



HAL
open science

Géorressources et Vulnérabilité des zones humides : Cas de la Sebkhha Moknine

Raja Chairi

► **To cite this version:**

Raja Chairi. Géorressources et Vulnérabilité des zones humides : Cas de la Sebkhha Moknine. Observatoire, inPress. hal-04395091

HAL Id: hal-04395091

<https://hal.science/hal-04395091>

Submitted on 18 Jan 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Géoressources et Vulnérabilité des zones humides :

Cas de la Sebkha Moknine

Raja CHAIRI

Laboratoire de Géoressources. Centre de Recherche et Technologies des Eaux

Technopôle Borj cedria BP 273, 8020 Soliman Tunisie

Chairi_ra@yahoo.fr

1. Introduction

Les zones humides sont les seuls milieux à faire l'objet d'une convention internationale, la convention de Ramsar qui est un traité intergouvernemental. Ce dernier est adopté le 02 Février 1971 dans la ville iranienne de RAMSAR, sur les bords de la mer Caspienne et entré en vigueur en 1975 (en Tunisie: 24 mars 1981). Il est le premier traité intergouvernemental mondial moderne sur la conservation et l'utilisation rationnelle des ressources naturelles (F.A.O ,1971) et qui a défini les zones humides comme : « des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires.

Dans les milieux humides, l'eau est le facteur déterminant tant pour le fonctionnement de ces zones naturelles que pour la vie animale et végétale. La submersion des terres, la salinité de l'eau (douce, saumâtre ou salée) et la composition en matières nutritives de ces territoires subissent des fluctuations journalières, saisonnières ou annuelles. Ces variations dépendent à la fois des conditions climatiques, de la localisation de la zone au sein du bassin hydrographique et du contexte géomorphologique (géographie, topographie).

Les archives sédimentaires sont aussi affectées par les composantes naturelles (climat, végétation, relief et lithologie) des processus d'érosion, transport et sédimentation. Néanmoins, une autre composante s'ajoute ; c'est l'anthropisation. Les activités humaines intenses suite à l'industrialisation ont singularisé une époque géologique de l'Holocène par l'impact prégnant de celle-ci sur les processus géologiques d'où l'apparition de l'Anthropocène. L'Anthropocène nouvelle époque géologique de l'Holocène est validée par la commission internationale de stratigraphie (ICS) qui considère son début vers 1950. Au cours de cette nouvelle époque géologique, les activités anthropiques ont progressivement exercé une influence croissante sur l'environnement qui initialement n'était dominé que par des facteurs climatiques naturels.

Celle-ci s'est fortement renforcée depuis les révolutions agricole et industrielle de ces derniers siècles. Aujourd'hui, la planète est profondément transformée et très largement influencée par les activités humaines

De nos jours, l'urbanisation et la croissance de la population littorale est considérable. En Tunisie, plus de la moitié de la population est concentrée sur les zones côtières. Les pressions subies par l'environnement littoral en général, et les milieux paraliques en particulier sont donc importantes et constituent de nos jours des menaces pour la pérennité de ces écosystèmes.

L'objectif de ce travail est de présenter un résumé sur des travaux menés sur la Sebkhha Moknine et qui contempera aussi bien l'histoire de la formation de cet écosystème hypersalin que les menaces et les problèmes environnementaux. On finira par la gestion durable et les éventuels projets dans ce site.

2. Les sebkhas

Les sebkhas sont considérées comme les plus grandes zones humides du bassin méditerranéen dont les plus importantes se trouvent en Afrique du Nord. L'évaporation étant huit fois supérieure aux précipitations, l'eau ne reste jamais très longtemps, et il est fréquent que ces systèmes s'assèchent complètement entre les orages, qui ne se produisent qu'une fois par an.

Le littoral tunisien comporte plusieurs environnements hypersalins de tailles et de caractéristiques physiques et écologiques variées (Chairi, 2005, Chairi et Abdeljaoued, 2019). L'étude de ces environnements hypersalins a commencé fin 1960 sur les systèmes évaporitiques du Cap Bon et du Sud-Est tunisien. Les actions sur les systèmes du Sahel ont débuté avec les travaux de Kamoun (1981) sur la sebkha de Moknine.

3. Cadre général de la sebkha de Moknine

3.1. Géographie, Géologie et Géomorphologie du système de Moknine

La sebkha de Moknine, est une dépression côtière située au Sud-Est de la ville de Moknine et au Nord-Ouest de la ville de Mahdia. Ce système communique avec deux autres sebkhas ; Gotaïa et Eliana, situées à l'Ouest de Mahdia par l'oued Redjel Chiba (Fig.1). Une barrière littorale de 4 km la sépare de la mer Méditerranée. En été, le fond de la sebkha peut être accessible par temps sec jusqu'à la côte -1,75m. Au-delà, s'étend une zone vaseuse recouverte

par une couche de sel. En hiver, en période de pluie, elle se remplit partiellement sans jamais dépasser toutefois la cote -9m. Encore, cette cote est atteinte le plus souvent par l'effet du vent qui sur le fond très plat du bassin, arrive à pousser l'eau de la partie centrale vers la périphérie sur des distances considérables (Chairi, 2005, Chairi et Abdeljaoued 2019).



Figure1. Site d'étude : la Sebkhia Moknine est son réseau hydrographique.
Extrait de la carte topographique Moknine 1/250 000 (Chairi, 2021)

La région du Sahel en Tunisie centrale est soumise à un climat méditerranéen littoral de type aride à semi-aride, caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. La pluviométrie moyenne annuelle de 300 millimètres est soumise à deux types d'actions climatiques opposés : le climat méditerranéen tempéré sur les côtes est et le climat aride sec à l'Ouest.

Les zones du Centre et du Sud des gouvernorats de Monastir et Mahdia sont soumises à l'effet des vents dominants soufflant du Nord-Est et de l'Est couramment appelés « Chergui ». Les vents du Sud et de l'Ouest sont beaucoup moins fréquents et sont souvent chauds et secs marquant la saison estivale et entraînant une hausse considérable des températures pouvant dépasser 40°C.

La géologie de Moknine est caractérisée par des formations variées allant du miocène au quaternaire récent générant différents types de milieux (Fig.2). A Mahdia, la géologie est

caractérisée par des dépôts de couches épaisses datant du quaternaire (Paskoff et Sanlaville, 1983) qui ont subi une série de plis anticlinaux et synclinaux.

Les sols sont variés et surtout à potentiel agronomique indéniab. Il s'agit de sols à caractère léger dans leur majorité, drainant, favorables presque à tout type de culture et s'apprêtent bien à l'aménagement.

La géomorphologie de la région est marquée par une diversité de paysages morphologiques (continent, du littoral, des côtes, des sebkhas). Les Sebkhas collectent les eaux de ruissellement par écoulement endoréique. Cet écoulement est au moyen des oueds à caractère sec à cause d'un déficit hydrique énorme d'environ $2\text{Mm}^3/\text{an}$, traduit par un écart étendu entre l'évaporation et les apports pluviométriques. Les eaux dérivant des zones à l'ouest sont partiellement accumulées dans ces dépressions. Le reste est infiltré pour alimenter les nombreuses nappes souterraines qui sont à l'origine du développement d'une agriculture irriguée. Les réserves hydrogéologiques sont peu renouvelables et le niveau piézométrique a connu un abaissement important.

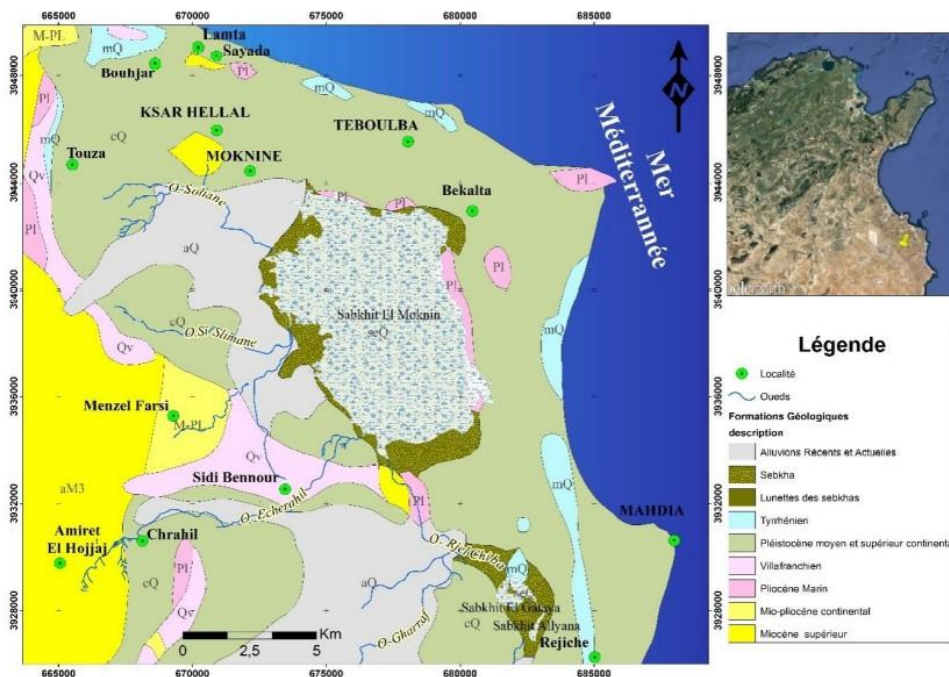


Figure 2 : Carte de la géologie de la zone Moknine-Mahdia (Extrait de la carte géologique de la Tunisie 1/500000 d'après Ben Haj Ali et al., 1985 in Chairi, 2021)

3.2. Hydrologie et Hydrogéologie

La sebkha de Moknine reçoit en plus des eaux de pluies, les eaux de divers oueds : Redjel Chiba, Echrahil, Er Rejeb, Ben Hamid, Si Slimane, Bernoussa, Cheibat et Soltane (Fig.1). La

superficie totale du bassin versant, sebkha déduite, est de 862 km². La plus grande partie de ce bassin, soit 537 km², est drainée par l'oued Redjel Chiba, exutoire des sebkhas Eliana et Kotaia et des oueds Glat et Rharraf.

Dans la région de Moknine, il y a lieu de distinguer les entités aquifères suivantes : les nappes de Moknine, la nappe de Teboulba, et la nappe de Zarmedine- Beni Hassen.

3.3. Faune et flore

La sebkha est entourée par des champs d'olivier et de cultures maraîchères. Sur le sol de la sebkha, la flore est caractérisée par des espèces qui supportent l'excès de sel. On y trouve des plantes halophiles ; telles que : *Zygophyllum album*, *Atriplex inflata*, *Lygeum aspartum*, *Salicornia arabica* et *phragmites sp.*

La faune retrouvée dans la sebkha de Moknine est caractérisée par la présence des gastéropodes terrestres enfouis dans les sédiments ; notons : *Rumina decollata*, *Helicella idia*, *Eobania vermiculata*, *Helicella variabili* et des oiseaux migrateurs indicateurs des milieux salés.

Les espèces reconnues sont composés de :

- Aigrette garzette : Deux populations distinctes fréquentent la Tunisie. Une population nicheuse se disperse fortement en période inter-nuptiale et une d'origine européenne dont une partie ne fait que traverser le pays et le reste hiverne. L'espèce fréquente en hiver une grande diversité de zones humides avec une prédilection pour les lagunes et les salines.
- Grande aigrette (*Ergetta alba*) : Hivernant assez rare mais régulier sur les lagunes littorales, dans les sebkhas, dans les salines et les hauts fonds du golfe de Gabés.
- Héron cendré (*Ardea cinerea*) : Commun en hiver, ainsi qu'au double passage de printemps et d'automne. Les migrateurs s'avancent jusqu'en zone désertique, où quelques oiseaux hivernent à la faveur de plans d'eau favorables. Le gros des hivernants se concentre sur la frange côtière en particulier sur les lagunes, dans les sebkhas et les salines et sur les hauts fonds du golf de Gabes.
- Ibis falcinella (*Plegadis falcinellus*) : Hivernant régulier mais surtout espèce de passage spécialement au printemps.
- Flamant rose (*Phoenicopterus ruber*) : Présent toute l'année en Tunisie. Les nombreuses zones humides saumâtres et salées constituent un fort pôle de stationnement pour les adultes et immatures provenant en grande partie des colonies

de Camargues (France) et de Fuente de Piedra (Espagne). Les effectifs atteignent leur maximum en automne et en hiver quand les juvéniles et les adultes reproducteurs européens se joignent aux immatures déjà présents. (Fig. 4)

- Mouette rieuse (*Larus ridibundus*) : Hivernant très commun avec quelques estivants non nicheurs. La majorité des effectifs hiverne le long des côtes, spécialement sur les côtes basses de la frange orientale ainsi que sur toutes les lagunes, sebkha et salines. *Les décharges d'ordures ménagères et les égouts aux alentours des grandes villes favorisent leur concentration.*

4. Origine et mise en place des sédiments de la sebkha de Moknine

Le matériel de remplissage de la sebkha comprend toutes les subdivisions granulométriques allant des sables aux argiles montrant l'origine détritique de ce dernier. Les couches traversées dénotent toutes d'un dépôt effectué dans un environnement continental (lacustre). Les niveaux n'ont montré aucun indice faunistique ou lithologique permettant l'attribution d'un caractère de dépôt franchement marin.

Le mode de remplissage de la sebkha s'est effectué d'une manière concentrique (Fig.3). Le comblement est net dans les espaces les plus externes. Ce mode de remplissage centripète est dû à l'existence de plusieurs directions des apports détritiques. Il témoignerait également d'une physiographie particulière du bassin, constitué par un domaine central profond et un domaine périphérique de moins en moins profond. Ceci est exprimé par la distribution zonée des matériaux détritiques de remplissage des sommets des carottes et des sédiments de surface. La croûte de sel existant dans les carottes les plus internes est un indice supplémentaire confirmant ce mode de remplissage centripète. Le niveau argileux basal reflète plutôt un épisode antérieur lorsque le bassin était recouvert en totalité d'eau et possédait une superficie plus grande (Chairi, 2005, 2010, 2021).

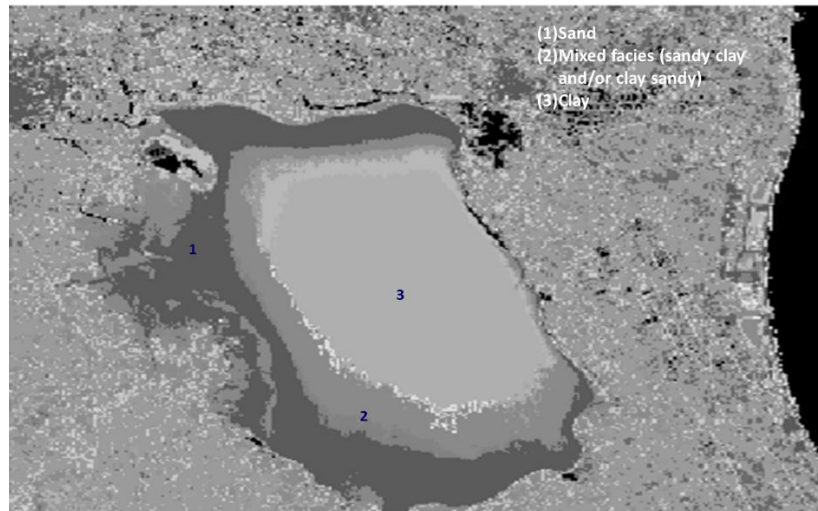


Figure3 : Distribution latérale des sédiments de surface de la sebkha Moknine
(d'après Chairi, 2004, 2005)

La distribution granocroissante des faciès indique la présence de dépôts de comblement dans une dépression continentale où l'énergie hydrodynamique a progressivement augmenté avec le temps. La distribution du quartz retrace cet aspect progradant et la présence de deux unités de dépôt. Son importance diminue avec la profondeur et l'évolution spatiale présente un gradient décroissant des teneurs en ce minéral vers la partie la plus interne. La sédimentation dans ce système est attribuée aux dépôts de courant se produisant par excès de charge. Elle montre une variation dans les dépôts de surface et de subsurface qui peut s'expliquer par : (i) une concentration des cours d'eau préférentiellement dans la partie occidentale, (ii) une variation dans la topographie de la bordure, (iii) et enfin, une variation dans le degré d'énergie des eaux (Chairi, 2021).

5. Evolution de la sebkha de Moknine

Le modèle de Moknine révèle des dépôts détritiques reflétant l'influence continentale, comme c'est le cas des sebkhas de Kelbia et Sijoumi. Toutefois la sebkha de Moknine est plus proche de la Méditerranée et une communication avec la mer a dû exister dans le passé. La passe semble avoir été située au Sud par l'intermédiaire des deux petites dépressions Eliane et Gotaia, sebkhas communiquant avec le système de Moknine par l'oued Rejel Chiba. Cependant aucun indice marin n'est signalé dans la colonne étudiée, qui puisse renseigner sur la période de l'isolement de la sebkha de la mer, comme c'est le cas des sebkhas côtières de Tunisie : Boujmal, Ariana, Bou Zid où les dépôts ont enregistré l'influence marine ainsi que la régression et la fermeture du bassin. L'étude accomplie a permis la reconstitution de la sebkha en prenant

en compte la variation du niveau d'eau dans le bassin et le déplacement du faciès fin et de MO associée. D'après, le mode de sédimentation calme, la rareté des averses et l'écoulement peu abondant durant l'année dans la région de Moknine (300 mm/an), la chronologie de la séquence sédimentaire du système est de l'ordre de 2000 ans (Chairi, 2021).

Dans la sebkha de Moknine, la répartition des n-alcanes étudiés illustre les relations internes complexes et variables de cet environnement contrasté, entre la nature des différents types de sources (bactéries, cyanobactéries, microalgues et plantes supérieures), la composition de ces sources (par exemple pour les plantes supérieures : halophyte *S. Arabica*, *Phragmites* et les débris végétaux supérieurs rejetés par les oueds), l'importance de la dégradation bactérienne des n-alcanes à partir de sources primaires et prouve que ce système est passé par trois phases de sédimentation. La distribution des n-alcanes dans la phase argileuse correspondant à l'intervalle t0 dans le modèle de l'évolution de la Sebkha Moknine et démontre que celle-ci était bien plus étendue vers l'Ouest et que la séquence argileuse dans les profils périphériques correspond au centre de la Sebkha Moknine au passé.

6. Menace environnementale de la zone de Moknine

6.1. Impact de la station d'épuration sur la Sebkha Moknine

L'emplacement d'une station d'épuration dans sa partie septentrionale est à l'origine d'un déséquilibre du système. A l'inverse des autres zones de la sebkha, celle-ci reçoit en plus des eaux de précipitation une quantité d'eau continue à partir de la station d'épuration, cause principale de la pérennité des eaux au Nord. Pour cette raison, un suivi annuel des eaux de surface était réalisé entre juin 1998 et mars 1999 (Chairi, 2005).

Un gradient de concentration de salinité croissant de la périphérie vers le centre se dégage de la situation de l'été (1998) et du printemps (1999). L'élévation de la température au cours de la saison estivale est le principal facteur d'une évaporation intense qui, par conséquent, est l'agent principal de l'augmentation des concentrations de sel dans les eaux de la sebkha la rendant inutilisable pour l'irrigation mais à l'origine d'une couche de halite très épaisse. Seuls les échantillons prélevés à la sortie de la station d'épurations (ESM1 et ESM2) sont peu chargés en sel et en O₂ dissous. En dehors de ces points, la quantité d'O₂ dissous est importante même dans les échantillons caractérisés par une température élevée en été. Une activité photosynthétique est à l'origine de ces fortes concentrations d'O₂. La baisse marquée au printemps sera le résultat d'une consommation d'O₂ par les microorganismes.

La mesure des nutriments au cours des deux saisons révèle des valeurs importantes, favorables à la vie de la biomasse. En été, les eaux sont chargées en orthophosphates et en nitrates. La richesse en NO_3^- résulte d'une nitrification très puissante. Elle est activée par des bactéries aérobies autotrophes (Nitrosomona (1) et Nitrobactère (2) et influencée par certains facteurs ambiants tels que la température, le pH, la salinité, l'oxygène dissous,...

Les valeurs les plus élevées sont mesurées en ESM6 et à la sortie du bassin de la station d'épuration; ce qui renforce l'idée d'une origine à partir des eaux usées déversées dans la sebkha et probablement d'une minéralisation de la matière organique.

La saison printanière se caractérise par une élévation des concentrations des eaux du secteur nord en ammonium. Ces ions dérivent des eaux usées. En effet, une eau usée peut contenir 40% d'azote sous forme de NH_4^+ et 60% sous forme organique. La corrélation positive entre les différentes formes d'azote montre que les nitrites dérivent d'une réduction des nitrates et d'une nitrosation en été et d'une réduction des nitrates au printemps.

Le rapport ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- / \text{NH}_4^+$) élevé indique une activité nitrifiante importante et prouve la présence d'une pollution organique.

Les ions orthophosphates sont très abondants au cours des deux saisons. Les valeurs mesurées dépassent les normes. Toutefois, les concentrations très élevées enregistrées à la sortie de la station d'épuration confortent l'idée d'un apport de PO_4^{3-} à partir des eaux usées. L'apport des nutriments surtout PO_4^{3-} à la suite d'un drainage des terrains cultivés du bassin versant est aussi probable.

A partir du suivi des éléments nutritifs au cours de deux saisons successives, la sebkha de Moknine présente un état eutrophique dans sa partie septentrionale.

6.2. Eutrophisation des eaux au Nord de la Sebkha Moknine

La sebkha de Moknine fonctionne comme un système oligotrophe loin de toute action anthropique. Le flux de la matière organique autochtone ne semble pas être très important et la matière organique sédimentée est à contribution majoritaire continentale ($\text{CO} < 1\%$). Cependant, les rejets continus des eaux usées ont créé des conditions eutrophiques. Les taux assez élevés en nutriments (NO_3^- : 10 mg l^{-1} et PO_4^{3-} : $22,87 \text{ mg l}^{-1}$, en moyenne) causent une prolifération de phytoplanctons : chlorophytes et cyanobactéries. Les algues chlorophytes se développent dans les eaux de la sebkha sont caractérisées par une distribution de n-alcanes centrée sur les

légers (nC10-nC20) et par l'absence de n-alcanes : nC21 et nC23. La présence de cyanobactéries, indicateur d'eutrophisation est détectée dans les sédiments par la répartition des n-alcanes centrée sur nC18-nC31 sans prédominance de n-alcanes pairs ou impairs. L'eutrophisation semble atteindre les sédiments superficiels du système évaporitique de Moknine. Enfin, l'origine continentale de la matière organique ne se dégage que par l'abondance d'humine (Chairi, 2006).

6.3. Les Alkylbenzenes

Une distribution similaire des alkylbenzènes est déterminée dans différents profils du Nord de la sebkha de Moknine. Un certain nombre de séries homologues avec des chaînes latérales n-alkyl ont été identifiées. La concentration et la distribution des hydrocarbures aromatiques sous forme d'alkylbenzène linéaire (LAB) sont variées dans ce système. La concentration élevée dans SM9 indique un rejet intensif des eaux usées dans le bassin de Moknine. Les rejets directs des eaux usées non traitées dans l'oued Soltane sont la principale source d'augmentation de la concentration des LAB au Nord de la sebkha (SM11). Les faibles concentrations, au Nord-Est (SM8) en partie médiane (SM10) et au centre (SM12) sont l'expression d'une origine biogénique des LAB (cyanobactéries, halophiles). La distribution de LAB est contrôlée par l'intensité des apports d'eaux usées et le transport latéral et la dilution des particules (Chairi et al., 2010, Chairi 2010).

6.4. Pollution des sédiments de la sebkha par les métaux lourds

Selon Wali et al., (2015) La contamination potentielle des sédiments dans l'écosystème de la Sebkha de Moknine a été évaluée au moyen de facteurs d'enrichissement (FE) estimés par rapport aux sédiments de référence situés à 70 km de Sebkha. L'utilisation de ces facteurs FE est recommandée comme méthode fiable d'évaluation de la contamination par les métaux lourds. Le degré de contamination des sédiments de la sebkha a été évalué au moyen de la méthode des degrés de contamination modifiés. Cette étude a montré que les sédiments de surface ont été enrichis jusqu'à 22.9 pour le Pb, 13.2 pour le Cu, 5.6 pour le Cr et 3.19 pour le Zn. Des facteurs d'enrichissement plus faibles pour Ni et Co ont suggéré que les sources anthropiques étaient moins importantes pour ces métaux. Le degré de contamination modifié a révélé que les sédiments de Sebkha de Moknine étaient contaminés de façon significative.

Il s'agit de métaux lourds systématiquement après l'urbanisation et l'industrialisation des bassins versants.

7. La Sebkhia Moknine site de préférence pour le Projet de la ville antique de Thapsus

L'ancienne ville, qui était occupée jusqu'à la période byzantine du moins, couvre seulement environ 40 hectares et son plan d'urbanisme est inconnu. Seuls les vestiges immergés de son port et quelques monuments romains restent dans le paysage contemporain : citernes, amphithéâtre, bains, magasins, pour les principaux (Fig.4).



Figure 4 : la ville antique de Thapsus

L'aspect géomorphologique visait à trouver un secteur favorable à l'enregistrement paléo-environnemental dans les environs immédiats de la ville de Thapsus. Les visites sur le terrain ont mené, dans un premier temps, à axer les enquêtes sur la Sebkhia Moknine afin de documenter l'évolution du paysage, la variabilité climatique et les impacts anthropiques associés à la construction de l'ancienne cité.

8. Gestion Durable de l'écosystème de Moknine

La Sebkhia Moknine est un site idéal pour la construction d'un lac artificiel ; considérant (i) son fond situé au-dessous du niveau de la mer (-9 m), (ii) sa proximité avec la mer Méditerranée et la zone touristique du Sahel tunisien. Cependant des études sur la nappe ont montré un impact négatif sur la qualité des eaux souterraines.

8.1. Recharge artificielle de la nappe de Tebolba-Moknine

Trois phases de recharge étendue entre 1971 et 2006 :

1^{ère} phase (1971-1978) : phase d'expérimentation de la recharge artificielle pour caler les volumes à injecter en fonction de la capacité d'infiltration des puits (Volume cumulé : $1,4 \cdot 10^6$ m³ /an).

2^{ème} phase (1979 à 1991) : pas de recharge pour des raisons économiques ainsi que l'élévation piézométrique de la zone centrale de la nappe où il y a eu l'injection ce qui a causé une surexploitation des eaux souterraines. En janvier 1981, la nappe de Tébolba est décrétée comme un périmètre de sauvegarde (Décret N°81-41 ministère de l'Agriculture).

3^{ème} phase (1992-2006) : le volume injecté durant 15 ans est de $3,28 \cdot 10^6$ m³ /an.

Les résultats ont montrés que seule la zone centrale de la nappe est la zone d'eau douce. Les volumes injectés ne sont pas étendus sur toute la nappe et plus précisément aux zones peu éloignées vers le rivage et vers la sebkha (Ferchichi, 2007). *La dégradation de la qualité des eaux vers ces deux côtés est probablement du à une concentration de puits de recharge dans la zone centrale et une intrusion d'eau salée vers la sebkha*

8.2. Impact de la création d'un lac artificiel sur la qualité des eaux souterraines (Tajina et al, 1999)

La mise en place d'un lac artificiel dans la Sebkha Moknine est un projet ambitieux qui offre des avantages économiques sûrs. Cependant, d'après l'étude menée par Tajina et al. en 1999 ; il existe un risque de contamination des eaux souterraines.

Cette étude prouve que les simulations à diverses hauteurs de la lame d'eau dans le lac artificiel montre une variation de la salinité dans l'aquifère (Tebolba-Moknine) ainsi qu'un risque inéluctable d'intrusion d'eau marine dans la nappe phréatique. La qualité des eaux est menacée même à une hauteur d'eau minimale de 5m.

Ce risque peut être remédié selon cette étude. Leur proposition est l'ajout de matériaux pour agir sur la perméabilité du terrain afin de :

- augmenter l'alimentation artificielle
- optimiser la hauteur maximale de la lame d'eau dans le lac

8.3. Aménagement de la Sebkhha Moknine

Les études géochimiques minérale et organique des eaux de la sebkhha et des sédiments de surface de l'écosystème évaporatoire de Moknine ont montré la présence d'une pollution organique et une prolifération des algues au nord de la Sebkhha. Il faut entreprendre un projet d'assainissement et contrôler les rejets non traités dans ce secteur.

Le but principal de l'assainissement de cet environnement est d'assurer la dépollution et la protection de la Sebkhha Moknine. L'aire naturelle et les habitats fonctionnels doivent être protégés au moyen d'un traitement amélioré de la station de traitement des eaux usées et d'un contrôle des sites d'enfouissement.

8.4. Développement Durable

un projet d'évaluation dont l'objectif est de rechercher de nouvelles synergies entre l'exploitation du potentiel naturel (site ornithologique, saumure, cysts d'Artémia, plante halophile) et l'assainissement de la sebkhha et qui vise à promouvoir et développer les ressources naturelles du lieu de manière durable (observatoire ornithologique, site de culture d'Artémia, bioénergie...). Une mobilisation collective des organismes intéressés s'impose donc.

9. Références bibliographiques

- Chairi R. 2004. Etude du remplissage récent et de la matière organique associée dans la sebkhha de Moknine. Thèse de doctorat. Univ. Tunis El Manar. 249, 2 annexes
- Chairi R. 2005. Sedimentological study of sediment from anhypersaline system of oriental Tunisia in recent Quaternary: Moknine Sebkhha. *Quaternaire* 16 (2), 107-117
- Chairi R. 2005 Géochimie organique des eaux de surface de la zone septentrionale de la sebkhha de Moknine, Tunisie orientale. *Larhyss Journal*, n°4 juin 2005, 17-30.
- Chairi R 2006. Contribution organiques naturelles et anthropiques dans un environnement évaporatoire de la Tunisie orientale : Sebkhha de Moknine. *e Journal de l'Eau et de l'Environnement* 44-51
- Chairi R., Largeau C., Derenne S. and Abdeljaoued S., 2006. Hydrocarbons studies in surface sediments and surface water of an evaporator system: the Mokninesebkha. Acted of 4th International Conference on Marine Waste Water Disposal and Marine Environment 2006 (MWWD). Antalya, Nov. 6-10, 2006. 1-4p
- Chairi R., Derenne S., Largeau C., 2010. Alkylbenzenes origin in recent sediments from the hypersaline environment of Moknine sebkhha. Tunisia. 39ème congrès de la CIESM. Venise Mai 2010
- Chairi R, Abdeljaoued S 2019. Etude de la géomorphologie dynamique des systèmes évaporatoires conjugués de Mahdia : Gotaia et Eliane. Tunisie orientale. Géomorphologie.
- Chairi R 2018. La sebkhha de Moknine : sédimentologie et géochimie organique. Édition université européenne. Collection OMN.UNIV.EUROPE. 184p
- Chairi R 2010. Organic and mineral sedimentary deposits in the evaporators' environments of the Sahel of Tunisia (Mahdia): the Baghdadadi swamp and the conjugated sebkhha of Gotaia and Eliane. 8th SwissGeoscience Meeting 2010 Fribourg.

Chairi R. 2021 Les biomarqueurs, outils de reconstitution des conditions de dépôt dans des systèmes endoréiques (Les sebkhas de Moknine et Mahdia) et de traçage de la pollution (Les embouchures du golfe de Tunis). Rapport de synthèse. Habilitation universitaire. FST Univ Tunis El Manar 105p

Kamoun Y., 1981. Neotectonic Study of the Region of Monastir-Mahdia (Eastern Tunisia). Ph.D. Thesis, University of Orsay, Paris, France.175

Tranoy L, Amraoui T, Brassous L, Carozza JM, Lévêque F, Mathé V, Sghaïer Y 2020. Thapsus (Rass Dimass, Tunisie). Carnet ARCHÉO-CVZ

Wali A, Kawachi A, Seddik M, Bougi M, Ben Dhia H, Isoda H, Tsujimura M, Ksibi M 2015. Effects of metal pollution on sediments in a highly saline aquatic ecosystem: case of the Moknine continental Sebkha (eastern Tunisia). Bull Environ Contam Toxicol . 94(4):511-8 doi: 10.1007/s00128-015-1469-9. Epub 2015 Feb 8.