation se matérialise dans la wilaya de Ghardaïa par le nombre et l'étendue des communes urbaines, à savoir 8 communes (64 426 km²) sur un total de 13 (85 560 km²) ; c'est ainsi 75% de la superficie de la wilaya qui est urbaine⁸⁹. Le taux d'urbanisation dans ces régions atteindra 73 % de la population en 2030⁹⁰. Cette projection de la population induit une demande croissante en eau domestique.

⁸⁸ ODS, 2018.

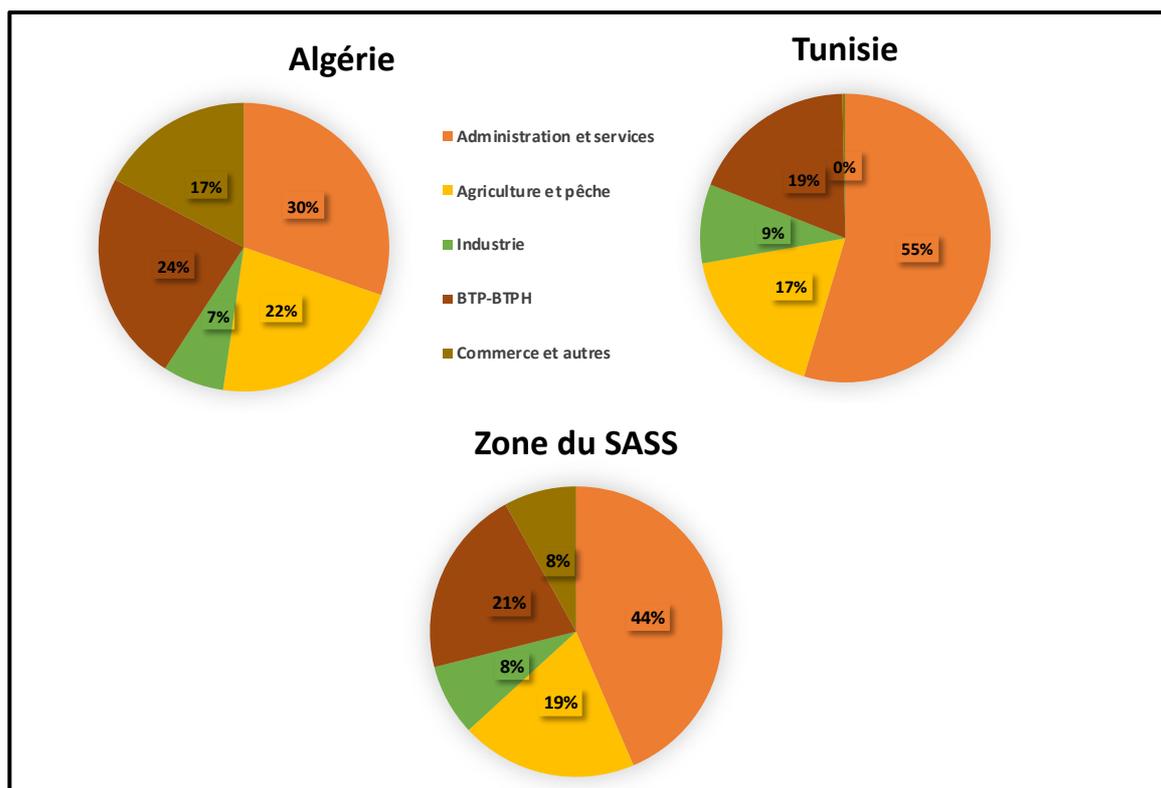
⁸⁹ DSA, 2018a.

⁹⁰ OSS, 2008.

La population active de la Tunisie et de l'Algérie, pays qui représentent 89 % des activités de la zone du SASS (figure 40), se concentre essentiellement dans les secteurs des services (publics et privés), dans la branche Bâtiment, travaux publics et hydrauliques (BTP-BTPH) et dans l'agriculture. Pour ces deux pays, 84 % de la population active de la région du SASS est employée dans l'un ces trois secteurs.

Le secteur agricole occupe respectivement la deuxième place en Algérie, employant 22 % de la population active, et la troisième place en Tunisie, comptant 17 % de la population active. Regroupant 21 % de la population active, le secteur du BTP-BTPH est le deuxième employeur dans la zone du SASS (principalement en Algérie).

Figure 40 : Répartition de la population active par secteur dans la zone du SASS en Algérie et en Tunisie



Sources : Compilation des auteurs à partir d'ANIREF, 2013 ; DSA, 2018 et ODS, 2018. Données non disponibles pour la Libye.

2.3. Utilisation sectorielle de l'eau dans le SASS

La demande totale en eau n'a cessé de s'accroître durant les dernières décennies dans les trois pays de la zone du SASS. Cette tendance à la hausse de la demande en eau se traduit par des prélèvements accrus d'eau souterraine. Ils sont ainsi passés de 0,3 milliard m³/an en 1950 à 3 milliards m³/an en 2019, impliquant au passage la surexploitation de la ressource depuis les années 1980, avec un dépassement du seuil de recharge estimé à 1 milliard m³/an.

L'allocation sectorielle de l'eau en 2010 dans la zone du SASS⁹¹ révèle que l'agriculture est le secteur d'activité le plus dépendant des eaux souterraines dans les trois pays, à hauteur de 67 % pour l'Algérie, 82,8 % pour la Libye et 95 % pour la Tunisie. L'eau domestique (eau potable et destinée au secteur du tourisme) vient en deuxième position avec 21 % en Algérie, 11 % en Libye et 3 % en Tunisie, alors que

⁹¹ GWP-Med, 2015.

l'eau prélevée par le secteur de l'industrie ne représente qu'environ 11,5 %, 1 % et 2 % dans les trois pays respectifs.

Selon les prévisions tendanciennes effectuées dans le cadre de l'étude WACDEP, cette allocation de l'utilisation des eaux du SASS par secteur devrait conserver la même structure pour les dix prochaines années avec des pourcentages légèrement différents reflétant le niveau de développement des secteurs par pays. Le tableau 28 reprend ces évolutions des besoins sectoriels à l'horizon 2030.

Tableau 28 : Évolution de la répartition sectorielle des besoins en eau par pays et pour la zone SASS en m³/an.

Besoins domestiques				
Années	Algérie	Libye	Tunisie	Total SASS
2000	483	57	9	549
2010	610	96	12	718
2020	756	128	15	899
2030	967	170	18	1154
Besoins industriels				
Années	Algérie	Libye	Tunisie	Total SASS
2000	280	5	10	295
2010	333	7	10	350
2020	387	9	10	406
2030	440	11	10	461
Besoins en eau d'irrigation				
Années	Algérie	Libye	Tunisie	Total SASS
2000	698	540	448	1686
2010	1943	716	448	3170
2020	2746	1087	406	4239
2030	3702	1261	487	5450
Besoins totaux en eau				
Années	Algérie	Libye	Tunisie	Total SASS
2000	2207	602	469	2676
2010	2886		470	4175
2020	3942	1087	406	5435
2030	5109	1442	515	7066

Source : GWP-Med, 2015.

2.4. Agriculture

Les superficies irriguées des trois pays dans la zone du SASS sont estimées à environ 170 000 ha pour l'Algérie et à 40 000 ha pour la Libye aussi bien que pour la Tunisie. La superficie irriguée moyenne par exploitant dans la zone SASS est de l'ordre de 4,2 ha. Elle est plus vaste en Libye avec une moyenne de 6 ha, suivie de l'Algérie (5,1 ha). En Tunisie, le capital foncier est plus morcelé avec une moyenne de 1,8 ha par exploitant, soit un taux bien inférieur à la moyenne de la zone SASS. L'intégration de l'élevage est plus importante en Libye où cette activité représente 27,9 % de la recette totale agricole de l'exploitant. En Tunisie, la recette provenant de l'élevage est inférieure à 10 %, bien en deçà de la moyenne de la zone, 17,72 % (tableau 29).

Tableau 29 : Superficie irriguée moyenne par exploitation dans la zone SASS et importance de l'élevage en % de la recette agricole

	Moyenne SASS	Accès à l'eau			Algérie	Libye	Tunisie
		Privé	Collectif	Gratuit			
Superficie irriguée moyenne (ha)	4,2	6	2,6	0,85	5,1	6	1,8
Importance de l'élevage (% de la recette agricole)	17,72	19,7	12,94	30,85	14,9	27,9	9,4

Source : OSS, 2015.

Les modes d'irrigation sont variables, mais on trouve majoritairement la technique gravitaire traditionnelle dans les oasis. L'irrigation par submersion est aussi utilisée, ainsi que l'irrigation par aspersion ou par pivot pour les céréales. L'irrigation localisée et le système goutte à goutte, sous serre notamment, ont été introduits plus récemment.

2.4.1. Principaux systèmes agraires, modes d'accès et modalités d'usage de l'eau

2.4.1.1. Agrosystèmes algériens

Dans les régions sahariennes, l'agriculture se distingue par deux systèmes agraires⁹² :

- Les oasis traditionnelles qui se caractérisent par une agriculture de subsistance avec un système agricole à 3 étages (palmiers, arbres fruitiers et cultures annuelles). L'élevage familial est également très répandu avec des cheptels de petite taille. Les palmeraies sont caractérisées par des variétés locales de palmiers, une forte densité des arbres, un agencement asymétrique et une structure d'âge très hétérogène de ces derniers. Les jardins privés sont morcelés en de très petites parcelles (moins de 1 ha), reflétant les pratiques sociales associées à l'héritage. Ces oasis sont irriguées selon des procédés traditionnels par seguia (canal d'irrigation à ciel ouvert). Toutefois, les différentes formes de mobilisation ancestrale de l'eau dans le Sahara et sa distribution dans l'espace ont façonné différentes structures agraires oasiennes. Nous pouvons distinguer quatre types d'agrosystèmes oasiens en Algérie en fonction de la ressource en eau mobilisée⁹³ :

- Les oasis situées dans les dépressions de l'erg, où l'eau d'irrigation est extraite de la nappe phréatique par puits et forage (Oasis de Ouargla) ;

- Les oasis situées dans des Ghouts, où l'eau d'irrigation est puisée par capillarité (Oasis d'El Oued) ;

- Les oasis fluviales, approvisionnées en eau provenant des oueds (Oasis de Sidi Okba à Biksra, du M'Zab à Ghardaïa) ;

- Les oasis de dépression alimentées en eau par les foggaras (Oasis de Taouat, Gourara et Tidikelt à Adrar).

Les oasis subissent une forte urbanisation avec plusieurs impacts négatifs comme le morcellement des jardins, la perte des terres agricoles, la pollution et la remontée des eaux des nappes phréatiques causée par le manque et/ou la défaillance du réseau de drainage, etc.

⁹² Amichi, 2019 ; Bisson, 1991 ; Hamamouche, 2017 ; Hamamouche *et al.*, 2018, 2015 ; Khene, 2013

⁹³ Kouzmine, 2012.

- Créées principalement dans le cadre de la mise en valeur des terres agricoles et des différents programmes de développement, les nouvelles extensions agricoles sont basées exclusivement sur l'exploitation individuelle des ressources en eau souterraine. Une étude récemment menée dans la région de Biskra a montré que 95 % des forages agricoles de la commune d'El Ghrouss et une partie d'El Doucen (1 320 forages) sont connectés au réseau électrique (Amichi, 2019 ; Amichi *et al.*, 2019). Ainsi, ces forages ont permis d'irriguer 470 ha de serres et 4 800 ha de palmeraies (Massuel *et al.*, 2017).

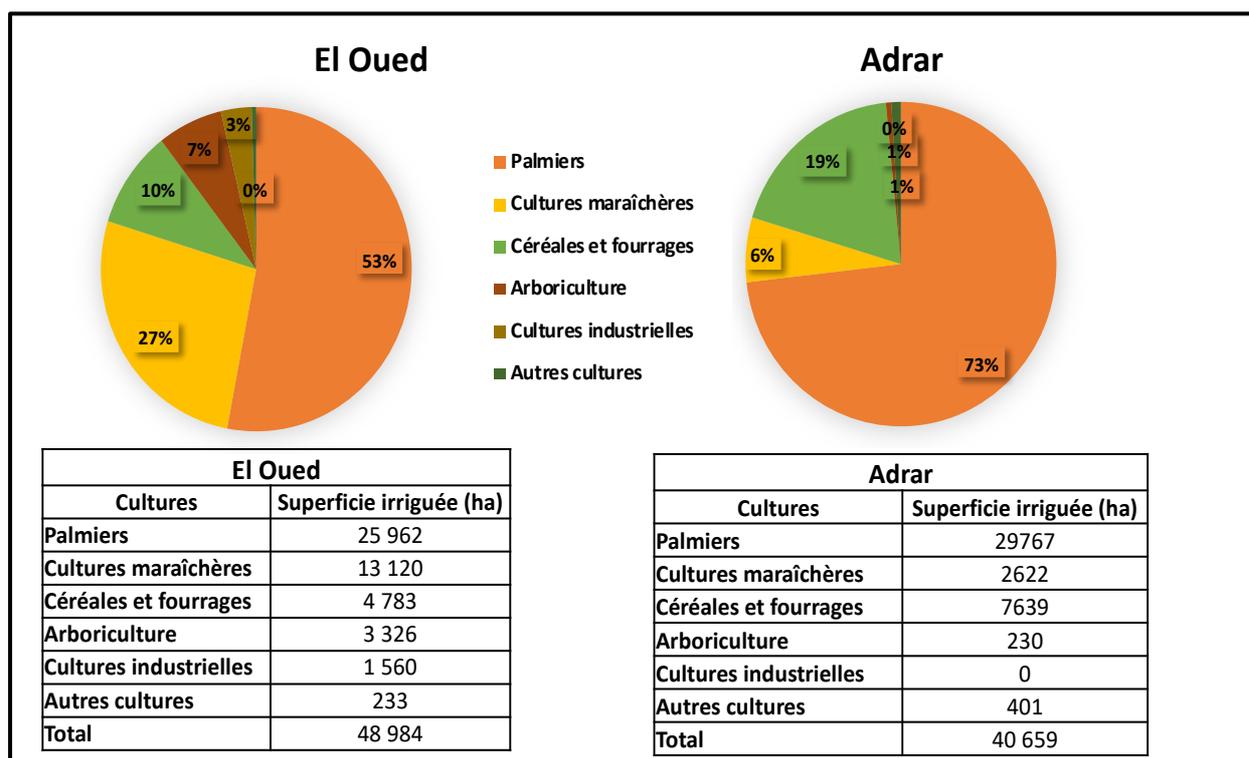
Au sein de ces nouveaux développements, deux modèles d'agriculture se distinguent :

- Considéré comme une extension de l'espace agricole des oasis, le premier modèle d'« agriculture préurbaine » se retrouve principalement à la périphérie des anciennes oasis. L'agriculture pratiquée est orientée principalement vers la paysannerie. Ces nouvelles terres ont été, le plus souvent, appropriées informellement par les oasiens à partir des années 1960. Ces terres ont été par la suite régularisées dans le cadre de l'accession à la propriété foncière agricole (APFA). En même temps, les programmes agraires (APFA et concessions) ont encouragé l'extension de la superficie agricole à proximité des ksour et des anciennes palmeraies. Les exploitations agricoles sont de petite taille (1 à 3 ha), mais cette fois-ci plus structurées. L'agriculture pratiquée est diversifiée et relativement semi-intensive, donc plus rentable. Le palmier dattier constitue la spéculation de base.
- Le deuxième modèle « agriculture intensive » se rencontre principalement dans les périmètres agricoles de mise en valeur. Ces périmètres ont été créés loin des agglomérations à partir des années 1980 dans le cadre de l'APFA, puis dans le cadre des programmes de concessions des années 1990 et 2000. Ce système agraire est le plus répandu dans les principales régions de la zone du SASS. Son développement a été rendu possible par l'énorme potentiel foncier et hydrique (eaux souterraines profondes) que renferment les cinq wilayas faisant partie de la zone du SASS. À titre d'illustration, les données spécifiques aux wilayas d'El Oued et d'Adrar sont données dans la figure 41.

L'aménagement de nouveaux espaces agricoles oasiens a permis d'étendre la superficie cultivée dans les régions sahariennes d'environ 44 000 hectares en l'espace d'un peu plus d'une décennie (1988 à 2002) soit un taux d'accroissement de 84 %⁹⁴.

⁹⁴ GWP-Med, 2015.

Figure 41 : Principaux assolements dans la wilaya d'El Oued et d'Adrar



Source : Ministère des ressources en eau (MRE), 2008

Des techniques modernes d'irrigation sont utilisées dans ces zones d'extension. 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 de l'Oued. Au niveau de ces parcelles « circulaires », les pivots ont des dimensions très modestes (diamètre allant de 40 à 100 m), fabriqués localement selon des procédés artisanaux⁹⁵. Cette pratique de pivots concerne actuellement la quasi-totalité des sols de la région ; leur nombre est estimé à plus d'une douzaine de milliers. L'aspersion est également utilisée pour la céréaliculture et les cultures fourragères cultivées sur de petites superficies.

Dans les wilayas d'Adrar et de Biskra, l'irrigation est principalement individuelle, basée sur un accès privé à l'eau souterraine et à la terre. Elle présente 66 % de la SAU de la wilaya d'Adrar, soit 30 882 ha⁹⁶, et 70 % de la SAU de la wilaya de Biskra (84 285 ha)⁹⁷. Les terres irriguées restantes sont gérées collectivement par des communautés d'irrigation dans les anciennes oasis (soit 21 % de la superficie irriguée collective) ou directement par les bénéficiaires dans les superficies mises en valeur dans le cadre de programmes de développement agricole (9 % des superficies).

Par ailleurs, le diagnostic mené par l'OSS en 2015 pour une meilleure valorisation de l'eau d'irrigation dans le bassin du SASS a permis de formuler les constats suivants⁹⁸ :

- ◆ Lorsque le coût de l'eau n'est pas à la charge de l'exploitant, l'élasticité prix de la demande d'eau d'irrigation est de l'ordre de 0,06, ce qui montre que lorsque le prix de l'eau augmente

⁹⁵ GWP-Med, 2015; Rebai *et al.*, 2017

⁹⁶ Ministère des ressources en eau (MRE), 2008b.

⁹⁷ Hamamouche *et al.*, 2017

⁹⁸ OSS, 2015.

de 100 %, la demande correspondante n'accuse qu'une baisse insignifiante de 6 %. En revanche, lorsque le coût est directement supporté par l'irrigant et que le prix de l'eau augmente, sa demande en eau baisse substantiellement (entre 20 et 90 %).

- ◆ *La salinité de la ressource* : les résultats obtenus démontrent l'impact hautement négatif de la salinisation de la ressource sur la production de l'agriculture irriguée ainsi que sur la productivité de l'eau. La production baisserait de 150 % pour une augmentation de la salinité de l'eau utilisée de 100 %.
- ◆ *L'élasticité de la superficie* : si la superficie irriguée d'une exploitation double, sa production baisserait de 15 %. Ainsi, lorsque la taille de l'exploitation augmente, la productivité de l'eau diminue. Ce point crucial justifie une réforme agraire au profit des petites exploitations.
- ◆ *L'élasticité de l'agriculture sans élevage (ASE)*. Le résultat obtenu indique que lorsque l'irrigant exclut l'élevage de son exploitation, la productivité de l'eau allouée baisse de l'ordre de 33 %. Ce résultat illustre parfaitement la nécessité de prendre en compte la dimension de l'élevage dans ces régions.
- ◆ *L'impact de la disponibilité de l'exploitant* : lorsque l'exploitant n'a pas d'activité en dehors de l'agriculture, la productivité de la ressource en eau augmente de 22 %.
- ◆ *Les déterminants principaux de la production agricole irriguée* dans la zone SASS algérienne sont :
 - L'input eau avec une élasticité de l'ordre de 0,54 (une augmentation de 100 % dans les dépenses en eau par ha induit un accroissement de la production de 54 %) constitue une variable clé dans la gestion de la ressource dans ces régions démunies ;
 - La salinité avec une élasticité de l'ordre de -0,65 (une augmentation du taux de salinité de la ressource en eau de 100 % provoquerait une diminution de l'output global de 65 %).
- ◆ *Le type de réseau d'irrigation* (gratuit, collectif, individuel) : à l'échelle de l'Algérie, lorsque nous passons d'une eau gratuite à une eau hautement subventionnée (réseau collectif) puis à une source d'eau légèrement subventionnée (secteur privé), la productivité de l'eau augmente substantiellement.
- ◆ *En conclusion* : les paramètres qui ont un impact significatif et non négligeable sur la productivité économique de l'eau sont :
 - Le prix de la ressource ;
 - La salinité ;
 - La taille de l'exploitation ;
 - La main-d'œuvre familiale ;
 - La disponibilité du chef de l'exploitation pour le travail agricole ;
 - L'importance de l'élevage dans le revenu de l'exploitation.

Toute politique économique qui vise à l'amélioration de la qualité de la gestion actuelle de cette ressource précieuse dans un contexte hautement instable en vue d'assurer sa durabilité, doit intégrer d'une manière explicite toutes ces variables clés.

2.4.1.2. Agrosystèmes tunisiens

La zone agricole intégrée dans la région du SASS pourrait être subdivisée en quatre grandes régions assez homogènes⁹⁹ :

- **La région de Djefara** concerne dans ce contexte les deux gouvernorats de Médenine et de Tataouine. Cette région est de nature steppique, où les parcours dominent. L'agriculture dominante est plutôt extensive et orientée vers l'arboriculture en bour, principalement l'olivier. Dans cette région, l'agriculture irriguée est une activité récente, opérée sur des superficies encore très modestes

⁹⁹ Ferchichi, 2013 ; GIZ, 2009 ; GWP-Med, 2015 ; OSS et Matoussi, 2013

ne dépassant pas les 10 000 ha dans les deux gouvernorats. Cependant, l'élevage est une activité séculaire qui reste importante.

- **La région des oasis littorales** concerne essentiellement le Gouvernorat de Gabès. Cette région, très dynamique, connaît des changements structurels significatifs. L'agriculture, qui était essentiellement basée sur l'arboriculture (le palmier et le grenadier) et pratiquée en terrasses dans les anciennes oasis, subit actuellement des mutations profondes avec la croissance d'une agriculture intensive et semi-intensive en dehors des oasis traditionnelles. Dans cette région, comme un peu partout dans le Sahara, les oasis traditionnelles, qui étaient le pilier principal de l'activité agricole, sont aujourd'hui en déclin au profit de l'agriculture moderne hors oasis. Les oasis littorales sont caractérisées par un climat relativement doux et une humidité élevée. Le palmier dattier y constitue une culture secondaire (représentant 10 % environ de l'effectif total), mais il joue un rôle protecteur important contre les rayons solaires et la chaleur, permettant de cultiver une gamme élargie d'espèces fruitières et annuelles. On note dans les exploitations de ces oasis la présence d'élevages ovin et caprin.

- **La région des oasis continentales** (Gouvernorats de Kébili et de Tozeur). Cette région est orientée essentiellement vers l'agriculture oasienne où le palmier est dominant. Cette région doit son existence à l'irrigation intensive basée exclusivement sur les eaux souterraines peu renouvelables du SASS. Cette région est actuellement la plus menacée par la surexploitation et donc la plus vulnérable à la dégradation continue de cet aquifère vital. L'effectif de palmiers dans les oasis continentales représente 88,4 % de l'effectif national, avec une prédominance de la variété de dattes Deglet Nour, dont le nombre de pieds représente près de 97% de l'effectif total et la production 94,4% de la production totale de dattes. Le Nefzaoua abrite un grand nombre d'oasis et davantage de plantations récentes que le Jérid. Dans les anciennes oasis continentales, on rencontre dans les jardins phœnicocoles traditionnels, le palmier dattier qui est cultivé avec d'autres espèces fruitières diverses ainsi que des cultures annuelles maraichères et fourragères (trois étages de cultures). L'élevage ovin et caprin est souvent présent dans les exploitations, sauf dans celles où la production fourragère a été abandonnée et celles où l'exploitant (ou le khammès) a quitté l'oasis pour vivre en agglomération.

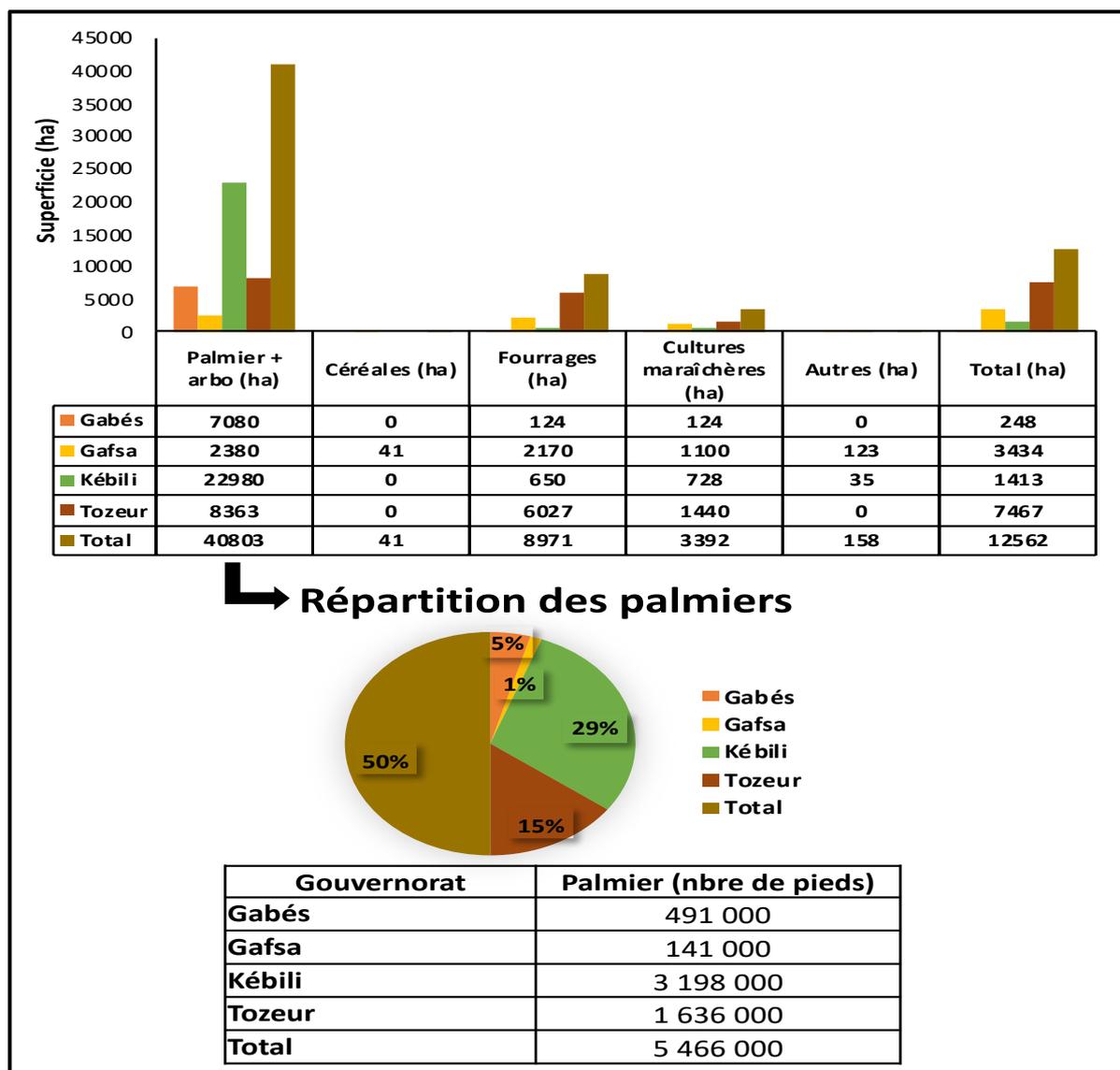
- **Les oasis d'altitude (ou de montagne)** sont situées à Gafsa, mais aussi dans le Jérid : Tameghza, Chebika et Midès. Elles se caractérisent par un hiver frais et une température cumulée durant la période de fructification des dattes ne permettant pas toujours à la variété Deglet Nour d'arriver à maturité. Le palmier dattier est donc relativement secondaire et est représenté par des variétés à valeur commerciale moindre que la Deglet Nour. Dans cette région, l'arboriculture et le maraichage sont les activités les plus répondues dans les oasis. On retrouve principalement l'olivier, l'abricotier, le pistachier, le figuier et le grenadier, avec la présence des variétés secondaires de palmier et parfois Deglet Nour. Ce système comprend également des cultures maraichères, condimentaires, céréalières, fourragères (luzerne en particulier) et industrielles (le henné et le tabac), ainsi que de l'élevage ovin, caprin et bovin.

Si l'on se réfère au mode de culture, les oasis tunisiennes se classent en deux types :

- **Les oasis traditionnelles** se caractérisent par le mélange d'un grand nombre de cultivars, avec une légère prédominance des variétés secondaires (53 % de variétés traditionnelles). Dans ces oasis se cultivent, sous les palmiers, diverses espèces fruitières et annuelles. Ces oasis traditionnelles occupent une superficie de 15 051 ha, soit 37 % de l'ensemble du terrain. Elles contiennent 46 % des palmiers dont la majorité est constituée de variétés communes avec une densité de plantation relativement forte de 166 pieds par ha (environ 300 pieds par ha à Kébili). Aux niveaux de l'étage moyen et de l'étage herbacé, on trouve une grande diversité d'espèces. Ces oasis sont caractérisées par un fort morcellement et par une faible taille des exploitations résultant des partages issus des héritages.

- **Les oasis modernes** occupent 25 752 ha (63 %) de la superficie totale des oasis. Elles sont caractérisées par une taille plus importante des exploitations. Les rapports de production dominants sont de type salarial et le mode de faire-valoir direct. Les oasis modernes sont plus ouvertes sur l'environnement socioéconomique que les oasis traditionnelles. Ces oasis renferment près de 3 millions de palmiers (55% de l'effectif total) et produisent 88 600 tonnes de dattes (55 % de la production totale). La culture de dattes Deglet Nour dans les oasis modernes est prépondérante avec 84,2 % de l'effectif total de palmiers dans ce type d'oasis, contre 15,8 % de variétés secondaires. La densité moyenne de plantation se situe autour de 120 pieds par ha, hors arbres fruitiers.

Figure 42 : Principaux assolements dans quatre gouvernorats de la zone SASS en Tunisie



Source : GWP-Med., 2015

De plus, la Tunisie exploite les potentialités géothermiques disponibles dans la zone du SASS avec 115 hectares d'agriculture géothermique¹⁰⁰. Elle est désormais classée troisième au niveau mondial après les États-Unis (180 ha) et la Hongrie (160 ha). Les principales cultures cultivées sous serre sont la pastèque, le melon, la courgette, le concombre, la tomate, le piment et l'aubergine. D'autres espèces

¹⁰⁰ OSS et Matoussi, 2013

telles que le haricot vert et la laitue sont cultivées et présentes dans le sol pendant seulement 3 à 4 mois. Ces cultures sont pratiquées avant ou après une culture de solanacées ou de cucurbitacées.

Mode de gestion des ressources en eau

Deux types de gestion de l'eau existent dans les oasis de la zone tunisienne du SASS¹⁰¹ :

- **Les périmètres publics irrigués (PPI)** qui sont alimentés par des forages collectifs et pris en charge par l'État pour toutes les opérations d'aménagement et de réhabilitation des infrastructures d'irrigation et de drainage. La gestion est confiée aux groupements de développement agricole (GDA), qui ont la charge en principe de toutes les opérations d'exploitation et d'entretien des équipements du réseau d'irrigation et de drainage. La superficie totale de ces périmètres d'irrigation est estimée à 24 800 ha, dont la gestion est assurée par 230 GDA.
- **Les périmètres privés** : sur la base des données disponibles, on constate que les oasis privées constituent plus du tiers de la superficie totale irriguée dans les régions occupées par des oasis. Tous les aménagements sont réalisés par les investisseurs privés et les frais des services d'eau sont entièrement à leur charge. Les superficies de ces périmètres sont estimées à près de 15 200 ha, dont 14 300 ha à Kébili, irrigués individuellement à partir des eaux souterraines. Étant donné que la plupart de ces extensions sont illicites et, par conséquent, dépourvues d'un accès à l'électricité, les investisseurs se tournent de plus en plus vers l'énergie solaire.

Par ailleurs, le diagnostic mené par l'OSS en 2015 pour une meilleure valorisation de l'eau d'irrigation dans le bassin du SASS a permis de formuler les constatations suivantes¹⁰² :

- ◆ *Le coût de l'eau est généralement à la charge de l'exploitant et le volume demandé est substantiellement dépendant du prix. En effet, l'élasticité prix de la demande en eau varie, selon la catégorie d'exploitants retenue (publics, privés), la zone géographique considérée (Jeffara, oasis maritimes, oasis continentales) et la spécification choisie, de 0,16 à 0,75 (lorsque le prix de l'eau augmente de 100 %, sa demande baisse entre 16 et 75 %).*
- ◆ *La production d'un hectare irrigué baisserait de 150 % pour une augmentation de la salinité de l'eau utilisée de 100 %.* Tous les résultats démontrent, sans aucune ambiguïté, que la salinisation de la ressource à la suite de sa surexploitation est un fléau qu'il faut combattre par tous les moyens possibles.
- ◆ *Lorsque la superficie de l'exploitation irriguée augmente, sa rentabilité s'améliore et, surtout, la productivité de l'eau s'accroît sensiblement.*
- ◆ *L'origine de la ressource (privée ou publique).* Lorsque nous passons d'une eau gratuite à une eau hautement subventionnée (secteur public) puis à une source d'eau légèrement subventionnée (secteur privé), la productivité de l'eau augmente de 30 %.
- ◆ *L'ancienneté de la pratique de l'irrigation* : selon les estimations, plus la pratique de l'irrigation est ancienne, meilleures sont la rentabilité et la productivité de la ressource en eau utilisée.
- ◆ *Le niveau d'instruction* : lorsque le niveau d'instruction du chef de l'exploitation augmente, la valorisation de la ressource en eau s'améliore.
- ◆ *Le rôle de l'élevage* : dans la Jeffara et la région de Gabès, l'élevage joue un rôle positif dans l'amélioration de la valorisation de la ressource en eau utilisée par les exploitations irriguées.
- ◆ *L'encouragement des exploitants à se consacrer davantage à leurs exploitations* : toutes les estimations effectuées montrent que lorsque l'exploitant se consacre entièrement à son activité agricole, la productivité de la ressource en eau augmente sensiblement.

¹⁰¹ Ferchichi, 2013 et GIZ, 2009

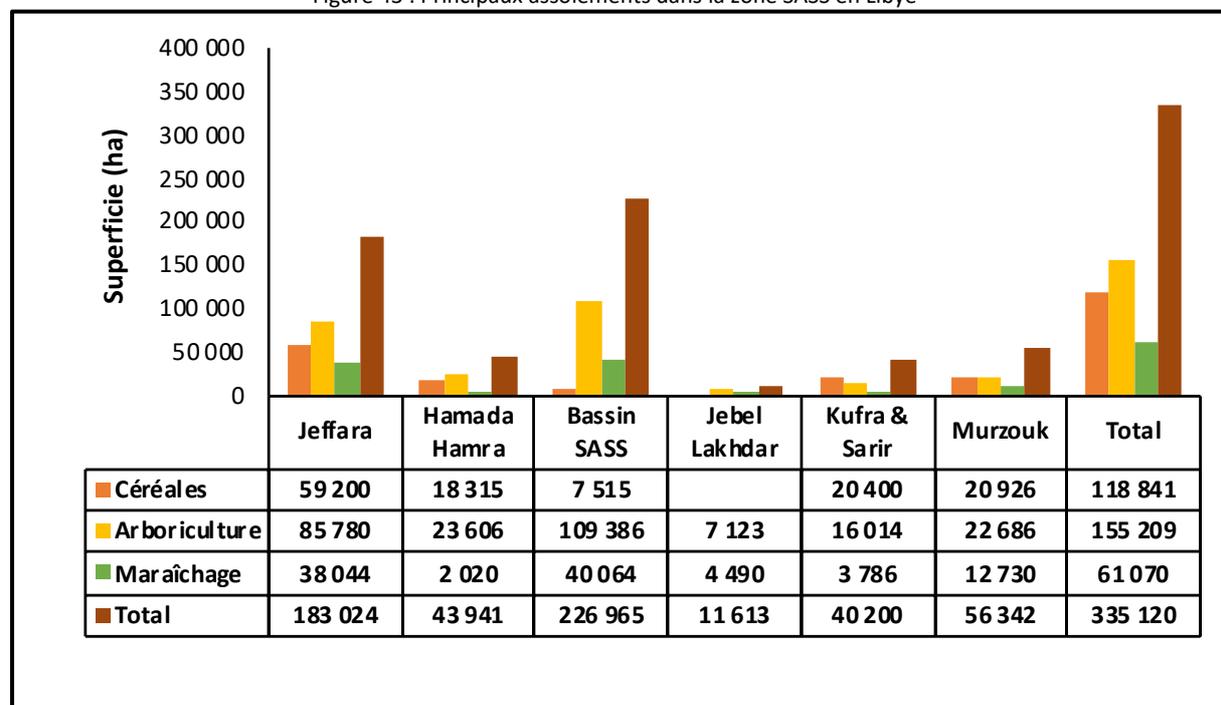
¹⁰² OSS, 2015.

2.4.1.3. Agrosystèmes libyens

Principaux systèmes agraires et assolements

Ils sont constitués essentiellement de périmètres irrigués au niveau de la Jeffara et d'oasis dans le reste de la zone. Les pratiques culturales dans la Jeffara sont dominées par l'arboriculture, les cultures céréalières et le maraîchage (figure 43).

Figure 43 : Principaux assolements dans la zone SASS en Libye



Source : GWP-Med., 2015.

L'irrigation est basée presque exclusivement sur les eaux souterraines. L'eau est mobilisée principalement par des puits privés (92 % des sources d'irrigation), alors que l'irrigation publique ne représente que 8 % en Libye¹⁰³.

Par ailleurs, le diagnostic opéré par l'OSS en 2015 pour une meilleure valorisation de l'eau d'irrigation dans le bassin du SASS a permis de formuler les constatations suivantes¹⁰⁴ :

- ◆ *Le coût de l'eau à la charge de l'exploitant* : l'estimation de l'élasticité prix de l'eau sur la base de l'échantillon libyen a abouti à un résultat fort intéressant, justifiant ainsi la démarche adoptée. Ce résultat démontre en effet l'importance capitale de la dimension « tarification » de la ressource dans la maîtrise de sa demande.
- ◆ *La salinité de la ressource* : la production d'un hectare irrigué baisserait de 62 % pour une augmentation de la salinité de l'eau utilisée de 100 %.
- ◆ *L'importance de l'élevage dans l'agriculture irriguée* : les résultats obtenus indiquent que lorsque l'irrigant exclut l'élevage de son exploitation, la productivité de l'eau allouée baisse assez sensiblement. La recette moyenne du cheptel de chaque exploitant est de l'ordre de 44,5 % de la recette totale.

¹⁰³ GWP-Med, 2015.

¹⁰⁴ OSS, 2015.

- ◆ *Le système de culture a un impact important sur la production.* Lorsque l'exploitant passe de l'arboriculture comme activité principale aux cultures maraichères et sous serre, sa production totale connaît une augmentation significative de l'ordre de 24 %.
- ◆ *L'agriculture irriguée enregistre un certain déclin :* la superficie moyenne par exploitant réellement irriguée est actuellement de l'ordre de 6,1 ha alors qu'elle était de 7,2 ha au début de l'activité ; ce qui représente une baisse de l'ordre de 18 %.

Les dimensions qui ont donc un impact significatif sur la productivité économique de l'eau en Libye sont :

- Le prix de la ressource en eau ;
- La salinité ;
- Le système de cultures ;
- L'importance de l'élevage dans le revenu de l'exploitation.

Toute politique économique qui vise à l'amélioration de la qualité de la gestion actuelle de cette ressource précieuse dans un contexte hautement instable en vue d'assurer sa durabilité, doit intégrer d'une manière explicite toutes ces variables clés.

2.4.2. Performance de l'usage de l'eau d'irrigation dans les agrosystèmes du SASS

L'agriculture dans la région du SASS est accusée, non seulement d'être la plus grande consommatrice en eau (85 % de la consommation totale), mais aussi d'être à l'origine du gaspillage d'eau. Et pour cause, la consommation d'eau à l'hectare reste élevée et notamment dans les oasis continentales où elle atteint 16 831 m³/ha. La moyenne dans la région du SASS est d'environ 11 000 m³/ha¹⁰⁵. L'extension des cultures irriguées (par pivot) constitue par ailleurs une menace pour la ressource, compte tenu de la forte demande en eau pour ce type de cultures maraichères. Précisons que l'efficacité d'utilisation de l'eau en irrigation ne dépasse guère 60 % dans le meilleur des cas, avec une moyenne de l'ordre de 42,4 % dans toute la région. Cette efficacité reste faible et engendre un gaspillage d'eau substantiel. Les pertes sont estimées à plus de 2 500 m³/ha. Cette faible efficacité d'irrigation s'explique principalement par les techniques d'irrigation adoptées. Occupant 72 % des terres irriguées dans la zone du SASS, le système d'irrigation gravitaire reste prédominant. Il est suivi par l'aspersion qui est pratiquée sur 26,18 % des surfaces irriguées de la zone du SASS, et enfin par le système d'irrigation localisée qui occupe moins de 2 % de la superficie irriguée.

Face au développement rapide de l'agriculture irriguée intensive et diversifiée dans la zone en vue de soutenir la politique de sécurité alimentaire dans ces pays, le déficit en eau devient de plus en plus élevé au fil du temps et rend la gestion des ressources de plus en plus difficile. Le taux d'intensification varie de 83 % à plus de 124 % selon les agrosystèmes. Il est de 96,3 % pour l'ensemble de la zone du SASS.

L'une des conséquences de l'agriculture intensive basée sur les eaux souterraines peu renouvelables est la généralisation de la salinisation des eaux d'irrigation (voir plus haut : *La problématique régionale de l'irrigation avec les eaux du SASS*).

En ce qui concerne la productivité de l'eau en agriculture qui est exprimée en US\$ au prix constant de 2005, elle est estimée à une moyenne de 0,413 US\$/m³ dans le bassin du SASS. Elle a connu une progression continue durant la période 2002-2011 dans les trois pays avec des chiffres légèrement supérieurs pour l'Algérie. Elle a atteint 0,405 \$, 0,341 \$ et 0,458 \$ respectivement en Algérie, Libye et Tunisie (tableau 30). Un différentiel au profit du mode de gouvernance privée est observé avec la productivité la plus élevée : 0,484 US\$/m³ contre 0,35 US\$/m³ et 0,274 US\$/m³ respectivement en mode collectif ou gratuit. Quant à la marge brute, elle est estimée à 3 909 US\$/ha, alors qu'elle est

¹⁰⁵ GWP-Med, 2015

plus faible en mode collectif (3 176 US\$/ha) en comparaison avec les marges brutes supérieures en mode privé (4 270 US\$/ha) et d'eau gratuite (4 683 US\$/ha).

Tableau 30 : Récapitulatif des résultats par catégorie d'accès à l'eau et par pays.

	Moyenne SASS	Accès à l'eau			Algérie	Libye	Tunisie
		Privé	Collectif	Gratuit			
Consommation d'eau en m ³ /ha	12 686	10 516	14 746	21 735	13 520	9 134	13 266
Coût de l'eau (\$/m ³)	0,036	0,045	0,028	0,004	0,036	0,028	0,04
Productivité de l'eau (\$/m ³)	0,413	0,484	0,350	0,274	0,405	0,341	0,458
Marge brute par ha	3 909	4 270	3 176	4 683	4 632	2 861	3 478
Élasticité prix de la demande	-12	-27	-8		-45	-25	-33

Source : OSS, 2015¹⁰⁶.

La consommation en eau agricole moyenne par ha et par exploitant dans la région SASS a atteint 12 686 m³/ha/an. Cependant, un différentiel est constaté par type de gouvernance de l'eau – gestion collective, gestion privée et gestion de l'eau gratuite (accès libre et usage à volonté) –, révélant une incidence significative sur le comportement des usagers. En effet, les usagers privés semblent être les plus économes avec une consommation moyenne estimée à 10 516 m³/ha/an contre une consommation de 13 520 m³/ha/an et 21 735 m³/ha/an respectivement pour les usagers des réseaux collectifs et les usagers bénéficiant d'une eau gratuite. Ceci démontre que les usagers supportant totalement ou partiellement les coûts de l'eau sont plus enclins à avoir un comportement responsable concernant leur consommation d'eau¹⁰⁷.

La moyenne du coût du mètre cube d'eau payé directement par les usagers s'élève à 0,036 US\$/m³. Cependant, il existe une différence très nette entre les trois modes de gouvernance de l'eau. En effet, le coût se situe à 0,028 US\$/m³ et 0,045 US\$/m³ respectivement pour les modes collectif et privé contre 0,004 US\$/m³ en mode d'accès libre et gratuit. Entre les trois pays de la zone du SASS, le coût unitaire de l'eau est plus élevé en Tunisie avec 0,04 US\$/m³. À l'inverse, en Algérie et en Libye, les coûts unitaires sont plus faibles et sont respectivement de l'ordre de 0,036 US\$/m³ et 0,028 US\$/m³. Les subventions significatives applicables aux coûts d'exploitation, en particulier énergétiques, en Algérie et en Libye, pays producteurs d'hydrocarbures, expliquent en partie cette différence tarifaire.

2.5. Tendances socioéconomiques

2.5.1. Démographie et population

D'après les prévisions réalisées par l'OSS (2014), la population dans les trois pays du SASS va continuer à s'accroître. Elles tablent sur une répartition du poids démographique dans la zone SASS comme suit : Algérie (55 %), Libye (26 %) et Tunisie (18 %) (tableau 31). Signalons que ces projections sont données à titre indicatif et que les chiffres avancés ont été estimés sur la base des informations issues des pays

¹⁰⁶ Les résultats présentés dans le tableau émanent d'une étude menée sur un échantillon de 3 000 exploitations de la zone SASS retenues sur la base de plusieurs critères assurant leur représentativité, dont, notamment, la proportion des surfaces irriguées, la taille des exploitations et le type d'accès à l'eau. Deux campagnes d'enquêtes ont été menées sur cet échantillon.

¹⁰⁷ OSS, 2015.

au cours de ces quinze dernières années. Les conditions sociales et politiques actuelles dans les trois pays ont également été prises en considération.

Tableau 31 : Projection de la population dans la zone SASS par pays.

Années	2020		2050	
	Habitants	%	Habitants	%
Pays				
Algérie	3,7	55%	4,8	55%
Libye	1,8	27%	2,3	26%
Tunisie	1,3	18%	1,6	18%
Total	6,8	100%	8,7	100%

Source : OSS, 2014.

2.5.2. Développement économique général

D'autres indicateurs socioéconomiques à l'échelle des trois pays de la zone du SASS montrent que la croissance de la population annuelle moyenne est inférieure à 2 %, le taux le plus faible concernant la Tunisie (1 %). Les taux dans les principales régions du SASS par pays sont en général plus élevés que la moyenne nationale au vu du caractère traditionnel et rural des sociétés sahariennes du Maghreb¹⁰⁸. Les autres indicateurs socioéconomiques sont contrastés d'un pays à l'autre. Par exemple, le chômage est plus élevé en Libye, touchant 30 % de la population. Le taux de migration est faible en Algérie et en Tunisie (0,6 % et 0,5 % respectivement en 2015) alors qu'il est significatif en Libye (12 % en 2015). Ce taux s'explique, entre autres, par l'accueil de la main-d'œuvre étrangère et par l'instabilité de la région du Sahel. Les migrants tentent de rejoindre l'Europe par le biais des passeurs libyens. Il est à noter que le classement 2018 des pays africains par indice de développement humain (PNUD¹⁰⁹) place la Libye en tête avec un IDH de 108 suivie de la Tunisie avec un IDH égal à 95 et de l'Algérie avec un IDH égal à 85. Un autre indicateur remarquablement contrasté est celui du taux de la population active dans le secteur agricole : 23% en Algérie, 18 % en Tunisie et moins de 5 % en Libye.

¹⁰⁸ GWP-Med, 2015.

¹⁰⁹ <https://www.agenceecofin.com/economie/1709-60037-classement-2018-des-pays-africains-par-indice-de-developpement-humain-pnud>

Tableau 32 : Indicateurs socioéconomiques dans les trois pays de la zone du SASS

Indicateurs socio-économiques	Algérie	Libye	Tunisie
Population (2018 ; Millions d'habitants)	42 228 429	6 678 567	11 565 204
Croissance démographique annuelle moyenne (2018; %)	1.7	1.2	1.0
Population de moins de 15 ans (2018 ; %)	29	24	28
Population active (2018 ; habitants)	12 302 396	2 523 550	4 081 392
Population active (2018 ; %)	29	38	35
Population féminine active (2018; % de la population active)	18	25	27
Population active agricole (%)	23	4,65	18,3
Stock international de migrants (2015; nombre)	242 391	771 146	56 701
Stock international de migrants (2015; % de la population active)	0.6	12	0.5
Ratio de la population pauvre en fonction du seuil de pauvreté national (% de la population)	5.5 (2011)	/	1.2 (2015)
Espérance de vie (ans)	76.18	75.83	75.46
Taux de chômage (%)	10,3	30	18,8
IDH (2011)	0.698	0.76	0.698

Source : Banque mondiale, 2018 ; et GWP-Med *et al.*, 2015.

De plus, les principaux indicateurs économiques des trois pays du SASS montrent que les PIB de l'Algérie, de la Libye et de la Tunisie ont atteint respectivement en 2018, 180,69 milliards US\$, 48.32 milliards US\$ et 39.86 milliards US\$ (tableau 33). La chute du prix du baril au cours de ces dernières années en Algérie et en Libye a contribué à la baisse de leur PIB respectif. Il est passé en Algérie de 209 en 2012 à moins de 181 milliards US\$ en 2018 (soit une perte de 14 % du PIB), et de 81,87 en 2012 à 48 milliards US\$ en Libye (soit une baisse de 41 % du PIB). Le PIB de la Tunisie a également connu une baisse de 13 % entre 2012 et 2018.

La Libye connaît le taux de croissance le plus important en 2018, il est de l'ordre de 7,8 %. L'Algérie et la Tunisie connaissent un taux de croissance économique inférieur ou égal à 2,5. En ce qui concerne le PIB/habitant, en 2018, il a atteint 3 447 US\$ en Tunisie contre des niveaux plus élevés en Algérie et en Libye avec respectivement 4 279 US\$ et 7 447 US\$.

L'importance du secteur agricole dans les trois pays du SASS est représentée par l'indicateur « Part du PIB agricole/PIB total ». En 2011, le PIB agricole le plus faible était enregistré en Libye avec 3,3 %, et le taux le plus élevé en Tunisie avec 12 %. En Algérie, il atteignait 8,9 %. On note ainsi l'importance du secteur agricole dans l'économie tunisienne comparée aux deux autres pays producteurs d'hydrocarbures¹¹⁰.

¹¹⁰ GWP-Med *et al.*, 2015

Tableau 33 : Indicateurs économiques dans les trois pays de la zone du SASS

Indicateurs économiques	Algérie	Libye	Tunisie
PIB (2018 ; Milliards \$ US courants)	180.69	48.32	39.86
PIB/habitant (2018 ; \$ US courants)	4 279	7 235	3 447
Taux de croissance économique (2018 ; %)	2.1	7.8	2.5
Part du PIB agricole/PIB total (2011 ; %)	8.9	3.3	12

Source : Banque mondiale, 2018 ; <http://www.statistiques-mondiales.com> ; GWPM *et al.*, 2015.

2.5.3. Impacts du changement climatique et mesures d'adaptation

2.5.3.1. Impacts du changement climatique

Les impacts du changement climatique dans le bassin du SASS se traduisent principalement par l'augmentation de la demande en eau pour les besoins domestiques aussi bien qu'agricoles, conduisant à une pression additionnelle sur les ressources en eau et un risque de dégradation. Plus importants qu'en termes de volumes additionnels de prélèvements et de réduction de la recharge dans la zone de la Djéffara, les risques se manifestent en termes de qualité, à savoir la salinisation et l'inversion des flux des chotts vers la nappe à la suite de la baisse des niveaux piézométriques. Les agriculteurs ne peuvent ainsi échapper à des interventions coûteuses pour améliorer la qualité de l'eau, à l'instar de l'installation d'unités de dessalement de l'eau ; à défaut, ils enregistreront des chutes de rendements et des pertes de revenus.

La première évaluation quantitative des impacts directs et indirects du changement climatique dans le bassin du SASS a été effectuée par le GWP-Med dans le cadre du programme WACDEP¹¹¹. Le scénario « fort » simulé considère les hypothèses suivantes à l'horizon 2050 :

- Une diminution de la pluviométrie moyenne de -18 %. Pour les zones de recharge, la réduction maximale de la pluviométrie est de -29 % (cas le plus défavorable) dans la zone de recharge du côté de la Tunisie et de -22 % dans la zone de recharge du côté algérien. Concernant la température, on table sur une augmentation de +2,1 % dans la zone de recharge et de +2,7 °C dans le reste de la zone ;
- L'évolution socioéconomique connaît un prolongement des tendances récemment enregistrées et donc une certaine continuité s'agissant des besoins en eau (domestique, industriel et agricole) correspondants. L'augmentation des superficies irriguées est considérée poursuivre la tendance actuelle jusqu'en 2030, puis de 2030 à 2050, avec un taux de 50 % inférieur à celui observé à partir de 2010 pour tenir compte de la non-disponibilité des terres et des ressources en eau. Ce scénario prévoit une augmentation des superficies des terres irriguées dans le SASS de 141 840 ha en 2012 à 178 920 ha en 2050.

Sur la base de ces hypothèses, la baisse de l'infiltration dans les zones de recharge est estimée à 25 % à l'horizon 2050. L'augmentation des prélèvements pour compenser les pertes par évaporation dues à l'augmentation de la température fera évoluer les prélèvements de 82,07 m³/s en 2012 à 142 m³/s à l'horizon 2050 sous l'effet d'un développement socioéconomique sans changement climatique, et à 179 m³/s avec changement climatique (soit un écart de 26 % imputable au changement climatique).

¹¹¹ WACDEP est l'acronyme du Programme Eau, Climat et Développement. Il s'agit d'un programme du Conseil des ministres africains chargés de l'Eau (AMCOW) mis en œuvre à l'échelle panafricaine par le Global Water Partnership (GWP) et en Afrique du Nord par le Global Water Partnership Méditerranée (GWP-Med).

Les simulations du comportement des aquifères avec ces prélèvements à l'aide du modèle hydrogéologique du SASS donnent les résultats suivants :

- Certaines zones (Oued Rhir, Tozeur, Ghadamès) sont directement soumises à de fortes interférences entre les pays ;
- Le débit de l'exutoire tunisien risque de tarir à partir des années 2020 ; on assistera à une inversion du gradient hydraulique conduisant à une dégradation irréversible de la Djeffara (piézométrie atteignant 30 m sous le niveau de la mer) ;
- Des rabattements considérables au niveau du CI portant le niveau piézométrique jusqu'à 1 500 m sous le niveau de la mer du côté de Hassi Messoud ;
- Des rabattements importants également au niveau du CT avec une nappe à 40 m sous la surface du Chott Djérid et à 130 m sous la surface du chott Melhir.

Ces résultats alarmants de l'appréciation de l'évolution des rabattements ne se produiraient vraisemblablement pas de la sorte dans la réalité. En effet, il est attendu que les acteurs, aussi bien les agriculteurs que les gouvernements, adoptent des stratégies réactives au fur et à mesure de l'aggravation de la situation dans le bassin (gestion de la demande, recours à l'énergie solaire pour la déminéralisation des eaux saumâtres et la récupération des eaux de drainage, efficacité de l'irrigation, tarification adaptée, etc.).

Par ailleurs, des chutes de rendement des cultures peuvent apparaître aussi sous l'effet combiné des températures excessives et de la sécheresse. En effet, le stress hydrique perturbe la phénologie (floraison et feuillaison), la croissance et le remplissage des cultures. Le facteur thermique agit sur la phénologie (durée du cycle et les rendements, nombre de fleurs ou d'épis fertiles, taille des fruits ou des grains, qualité...). Le risque est accru pour les espèces sensibles à l'élévation des températures hivernales (par exemple la luzerne ou le palmier). À l'horizon 2050, on prévoit des baisses de rendement des cultures de l'ordre de 25 % (32 % pour le grenadier et 15 % pour le palmier dattier) par rapport à 2010, année de référence considérée dans le cadre du projet WACDEP. Pour la production pastorale, les productions en biomasse aérienne et en unités fourragères feront l'objet par conséquent d'une chute entre 60 et 70 %, en fonction de la vulnérabilité des milieux et des écosystèmes. Les écosystèmes pastoraux les plus vulnérables sont les formations à base de *Stipa tenacissima*, ceux modérément vulnérables sont des parcours à base de *Rhanterium suaveolens*, et ceux peu vulnérables sont constitués pour l'essentiel des parcours à base de *Haloxylon schmittianum* et d'*halophytes*. Ces derniers comportent en effet des espèces pérennes xérophiles connues pour leur adaptation à la sécheresse et à l'augmentation des températures.

2.5.3.2. Les mesures d'adaptation prévues par les pays

Les enquêtes réalisées dans le cadre du programme WACDEP ont montré que les agriculteurs sont conscients de l'impact des changements climatiques qui accentuent les défis de durabilité auxquels ils sont déjà confrontés. En vue d'assurer leur survie et leur rentabilité, les agriculteurs entreprennent des actions d'adaptation à leur échelle qui, pour certaines, présentent des effets adverses. Par exemple, la conception ou l'approfondissement des puits de surface, y compris moyennant de l'énergie solaire pour combler les besoins croissants des cultures, engendrent une amplification de la baisse du niveau piézométrique et une détérioration de la qualité de l'eau.

À l'échelle nationale, les pays ont inscrit dans leurs politiques et stratégies d'adaptation au changement climatique un ensemble d'actions qui bien que ne ciblant pas spécifiquement l'écosystème oasien du SASS, contribueraient à renforcer la résilience et la durabilité du développement dans la zone du SASS.

Dans son Plan National Climat, l'Algérie a inscrit les actions de court terme 2025-2035 suivantes, présentant un intérêt pour la zone du SASS :

- Optimisation et réhabilitation des systèmes d'irrigation
- Développement et extension de l'irrigation goutte à goutte
- Projet intégré de restauration des terres arides (zone du barrage vert), de lutte contre la désertification et de protection des sols dans le contexte du changement climatique
- Réhabilitation des parcours par la mise en défens
- Lutte contre l'ensablement et dotation des zones exposées en moyens ciblés pour y faire face
- Doter les zones exposées à l'ensablement en moyens de désensablement
- Adapter les infrastructures du Sud aux grandes chaleurs
- Valorisation des eaux non conventionnelles en zone aride
- Étude nationale sur la réutilisation des eaux usées épurées
- Réutilisation des eaux de drainage déminéralisées dans l'agriculture : Vallée Oued Rig
- Sélection et amélioration génétique de variétés (céréales, légumineuses alimentaires, fourrages, cultures maraichères et arboriculture)
- Valorisation et amélioration de la résilience climatique des populations et des paysages oasiens en Algérie
- Déploiement de l'énergie solaire photovoltaïque pour le pompage d'eau et les systèmes d'irrigation dans les exploitations agricoles du sud de l'Algérie

La Libye ne dispose pas de documents stratégiques d'adaptation au changement climatique, en revanche, elle a adhéré à un ensemble d'initiatives et programmes régionaux (FEM, FAO, etc.) visant principalement la gestion des ressources naturelles et l'utilisation durable de l'eau et de l'énergie en agriculture.

Dans sa contribution déterminée au niveau national (2015), la Tunisie a prévu d'intensifier les capacités d'absorption de CO₂ de la forêt et de l'arboriculture, grâce à l'intensification des actions de reboisement, de consolidation et d'augmentation des réserves de carbone dans les milieux forestiers et pastoraux. De même, le bilan carbone de l'agriculture sera bonifié en recourant à des pratiques moins génératrices d'émissions : optimisation des régimes alimentaires des animaux domestiques, promotion de l'agriculture biologique ou pratiques d'agriculture de conservation, valorisation énergétique des déchets animaux, etc. En termes d'adaptation, la Tunisie envisage de recourir aux pratiques suivantes : réutilisation des eaux usées traitées, adaptation des systèmes de production de polyculture-élevage au changement climatique dans les régions vulnérables, conservation et valorisation du patrimoine génétique local pour l'adaptation des cultures au changement climatique et le développement de systèmes innovants de grandes cultures, aménagement des parcours et des nappes alfatières dégradées dans les régions Centre et Sud, consolidation biologique des ouvrages de lutte contre l'ensablement dans le Sud tunisien, et appui à la mise en œuvre des plans d'action régionaux de lutte contre la désertification.

Les orientations stratégiques de l'action climatique des pays du SASS présentent des bases communes (valorisation des eaux non conventionnelles, lutte contre la désertification, amélioration de la résilience de l'agriculture, utilisation de l'énergie solaire en agriculture, etc.) qui peuvent être exploitées pour mettre sur pied une action conjointe à l'échelle transfrontalière s'appuyant sur une synergie entre les secteurs corrélés du Nexus Eau-Alimentation-Énergie-Écosystèmes.

Références bibliographiques

- Abdelkrim, A., Choueiri, N., et Verme, P., 2017. « The Quest for Subsidy Reforms in Libya ». Disponible à l'adresse suivante : https://doi.org/10.1007/978-3-319-52926-4_5
- Abid H., 2013. « Forêt, aires protégées et écotourisme en Tunisie ». Disponible à l'adresse suivante : http://www.environnement.gov.tn/images/fichiers/projet_etude/ecotourisme/ecotourisme_a_r_protege.pdf
- Agence centrale des renseignements (Central Intelligence Agency, CIA), 2018. « World Factbook », fiche sur la Tunisie. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.cia.gov/the-world-factbook/countries/tunisia>
- Ahmed M. H. Gawhari, Stephen L. Jury et Alastair Culham, 2018. « Towards an updated checklist of the Libyan flora », Article, Phytotaxa, <https://biotaxa.org/Phytotaxa/article/view/phytotaxa.338.1.1/31368>
- AIE (Agence internationale de l'énergie), 2019. Base de données de l'AIE sur les subventions accordées pour les combustibles fossiles. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.iea.org/weo/energysubsidies/>
- AIE, 2016. « Key stats for Algeria, 1990-2016 ». Disponible à l'adresse suivante : <https://www.iea.org/countries/Algeria/>
- AIE, 2016. « Key stats for Libya, 1990-2016 ». Disponible à l'adresse suivante : <https://www.iea.org/countries/Libya/>
- AIE, 2016. « Key stats for Tunisia, 1990-2016 ». Disponible à l'adresse suivante : <https://www.iea.org/countries/Tunisia/>
- AIE, 2005. *World Energy Outlook: Middle East and North Africa Insights*. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.iea.org/media/weowebiste/2008-1994/WEO2005.pdf>
- AIE/IRENA, 2016. « Renewable Energy and Energy Efficiency Development Plan 2015-2030 ». Informations disponibles à l'adresse suivante : <https://www.iea.org/policies/6103-renewable-energy-and-energy-efficiency-development-plan-2015-2030>
- AIE/IRENA, 2016. « Libya Renewable Energy Strategic Plan 2013-2025 ». Informations disponibles à l'adresse suivante : <https://www.iea.org/policies/5908-libya-renewable-energy-strategic-plan-2013-2025>
- AIE/IRENA, 2014. « Feed-in tariff for solar PV installations (Algeria) ». Disponible à l'adresse suivante : <https://www.iea.org/policies/5661-feed-in-tariff-for-solar-pv-installations>
- AIE/IRENA, 2011. « Renewable Energy and Energy Efficiency Development Plan 2011-2030 ». Informations disponibles à l'adresse suivante : <https://www.iea.org/policies/95-renewable-energy-and-energy-efficiency-development-plan-2011-2030>
- AIE/IRENA, 2009. « Decree on rules of selling renewable electricity to the Tunisian Company of Electricity and Gas (STEG) ». Disponible à l'adresse suivante : <https://www.iea.org/policies/5331-decree-on-rules-of-selling-renewable-electricity-to-the-tunisian-company-of-electricity-and-gas-steg>

- Al-Hashmi, A. S., Sharif, M., Elhaj, M. et Almrabet, M., 2017. « The Future of Renewable Energy in Libya ». Disponible à l'adresse suivante :
http://bulletin.zu.edu.ly/issue_n19_3/Contents/E_07.pdf
- Amichi, F., 2019. Une agriculture transitoire au service d'une agriculture pérenne dans un front pionnier Saharien en Algérie.
- Amichi, F., Bouarfa, S., Kuper, M., Caron, P., 2019. From oasis archipelago to pioneering eldorado in Algeria's sahara. Irrig Drain.
- ANIREF (Agence nationale d'intermédiation et de régulation foncière), 2013. Rubrique monographie Wilaya : Adrar, Biskra, El Oued et Ouargla.
- Argeliamanece, n.d. Los espacios naturales protegidos de Argelia. Available at:
<https://argeliamanece.wordpress.com/geografia/> (in French)
- Banque mondiale, 2019. Données sur la population disponibles sur le site :
<https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/SP.POP.TOTL>
- Banque mondiale, 2019. « Energy Sector Performance Improvement Project (P168273) ». Disponible à l'adresse suivante :
<http://documents.worldbank.org/curated/en/241221549641861408/pdf/Concept-Project-Information-Document-Integrated-Safeguards-Data-Sheet-Energy-Sector-Performance-Improvement-Project-P168273.pdf>
- Banque mondiale/République tunisienne, 2018. *Investment, Competitiveness and Inclusion Development Policy Financing*, document de la Banque mondiale. Disponible à l'adresse suivante : <http://documents.worldbank.org/curated/en/408781530329592442/pdf/PD-Tunisia-ICI-DPF-Board-Package-052518-fin-06052018.pdf>
- Benziouche, S. E., Cheriet, F., 2012. « Structure et contraintes de la filière dattes en Algérie ». *New Medit* 4, p. 49–57.
- Bisson, J., 1991. « Un front pionnier au Sahara tunisien : le Nefzaoua ». *Bulletin de l'Association de géographes français*, 68, p. 299–309.
- CEDARE et al., 2015: NWSAS 2012, *State of the Water Report*. Disponible à l'adresse suivante :
<http://web.cedare.org/wp-content/uploads/2005/05/North-Western-Sahara-Aquifer-System-NWSAS-2012-State-of-the-Water.pdf>
- Centre de Développement des Energies Renouvelables, Algérie “ Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique (2015-2030).” Information available from:
<https://www.cder.dz/spip.php?article1748>
- Cherif, M., 2016. « Tunisia faces tough strategic choices as demand for energy begins to outstrip supply ». Informations disponibles à l'adresse suivante :
<http://blogs.worldbank.org/arabvoices/tunisia-faces-tough-strategic-choices-demand-energy-begins-outstrip-supply>
- Convention sur la diversité biologique, 2019. Rapport national Algérie, Disponible à l'adresse suivante : <https://www.cbd.int/reports/search/?country=al>
- Convention sur la diversité biologique, 2019. Rapport national Libye, Disponible à l'adresse suivante :

- <https://www.cbd.int/reports/search/?country=ly>
- Convention sur la diversité biologique, 2019. Rapport national Tunisie, Disponible à l'adresse suivante : <https://www.cbd.int/reports/search/?country=tn>
- Côte, M., 2002. « Des oasis aux zones de mise en valeur : L'étonnant renouveau de l'agriculture saharienne ». *Méditerranée* 99, p. 5–14.
- De Moor, A. and P. Calamai, 1997. *Subsidizing Unsustainable Development*. Conseil de la Terre et Institute for Research on Public Expenditure, p.1. Disponible à l'adresse suivante : www.cbd.int/doc/case-studies/inc/cs-inc-earthcouncil-unsustainable-en.pdf
- DSA, 2018a. Rapport annuel de l'agriculture irriguée dans la Wilaya de Ghardaia. Deuxième trimestre 2018.
- DSA, 2018b. Présentation du secteur agricole de la Wilaya de Ghardaia.
- EIA (Agence des États-Unis pour l'information sur l'énergie), 2015. *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Algeria*. Disponible à l'adresse suivante : https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/pdf/Algeria_2013.pdf
- EIA, 2015. *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Libya*. Disponible à l'adresse suivante : https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/pdf/Libya_2013.pdf
- EIA, 2015. *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Tunisia*. Disponible à l'adresse suivante : https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/pdf/Tunisia_2013.pdf
- EIA, 2014. « Tunisia – overview ». Disponible à l'adresse suivante : <https://www.eia.gov/beta/international/analysis.php?iso=TUN>
- EIA, 2019. « Libya – overview ». Disponible à l'adresse suivante : <https://www.eia.gov/beta/international/analysis.php?iso=LBY>
- Eibl, F., 2017. « The political economy of energy subsidies in Egypt and Tunisia: the untold story », *Oxford Energy Comment*. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2017/08/The-political-economy-of-energy-subsidies-in-Egypt-and-Tunisia-the-untold-story.pdf?v=f003c44deab6>
- ETAP (Entreprise tunisienne d'activités pétrolières), 2019. Données disponibles à l'adresse suivante : <http://www.etap.com.tn>
- ETAP, 2012. Rapport annuel 2012 de l'ETAP. Disponible à l'adresse suivante : www.etap.com.tn/fileadmin/templates/etap/rapports/annuel_report_2012.pdf
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), 2019. « Observation de la Terre – Tunisie ». Informations disponibles à l'adresse suivante : <http://www.fao.org/giews/earthobservation/country/index.jsp?lang=en&code=TUN>
- Ferchichi, A., 2013. Plan de gestion communautaire des ressources phylogénétiques oasiennes. ASMG/IT-PGRFA.
- FMI (Fonds monétaire international), Algeria Selected Issues, 2014. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.imf.org/external/pubs/ft/scr/2014/cr14342.pdf>
- GIZ (Agence allemande de coopération internationale), 2009. Etude de la gestion durable des

systèmes oasiens- rapport général, MEDD-Tunis.

Goodland R., 2013. *Libya: The urgent transition to environmental sustainability*. Disponible à l'adresse suivante : http://goodlandrobert.com/LIBYA%20FINAL_10_2013.pdf

GWP-Med, 2016a. *Intégration des impacts du changement climatique dans la gestion des ressources en eau du SASS. Rapport final de la phase B : identification des impacts observés et de la capacité d'adaptation actuelle au changement climatique*. WACDEP.

GWP-Med, 2016b. *Intégration des impacts du changement climatique dans la gestion des ressources en eau du SASS. Rapport final de la phase C : évaluation des impacts du changement climatique sur les ressources en eau dans la zone du SASS*. WACDEP.

GWP-Med, 2015. *Intégration des impacts du changement climatique dans la gestion des ressources en eau du SASS. Rapport de la phase A : définition de la situation de référence et choix des scénarios climatiques*. WACDEP.

Hamamouche, M.-F., 2017. « Renouveau d'un système irrigué communautaire suite au déverrouillage de l'accès aux eaux souterraines profondes. Cas du territoire oasien de Sidi Okba dans le Sahara algérien ». AgroparisTech, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

Hamamouche, M.F., Kuper, M., Amichi, H., Lejars, C., Ghodbani, T., 2018. « New reading of Saharan agricultural transformation: Continuities of ancient oases and their extensions (Algeria) ». *World Development* 107. doi:10.1016/j.worlddev.2018.02.026

Hamamouche, M.F., Kuper, M., Lejars, C., 2015. « Émancipation des jeunes des oasis du Sahara algérien par le déverrouillage de l'accès à la terre et à l'eau ». *Cahiers Agriculture* 24, p. 412–419. doi:10.1684/agr.2015.0777

Hamamouche, M.F., Kuper, M., Riaux, J., Leduc, C., 2017. « Conjunctive use of surface and ground water resources in a community-managed irrigation system — The case of the Sidi Okba palm grove in the Algerian Sahara ». *Agricultural water Management* 193. doi:10.1016/j.agwat.2017.08.005

Hydrocarbons Technology, 2019. « Trans-Mediterranean Natural Gas Pipeline ». Disponible à l'adresse suivante : <https://www.hydrocarbons-technology.com/projects/trans-med-pipeline/>

Institut National de la Météorologie, Tunisie (INM), 2018. Evaluation de changements climatiques et prévisions saisonnières en Tunisie.

IISD (Institut international du développement durable), 2014. *Fossil Fuel Subsidies: A barrier to renewable energy in five middle east and north African countries*, Winnipeg. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.iisd.org/gsi/sites/default/files/fossil-fuel-subsidies-renewable-energy-middle-east-north-african-countri%20%20%20.pdf>

International Trade Administration, 2019. « Tunisia – Electrical Power Systems and Renewable Energy ». Disponible à l'adresse suivante : <https://www.export.gov/apex/article2?id=Tunisia-Electrical-Power-Systems-and-Renewable-Energy>

IRENA (Agence internationale pour les énergies renouvelables), 2018. « Interactive Chart Gallery. Capacity and Generation Technologies ». Disponible à l'adresse suivante : <http://resourcereina.irena.org/gateway/dashboard/?topic=4&subTopic=19>

- IRENA, 2014. « Estimating the Renewable Energy Resource Potential in Africa: a GIS-based approach ». Disponible à l'adresse suivante : http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Africa_Resource_Potential_Aug2014.pdf
- Khatabi, K. 1993. The National Report about Biodiversity in Libya. Présenté lors de la Conférence sur la biodiversité dans les pays d'Afrique du Nord. Tunis (document en arabe).
- Khene, B., 2013. « Dynamique des systèmes de production phoénicoles et promotion de la filière "dattes" : perspectives de développement. Cas de la région de Ghardaïa ». UNIVERSITÉ KASDI MERBAH-OUARGLA. Faculté des sciences de la nature et de la vie, Département des sciences agronomiques.
- Kouzmine, Y., 2012. *Le Sahara algérien, Intégration nationale et développement régional*. L'Harmattan, Paris, France.
- Kuper, M., Faysse, N., Hammani, A., Hartani, T., Marlet, S., Hamamouche, M.F., Ameur, F., 2016. « Liberation or anarchy? The janus nature of groundwater use on North Africa's new irrigation frontiers », *Integrated Groundwater Management: Concepts, Approaches and Challenges*. doi:10.1007/978-3-319-23576-9_23
- Lechtenboehmer, S., Durand, A., Fishedick, M., Nebel, A., Soukup, O., Wane, S., et al., 2012. *Étude stratégique du mix énergétique pour la production d'électricité en Tunisie*. Wuppertal Inst. für Klima, Umwelt, Energie. Disponible à l'adresse suivante : <https://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/4785>
- Massuel, S., Amichi, F., Ameur, F., Calvez, R., Jenhaoui, Z., Bouarfa, S., Kuper, M., Habaieb, H., Hartani, T., Hammani, A., 2017. « Prendre en compte l'utilisation des eaux souterraines pour améliorer l'évaluation des pompages d'eaux souterraines pour l'irrigation dans le Nord de l'Afrique ». *Hydrogeology Journal* 25, p.1565–1577. doi:10.1007/s10040-017-1573-5
- Ministère de l'Agriculture, de Ressources Hydraulique et de la Pêche, 2019. Rapport national du secteur de l'eau 2018
- Ministère de l'aménagement du territoire, de l'environnement et du tourisme, 2019. « État de la biodiversité en Algérie »
- Ministère du développement régional et environnemental, 2014. « 5ème Rapport national sur la mise en œuvre de la convention sur la diversité biologique au niveau national ». Disponible à l'adresse suivante : <https://www.cbd.int/doc/world/dz/dz-nr-05-fr.pdf>
- Ministère de l'équipement et de l'environnement, 2015. « Contenu de la formation selon la progression Pédagogique du Thème V "Les aires protégées". Disponible à l'adresse suivante : http://www.environnement.gov.tn/images/fichiers/projet_etude/ecotourisme/les_aires_proteges.pdf
- Ministère de l'environnement, 2012. Profil environnemental de la Tunisie, Rapport du Consortium Euronet. Disponible à l'adresse suivante : http://www.environnement.gov.tn/fileadmin/pdf/Rapport_final_PEP_Tunisie.pdf
- Ministère de l'environnement et du développement durable, 2015. *Stratégie de développement durable des oasis en Tunisie*. Disponible à l'adresse suivante :

- http://www.environnement.gov.tn/images/fichiers/projets_acheves/GDEO/3_1.pdf
- Ministère des ressources en eau, 2008a. « Étude d'inventaire et de développement de la PMH : rapport définitif Wilaya d'El Oued ».
- Ministère des Ressources en Eau, 2008b. « Étude d'inventaire et de développement de la PMH : Rapport définitif Wilaya d'Adrar ».
- ODS (Office de développement du Sud), 2018. Gouvernorats de Gabès, Gafsa, Kébili, Tozeur, Médenine et Tataouine en chiffres
- OPEP (Organisation des pays exportateurs de pétrole), « Brief History », 2019. Disponible à l'adresse suivante : https://www.opec.org/opec_web/en/about_us/24.htm
- OPEP, 2019. Données téléchargées disponibles à l'adresse suivante : https://asb.opec.org/data/ASB_Data.php
- OSS (Observatoire du Sahara et du Sahel), 2015. *Système Aquifère du Sahara Septentrional – Pour une meilleure valorisation de l'eau d'irrigation dans le bassin du SASS*.
- OSS, 2014. *Vers une agriculture durable et rentable au Sahara, SASS*.
- OSS, 2008. *Système Aquifère du Sahara Septentrional – Gestion concertée d'un bassin transfrontalier*, Collection synthèse.
- OSS, 2005. *Synthèse des zones humides au Sahara septentrional (Algérie, Tunisie, Libye)*.
- OSS, 2004. *Système Aquifère du Sahara Septentrional, Hydrogéologie, Volume II*.
- OSS, 2004. *Système Aquifère du Sahara Septentrional, Modèle mathématique, Volume IV*.
- OSS, 2002. *Analyse et synthèse des rapports sur les besoins futurs en eau au sahara septentrional OSS/SASS*.
- OSS, Matoussi, M., 2013. Présentation des premiers résultats obtenus de l'analyse des données de la première campagne et l'état d'avancement de la deuxième campagne de l'enquête socioéconomique.
- Rebai, A.O., Hartani, T., Chabaca, M.N., Kuper, M., 2017. « Une innovation incrémentielle : la conception et la diffusion d'un pivot d'irrigation artisanal dans le Souf (Sahara algérien) ». *Cahiers Agriculture* 26. doi:10.1051/cagri/2017024.
- Sonelgaz. « Production d'électricité ». Informations disponibles à l'adresse suivante : <http://www.sonelgaz.dz/?page=article&id=13>.
- Sonelgaz, 2015. Newsletter presse N° 34 : « Synthèse des plans de développement des sociétés du Groupe Sonelgaz 2015–2025 ». Disponible à l'adresse suivante : <https://www.sonelgaz.dz/fr/category/newsletter-presse>
- SourceWatch, Center for Media and Democracy (CMD), 2018. « Trans-Mediterranean Gas Pipeline ». Disponible à l'adresse suivante : https://www.gem.wiki/Trans-Mediterranean_Gas_Pipeline
- STEG (Société tunisienne de l'électricité et du gaz), 2014. « Production de l'électricité en Tunisie ». Disponible à l'adresse suivante : <http://www.oitsfax.org/files/AApresentationHDR20140323.pdf>
- STIR (Société tunisienne des industries de raffinage), 2016. Disponibles à l'adresse suivante :

<http://www.stir.com.tn/fr/index.php>

Toschi A., 1969. « Introduzione alla ornitologia della Libia ». *Supplemento alle ricerche di zoologia applicata alla caccia*, 6: p. 1–381.

Verity Ratcliffe, 2018. « Trans-Med leads decline in Algerian pipeline exports », Interfax Global Energy.
Disponibile à l'adresse suivante

World Electric Power Plants Database, Platts, 2015.

Annexe 1 : Espèces floristiques de la zone du SASS

Source : Site de la Convention sur la diversité biologique¹¹²

Espèces floristiques		
Algérie	Tunisie	Libye
Algues (lesquelles)	Stipa tenacissima	Arthrocnemum glaucum
Ammosperma cinerum	Apium graveolens	Halocnemum strobilaceum
Anabasis articulata	Arthrocnemum	Limoniastrum
Antirrhinum romosissimum	Arthrocnemum indicum	Monopetalum
Astragalus armatus	Arthrophytum schmittiamum	Salsola karoliniana
Atirpex halimus	Arthrophytum scoparium	Salsola vermiculata
Cléome arabica	Astragalus armatus	Suaeda fruticosa
Composeae	Astragalus corrugatus	Suaeda mollis
Cyndon dactylon	Athrophyton sp.	Suaeda prunosa
Datura	Atriplex portulocoides	Tamarix
Didplotaxix harra	Beta macrocarpa	Zygophyllum album
Euphobia guyoniana	Calligonium sp.	
Fagonia microphylla	Caraceae	
Foulques	Carex	
Fragmites camunium	Carex hispida	
Frankenia thymifolia	Ceratophyllum demersum	
Gencus acitus	Characeae	
Gramineae	Corchorus olitorius (Mlukhia : corette)	
Guyonianium	Coronopus lepidioides	
Halocnemum strobilaceum	Cynanchum acutum	
Haloxylon articulatum	Cyperus laevigatus	
Haloxylon SP	Daclyctenium aegyptiancum	
Jonc	Diploaxis harra	
Jujubier	Erica sativa	
Juncus sp	Halocnemum strobilaceum	
Laurier rose	Helosciadium nodiflorum	
Limoniastrum	Hordeum sp.	
Limoniastrum feei	Juncus fontanesii	

¹¹² <https://www.cbd.int/>

Espèces floristiques		
Algérie	Tunisie	Libye
Limoniastrum guyonianum	Juncus maritimus	
Limonium tunetanum	Juncus pigmayeus	
Moricandia arvensis	Lawsonia inermis (Henna : Henné)	
Navicula	Ligium sp.	
Oudneya africana	Linaria laxiflora	
Peganum harmala	Lycium sp.	
Phoenix dachylifera	Malcorisa africana	
Phragmites australis	Megastoma pusillum	
Phragmites communis	Nigelle	
Pitunathos chloranthus	Nitraria sp.	
Retam	Olea europaea	
Roseau	Panicum repens	
Salsola	Phragmites communis	
Salsola vermiculata	Plantago major	
Scenedsmus quadricauta	Potamogeton nodosus	
Scripes	Retama retama	
Sinuatum prui-nosum	Roseau	
Tamarix	Rubia tinctorum	
Tamarix gallica	Ruppia	
Tetragona	Salicornia	
Thymelaea microphilla	Salicornia arabica	
Tiffa engostifolia	Salicornia europaea	
Traganuml nudatum	Salicornia perennis	
Tunetanum thouini	Scirpus holoschoenus	
Typha elephantina	Scirpus littoralis	
Vinux sp	Stipa sp.	
Ziziphus lotus	Suaeda mollis	
Zygophyllum album	Suaeda sp.	
Zygophyllum cornutum	Sueda mollis	
	Tamarix	
	Tamarix africana	
	Tamarix boveana	
	Tamarix panciovulata	

Espèces floristiques		
Algérie	Tunisie	Libye
	Thymilia sp.	
	Traganum sp.	
	Trigonelle	
	Typha	
	Typha angustifolia	
	Typha cratophyllum dermersum	
	Verbena supina	
	Zanichellia palustris	
	Ziziphus sp.	
	Zygophyllum cornutum	
	Zygophyllum album	

Annexe 2 : Oiseaux de la zone du SASS

Source : Site de la Convention sur la diversité biologique¹¹³

Nom commun	Nom scientifique	Statut
Algérie		
Aigle de bonelli		
Aigrette garzette		
Anas platyrhynchos		
Balbusard pêcheur		
Barge à queue noir		
Bécasseau		
Bécasseau minute	Calidris minuta	
Busard des roseaux		
Buse		
Canard pilet		
Canard siffleur		
Canard souchet		
Canards Colverts		
Chevalier combattant	Philomachus pugnax	
Chouette chevêche		
Ciconia ciconia		
Cigogne blanche		
Crécerelle		
Échasse blanche	Hymantopus hymantopus	
Ericius		
Erodias alba		
Faucon		
Faucon crécerelle		
Flamant rose	Phoenicopterus ruber roseus	
Foulque d'eau		
Fuligules Nyroca		
Grand cormoran		
Gravelot		
Grèbe castagneux		

¹¹³ <https://www.cbd.int/>

Nom commun	Nom scientifique	Statut
Grèbe huppé		
Héron cendré		
Passereaux des zones arides		
Poule d'eau		
Poule (à courtes pattes)		
Poules sultane		
Sarcelle marbrée	Marmonetta angus triostris	
Tadorne casarca		Légalement protégée en Algérie depuis 1983
Tadorne de belon		
Tadorna ferruginea		
Tadorna Tadorna		
Tourterelle des bois		
Tunisie		
Agrobate roux	Cercotrichas galactotes	Migrateur nicheur dans les oasis
Aigrette garzette	Egretta garzetta	Hivernant
Alouette hausse-col du désert	Ercucophila bilapha	
Ammomane du désert	Ammomanes deserti	
Aythiaferina		
Aythya nyroca	Fuligule nyroca	Figurant sur les listes rouges de l'U.I.C.N.
Bécasseau minute	Calidris minuta	
Bécassine des marais	Gallinago gallinago	Hivernant
Bergeronnette printanière	Motacilla flava	Migrateur de passage
Bruant ortolan	Emberiza hortulana	
Bruant proyer	Miliaria calandra	Hivernant
Bruant striolé	Emberiza striolata	Sédentaire nicheur dans les oasis
Bulbul des jardins	Pycnonotus barbatus	Accidentel
Busard des roseaux	Circus aeruginosus	Hivernant
Buse féroce	Buteo rufinus	Sédentaire nicheur dans les environs des oasis et qui s'y observe régulièrement
Canard pilet	Anas acuta	
Canard siffleur	Anas penelope	
Canard souchet	Anas clypaeta	
Chardonneret élégant	Carduelis carduelis	Accidentel

Nom commun	Nom scientifique	Statut
Chevalier aloyeur	Tringa nebularia	
Chevalier combattant	Phylomachus pugnax	
Chevalier cul-blanc	Tringa ochropus	
Chevalier sylvain	Tringa ghareola	
Chouette chevêche	Athene noctua	Sédentaire nicheur dans les oasis
Chouette effraie	Tyto alba	Sédentaire nicheur dans les oasis
Cigogne blanche	Ciconia ciconia	Migrateur de passage
Cochevis huppé	Galerida cristata	Sédentaire nicheur dans les environs des oasis et qui s'y observe régulièrement
Coucou gris	Cuculus canorus	Migrateur de passage
Courvite isabelle	Cursorius cursor	Accidentel
Cratérope fauve	Turdoides fulvus	Sédentaire nicheur dans les environs des oasis et qui s'y observe régulièrement
Cristicole des joncs	Cisticola juncidis	Sédentaire nicheur dans les oasis
Dromoïde du désert	Scotocerca inquieta	
Échasse blanche	Himantopus Himantopus	
Engoulevent d'Europe	Caprimulgus europaeus	Migrateur de passage
Érismature à tête blanche	Oxyura leucocephala	Espèce rare, menacée en situation critique
Etourneau sansonnet	Sturnus vulgaris	Hivernant
Etourneau unicolore	Sturnus unicolor	
Faucon crécerelle	Falco tinnunculus	Sédentaire nicheur dans les environs des oasis et qui s'y observe régulièrement
Faucon lanier	Falco biarmicus	Sédentaire nicheur dans les environs des oasis et qui s'y observe régulièrement
Fauvette à tête noire	Sylvia atricapilla	Hivernant
Fauvette des jardins	Sylvia borin	Migrateur de passage
Fauvette du désert	Sylvia deserticola	
Fauvette grisette	Sylvia communis	Migrateur de passage
Fauvette mélanocépale	Sylvia melanocephala	Hivernant
Fauvette orphée	Sylvia hortensis	Migrateur nicheur dans les oasis
Fauvette passerinette	Sylvia cantillans	Migrateur de passage
Flamants roses nicheurs	Phenicopterus ruber	
Foulque macroule	Fulica atra	Accidentel
Fuligule milouin	Aythya ferina	

Nom commun	Nom scientifique	Statut
Ganga tacheté	<i>Pterocles senegalus</i>	
Glaréole à collier	<i>Glareola pratincola</i>	
Gobe-mouche à collier	<i>Ficedula albicollis</i>	Migrateur de passage
Gobe-mouche gris	<i>Muscicapa striata</i>	Migrateur nicheur dans les oasis
Gobe-mouche nain	<i>Ficedula parva</i>	Accidentel
Gobe-mouche noir	<i>Ficedula hypoleuca</i>	Migrateur de passage
Grand corbeau	<i>Corvus corax</i>	Sédentaire nicheur dans les environs des oasis et qui s'y observe régulièrement
Gravelot à collier interrompu	<i>Charadrius alexandrinus</i>	
Grive musicienne	<i>Turdus philomelos</i>	Hivernant
Grue cendrée	<i>Grus grus</i>	
Guêpier d'Europe	<i>Merops apiaster</i>	Migrateur nicheur dans les environs des oasis et qui s'y observe régulièrement
Héron bihoreau	<i>Nycticorax nycticorax</i>	
Héron cendré	<i>Ardea cinerea</i>	Hivernant
Héron crabier	<i>Ardeolla ralloides</i>	Migrateur de passage
Héron pourpré	<i>Ardea purpurea</i>	Migrateur de passage
Hibou grand-duc	<i>Bubo ascalaphus</i>	
Hibou petit-duc	<i>Otus scops</i>	Migrateur de passage
Hirondelle de cheminée	<i>Hirundo rustica</i>	Migrateur nicheur dans les environs des oasis et qui s'y observe régulièrement
Hirondelle de fenêtre	<i>Delichon urbica</i>	Migrateur de passage
Hirondelle de rivage	<i>Riparia riparia</i>	Migrateur de passage
Huppe fasciée	<i>Upupa epops</i>	Sédentaire nicheur dans les oasis
Hypolaïs ictérine	<i>Hippolais icterina</i>	Migrateur de passage
Hypolaïs pâle	<i>Hippolais pallida</i>	Migrateur nicheur dans les oasis
Ibis		
Limicole		
Linotte mélodieuse	<i>Acanthis cannabina</i>	Hivernant
Loriot d'Europe	<i>Oriolus oriolus</i>	Migrateur de passage
Martinet à ventre blanc	<i>Apus melba</i>	Migrateur nicheur dans les environs des oasis et qui s'y observe régulièrement
Martinet noir	<i>Apus apus</i>	Migrateur de passage
Martinet pâle	<i>Apus pallidus</i>	Migrateur nicheur dans les environs des oasis et qui s'y observe régulièrement
Martin-pêcheur	<i>Alcedo atthis</i>	Hivernant

Nom commun	Nom scientifique	Statut
d'Europe		
Merle à plastron	Turdus torquatus	Hivernant
Merle bleu	Monticola solitarius	Hivernant
Merle noir	Turdus merula	Sédentaire nicheur dans les oasis
Milan noir	Milvus migrans	Migrateur de passage
Moineau domestique	Passer domesticus	Sédentaire nicheur dans les oasis
Moineau soulcie	Petronia petronia	Hivernant
Œdicnème criard	Burhinus oedicnemus	Accidentel
Oie cendrée		
Oie rieuse		
Outarde houbara		
Perdrix gabra	Alectoris barbara	Accidentel
Petit gravelot	Charadrius dubius	
Phragmite des joncs	Acrocephalus schoenobaenus	Migrateur de passage
Pie-grièche à tête rousse	Lanius senator	Migrateur nicheur dans les oasis
Pie-grièche méridionale	Lanius meridionalis	Sédentaire nicheur dans les environs des oasis et qui s'y observe régulièrement
Pinson des arbres	Fringilla coelebs	Sédentaire nicheur dans les oasis
Pipit à gorge rousse	Anthus cervinus	
Pipit des arbres	Anthus trivialis	Migrateur de passage
Pipit farlouse	Anthus pratensis	Hivernant
Pouillot fitis	Phylloscopus trochilus	Migrateur de passage
Pouillot siffleur	Phylloscopus sibilatrix	Migrateur de passage
Pouillot véloce	Phylloscopus collybita	Hivernant
Poule d'eau	Galinula chloropus	Hivernant
Rousserole effarvate	Acrocephalus scirpaceus	Migrateur de passage
Rousserole turdoïte	Acrocephalus arundinaceus	Migrateur de passage
Roselind githagine	Bucanetes githginea	Accidentel
Rosignol philomèle	Luscinia megarhynchos	Migrateur de passage
Rouge-gorge familier	Erithacus rubecula	Hivernant
Rouge-queue à front blanc	Phoenicurus phoenicurus	Migrateur de passage
Rouge-queue de Moussier	Phoenicurus moussieri	Hivernant
Rouge-queue noir	Phoenicurus ochruros	Hivernant
Sarcelle d'hiver	Anas crecca	

Nom commun	Nom scientifique	Statut
Sarcelle marbrée	Marmoronetta angustirostris	Espèce rare et menacée figurant sur les listes rouges de l'U.I.C.N.
Serin cini	Serinus serinus	Sédentaire nicheur dans les oasis
Sirli du désert	Alaemon alaudipes	
Sirli de Dupont	Chersophilus duponti	
Tadorne casarca	Tadorna ferruginea	Espèce rare
Tadorne de belon	Tadorna tadorna	
Talève sultane	Porphyrio porphyrio	Espèce rare
Tarier pâtre	Saxicola torquata	Hivernant
Torcol fourmilier	Jynx torquilla	Migrateur de passage
Tourterelle des bois	Streptopelia turtur	Migrateur nicheur dans les oasis
Tourterelle des palmiers	Streptopelia senegalensis	
Tourterelle maillée	Streptopelia senegalensis	Sédentaire nicheur dans les oasis
Traquet à tête grise	Ænanthe moesta	
Traquet motteux	Ænanthe œnanthe	Accidentel
Traquet oreillard	Ænanthe hispanica	Accidentel
Traquet rieur	Ænanthe leucura	
Verdier d'Europe	Caeduelis chloris	Hivernant

Annexe 3 : Espèces fauniques de la zone du SASS

Source : Site de la Convention sur la diversité biologique¹¹⁴

Mammifères	Batraciens	Reptiles	Poissons
Algérie			
Camilus	Crapauds	Couleuvre	Barbot du désert
Chacal doré (<i>Canis aureus</i>)	Grenouilles	Faux cobra	Barbus local
Chat des sables (<i>Felis margarita</i>)		Fouette queue (<i>Uromastix acanthinurus</i>)	Carpe à grande bouche
Fennec (<i>Canis zerda</i>)		Lézard	Carpe argentée
Fennec (<i>Fennucus zerda</i>)		Serpentése	Carpe royale
Gazelle dorcas		Varan du désert (<i>Varanus griseus</i>)	Gardon
Gerboise		Vipère	
Goundi du Sahara (<i>Ctenodactylus vali</i>)			
Hérisson d'Afrique du Nord (<i>Atelerix algerus</i>)			
Hyène (peu courante, observée un peu partout)			
Lièvre (<i>Lepus capensis</i>)			
Ovis longipes			
Phénias			
Sanglier (<i>Sus scrofa</i> en importante population)			
Tanis			
Tunisie			
Chacal	<i>Bufo veridis</i>	<i>Acantodactylus boskianus</i>	<i>Thermosbaena mirabili</i> (crustacé) (sans doute disparu depuis sa découverte)
Gazelle dorcas (extrêmement rare et proche de l'extinction)	<i>Rana ridibunda perezii</i>	<i>Acantodactylus inortus</i> A. longipes	<i>Gambusia affinis holbrookii</i>
<i>Gazella leptoceros</i> (très rare, proche de l'extinction)		<i>Acantodactylus pardalis</i>	<i>Astatotilapia desfontainesi</i>
Renard		<i>Agama mutabilis</i>	<i>Hemichromis bimaculatus</i> (à Kébili seulement)

¹¹⁴ <https://www.cbd.int/>

Mammifères	Batraciens	Reptiles	Poissons
Sanglier		Agama tournevillei	Sarotherodon nilotica à Kébili seulement)
		Cerastes cerastes	Tilapia (espèce introduite)
		Cerastes vipera	Mugil auratus (espèce introduite)
		Chamaeleo chamaeleon	
		Eumeces schneideri	
		Lytrohynchus diadema	
		Malpolon moilensis	
		Mesalina guttulata	
		Mesalina olivieri	
		Natrix maura	
		Ophidiens	
		Psammophis schokari	
		Scincus Scincus	
		Sphenops boulengeri	
		Stenodactylus petriei	
		Stenodactylus stenodactylus	
		Tarentola mauritanica	
		Tarentola neglecta	
		Tropicolotes tripolitanus	
		Uromastix acanthinurus	
		Varanus griseus (extrêmement rare)	

Annexe 4 : Sites Ramsar de la zone du SASS

Source : Site de la convention Ramsar¹¹⁵

Site Ramsar	Année de création	Superficie (ha)	Gouvernorat/Wilaya
Algérie			
Oasis de Tamantit et Sid Ahmed Timmi	2001	95 700	Adrar
Oasis de Ouled Saïd	2001	25 400	
Sebkhet El Melah	2004	18 947	Ghardaia
Chott Aïn El Beïda	2004	6 853	Ouargla
Chott Oum El Raneb	2004	7 155	Ouargla
Chott Ain El Beida	2004	6 853	Ouargla
Chott Melghir	2003	551 500	El Oued, Biskra, Khenchela
Chott Merrouane et Oued Khrouf	2001	337 700	El Oued
Tunisie			
Oued Dekouk	2012	5 750	Tataouine
Bahiret el Bibane	2007	39 266	Médnine
Golfe de Boughrara	2012	12 880	Médnine
Jerba Bin El Ouedian	2007	12 082	Médnine
Jerba Ras Rmel	2007	1 856	Médnine
Jerba Guellala	2007	2 285	Médnine
Sebkhet Oum Ez-Zessar et Sebkhet El Grine	2013	9 195	Médnine
Zones humides oasiennes de Kebili	2007	2 419	Kébili
Chott El Jerid	2007	586 187	Tozeur, Kébili
Sabket Sidi Mansour			Gabès
Sebkhet El Hamma			Gabès
Sebkhet Nouaïel			Kébili (classé ZICO)
Sebkhat Jemna			Kébili
Sebkhet (Chott) Blidet			Kébili
Sebkhet Sud de Douz			Kébili
Sebkhet Ouest Douz			Kébili
Sebkhet Snam			Kébili
Sebkhet Ghidma			Kébili

¹¹⁵ <https://www.ramsar.org/>

Site Ramsar	Année de création	Superficie (ha)	Gouvernorat/Wilaya
Sebkhet Douz Laâla			Kébili
Lac de Bir El Keb			Tataouine
Libye			
Ain Elshakika	2000	33	
Ain Elzarga	2000	33	

Annexe 5 : Caractéristiques des pays du SASS

	Algérie	Libye	Tunisie	Total
SUPERFICIE				
Superficie du pays (1 000 ha)	236 174	175 954	16 361	428 489
Superficie agricole	41 432	15 355	10 079	66 866
En % de la sup. du pays	17	9	62	16
Prairies et pâturages permanents	32 967	13 300	4 830	51 097
Superficie cultivée	8 465	2 055	5 249	15 769
En % de la sup. totale du pays	4	1	32	4
Terres arables (cult. temp. + prairies et jachères)	7 545	1 720	2 839	12 104
Cultures permanentes	920	335	2 410	3 665
POPULATION				
Population totale (en milliers d'hab.)	39 929	6 298	10 997	57 224
Dont population rurale (%)	25	21	33	26
Densité de la population (hab./km ²)	17	4	67	13
ÉCONOMIE ET DÉVELOPPEMENT				
PIB (millions US\$/an)	214 000	41 119	47 129	302 248
Valeur ajoutée agricole (% du PIB)	10	2	8,7	8,7
PIB par habitant (US\$/hab.)	5 360	6 550	4 286	5 282
Indice de développement humain (plus élevé = 1)	0,717	0,725	0,721	
Indice d'inégalités de genre (égalité = 0, inégalité = 1)	0,425	0,134	0,265	
ACCÈS AUX RESSOURCES AMÉLIORÉES D'EAU POTABLE				
Population totale (%)	84	71	97	
Population urbaine (%)	84	72	100	
Population rurale (%)	82	68	90	
RESSOURCES EN EAU RENOUVELABLES				
Précipitations moyennes (hauteur en mm/an)	89	56	207	
Précipitations moyennes (volume en millions de m ³ /an)	212 000	98 530	33 870	344 400
Ressources en eau renouvelables internes (millions de m ³ /an)	11 250	700	4 195	16 145
Ressources en eau renouvelables totales (millions de m ³ /an)	11 670	700	4 615	16 985
Indice de dépendance (%)	4	0	9	
Ressources en eau renouvelables totales par habitant (m ³ /an)	292	112	419,7	297
Capacité totale des barrages (millions de m ³)	8 300	389,89	2 677	11 367

Source : <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/>; Données 2012-2016