



IDENTIFICATION, CLASSIFICATION ET CARACTÉRISATION DES ZONES HUMIDES DU GRAND SFAX

IDENTIFICATION, CLASSIFICATION AND CHARACTERIZATION OF THE BIG SFAX WETLANDS

CHAABANE B., BOUJELBEN A.

Institut supérieur agronomique de Chott Mariem, 4049, Sousse, Tunisie

balkischaabane@yahoo.fr

ABSTRACT

In this paper, we present the different steps to study the wetlands of the big Sfax, from identification to characterization.

Identification consists of locating and delimiting wetlands. The approach used is the interpretation assisted with computer of panchromatic aerial photographs. The wetlands identified are classified according to the Ramsar typology into three categories: marine wetlands, continental wetlands and artificial wetlands.

Ground prospecting was then used to characterize the wetlands through searching for traces of hydromorphy and halophytic vegetation. Soils and vegetation develop in a specific way and persist after periods of waterlogging and land development. They constitute reliable criteria for diagnostic, identification and delimitation of wetlands.

Key words: big Sfax, wetlands, interpretation of aerial photographs, halophytic vegetation, hydromorphy.

RESUME

Dans cet article nous présentons les différentes étapes suivies dans l'étude des zones humides du grand Sfax, de l'identification à la caractérisation.

L'identification consiste à localiser et à délimiter les zones humides. La démarche employée est la photo-interprétation assistée par ordinateur des photos aériennes panchromatiques. Les zones humides identifiées sont classées selon la typologie Ramsar en trois catégories : zones humides marines, zones humides continentales et zones humides artificielles.

Puis, la prospection du terrain a été utilisée pour la caractérisation des zones moyennant la recherche des traces d'hydromorphie et de la végétation halophyte. Les sols et la végétation se développent de manière spécifique et persistent après les périodes d'engorgement en eau et d'aménagement du terrain. Ils constituent des critères fiables de diagnostic, d'identification et de délimitation des zones humides.

Mots clés : grand Sfax, zones humides, photo-interprétation, végétation halophyte, hydromorphie.

INTRODUCTION

Les zones humides sont « des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eaux marines dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres » (Ramsar, 2013). Elles correspondent à des zones de transition entre les systèmes terrestres et aquatiques, qu'elles s'inscrivent dans un continuum de conditions écologiques allant de milieux submergés en permanence à des milieux toujours exondés et naturellement drainés et pouvant subir de plus des variations de conditions dans le temps (Bouzillé et al, 2014). Ces zones sont caractérisées par la présence continue ou temporaire, en surface ou à très faible profondeur, d'eau douce à salée, par la prédominance d'une phytocénose hygrophile et par la permanence d'un substrat hydromorphe. Elles sont précieuses à la fois par leurs fonctions hydrologiques et biologiques. Ainsi, elles contribuent au maintien et à l'amélioration de la qualité de l'eau en agissant comme un filtre épurateur physique (rétention des sédiments) et biologique (dégradation biochimique) et jouent un rôle déterminant dans la régulation des régimes hydrologiques (épanchement des crues). Elles constituent également un

important réservoir de biodiversité. Outre ces fonctions, elles offrent de nombreux services à la communauté en étant le support de diverses activités économiques et culturelles (exploitation des ressources cynégétiques, halieutiques, agricoles, touristiques,...) (Davranche, 2008).

Les zones humides sont des milieux convoités, celles qui demeurent aujourd'hui dans beaucoup de pays ne sont pas pour la plus part des espaces "naturels" au sens strict du terme : elles sont le fruit des transformations faites par l'homme au cours des siècles dans des buts précis (Bernard, 1994). Depuis longtemps menacées, celles qui subsistent aujourd'hui ne sont pas à l'abri des changements globaux et doivent faire l'objet d'une attention particulière.

Les zones humides constituent des territoires complexes dont les caractères et la perception fluctuent dans le temps (Dakki et al, 2005). Leurs études supposent le recours à des méthodes diversifiées et adaptées (PNRZH, 2005) dont la plus utilisée est la télédétection. Elle offre une gamme de données, des photographies aériennes et des images satellitaires, de plus en plus couramment utilisées pour identifier, délimiter, caractériser les zones humides à différentes échelles en allant du paysage, bassin versant, à la région (Rundquist et al, 2001). Des photographies aériennes panchromatiques, couleur et infra-rouge couleur ont été utilisées comme documents de base dans plusieurs études pour identifier les zones humides (Anderson et Wobber, 1973 ; Cowardin et Myers, 1974 ; Provencher et Dubois, 2007). Et dans certaines études, des photographies aériennes anciennes ont permis l'identification de la végétation hygrophile qui apparaît dans des teintes sombres associées à leurs faibles réponses spectrales. Le critère relief peut être retenu pour identifier les zones humides et les caractériser grâce à l'utilisation de couples stéréoscopiques (Rapinel, 2012).

Dans notre étude, des photographies aériennes panchromatiques de 1963 ont été utilisées comme document de base pour l'identification de ces zones. Les zones identifiées seront classées selon l'une des typologies, qui sont produites à l'échelle internationale, en fonction des objectifs à atteindre et des échelles considérées. Le système de classification adopté est celui de la convention Ramsar, vu qu'il est le plus souvent utilisé en Tunisie suite à l'absence en matière de zones humides d'une loi tunisienne adaptable à leurs conditions climatiques et leurs caractéristiques géomorphologiques et surtout que notre zone d'étude contient déjà une zone humide 'salines de Thyna' enregistrée comme une zone humide Ramsar depuis 2007.

Le but de cet article est d'identifier les zones humides du grand Sfax à partir des photographies aériennes et de les caractériser en se référant au sol et la végétation constituant ainsi des critères fiables de diagnostic, d'identification et

de délimitation. Ces critères sont alternatifs et interchangeable puisque si l'un des deux est rempli alors il suffit pour qualifier un milieu comme zone humide.

Cet inventaire peut être un outil d'aide pour une gestion durable de ces écosystèmes dans une ville dynamique dont son littoral, où se localisent la plupart de ces zones humides, est la zone qui a subi les plus fortes pressions conduisant à sa dégradation et sa fragilisation. Cette situation alarmante a rendu nécessaire l'intervention de l'Etat. Dans un premier temps, c'était par le lancement du projet TAPARURA dont les objectifs sont la dépollution de la côte nord et la réconciliation de la ville de Sfax avec son littoral. Et actuellement, un deuxième projet en phase d'étude pour le réaménagement et la gestion intégré de la côte sud de la ville de Sfax (projet SMAP III).

CRITERES D'IDENTIFICATION DES ZONES HUMIDES

Les zones humides correspondent à des zones de transition entre les systèmes terrestres et aquatiques. Elles sont caractérisées par la présence continue ou temporaire, en surface ou à très faible profondeur, d'eau douce à salée, par la prédominance d'une végétation hydrophile et par la permanence d'un substrat hydromorphe (Gramond et al, 2005). Les caractéristiques des zones humides et leurs propriétés sont déterminées d'abord par les conditions climatiques, leur localisation et leur contexte géomorphologique.

En effet, si l'eau apparaît comme l'élément déterminant primaire et majeur de qualification du caractère humide d'un milieu, par ses fluctuations saisonnières, le caractère humide d'une parcelle va varier en intensité et les éléments de diagnostic ne seront pas les mêmes au cours de l'année hydrologique. C'est le paradoxe apparent de l'identification d'une zone humide : l'eau est le moteur du système humide, mais il s'avère qu'à l'usage, c'est souvent le plus mauvais descripteur du caractère humide d'un lieu, en raison de son caractère fluctuant. C'est ainsi que la délimitation et la caractérisation d'une zone humide reposent sur deux autres critères : le caractère hydromorphe du sol ou le caractère hydrophile de la végétation (Bouzillé et al, 2014).

Les sols et la végétation se développent de manière spécifique dans les zones humides et persistent au-delà des périodes d'engorgement des terrains et de leur aménagement (SETIS, 2012). Les adaptations développées par les plantes 'les hydrophytes' leur confèrent le statut d'indicateur d'hydromorphie, de variations de niveaux et de composition de l'eau (Barnaud et al, 2007). Sous l'effet d'excès d'eau, un processus de transformation de l'organisation et des constituants du sol se développe. Le déficit en oxygène du fait de l'excès d'eau

se traduit par une ségrégation du Fer. Les sols des zones humides présentent l'un des caractères suivants (MEDDE, 2013) :

- Horizon histique débutant à moins de 20 cm de la surface et d'une épaisseur d'au moins 50 cm.
- Traits réductiques débutant à moins de 50 cm de la surface.
- Traits rédoxiques débutant à moins de 25 cm de la surface et se prolongeant ou s'intensifiant en profondeur.
- Traits rédoxiques débutant à moins de 50 cm de la surface, se prolongent ou s'intensifient en profondeur à côté des traits réductiques qui apparaissent entre 80 et 120 cm de profondeur.

Un horizon est qualifié de rédoxique lorsqu'il est caractérisé par la présence de traits rédoxiques couvrant plus de 5% de la surface de l'horizon observé sur une coupe verticale. Ces traits résultent d'engorgements temporaires par l'eau avec pour conséquences principales des alternances d'oxydation et de réduction (MEDDE, 2013).

Les horizons réductiques résultent d'engorgements permanents ou quasi permanents, qui induisent un manque d'oxygène dans le sol et créent un milieu réducteur riche en fer ferreux ou réduit. L'aspect typique de ces horizons est marqué par 95 à 100 % du volume qui présente une coloration uniforme verdâtre/bleuâtre (MEDDE, 2013). Et les horizons histiques, sont des horizons holorganiques entièrement constitués de matières organiques et formés en milieu saturé par la présence d'eau durant des périodes prolongées plus de six mois dans l'année (MEDDE, 2013).

MATERIEL ET METHODES

Présentation de la zone d'étude

Le présent travail prend comme cadre spatial pour étude "le grand Sfax" (figure 1) qui est bordé d'un côté par la ceinture du km 11 et de l'autre côté par la mer méditerranée. La zone est dominée en majorité par un climat aride et caractérisée par un relief monotone, bas et peu accidenté (atlas du gouvernorat de Sfax, 2013). Elle correspond à une vaste plaine côtière de très faible dénivellation, dont l'altitude ne dépasse 10m qu'à partir de 3 à 4 km de la côte. Les pentes, généralement $<3^\circ$, sont dirigées fondamentalement vers la mer et presque nulle notamment au voisinage du rivage. C'est ce qui explique la grande extension des terrains humides de type 'sebkha' et chott' tout le long de la frange

littorale. La côte est d'ailleurs toujours basse et formée d'une alternance de microfalaises vives, de très petites plages et des marais maritimes plus ou moins étendus (Bouzid, 2006).

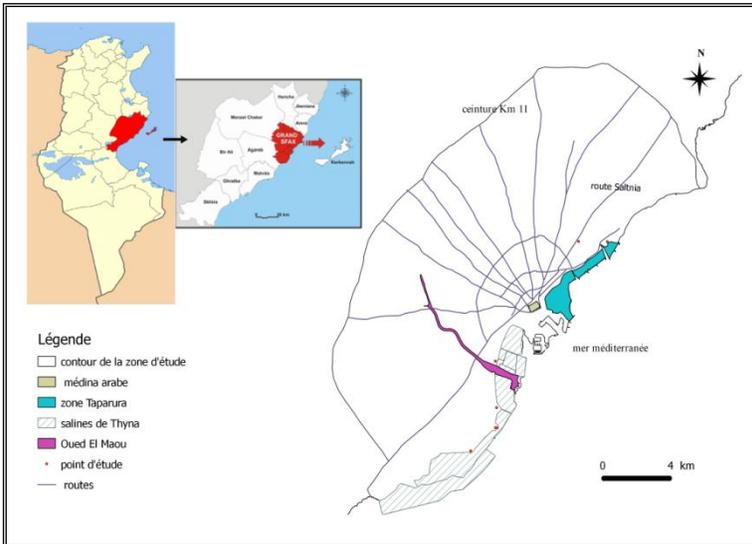


Figure 1 : Plan de localisation de la zone d'étude

Méthodologie

Identification et délimitation

La démarche employée pour l'identification est la photo-interprétation assistée par ordinateur croisée avec l'utilisation des données exogènes (cartes pédologiques, carte du réseau hydrographique, scan 25, carte maritime de 1969, carte d'état-major 1/50 000 de type 1922).

Des photographies aériennes panchromatiques 1/250.000 de 1963 ont été traitées et utilisées comme référence marquant la présence des zones humides dans la ville de Sfax avant la dégradation du paysage naturel par le développement de l'activité industrielle et l'extension urbaine. Et des photographies panchromatiques 1/100.000 datant de 1982, une image satellitaire IKONOS de 2003 et des extraits de Google Earth.

Le traitement de ces photos a consisté à les manipuler de la phase scannage à la phase géoréférencement (redressement géométrique). Chaque cliché a été

scanné au même format puis importé sous Qgis. Ils sont tous calés sur une image Bing en utilisant le même système de projection (EPSG : 3857-WGS 84/pseudo Mercator).

La délimitation des zones humides de types marais saumâtres saisonniers (dépressions littorales, Sebkha, zones d'épandage des cours d'eau ...) a été faite généralement par le contraste de teinte qui est plus sombre liée à une forte hydromorphie par rapport à leur environnement et dans certains cas, elles ont une teinte plus claire qui est due à la présence d'un faciès salin (la présence de sels dans les sols et les nappes modifie les états de surface et diminue leur réflectance). Alors que pour les cours d'eau, on a suivi leurs trajectoires sinusoïdales (le lit mineur) qui sont bien dessinés dans les parties amont les cas d'Oued El Maou et Oued Ezzit tandis que leurs parties aval sont obstruées respectivement par les salines de Thyna et les maisons (pavillons), et pour Oued El Haffara en se référant au contraste de teinte (c'est son lit majeur qui a été délimité).

Le traçage des limites des bassins de la saline de Thyna est fait en suivant les digues qui sont bien identifiées sur les photos aériennes. Les marais maritimes sont identifiés et délimités sur les photos aériennes par leur teinte sombre qui sont dus à sa forte activité chlorophyllienne (les lits de varech et les zones d'herbiers marins). Ces limites sont vérifiées sur le scan 25 et la carte maritime de 1969 qui nous a permis aussi de délimiter la zone des eaux marines peu profondes et permanentes.

Caractérisation

Le sol et la végétation sont l'expression la plus visible de la présence de l'eau pendant une période de l'année. Ils représentent les deux critères les plus fiables utilisés pour identifier et délimiter les zones humides continentales, puisqu'ils se développent de manière spécifique, persistent après les périodes d'engorgement des terrains et les travaux d'aménagements. La prospection du terrain a été utilisée pour la caractérisation. On associe les relevés pédologiques et phytosociologies (végétations hygrophiles) aux examens des cartes (pédologiques, topographiques). Une série de campagnes de collecte des données sur le terrain a été faite sur le périmètre d'étude (figure 1).

Puisque la reconnaissance des zones humides est faisable en se référant à l'une des caractéristiques essentielles : le sol ou la végétation. Il était plus facile de rechercher dans un premier plan la végétation typique qui se trouve dans les sites d'études (à Sabkhet El Hajjem, derrière l'amphithéâtre estival de Sfax, la zone industrielle Sidi Salem et les alentours des partènements extérieurs des

salines de Thyna). Puis, une étude de sol a été faite pour rechercher les traces d'hydromorphie. Les relevés pédologiques ont été faits par profil pédologique ou par tarière et ont porté sur la profondeur de la nappe phréatique. Leur analyse ne va toucher qu'à un seul aspect de la chimie de sol, le fer qui remplit le rôle d'un paramètre indicateur de zone humide, jouant sur l'eau et l'oxygène (présence des tâches de couleur verdâtre ou rouille dues au phénomène d'oxydo-réduction).

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Classification des zones humides du grand Sfax

Au sud de la zone d'étude, des zones humides différentes ont été inscrites dans la liste des zones humides Ramsar d'intérêt international depuis 2007. La zone Ramsar couvre une superficie de 3343 ha (FDR, 2007) et contient des zones humides marines côtières (eaux marines peu profondes et permanentes, marais intertidaux, lits marins aquatiques subtidaux) et une zone artificielle le site d'exploitation du sel. Aussi, la station de traitement des eaux usées Sfax sud créée en 1983 est une zone humide artificielle selon la typologie Ramsar mais ne fait pas partie de la zone humide Ramsar de Thyna.

L'agglomération Sfaxienne est traversée par plusieurs petits oueds dont la plupart de leurs lits est aujourd'hui complètement occultés par l'urbanisation (Daoud, 2013). Ces cours d'eau sont à écoulements temporaires, convergent vers le centre de la ville et débouchent dans la mer méditerranée. Du nord au sud on distingue : Oued Ezzit, Oued El Haffara, Oued Agareb et Oued El Maou.

La zone des eaux marines peu profondes est plus importante dans la côte nord qu'au sud. L'isobathe 5m est à 3 km de la côte au nord de la ville alors qu'il est à 750 m dans la côte sud. Et la largeur de la zone de marnage varie et peut atteindre 500 m. Au sud de la zone d'étude, une grande partie de cette zone est occupée par les salines de Thyna. Pareil dans la côte nord où une partie est transformée et annexée après remblaiement à la zone Taparura.

Le tableau 1 présente la classification des zones humides rencontrées dans le grand Sfax selon le système de classification Ramsar.

Tableau 1 : Typologie des zones humides du grand Sfax selon le système Ramsar

Catégories	Code	Types
Zones humides marines et côtières	A	eaux marines peu profondes et permanentes : zones de mer peu profondes dont la profondeur à marée basse n'excède pas à six mètres.
	B	lits marins aquatiques subtidaux : y compris lits de varech, herbiers marins.
	H	marais intertidaux : y compris les schorres ; il s'agit de zones de végétation marine, ce type de zone humide a dû constituer la plus grande partie du bord de mer avant la construction des salines de Thyna dans la côte sud.
Zones humides continentales ou intérieures	N	cours d'eau irréguliers
	Ss	marais saumâtres saisonniers.
Zones humides artificielles	5	sites d'exploitation du sel : les salines.
	8	sites de traitement des eaux usées 'STEP Sfax sud'.

Vu que ce système de classification ne prend pas en charge les termes "plaine d'inondation", "zones basses inondables", "dépressions littorales", "sebkha" et elles ne figurent pas comme un type spécifique de zone humide, nous avons choisi le type Ss "mares ou marais saumâtres saisonniers" pour les identifier.

Caractérisation des zones humides du grand Sfax

La zone humide artificielle : site d'exploitation du sel « les salines de Thyna » (FDR, 2007)

Les salines sont une formation artificielle, il s'agit d'une série de bassins d'évaporation, séparés des terres et de la mer avoisinante par des digues en pierre. Les bassins des salines, surtout ceux de la partie méridionale où la salinité est moins élevée, sont peu profonds et plus ou moins couverts d'une végétation halophyte dominée par la *Salsola Tetrandia* principalement et aussi par la *Frankenia Thymifolia*.

Dans la végétation halophyte des salines, on peut citer également : *Limoniastrum guyonianum*, *L. monopetalum*, *Limonium pruinosum*, *Nitraria retusa*, *Atriplex halimus*, *A. glauca*, *Lycium arabicum*, *Erodium triangulare*, *Arthrocnemum indicum*, *Halocnemum strobilaceum*, une graminée pérenne

Lygeum spartum et, dans le cours de l'oued El Maou, des espèces tributaires de l'eau douce comme *Phragmites communis*.

La végétation submergée des bassins est dominée par les Zostères *Zostera* et les Chlorophceae comme *Enteromorpha Linza* et *Ulva Lactuca*.

Les zones humides marines

Les fonds côtiers du golfe de Gabès sont caractérisés par une couverture végétale divisée horizontalement en deux étages, un herbier de *Posidonia Oceanica* (plante du groupe des phanérogames, à feuilles allongées au ruban) laissant progressivement place à une pelouse *Caulerpa prolifera* (plante du groupe des algues vertes) (Darmouli, 1988). Et du point de vue lithostratigraphique la zone est caractérisée essentiellement depuis la surface par une couche sableuse vaseuse de couleur grisâtre à noirâtre (figure 2) riche en débris coquillés et en végétaux marins en moyenne de 10 cm généralisée pratiquement sur toute la zone. Au dessous de cette couche, on trouve du sable fin coquillé de couleur beige à grisâtre et parfois grisâtre d'une épaisseur de 30 cm (ARECSOIL, 2011).



Figure 2 : Couche sableuse vaseuse grisâtre à noirâtre

Les marais maritimes sont constitués par les lits marins aquatiques subtidiaux (figure 3) : lits de varech et les herbiers marins, et les marais intertidaux (y compris les schorres).

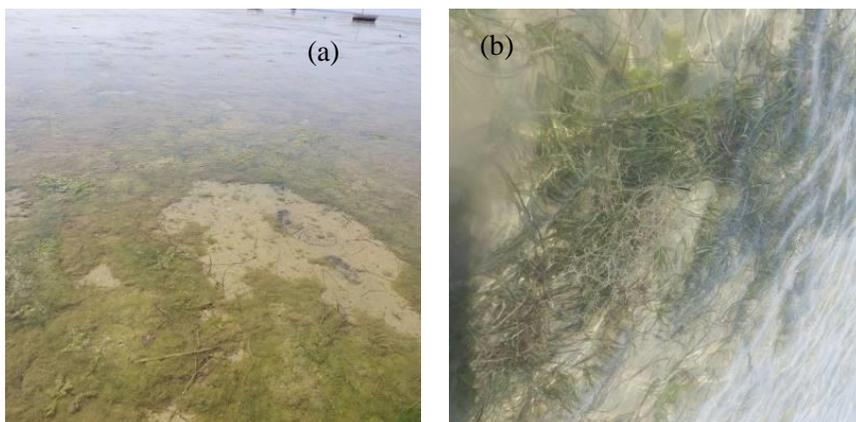


Figure 3 : Lit de varech (a) et herbiers marins (b) sur la côte de sidi Mansour à Sfax

Le lit de varech est constitué par des algues vertes laissées par le retrait des marées. Les herbiers marins sont constitués par des zostères (*Zoostera sp*) ou des posidonies (*Posidonia sp*).

Le schorre, qui correspond aux niveaux les plus élevés des marais salés et en continuité directe avec le milieu terrestre, est occupé par des maisons d'été (figure 4) et des cafés sur une dizaine de mètres de longueur bloquant ainsi l'accès à la mer.



Figure 4 : Schorre sur la côte de Sidi Mansour.

(A gauche de la photo on peut observer le schorre occupé sur une dizaine de mètres de longueur par les maisons d'été)

Les zones humides continentales

La végétation

Il s'agit d'une végétation halophyte envahissante dans la majeure partie de nos points d'échantillonnage.

Les espèces trouvées (figure 5) sont : *Halumione portulacoides* (a), *Suaeda maritina* (b), *Arthrocnemum macrostachyum* (c), *Salicornia arabica* (d), *Holocnemum strobilaceum* (e), *Atriplex inflata* (f), *Atriplex halimus* (g). Ce sont des plantes annuelles et halophytes de la famille de Chenopodiaceae et poussent dans les sols humides, sablonneux ou argileux à forte salinité. Et on trouve aussi le roseau (h). Il est une plante herbacée et aquatique appartenant à la famille des graminées et prospère sur les sols gorgés d'eau et peu oxygéné, comme le long des cours d'eau et dans les marais.





Figure 5 : Espèces végétales observées dans les points d'échantillonnages

Le sol

Selon la carte pédologique (figure 6) la zone d'étude est occupée par des sols halomorphes dans la bande littorale, des sols iso-humiques et des sols d'apport peu évolués, qui sont transformés actuellement sous l'effet de l'urbanisation intensive en zone urbaine, s'altèrent sur le reste du grand Sfax. Les sols halomorphes couvrent les zones humides de type marais saumâtres saisonniers et les salines de Thyna.

Les sols halomorphes sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles ou par la richesse du complexe adsorbant en ions provenant de ces sels et susceptibles de dégrader leurs caractéristiques et propriétés physiques, en particulier leur structure, qu'ils rendent diffuse (Madani, 2008).

La salinité du sol a été mesurée à partir des échantillons prélevés des différents points d'étude (figure 1) en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/5 ou de la pâte saturée et présenté dans les tableaux 2 et 3.

Tableau 2 : Conductivité électrique (CE) de l'extrait aqueux 1/5

Zone d'échantillonnage	Valeur de la CE en mS/cm ou mmhos/cm
Sabkhet el Hajjem	6,71
Zone industrielle Sidi Salem	11,97
Zone aux alentours des parténements extérieurs des salines de Thyna :	
Point 1	7,40
Point 2	5,55
Point 3	7,97

Le premier site d'étude : Sabkhet el Hajjem

Dans ce site, un profil pédologique (figure 7) a été creusé une semaine après la tombée de la pluie. Les traits d'hydromorphies sont indépendants de la météorologie récente, et résultent du fonctionnement du sol sur des grandes périodes (engorgement en eau périodique ou permanent), une pluie récente permet toutefois de constater l'engorgement des sols (SETIS, 2012).

Le sol est caractérisé par une texture limono-argileuse. La nappe phréatique affleure à 40 cm de la surface. Cette présence de l'eau associée au manque d'oxygène ont conduit à l'apparition d'un horizon réductique (b) qui se traduit par l'apparition d'une couleur gris bleuâtre. Des tâches rouille sont apparues dans la zone de fluctuation saisonnière de la nappe conduisant à la formation d'un horizon rédoxique.



Figure 7 : Profil pédologique creusé dans le site « Sabkhet el Hajjem »

Le deuxième site d'étude : derrière l'amphithéâtre estival de Sfax 'Sidi Mansour'

Dans ce site, l'étude du sol a été faite à partir d'un fossé déjà creusé dans le site. L'observation de ces deux bords nous a permis de conclure que les deux premières couches ne sont pas des sols naturels (figure 8) mais apportés. La couche superficielle de couleur blanche est de type 'tuff' et la couche en dessous est de couleur grisâtre (couleur de ciment). On remarque l'abondance des petits morceaux de cailloux (cercle en rouge) et de briques (cercle en jaune).



Figure 8 : Profil du sol dans la zone d'amphithéâtre estival

Dans ce point, la nappe phréatique affleure à 30 cm de la surface. L'échantillon du sol a été prélevé à l'aide d'une tarière et deux jours après la tombée de la pluie. Il s'agit d'un sol limoneux sableux. Des tâches rouille et verdâtre sont apparues dans la carotte du sol. Il s'agit d'un horizon rédoxique. C'est l'engorgement temporaire du sol qui provoque la réduction et la mobilisation du fer en période de saturation, et l'oxydation et l'immobilisation du fer en période de non saturation (Chambaud et al, 2012).

Le troisième site d'étude : zone industrielle Sidi Salem

Dans ce site, un profil pédologique a été creusé. Il s'agit d'un sol sableux. La nappe affleure à 50 cm de la surface. Les tâches de couleur rouille sont très abondantes formant un horizon rédoxique (figure 9).



Figure 9 : Profil du sol dans la zone industrielle Sidi Salem

Le quatrième site d'étude : derrière les partènements extérieurs des salines de Thyna

Dans ce site, l'étude du sol a été faite par trois profils pédologiques et un prélèvement par la tarière. Il s'agit d'un sol sableux.

Dans le premier point d'étude, la nappe affleure à 60 cm de la surface du sol. L'observation du profil pédologique (figure 10) a permis de mettre en évidence l'abondance des tâches rouilles dès les premiers cm du profil. Il s'agit d'un horizon rédoxique.



Figure 10 : Profil du sol dans le premier point d'étude

Dans le deuxième point d'étude, un échantillon de sol a été prélevé par la tarière (figure 11) d'une zone limitrophe aux bassins des salines. Le milieu est totalement saturé par l'eau, ce qui a résulté le noircissement du sol. Donc, il s'agit d'un horizon histique. Ils sont des horizons holorganiques entièrement constitués de matières organiques et formés en milieu saturé par la présence de l'eau durant des périodes prolongées (MEDDE, 2013).



Figure 11 : Profil du sol dans le deuxième point d'étude

Dans le troisième point d'étude, la nappe affleure à 40 cm de la surface du sol. Le profil pédologique (figure 12) a permis l'observation d'une marquetrie de tâches grises et rouille. Il s'agit d'un horizon rédoxique.

Les traits rédoxiques résultent d'engorgements temporaires par l'eau avec pour conséquence principale des alternances d'oxydation et de réduction. Le fer réduit (soluble), présent dans le sol, migre sur quelques millimètres ou centimètres puis reprécipite sous forme d'accumulations de rouille ou des nodules bruns ou noirs. Dans le même temps, les zones appauvries en fer se décolorent et deviennent pâles et blanchâtres.

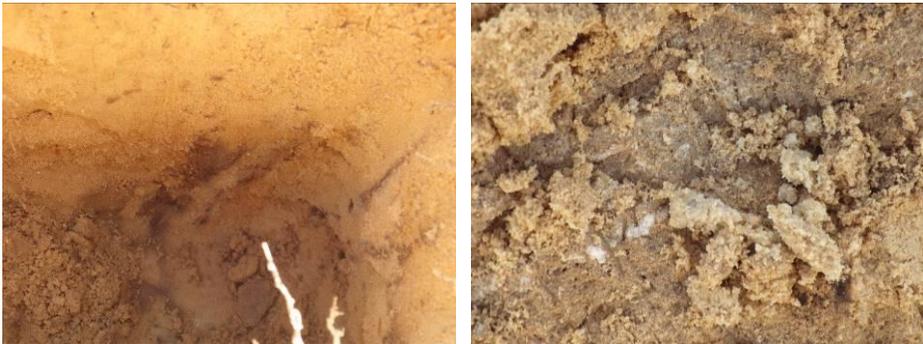


Figure 12 : Profil du sol dans le troisième point d'étude

Dans le quatrième point d'étude, la nappe affleure à 50 cm de la surface du sol. L'examen de profil pédologique (figure 13) a permis d'observer des tâches rouille et d'autres tâches de couleur bleutée. Il s'agit d'un horizon rédoxique.



Figure 13 : Profil du sol dans le quatrième point d'étude

La répartition des plaques de fer ferrique (les tâches rouille, grisâtre, bleuâtre ou verdâtre) dans la zone de battance de la nappe phréatique des profils du sol examinés est un bon indicateur de l'amplitude des variations en hauteur de la nappe d'eau.

Les traits rédoxiques peuvent persister après assèchement de la zone humide et être qualifiés de fossiles (SETIS, 2012), ces traits ont persisté dans les zones de marais saumâtres saisonniers en dépit des pressions démographiques et industrielles qu'a subi la ville de Sfax. Alors que, les traits réductiques et histiques sont caractéristiques d'une zone toujours fonctionnelle (SETIS, 2012).

En conclusion, les critères sol et végétation associés à la topographie de la zone (zone basse à pente presque nulle et embouchure des plusieurs cours d'eau) indiquent que les zones continentales étudiées sont des zones humides.

CONCLUSION

Les photographies aériennes servent de documents de base pour l'étude des zones humides, ils nous permettent de les identifier et les délimiter. La démarche employée pour l'identification et la délimitation est la photo-interprétation assistée par ordinateur. Les zones identifiées se classent selon le système de classification Ramsar, puis une phase de validation sur le terrain pour les caractériser.

Les zones humides identifiées se caractérisent par un sol à forte salinité favorisant le développement d'une végétation halophyte adaptée aux sols humides. L'engorgement des terrains est majoritairement saisonnier conduisant à l'apparition des traits rédoxiques, sauf dans les terrains humides adjacents aux bassins des salines de Thyna qui se caractérisent par des traits histiques à cause d'un engorgement permanent. Les zones humides marines sont des zones d'herbier de *Posidonia Oceanica* et de *Caulerpa Prolifera*. Elles se caractérisent par un sol dont la couche superficielle est une couche sableuse vaseuse de couleur grisâtre à noirâtre.

Pour approfondir les connaissances sur les zones humides du grand Sfax, une étude des fonctions, services et valeurs des zones humides semble être nécessaire pour une ville qui a subi des changements bouleversants et des modifications paysagères et qui a vécu des problèmes environnementaux alarmants tels que la remontée excessive de la nappe phréatique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anderson R.R., Wobber R.J. (1973). wetlands mapping in New Jersey. *Photogrammetric Engineering* (39), pp 353-358.
- ARECSOIL (2011). Travaux de reconnaissance de la frange côtière nord et sud du projet Taparura « identification et caractérisation du sédiment de la zone ».
- Atlas du gouvernorat de Sfax (2013). Direction générale de l'aménagement du territoire, 105 pages.
- BARNAUD G., FUSTEC E. (2007). *Conserver les milieux humides : Pourquoi? Comment?*, éditions QUAE, 230 pages.
- BERNARD P. (1994). *Zones humides infos*, n° 5, 3ème trimestre, 12 pages.
- BOUZID J. (2006). *Projet SMAP III - Tunisie (2006-2008), Stratégie de gestion intégrée de la zone côtière sud du grand Sfax, Collecte des données, rapport préliminaire.*
- BOUZILLE et al. (2014). *Ecologie des zones humides : concepts, méthodes et démarches*, Tec et Doc, éditions Lavoisier, 248 pages.
- CHAMBAUD F., LUCAST J., OBERTI D. (2012). *Guide pour la reconnaissance des zones humides du bassin Rhône-Méditerranée : volume 1 méthode et clé d'identification*, Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse. <http://www.documentation.eaufrance.fr>.
- COWARDIN L.M., MYERS V.I. (1974). Remote sensing for identification and classification of wetland vegetation. *The journal of wildlife*, 38(2), pp 308-314.
- DAKKI M., HAMMAN F., HAMMADA S. (2005). *Cartographie des habitats naturels d'une zone humide côtière méditerranéenne : les marais de Smir (région de Tétouan, Maroc) ; Bayed A et Sacapini F (éditeurs) ; écosystèmes côtiers sensibles de la méditerranée : cas du littoral de Smir, travaux de l'institut scientifique, Rabat, série générale, n° 4, 9-15 ;*
- DAOUD A. (2013). « Retour d'expérience sur les inondations dans l'agglomération de Sfax (Tunisie méridionale) de 1982 à 2009 : de la prévention à la territorialisation du risque », *Revue Géographique de l'Est* [En ligne], vol. 53 / 1-2 | 2013, mis en ligne le 16 septembre 2013, consulté le 20 novembre 2013. URL : <http://rge.revues.org/4630> ;
- DARMOULI B. (1988). *Pollution dans le Golfe de Gabès (Tunisie), Bilan de six années de surveillance (1976-1981) ;*
- DAVRANCHE A. (2008). *Suivi de la gestion des zones humides Camarguaises par télédétection en référence à leur intérêt avifaunistique, thèse en sciences géographiques et de l'aménagement de l'université de Provence-Aix Marseille 1, 257 pages.*
- FDR : Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar, salines de Thyna, 2007.

- GRAMOUD D., SAVY B., GRAFFOILLERE M., BARTOUT P. (2005). Méthodologies de délimitation des zones humides : de l'image satellitale à l'analyse terrain ; Bulletin de l'association de géographe français (thématique : territoires ruraux centre-européens/ lacs, étangs et zones humides) ; volume 82, n°2, pp : 246-255.
- MADANI D. (2008). Relation entre le couvert végétal et les conditions édaphiques en zone à déficit hydrique, Université de Batna, http://www.memoireonline.com/08/11/4676/m_Relation-entre-le-couvert-vegetal-et-les-conditions-edaphiques-en-zone-a-deficit-hydrique4.html ;
- MEDDE, GIS Sol. (2013). Guide pour l'identification et la délimitation des sols de zones humides. Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, Groupement d'Intérêt Scientifique Sol, 63 pages.
- PNRZH (2005). Cahier thématique « caractérisation des zones humides », fiche 9 : la télédétection : des outils multiples pour mieux connaître les zones humides, page 54.
- PROVENCHER L., DUBOIS J.M. (2007). Méthodes de photointerprétation d'image, Précis de la télédétection, volume 4, presses d'université du Québec, 540 pages.
- RAPINEL S. (2012). Contribution de la télédétection à l'évaluation fonctionnelle des zones humides : de l'observation à la modélisation prospective, thèse en géographie à l'université européenne de Bretagne, 353 pages.
- RUNDQUIST D.C. et al. (2001). Review of wetlands remote sensing and defining new considerations.
- SDGS 2 (2010). Stratégie de développement du grand Sfax II, étude des zones urbaines populaires, étude réalisé par le bureau d'études Architecture et Innovation, 100 pages.
- Secrétariat de la Convention de Ramsar (2013). Le Manuel de la Convention de Ramsar: Guide de la Convention sur les zones humides (Ramsar, Iran, 1971), 6e édition. Secrétariat de la Convention de Ramsar, Gland, Suisse.
- SETIS (2012). Diagnostic de zone humide sur le secteur d'aménagement Pressenti Salamot Revelaz, commune de Tullins, SETIS Groupe DEGAUD, 13 pages.