



**UNIVERSIDAD DE ALMERIA**  
Escuela Politécnica Superior  
*Departamento de Edafología y Química Agrícola*

TESIS DOCTORAL

**ESTUDIO EDAFOLÓGICO DE LA CUENCA DEL SEGUI  
(MARETH – SUR DE TÚNEZ )**

***BASES PARA MEJORAR LOS USOS DEL SUELO***

**Mohamed MOUSSA**



Institut des Régions Arides  
Médenine  
Tunisie



Estación Experimental de Zonas Áridas  
Consejo Sup. de Investigaciones Científicas  
España



# UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR  
DEPARTAMENTO DE  
EDAFOLOGIA Y QUIMICA AGRICOLA

Tesis doctoral

**Presentada por:**  
**el Ing. Mohamed MOUSSA**  
**para optar al grado de Doctor**  
**por la Universidad de Almería**

**Directores:**  
**Dr. Alberto Solé Benet**  
**Científico Titular**  
**EEZA-CSIC**

**Dra. Yolanda Cantón Castilla**  
**Universidad de Almería**

**INSTITUT DES REGIONS ARIDES**  
**MEDENINE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR,**  
**DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**ET DE LA TECHNOLOGIE**  
**TUNISIE**

**ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE**  
**ZONAS ÁRIDAS**  
**CONSEJO SUPERIOR DE**  
**INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS**  
**ESPAÑA**



El trabajo de investigación que se expone en la presente memoria titulada “**Estudio edafológico de la cuenca del Seguí (Mareth, S de Túnez). Bases para mejorar los usos del suelo**” presentada por Mohamed Moussa para aspirar al grado de doctor, ha sido realizada en el Grupo Desertificación y GeoEcología de la Estación Experimental de Zonas Áridas del CSIC y en el Institut des Régions Arides de Médenine, Túnez, parcialmente gracias al soporte económico del Proyecto INCO-CD, DG XII, Unión Europea, “IMAROM (*Migration, agricultural transformations and natural resource exploitation in the oases of the Maghreb*)”, (contrato IC18-CT97-0134) bajo la dirección de:

Vº Bº del Director

Vº Bº del Director

Alberto Solé Benet

Yolanda Cantón Castilla

El Doctorando

Mohamed Moussa



# RESUMEN

## 1. - INTRODUCCIÓN

En Túnez, como en muchos otros países en desarrollo, los recursos naturales que constituyen la base de la actividad agrícola, el suelo y el agua, están sometidos a una intensa degradación, tanto por erosión hídrica como por cambios en la calidad y cantidad del agua disponible. Por ello de año en año se constata una pérdida importante de tierras agrícolas, que ya en la década de los 80 era de un 0,5% anual (entre 20,000 y 23.000 ha de las 5.000.000 ha totales), tasa que se ha mantenido e incluso aumentado ([www.environnement.nat.tn](http://www.environnement.nat.tn)).

El sudeste de Túnez es la región en donde los procesos de degradación están más agravados por tratarse de una zona árida (Fig 2.1), obviamente con escasa pluviometría y muy irregular tanto espacial como temporalmente, y con un medio natural muy frágil. Sus suelos son en general poco profundos y muy sensibles a la erosión hídrica y eólica (Fig 2.8). Los limitados recursos hídricos, inciertos y aleatorios, siempre han sido un factor limitante para el desarrollo de las actividades económicas de esta parte del país. Estas particulares condiciones ambientales unidas a los cambios socioeconómicos de los últimos 50 años han tenido como consecuencia un importante éxodo de la población hacia las ciudades del propio país y sobre todo hacia Europa. Si bien la emigración ha mejorado las condiciones de vida de la población local debido a los recursos económicos procedentes de los emigrantes, en cambio ha tenido un impacto ambiental, agrícola sobre todo, negativo desde el punto de vista de la conservación de suelos y aguas, debido a la rápida conversión de la mano de obra experta en técnicas de manejo tradicionales, respetuosas con el medio ambiente, a mano de obra menos experta pero en técnicas modernas mucho más agresivas.

Se sabe que el conocimiento del medio físico es fundamental para abordar cualquier plan de mejora de las condiciones de vida de los habitantes de las zonas rurales y concretamente a través de la mejora de la agricultura regional. Si bien el Sur de Túnez ha sido una zona bastante estudiada desde el punto de vista naturalista, geológico,

hidrogeológico, botánico e incluso edafológico, la mayoría de estudios son, o bien muy generales, o bien muy puntuales y además proceden casi siempre de distintas administraciones tanto del estado tunecino como del estado francés durante la época colonial, por lo que se encuentran muy dispersos y difíciles de obtener.

Con la finalidad de contribuir a mejorar el conocimiento actual sobre el medio físico y en particular de los suelos, en una zona especialmente sensible del Sur de Túnez, la cuenca del río Segui (177 km<sup>2</sup>), en donde concurren todas las circunstancias mencionadas, en esta tesis se utiliza un conjunto de metodologías tanto de campo como de gabinete, estas últimas basadas en el análisis topográfico y de imágenes de satélite. Se hace un énfasis especial en la distribución espacial del recurso suelo y su relación con la topografía.

Debido al múltiple enfoque metodológico utilizado en este trabajo de tesis, su presentación sigue un esquema de capítulos cada uno con sus objetivos, metodología, resultados y conclusiones propios.

El primero consiste en la introducción y los objetivos de la tesis. El segundo está dedicado a la revisión bibliográfica de las características del medio físico o geológico de la zona de estudio, la cuenca del Seguí. El tercero contiene un extensivo trabajo de campo para caracterizar de manera general los suelos de la cuenca así como un análisis específico sobre la bondad de las estructuras hidráulicas más utilizadas para la conservación del agua y el suelo. El cuarto analiza las relaciones entre los suelos y la topografía. Los suelos se han caracterizado mediante trabajo de campo y de laboratorio y la topografía mediante el análisis de los atributos topográficos derivados de un modelo digital de elevaciones de la cuenca. El quinto analiza los cambios de uso del suelo ocurridos en once años mediante el análisis de imágenes de satélite. El sexto y último sintetiza los resultados y conclusiones de cada uno de los capítulos anteriores, lo que constituye las conclusiones del trabajo de tesis.

## **Objetivos**

El objetivo general es conocer la variabilidad y la organización espacial de las propiedades del suelo y su relación con los elementos del paisaje árido (geoformas) del sur tunecino, y comprender como influye en los usos del suelo y en sus cambios durante

once años. Con ello se pretende conseguir una herramienta de ayuda a la decisión en el campo de la gestión y mejora de los usos del suelo en el entorno árido del SE de Túnez.

Para ello se han llevado a cabo los siguientes objetivos específicos:

- 1.- Obtener un inventario de los principales tipos de suelos de la cuenca del Segui mediante la descripción y el muestro por horizontes de más de 100 perfiles.
- 2.- Conocer el grado de operatividad de los *jessours* (terrazas de drenaje diseñadas como estructuras de conservación de suelo y agua) de una pequeña cuenca (Braouka) en la cabecera del Seguí.
- 3.- Obtener un modelo digital de elevaciones (MDE) de la cuenca del Segui así como los atributos topográficos derivados y, mediante *regionalización* a partir de los anteriores, obtención de las principales unidades del terreno.
- 4.- Conocer las relaciones entre los principales parámetros edáficos de los perfiles inventariados y analizados y las geoformas derivadas del MDE y con la litología.
- 5.- Conocer los usos del suelo en dos períodos separados 11 años y el cambio ocurrido mediante la clasificación supervisada de imágenes de satélite de la cuenca del Segui y analizar las relaciones con las geoformas y litología.

## **2. - CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO (SÍNTESIS BIBLIOGRÁFICA)**

La cuenca del Seguí se sitúa al SW de Golfo de Gabes, entre el oued Zerkine en el Norte, y el oued Zegzaou al Sur (Fig 2.1). El eje de la cuenca sigue una dirección SW-NE, entre los montes de Matmata y la llanura costera conocida como Jeffara.

La cuenca del Seguí se puede subdividir en tres grandes unidades geomorfológicas: la cabecera formada por los montes de Matmata, de alineación NW - SE, la zona de pie de monte con relieves fósiles encostrados con caliche y zonas acarcavadas, y la fértil llanura litoral que incluye cerca de la costa algunas depresiones salinas o *sebkh*as (Fig 2.6a).

## **Clima**

Desde el punto de vista climático la cuenca del Seguí presenta tres partes perfectamente identificables que, desde la cabecera hasta la costa son las siguientes: la cabecera es una zona montañosa en donde domina el clima continental, con claras influencias saharianas; el pie-de-monte, con una parte continental todavía con influencias saharianas y una parte semi continental bajo la influencia del mar; la llanura litoral, de clima totalmente marítimo, en la que encuentran una serie de *sebhkas*.

Los trabajos e investigaciones en la climatología en Túnez, muestran que esta región se localiza en un clima agresivo de pluviometría irregular y a veces intensa (Fig 2.4.). La media anual está comprendida entre 200 y 300 mm, siendo las lluvias más importantes las de otoño. Episodios lluviosos con una intensidad de 150 mm en 24 horas provocan importantes catástrofes y una fuerte erosión.

Las temperaturas son generalmente elevadas y con una amplitud térmica considerable. Pero la proximidad del mar modera las temperaturas estivales, no sobrepasando una media de 28°C en verano y en invierno no bajan a 13°C.

Los vientos dominantes proceden del SW, con velocidades que superan los 11 km·h<sup>-1</sup> un 5% de los días de año medio, especialmente entre Enero y Abril y acarrear gran cantidad de limo.

## **Geomorfología**

La región se caracteriza por:

- la cabecera, montañosa, formada por un relieve en cuesta buzando al Oeste y disectado por el Este por una densa red de drenaje que fluye hacia el mar Mediterráneo. El cauce principal es el *oued Segui*. Los valles y depresiones de esta parte montañosa están a menudo rellenos por importantes depósitos de limos eólicos (loess) de edad cuaternaria, edafizados (paleosuelos), siendo el principal recurso edáfico de estos montes. Estos loess tienen un espesor considerable (10 a 15 m en Zelten) y se ven muy afectados por la erosión hídrica que ha formado un sistema de barrancos profundos que dan al paisaje una morfología de malpaís (*badlands*).

- al pie de estos montes tiene su inicio la llanura costera conocida como Djeffara que se extiende hasta el mar. Su parte superior es un glacis ligeramente inclinado hacia el Este.

Es un glacis de acumulación del Pleistoceno superior, en el que se encuentran paleosuelos de origen aluvial y coluvial, que se han conservado gracias a varios niveles de costras calcáreas (costras de color salmón y blanquecinas laminadas). Bajo estas costras calcáreas (horizontes petrocálcicos) se encuentran a veces acumulaciones de loess de 2 a 3 metros de espesor. Este pie-de-monte, a pesar de la protección proporcionada por los distintos niveles encostrados, está bien disectado por la red hidrográfica procedente de los Montes de Matmata.

- aguas abajo del pie-de-monte se encuentra una zona de acumulación en la que el oued Seguí y sus afluentes se expanden antes de terminar en el mar, pasando previamente por depresiones saladas (*sebhkas*). En esta parte de la llanura costera se encuentran varios oasis litorales, como los de Mareth y Zarat, con suelos aluviales profundos intercalados con zonas de encostramiento yesífero (paleocostras de origen eólico y/o edáfico) de color grisáceo o blanquecino. Además, se encuentran rastros de actividad eólica en forma de dunas fijas (*Nebkats*) colonizadas con *Ziziphus lotus* y *Nitraria retusa*, o bien por *Aristida pungens* o *Retama retam* en dunas más recientes.

## **Hidrogeología**

La zona de la región al sur de Gabes, que constituye la zona de estudio, forma parte del sistema hidrogeológico de la Jeffara marítima, que se divide en dos grandes sistemas: la zona superficial y la zona profunda.

La zona superficial tiene una reserva que se estima en  $300 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ , repartidos en las siguientes sub-zonas: Mareth:  $88 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ , Kettana:  $43 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ , otras zonas:  $199 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ . Este acuífero se explota desde hace bastante tiempo y tiene una producción de  $6,6 \text{ Hm}^3$  al año, lo que representa el 70% de las necesidades totales que son del orden de  $9,4 \text{ Hm}^3$  (datos del director de Hidrología de la Zona Gabes-El Jorf, 1988).

La zona profunda está formada principalmente por dos acuíferos: el de Gabes-Sur y el de Zeuss-Koutine: a) el de Gabes-Sur tiene una salinidad estimada en  $2 - 2.7 \text{ g L}^{-1}$  y proporciona un caudal estimado de  $950 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ ; b) el de Zeuss-Koutine tiene un caudal estimado de  $350 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  y su salinidad (residuo seco) oscila entre  $2$  y  $2.7 \text{ g L}^{-1}$ , pudiendo sobrepasar los  $5 \text{ g L}^{-1}$  en Sebkhat Mejessar.

## Vegetación

El inventario general de la flora del Sur de Túnez describe para la zona entre Gabes y El Jorf dos tipos de coberturas:

- la vegetación halófila en la que concentración, diversificación y abundancia dependen esencialmente de las condiciones hidro-geomorfológicas;
- la vegetación que ocupa las Montes de Matmata, las colinas y las franjas costeras.

Estos dos tipos de cobertura consisten en:

a) salicornias (s. *Arabica*, *Fruticosa*, *perennis et radicaux*), *Atriplex postulacoides*, *Halocnemum strabilacum* y *limoniastrum gyuaniamum*. También aparecen otras plantas muy bien adaptadas al medio salino como el *Tamarix* y el *Juncus*. La existencia de estas especies se restringe a las zonas más húmedas, con surgencias o encharcamientos. Las salicornias, *Halocnum*, *Atriplex* y *Limoniastrum* ocupan las sebkhas. En la costa aparecen otras especies como *Retama retam*, *Artemisia compestrus*, *Rhantherium s.*, *Nitraria retusa* que ocupan las zonas aluviales con suelos de texturas más finas y escaso contenido en yeso.

b) En la cabecera, y colinas y franja costera, se encuentran un gran grupo plantas del tipo de *Artemisia alba alba*, *Artemisia compestris* (especie indicadora de antiguos eriales), *Rhus tripartitum*, *Artrophytum scoparium*, *Pitorentus tortuosus*.

un campo de extensión de conjuntos gypsicoles y psamnofiles: al de *Zygophyllum Álbum* y *Anarrhinum Brevifollum*, presentando la forma de estepas de *chamephytes* a las proporciones de tapa entendieron entre 15 y 20%; ocupando fondos de depresiones en general a Kettana y Mareth.

## 3. - SUELOS

La prospección sistemática de toda la cuenca del Seguí, basada en la descripción por horizontes y el análisis de 107 perfiles ha permitido adquirir un conocimiento general de los principales rasgos de la cobertura edáfica de la región.

Los suelos tienen una textura predominantemente arenosa a areno-limosa a veces con abundantes elementos gruesos (gravas y piedras ) y muy pobres en materia orgánica, y una estructura poco desarrollada. Las acumulaciones calcáreas y a veces yesíferas son frecuentes (masas, nódulos, concreciones y costras). La superficie está sobre todo afectada por fenómenos de encostramiento superficial tanto por acción de la salpicadura (costras estructurales) de la lluvia como por la escorrentía (costras deposicionales), y ambas disminuyen la capacidad de infiltración y acrecientan la escorrentía superficial sobre todo en la parte alta de la cuenca. Los resultados muestran que la granulometría del horizonte superficial influye fuertemente la capacidad de infiltración. La organización de la cobertura edáfica depende en primer lugar de la litología y de la naturaleza de las formaciones superficiales (glacis, terrazas, depresiones cerradas, etc...).

Los análisis de suelos han permitido distinguir los suelos que tienen un valor agrícola de los que no lo tienen: a) los suelos de textura arenosa a areno-limosa, de origen eólico, son los más adecuados para la aridicultura (árboles frutales, olivos e higueras) por poder beneficiarse de pequeñas obras hidráulicas como los *jessours* (terrazas), estructuras de conservación de suelos (por su papel antierosivo) y agua (retienen el agua necesaria para los árboles).

Los *suelos poco evolucionados aluviales* (clasificación tunecina de suelos basada en la francesa CPCS de 1967, ver cuadro 8.6) se adaptan a una gran diversidad de cultivos y son muy productivos, en especial cuando se riegan (arboricultura) o cuando la topografía es favorable y recoge de manera natural las aguas de escorrentía (cereales). Las partes más accidentadas de estos suelos se utilizan como pastizales extensivos.

Los *suelos minerales brutos* permiten el desarrollo de una agricultura intensiva en áreas de pendientes suaves (olivos, higueras) pero se recomienda el pastoreo extensivo en zonas de mayor pendiente.

Los *suelos hidromorfos* o con costras de yeso constituyen factores limitantes para el desarrollo de la agricultura en general.

La aridez afecta forzosamente a los suelos de esta región. La meteorización de las rocas es esencialmente de tipo físico, por lo que dominan los elementos gruesos y faltan los finos. Con una pluviometría en torno a los 200 mm, la naturaleza de los suelos está

estrechamente ligada a la geomorfología y su uso varía de un año a otro en función de las precipitaciones registradas y sobre todo de su reparto estacional.

En la Figura 3.7 se representa el mapa de suelos de la cuenca del Seguí, elaborado mediante ARCGIS a partir del mapa agrícola de la región de Gabès y de los resultados de este trabajo.

### **Conservación de suelos**

El problema de la falta de agua y la erosión de suelos se ha resuelto tradicionalmente mediante pequeñas obras hidráulicas, los *jessours* (terrazas en las redes de drenaje) (Figuras 3.11 a 3.14) que se ha sido retomado por la administración construyéndose masivamente en algunas zonas de la cabecera del Seguí. Desgraciadamente, su dimensionamiento no parece el adecuado y ha dado lugar a su abandono por parte de los agricultores locales. Con la finalidad de contribuir a resolver el problema planteado, se ha llevado a cabo un análisis del sistema de *jessours* en la pequeña cuenca de Braouka, en la cabecera del Seguí.

Numerosos factores, tanto físicos como antrópicos, han causado en la mayor parte de las zonas áridas de Túnez y, en especial, en la cuenca del Seguí, una intensa erosión. Los cambios de ocupación del suelo hacen muy vulnerables las laderas a la acción erosiva de la lluvia, por lo que se producen cárcavas con frecuencia.

Con la finalidad de paliar este problema, en todo el Sur de Túnez se ha construido un gran número de infraestructuras de conservación de agua y suelo con la finalidad de aumentar la infiltración y minimizar la escorrentía. El papel antierosivo de los *jessours* (terrazas) en la lucha anti-erosiva no es desdeñable, en especial si nos referimos a las cantidades de suelo y agua retenidos por los bordos de retención. El problema es que la retención es muy precaria y puede llegar a ser nula en cuanto hay destrucción de los bordos de retención y/o de los vertedores.

Se ha procedido a la determinación de una serie de parámetros de todos los *jessours* de la pequeña cuenca de Braouka (355 ha) con la finalidad de conocer su estado funcional: altura del vertedor, superficie de retención (bancal), superficie del área de contribución, lámina de agua escurrida, y capacidad de retención de cada terraza. Debido a la falta de mapas topográficos de detalle, se ha utilizado la ampliación de la fotografía aérea al

1:80.000 hasta una escala 1:10.000. Se ha llevado a cabo un algoritmo de cálculo en Visual Basic basado en la fórmula “volumen escurrido = volumen entrante – volumen almacenado” y en el diagrama de flujo de la figura 3.18. De todas las unidades *jessour* analizadas un 49% no son funcionales, siendo la destrucción de los vertedores la causa principal de su disfunción. Los *jessours* más destruidos se encuentran en la cabecera.

Se han construido una serie de mapas de los *jessours* de Braouka: dirección y sentido del vertido (Fig 3.19), banales con sus áreas contribuyentes (Fig 3.20), *jessours* no funcionales (Fig 3.21). También se ha llevado a cabo un análisis de las condiciones de vertido aguas abajo y de las relaciones entre el volumen almacenado por la terraza y la lámina de agua escurrida, lo que ha permitido mostrar la importancia del papel de la escorrentía en el proceso de degradación de los suelos. De hecho, y a pesar de la escasa precipitación, las lluvias a menudo torrenciales provocan una importante escorrentía que causan la erosión de los suelos y la destrucción de los *jessours*. Esta degradación causa una importante pérdida de agua y suelo, reduciéndose el mantenimiento y desarrollo de la cubierta vegetal.

Así pues y como resultado del análisis llevado a cabo se puede concluir que muchos de los *jessours* tienen errores de diseño y/o construcción que son el origen de su destrucción por desbordamiento sobre todo en caso de lluvias intensas. Estos errores se deben esencialmente a :

- la desproporción entre la superficie de retención del banal y la superficie de su *impluvium*;
- la desproporción entre la capacidad de retención del banal y el volumen de agua procedente de aguas arriba;
- la escasa infiltración del banal, debida esencialmente al encostramiento superficial generalizado (costra deposicional formada por limos y arcilla de decantación), por lo que el agua retenida se evapora o se evacua agua abajo por el vertedor;
- al tipo de vertedor construido; por ello, se desaconsejan totalmente los vertedores de tipo *masref* (vertedor central) y se propone adoptar únicamente los de tipo *menfes* (vertedor lateral) (Figuras 3.13 y 3.14).

#### 4. - RELACIONES SUELO – TOPOGRAFIA

Cuando hay carencia de cartografía temática de tipo geocológico pero se dispone de información topográfica (mapas topográficos por ejemplo), la utilización de la topografía y sus atributos derivados permite una buena aproximación cartográfica para todas aquellas variables estructurales que, como las geoformas y los suelos, mantienen una relación interactiva con la topografía.

Por ello y dado que se dispone de curvas digitalizadas con una equidistancia de 10 m de los mapas topográficos 1:50.000 de la cuenca del Seguí, se ha llevado a cabo un modelo digital de elevaciones o MDE (DEM en inglés, MNE en francés) utilizando para ello el algoritmo ANUDEM (Hutchinson, 1989), hidrológicamente robusto porque evita los hoyos y depresiones causados por artefactos de la interpolación, asegurando así la conectividad de la red de drenaje. Para ello empieza con interpolaciones a baja resolución hasta alcanzar la resolución impuesta por la escala del mapa original digitalizado o la requerida por el usuario. En nuestro caso, y dado que se requería compatibilidad de escala con las imágenes de satélite tratadas en el capítulo siguiente, utilizamos una resolución espacial de 30 m, es decir, con celdas de 900 m<sup>2</sup>.

Se calculó el error cuadrático medio del MDE, que fue de 2.09 y 1,55 m en las dos ventanas en las que se calculó el MDE. Ambos valores son inferiores a 5 m (la mitad de la equidistancia, valor umbral usado normalmente por el US Geological Survey para valorar la calidad de la interpolación), por lo que el MDE fue considerado aceptable.

La figura 4.2 representa gráficamente una versión sombreada del DEM.

A partir del MDE se extrajeron los principales atributos topográficos y morfométricos siguientes mediante los software PC Raster e IDRISI:

a) *pendiente* (SLO), b) *orientación* (ASP), c) *área drenada por cada celda* (ARE), d) *índice de humedad* (W) que consiste en la fórmula  $W = \ln (ARE / \tan SLO)$ , e) *distancia mínima al cauce* (DIST), f) *factor de longitud de la ladera* (SLF) calculado mediante la fórmula  $SLF = (ARE/22.13)^{0.6} (\sin SLO/0.0896)^{1.3}$  y que refleja el potencial de transporte de sedimentos, g) *curvatura en el plano horizontal* (PLC) y h) *curvatura en el plano vertical* (PFC).

Mediante el uso de Taxonomía numérica en el software PATN (Belbin, 1991), las nueve variables fueron usadas para definir un cierto número de *unidades del terreno*, operación que se conoce con el nombre de *regionalización*. El mapa resultante de unidades del terreno se representa en la Figura 4.6. Utilizando las experiencias de del Barrio et al (1996) y Boer (1999), se sabe que estas unidades resultantes pueden asociarse a unidades geomorfológicas convencionales tales como crestas, valles, *sebhkas*, distintas partes de las laderas, etc. las cuales constituyen una excelente base para conocer la distribución de las unidades de suelos. Este mapa de unidades del terreno se utilizará en el siguiente capítulo para interpretar los usos del suelo en dos momentos diferentes de la historia reciente de la región, deducidos del análisis de imágenes satélite.

Por otro lado, también se digitalizaron por separado las principales unidades litológicas de los mapas geológicos al 1: 100,000 de la región, que se utilizaron junto con las propiedades del suelo para ayudar en su clasificación.

Con la finalidad de comprobar las relaciones entre las unidades del terreno procedentes de la regionalización obtenida a partir de los datos puramente topográficos, con las propiedades de los suelos de la cuenca y su distribución espacial, se han llevado a cabo una serie de análisis estadísticos mediante STATISTICA:

El primero de ellos consistió en un *análisis de componentes principales (ACP)* entre todos los atributos topográficos de cada perfil (individualmente o los valores de las nueve celdas para ampliar la posible representatividad topográfica) y los valores analíticos de cada perfil. Para ello los datos de los suelos (descritos, muestreados y analizados por horizontes edáficos) se agruparon y ponderaron en dos niveles, el superficial (de 0 a 20 cm) y el profundo (> 20 cm).

El segundo consistió en un ACP en el que, en vez de utilizar los valores de los nueve atributos topográficos de cada perfil, se utilizaron los valores resultantes de calcular los tres autovalores (*eigenvalues*) que explican el mayor porcentaje de varianza de un ACP previo en el que se analizaron solamente los atributos topográficos correspondientes a cada uno de los perfiles de suelo.

En el primer análisis, los resultados del ACP indican una escasa relación entre las propiedades del suelo y sus atributos topográficos (matriz de correlaciones entre las variables topográficas y los factores del ACP, Tabla 4.1).

En el segundo, los tres primeros autovalores (*eigenvalues*) del ACP acumulan una varianza de casi el 78%; la representación gráfica de los pares de factores 1-2, 1-3 y 2-3 permiten deducir que el primer eje es función de la pendiente y el segundo es función de la posición en la cuenca (Figs. 4.9 a 4.12).

Esta escasez de relaciones significativas entre los atributos topográficos (y muy en especial aquellos que tienen relevancia hidrológica y de transporte de sedimentos), y los parámetros del suelo es muy posiblemente debida a la escasa conectividad hidrológica que tienen los medios áridos y se podría pensar que quizás los atributos topográficos derivados del MDE no sean surrogados hidrológicos apropiados para el tipo de medio en el que se ha ensayado esta técnica.

## **5. - VARIACIONES ESPACIALES Y TEMPORALES DE LOS USOS DEL SUELO**

Los objetivos de este capítulo son los siguientes: a) establecer los tipos de uso del suelo en la cuenca del Seguí y su distribución espacial a partir del análisis de imágenes satélite; b) medir los cambios de uso del suelo en dos momentos de toma de las imágenes espaciados 11 años; c) evaluar la influencia topográfica y litológica en la distribución espacial del uso del suelo y en el cambio.

De todas las imágenes LANDSAT TM disponibles con nubes mínimas y con fechas propicias para poder clasificar los tipos de cobertura vegetal, se eligieron dos imágenes a principios de la estación seca (09/04/1985 et 10/06/1996) y una imagen hacia finales del invierno (19/02/1996). Antes de poder trabajar con ellas se procedió a su corrección geométrica y radiométrica.

Para la corrección geométrica se utilizaron 25 puntos de control identificables en los mapas topográficos 1:50.000 disponibles y bien repartidos por toda la zona de estudio y se obtuvieron sus coordenadas geográficas.

Para la corrección radiométrica se efectuaron los siguientes tratamientos: a) conversión de los números digitales registrados por el sensor a unidades de radiancia teniendo en cuenta los parámetros de calibración del sensor y b) corrección de los efectos atmosféricos mediante el uso del histograma mínimo.

A partir de la fotointerpretación y una serie de campañas de campo se eligieron 28 *áreas de entrenamiento* (con una superficie de alrededor de 1 hectárea) que representaban los principales tipos de uso del suelo (tabla 5.1). En cada una de las 28 áreas se procedió a su identificación (tomas fotográficas), caracterización (descripción de la geofoma, tipo de suelo y su cobertura, etc.) y geo-referenciación (coordenadas topográficas con GPS en el centro de cada área).

Se ensayaron procedimientos de clasificación no supervisada y supervisada y los resultados más adecuados correspondieron a la clasificación supervisada de las bandas del TM basada en la información espectral de las áreas de entrenamiento mencionadas anteriormente y aplicando el método de la máxima probabilidad que se basa en la teoría bayesiana de probabilidad. A partir de la información del conjunto de áreas de entrenamiento (medias y varianzas/covarianzas de la reflectancia para cada banda de todas las celdas o píxeles que integran los tipos de áreas de entrenamiento) se estima la probabilidad posterior de que cada píxel pertenezca a una determinada clase. La figura 5.2 muestra los valores medios de reflectancia de las áreas de entrenamiento en cada banda para la imagen de primavera de 1996. Si no aparece solapamiento indica que el procedimiento de clasificación pueden separar esos tipos de uso sin ambigüedad. La figura 5.2 pone de manifiesto que hay solapamiento entre algunos usos y en esos casos la ambigüedad es alta; así se ve que es difícil distinguir entre campos de cereales y cultivos de olivos o almendros con cereales creciendo en los claros.

Se obtuvo una clasificación en ocho tipos principales de usos del suelo en 1996 (Figura 5.4). La tabla 5.2 muestra el porcentaje de área ocupada por cada tipo de uso.

El mismo procedimiento se aplicó para las imágenes de 1985, pero en este caso se modificaron algunas de las áreas de entrenamiento en base a la información obtenida en campo de los habitantes de la zona. (Figura 5.3 y Tabla 5.4).

Para verificar y evaluar las clasificaciones resultantes se realizó una campaña de campo. El muestreo se diseñó limitándose a las proximidades de la red de carreteras por tres

razones: a) dificultad de acceso a las áreas remotas; b) problemas de acceso a las propiedades privadas; c) y restricciones de financiación. Estas restricciones limitaron nuestra capacidad de aplicar patrones de muestreo más adecuados. Se muestrearon 150 áreas de más de 50 píxeles (30 x 30m) cada una y todas las muestras se georreferenciaron y describieron los tipos de cubiertas, se estimó la cobertura y se fotografiaron. La figura 5.1 muestra la distribución de estas áreas de muestreo para validar las clasificaciones.

Se compararon los tipos de uso de los sitios muestreados en campo con los usos obtenidos en la clasificación de las imágenes de satélite y se obtiene que la proporción total de píxeles clasificados correctamente es del 70%. La matriz de error o confusión se presenta en la tabla 5.6a que muestra los errores de omisión y comisión. Se comprueba que los errores son bastante altos para cultivos en secano de cereales y cultivos de olivos y almendros en secano con cereales entre los árboles. También se comprueba que a veces algunos píxeles se clasifican como verdaderos oasis cuando en realidad se trata de cultivos irrigados pero con una menor densidad de cultivo (en los oasis es normal que aparezcan al menos dos o tres estratos de vegetación cultivada: herbáceas, frutales y palmeras). Los errores detectados en la clasificación se deben principalmente a que las imágenes corresponden a 1996 pero el muestreo de validación se lleva a cabo en el año 2000, lo que constituye un problema importante en el caso de cultivos anuales (hortícolas, cereales, etc.) que aparecían en el año 2000 pero que podían no existir en el año 1996. El problema se acentúa para la clasificación de 1985 pese a la consulta que se realizó a los agricultores locales durante el muestreo.

Se compararon los mapas de usos del suelo obtenidos en los dos períodos de procedencia de las imágenes, 1985 y 1996, lo que nos informa de los cambios ocurridos durante dicha década. Asimismo se ha llevado a cabo la estadística que nos informa acerca de los porcentajes de cambio en cada una de las unidades (Fig. 5.5). Como dichos cambios suelen ser espacialmente dependientes, no suceden al azar si no que siguen algún patrón que se ha podido determinar. Analizando la estructura espacial de los cambios de uso junto con la distribución espacial de las unidades fisiográficas y las litológicas, se han podido identificar los motores y las condiciones de dichos cambios con finalidad de ser capaces de predecirlos en el futuro. Se llevó cabo un test de ji

cuadrado para ver las relaciones entre los usos del suelo en los dos períodos y las unidades fisiográficas, así como entre los usos del suelo y la litología tablas 5.5 y 5.6.

## **6. - CONCLUSIONES GENERALES**

Mediante el uso de técnicas multidisciplinarias, este trabajo ha contribuido a una mejor comprensión de las relaciones entre el relieve y la cobertura edáfica en una región árida del SE de Túnez. También ha permitido comprobar algunos factores causantes de la degradación del suelo, principalmente la erosión hídrica y la salinización.

Asimismo aporta por primera vez una base de datos multidisciplinar en formato cartográfico (topografía, litología, hidrología, vegetación, suelos, usos del suelo) sobre la cuenca que servirá de base para un mejor uso y gestión del uso del suelo y para estudios futuros que profundicen en aspectos tales como riego con aguas no salinas y salinas, pastoreos restrictivos, etc. y bajo condiciones de cambio climático.

El estudio detallado del grado de efectividad de obras de conservación de suelos en la cabecera de la cuenca ha permitido poner de relieve aciertos y fallos y contribuirá a la mejora del diseño en las obras de conservación futuras.

También ha permitido comprobar como la cobertura edáfica depende esencialmente de la litología y de la morfología de las formaciones superficiales (colinas, mesetas, depresiones y llanuras litorales). El papel de la topografía, que es determinante en regiones de climas más húmedos, en la cuenca del Seguí, si bien también permite explicar una parte importante de las propiedades del suelo, ha resultado ser inferior al esperado, interpretándose este hecho por la escasa conectividad hidrológica de la geomorfología árida, configurada esencialmente por eventos de muy baja frecuencia y elevada magnitud que dejan muchas veces desconectadas del resto porciones del paisaje.

También se ha puesto a punto una metodología para determinar los cambios de uso ocurridos durante un determinado período (11 años), mediante el análisis de imágenes de satélite y su relación con la topografía. Los principales cambios de uso han sido:

a) en la zona litoral las superficies dedicadas a agricultura bajo riego han aumentado un 24% los oasis y un 219% la horticultura, por lo que si los recursos hídricos no pueden satisfacer la demanda, pueden producirse problemas graves;

b) en la zona de cabecera, el aumento de la arboricultura de secano (137%) en detrimento de arbustos degradados y campos abandonados (-32%) y la agricultura extensiva de secano (-40%) ha ocasionado erosión hídrica, incluso la formación de malpaís (*badlands*), con la consiguiente reducción de la superficie cultivable.



**UNIVERSIDAD DE ALMERIA**

ECOLE SUPÉRIEURE POLYTECHNIQUE

**THESE DOCTORALE**

**GESTION DES RESSOURCES NATURELLES  
EN MILIEU ARIDE TUNISIEN :**

***CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE LA DYNAMIQUE DU  
MILIEU DANS LE BASSIN VERSANT  
DE L'OUED SEGUI - MARETH  
SUD TUNISIEN***

**Mohamed MOUSSA**



Institut des Régions Arides  
Médenine  
Tunisie



Estación Experimental de Zonas Áridas  
Consejo Sup. de Investigaciones Científicas  
España



## RESUME

Dans un contexte qui caractérise l'exiguïté des ressources, l'utilité de mieux conserver les ressources en eau et en sol devient de plus en plus une nécessité. Ces éléments naturels sont primordiaux pour la zone aride tunisienne. Dans ce climat aride, la région de Mareth se caractérise par une pluviométrie annuelle faible (entre 100 et 200 mm), irrégulière et sporadique et par un bilan climatique déficitaire pour tous les mois de l'année. Dans cette zone, les ressources en eau, relativement limitées et en majorité non renouvelables, se présentent sous deux formes. D'abord, les eaux superficielles de pluie et de ruissellement captées par des ouvrages traditionnels à des fins agricoles (cultures en *jessours*) et domestiques (citernes) ou interceptés par des aménagements modernes de conservation des eaux et des sols (CES) servant parfois à la recharge de la nappe. Puis, les eaux souterraines dont l'exploitation et les usages sont soumises à des concurrences entre différents secteurs économiques.

En revanche, les efforts de l'état ont été multipliés par des nombreuses interventions. Il a notamment mis en place des stratégies basées essentiellement sur les aménagements des bassins versants pour la lutte contre l'érosion, la mobilisation et l'utilisation optimale des eaux de surface. Néanmoins, les pratiques appliquées actuellement en matière de gestion dans la zone de Mareth (le bassin versant de l'oued Ségui) semblent ne pas avoir pris considération d'une analyse qui vise à traiter d'emblée ce phénomène biophysique à savoir : limiter l'érosion à l'amont, assurer la recharge de la nappe et mieux sauvegarder les oasis (une irrigation à tour d'eau régulier et lutter contre la salinisation).

Le présent travail se traduit comme une tentative de résoudre cette difficile équation. Son objectif est donc d'identifier et de cartographier la couverture du sol, mis en interaction avec le phénomène de l'érosion des sols. L'apport du GIS, en tant qu'outil de travail est mis dans ce cas d'une part pour mieux structurer les différentes données et d'autre part pour évaluer les zones à risque d'érosion et explorer les caractéristiques géomorphologiques qui peuvent être extraites des attributs topographiques. Cela entraîne au niveau méthodologique de définir un schéma logique d'analyse des données et d'application méthodique sur un plan plus généralisé en matière de risques d'érosion touchant de l'amont à l'aval de la zone étudiée où une partie importante de la chaîne de Matmata est concernée.

De ce fait, les différentes parties de ce travail ont été entreprises dans un processus de description et d'analyse des sols ainsi que leur relation avec la topographie a été effectuée après avoir élaboré un diagnostic de la conservation des eaux et des sols de la région d'étude. Cette expérience était accompagnée dans une troisième partie par l'étude de la variation spatiale et temporelle du bassin versant pris comme site de recherche. Une telle méthodologie située continuellement entre le travail de terrain et le travail de laboratoire a donné un bilan de résultats satisfaisant.

D'abord, l'évaluation de différents attributs topographiques extraits d'un modèle d'élévation digital (DEM) a été un point important de ce travail. Une attention particulière a été portée à l'élaboration des plans d'information numériques comme la topographie, la couverture du sol, la lithologie, la pédologie, l'occupation de sols. Ce travail a été évidemment élaboré par plusieurs logiciels.

Puis, l'érosion dans le bassin versant de l'oued Ségui est influencée par une multitude de facteurs, le rôle joué par les jessours dans la lutte antiérosive n'est pas négligeable lorsqu'on prend en considération les quantités de sol et d'eau retenue derrière les barrages. Toutefois la rétention est précaire si non elle devient nulle dès la destruction du seuil de rétention.

Enfin, une base de données sur la zone intégrant des données multi source peut, modestement, constituer une monographie du bassin versant de l'Oued Ségui par le quel on peut orienter éventuellement les études qui peuvent être conduites dans les régions arides tunisiennes (chaîne de Matmata et plaine de la Djéffara).

**Mots clés :** sol, bassin versant, érosion, Systèmes d'Information Géographique, DEM, zone aride.

## ABSTRACT

The aim of this thesis is to know the variability and the spatial organization of soil properties and their relationships with topography in an arid region from southern Tunisia; also to understand the land use changes which have occurred between 1985 and 1996.

A DEM (digital elevation model) at 30 m resolution and surrogate topographical attributes along the analysis of satellite images (Landsat TM) from the Segui basin, under a GIS (geographical information system) environment, have proved successful for a better understanding of the relationships between topography and soil cover. Moreover, indispensable field work allowed to assess the main factors of soil degradation in this regions (deficient dimensioning of terraces essentially for water harvesting; irrigation with poor quality groundwater along deficient drainage) to understand some of their mechanisms (soil erosion and salinisation).

The main tasks have been:

1. - Producing an inventory of the main soil types of the Segui basin by means of the description, sampling and analysis of over 100 soil profiles.
2. - Assessing the degree of functionality of *jessours* (agricultural terraces designed as soil and water conservation structures) in the Braouka sub-basin, at the Segui headwaters.
3. - Obtaining a digital elevation model (DEM) of the Segui basin as well as the surrogated topographic attributes and, by means of a *regionalization* from the latter, obtaining the main terrain units.
4. - Knowing the relationships between the main soil parameters (from the studied soil profiles) and the terrain units derived from the DEM, and also with lithology.
- 5.- Knowing and quantifying land uses from 1985 and 1996 and the changes occurred during that period, by means of a supervised classification of satellite images from the Segui basin; also analyzing the relationships between terrain units and lithology.

This thesis provides the first integrated approach to obtain a data base of physical data for the Segui basin for future land use management.

The detailed functionality assessment of conservation structures (jessours) at the basin headwaters, has allowed to stress successes and failures and will contribute to improve the design of future structures.

This work has also pointed out the fact that soil cover essentially depends on lithology and terrain units (hills, plateaus, depressions, coastal plains). The role of topography, while essential in regions of wetter climate is lower than expected in the Segui basin, and this is interpreted to be due to the poorer hydrological connectivity in arid regions, where most rainfall events leave many portions of the landscape totally disconnected from the rest.

The main land use changes between 1985 and 1996 have been:

a) in coastal areas, irrigation farming has increased: oases (+ 24%) and other horticultural areas (+ 219%), stressing the fact that many problems might arise if water resources cannot met the increasing demand.

b) in headwater areas, the increase in dryland fruit-farming (+ 137%) to the detriment of degraded rangeland (shrubs) and abandoned fields (- 32%) and extensive dryland farming (- 40%) has caused water erosion and even badlands formation, with the subsequent decrease in farming surface.

## REMERCIEMENTS

Le présent travail est le fruit des efforts déployés pour une recherche menée le long de plusieurs années en milieu aride. A ces efforts personnels, il faut ajouter la participation d'une façon ou d'une autre de plusieurs personnes que je tiens à remercier dans ce qui suit :

A l'Institut des Régions Arides (Médenine Tunisie), Mr **HOUCINE KHATTELI** Directeur Général, en étant le premier à m'encourager à poursuivre mes études. Il a été toujours et même pendant les moments les plus difficiles, très attentif à mon travail en me demandant sans cesse l'avancement de mes travaux, il m'a fourni tous les moyens pour une bonne préparation de ma thèse. Je lui dédie ce travail comme geste de reconnaissance.

Je remercie tout particulièrement Mr **ALBERT SOLE BENET**, chercheur au CSIC, pour tout ses appuis qui m'ont permis de continuer mes études à l'UAL et de m'avoir intégré dans l'équipe de CSIC. Ces appuis ont été poursuivis par son acceptation pour diriger la présente thèse dont j'ai apprécié fortement l'encadrement. J'ai bénéficié de ses conseils et directives, sa rigueur scientifique et son sérieux m'ont beaucoup aidé. Je salue fort sa grande patience pour m'expliquer et de discuter certains points. C'est à grâce à lui que j'ai pu terminer cette thèse. J'ai découvert en lui, en plus du scientifique, son côté humain et modeste que j'ai beaucoup apprécié. Que Monsieur Albert trouve ici mes très vifs remerciements.

Toute ma considération pour Mme **YOLANDA CANTON CASTILLA**, Professeur à l'Université d'Almeria, pour ses aides exceptionnelles durant toutes les étapes de ma thèse et son soutien tout au long de mon travail ainsi que sa grande disponibilité pour répondre à mes questions.

L'aboutissement de ce travail a impliqué plusieurs collaborations qu'il est important de rappeler, en particulier M. **CHAHBANI BELLACHEB**, Maître de Conférences à l'Institut des Régions Arides de Médenine qui a dirigé la partie de conservation des sols et suivi le déroulement de la thèse avec beaucoup d'intérêt. Je le

remercie plus particulièrement pour les nombreuses discussions, au cours desquelles, il a su me conseiller et me faire profiter de sa grande expérience.

Qu'il me soit permis d'exprimer mon respect et ma profonde gratitude au Prof. **CARLOS ASENSIO GRIMA** mon tuteur au Département d' Edafología y Química Agrícola de l'Ecole Polytechnique Supérieure de l'université d'Almería, pour son accueil chaleureux pour sa disponibilité, pour la confiance qu'il a su m'accorder, la patience qu'il a su exercer à mon égard et les conseils précieux qu'il m'a prodigués tout au long de ce travail

Toute ma gratitude à : M. **GABRIEL DEL BARRIO**, qui a accepté de répondre à mes questions et préoccupations, je le remercie pour ses conseils et le temps qu'il m'a consacré pour les discussions scientifiques très bénéfiques. **MARIETA SANJUAN** pour l'aide constante durant l'élaboration du MNA (DEM), ses conseils et compétences scientifiques et humaines m'ont permis d'accomplir ma tâche dans les meilleures conditions. **MATTHIAS BOER** pour son apport au niveau de la méthodologie et avec qui j'ai eu la chance d'interagir durant le cadre de travail dans IMAROM.

Un remerciement particulier à **PILAR TIRADO** pour son apport lors de la numérisation des cartes et pour son aide.

Je remercie également les personnes qui ont accepté de faire partie de mon jury : **ANTONIO RODRIGUEZ RODRIGUEZ** (Président), **MARIANO SIMON TORRES**, **RAMON JOSA MARCH**, **BAS VANWESEMAEL** et **HOUCINE KHATTELI** qui ont accepté de juger ce travail et pour certains d'avoir fait un long déplacement jusqu'à Almería.

J'exprime mon profond respect à mes professeurs de l'Université d'Almería à l'Ecole Supérieure Polytechnique (Departamento de Edafología y Química Agrícola), pour la formation qu'ils m'ont donnée : **MARIANO SIMON TORRES** (Directeur), **FRANCISCO JAVIER LOZANO CANTERO**, **CECILIO OYONARTE**

**GUTIERREZ, SERGIO DE HARO LOZANO, MIGUEL SORIANO RODRIGUEZ, JUAN ANTONIO SANCHEZ GARRIDO...**

Je remercie également toute l'équipe de l'EEZA – CSIC d'Almeria qui a été très aimable avec moi durant la période que j'ai passé dans ce pays, en particulier **TERESA ABAIGAR** et **MIGUEL ANGEL DOMENE** pour leurs gentilleses et leurs encouragements, **RAMON ORDIALES** et **ALBERTO RUIZ** pour avoir réparé et intervenu à maintes reprises sur mon ordinateur, **ISABEL JIMÉNEZ**, pour son dévouement à trouver des références bibliographiques difficiles. Je n'oublierais en aucun cas tous les collègues et amis qui m'ont apporté aide, soutien et surtout une ouverture culturelle extraordinaire.

Ma reconnaissance va tout particulièrement au personnel du CTV Mareth et CRDA de Gabès surtout à **M. GRIRA MOHAMED**, pédologue à l'arrondissement des ressources en sols qui m'a reçu au laboratoire d'analyse de sols à maintes reprises, il m'a permis d'effectuer les analyses granulométriques dans son laboratoire. Pour tout cela, nous tenons à le remercier vivement.

Je serre, fort, toutes les mains qui m'ont aidé dans le travail de terrain, surtout dans la chaleur étouffante d'été, en particulier Mrs **KOUAKBI, HABIB LAMOUREU, ALI ZAIDI, MUSTAPHA MABROUK.**

Aussi, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail :

A l'I.R.A: Messieurs **MOHAMED BEN SASSI, MOULDI KARDOUS, ALI FERCHICHI, MOUMNI YOUSSEF, MOHAMED TALBI, MOHAMED ALI BEL ABED, ZEMZEMI JILANI, M'HEMED JAOUAD, MOHAMED LOUMEREM, TAOUFIK HAYEK, BOUGDAD ABAAB, ABDERRAZAK MABROUK, ABDELMAJID EL MOHK, MEHDI LOUHICHI, MABROUK ZAIDI, SECRAFI AHMED, MOHAMED CHOUIKHI, MOHAMED LTIFI, MOHAMED LATRECH** et **ALI SOUID**, tous ces Messieurs nous ont offert leurs services lors de nos recherches ou durant l'élaboration du présent document. A toutes

ces personnes susmentionnées de l'Institut des Régions Arides, ainsi qu'aux autres non mentionnées, nous devons reconnaissances et remerciements.

J'estime essentielle de dire un grand merci pour toute la population du bassin versant de l'oued Ségui pour l'aide qu'ils m'ont apportée durant toute la période de travail de terrain.

Ce travail a été possible grâce à plusieurs sources de financement:

- a) Programme INCO-DC de la DG-XII de l'Union Européenne, Projet IMAROM (Interaction between migration, land and water management and resource exploitations in the oases of the Maghreb, IC18-CT97-0134);
- b) Programa de Cooperación Interuniversitaria entre España y Túnez (2003 y 2004) de l'Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI): Proyecto "Control topográfico del estado de conservación de jessours (terrazas) en una cuenca representativa de la zona árida de Túnez", 65/03/P y 65/04/RE.

Enfin, je dédie le fruit de ma recherche à mes parents pour m'avoir permis de vivre ça, je leur exprime toute ma reconnaissance et mon respect. Je tiens à dédier ce travail à tous les membres de ma famille et particulièrement ma femme et mes enfants pour leur appui moral.

Merci à toutes et à tous !

# TABLE DES MATIERES

**RESUMEN**  
**RESUME**  
**ABSTRACT**  
**REMERCIEMENTS**

<b>CHAPITRE 1.....</b>	<b>1</b>
INTRODUCTION GENERALE.....	1
1.1. - INTRODUCTION .....	1
1.2. - OBJECTIFS .....	2
1.3. - DEMARCHE SUIVIE .....	3
<b>CHAPITRE 2.....</b>	<b>5</b>
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE .....	5
2.1. - INTRODUCTION .....	5
2.2. - SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	5
2.3. - CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA ZONE D'ETUDE .....	6
2.3.1. - Climat.....	7
2.3.1.1. - Pluviométrie.....	8
2.3.1.2. - Température .....	10
2.3.1.3. - Etage bioclimatique .....	10
2.3.1.4. - Humidité de l'air .....	11
2.3.1.5. - Evaporation.....	12
2.3.1.6. - Vent.....	12
2.3.1.7. - Synthèse climatique .....	12
2.3.2. - Géomorphologie et géologie.....	13
2.3.2.1. - Les grands traits géomorphologiques du bassin versant d'oued Ségui .....	14
2.3.2.2. - Caractéristiques tectoniques .....	16
2.3.3. - Hydrologie superficielle et souterraine.....	17
2.3.3.1. - Hydrologie superficielle .....	17
2.3.3.2. - Caractéristiques hydrogéologiques .....	19
2.3.3.3. - Les nappes phréatiques .....	20
2.3.3.4. - Hydrochimie .....	22
2.3.4. - Sols.....	22
2.3.4.1. - Principaux facteurs de différenciation des sols.....	23
2.3.4.2. - Conclusion .....	23
2.3.5. - Végétation.....	24
2.3.6. - Occupation des sols, agriculture et élevage .....	24
<b>CHAPITRE 3.....</b>	<b>31</b>
SOLS ET CONSERVATION DES SOLS .....	31
3.1. - INTRODUCTION .....	31
3.2. - CONCEPTIONS, UTILISATIONS ET METHODOLOGIES.....	32
3.2.1. - Prospection sur le terrain .....	32
3.3. - CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES (PROSPECTION TERRAIN SYNTHESES DE LA DESCRIPTION DES PROFILS ANNEXES 8.1).....	33

3.3.1. - Interprétation et synthèse de l'étude des profils .....	33
3.3.1.1. - Caractéristiques générales.....	33
3.3.1.2. - Caractéristiques physiques et chimiques des sols.....	34
3.3.1.3. - Résultats et discussions.....	40
3.4. - CLASSIFICATION .....	44
3.4.1. - Introduction.....	44
3.4.2. - Répartition des sols.....	44
3.4.3. - Vocation des sols .....	50
3.5. - DEGRADATION DE SOLS ET TYPES DETECTES DANS LE BASSIN VERSANT...51	
3.6. - CONSERVATION DE SOLS. EVALUATION D'UNE TECHNIQUE DE CONSERVATION DES EAUX ET DES SOLS : CAS DES JESSOURS DE BRAOUKA. (RELEVES DE TERRAIN, ANALYSE DES DONNEES, RELATIONS AVEC LA TOPOGRAPHIE ET LES ATTRIBUTS TOPOGRAPHIQUES).....	52
3.6.1. - Introduction.....	52
3.6.2. - Objectifs.....	53
3.6.3. - Erosion dans le micro bassin versant de Braouka.....	53
3.6.3.1. - Présentation du micro bassin versant de Braouka .....	54
3.6.3.2. - Etude du débordement et de l'érosion.....	55
3.7. - DISCUSSION ET CONCLUSION .....	76
<b>CHAPITRE 4.....</b>	<b>81</b>
RELATIONS SOL - TOPOGRAPHIE .....	81
4.1. - INTRODUCTION .....	81
4.2. - METODOLOGIE .....	83
4.2.1. - Calcul des attributs topographiques.....	85
4.2.2. - Régionalisation .....	87
4.2.3. - Relations sols-topographie.....	89
4.3. - RESULTATS.....	90
4.3.1. - Modèle numérique d'élévation du bassin versant de Ségui.....	90
4.3.2. - Attributs topographiques.....	91
4.3.3. - Régionalisation .....	94
4.3.4. - Relations sols-topographie.....	97
4.4. - DISCUSSION ET CONCLUSION .....	102
<b>CHAPITRE 5.....</b>	<b>105</b>
VARIATIONS SPATIALES ET TEMPORALES DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED SEGUI.....	105
5.1. INTRODUCTION.....	105
5.2. METHODES .....	106
5.2.1. Achat et traitement des images .....	106
5.2.2. Classification des usages du sol .....	108
5.2.3. Changements d'usage du sol entre 1985 et 1996.....	109
5.2.4. Relations entre les usages du sol et la topographie.....	110
5.3. RESULTATS .....	110
5.3.1. Achat et traitement des images .....	110
5.3.2. Usages du sol.....	110
5.3.3. Changements d'usage entre 1985 et 1996.....	117
5.3.4. Relations entre les usages du sol et la topographie et la lithologie.....	124
5.4. CONCLUSION .....	126

<b>CHAPITRE 6.....</b>	<b>129</b>
DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS GENERALES .....	129
6.1. - RECHERCHES REALISES .....	129
6.1.1. - Présentation de la région d'étude.....	129
6.1.2. - Etude des sols.....	130
6.1.3. - Erosion .....	131
6.1.4. - Relation sol-topographie.....	132
6.1.5. - Occupation des sols .....	134
6.2. - PERSPECTIVES .....	135
6.3. - CONCLUSIONS GENERALES .....	136
<b>CHAPITRE 7.....</b>	<b>139</b>
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	139
<b>ANNEXES.....</b>	<b>147</b>



# INTRODUCTION



## INTRODUCTION GENERALE

### 1.1. - INTRODUCTION

En Tunisie, les ressources naturelles qui constituent le fondement de l'activité agricole, principalement l'eau et le sol sont soumises à une dégradation intense. On constate d'une année à l'autre une perte importante dans les terres agricoles sous l'effet de l'érosion surtout hydrique ainsi que des perturbations dans la qualité des eaux voire leur épuisement. A l'instar des pays en développement, elle est de plus en plus confrontée à des problèmes environnementaux parmi lesquels on peut mentionner la dégradation des ressources naturelles, la salinisation et l'érosion des sols.

Le Sud Est tunisien est une zone aride, avec une pluviométrie faible, irrégulière dans le temps et dans l'espace, caractérisée par la fragilité des milieux naturels. Les sols sont généralement peu profonds et très sensibles aux phénomènes d'érosion hydrique et éolienne ; les ressources en eau limitées, incertaines et aléatoires, ont toujours constitué un facteur contraignant pour le développement des activités économiques dans la région. En outre, la petite hydraulique est le moyen le plus utilisé pour mobiliser les eaux de surface et de tirer le meilleur parti des nappes phréatiques, la mobilisation de ces ressources renouvelables accessibles est limitée par crainte d'une surexploitation entraînant une dégradation de la qualité.

En effet, dans la zone d'étude, la population a connu un exode rural et une émigration assez forts depuis une cinquantaine d'années. Ce phénomène a effectivement amélioré les conditions de vie de cette population, mais en revanche il a créé un impact que nous jugeons jusqu'à nos jours négatif sur le plan agricole notamment sur la conservation des eaux et des sols surtout lorsqu'on constate la rapide conversion de la main d'œuvre traditionnelle quant aux anciens aménagements concernant les techniques ancestrales en matière de conservation des eaux et des sols.

Le bassin de l'oued Ségui s'inscrit dans un espace segmenté de l'amont vers l'aval en plusieurs unités géomorphologiques : montagne (chaîne des Matmata), piémonts, plaine littorale comportant au bord de la mer des bas-fonds salés (sebkhas).

*NB : un glossaire en annexe dont figurent certains vocabulaires arabes et autres tels que Jessours*

## 1.2. - OBJECTIFS

Ce travail a pour objectif global de comprendre la variabilité, l'organisation spatiale des constituants d'un paysage aride de sud tunisien, ses processus édaphiques, hydrologiques, érosives, ses implications dans la dynamique actuel du paysage et de concevoir un outil d'aide à la décision dans le domaine de la gestion des ressources environnementaux qui devrait notamment permettre de bien analyser les informations nécessaires pour bien gérer les milieux dans un contexte aride.

Ces objectifs se résument aux spécificités suivantes :

- Faire une étude intégrée des ressources naturelles du bassin versant de l'oued Ségui (région de Mareth) en vue de leur meilleure utilisation ;
- Développer une méthodologie permettant d'intégrer les informations de terrain et les mesures satellitales (pour comprendre et prévoir l'évolution des ressources hydro agro écologiques d'un bassin versant aride) en vue d'une gestion durable ; ce travail consiste à structurer et à réaliser une base de données cartographiques. Il s'agit de dresser l'état actuel des ressources (état des sols, de la couverture végétale et l'occupation du sol). L'outil utilisé permet de palier au manque d'informations distribuées dans l'espace et de restituer une vision cartographique actuelle de l'activité agricole, en comparant avec des images satellites acquises au cours des dernières années. Il est même possible d'analyser et d'évaluer de manière explicite les paramètres naturels (topographiques, géologiques, hydrogéologiques, climatologiques, réseau hydrographique) pour assurer un stockage de données permanent :
- Elaborer une base d'informations numériques comme la topographie, la couverture du sol, la lithologie, la pédologie, l'occupation de sols, en précisant chaque fois leurs qualités ;
- Déterminer l'occupation des sols dans le bassin versant de l'oued Ségui et son évolution durant cette dernière décennie, en outre, dans le sud tunisien le climat est devenu de plus en plus aride avec des précipitations faibles et plus concentrées dans le temps et dans l'espace.

En plus, les sols de ces régions d'une façon générale sont soumis à une forte surexploitation humaine qui les rend plus vulnérables.

La satisfaction des besoins alimentaires d'une population de plus en plus importante s'est faite en exploitant des terres marginales et en améliorant la productivité suite à l'intensification agricole par le recours à certaines pratiques telle que l'irrigation. Actuellement, de nombreuses zones de la région connaissent une dégradation importante des ressources en sol. La durabilité des systèmes d'exploitation agricoles est mise en question. La désertification touche de plus en plus des zones qui, dans un passé proche, avaient une capacité de production acceptable. Les pratiques appliquées actuellement en matière de gestion de ressources naturelles ne sont pas en conformité avec le concept qui vise à limiter l'érosion à l'amont, à assurer la recharge de la nappe, à mieux sauvegarder les oasis par une irrigation à tour d'eau régulier, à lutter contre le phénomène de salinisation. Ces pratiques ont des impacts désastreux, à court et à long terme, sur les sols et les ressources hydrauliques ;

- Evaluer un système de conservation des eaux et des sols dans micro bassin pilote d'El Braouka : la situation géographique de la zone d'étude lui confère un climat dominé par l'aridité et des sols très menacés par la dégradation. Pour surmonter ces handicaps naturels, une stratégie de gestion et de conservation des eaux et du sol favorisant le développement d'aménagements antiérosifs adaptés à ces conditions particulières a été appliquée. Cependant, très peu d'études ont été menées sur l'efficacité de ces aménagements, à l'échelle du bassin versant, faute d'un outil méthodologique permettant d'analyser leur efficacité ainsi que d'informations fiables sur leur évolution. Cette situation constitue pour la région un frein aux projets de développement.

### **1.3. - DEMARCHE SUIVIE**

Il est primordial de souligner que le domaine de la gestion des ressources représente un défi majeur pour les prochaines années pour la protection du milieu contre les différents types de dégradation ; il devrait en effet être intégré à tous les secteurs d'activités susceptibles d'avoir un impact sur l'environnement.

La première étape de la démarche suivie présente le cadre de l'étude, ce qui permet de situer le bassin versant de l'oued Ségui dans son contexte des points de vue climatique,

géologique, géomorphologique et agricole, suivie par le développement des outils conceptuels et des techniques qui permettent de la caractériser le plus complètement possible.

Dans la deuxième partie sont détaillées la méthode de caractérisation et les techniques de traitement des données. Leur application à la région étudiée permet de définir les principaux types et classes de sols et leurs comportements. En outre, nous nous proposons en particulier d'inventorier les aménagements de conservation des eaux et du sol du micro bassin versant de Braouka qui appartient au bassin versant de l'oued Ségui dans la région de Mareth tout en développant une méthodologie d'inventaire et de cartographie des aménagements se fondant sur l'utilisation des photographies aériennes et des outils informatiques spécialisés dans le traitement d'image et la cartographie.

Dans la troisième partie, nous menons une recherche sur l'élaboration d'un Système d'Information Géographique (SIG) qui sera ensuite appliqué pour tout le bassin versant. Cette recherche intégrant le concept de gestion du milieu consiste à :

- Structurer et réaliser une base de données cartographiques qui consiste à analyser et évaluer de manière explicite les paramètres naturels (topographiques, géologiques, réseau hydrographique) ;
- Elaborer un modèle d'élévation digital (DEM) pour tout le bassin versant, dans ce cadre une attention particulière a été portée à l'élaboration des plans d'information numériques comme la topographie, la couverture du sol, la lithologie, la pédologie, l'occupation de sols. Plusieurs logiciels (*Autocad*, *Idrisi 32*, *Arc View 3.2*, *Statistica 6.0*) ont été utilisés pour la saisie, l'analyse, la modélisation ou la représentation des données.

Dans la quatrième partie, elles sont étudiées les propriétés spectrales des composants des surfaces pour une analyse de la variation spatiale et temporelle afin d'étudier l'évolution du paysage dans un intervalle de 11 années (1985 – 1996).

**SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT DE  
SÉGUI**



## SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

### 2.1. - INTRODUCTION

Les travaux présentés dans ce mémoire se sont déroulés au bassin versant de l'oued Ségui situé dans la partie aride de la Tunisie (COQUE, 1962) entre la chaîne de Matmata et la Djeffara. Cette région affiche des caractères nettement prédésertiques et la pression croissante exercée sur ses ressources fragiles accentue le risque de désertification. Elle est très diversifiée et plusieurs types de paysages s'y étagent depuis les reliefs de calcaires de la chaîne des Matmata jusqu'aux dépressions quaternaires du littoral, en passant par les piémonts et glacis où prédominent les lœss et limons.

### 2.2. - SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le bassin versant de l'oued Ségui est situé au Nord-Ouest de la Djeffara, région du Sud-est de la Tunisie, compris entre les parallèles  $37^{\circ}17'$  et  $37^{\circ}43'N$  et les méridiens  $8^{\circ}63'$  et  $8^{\circ}99'E$ . Soit une surface d'environ  $177\text{km}^2$ . Les régions naturelles couvertes sont les suivantes :

- Au sud ouest la chaîne de Matmata, région de Toujane ;
- Au centre, Hmila, Ségui et oasis de Mareth ;
- Au Nord Est Zarat, Sebka et côte méditerranéenne.

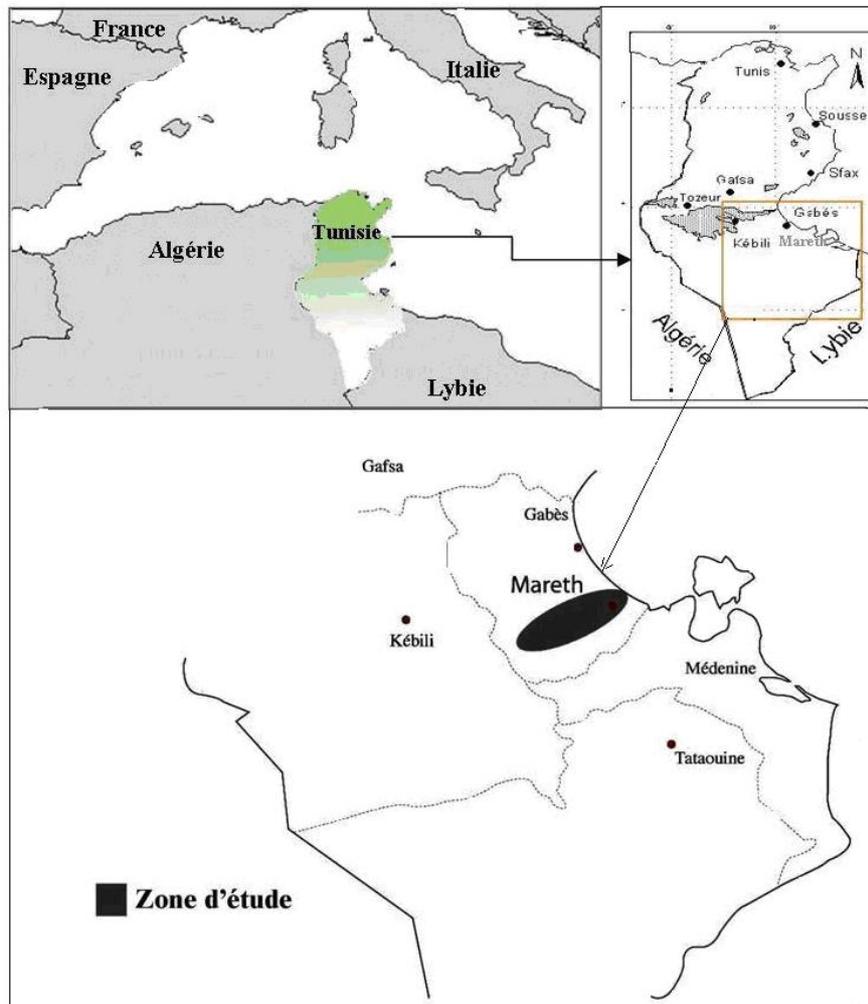


Figure 2.1 : Situation de la zone d'étude

### 2.3. - CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA ZONE D'ETUDE

Le bassin étudié présente un caractère aride et des zones variées des points de vue morphologie, géologie et occupation des sols. Il s'inscrit dans un espace segmenté de l'amont vers l'aval en plusieurs unités géomorphologiques : montagne (chaîne des Matmata), piémonts et glacis, plaine littorale comportant au bord de la mer des bas-fonds salés (sebkhas du côté de Zarat) fig. 2.2. Les principales caractéristiques de ce milieu sont décrites dans cette deuxième partie.

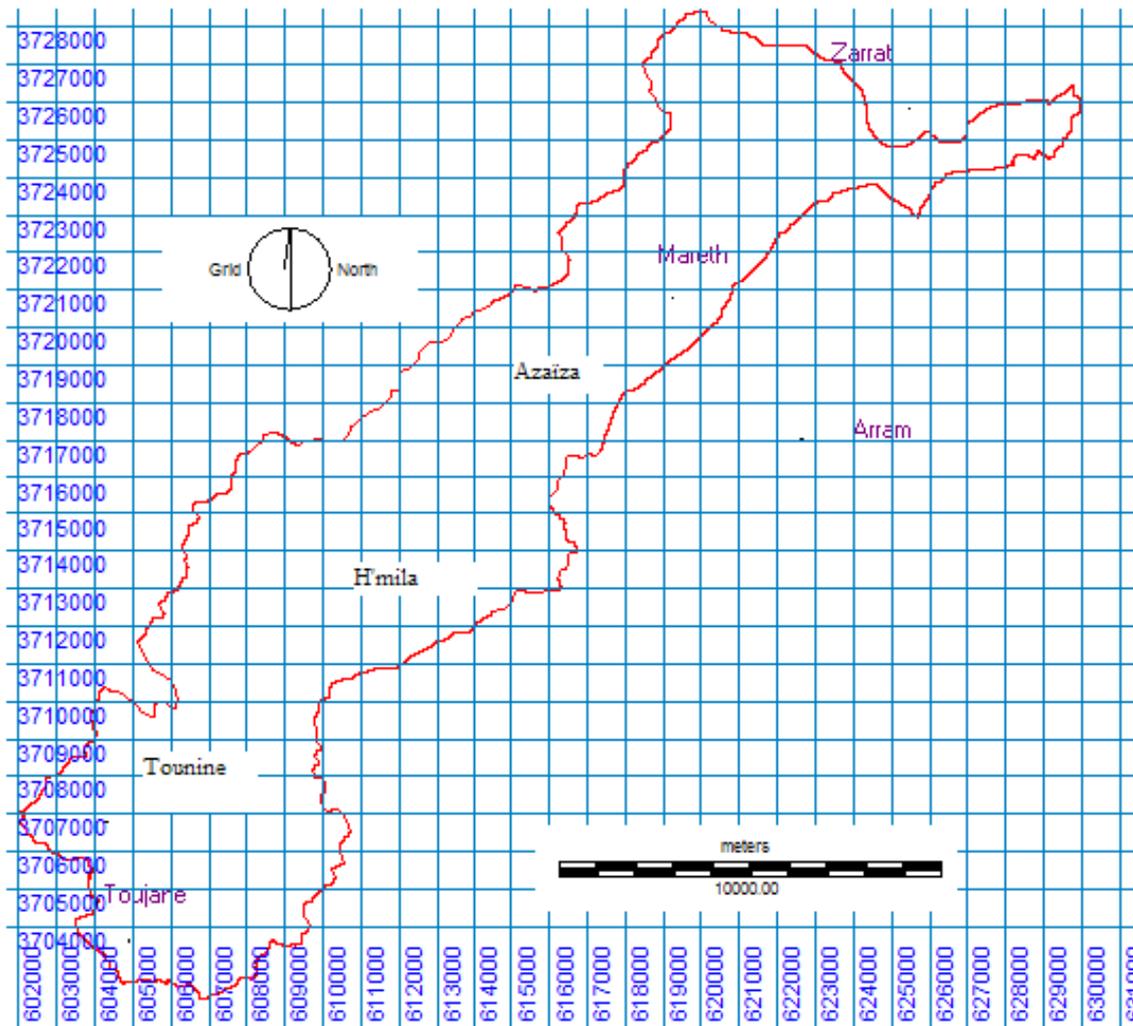


Figure 2.2 : Bassin Versant d'Oued. Ségui – Mareth  
MNT (DEM) compilé à 30 m. Projection : UTM zone 32 DATUM WGS84

### 2.3.1. - Climat

Pour étudier le climat du bassin versant de l'oued Ségui, nous rencontrons différentes contraintes telles que la disponibilité des données qui couvrent toute la zone sur une longue période, leur fiabilité et leur représentativité. Nous nous sommes basés sur des données d'une vingtaine d'années des trois stations (Mareth, Toujane et Zerkine) autres que Gabès, qui a fait l'objet de plusieurs travaux, dont nous disposons des données sur une centaine d'années.

### 2.3.1.1. - Pluviométrie

Il convient de souligner l'extrême irrégularité des précipitations, aussi bien à l'échelle annuelle que saisonnière ou journalière, ce qui représente une caractéristique principale du climat du sud tunisien.

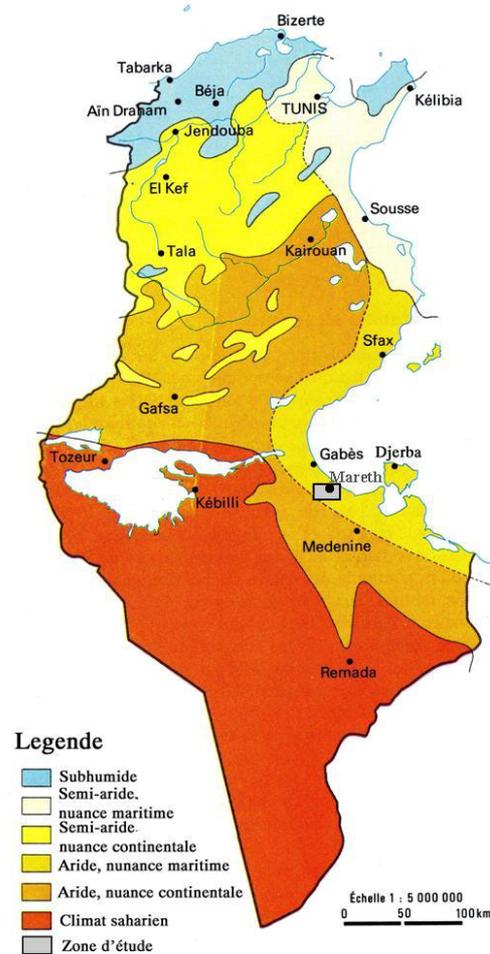


Figure. 2.3a : Carte climatique de la Tunisie

#### 2.3.1.1.1. - Précipitations annuelles

D'après le tableau 2.1, on déduit que :

- La moyenne interannuelle varie entre 130 et 190 ;
- La moyenne est très peu représentative, vue la forte valeur du coefficient de variabilité de l'écart-type et de l'écart moyen ;
- Une variabilité très forte des hauteurs des pluies annuelles et une dissymétrie importante des répartitions statistiques qui influencent fortement la moyenne. En effet, il est plus judicieux de raisonner sur la médiane.

Tableau 2.1 : Analyse statistique

Station	moyenne interannuelle	Pluie Inter-annuelle maximale	pluie interannuelle minimale	Coefficient de variabilité Pmax/Pmin	Médiane	Intervalle de confiance à la moyenne	écart type	écart-moyen	variance
Zerkine	183.97	433.5	22.21	19.52	118.96	30.24	99.98	76.95	9997.13
Mareth	130.2	348.4	16.7	20.84	107.1	13.27	91.34	75.35	8342.53
Toujane	177.0	411.9	89.8	4.59	148.9	12.30	86.95	66.17	7560.55
Gabès	190.00	551.6	39.3	14.04	166.5	19.33	98.12	73.97	9628.33

#### 2.3.1.1.2. - Précipitations saisonnières

A l'échelle de la saison la variabilité est encore plus marquée puisqu'on relève à toutes les saisons des minimums très faibles sinon nuls tandis que les maximums à l'exception l'été, représentent des hauteurs de pluie supérieures à la médiane.

#### 2.3.1.1.3. - Précipitations journalières

A l'échelle journalière, cette variabilité est encore plus accentuée, elle est arrivée en 24 heures à une hauteur supérieure à la moyenne interannuelle.

Par exemple :

- En 1947: 39 mm ;
- En 1951: 551mm ;
- Le 2 novembre 1962, on a enregistré 111mm d'eau en une nuit ;
- En mars 1963, on a enregistré 67 mm en quelques heures.

La station de Toujane est, par sa situation, la plus représentative de la partie amont du bassin.

#### 2.3.1.1.4. - Intensité des pluies

Le caractère orageux des pluies fait que celles-ci présentent très souvent de très fortes intensités, avec des maximums pouvant dépasser souvent 100 mm/h durant 5 minutes provoquant des crues très violentes. Ainsi, d'après GIRARD (BOURGES et al. 1980), sur 14 années d'observations pluviographiques à Gabès, la période de retour d'un événement pluvieux présentant une intensité d'au moins 144 mm/h durant 5 minutes est de 25 ans ; alors qu'une année sur 5 cette intensité limite est de 70 mm/h, et de 54 mm/h une année sur deux.

### 2.3.1.2. - Température

L'interprétation des enregistrements thermiques sur une durée de 72 ans fait apparaître un hiver généralement doux. La température moyenne annuelle est de 19.3°C. Les moyennes mensuelles de température sont représentées dans le graphique suivant :

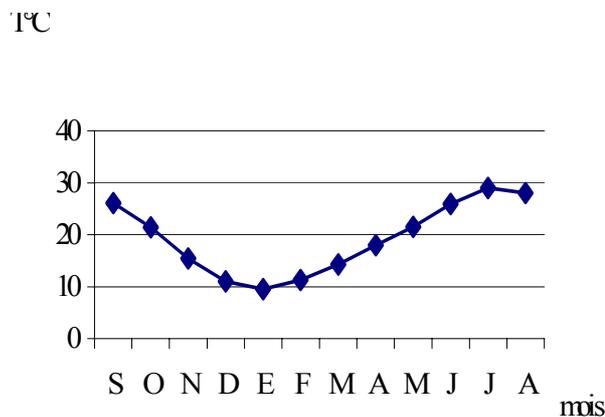


Figure 2.3 : Température moyenne mensuelle à Gabès

L'examen des minima absolus montre des températures allant jusqu'à -4°C. Ces températures atteignent des valeurs inférieures à 0°C durant la période allant du mois de décembre jusqu'au mois de février.

L'été est souvent chaud et peut présenter des températures moyennes des maxima de 48°C en juillet. L'amplitude des températures moyennes (moyenne de juillet, moyenne de janvier) est de l'ordre de 19°C.

### 2.3.1.3. - Etage bioclimatique

Pour avoir une idée sur l'aridité du climat de la région, nous avons calculé le quotient pluviométrique d'Emberger :

$$Q = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

Avec P : pluie moyenne interannuelle

M : moyennes des maximas de température pour le mois le plus chaud (°K)

m : moyennes des minimas de température pour le mois le plus froid (°K)

Avec :

P=180 mm

$$M = 32^{\circ}\text{C} = 305^{\circ}\text{K}$$

$$m = 5^{\circ}\text{C} = 278^{\circ}\text{K}$$

Donc  $Q=22.4$  d'après l'abaque, en annexe 8.7, établie par H. N. Le Houerou en 1959 pour la détermination des étages, la zone d'étude est classée dans l'aride inférieur à hiver doux.

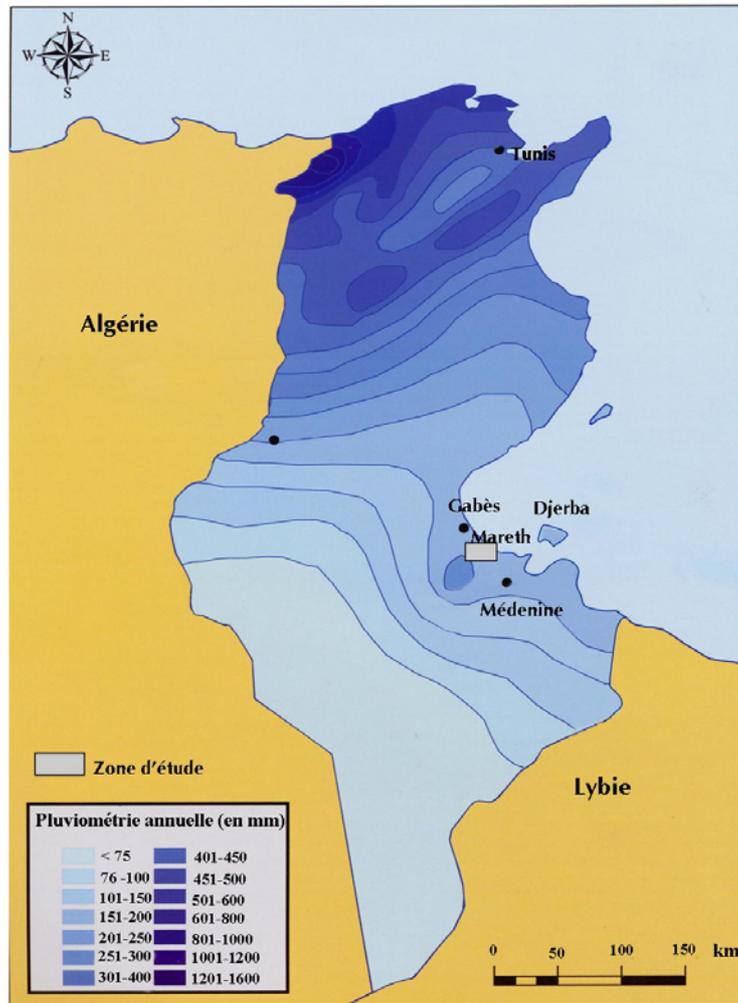


Figure 2.4 : Carte des isohyètes de la Tunisie (élaboration propre à partir de Kassab A. et Sethom, M (1980) in la Sebkhha de Mehabeul, Tunisie)

#### 2.3.1.4. - Humidité de l'air

La moyenne mensuelle de l'humidité relative, calculée à partir de trois relevés quotidiens (6h, 12h, 18h) sur la station de Gabès oscille approximativement entre 65 et 70% (tableau 2.2).

Tableau 2.2 : humidité relative

Mois	J	F	M	Av	Mai	J	J	A	S	O	N	D	M/A
Humidité	65	63	63	71	71	70	68	68	70	71	65	66	67.7

### 2.3.1.5. - Evaporation

La hauteur annuelle moyenne mesurée à l'évaporomètre de Pichet est de 2022 mm à Gabès.

### 2.3.1.6. - Vent

Les vents dominants dans la région sont du SW assez vigoureux. Les actifs dont la vitesse est supérieure à 11 km /h (Khatteli H, 1998) soulèvent les particules limoneuses et les déposent très loin. Reste à évoquer un vent particulier : le sirocco qui souffle en moyenne 28 jours par an sur la région de Gabès Matmata, il est plus fréquent en été en provoquant une élévation brusque de la température.

### 2.3.1.7. - Synthèse climatique

En conclusion, le climat de la région se caractérise par :

- Une pluviosité très variable généralement faible et irrégulière, les pluies tombent pendant la saison froide et sont donc peut efficaces pour la végétation qui pousse essentiellement au printemps, elles ont souvent un caractère orageux favorisant le ruissellement, on signale, à cet effet, que la région connaît plusieurs crues exceptionnelles qui peuvent causer des inondations graves.

- Vent peu violent en général de secteur Est durant l'été et plus irrégulières de secteur Ouest à SE durant l'hiver.

- Un régime thermique très contrasté (fortes amplitudes diurnes, mensuelles et annuelles), caractérisé par des hivers tempérés à doux, et des étés chauds à très chauds ;

- Une forte évaporation, surtout en mai et octobre quand il y a de l'eau dans le sol ;

- Une sécheresse quasi absolue entre mai et septembre, dans le but de bien préciser et de confirmer la durée de ces deux saisons, nous avons utilisé le diagramme ombrothermique des Bagnouls et Gausson (1953). Celui-ci précise que, dans le bassin de l'oued Ségui, la saison sèche s'étale sur 10 mois de février à novembre (température moyenne de 17°C,

maximale de 27°C atteint au mois d'août). La saison humide n'est représentée que par deux mois (Fig. 2.5).

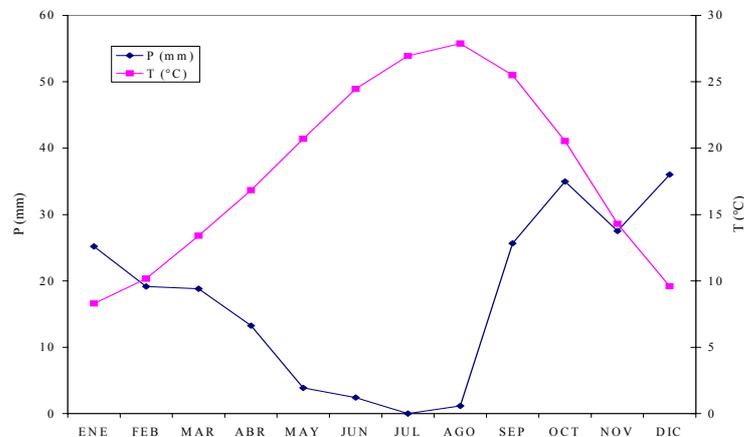


Figure 2.5 : Diagramme ombrothermique (Bagnouls et Gausсен, 1953) pour la station de Mareth

- Des vents dominants de secteurs W, NW et SW de novembre à avril ; ils sont très violents secs et froids accompagnés, en général, de tempêtes de sable qui endommagent gravement les cultures et la pousse des espèces annuelles dans les pâturages ; de mai à octobre, les vents de secteur marin (E, NE, SE) dominant-dans les zones côtières, mais n'ont qu'une influence très limitée.

### 2.3.2. - Géomorphologie et géologie

La géomorphologie de la région est caractérisée par :

Une partie montagneuse formée de cuestas regardant vers l'Est. Ces cuestas sont très disséquées par un important réseau hydrographique, s'écoulant vers la mer, dont le collecteur principal est l'oued Ségui et oued Zigzaou. Les vallées et les dépressions de cette partie montagneuse sont souvent comblées par d'importants dépôts et paléosols (lœss) quaternaires qui y constituent l'essentiel des ressources pédologiques dans ces djebels. Ces lœss sont parfois très épais (10 à 15 m à Béni Zelten). Cette zone est très affectée par l'érosion hydrique qui a formé un système de ravins profonds donnant un paysage de badlands.

Au pied de cette chaîne montagneuse, il commence la plaine de Djefara qui s'étend jusqu'à la mer méditerranée. La partie amont de cette plaine correspond à un glacis légèrement incliné

vers l'Est, il s'agit d'un ancien glacis d'accumulation quaternaire. Dans ce glacis, on trouve aussi des paléo-couvertures alluviales et parfois colluviales, certains sont protégés par différents niveaux encroûtés (croûtes calcaires saumon, croûte calcaire feuilletée). Sous ces croûtes, on trouve parfois des accumulations lœssiques épaisses (2 à 3 mètres). Cette partie de la plaine, malgré sa protection par les différents niveaux de croûte calcaire, est bien disséquée par le réseau hydrographique en provenance de la montagne.

A l'Est et au Nord Est de cette partie de piedmont s'étend une zone d'accumulation où l'oued Ségui et ses affluents commencent à s'étaler avant de rejoindre la mer en passant par des dépressions salées (sebkhas). Dans cette partie de la plaine, on trouve les oasis de Mareth et Zarat, on a des sols souvent profonds coiffés parfois par des paléo-croûtes, encroûtements gypseux (d'origine éolienne ou pédologique) de couleur grisâtre ou blanchâtre. En outre dans cette partie de la plaine, on trouve les traces d'une activité éolienne sous forme de dunes (nebkas) fixées par des *Ziziphus lotus* ou par des *Nitraria rutesa*.

### ***2.3.2.1. - Les grands traits géomorphologiques du bassin versant d'oued Ségui***

Il fait partie de deux grands ensembles géomorphologiques tels que la chaîne de Matmata et la plaine de DDjeffara (fig. 2.6a).

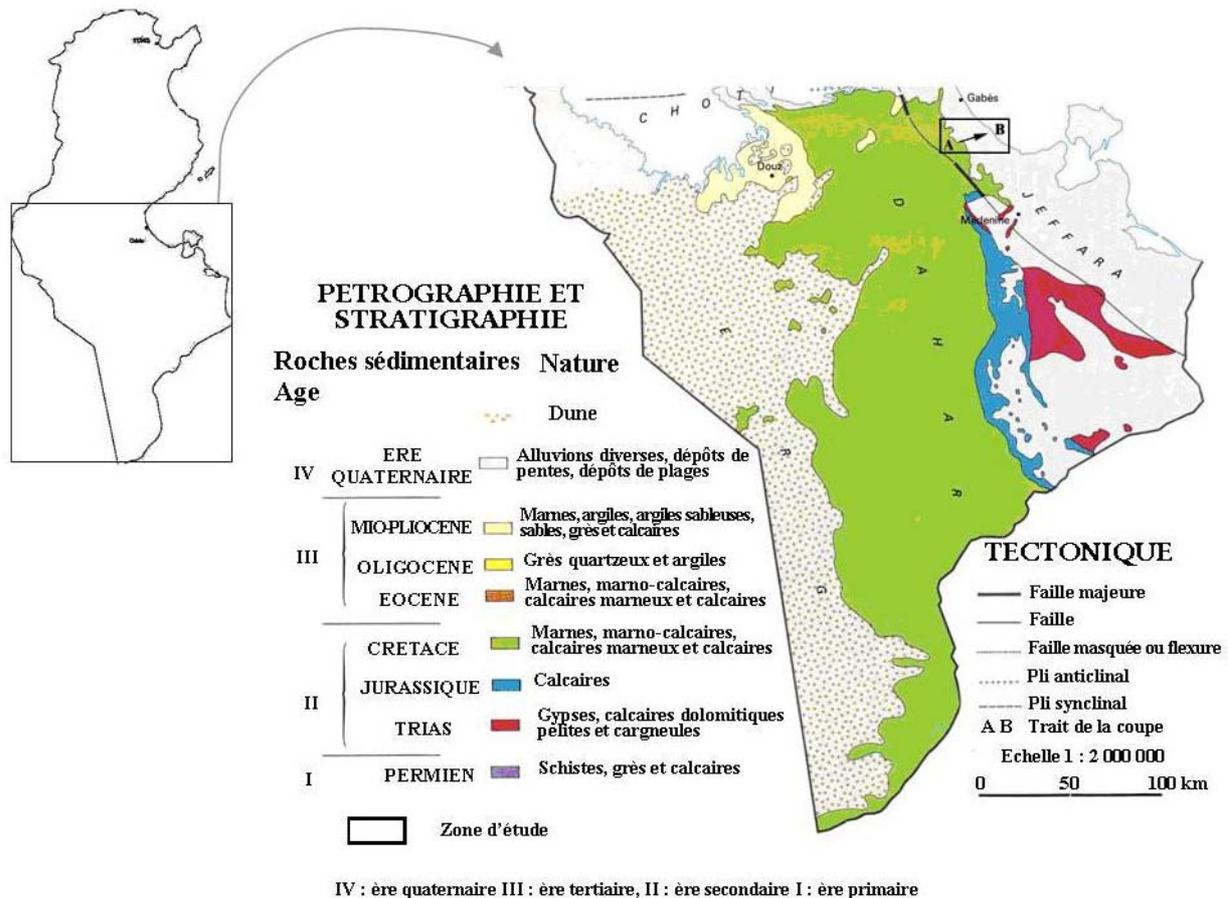


Figure 2.6a : Carte géomorphologique sud tunisienne (élaboration propre à partir de l'Atlas jeune Afrique, Tunisie 1979)

### 2.3.2.1.1. - la chaîne de Matmata

La partie montagneuse du bassin versant de l'O. Ségui est formée d'une série d'escarpements. Le premier escarpement est formé par les couches dures (dolomies massives) du Turonien-Cénomaniens tendre supérieur et couches du cénomaniens moyen et inférieur. Les djebels correspondant à des buttes témoins de cet escarpement sont : Djebel Toujane (622 m), Draa Berkaoui (538 m), Djebel El Mekhneg (380 m), Djebel Dhiba (207 m), et Djebel Warifen (266 m).

### 2.3.2.1.2. - Les buttes de Zemlet El Azaïza

Elles sont formées des mêmes couches que celles du premier escarpement. Au pied de ce premier escarpement dans la zone comprise entre Tounine, Braouka, Jouabit et Toujane (fig. 2.2), s'étend une dépression taillée. Dans le cénomaniens moyen et inférieur et l'Albien supérieur, cette dépression est très disséquée ; elle présente une morphologie confuse. Cette confusion est renforcée par les accumulations quaternaires (löss).

Elle est drainée par deux oueds :

Oued Tounine et Oued Toujane se jetant dans l'Oued Ségui. Entre Zemlet El Azaïza et cette dépression s'étend une zone assez plate appelée El Hmila. Cette zone correspond à une vaste dépression comblée par les dépôts du Mio-pliocène et du Quaternaire. En fait, cette dépression se poursuit vers le sud au-delà du bassin versant de l'oued Ségui, jusqu'au pied de Merbeh Eddahmani, Batan Kradra et Jbel Elguelaa.

#### **2.3.2.1.3. - La plaine de Djeffara**

Elle est comprise entre la mer et les reliefs de Zemlet El Azaïza, la plaine de Djeffara, faisant partie du bassin versant de l'oued Ségui, correspond à un glacis d'accumulation.

Au Nord, cette partie du bassin versant située dans la plaine, est limitée par une série de collines basses : Grar Bloul (101 m), Ehouycha (65 m), Elargoub, Sidi Bourouna (54 m), Sidi Mabrouk Ben Jebnoute (48 m) et El Harigua (48 m).

Dans sa partie amont, ce glacis correspond à ce que les locaux appellent "Ségui Mareth". Cette partie s'étend jusqu'à l'oasis de Mareth. La partie centrale de ce glacis correspond à l'oasis de Mareth.

Vers le sud, la délimitation de la partie de la plaine de Djeffara située dans le bassin versant de l'Oued Ségui, est assurée par une ligne de partage des eaux passant par les points suivants: Henchir Chraaba (68 m), Guendouha (54 m), lycée (50 m), Kribia (50 m), Oum Elhaouari (40 m), et rive gauche de l'oued Zigzaou (34 m, 24 m, 14 m).

La partie aval du glacis est dominée par la présence d'une multitude de dépressions salées appelées "Sebkhas" où se trouve l'oasis de Zarat. Ces Sebkhas correspondent à un premier niveau de base, avant de se jeter dans la mer, où s'accumulent les eaux de drainage de l'oasis de Mareth et de Zarat ainsi que les eaux de crues de l'oued Ségui lors des pluies exceptionnelles.

#### **2.3.2.2. - Caractéristiques tectoniques**

Deux importantes failles de direction NW-SE traversent la région de Mareth :

- Faille de Mareth : son rejet est de l'ordre de 60 m à Mareth. Son tracé est jalonné par une série de sources : Arram, Mareth, Zerkine. Cette faille est moins importante que la faille de Médenine (fig 2.6a) ;

- Faille de Médenine : qui est une faille d'effondrement du compartiment Est. C'est la plus importante faille dans la région de Gabès Sud puis qu'elle a un rejet de l'ordre de 1000 m. En amont de Mareth, cette faille met le Jurassique en contact avec l'unité marno-gypseuse du Sénonien inférieur puis avec le Miocène au niveau de Médenine (B. BEN BACCAR, 1982).

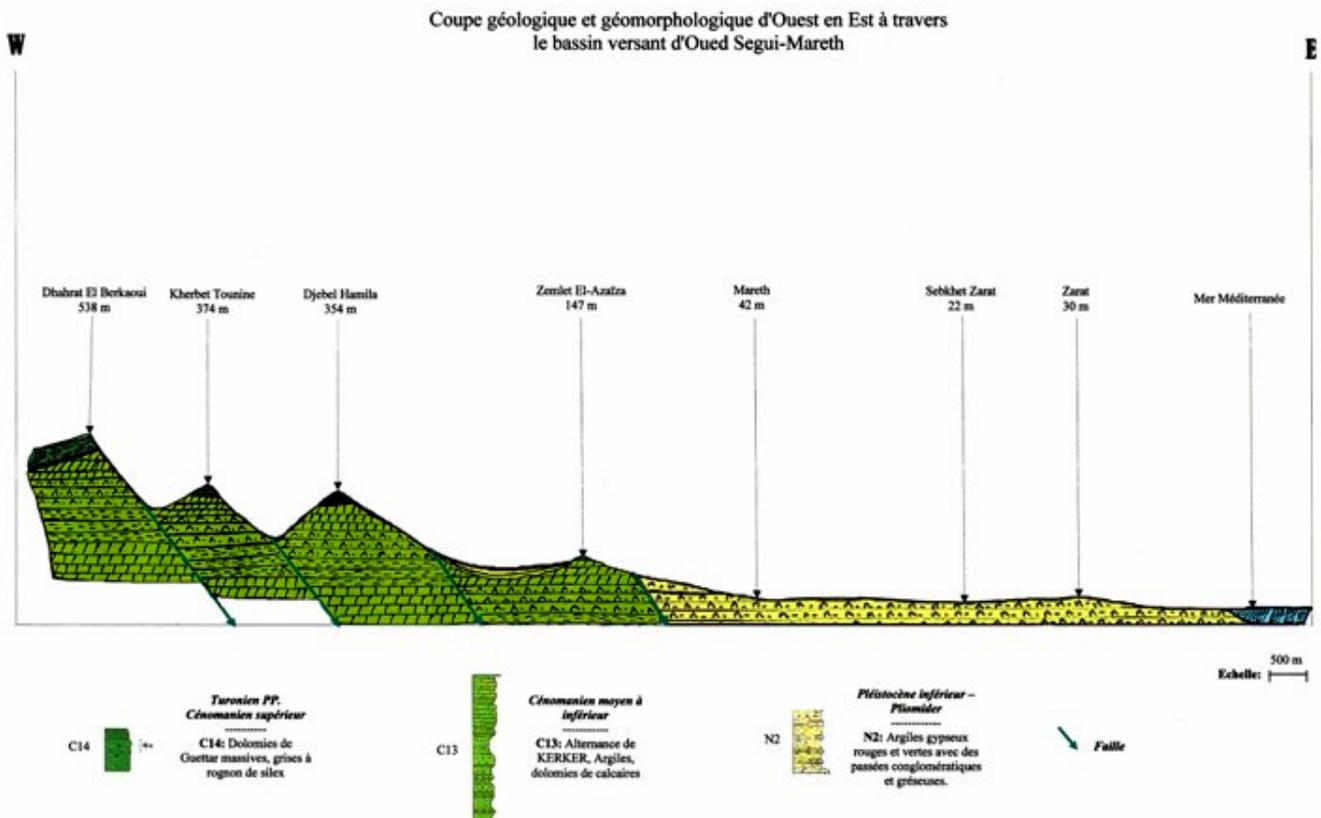


Figure 2.6 : Coupe géologique & géomorphologique [A-B] W-E, (fig. 2.6a) bassin versant d'oued Ségui

### 2.3.3. - Hydrologie superficielle et souterraine

#### 2.3.3.1. - Hydrologie superficielle

Les données, dont on dispose pour l'hydrologie continentale, sont le plus souvent fragmentaires. L'écoulement dans notre région d'étude est marqué par un caractère épisodique, il ne peut avoir lieu qu'à l'occasion des chutes de pluie et les oueds sont le plus souvent à sec. Le changement fréquent de nom le long d'un même oued témoigne de l'intermittence de l'écoulement. Par exemple, l'oued Ségui porte les noms d'oued Touzine et Toujane à l'amont, oued Ségui dans la zone médiane.

Les oueds de la région appartiennent en général à un bassin exoréique. En effet, ils arrivent tous à la mer, cependant quelques oueds débouchent dans des dépressions avec des exutoires temporaires qui assurent leur vidange dans la mer.

Dans la plaine, on a deux types d'écoulement, l'écoulement diffus et l'écoulement concentré. L'écoulement diffus s'exerce sur les pentes de raccordement entre le système montagneux et la plaine côtière d'une part, et sur les surfaces d'interfluve qui séparent les lits majeurs des artères principales d'autre part. Le rôle morphologique de ce type d'écoulement se manifeste par un décapage du matériel libre et par des incisions mineures de type *badlands* qui s'exercent sur le matériel meuble. L'écoulement concentré caractérise les oueds à bassins versants étendus comme l'oued Essoureg, l'oued Ségui et l'oued Zigzaou dont les bassins versants remontent jusqu'à la chaîne de Matmata. Ces artères principales disposent de lits majeurs qui peuvent être très larges (B. Ouezdou, 1985). La majeure partie des pluies s'abat sur la région sous forme d'averses brèves et violentes, l'écoulement est de type torrentiel. Les oueds peuvent donc entrer en crue comme cela s'est produit en 1962, 1969, 1973 et 1979. Ainsi d'importants volumes d'eau sont mis en circulation. En effet, c'est pendant ces périodes que les cours d'eau disposent d'un excès d'énergie surtout dans la tranche supérieure du volume écoulé. L'érosion latérale joue ainsi un rôle considérable : sous son effet les berges évoluent considérablement car des surfaces ou parties entières peuvent y être arrachés.

La plaine de Mareth est sillonnée par deux oueds, dont les caractéristiques de ses deux principaux cours d'eaux sont :

1- Oued Ségui Mareth : Cet oued, qui prend naissance au niveau des djebels de Toujane (sommet à 682 m), draine un bassin versant de 177 Km<sup>2</sup> et se poursuit jusqu'à la plaine de Ségui Mareth pour aboutir à la mer.

Les caractéristiques physiques du bassin de cet oued établies par M. FERSI (1979) sont :

- Superficie du bassin versant	: A	= 177 km <sup>2</sup>
- Périmètre	: P	= 89.5 km
- Altitude maximale	: Hmax.	= 682 m
- Altitude minimale	: Hmin.	= 0.0 m

Il s'agit d'un bassin allongé à reliefs assez forts.

2 - *Oued Zigzaoua* : Cet oued draine un bassin versant de 213,9 km<sup>2</sup>, il s'étale depuis la montagne du Dhahar (Matmata), jusqu'à la mer et prend naissance dans les monts de Zmertène à une altitude supérieure à 700 mètres.

Il quitte très vite les djebels pour collecter les eaux des oueds des piedmonts avec un trajet sinueux pour aboutir à la mer en traversant la plaine, (B. Ben BACCAR, 1982).

Les caractéristiques physiques du bassin versant de cet oued (FERSI, 1979) et qui intéressent tout le bassin versant jusqu'à la mer sont :

- Superficie du bassin versant : A = 213.9 km<sup>2</sup>
- Périmètre : P = 96.2 km
- Altitude maximale : Hmax. = 713 m
- Altitude minimale : Hmin. = 0.0 m

Il s'agit d'un bassin très allongé à reliefs assez forts ce qui favorise une concentration rapide des eaux de ruissellement à son exutoire au profit de l'infiltration.

D'après la carte des isohyètes des bassins du Djefara de Gabès (FERSI, 1979), on maintiendra la valeur de 190 mm comme pluviométrique moyenne interannuelle sur la plaine de Mareth et on considèrera une valeur supérieure à celle ci au niveau des djebels.

### 2.3.3.2. - *Caractéristiques hydrogéologiques*

La nappe phréatique de Gabès sud est la plus anciennement exploitée dans le gouvernorat de Gabès. Bien qu'elle présente de bonnes caractéristiques hydrogéologiques et hydro chimiques, cette nappe est de plus en plus sollicitée.

L'aquifère côtière du Gabès sud fait partir du système aquifère multicouche de Djefara nord. Il est formé par des sédiments alluvionnaires et détritiques d'âge Quaternaire et par des dépôts argilo-sableuses d'âge Mio-pliocène.

La plus grande densité de puits de surface est localisée dans la région de Mareth et de Kettana. Cette région côtière de Gabès sud est traversée par quelques oueds importants qui sont Oued Zigzaou, oued Ségui, Oued Zerkine et Oued Essoureg.

Les eaux de la nappe phréatique de Gabès sud se logent :

- Soit dans les formations alluvionnaires et détritiques résultant d'une ancienne activité hydrographique des oueds descendant des Matmata. Ces formations sont d'âge quaternaire.

- Soit dans les formations argilo-sableuses du Mio-pliocène. Dans ces formations alluviales les variations latérales de faciès sont toujours fréquentes, à cause de l'apport en matériaux des Oueds des Matmata.

L'alimentation de La nappe phréatique se fait à partir des eaux des crues, infiltrées au niveau des lits des principaux oueds descendant de Matmata et par infiltration directe des eaux météoriques tombant sur la plaine côtière et aussi l'infiltration des eaux d'irrigation au niveau des oasis. La décharge de la nappe se fait par les sources, les sebkhas, la mer et les puits de surfaces qui constituent les exutoires de la nappe.

La carte piézométrique dressée par Mamou en 1979 (fig. 2.7) montre que le sens d'écoulement de la nappe suit la topographie du terrain et se fait à partir des reliefs vers la côte. Les axes principaux d'écoulement suivent sensiblement les lits des principaux oueds descendant de la chaîne des Matmata (Mamou, 1995).

Sur le plan hydrogéologique, cette nappe côtière est caractérisée par :

- Un sens d'écoulement des eaux qui jalonne la topographie de la nappe dans un sens NE ;
- Un écoulement influencé par l'exploitation intense au niveau des régions à grande concentration de points d'eau "Ségui Mareth", localisées autour des lits des oueds qui offrent des conditions pédologiques meilleures pour la culture ;
- Une infiltration par endroits du surplus des eaux d'irrigation au niveau des oasis ;
- Un déversement des eaux de la nappe profonde dû à la perméabilité verticale facilitée par l'existence des failles en certains endroits (Zarat).

En conclusion, on peut dire que l'écoulement global de la nappe se fait des reliefs vers la côte dans un sens NE. Cet écoulement est perturbé par la surexploitation régionale, par l'existence de zones de décharges (Sebkhas) et de zones d'alimentation à partir de la nappe profonde par alimentation verticale (cas de Zarat).

### **2.3.3.3. - Les nappes phréatiques**

Situées à quelques mètres ou quelques dizaines de mètres de profondeur, elles sont en général depuis très longtemps exploitées, certaines sont bien connues (Gabès, Mareth, etc.). Elles sont de qualité médiocre (résidu sec compris entre 3 et 10 g/l). Les nappes non artésiennes, exploitées traditionnellement pendant longtemps, ont vu leur niveau baisser et leur salure augmenter dangereusement au cours de ces dernières années avec l'introduction

des motopompes. Ainsi, à Mareth, entre 1980 et 2000, on assiste à l'abandon de plus de 200 puits sur les 340 existants. En utilisant les données de 59 puits de surface de la région de Mareth, Ayadi M. (1986), a pu établir une carte des isopièzes qui montre que l'écoulement s'effectue des reliefs vers la côte (fig.2.7). On y distingue trois axes d'écoulement dont deux suivent sensiblement les lits des oueds qui constituent des zones préférentielles d'alimentation.

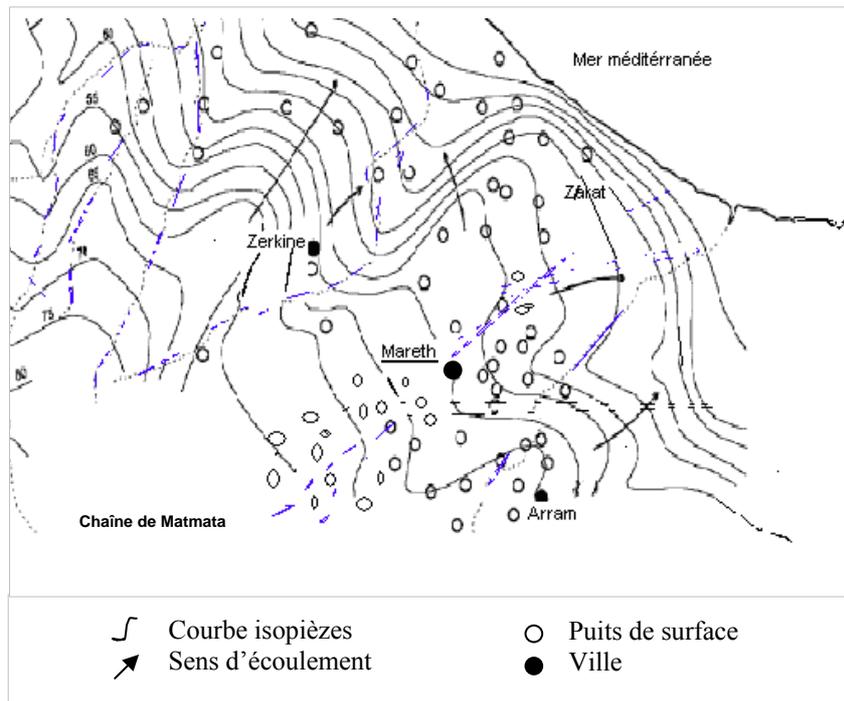


Figure 2.7 : Carte piézométrique de la nappe phréatique de Gabès Sud (1979).

a)- *Un premier écoulement* parallèle au lit de l'oued Zigzaou, de direction SW-NE. Cet écoulement se répartit en deux directions :

- (i)- un écoulement SE-NW qui se fait vers la plaine du Ségui Mareth.
- (ii) - un écoulement Sud-Nord qui aboutit à la zone à forte densité de puits située à l'Est de la GP1.

b)- *un deuxième écoulement* parallèle au lit de l'oued el Kossiba de direction SW-NS. Cet écoulement déverse dans la zone du Ségui Mareth.

c)- *un troisième écoulement* de direction NW-SE qui s'effectue à partir de Dhahret Tiour vers l'Est de la ville de Mareth.

#### **2.3.3.4. - Hydrochimie**

En ce qui concerne la salinité, on remarque que les taux de la nappe varient entre 2 g/l à 10 g/l et que les zones à fortes salinités correspondent soit à une zone d'évaporation comme les sebkhas soit à une zone à grande concentration de points d'eau comme Mareth et Kettana. La surexploitation combinée à l'évaporation des eaux ne fait donc qu'augmenter la salinité des eaux.

Mais les faibles valeurs de salinité enregistrés dans la région de Zarat ne font que confirmer le phénomène de drainage vertical mis en évidence par le piézomètre de la nappe, ces deux zones sont donc des zones d'alimentation à partir de la nappe profonde (Mamou, 1995).

Le suivi de l'évolution de la salinité des eaux a montré qu'elle évolue dans le même sens que l'écoulement de la nappe et que la qualité chimique des eaux s'est dégradée entre 1985 et 1995 dans les régions côtières.

En conclusion, la nappe phréatique de Mareth est exploitée par un nombre important de puits qui captent les formations détritiques du Quaternaire. La plus grande concentration des puits de surface est dans la zone dite Ségui Mareth, vu le taux d'équipement élevé en motopompe de ces puits (60%), la surexploitation de cette nappe ne peut que s'aggraver avec le temps en provoquant des phénomènes irréversibles (baisse du niveau piézométrique, dessèchement du puits, augmentation de la salinité).

#### **2.3.4. - Sols**

De nombreuses études ont été publiées sur les sols du Sud de la Tunisie et en particulier ceux de la zone côtière (BEN AYED et al., 1966 ; ESCADAFAL, 1979 ; ESCADAFAL et MTIMET, 1982 ; LE HOUEROU, 1960 ; MTIMET, 1979, 1980 ; PONTANIER, 1968, 1972 ; PONTANIER et ZANTE, 1976 ; PONTANIER et VIELLFON, 1977 ; POUGET, 1965, 1969). En effet, ces études touchent surtout les oasis ce qui a nécessité un intense travail et prospection de terrain dans tout le bassin versant de l'oued Ségui.

Dans les zones arides tunisiennes, c'est le matériau originel autochtone (BOULAINÉ, 1975) ainsi que ses formes et sa répartition dans le paysage, qui sont déterminants pour les propriétés des sols et la structure de la couverture pédologique. Les principaux types de sols sont présentés et regroupés selon des critères qui intègrent les principales formations superficielles et formes de terrain.

### **2.3.4.1. - Principaux facteurs de différenciation des sols**

Parmi les processus d'évolution des sols reconnus dans les régions arides (BUOL, 1965 ; DREGNE, 1976 ; KOVDA et al., 1979) ceux qui se manifestent actuellement dans la zone d'étude sont essentiellement :

- le rajeunissement par érosion ou au contraire par sédimentation hydrique ou éolienne (GOUDIE, 1978) ;
- Les sols ne sont pas traversés par des flux hydriques importants vu le régime des précipitations sporadiques qui se traduit le plus souvent par des flux d'eau intenses à la surface des sols. La majorité des sols sont peu humectés (seuls les sols sableux) à cause d'une faible perméabilité superficielle. Les eaux de ruissellement sont alors entraînées vers les oueds ou vers les zones endoréiques ;
- La végétation ne fournit que très peu de matière organique aux sols (faible couverture). Les teneurs sont toujours inférieures à 1 %. Son influence directe sur la pédogénèse actuelle est donc négligeable. Par contre son rôle protecteur est important, elle piège les éléments fins apportés par le vent et diminue le risque des sols à l'érosion (NAHAL, 1984) ;
- accumulations calcaires sous diverses formes : amas, nodules, encroûtements, croûtes et dalles (BOULAIN, 1961 ; RUELLAN, 1971, 1980 ; POUGET, 1980, 1981) ;
- accumulations gypseuses sous forme de croûtes de surface, encroûtements et amas, l'extension de ces formations est une caractéristique des sols du sud Tunisien (VIELLEFON, 1976 ; WATSON, 1979).

L'organisation interne de la couverture pédologique est donc nettement marquée par l'histoire de sa mise en place et de son évolution à travers le Quaternaire. Au contraire, les phénomènes actuels en affectent essentiellement la surface. En d'autres termes, l'organisation de la couverture pédologique dépend en premier lieu de la lithologie et de la nature des formations superficielles, elles-mêmes le plus souvent caractérisées par des formes de relief (éboulis, cônes de déjection, glacis, terrasses, dépressions fermées, . . .).

### **2.3.4.2. - Conclusion**

L'organisation de la couverture pédologique dépend surtout de la lithologie et de la nature des formations superficielles, elle est liée aux données géomorphologiques (collines, plateaux, dépressions et plaines littorales).

Des descriptions de profils pédologiques sont données en annexe dont nous présentons les principales caractéristiques des sols dans le bassin versant de l'oued Ségui. L'étude détaillée sur la classification et la répartition sera présentée dans le chapitre 3 (sols et conservation des sols).

### 2.3.5. - Végétation

L'agressivité du climat, l'ancienneté de l'occupation humaine, la fragilité du couvert végétal et la mise en culture des terres de parcours expliquent l'état de dégradation de la végétation naturelle.

- Sur le Djebel (amont du bassin) : la végétation est composée d'une steppe à *Lygeum spartum* associée au romarin (*Rosmarinus officinalis*). Le taux de recouvrement peut atteindre parfois 25 à 30 %. D'autres espèces telles que l'*Artemisia alba alba* et le *Gymnocarpos decander* sont rencontrées ;

- sur les piedmonts et glacis : c'est surtout la steppe à armoise blanche (*Artemisia alba alba*) associées avec de l'*Artemisia compestris*, *Astragalus armatus* et des annuelles ;

- Dans la plaine : le type de recouvrement végétal varie en fonction de la nature du sol et de l'intensité de l'occupation humaine. Quelques espèces sont rencontrées telles que le *Rhantherium suaveolens*, *Retama Raetam* et *Ziziphus lotus* ;

- Plus à l'aval du bassin, on rencontre surtout des plantes halophytes (à l'Est des oasis) telles que les *Salicornia* et le *Nitraria rutesa* sur les affleurements gypseux.

D'une façon générale la végétation se caractérise par :

- une adaptation aux conditions du milieu ;
- un taux de recouvrement très faible dans l'ensemble ;
- une régression rapide sous l'effet de la mise en culture des terrains de parcours ;
- un apport très faible de matière organique au sol (<1%).

### 2.3.6. - Occupation des sols, agriculture et élevage

A l'amont et aux piémonts du bassin versant de l'oued Ségui, la mise en valeur est basée essentiellement sur une agriculture de type traditionnel et familial. L'exploitation des parcours de ces montagnes et glacis n'est plus liée au régime des pluies (FLORET et al. 1976). L'agriculture pluviale est limitée aux sols meubles qui reçoivent des eaux de

ruissellement de façon naturelle, ou par aménagement. La culture d'oliviers, figuiers et de palmiers est pratiquée grâce au système des jessours. Ce système, très ancien, s'étend vers le nord ouest du bassin et toute la chaîne de Matmata. Bien que la majorité de la population se soit installée dans la plaine, il y a de cela plus qu'une cinquantaine d'année, les villages de Toujane et Tounine n'ont pas perdu de leur charme. Les quelques familles qui restent poursuivent tant bien que mal leurs activités traditionnelles (élevage de petits ruminants, culture d'oliviers et céréaliculture en terrasse).

Au centre du bassin, la densité des jessours diminue, les sols ont plus une vocation pastorale et quelques cultures arboricoles en extensif. Les cultures irriguées sont restreintes à des parcelles alimentées par des puits de surface dans la zone appelée Ségui Mareth avec des cultures sous serres.

Les oasis de Mareth et Zarat, constituées par un ensemble de sols dont l'évolution est le reflet d'une longue utilisation par l'homme, souffrent de problèmes de mauvaise conduite de l'irrigation (des doses et de fréquences d'irrigation insuffisantes, un réseau de drainage mal entretenu et une qualité d'eau qui, déjà saumâtre, a tendance par surexploitation à se saler d'avantage) (IMAROM, 2001).

Le développement agricole et rural dans le bassin versant de l'oued Ségui, et notamment la région de Mareth, présente un enjeu environnemental de taille dans la mesure où la pression sur les ressources en eaux pluviales et souterraines et sur les sols risque de s'accroître pour une population qui s'accroît et dont les besoins vont en augmentant.

Figure 2.8 : Photos occupation des sols



Jessours à Braouka (amont du bassin O. Segui)



*Badlands* - Tounine



Effet de la sécheresse sur l'aridoculture (charbon)



Culture sous serre dans la zone de Ségui



Préparation des serres



Oasis à trois étages



Drain non protégé



Drain mal entretenu



Extension illicite de l'oasis vers la sebkha



*Salicornia* - Zone de parcours (Hmila)

ETATS DE SURFACE



Tounine (*badlands*)



Surface rugueuse (Hmila)



Ouarifin surface motteuse



Surface des sols après irrigation dans les oasis Mareth5



Extension illicite de l'oasis dans la sebkha



Accumulation des sédiments dans les jessours :  
blocage de l'infiltration



Surface rugueuse (impact de l'érosion hydrique & éolienne)



Barrage de recharge dans O. Ségui



## **SOLS ET CONSERVATION DES SOLS**



## SOLS ET CONSERVATION DES SOLS

### 3.1. - INTRODUCTION

Le sud tunisien est confronté à un certain nombre de facteurs d'origine naturelle et anthropique qui sont à l'origine de l'état de dégradation avancée des sols. Il s'agit essentiellement de l'érosion hydrique, éolienne et de la salinisation. L'accroissement de la pression démographique dans les zones arides, caractérisé par la vulnérabilité des sols à la désertification, avec une pluviométrie aléatoire de 100 à 200mm, a entraîné depuis les dernières décennies des modifications profondes des modes de gestion et de l'utilisation des ressources naturelles et de l'espace rural (FLORET *et al.*, 1981). Ces perturbations anthropiques ont entraîné la raréfaction de la végétation naturelle et la dégradation des sols (érosion hydrique et éolienne). Les sols constituent un compartiment fondamental des écosystèmes, leur dégradation a en général des impacts majeurs sur tous les autres compartiments, et porte gravement atteinte à la composition et à la diversité de la flore et de la faune, ainsi qu'aux cycles de l'eau et des nutriments.

Suivant le type de milieu édaphique et son utilisation par l'homme, l'aridité d'origine climatique peut être, soit atténuée, soit au contraire accentuée en fonction de la redistribution, provoquée ou non, de l'eau des précipitations (FLORET et PONTANIER, 1984). Les sols du bassin versant de l'oued Ségui, tels qu'ils se présentent aujourd'hui, sont les fruits d'interactions qui durent depuis des millénaires entre les processus naturels de la pédogenèse, et les activités des sociétés humaines qui se sont développées dans cette région. Depuis une centaine d'années, divers modes d'occupation et divers usages ont souvent alterné, en un même lieu, avec des périodes d'abandon et d'évolution purement naturelle. Certains sols ont été profondément remaniés : construction de terrasses, de murets, de banquettes, installations des nouvelles oasis.

### 3.2. - CONCEPTIONS, UTILISATIONS ET MÉTHODOLOGIES

Dans cette étude, nous nous plaçons à un niveau d'observation régional, un premier niveau d'analyse permet de distinguer les pseudo paysages (GIRARD, 1983) différenciés sur la base des grands ensembles lithologiques. Les liens étroits entre morphologie, nature des formations superficielles et organisation de la couverture pédologique observée ici sont une caractéristique des régions arides (ROGNON, 1980). Nous avons donc analysé chaque pédopaysage en suivant le concept d'unité morpho-pédologique. (KILIAN, 1972). Dans chaque unité, nous avons cherché à caractériser les horizons dominants et leurs relations. Pour cela nous nous sommes référés à la classification française des sols utilisée en Tunisie, suivant les travaux de GAJBERT (1962, 1965) et de la C.P.C.S. (1967). Ce système est à la base de toutes les cartes pédologiques réalisées en Tunisie. Le produit de notre travail devait s'y intégrer, nous avons choisi cette nomenclature, qui permet de situer les sols étudiés dans leur contexte pédologique.

Dans cette étude, nous mettons l'accent sur les correspondances de la classification C.P.C.S. utilisée en Tunisie et la classification de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture - FAO (Tableau 8.6 en annexe).

#### 3.2.1. - Prospection sur le terrain

Un premier contact sur le terrain avec l'ensemble de la zone étudiée et l'analyse des documents cartographiques disponibles a permis de reconnaître les pédopaysages de l'amont à l'aval.

Dans chacun des cas, les différentes unités morpho-pédologiques ont été étudiées. Les sols ont été observés et échantillonnés dans des fosses et par sondages lors des vérifications. Les différentes hypothèses basées sur des relations entre morphologie, formations superficielles et sols, ont été testées et affinées au cours de la progression du travail.

Les descriptions de profils de sols ont été faites en suivant les recommandations du "Glossaire pour la description des sols de Tunisie et de leur Environnement", mis au point par la Direction des Sols (Ministère de l'Agriculture de Tunisie), l'ORSTOM et l'association Informatique et Biosphère (GIRARD et VIELLEON, 1980).

### **3.3. - CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES (PROSPECTION TERRAIN SYNTHÈSES DE LA DESCRIPTION DES PROFILS ANNEXES 8.1)**

Pour acquérir une vision synthétique des ressources en sol à l'échelle de la zone, nous avons prospecté des profils en fonction de critères pédologiques, lithologiques, topographiques et d'occupation végétale des unités.

A la suite de ces prospections, nous disposons de descriptions et de données analytiques portant sur un total de 107 sites (fosses). Les échantillons de sols analysés au Laboratoire de l'IRA : calcaire (par neutralisation acide), conductivité électrique de l'extrait 1:1 (conductivimètre), pH (pH-mètre de l'extrait 1:1) et matière organique (MO) pour les horizons de surface (oxydation par voie humide) et l'analyse granulométrique (pipette de Robinson) effectuée à la direction des sols de Gabès.

Le mode d'exploitation agricole varie souvent d'un profil à l'autre mais sans influence sur l'évolution du sol.

#### **3.3.1. - Interprétation et synthèse de l'étude des profils**

Une étude simple des observations de terrain et des données analytiques obtenues au laboratoire permet de dégager les grands traits caractéristiques des matériaux pédologiques de la zone étudiée :

##### **3.3.1.1. - Caractéristiques générales**

Pour caractériser le sol de la région, nous avons procédé à des prospections de quelques profils représentatifs de la zone d'étude. Nous rencontrons principalement quatre types de sols :

- sablo-limoneux (essentiellement du sable fin) ;
- limono-sableux ;
- sol à texture plus au moins équilibrée (avec un pourcentage d'argile intéressant) ;
- loess à l'amont et au piedmont de la chaîne de Matmata.

Ces différentes textures se rencontrent à des profondeurs variables, mais le plus souvent nous avons l'horizon sablo-limoneux ou limono-sableux en surface et un horizon à texture équilibrée en profondeur (surtout dans les oasis). L'aridité marque les sols de la Tunisie présaharienne, la décomposition des roches est marquée surtout par la désagrégation due à l'amplitude thermique et par une faible altération due à la sécheresse, ce qui explique l'existence d'éléments grossiers et la rareté relative d'éléments fins.

La structure est, en général, mal développée ; dans la majorité des cas elle est fragmentaire, polyédrique, subanguleuse et parfois on peut parler de structure particulière.

- Les sols présentent une bonne porosité d'ensemble, en raison de leur texture et de leur profondeur ;

- Les sols sont pauvres en matières organiques, mais le plus souvent l'horizon de surface présente un pourcentage plus important, dans ce cadre, il faut noter que les agriculteurs ajoutent souvent du fumier au cours des travaux de préparation du sol (pour les oasis) ;

- Il y a une forte présence de calcaire ;

- Les sols de Mareth sont non ou peu gypseux. Les sols gypseux sont localisés au NW de la zone d'étude, ailleurs, on rencontre seulement quelques concrétions.

Les sols de piedmonts sont des sols à texture moyenne à grossière, facilement érodables. Le ruissellement provenant de ces collines calcaires a d'ailleurs provoqué la formation de ravines dans la zone de piedmont.

### **3.3.1.2. - Caractéristiques physiques et chimiques des sols**

Nous essayons de présenter ici les principales caractéristiques des sols de la région ainsi que leurs répartitions. L'étude détaillée est présentée au niveau de l'annexe 8.1 ainsi que la carte des sols (fig. 3.7) :

- Le plus souvent, l'épaisseur des sols est inférieure à 40 cm. Que ce soit dans la plaine, de vastes surfaces squelettiques sur croûtes calcaires ou gypseuses ou sur calcaire géologiques s'observent. Dans certaines zones privilégiées (piémont des Matmata), on trouve des sols très épais parfois dépassant trois mètres d'épaisseur (lœss) ;

- La texture est le plus souvent grossière, si on exclut les bas fonds et les sols retenus dans les jessours, les secteurs de sebkha où la texture est fine à équilibrée, la majorité des sols

de la région appartient aux textures sableuses à sablo-limoneuses. Les teneurs en argile et limons ne dépassent que rarement 40 %, la grande majorité des échantillons a une texture sablo-limoneuse ou sableuse. Les horizons supérieurs ont souvent une texture sensiblement plus grossière que les horizons de profondeur ;

- La structure est très peu développée et même parfois inexistante. Celle-ci est polyédrique subanguleuse ou parfois massive en profondeur surtout dans les sols à matériaux limoneux ou limono-argileux des dépressions et des oueds. La structure de ces matériaux est généralement peu développée, les horizons très sableux, à l'état sec passent à une structure massive à débit anguleux lorsque la teneur en éléments fins croît un peu. Les horizons sablo-limoneux présentent un début de structuration (polyédrique subanguleuse fine à moyenne, peu nette à nette). Ce manque de structure est lié à la faible teneur en argile (de 3 à 23 %) et à la très faible teneur en matière organique. Celle-ci n'est jamais décelable sur le terrain et les taux mesurés au laboratoire varient de 0.02 à 1.3 %.

- La porosité, en l'absence de structure, est essentiellement liée à la texture. Les sols plus sableux sont ceux qui ont le plus de macropores sont perméables. Les sols qui présentent le meilleur comportement hydrique vis-à-vis du régime pluviométrique sont ceux qui infiltrent l'eau rapidement, la stockent en profondeur et résistent à l'évaporation. Les sols sablo-limoneux avec voile éolien et sur limon à nodules calcaires appartiennent à cette catégorie. C'est le cas des sols dans la majorité des oasis de Mareth et Zarat.

- Matière organique (MO) : Les sols sont dans la plupart des cas pauvres en matière organique, à l'exception des sols des anciennes oasis où on observe un horizon anthropique de 30 à 40 cm pouvant présenter parfois des teneurs en matière organique de 1 à 2 % (apport de fumier organique). Dans la totalité des cas, les sols sont très pauvres et les teneurs en matière organique dépassent rarement 0,65 %. Sur les sols cultivés depuis longtemps en sec sans amendement comme à Ségui Mareth, les teneurs sont très faibles souvent voisines de 0,02 à 0,6 %, ce qui explique la fragilité de ces sols vis-à-vis de l'érosion hydrique et éolienne (annexe 8.2)

- Le pH tend à augmenter légèrement de la surface vers la profondeur, l'ensemble des horizons est marqué par la présence de carbonates, ce qui se traduit par une effervescence généralisée, forte à très forte, et un pH généralement basique, variant de 7 à 8.

- A l'instar de la géologie, qui est en grande partie calcaire et parfois gypseuse, les sols se caractérisent par la présence constante de calcaire, parfois du gypse et de sols salés en particulier dans les sebkas à l'aval du bassin. Les accumulations calcaires et gypseuses sont

abondantes, particulièrement dans les horizons de profondeur où nodules et amas sont fréquents. Cependant croûtes et encroûtements sont également souvent affleurant, notamment sur les pentes où l'érosion les a mis à nus.

- La conductivité électrique est comprise, en général, entre 0.1 et 8 mS/cm. Dans les dépressions endoréiques, la conductivité est très élevée dans les horizons de surface (65 mS/cm et au delà) et diminue souvent en profondeur ;

- Parmi les caractères morphologiques, remarquons que la couleur varie assez sensiblement, elle est un bon critère de discrimination des différents horizons.

#### **- 3.3.1.2.1. - Mesure de l'infiltration**

La région des monts de Matmata et Mareth est confrontée à la profonde restructuration d'un espace, ceci consécutivement aux directives prises par l'état en matière d'orientation agricole. Une double évolution se produit :

- une intensification des productions traditionnelles, telles que l'arboriculture dans les Jessours ;
- une politique, suivie souvent par un abandon des terres et parfois par une reconversion vers des cultures plus exigeantes en eau.

Dans tous les cas, cette évolution se traduit par une modification importante des besoins en eau et de l'état de surface du sol, il est nécessaire de prévoir l'ampleur de ces transformations et leurs conséquences sur la gestion de l'eau dans un milieu aux ressources hydriques limitées et fragiles. Une partie des travaux réalisés dans le cadre de ce travail, sur un bassin versant de 177 km<sup>2</sup>, concerne l'analyse des flux de ruissellement de surface pour caractériser la partie superficielle des sols et son rôle d'interface, qui apparaît de plus en plus essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes arides. A cet égard, notre travail se limitera à la caractérisation et l'interprétation de la variabilité spatiale de l'infiltrabilité du sol.

En effet, la discrétisation spatiale, que ce soit à l'échelle de la parcelle ou à celle du bassin versant, doit être fondée sur des bases hydrologiques pour être opérationnelle, et en particulier sur la variabilité dans l'espace de la fonction de production des écoulements. Il est donc nécessaire d'analyser la variabilité spatiale de l'infiltrabilité, et de l'interpréter à partir de critères facilement accessibles sur le terrain afin de pouvoir procéder à un découpage de l'espace en zones plus ou moins homogènes du point de vue hydrodynamique.

- Une revue bibliographique sur le thème de la variabilité spatiale de l'infiltration permet, tout en posant un certain nombre de problèmes relatifs au milieu considéré et à l'échelle de travail, de mettre en avant l'originalité du travail.

- Après une courte description du site d'étude, on présente successivement le protocole d'obtention des données relatives à la variabilité spatiale de l'infiltrabilité, ainsi que les méthodes d'analyse.

- Les résultats présentés, et la discussion qui en découle, concernent les caractéristiques et l'interprétation de la variabilité spatiale de l'infiltrabilité du sol.

### - 3.3.1.2.2. - Matériels & méthodes (mesure de l'infiltration)

#### a)- Description de l'appareillage et Protocole expérimental

##### - Mini simulateur de pluie

Il s'agit du mini simulateur de pluie développé par Kamphorst (1987). Il est formé essentiellement par trois parties (figure 3.1):

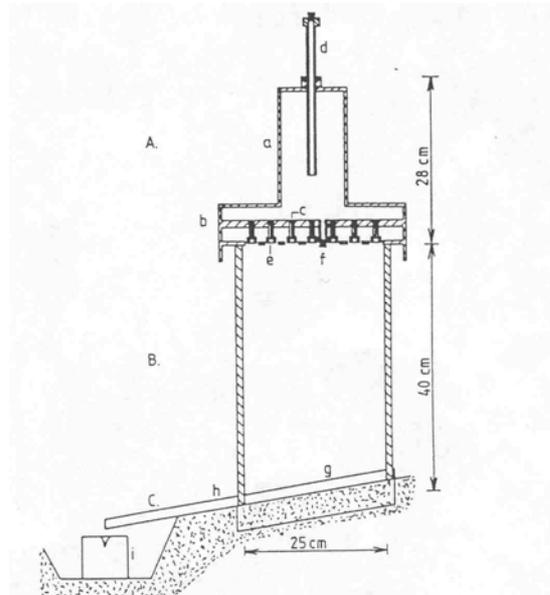


Figure 3.1 : Schéma du mini simulateur de pluie (d'après Kamphorst, 1987).

- Un arroseur incorporé à un régulateur de pression, se basant sur le principe de la bouteille de Marmotte, pour produire une pluie standard (A) ;

- Un support pour l'arroseur qui joue le rôle, aussi, de protection contre le vent sur le champ (B) ;

- Un cadre en acier inoxydable qui est enfoncé dans le sol destiné à empêcher le mouvement latéral de l'eau de la parcelle d'essai vers le sol à l'entourage. Le cadre de la parcelle se termine par un égoutteur pour collecter la quantité d'eau ruisselée et la perte en sol dans des petites bouteilles (C).

L'arroseur comporte un réservoir cylindrique (a) de capacité 1200 ml dont la base (b) est munie de 49 capillaires (c).

Nous avons appliqué le mini simulateur de pluie au niveau des différents impluviums des zones caractérisées par une pente plus ou moins forte, en essayant de choisir des différents sites en fonction de la texture, du taux de recouvrement et l'état de la surface des sols. A chaque minute, on prélève le volume de ruissellement jusqu'à l'obtention d'un débit constant, quand le sol devient saturé avec une vitesse d'infiltration plus au moins constante.

Après chaque durée de 6 minutes environ, on remplit le réservoir de nouveau pour continuer l'expérience. On peut régler la pression dans les capillaires par le mouvement du tube d'aération (d) ce qui permet le réglage de l'intensité.

La parcelle d'essai étant d'une surface de 625 cm<sup>2</sup>, sur laquelle, on peut déterminer le volume d'infiltration par différence entre le volume total de pluie appliqué et le volume ruisselé en négligeant l'évaporation.

#### - Infiltromètre à double anneau

Il existe diverses méthodes pour déterminer l'infiltration de l'eau dans le sol. Les inconvénients de certaines méthodes sont la grande quantité d'eau utilisée, l'occupation d'une grande surface du sol et qu'elle demande beaucoup de temps dans l'enregistrement des mesures. Nous avons, donc, choisi de mesurer l'infiltration par l'infiltromètre à double anneau (fig. 3.2). Il est utilisé pour mesurer le coefficient de perméabilité à saturation du sol (détermination ponctuelle, *in situ*, de la perméabilité verticale du sol).



Figure 3.2 : Infiltromètre à double anneau

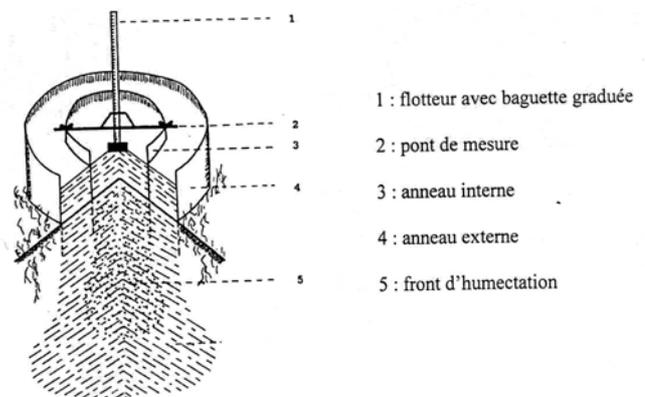


Figure 3.3 : Simulation front d'humectation

L'appareil est composé de deux anneaux (diamètres 30 et 50 cm, fig. 3.2) enfoncés dans le sol de quelques centimètres et rempli d'eau. Le principe est de suivre l'évolution du niveau d'eau en fonction du temps dans l'anneau interne pour connaître la vitesse d'infiltration sur chaque pas de temps. La hauteur d'eau à l'intérieur de l'anneau est suivie moyennant un flotteur munie d'une baguette graduée. Notons que durant toute la mesure, on veille à ce que les niveaux d'eau dans les deux anneaux restent les mêmes. Nous pouvons alors supposer que sous l'anneau interne l'infiltration est verticale. Au bout d'un certain temps un régime permanent s'installe et la vitesse d'infiltration devient constante. C'est à partir de la valeur de cette vitesse qu'on déduit la valeur du coefficient de perméabilité en utilisant la loi de Darcy.

Loi de Darcy  $Q = K.S.h / L$  avec  $Q$ : débit en  $m^3/s$ ;  $K$ : coefficient de perméabilité en  $m/s$  ;  
 $S$ : section en  $m^2$ ,  $h$ : charge hydraulique (poids de la colonne d'eau) en m de hauteur d'eau ;  
 $L$ : hauteur de terrain (sable à l'origine) en m. Le coefficient de perméabilité, noté  $K$ , est défini par la loi de Darcy. C'est le volume d'eau gravitaire en  $m^3$  traversant en une unité de temps (seconde), sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique, une unité de section en  $m^2$ , orthogonale à la direction de l'écoulement, dans les conditions de validité de la loi de Darcy ( $t = 20^\circ C$ ). Il a la dimension d'une vitesse et s'exprime en  $m/s$ .

L'infiltromètre à double anneau a été appliqué dans plusieurs sites du bassin versant (de l'amont à l'aval), où la pente est pratiquement très faible du côté amont et glacis et dans les oasis et les sebkhas. La vitesse d'infiltration au début est importante puis elle diminue jusqu'à se stabiliser autour de la vitesse d'infiltration de base (fig. 3.4).

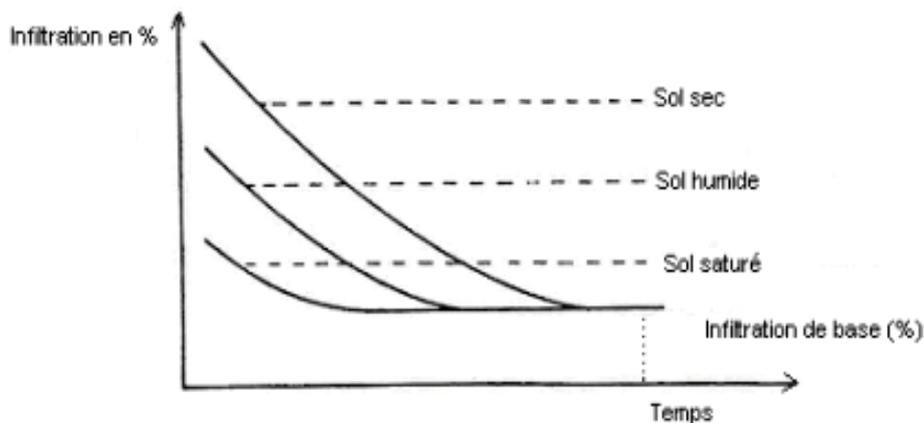


Figure 3.4 : Courbe typique d'infiltration d'un sol à trois états initiaux (Sec, humide et saturé)

Tableau 3.1 : Sites de mesure de l'infiltration

Site	X	Y
1 Znezfa (près de quazmats)	607903	3705886
2 Toujane	605913	3704941
3 Warifen1	609206	3714892
4 El Azaiza (Segui)	615343	3715215
5 Segui (Mareth)	616642	3717854
6 Zaret1 (à coté du profil Z1)	627307	3726440
7 Mareth2	621198	3723290
8 Elhamila1	612888	3712904
9 Tounine-Warifen	606964	3709920
10 Znezfa1	608942	3705831
11 El Azaiza (Zemlet)	615837	3716040
12 Warifen2	607963	3714236
13 Jouabit	604602	3707137
14 Hmila2	610003	3710248
15 Tounine (Pépinière)	605218	3708546

### 3.3.1.3. - Résultats et discussions

Rappelons que la répartition de l'eau de pluie entre infiltration et excès d'eau superficiel (détenu dans des flaques ou ruisselé) dépend à chaque instant de l'intensité pluviométrique et du fonctionnement hydrodynamique du sol qui dépend lui-même de son état physique (hydrique et structural).

Figure 3.5 : Résultats des mesures de l'infiltration dans les différents sites du bassin versant de l'oued Ségui (de l'amont à l'aval, voir bassin fig. 2.2).

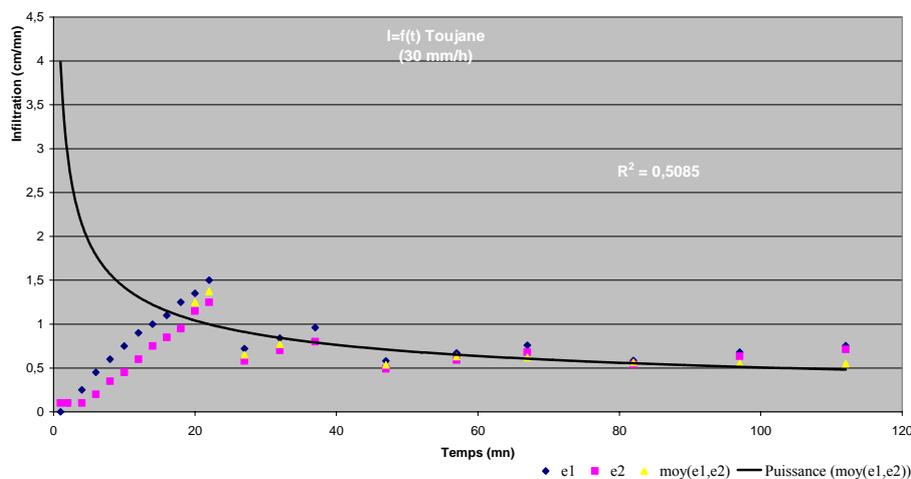


Figure. 3.5a : Mesure de l'infiltration à Toujane (Amont du bassin)

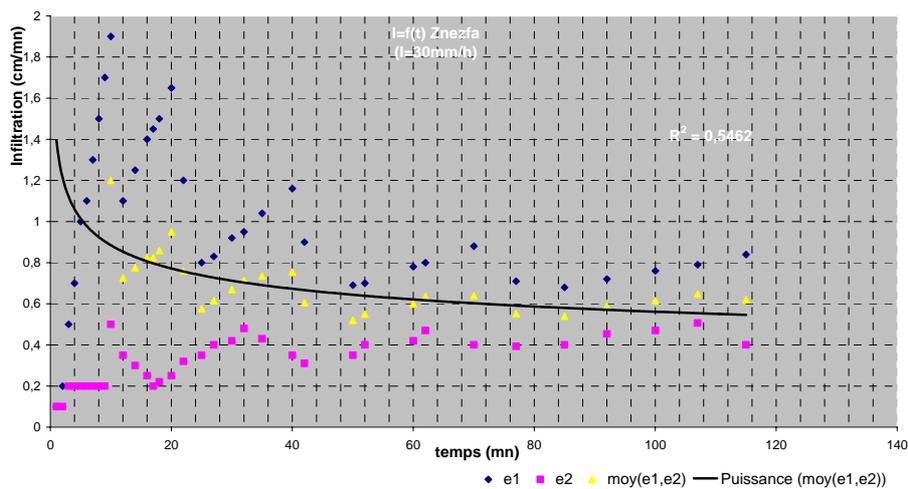


Figure. 3.5b : Mesure de l'infiltration à Znezfa (Piémont du bassin)

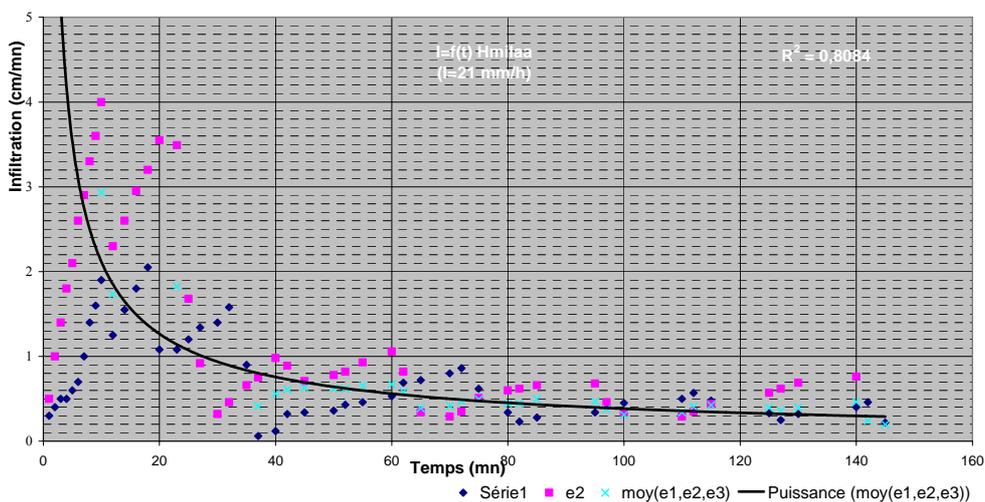


Figure. 3.5c : Mesure de l'infiltration à Hmila (Glacis)

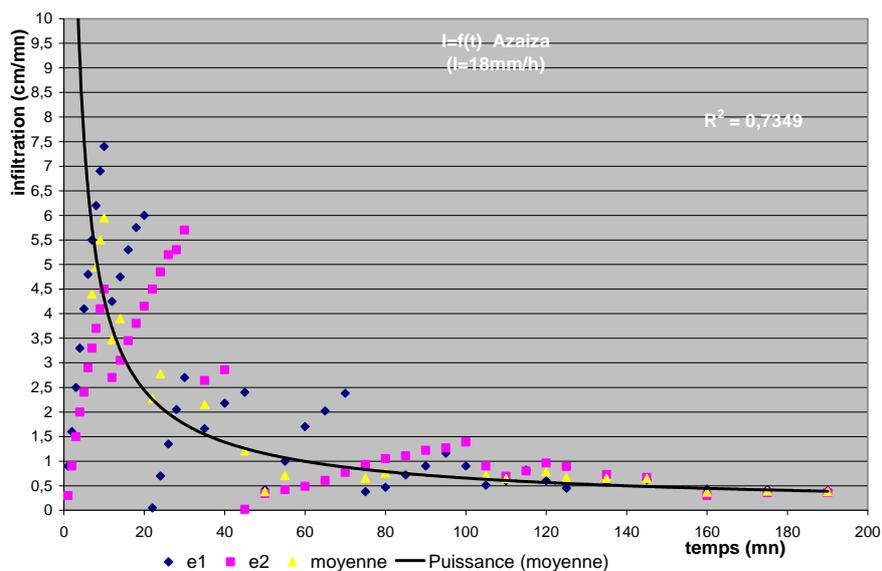


Figure. 3.5d : Mesure de l'infiltration à Azaïza

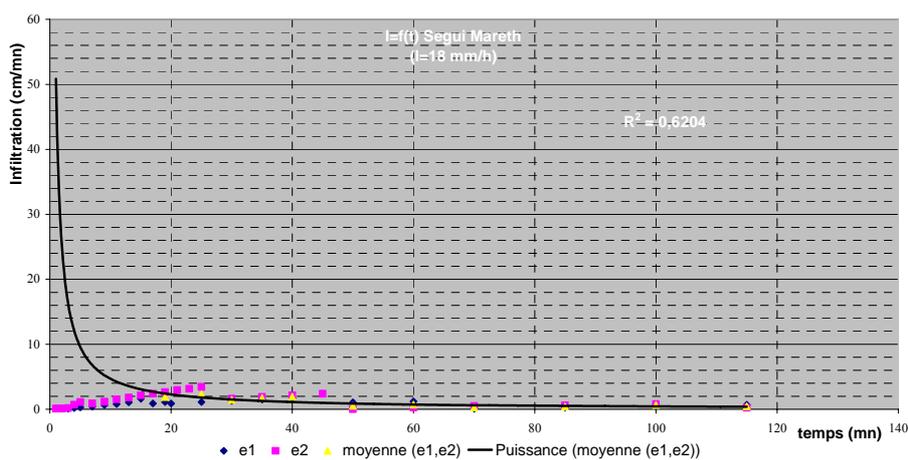


Figure. 3.5e : Mesure de l'infiltration à Ségui Mareth (Plaine)

La réponse hydrologique dépend également fortement de l'état hydrique initial du sol (fig. 3.4). Ainsi, une pluie tombant sur un sol sec servira d'abord à combler le déficit d'humidité du sol, cette même pluie sera entièrement disponible pour le ruissellement si le sol est déjà saturé au début de l'événement.

D'après les résultats des expérimentations illustrés dans la fig. 3.5 (fig. 3.5a, fig. 3.5b, fig. 3.5c, fig. 3.5d, fig. 3.5e), nous remarquons que la vitesse d'infiltration a tendance de diminuer de l'amont vers l'aval du bassin versant (30mm/h à Toujane, Tounine et Znezfa et de l'ordre de 21mm/h dans le glacis à Hmila et 18mm/h à Azaïza et Ségui Mareth dans la plaine). Bien que la texture de l'horizon superficiel soit peu différente, elle est sablo-

limoneuse à sableuse, la différence provient du fait que la zone montagneuse est destinée surtout à l'élevage. Les animaux, par leur piétinement casse la croûte battante et facilite par conséquent l'infiltration de l'eau. Par ailleurs, nous tenons à signaler que l'expérimentation à l'amont était effectuée par un mini simulateur de pluie fig. 3.1 (ce qui affecte l'horizon de surface réel, homogène du point de vue hydraulique) tandis qu'à l'aval les mesures ont été effectuées avec un infiltromètre à double anneau fig. 3.2 (mesure de la conductivité hydraulique à saturation d'une épaisseur bien supérieure de l'horizon de surface).

Ces résultats montrent que la dégradation par la pluie, plus ou moins rapide, de la structure fragmentaire superficielle aboutit surtout à la formation de croûtes superficielles, dont nous constatons que la présence diminue fortement l'infiltrabilité du sol. L'eau ne peut s'infiltrer suffisamment vite dans le sol et stagne à la surface. Si le terrain est en pente, l'eau ruisselle le long de cette pente, elle sera perdue par ruissellement, mais pire, elle peut détacher et accumuler les particules de la surface du sol et provoque l'érosion. Les particules très fines détachées de la surface par l'impact des gouttes peuvent obstruer les pores de la couche supérieure du sol et réduire considérablement le taux d'infiltration (battance). Cette obstruction augmente les risques d'érosion et de ruissellement en surface. Les sols limoneux sont particulièrement touchés par ce phénomène. La taille et l'impact des gouttes sont des facteurs importants dans le processus de destruction et d'arrachement. Dans nos essais, bien que la taille des gouttes produites est excessive et bien qu'elles ne tombent que d'une hauteur très peu significative, la vitesse terminale des gouttes réelles ne se réalise qu'à partir de 6 à 7 m de hauteur, elles causent un fort impact sur la surface (ce qui semble contradictoire, on obtient un encroûtement accéléré et exagéré qui peuvent être des artéfacts de la méthode).

### 3.4. - CLASSIFICATION

#### 3.4.1. - Introduction

Bien que la classification FAO et le *Soil Taxonomy* sont utilisés par la plus part des pédologues, la classification française est le seul système officiellement utilisé pour les études du sol en Tunisie. Les critères de reconnaissance et de classement de chaque type de sol sont donc tirés d'après le système de classification des sols français "CPCS (classification française du Centre de Pédologie et de Cartographie des sols), 1967" qui envisage le sol dans la totalité de son profil depuis la roche inaltérée qui lui a donnée naissance jusqu'à sa surface. Dans la mesure du possible, nous citons entre parenthèses, la correspondance F.A.O. des unités taxonomiques françaises évoquées. L'accent est mis, surtout, sur les sols de nos régions arides (annexe 8.6).

#### 3.4.2. - Répartition des sols

D'après les prospections et les analyses du sol, effectuées dans tout le bassin versant de l'oued Ségui nous remarquons que les sols les plus dominants sont :

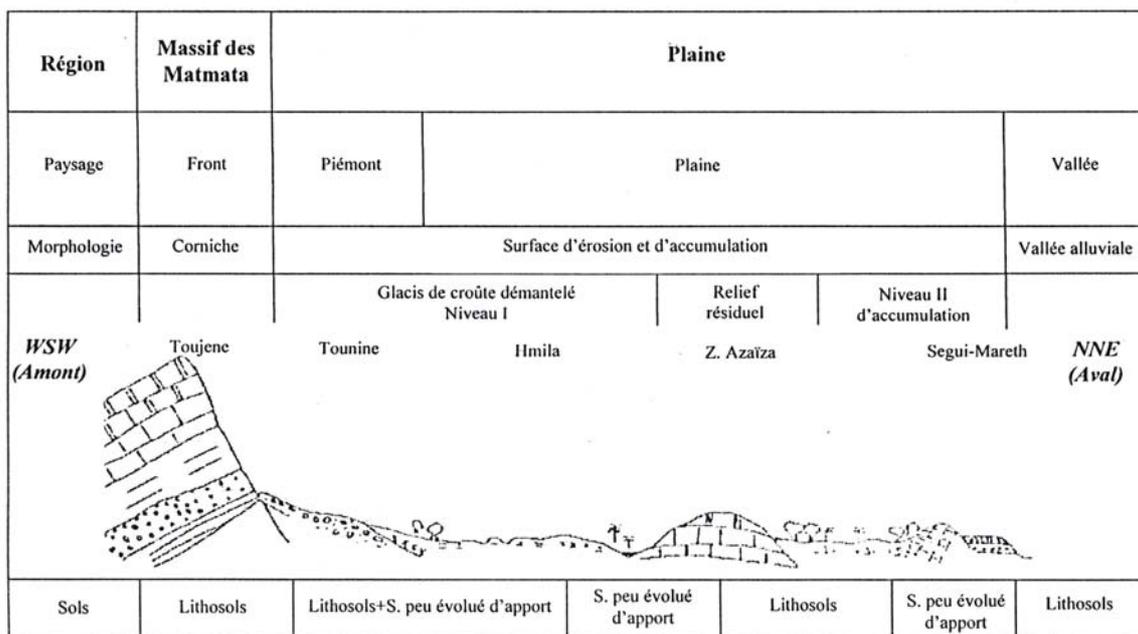
- Les sols peu évolués d'apport surtout hydrique dans la plaine faisant le prolongement de ces glacis, sont couverts par des sols exploités en grande partie par l'arboriculture ;
- Les sols minéraux bruts qui couvrent la partie montagneuse et le glacis. Ces sols superficiels sont interrompus par des affleurements rocheux donnant aux Djebels l'apparence d'être complètement nus.

Au pied des Djebels, de vastes étendus ont évolué en glacis encroûtés, surtout calcaire. La croûte calcaire limite parfois la profondeur du sol et augmente son aridité.

- Sols des formations sableuses : ce sont des sols à caractères isohumiques, gris subdésertiques, peu évolués d'apport à croûte calcaire, généralement épais (40 à 150cm) peu développés, de texture sablo-limoneuse, poreux, avec couverture végétale faible, ils se glacent rapidement et présentent des taux de matière organique faible 0,2 à 0,5 %. Malgré leur faible fertilité, ils présentent de bonnes aptitudes pour l'arboriculture. Une grande partie des sols du bassin versant de l'oued Ségui appartient à cette catégorie ;
- Sols de formations limoneuses : on les trouve dans des positions géomorphologiques

- divers (glacis d'accumulation et plaine alluviale). Ce sont des sols profonds avec une texture plus ou moins équilibrée, moins sensibles à l'érosion que les sols sableux ;
- Sols des formations gypseuses : le gypse est abondant dans les matériaux géologiques, c'est pourquoi de vastes superficies de sol sont marquées par le gypse parfois sous forme de croûte à El Argoub et les alentours des sebkhas ;
  - Sols des affleurements calcaires : il s'agit de lithosols de montagnes calcaires et de leurs versants à formation calcaire grossière ;
  - Sols salés : ils sont assez associés aux dépressions fermées littorales, l'excès d'eau salée, origine de l'hydromorphie, résulte surtout de la remontée de nappe et au mauvais drainage dans les oasis. Les manifestations salines se présentent sous forme d'efflorescences de sels en surface ;
  - Sols des oasis et des périmètres irrigués : ils présentent des caractères anthropiques résultant de l'action humaine. Le sol est épais, homogène, plus ou moins riche en matière organique (<2 %).

Dans le but de renforcer l'étude, une coupe schématique des pédopaysages a été établie tenant compte de ces ressources en sols (fig. 3.6).



**Légende**

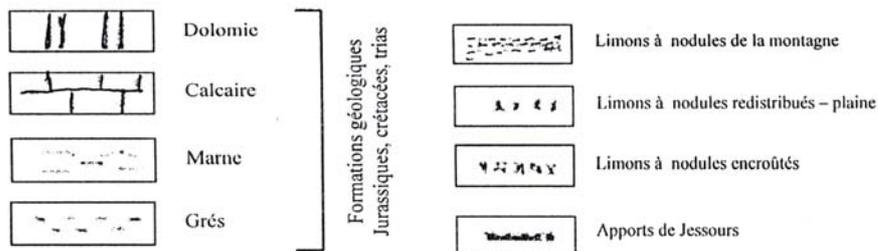


Figure 3.6 : Coupe schématique montrant la distribution des unités de sols dans le bassin versant de l'oued Ségui

Une carte pédologique est établie tenant compte de ces ressources en sols (fig. 3.7). La carte est extraite de la carte agricole du gouvernorat de Gabès, établie sur la base des paramètres choisis pour la caractérisation du milieu physique (données pédologiques, topographiques et du bioclimat). On a relevé sur terrain le profil, la structure, la texture et la profondeur des sols etc., sans toutefois baser un jugement uniquement sur ces données, mais en procédant aussi à des analyses chimiques.

Cette carte, extraite, est traitée avec *ArcView GIS 3.2a*, pour apporter des rectifications au niveau de la délimitation du bassin et des quelques unités en fonction des différents paramètres physico-chimiques et des observations des différents profils pédologiques.

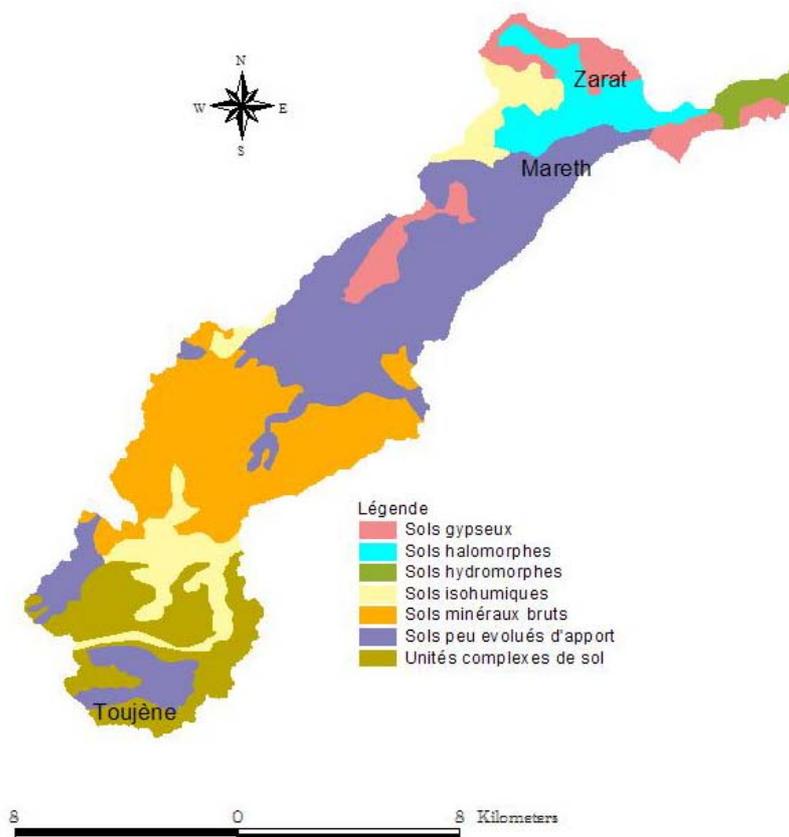


Figure 3.7 : Carte de sols du bassin versant d'Oued Ségui - Mareth

Les unités de sol se répartissent en fonction des roches mères dont les formations carbonatées sont dominantes et de la végétation naturelle steppique dans la majeure des cas.

- Les sols marginaux salés des bordures de sebkhas (lunettes et accumulations sableuses) restent moins salins à cause des apports sableux et sablo limoneux. La drainabilité et l'infiltrabilité des sols de Sebkhia sont lentes ;

- Les sols lœssiques (*Regosols*) de la partie amont du bassin et leurs bordures se développent sur une roche mère d'origine éolienne qui a subi pendant le Quaternaire moyen et récent un remaniement et une pédogenèse assez prononcée (accumulations calcaires sous forme de nodules et encroûtement). Ce sont des sols profonds occupant les versants et les dépressions (Toujane, Tounine) et même les glacis et les zones avoisinantes vers l'Est. Les caractéristiques morpho analytiques montrent l'importance des sables, des limons et une mauvaise stabilité structurale (importance des processus des ravines). Pour la caractérisation des lœss, une description d'un profil des lœss de Matmata à une profondeur supérieure à 8.5m

(Mtimit, 1992), plus au moins représentatif de la partie amont de la zone d'étude, est décrit en annexe 8.5.

- Les sols peu évolués d'apport fluvial ou éolien (*Fluvisols*, *Regosols*) forment les meilleures terres agricoles (sols d'oasis) et des nouveaux périmètres irrigués. En effet, le matériau est de texture sablo limoneuse à sableuse profond (> 1.50m) et la matière organique peut dépasser le taux de 0,5%. Des accumulations gypseuses peuvent apparaître à moyenne profondeur (40-60cm). Ils apparaissent sur des terrains tendres ou meubles, alluviaux parmi les plus fertiles de la région. Ils sont peu évolués ou constamment rajeunis par l'érosion, Ils sont presque tous riches en calcaires. Les sols halomorphes (*Solontchak*, *Solonetz*) se développent dans les dépressions, ils forment l'exutoire du bassin versant. La périphérie de ces unités est occupée par des accumulations éoliennes à végétation halophyte qui servent de parcours.

- Les sols sableux et dunaires qui surmontent les croûtes gypseuses ou calcaires avec une faible épaisseur forment des zones très sensibles à cause du surpâturage ou de la céréaliculture épisodique au cours des années pluvieuses.

- Les sols caillouteux, dénommés aussi sols minéraux bruts (*Leptosols*, *Xerosols*) couvrent la partie montagneuse et le glacis du bassin versant, sur roche mère calcaire, dont les éléments grossiers dépassent souvent 70% (colluvions ou alluvions grossières) sont interrompus par des affleurements rocheux donnant aux Djebels l'apparence d'être complètement nus. Ils apparaissent souvent sur des terrains accidentés.

- Au pied des Djebels, de vastes étendus ont évolué en glacis encroûtés, surtout calcaires. La croûte limite la profondeur du sol et augmente son aridité.

- La plaine côtière faisant le prolongement de ces glacis, est couverte par des sols sableux exploités en grande partie par l'arboriculture.

Types de sols	Superficie (km <sup>2</sup> )
Sols peu évolués d'apport ( <i>Fluvisols</i> )	57.23375168
Sols minéraux bruts ( <i>Regosols</i> , <i>Lithosols</i> )	43.48966957
Sols isohumiques ( <i>Xerosols</i> )	25.91127879
Sols gypseux ( <i>Gypsisols</i> )	19.08687808
Sols halomorphes ( <i>Solontchaks</i> , <i>Solonetz</i> )	15.61126447
Sols hydromorphes ( <i>Gleysols</i> )	4.858189766

Tableau 3.2 : Proportion des principaux sols du bassin de l'Oued Ségui (Classification française)

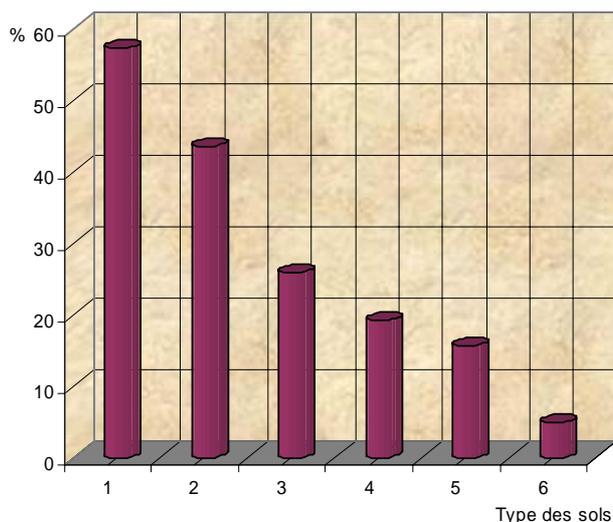


Figure 3.8 : Classes et répartition des sols du bassin versant d'Oued Ségui

(1) : Sols peu évolués d'apport, (2) : Sols minéraux bruts, (3) : Sols isohumiques,  
 (4) : Sols gypseux, (5) : Sols halomorphes, (6) : Sols hydromorphes

Il est largement admis que l'interaction des facteurs du milieu (morphologie, lithologie, pente, végétation, climat et l'homme) influent sur la tendance évolutive du sol.

En conclusion de cette première partie :

- Les sols calcaires occupant les versants très sensibles à l'érosion hydrique ;
- Des sols peu épais sur roche calcaire occupant les sommets des collines et sur glacis encroûtés ; ils sont confrontés à de graves problèmes d'érosion hydrique dus au labour dans le sens de la pente et au surpâturage des parcours ;
- Les sols des plaines sous irrigation risquent la dégradation chimique, la salinisation, suite à l'irrigation à partir des eaux saumâtres sans drainage suffisant pour lessiver les sels, le manque d'apport organique accentue l'appauvrissement des sols en humus et entraîne leur dégradation aussi bien physique que chimique.
- Les sols les plus fertiles (cas des oasis de Mareth et Zarat), souvent situés en aval dans la plaine sont, quant à eux, menacés par une urbanisation et une salinisation de grande ampleur induites à la fois par la croissance démographique, l'exode rural et l'évolution des modes de vie et des systèmes de production. L'artificialisation des sols fertiles, représente une dégradation quasiment irréversible, significative par son ampleur, et impliquerait de graves conséquences pour le long terme si les tendances actuelles devaient se confirmer.

En général, les sols sont peu épais, parfois inexistant. Ils sont caractérisés par une évolution beaucoup plus régressive que l'inverse (la morphogenèse qui l'emporte sur la

pédogenèse). Les grandes unités de sols identifiées sont les sols minéraux bruts, les sols peu évolués et les sols isohumiques.

### 3.4.3. - Vocation des sols

Partant des principaux facteurs physico-chimiques du sol comme la texture, la profondeur et la matière organique en l'absence de contraintes telles que la pente, la salure, les éléments grossiers, le sol reste dépendant des données climatiques et principalement des précipitations. Son utilisation en sec est liée à la réserve hydrique. Au sud de la Tunisie et à partir de l'isohyète 200mm, la nature des sols est étroitement liée aux données géomorphologiques (collines, plateaux, dépressions et plaines littorales).

Les sols les mieux appropriés pour l'aridoculture sont de texture sableuse à sablo limoneuse (arbres fruitiers, oliviers et figuiers) bénéficient des aménagements hydrauliques (petite hydraulique, jessours) permettant à la fois de lutter contre l'érosion hydrique au cours des années humides et d'avoir un appoint d'eau dans le cas contraire. L'hydromorphie, la présence des croûtes gypseuses et calcaires constituent les facteurs limitant pour le développement des sols et de l'agriculture en général.

L'exploitation et l'utilisation des sols loessiques sont anciennes en système de Jessours (ouvrage de rétention de la terre et de l'eau) occupés par les arbres fruitiers (oliviers, figuiers et palmiers).

Les sols peu évolués d'apport sont des sols très importants pour l'agriculture, ils sont adaptés à une grande diversité de culture et sont très productifs, surtout lorsqu'ils sont irrigués ou la topographie est favorable, ils peuvent porter des cultures de céréales ou de l'arboriculture irriguée. Dans la région montagneuse et vallonnée, ces sols sont pâturés de manière extensive. Les sols minéraux brut, sur des pentes faibles, le développement d'une agriculture intensive est possible (olives, figues) tandis que sur les fortes pentes, le pâturage extensif contrôlé est l'utilisation la plus recommandée (les animaux quand ils passent, ils détruisent la pellicule de battance ce qui permet une bonne infiltration et évite le ruissellement et par conséquent l'érosion des sols).

Adaptées aux contraintes physiques et climatiques, l'utilisation des sols varie d'une année à l'autre en fonction des précipitations enregistrées et surtout de leur répartition saisonnière. L'exploitation des terres repose principalement sur une longue expérience des agriculteurs adaptée aux conditions physiques de la région. Le système de l'utilisation des sols n'éprouve

aucune concurrence entre la céréaliculture et l'activité pastorale, mais on note plutôt une complémentarité pour subvenir aux besoins des agriculteurs et également ceux du cheptel.

En se basant sur les variations interannuelles des conditions climatiques, on peut distinguer deux types des campagnes agricoles, une première favorable, une seconde défavorable. Si les conditions climatiques sont favorables à savoir une pluviométrie précoce importante (automnale ou même du début de l'hiver), les agriculteurs labourent leurs terres en céréaliculture, alors que les animaux sont gardés sur les montagnes pendant l'hiver. Les pluies de février et du début du printemps (surtout le mois de mars) viennent garantir la récolte.

Les campagnes défavorables se marquent par des pluies très tardives, qui même très abondantes (fin de l'hiver), sont de faible efficacité et ne permettent pas le labour des terres et la semence des céréales. Dans ces conditions, le sol est utilisé pour le parcours.

### **3.5. - DEGRADATION DE SOLS ET TYPES DETECTES DANS LE BASSIN VERSANT**

Aujourd'hui encore, les systèmes de jessours, malgré une efficacité qui décroît en raison de leur détérioration, ont encore beaucoup de crédibilité auprès des agriculteurs. Ils sont encore très actifs dans les collines et la partie amont du bassin versant de l'oued Ségui.

Très difficile à maîtriser, en raison du caractère aléatoire des pluies, les eaux de ruissellement représentent la partie la plus importante des appoints permettant de combler partiellement le déficit hydrique de nombreuses zones. On les récupère par des aménagements de petite hydraulique qui consistent, soit à retenir les eaux de ruissellement sur les pentes (tabia, jessours, etc.) soit à épandre les crues des oueds dans les plaines par des prises directes sur les oueds (Ségui, Zigzaou,..).

Les phénomènes de dégradation, en particulier d'érosion, sont très anciens dans la région. De plus, la surexploitation des ressources naturelles (labour de zones marginales de pente très sensibles à l'érosion, surpâturage) ; l'intensification agricole moderne mal conduite dans certains secteurs surtout dans la zone appelée Ségui Mareth (juste à côté de la ville) aboutit à la salinisation du sol surtout par des irrigations mal contrôlées et la mauvaise qualité de l'eau.

Il existe une érosion naturelle due aux spécificités du relief et du régime des pluies, qui contribue à l'enrichissement des terres et écosystèmes situés en aval. Mais l'érosion connaît actuellement une grave amplification dans de nombreuses zones du bassin.

### **3.6. - CONSERVATION DE SOLS. EVALUATION D'UNE TECHNIQUE DE CONSERVATION DES EAUX ET DES SOLS : CAS DES JESSOURS DE BRAOUKA. (RELEVÉS DE TERRAIN, ANALYSE DES DONNÉES, RELATIONS AVEC LA TOPOGRAPHIE ET LES ATTRIBUTS TOPOGRAPHIQUES)**

#### **3.6.1. - Introduction**

Lorsqu'on aborde le thème de l'érosion des sols et la dégradation des terres, il est important de considérer quatre facteurs physiques de base qui conditionnent le régime érosif, à savoir : l'agressivité/érosivité du climat et des précipitations, la fragilité/érodibilité des sols, la topographie, la nature et la densité du couvert végétal.

L'écosystème de la zone d'étude a comme principale caractéristique l'alternance d'étés chauds et secs avec des périodes hivernales plus humides et un déficit pluviométrique très marqué (fig. 2.5) par rapport à l'évapotranspiration, durant les 3 à 6 mois de la période estivale ; cette particularité est considérée comme un paramètre déterminant dans le processus général de dégradation des ressources naturelles, et dans certains mécanismes physiques spécifiques de désertification.

Une grande partie des précipitations se produit sous forme d'averses violentes et intenses augmentant considérablement l'érosivité des pluies. Par ailleurs, ces averses violentes très souvent coïncident ou se produisent juste après les périodes sèches estivales, causant de sévères dommages par l'érosion des sols laissés à nu par un couvert végétal réduit par la sécheresse et/ou les récoltes.

Actuellement l'érosion hydrique est la forme de dégradation physique des sols la plus sérieuse affectant la zone. A la suite de la disparition du couvert végétal, suite à une pression anthropique sur les ressources, une très grande partie des sols de la région ont été détruits. Plus particulièrement dans la chaîne de Matmata, deux paramètres apparemment antagonistes de l'érosion sont pris en considération, à savoir la pression humaine sur la terre et la dépopulation rurale qui est responsable du manque d'entretien de la grande majorité des ouvrages de conservation des sols et qui cause la reprise de l'érosion.

En outre, nous tenons à signaler que les facteurs liés aux précipitations ainsi qu'aux conditions climatiques sont des facteurs externes au milieu tandis que la morphologie, les propriétés physiques du versant sont des facteurs internes. Les conséquences de l'érosion hydrique sont multiples telles que la diminution de l'épaisseur utile du sol, le déplacement des fines particules du sol et la disparition de substances nutritives. Dans les cas les plus graves,

nous remarquons l'apparition sur les parcelles érodées de rigoles et de ravines. Par ailleurs, il arrive souvent que les matériaux entraînés par l'érosion hydrique portent atteinte à des surfaces situées plus bas, recouvrant par exemple des cultures par une couche de sédiments.

Dans la partie plaine (Séguï Mareth), la surexploitation des ressources en eau est importante, l'exploitation de puits à des fins agricoles est souvent supérieure à la capacité de recharge de la nappe aquifère (la surexploitation est reconnue comme une des causes de la désertification ; Puigdefabregas, 1995). D'autre part, la salinisation constitue un risque considérable dans la zone appelée Séguï Mareth où on pratique une agriculture irriguée moderne. Dans les oasis, nous notons une salinisation modérée des sols, elle est principalement due à la remontée par capillarité de la nappe d'eau salée, ainsi qu'à l'utilisation d'eau saumâtre pour l'irrigation.

### **3.6.2. - Objectifs**

Le but de cette étude est de trouver les meilleurs moyens de lutter contre toute forme d'érosion afin de la ralentir et de rendre son action moins fréquente et moins active, les objectifs visés sont :

- la protection des terres agricoles contre l'érosion ;
- la recharge de la nappe phréatique ;
- l'utilisation directe des eaux de ruissellement ;
- la protection des zones urbaines contre les inondations.

Dans cette perspective, nous proposons de rechercher, sur le micro-bassin versant étudié, des unités fonctionnelles pour lesquelles serait défini un comportement moyen type grâce aux mesures réalisées. Ce comportement pourrait être extrapolable sur l'ensemble de la petite région représentée par le bassin versant élémentaire grâce à l'identification, sur chaque nouveau site, des unités fonctionnelles.

### **3.6.3. - Erosion dans le micro bassin versant de Braouka**

Malgré la progression rapide de la modernisation et des changements économiques, il subsiste encore, dans toute la chaîne de Matmata dont fait partie le bassin versant de l'oued Séguï, quelques systèmes de gestion et de savoir agricoles et pastoraux traditionnels bien

adaptés à leur environnement. Ils s'appuient sur l'utilisation des ressources locales, et ils sont appliqués à petite échelle, pour préserver les ressources naturelles.

### ***3.6.3.1. - Présentation du micro bassin versant de Braouka***

Le site, retenu à la suite de considérations pratiques variées, est situé dans la partie amont du bassin versant de l'oued Ségui dans la chaîne de Matmata. Ce micro bassin versant couvre une superficie de 355 ha. Il contient une agglomération d'une cinquantaine de familles. Malgré sa taille réduite, il fait l'objet d'un micro relief diversifié et il est le siège d'une importante activité agricole en sec. La répartition spatiale des exploitations sur le micro bassin versant de Braouka est obtenue par la détermination des jessours à l'aide de la photographie aérienne et des prospections de terrain, les superficies sont calculées par planimétrie.

Une analyse préliminaire montre qu'un grand nombre de jessours occupent la majorité du sol cultivable, la majorité de l'espace arable est mise en culture surtout en sec, comme d'ailleurs dans toute la chaîne de Matmata, ce pourcentage élevé d'utilisation du sol est aussi accompagné d'un morcellement très poussé de la terre.

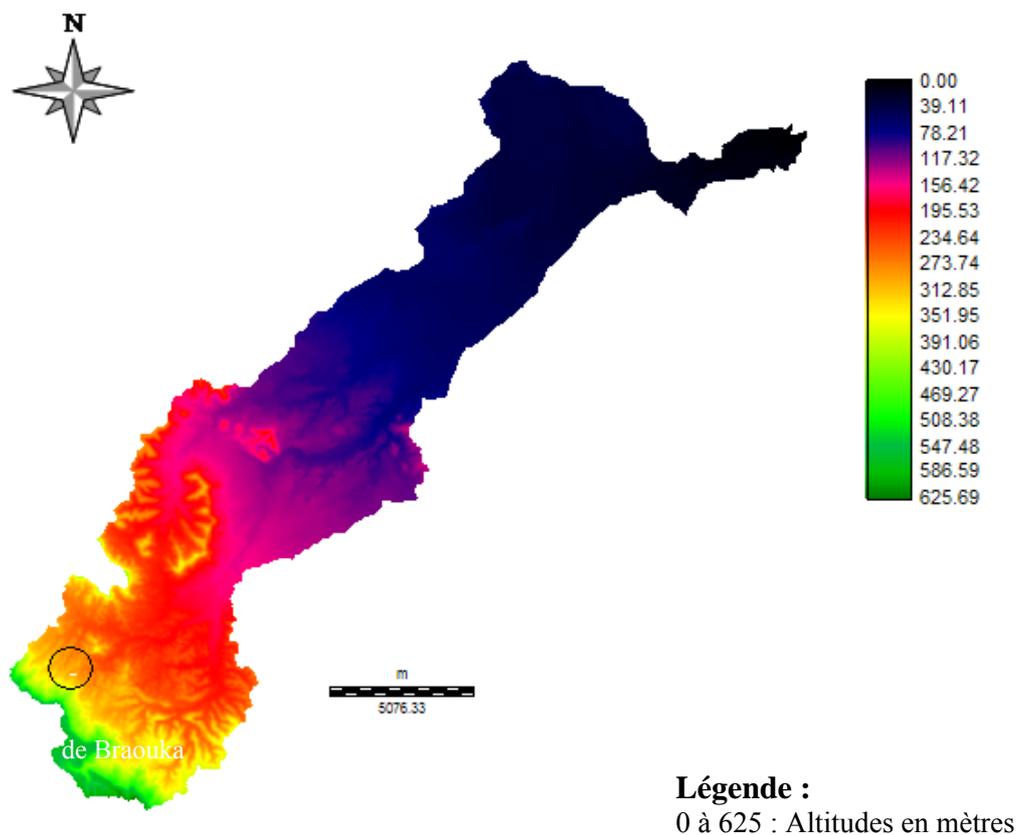


Figure 3.9: Situation du micro-bassin versant de Braouka (DEM Ségui) dans le bassin de Ségui (carte établie à partir d'un DEM ou MNT à 30 m de résolution)

### 3.6.3.2. - Etude du débordement et de l'érosion

Dans les régions montagneuses, et particulièrement les monts de Matmata, la dégradation des sols et de la végétation est aggravée par l'action des eaux pluviales. En effet, le caractère torrentiel des pluies, conjugué avec les caractéristiques morphologiques et pédologiques de ces reliefs, favorise le ruissellement. Ce dernier est intense, en particulier, lors des pluies exceptionnelles comme celles de 1969 et 1979. Il provoque une forte érosion hydrique des sols et une destruction des ouvrages de petites hydrauliques (jessours).

En parcourant ces zones montagneuses des régions arides, on est impressionné d'une part par la faible densité de la couverture végétale et la grande étendue des sols squelettiques ou à roche calcaire affleurant et d'autre part par le grand nombre de jessours cultivées et plantées en arbres fruitiers (oliviers, figuiers, palmiers, dattiers...). Plus de 400.000 hectares de ces territoires sont aménagés en jessours. Les diguettes (petits ouvrages de conservation

des eaux et des sols) sont disposées les unes derrière les autres le long des talwegs, délimitant ainsi des champs en escaliers.

Cette dégradation due aux eaux de ruissellement contribue à l'érosion, au transport et à l'accumulation des sédiments. Ainsi les effets dégradants des eaux de ruissellement (érosion des sols, destructions des jessours) contribuent à l'accentuation du phénomène de désertification dans les montagnes de Matmata. Ils constituent, par conséquent, un handicap pour le développement agricole de ces régions.

C'est dans un but de trouver une solution à cette érosion hydrique des sols et la destruction des jessours, que nous avons mené une étude sur ce phénomène et sur la destruction des jessours dans le micro bassin versant de Braouka, faisant partie du Bassin versant de Segui (Monts de Matmata, Sud Tunisien).

Les eaux de ruissellement sont exploitées pour l'irrigation des plantations à l'amont du *tabia*, telles que l'olivier, figuier, palmier et amandier. Les produits d'érosion, quant à eux, constituent des terres très fertiles, à texture plus ou moins équilibrée avec un apport de litière qui constitue, en partie, la matière organique.

#### **3.6.3.2.1. - Etude de la destruction des jessours**

Malgré le rôle qu'ils jouent, les jessours souffrent de plusieurs défauts qui sont à l'origine de leur destruction lors des fortes pluies. Ces insuffisances sont surtout :

- Déséquilibre entre la surface du "Jisr" et la surface de son Impluvium, le rapport de ces deux surfaces peut varier de 1 à 100 voire 1 à 200 (Chahbani, 1982).

- La faible infiltration dans le Jisr : l'eau retenue par le barrage n'arrive pas à bien s'infiltrer dans la terrasse. Cette faible infiltration est essentiellement due au dépôt des produits de l'érosion. Les strates supérieures de ses produits déposés sont essentiellement formées de limons très argileux et d'argiles. La dernière strate est composée d'argile gonflée qui bloque l'infiltration et peut atteindre parfois 10 à 15 cm d'épaisseur. L'eau retenue se perd, ainsi, par évaporation. Ces couches argileuses constituent un danger pour la vie des cultures et des arbres, car elles bloquent toute aération dans les horizons supérieurs du sol, rendant ainsi le milieu asphyxiant.



Figure 3.10 : Représentation schématique d'un bassin versant

**3.6.3.2.1.1. - Composantes des systèmes Jessours**

La technique des jessours est l'une des techniques de conservation des eaux et des sols les plus répandue dans le sud tunisien, cette technique consiste à l'édification d'une petite diguette appelé Tabia ayant pour but essentiel le piégeage des eaux de ruissellement et les produits d'érosion. Un jissr est une unité hydraulique élémentaire comportant le tabia, la terrasse et l'impluvium.



Photo : Mohamed MOUSSA

Figure 3.11 : Succession des jessours à travers les Talwegs

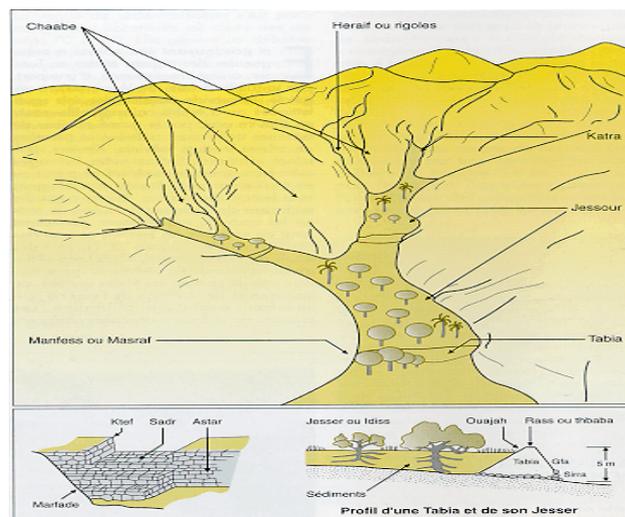


Figure 3.12 : Les différentes composantes des Jessours

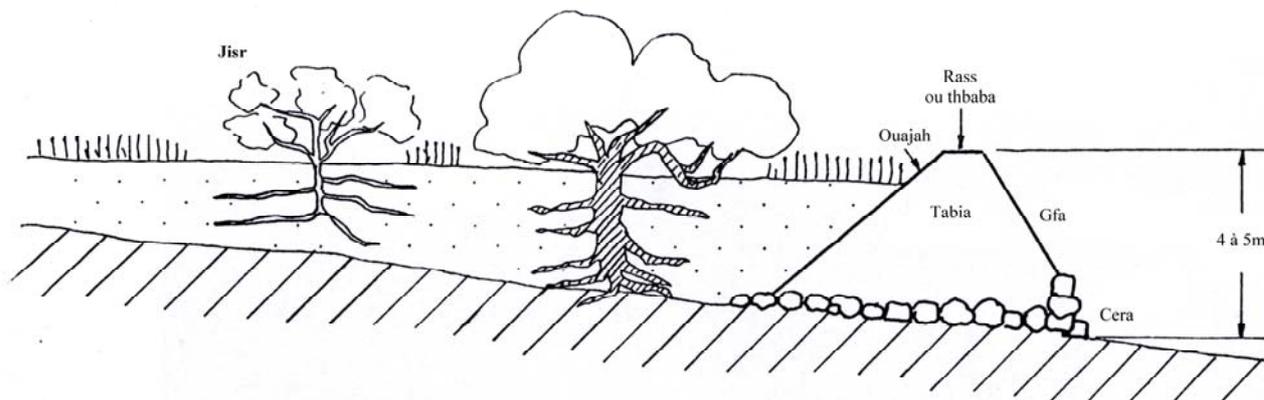


Figure. 3.12a : Profil d'une tabia avec son Jisr

**3.6.3.2.1.2. - Tabia ou barrage**

Le *tabia* est en terre tassée, les anciens jessours sont renforcés avec des pierres sèches appelés *cerra*. Pour les sites fortement érodés, les affleurements rocheux constituent la matière principale pour la construction de la *tabia*.

Le *tabia* est le plus souvent équipé d'un déversoir pour faire évacuer le surplus d'eau vers l'aval. En fait, il existe deux types des déversoirs : un latéral appelé *Menfes* se trouvant à l'une ou aux deux extrémités de la *Tabia*, la culée verticale qui s'appuie contre la *tabia* est, dans bien des cas, consolidée par un mur en maçonnerie, et un central appelé *Masref* qui est un seuil déversant limité par deux culées en pierre sèche ou en maçonnerie ; la forme en escalier de la partie aval du seuil ralentit l'énergie cinétique de l'eau déversée. D'après une enquête faite dans les Matmata en 1979 par J. BONVALLOT, 60% des barrages sont équipés de déversoirs type "Menfes" et 38% de déversoir type "Masref".

Cette dernière technique de construction a été renforcée à la suite des dégâts occasionnés aux anciens jessours par les inondations de septembre 1969, du printemps 1979 et de janvier 1990.



Figure 3.13 : Jisr avec déversoir type Menfes



Figure 3.14 : Jisr avec déversoir type Masref

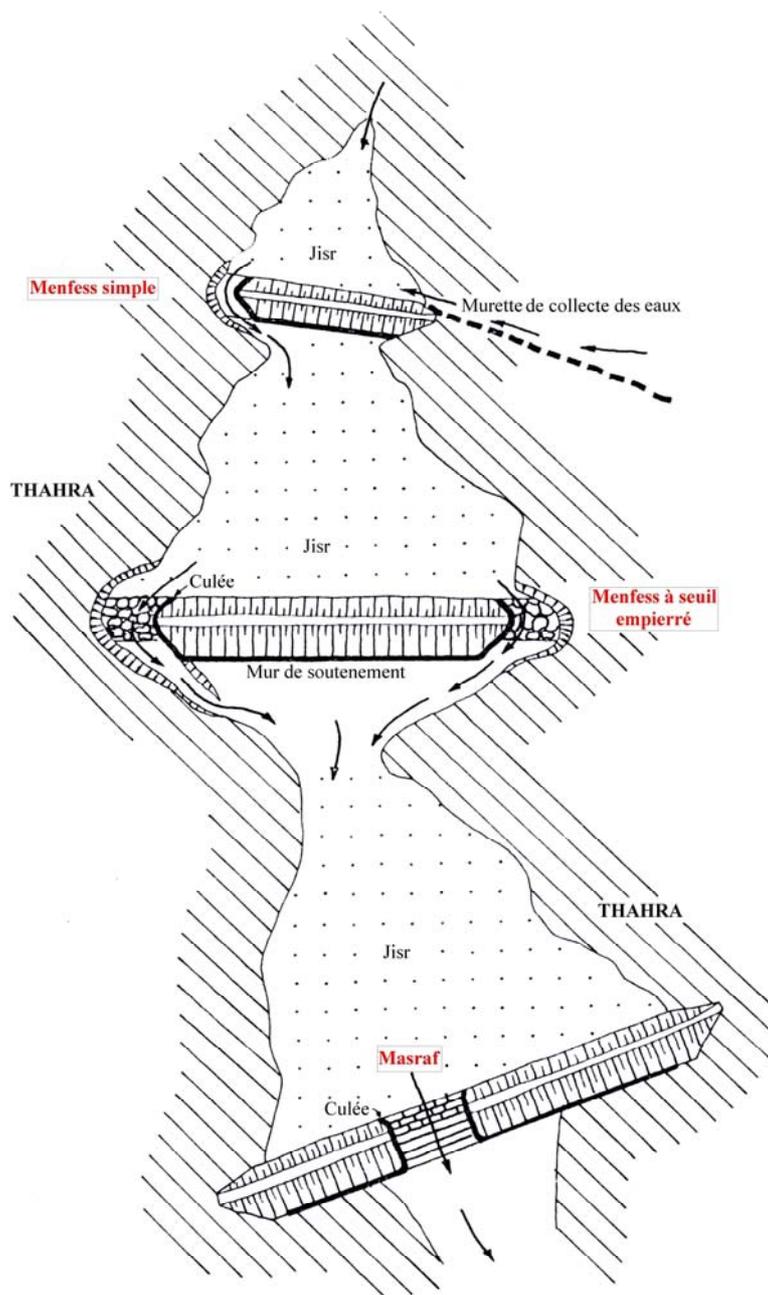


Figure. 3.14a : Schéma d'un jisir avec Menfes & Masref

#### 3.6.3.2.1.3. - La terrasse ou surface de rétention

La retenue du barrage constitue le champ du jisir puisque les arbres fruitiers et les cultures vivrières y sont cultivés, elle est plus étendue dans les jessours des talwegs que dans les jessours des pentes et des glacis. (Chahbani, 1990). En effet, l'objectif principal d'un jisir est de satisfaire les besoins en eau des cultures qui y sont implantées plutôt que de retenir toute l'eau de chaque crue. Il faut ajouter le volume de sédiments qui va s'accumuler derrière le barrage afin d'obtenir le volume total de la retenue.

#### 3.6.3.2.1.4. - Impluvium

L'impluvium d'un jissr est le bassin versant dont les écoulements superficiels déversent sur la terrasse. Les jessours étant construits en chaîne le long d'un talweg, chaque jissr aura comme impluvium la partie du bassin versant située en aval du jissr précédent et ayant comme exutoire le site de la digue du jissr en question. Néanmoins, l'impluvium du premier jissr est constitué par la partie amont du bassin versant dont la superficie, assez importante, donne souvent lieu à un volume de ruissellement provoquant des débordements vers les autres jessours situés en aval. Le coefficient de ruissellement de l'impluvium influence le dimensionnement du jissr en intervenant sur le volume de ruissellement moyen des crues. Pour un type d'averse, on peut admettre que ce coefficient est peu variable d'un site à un autre étant donné la similitude des caractéristiques hydrologiques des reliefs des zones arides tunisiennes (occupation du sol, densité de la végétation, types de sol et de la roche mère...). Cependant, les pluies qui provoquent un ruissellement sont peu fréquentes, de telle sorte que la pluviométrie journalière est très variable pour un même site. Bourges, a montré que, pour le sud tunisien des sols cultivés en terrasses à texture limoneuse à limono sableuse, le coefficient de ruissellement d'une averse journalière varie en fonction de la pluviométrie

Tableau 3.3 : Coefficient de ruissellement en fonction de la pluviométrie annuelle dans le sud tunisien (d'après Bourges, 1984)

Pluviométrie (mm)	Coefficient de ruissellement
P < 50	0 < C < 0,1
50 < P < 100	0,1 < C < 0,25
100 < P < 200	0,25 < C < 0,45

#### 3.6.3.2.2. - Le rôle hydro-morphologique des Jessours

##### 3.6.3.2.2.1 - Rétention des eaux de ruissellement

Comme tout ouvrage de conservation des eaux et des sols, la rétention totale ou partielle des eaux de ruissellement est le principal objectif de système Jessours. Notons que les Jessours sont implantés dans les micros bassins versants des affluents des grands oueds ce qui influe sur des nombreux paramètres hydrologiques tels que le coefficient de ruissellement.

En plus, la quantité d'eau interceptée par les Jessours constitue une bonne quantité d'eau mobilisable, ainsi, par exemple dans le bassin de l'oued Demmer (chaîne des Matmata) l'ensemble des Jessours retient  $93\,131\,778\text{ m}^3$  d'eau soit une lame de 1,6 mm sur l'ensemble du bassin (Chahbani, 2000). Cette eau peut être aussi exploitée comme eau potable puisque des nombreuses citernes traditionnelles dites *Megel* ou *Fesguia* dans le jargon local, sont implantées dans les impluviums des Jessours recevant de l'eau de ruissellement canalisée dans des rigoles appelées *Hammalas* ou dans des murettes en pierres.

#### 3.6.3.2.2.2. - La rétention des produits de l'érosion

Durant les crues exceptionnelles, l'eau chargée de suspension vient s'accumuler derrière le *tabia* en perdant tout mouvement de turbulence ce qui permet la décantation des particules.

Une aperçue sur la nature des sédiments montre la présence d'une couche plus au moins épaisse d'alluvions plus au moins stratifiés. A la base, ils viennent se reposer les éléments grossiers puis les plus fins.



Figure. 3.15 : Jisr entre Toujane & Tounine

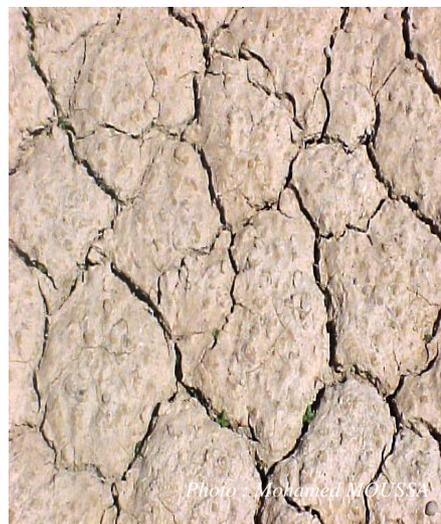


Figure. 3.16 : décantation des particules

### 3.6.3.2.2.3. - Les points faibles des systèmes Jessours

Malgré leur rôle important, les Jessours présentent des points techniquement faibles, risquant de diminuer leur efficacité en tant que des véritables systèmes de lutte antiérosifs. Cependant, la cause essentielle de ces dégâts ne résiderait pas dans la nature des matériaux avec lesquels la digue a été construite mais plutôt dans le dimensionnement inadéquat du déversoir, d'une part, et du volume de la retenue nécessitant un rehaussement souvent instable de la digue, d'autre part. Le risque de rupture des digues des jessours est réel puisque dans le bassin versant d'Oued Demmer à Béni Khédache 12 mm seulement de lame ruisselée (12 mm de lame ruisselée pendant une heure à l'échelle du bassin versant représente une pluie de 50 mm pendant une heure). Par ailleurs, les unités hydrauliques élémentaires UHE (Jessours) ont très souvent des impluviums dépassant rarement quelques hectares) peuvent causer le débordement entraînant la destruction plus ou moins complète de plus de 50% des jessours existantes (Chahbani, 1984).

### 3.6.3.2.3. - Méthodologie

Dans ce travail, au micro bassin versant de Braouka, on essaye d'étudier ce phénomène en partant de l'hypothèse que tout débordement constitue un risque de destruction lors des ruissellements torrentielles, les eaux sont très chargées en produits de l'érosion notamment les limons et les argiles ; à l'arrivée sur la terrasse, ils se déposent et bloquent l'infiltration.

Pour étudier le risque engendré par le débordement, nous avons choisi les paramètres suivants sur l'ensemble des unités de micro bassin versant de Braouka :

- Hauteur de rétention (m) : Il s'agit de la dénivellation entre le seuil déversant et la surface du "Jisr" (dite aussi hauteur utile du *Tabia*);
- Surface de rétention du "Jisr" (m<sup>2</sup>), c'est la superficie de la terrasse couverte par l'eau lorsque le "Jisr" est plein ;
- Surface de l'impluvium du "Jisr" (m<sup>2</sup>) c'est l'aire du bassin versant ayant pour exutoire la surface de rétention ; il est à noter que cette surface s'étalera suite à la présence des petites rigoles appelées *Hammala* ;
- Lame d'eau ruisselée (mm) : c'est la hauteur d'eau ruisselée sur l'ensemble de l'impluvium lors d'une averse ;
- Capacité de rétention du "Jisr" (m<sup>3</sup>) c'est la quantité d'eau maximale que peut retenir le "Jisr" (la capacité de rétention du "Jisr" dépend de la hauteur de rétention de la surface du "Jisr"). Ainsi, on multiplie la surface de la terrasse par la hauteur de rétention pour

avoir cette capacité. Ce calcul a été uniquement fait pour les jessours non détruits, les jessours détruits ayant une capacité de rétention nulle (effet de la décantation et la formation d'une couche d'argile en surface : loi de *stock*). Calcul de la quantité d'eau reçue par le "Jisr (sans tenir compte du déversement) à différentes hauteurs de la lame d'eau ruisselée, l'eau accumulée sur le "Jisr" provient du ruissellement sur son impluvium et du débordement des jessours situés à l'amont. C'est ainsi que dans un premier temps nous avons calculé le volume d'eau reçu par le "Jisr" en provenance du ruissellement sur son impluvium pour différentes hauteurs de lame d'eau ruisselée. Ces hauteurs sont mesurées à partir des précipitations et des crues. L'évaporation est considérée très faible ou nulle lors des ruissellements (en général, durant cette période le ciel est nuageux).

#### 3.6.3.2.3.1. - Collecte des données

Pour ce faire, on a parcouru tout le bassin de l'oued Ségui en passant à côté de chaque "Jisr" et "Tabia".

Pour la cartographie, nous avons utilisé des photos de vues aériennes, comme fond de carte. Ces photos aériennes ont permis de bien nous repérer sur le terrain et de bien identifier les "jessours". Cette identification a été faite en marquant le tracé du "Tabia" et en lui affectant un numéro. Pour réduire l'erreur, on utilise plusieurs photos successives ainsi toutes les parties du bassin versant soit au centre de l'une de ces photos. Lors des ruissellements exceptionnels le rôle des pentes et du couvert végétal (faible dans les régions arides) ont un effet très faible sur la réduction du ruissellement ceci a été confirmé par les résultats des stations expérimentales de l'étude de ruissellement par différents chercheurs (Bourges, Fersi et al., 1984) au citerne de Telmam, oued Zita et autres.

En passant à côté du "Jisr" et du barrage, on relève la hauteur de rétention, l'état fonctionnel de la "Tabia" (détruite ou non détruite) et enfin le "Jisr" dans lequel il se déverse. Ce dernier point est porté directement sur le fond de carte par des flèches.

On prélève pour chaque jisr et barrage les différents paramètres cités ci dessus (la hauteur de rétention, l'état fonctionnel du "Tabia" (détruit ou non détruit) et enfin les jessours y déversant) sauf la capacité de rétention et la surface des impluviums qui sont calculées au laboratoire. Puis, on reporte le tracé des barrages et le sens de déversement sur une photo aérienne au 1/10000, (origine 1/80000, agrandie).

Sur cette même photo, on délimite l'impluvium de chaque "Jisr". Pour cela, on utilise différents repères naturels et artificiels (ligne de partage des eaux, végétation, mur ou haie, piste ou route etc..). La délimitation des impluviums a servi par la suite à mesurer les surfaces des terrasses et des impluviums par planimétrie : carte des impluviums des Jessours (fig.3.20).

#### **3.6.3.2.3.2. - Contraintes**

Faute de l'existence des cartes d'état major récentes à grande échelle, les photos-aériennes sont la base de cette étude. Les photos existantes datent depuis 1985, à une échelle 1/80000. Mais cette dernière ne permet pas une distinction des unités hydrauliques élémentaires sur l'ensemble du bassin versant, alors on a eu recours à l'agrandissement des photos au 1/10000. Ainsi, on peut tirer les informations souhaitées sur les impluviums de chaque unité hydraulique élémentaire (UHE). Dans la région de Braouka, l'effet du relief influe trop sur la précision et la clarté de la photo.

En outre, pour des photos qui datent depuis 1985, de nombreux changements sur la disposition des unités au sein du micro bassin versant tels que la création de nouveaux ouvrages et le morcellement des autres ont été remarqué. Nous avons eu recours dans certains cas à l'actualisation des photos. Si cette dernière touche un ou deux ouvrages voisins, nous pouvons affirmer que l'erreur sera minimale, par contre si on est amené à actualiser une série des unités voisines l'erreur va être cumulée.

Il est vrai qu'un levé topographique de l'ensemble de l'unité hydraulique donne les meilleurs résultats pour les valeurs des différents paramètres. L'utilisation d'une méthode simple nécessitant qu'un double décimètre a beaucoup simplifié le travail. Néanmoins, cette méthode a l'inconvénient d'être moins précise vu la forme du terrain qui est généralement très accidenté.

#### **3.6.3.2.4. - Création d'un modèle de traitement**

Un algorithme de calcul a été créé afin de permettre l'étude des risques de débordement ; ce qui permet l'actualisation des données et la facilité de suivi de l'état des différents ouvrages de rétention des eaux de ruissellement. Les résultats des différents traitements sont utilisés pour l'établissement des cartes de sensibilité à la destruction.

Il est admis que les jessours sont des systèmes de valorisation des eaux de ruissellement, de traitement antiérosif de l'amont à l'aval des bassins versant qu'un aménagiste

ne peut pas négliger dans son étude. Mais il se trouve face à une base de données très volumineuse ce qui rend difficile la gestion de toute cette base d'information. On se propose, donc, d'élaborer un modèle informatique qui permet de gérer cette base de données. Ce modèle sera capable aussi de stocker les données saisies, dont on pourra faire une actualisation à tout moment.

Le logiciel a été établi en langage "Visual basic", il a pour utilité le stockage et la gestion des paramètres de l'ensemble des unités étudiées. Le saisi des données se fait d'une manière simple et efficace avec des interfaces permettant de modifier, de supprimer, et d'ajouter les données.

Il s'agit de trois principales boîtes de dialogue :

- Une pour le stockage des caractéristiques des bassins versants (nom, superficie, position et la date de l'évaluation) ;
- Une pour le stockage des paramètres de chaque unité ;
- Dans la troisième, on enregistre pour chaque unité réceptrice d'un déversement.

**(i). Algorithme de calcul**

Les jessours, dans leur emplacement, forment un réseau ramifié d'un nombre élevé d'unités. A ce réseau, on peut appliquer en tout point (unité) l'équation de la continuité du volume d'eau :

$$\text{Volume sortant} = \text{volume entrant} - \text{volume stocké}$$

Dans cette équation, on ne prend pas en compte le volume évaporé, supposé très faible, lors du ruissellement, le ciel est en général couvert de nuages. Ainsi, nous pouvons vérifier l'existence d'un éventuel débordement qui sera l'origine d'une probable destruction.

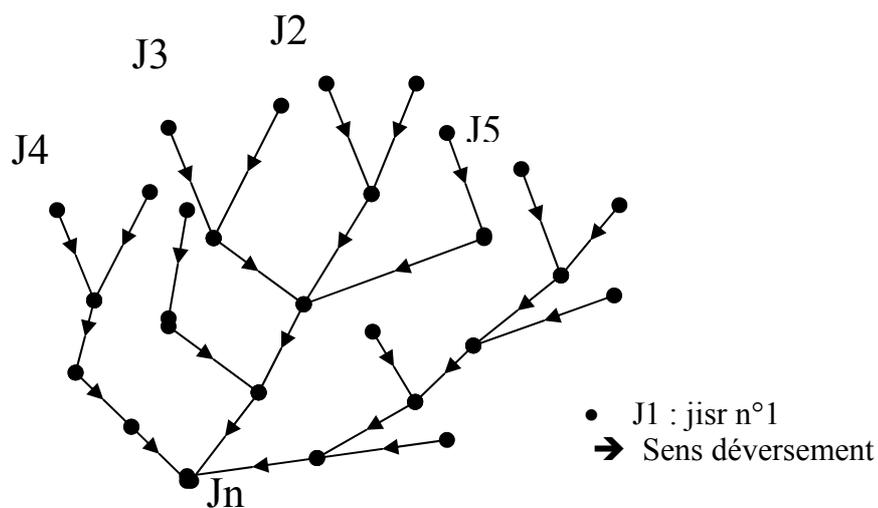


Figure 3.17 : Schéma de réseaux de jessours

La création d'une base de données a donc pour objectifs :

- L'acquisition simple et efficace des informations sur les ouvrages de petite hydraulique (caractéristiques, état actuel, plantation, etc.) ;
- Permettre l'actualisation instantanée ;
- La facilité de suivi et d'évaluation à tout moment de l'état d'aménagement des ouvrages du bassin versant.

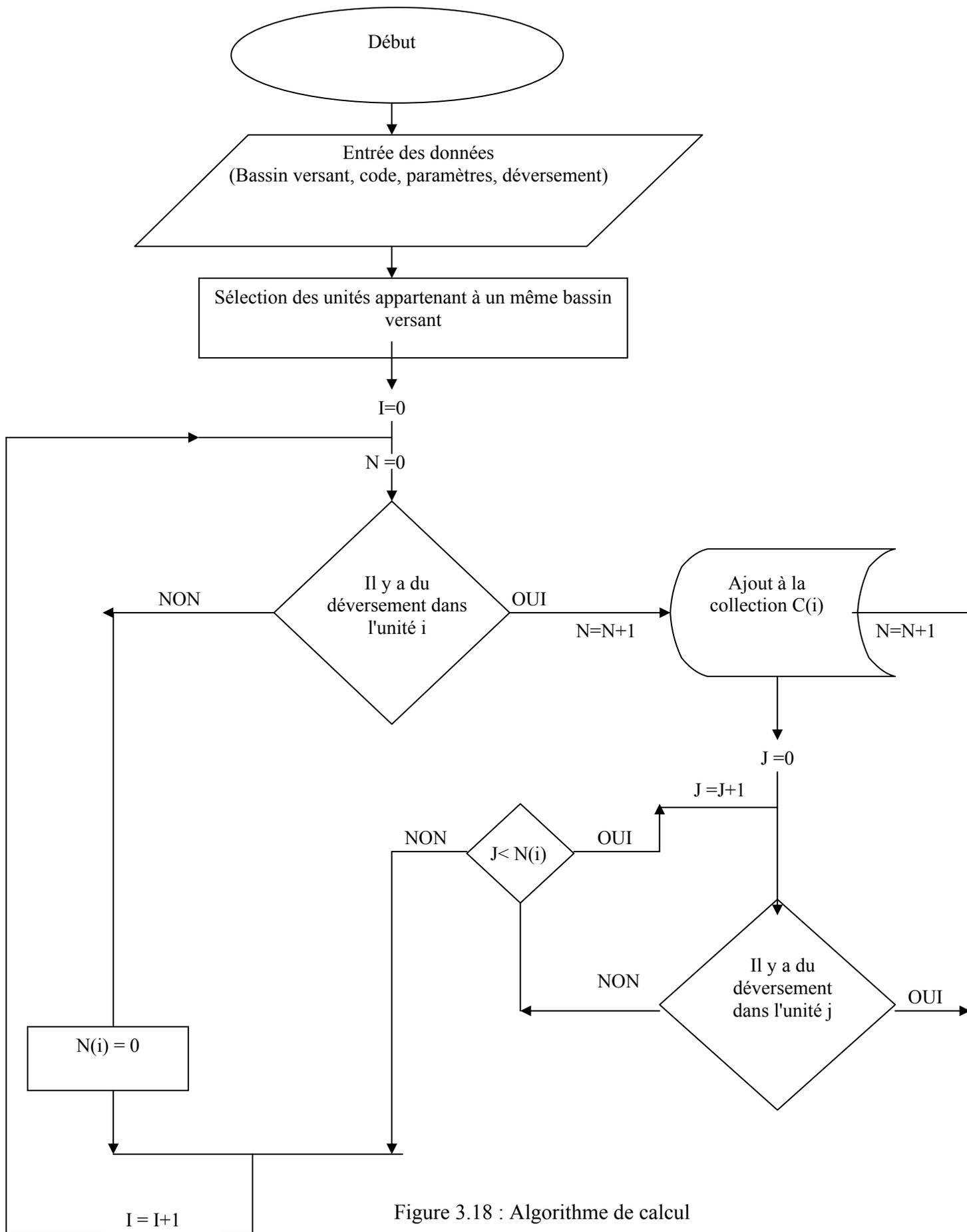


Figure 3.18 : Algorithme de calcul

On construit une relation de récurrence pour l'appliquer dans le programme

$Dev(n) = Dev(n-1) - Cr(n) + Simp(n) * h$ ; si  $Dev(n-1) > Cr(n) + Simp(n) * h$ .

$= 0$ ; si  $Dev(n-1) < Cr(n) + Simp(n) * h$

$Dev(0) = Simp(0) * h - Cr(0)$ ; si  $Simp(0) * h > Cr(0)$

$= 0$ ; si  $Simp(0) * h < Cr(0)$  (1)

Où :

$Dev(n)$ : déversement de l'unité du rang n

$Dev(n-1)$ : déversement d'une unité n-1, déversant dans l'unité de rang n

$Cr(n)$  = capacité de rétention de l'unité n

$S_{imp}(n)$  : surface d'impluvium de l'unité n

H : lame ruisselée

#### (ii). Définition et notion d'ordre de déversement

Une unité (jissr) est dite d'ordre n si le nombre des unités qui y déversent est égal à n ; si une unité est d'ordre n alors l'ordre de toute unité déversant dans l'unité en question est d'ordre inférieur à n. Cette notion est importante dans l'étude de débordement, en plus, elle facilite beaucoup le traitement informatique.

Les deux principales fonctionnalités du modèle élaboré sont l'accès et traitement des données :

- Accès aux données : nous introduisons les données relatives au bassin versant (nom, superficie, position et la date d'acquisition des données) puis la saisie des paramètres des jessours (code, hauteur de rétention, surface de rétention, surface d'impluvium, la capacité de rétention et fonctionnel ou non). La dernière étape de la saisie de données est l'introduction, pour une unité les codes des unités amont qui y déversent.

- Traitement : les données stockées font l'objet d'un premier traitement pour les classer selon l'ordre de déversement, Ce qui permet de connaître, pour chaque unité réceptrice d'un déversement, le nombre des unités qui y déversent (déversement direct ou indirect) Figure 3.19.

- En choisissant une lame d'eau avec cet algorithme, nous pouvons établir la liste des unités fonctionnelles débordantes pour cette valeur de la lame d'eau. À cette liste, nous devons ajouter la liste des unités non fonctionnelles (pour les unités non débordantes, nous avons le volume stocké correspondant).

#### 3.6.3.2.5. - Résultats et discussions

Les visites du terrain nous ont permis, outre le relevé des données nécessaire pour l'étude du débordement, un examen sommaire de l'état actuel des jessours et l'élaboration des cartes. La superficie du micro bassin de Braouka est de 355 ha, le nombre des jessours ou petites unités hydrauliques est de l'ordre de 591, soit une densité de 1.6 unités par hectare, avec des superficies faibles qui varient autour d'une moyenne de 100 m<sup>2</sup>, destinées aux cultures (surface de rétention). La plus petite superficie est de l'ordre de quelques m<sup>2</sup> (2 à 4m<sup>2</sup>) et la plus grande superficie est de l'ordre de 1400 m<sup>2</sup>. Les parcelles de 50 à 100 m<sup>2</sup> sont majoritaires dans ce petit bassin versant. Il est caractérisé par :

- un nombre des unités non fonctionnel élevé de 293 soit un taux de 49% ;
- une destruction des tabias qui est la principale cause du non fonctionnalité ;
- les jessours de l'amont sont les plus touchés par la destruction ;
- une forte pente avec des sols (rugueux) et des impluviums favorisent le ruissellement d'une partie considérable de la pluie (fort coefficient du ruissellement) ;
- les déversoirs type *Masref* sont implantés surtout dans les talwegs où on ne peut pas construire des *Menfes*.

Les cartes établies :

- Carte des impluviums des jessours (dont nous indiquons le code de référence pour chaque jissr) (figure 3.20) ;
- Carte des jessours non fonctionnels (Fig. 3.21); (sont considérés non fonctionnels, tous les jessours ne pouvant pas retenir aucune quantité d'eau les critères de non-fonctionnalité sont les brèches sur le Tabia causées par les fortes crues, la côte du déversoir est dominée par toute la terrasse que ce soit par la forte pente de celle ci ou l'accumulation des produits de l'érosion ( $hr=0$ ).

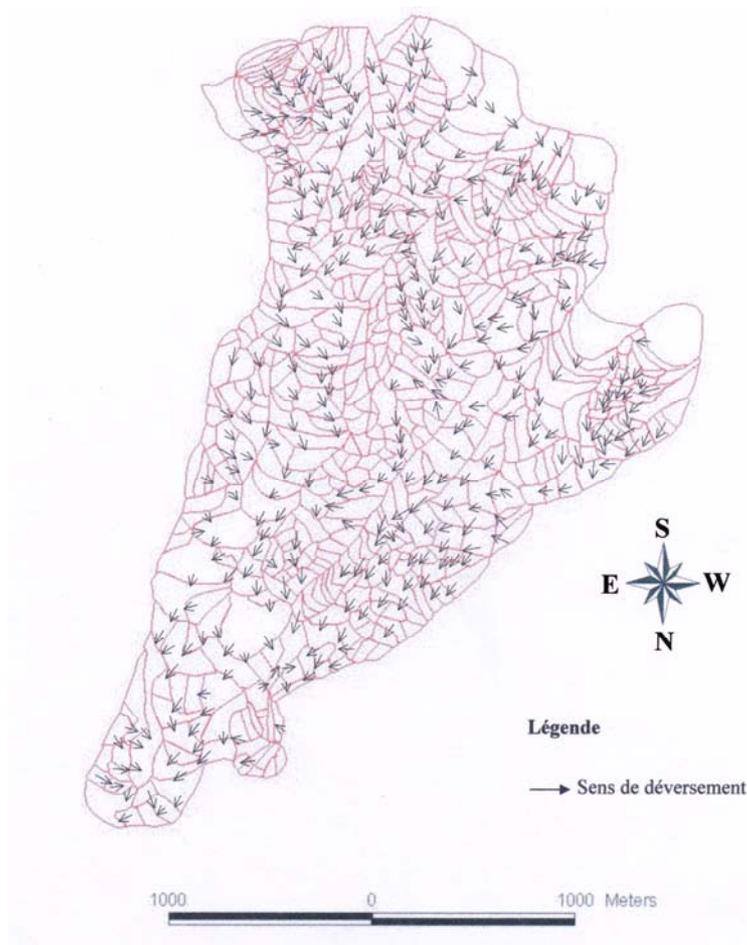


Figure 19 : Carte de sens et classe de déversement

**(i) - Classe du déversement**

Nous avons établi deux classes de déversement :

- une première classe où les unités ont pour ordre inférieur ou égale à 10 (l'ordre d'un jirs est le nombre des jessours qui déversent dans un jirs en aval, déterminé avec le modèle informatique) ;
- la deuxième classe regroupe toutes les unités ayant pour ordre supérieur à 10.

La notion de classe de déversement permet une description de la distribution et de la répartition des unités au sein du micro bassin versant. A Braouka, le nombre des unités de la première classe est de 442 unités, soit un taux de 74% des unités existantes.

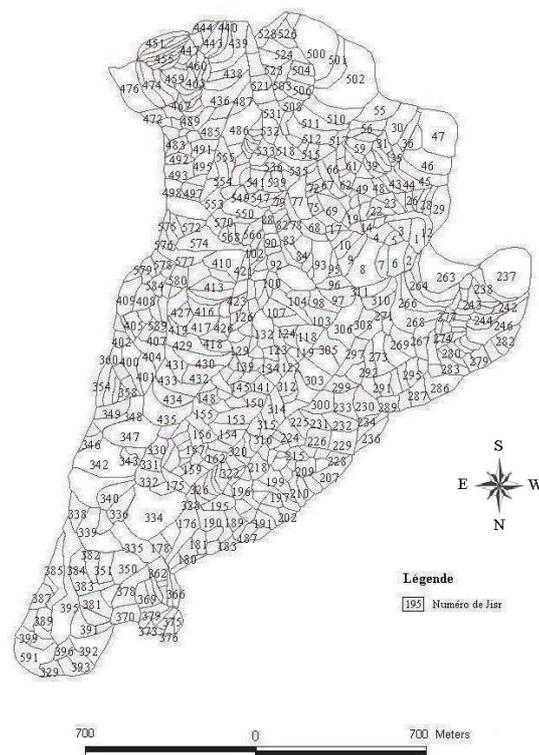


Figure 3.20 : carte des jessours avec leurs impluviums

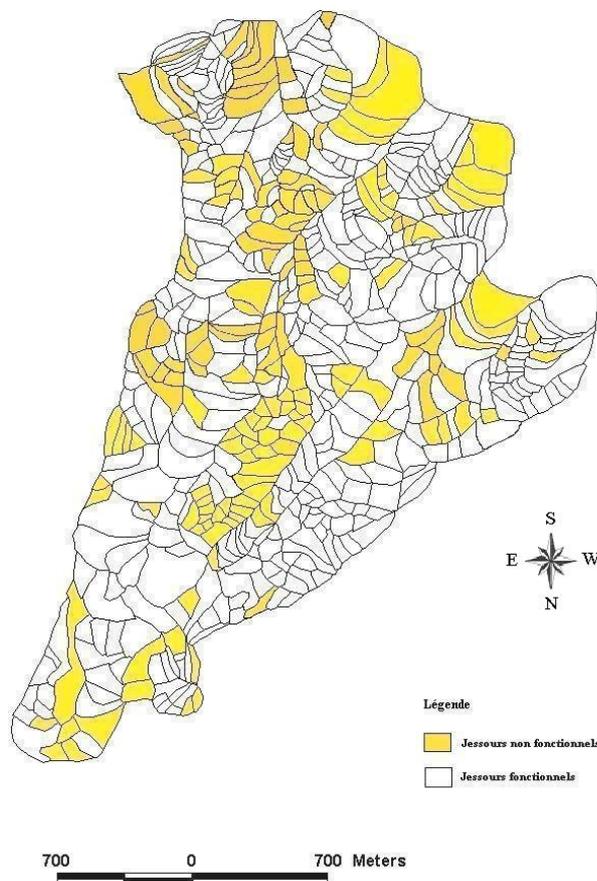
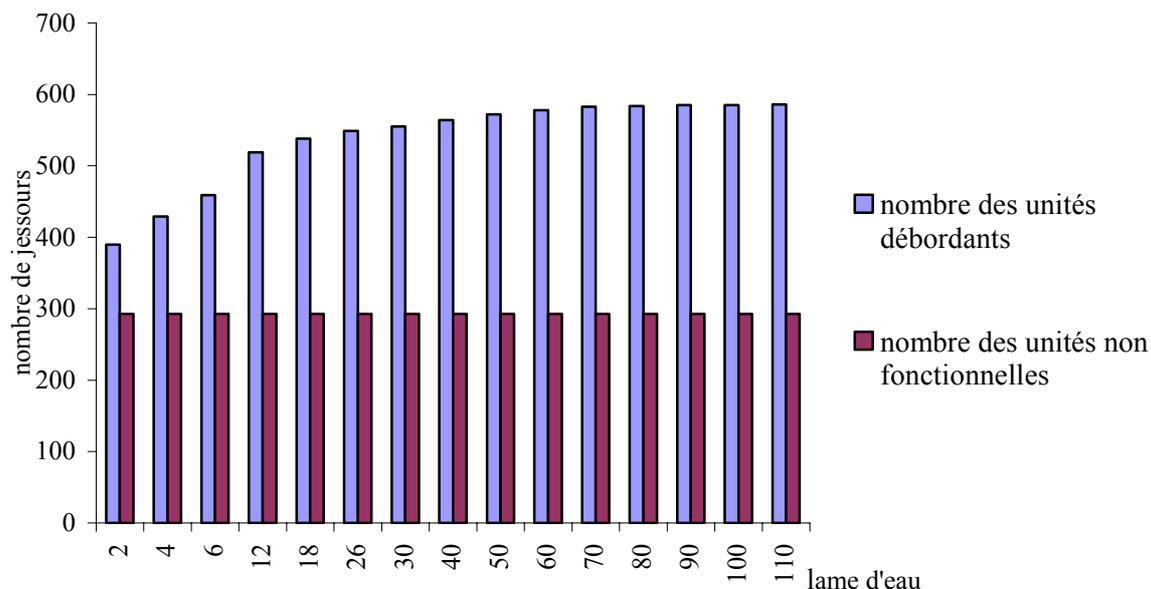


Figure 3.21 : carte des jessours non fonctionnels

**(ii) - Analyse de débordement**

Le modèle élaboré a permis la simulation des unités de différentes valeurs de lame d'eau ruisselée, ce qui a permis l'analyse de la réponse des jessours en fonction de cette dernière.

Figure 3.22: nombre de jessours débordants

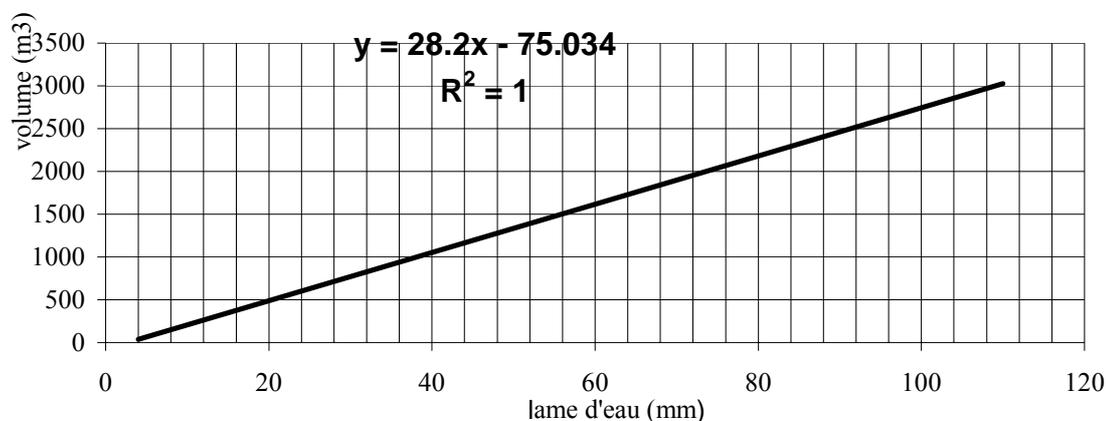


Dans la figure 3.22, nous enregistrons la variation du nombre des unités débordantes à différentes valeurs de lame ruisselée. Pour les premières valeurs, nous remarquons la présence d'un accroissement rapide. Pour des valeurs élevées de lame ruisselée, nous tendons à une faible variation. A une lame d'eau supérieure à 60 mm, la majorité des jessours déborde.

**(ii). a - débordement des jessours de première classe**

Dans le micro-bassin versant de Braouka les jessours, de premier ordre qui débordent, sont à 80 % pour les premières valeurs de la lame ruisselée. Pour les valeurs supérieures à 30 mm, la quasi-totalité des unités de premier ordre débordent, d'où résulte l'augmentation du nombre d'unités débordantes de seconde classe.

Figure 3.23 : débordement du jessr aval

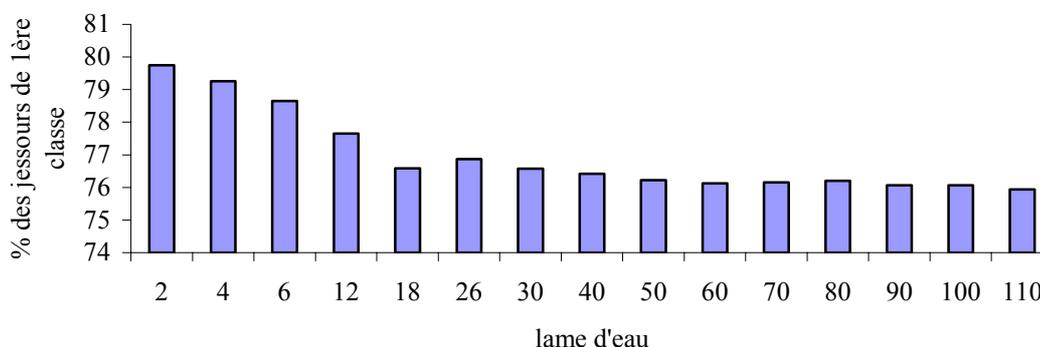
**(ii).b - Volume stocké dans le bassin versant**

La figure 3.23 donne la variation du volume stocké dans les surfaces de rétention des Jessours fonctionnels à différentes valeurs de lame d'eau ; l'allure de la courbe est croissante. Le débordement des premiers Jessours fonctionnels n'influe pas sur l'allure de la courbe étant donné qu'une partie importante du volume est retenue dans les jessours à grande surface de rétention.

**(ii).c - Débordement du bassin versant**

L'allure linéaire de la courbe (fig. 3.23) est expliquée par le fait que le jissr aval déborde uniquement de son impluvium. Il reçoit le volume égal  $V(L_r) = L_r \cdot g - C_r$ . Le bassin versant ne déborde pas si on diminue le ruissellement dans l'impluvium de jessours.

Figure 3.24: % de débordement des jessours de la 1ère classe

**(ii).d- Etude de la destruction par débordement des ouvrages de petite hydraulique**

Une lame d'eau de 8mm est suffisante pour qu'il y'ait destruction par débordement de plus que 50% des ouvrages dans le micro-bassin versant de-Braouka. Les résultats sont enregistrés dans la fig 3.24.

**(iii) .- Etude de la fréquence du débordement des jessours**

On se propose d'étudier la fréquence de débordement des ouvrages dans le micro bassin versant de Braouka, la lame d'eau causant le débordement de plus que la moitié des ouvrages dans le deux cas est presque la même (différence de 2mm).

D'après Chahbani (1984) une lame ruisselée de 6mm est atteinte en :

- 12 h pour une intensité moyenne de 10mm/h ;
- 4 h pour une intensité moyenne de 20mm/h ;
- 30 mn pour une intensité moyenne de 30mm/h ;
- 15 mn pour une intensité moyenne de 40mm/h ;
- 10 mn pour une intensité moyenne de 50mm/h ;
- 7 mn pour une intensité moyenne de 60mm/h ;
- moins de 6 mn pour une intensité moyenne de 70mm/h ;
- moins de 5 mn pour une intensité moyenne de 80mm/h.

On choisira pour le micro bassin versant de Braouka les temps suivants :

- 5 mn pour les unités de première classe de déversement et les unités débordantes seulement avec le volume reçu de son impluvium un temps jugé suffisant (Chahbani, 1984) pour que le volume ruisselant atteigne la surface de jisir ;

- 10 mn pour les autres unités, on tient compte de freinage causé par les unités de l'amont. D'après la courbe Intensité Durée Fréquence de la station de Matmata, l'intensité 80 mm/h, en 5 minutes, est dépassée pour une période de retour de 5 ans. L'intensité 50 mm/h, en 10 minutes, est atteinte, pour une période de retour de 2 ans.

#### 3.6.3.2.6. - Conclusion et recommandations

Le rôle hydro-morphologique des jessours est insuffisamment accompli, particulièrement lors des fortes pluies. Elles causent le débordement des jessours qui est à l'origine de leur destruction.

Ce débordement, nous l'avons étudié pour tous les jessours du micro-bassin versant de Braouka, à partir des données de terrain (hauteur de rétention, déversement, état fonctionnel etc.). Ces données peuvent changer d'une année à une autre, suite aux réparations des "tabias", à un rehaussement des seuils déversant, à la création de nouveaux jessours et à la destruction de certains barrages. Ainsi, les cartes que nous avons établies (cartes de sensibilité des jessours à la destruction) doivent être réactualisées. Mais même si ces données changent, le débordement persiste tant qu'on n'a pas pris les précautions pour revoir l'aménagement hydraulique dans tout le bassin versant.

- pour les jessours, dont on remarque, une disproportion entre la surface de rétention et la surface d'impluvium, on doit diminuer les dangers de ruissellement par un traitement à l'amont ;

- le traitement de l'amont s'impose vu le grand nombre des jessours de première classe qui, par leur destruction entraîne dans la majorité des cas, le débordement des jessours avals (ceux du deuxième classe);

- l'accumulation des produits de l'érosion est très remarquée dans cette région, ce qui nécessite des travaux de terrassement après chaque pluie pour éviter la formation de la couche argileuse. Le dépôt des produits de l'érosion forme un écran et rend difficile l'infiltration de l'eau dans le sol. En effet, les couches supérieures de ce dépôt sont essentiellement formées de limon très argileux et d'argile ; le caractère imperméable des argiles fait qu'une partie des eaux ruisselées non négligeable reste piégée à la surface du sol et se perd par évaporation ;

- le mauvais dimensionnement des Jessours (*Tabia* et déversoir) : on signale à cet effet que la hauteur de rétention (dite aussi hauteur utile de la *Tabia*) ne dépasse pas en général le 1/3 de la hauteur totale du *Tabia*. Le déversoir (*Menfes ou Masref*) se trouve les plus souvent

submergée par le débit de crues. La cause de cette mauvaise conception est le mauvais dimensionnement ;

- Parmi les considérations techniques qu'il faut envisager est celle de l'abandon impératif de la technique des déversoirs de type "*Masref*". En fait s'il est valable du point de vue hydraulique, ce type de déversoir présente des nombreuses surfaces de discontinuité avec le Tabia et est facilement détruit par les eaux de ruissellement. Il faut, de plus qu'il soit implanté sur une assise dure afin d'éviter les affouillements de la base, cas difficile à réaliser dans une région où les lœss constituent les sols les plus répandus. Un autre défaut du "*Masref*" est les investissements élevés de sa construction. Il convient donc d'opter pour la technique *Menfes* qui, bien qu'elle ne résout pas le problème de débordement en ce sens qu'il présente des discontinuités avec le Tabia, a des avantages par rapport au "*Masref*" puisque la surface de discontinuité est réduite (il n'est appuyé que sur un seul côté du Tabia) ;

- Pour diminuer les dangers de ruissellement, il faut encourager le traitement à l'amont par des petits ouvrages. En fait bien qu'ils soient, au début des tabias sans terrasse, ces ouvrages vont par la suite piéger un sol très fertile que les paysans auront la possibilité de l'exploiter. La prépondérance des unités bien dimensionnées a des conséquences positives sur l'ensemble de micro-bassin versant.

### 3.7. - DISCUSSION ET CONCLUSION

Les sols constituent l'une des ressources naturelles critiques dans le sud de la Tunisie, leur mise en valeur et le soin apporté à leur conservation ont beaucoup contribué à l'action humaine (aménagement de versants en terrasses par exemple) mais trop souvent, elle a entraîné une dégradation plus ou moins poussée (pertes de matière organique, déstructuration, érosion hydrique ou éolienne...) qui peut aboutir, parfois à la disparition des couches meubles du sol.

L'organisation interne de la couverture pédologique est nettement marquée par l'histoire de sa mise en place et de son évolution à travers le Quaternaire. Au contraire, les phénomènes actuels en affectent essentiellement la surface. En d'autres termes, l'organisation de la couverture pédologique dépend en premier lieu de la lithologie et de la nature des formations superficielles, elles-mêmes le plus souvent caractérisées par des formes de relief (glacis, terrasses, dépressions fermées, etc.). Une altération et une pédogénèse actuelles très limitées, la couverture pédologique se réduit à des affleurements de roches sédimentaires et de

formations quaternaires qui en sont dérivées. Ainsi, les matériaux calcaires et gypseux dominant, certaines zones du bassin versant portant les traces d'une pédogénèse ancienne. La couverture pédologique est actuellement affectée, surtout, par des phénomènes de surface : ablation, réorganisation et accumulation des matériaux pédologiques sous l'action du vent (abondance des sables éoliens : lœss) et des eaux pluviales l'organisation de la surface des sols est ici un témoin de ces phénomènes, car elle est peu modifiée par les activités humaines. En outre, les sols du bassin de l'oued Ségui sont en général fragiles, et ce pour plusieurs raisons : les précipitations irrégulières et souvent violentes favorisent l'érosion ; l'importance des pentes dans les nombreux secteurs de collines et de montagnes aggrave le phénomène ; les températures élevées accélèrent la minéralisation de la matière organique ; le couvert végétal est souvent réduit à cause de la dureté du climat et des actions anthropiques, et de ce fait, protège mal le sol.

Pour se situer du point de vue écologique et pour mettre en valeur le caractère fragile du patrimoine sol dans le bassin versant de l'O Ségui, il est nécessaire de rappeler que le couvert végétal est très réduit en dehors de courtes périodes humides, une agriculture marginale restreinte aux zones aménageables en jessours pour la collecte des eaux pluviées, la majorité de l'espace surtout en pente étant exploitée sous forme de pâturages extensifs. Dans la plaine et les oasis, une agriculture en irriguée est très développée (soit sous forme de cultures sous serre ou cultures oasiennes. L'extension des emblavures et de l'arboriculture sur des sols peu ou non fertiles et à contraintes (pente, texture peu riche en matière organique), associée à des pratiques culturales peu judicieuses, rendent ces terres très vulnérables devant les processus d'érosion surtout hydrique.

Les caractéristiques physico-chimiques, la texture et les propriétés chimiques sont fixes et ne peuvent être modifiées que par le travail du sol. Les horizons du sol peuvent éventuellement être modifiés par des opérations de labour. Toutefois, le travail du sol influence fortement la structure du sol. L'aridité marque les sols de cette région, la décomposition des roches, marquée surtout par la désagrégation due à l'amplitude thermique et par une faible altération due à la sécheresse, explique l'existence d'éléments grossiers et la rareté relative d'éléments fins.

Par ailleurs les irrigateurs, soit pour les oasis ou la plaine de Ségui Mareth, destinée aux cultures sous serre, doivent surveiller la hauteur de la nappe phréatique au moyen de puits d'observation (piézomètres). En prélevant des échantillons d'eau de ces puits, on peut surveiller la qualité de la nappe vers laquelle la fraction de l'eau d'irrigation qui a lessivé le sol

s'infiltrer. Ce système de contrôle permettra d'être averti à temps d'un risque éventuel de salinisation, et d'adapter les pratiques d'irrigation en conséquence.

L'étude de l'érosion hydrique et de la destruction des jessours dans le micro bassin versant de Braouka (oued Ségui), nous a permis de bien montrer l'importance du rôle du ruissellement dans le phénomène de dégradation des sols. En fait, malgré la faible précipitation dans la chaîne de Matmata les pluies, souvent torrentielles, provoquent un important ruissellement qui est à l'origine de l'érosion hydrique des sols et de la destruction des jessours. Ces phénomènes de dégradation causent une importante perte en eau et en sol, réduisant ainsi le maintien et le développement du couvert végétal dans ces montagnes.

En effet, l'érosion s'effectuait d'une façon lente et discrète et les résultats ne sont bien perceptibles que lors des pluies exceptionnelles. Les jessours, connus depuis l'antiquité romaine, comportent pas mal de défaillances qui sont à l'origine de leur destruction par débordement. En effet, malgré l'entretien permanent de ces ouvrages de petite hydraulique, le risque de destruction est toujours présent, particulièrement lors des fortes pluies, c'est à dire au moins une fois tous les cinq ans (Chahbani, 1984). D'ailleurs, cette destruction a toujours existé, mais les hommes étaient toujours là pour réparer les dégâts (brèche, ravins, etc...). Ils étaient obligés d'assurer l'entretien car les jessours constituaient un moyen de sauvegarde de leurs ressources et leur patrimoine agricole ; l'abandon aboutit à la destruction et la disposition de tous ces ouvrages de petite hydraulique.

En conclusion, ce chapitre nous a permis d'effectuer un passage important allant des aspects descriptifs de l'érosion par le biais de la compréhension des processus. Ainsi nous avons souligné les principaux facteurs tels que ceux liés aux conditions climatiques du milieu, à la pluviosité (répartition spatiale et temporelle, intensité et durée), à la morphologie du bassin versant (forme, dimension, altimétrie, orientation des versants) et aux propriétés physiques du bassin (nature des sols, couverture végétale) qui conditionnent le comportement érosif du micro bassin versant de Braouka et la diversité des processus intervenant dans le cycle de l'érosion et aussi leur complexité et leurs interrelations.

La dynamique de dégradation est définie comme un processus d'attaque du sol par différents facteurs dont la conjugaison et la permanence rendant cette région peu fertile en une terre stérile. L'agriculture joue un rôle fondamental dans la gestion des ressources naturelles, des espaces et des paysages (cultures en terrasses, systèmes traditionnels complexes de captage,

de transport et d'utilisation des eaux, milieux ouverts liés au pastoralisme, oliveraies, etc.). Or, l'abandon de certains territoires très anciennement aménagés (terrasses, systèmes de gestion des eaux) peut mener, à leur dégradation irréversible.

Enfin, dans le bassin versant de l'oued Ségui, l'érosion est influencée par une multitude de facteurs, mais le rôle joué par les jessours dans la lutte antiérosive n'est pas négligeable, si on se réfère aux quantités de sol et d'eau retenue derrière les barrages. Seulement, cette rétention est précaire et peut devenir nulle dès la destruction du seuil de rétention.



## **RELATIONS SOL - TOPOGRAPHIE**



## RELATIONS SOL - TOPOGRAPHIE

### 4.1. - INTRODUCTION

Le Bassin versant de l'oued Ségui est une zone qui connaît la construction de nombreux ouvrages (jessours, banquettes, barrages de tailles variées, etc..) dans une politique de conservation des sols et amélioration des ressources en eaux qui sont globalement faibles (450 m<sup>3</sup>/habitant/an, LEBRETON, 1999). On constate depuis quelques années une baisse généralisée du niveau des aquifères dans la région sud Gabès, baisse en grande partie due à leur surexploitation par l'agriculture.

Jusqu'en 1987, les eaux du bassin O. Ségui se répandaient dans la plaine de Djeffara, particulièrement lors des crues importantes, et rechargeaient les nappes qui faisaient fructifier une agriculture irriguée. Depuis le détournement de l'écoulement, et la mise en place d'une politique d'aménagement de petite hydraulique à l'amont, la ressource n'atteint plus la plaine, qui continue à se développer mais au prix de la surexploitation des nappes.

Dans ce contexte du bassin versant O Ségui à lithologie multiple, il est intéressant d'étudier les relations qui existent entre la topographie et les sols afin d'appréhender avec une probabilité élevée lesquels nous pouvons rencontrer dans des positions topographiques données, et ceci parce que les cartes topographiques, en tant que document de base de toute région est beaucoup plus facile d'obtenir que d'autres cartes et données thématiques qui nécessitent un temps considérable de prospection, de relevée, d'analyse, etc.... Dans les zones arides de la Tunisie y compris notre zone d'étude, il y a un manque considérable des données et de leur distribution.

Ainsi, nous avons mis en place une méthodologie basée sur les systèmes d'information géographique (SIG) et sur les modèles numériques d'élévation ou d'altitude (MNA). Ce sont des outils d'aide à la décision transposable sur des unités du paysage plus au moins similaires, pour étudier leur fonctionnement.

Un **système d'information géographique** (SIG) permet de gérer des données alphanumériques spatialement localisées, et des données graphiques permettant d'afficher ou d'imprimer plans et cartes.

Un **modèle numérique d'altitudes** (MNA) ou *digital elevation model* (DEM) est une structure numérique de données représentant la distribution spatiale de l'altitude de la surface du terrain (Felicísimo, 1994). En général, l'unité de base d'un MNA consiste en une valeur d'altitude  $Z$  accompagnée par les valeurs correspondantes de  $X$  et  $Y$ , exprimés dans un système de projection géographique pour avoir un référencement spatial précis. Il ne faut pas confondre avec un Modèle Numérique du Terrain (MNT) ou *Digital Terrain Model* (DTM), dont Doyle (1978) a défini comme « un ensemble de données numériques décrivant la distribution spatiale d'une caractéristique du terrain », ou que Felicísimo (1994) décrit comme « une structure de données numériques représentant la distribution spatiale d'une variable quantitative et continue ».

Un nombre de variables, tant physiques, hydrologiques et agronomiques, caractérisant le bassin versant de O. Ségui sont pris en compte. On disposait initialement de :

- Un fond topographique de 3 feuilles (Mareth, Toujane et Kettana) : cartes au 1/50000, celle de Toujane date de 1941 et remise à jour en 1957 et les 2 autres de 1974 et 1975 (Office de la Topographie et de la Cartographie, Tunisie). Elles comportent un quadrillage kilométrique en Lambert Nord Tunisie. Ces cartes ont été digitalisées.

Dans les zones arides de la Tunisie, y compris notre zone d'étude, il y a un manque considérable des données spatiales et leur distribution. Cependant, dans la plupart des régions les cartes topographiques aux 1:100.000 ou à une échelle plus petite existent. Elles fournissent ainsi, une base de données pour la construction de modèles numériques d'altitude (MNA) ou *digital elevation models* (DEM) (en anglais), et pour la dérivation d'attributs topographiques.

Pour le bassin versant de Ségui, il existe une carte topographique au 1:50.000 avec des intervalles de 10 mètres entre les courbes de niveau. La forme digitalisée pourrait produire un MNA avec une résolution spatiale dans la gamme de 20-60 m, selon le relief de la zone. Mais pour nous assurer de la compatibilité des données de terrain avec les images de *Landsat TM* qui seront traités dans le chapitre suivant, nous fixerons la résolution spatiale du DEM à 30m (fig.4.2).

C'est ce que nous nous proposons par le biais de l'élaboration d'un MNA ou DEM, qui donnera une estimation du relief réel, sous la forme d'une couche intégrable dans le SIG. On

pourra également en déduire des variables plus ou moins corrélées au relief (pente, expositions, réseau hydrographique, etc.).

Nous avons visé à réduire les observations de terrain au minimum par l'utilisation optimale des sources de données existantes (cartes topographiques et géologiques, photographies aériennes et images satellites). Ce type de données a été digitalisé et stocké dans un système d'information géographique (GIS) pour toute la zone d'étude. IDRISI (Eastman 1994) et PC-Raster sont les principaux logiciels utilisés. Le GIS généré sera employé comme base de données pour toutes nos observations et analyses.

## 4.2. - METHODOLOGIE

a.- Les courbes de niveau provenant de trois feuilles ou cartes topographiques au 1/50000, projection LNT (Lambert Nord Tunis), *Datum* Carthage (une éditée en 1941 et remises à jour en 1957, les 2 autres en 1974 et 1975 (Office de la Topographie et de la Cartographie, Tunisie) se digitalisent sur une tablette à digitalisation avec le logiciel AUTOCAD R14.0. Les cartes originales étant référencées en projection *Lambert Conformal Conic* qui utilisait le *Datum* CARTHAGE (un système ancien), ont du être projetées au système *UTM, WGS 84 Datum* (système plus récent qui permet le travail avec le logiciel de construction du MNA).

b.- La base de données résultante de chaque carte ou de chaque fragment de carte a été importée sur ANUDEM version 4.4. (Hutchinson, 1995), un logiciel de construction du MNA ou DEM qui utilise un algorithme pour l'interpolation de l'élévation (il commence par une interpolation à basse résolution qui augmente progressivement de résolution jusqu'à atteindre la résolution souhaitée par l'utilisateur).

Les valeurs de chaque cellule sont calculées au moyen d'itérations *Gauss-Siedel* avec une sur-relaxation. C'est un algorithme hydrologiquement logique (Hutchinson, 1988) parce qu'il contient des instructions qui éliminent les petites dépressions pour assurer la connectivité hydrologique. Il accepte de même un réseau de drainage digitalisé qui assure la connectivité hydrologique avec une courbe de niveau. Etant donnés les limitations dimensionnelles du logiciel ANUDEM, il a été appliqué dans deux fenêtres, dont aucune n'a dépassé 1000 x 1000 cellules. Pour diminuer les effets de bord, on a spécifié des marges de 10 cellules dans chaque

fenêtre. Les deux images résultantes ont pu être rassemblées sur IDRISI (Eastman, 1994) pour former le MNA ou DEM final.

#### c.- Erreurs du MNA ou DEM

Dans le but de connaître la fiabilité du modèle produit par ANUDEM, on procède à calculer les erreurs.

Plusieurs sources d'erreurs sont possibles :

- Il n'est pas facile de saisir assez de courbes de niveaux dans les zones de fortes pentes, mais il est fréquent qu'aucune autre courbe n'ait été saisie entre ces valeurs ;
- Problèmes de courbes de différents niveaux qui se touchent ou s'entrecroisent ;
- Problèmes de saisies : il se peut, par exemple, que la même courbe ait été digitalisée deux fois ou qu'elle présente des petites "excroissances" aberrantes.

Dans notre cas, les cartes topographiques originales ne fournissent pas une indication de l'erreur planimétrique. Pour cela, il n'a pas été possible de calculer l'erreur moyenne (RMS) des courbes de niveau. En ce qui concerne l'erreur verticale, il est possible de l'obtenir par deux estimations :

i). la première est produite par ANUDEM : il est de 2.09 m dans la fenêtre ouest et de 1.55 dans la fenêtre Est.

ii). la deuxième a besoin d'utiliser les coordonnées XYZ des points géodésiques et la valeur correspondante Z trouvée dans le MNA dans le même point, mais malheureusement ces données ne sont pas énumérées dans la carte et il n'y a pas eu possibilité de les obtenir.

En tout cas, comme les standards de l'USGS recommandent que l'erreur verticale ne doit pas dépasser la moitié de l'équidistance, dans notre cas l'erreur devrait être inférieure à 5 m. Etant donné que la valeur calculée est inférieure à cette dernière, on peut considérer que l'erreur du MNA est inférieure aux standards.

Une manière de vérifier le MNA est par comparaison visuelle des courbes de niveau originales avec celles produites par le modèle. L'erreur moyenne (RMS) est de 1.82 m (moyennes des erreurs des deux fenêtres analysées). Deux cellules adjacentes avec la même élévation ou altitude peuvent différer jusqu'à deux fois cette valeur (3.64 m) en leurs valeurs interpolées due au RMS, ce qui signifierait un angle de pente associé de  $6.9^\circ$  à une résolution de 30 m. Par conséquent, des tendances topographiques dans le MNA dues aux reliefs

inférieurs à 3.64 m doivent être prises seulement comme indicatives. Bien que ce raisonnement puisse être appliqué à tout le MNA, il est particulièrement approprié au terrain principalement plat du Nord-est du bassin versant de Ségui.

#### d. Importation sur IDRISI

Les deux fenêtres (2 bases de données) sont importées sur IDRISI pour avoir l'ensemble de la région d'étude sur un même logiciel. Ceci a permis de voir que le MNA considérait que le bassin du Ségui était tributaire du Zigzaou, ce qui s'est avéré faux par une visite de terrain et des enquêtes auprès des habitants (consistant à poser la question si le Ségui débordait dans le Zigzaou).

On a du revenir au logiciel ANUDEM et forcer la topographie à un réseau hydrographique dans lequel le Ségui débouchait directement dans la mer.

### 4.2.1. - Calcul des attributs topographiques

Les attributs topographiques peuvent se diviser en attributs primaires et secondaires (Moore et al., 1991). Les attributs primaires se calculent directement à partir des données d'altitude en incluant des variables comme l'orientation ou la pente. Les attributs topographiques secondaires impliquent la combinaison des attributs primaires et les indices qui décrivent et caractérisent la variabilité spatiale des processus spécifiques qui se passent dans le paysage comme la distribution de l'eau dans le sol et le potentiel pour l'érosion laminaire.

A l'aide d'une matrice d'altitudes, on extrait à partir du MNA, avec PCRaster (Vandeursem, 1997), les attributs topographiques et morphométriques suivants qui sont calculés par PC Raster et IDRISI :

#### a). Attributs topographiques primaires

- Altitude (ELEV) ;
- Inclinaison de la topographie ou pente (SLO) qui est certainement un des critères les plus importants et largement les plus répandus. La pente ( $\beta$ ) : détermine la pente pour une cellule basée sur la résolution actuelle et les valeurs des cellules juste voisines à la couverture, au fonds, à gauche et à droite de la cellule. La pente est calculée comme résultante du vecteur de la pente en X et de la pente en Y (Monmonier, 1982), cet attribut se réfère à la vitesse du flux ;

- Direction de la plus forte pente ou orientation (ASP) est le point de départ pour beaucoup de paramètres dérivés à l'aide du chemin d'écoulement (réseau de drainage, secteur contributive, etc.). Il est généralement employé dans le paysage de sol modelant, principalement pour des processus hydrologiques. Des rapports directs entre l'aspect et les variables de sol sont rarement analysés comme résultat d'autres facteurs d'énergie comme le rayonnement solaire ou le vent. Les aspects utilisent les désignations standard de l'azimut, 0 - 360, à droite du nord ;

- Aires de drainage (ARE) : est le numéro de cellules de versant amont qui drainent à travers de chaque localisation, c'est proportionnelle à l'écoulement superficiel ou sub superficiel peu profond en un point donné du paysage et intègre les effets de la zone de contribution en amont par convergence et divergence du bassin pour l'écoulement.

- Courbature en direction de la pente maximale (PROF). Les pentes concaves sont négatives et les pentes convexes sont positives, cette variable est très importante pour la caractérisation de changement de la vitesse d'écoulement et le processus de transport des sédiments. L'introduction de ces variables décrivant la concavité et la convexité, permettra très probablement de mieux préciser les limites entre les facettes morphologiques

- Courbature en direction transversale à la pente, changement de la pente avec la distance en direction horizontale (PLAN). C'est une mesure de la convergente/divergente topographique et pour l'extension de la concentration en eau dans le paysage. On adopte les valeurs positives pour les formes concaves et négatives pour les convexes.

b). Attributs topographiques secondaires (indice topographique, indice du potentiel de transport des sédiments, distance de la ligne de drainage,.....) :

- Indice topographique W décrit par Beven y Kirby (1979), utilisé pour décrire les effets de la topographie sur la localisation et la grandeur des surfaces, origine des écoulements générés de l'excès de capacité de stockage de l'eau dans le sol, écoulement par saturation (O'Loughlin, 1986). Moore et al. (1988) trouve une forte corrélation entre la distribution de cet indice et la distribution du contenu en eau de la surface du sol dans un micro bassin versant, sous de condition de flux stationnaire ;

Cet attribut topographique est défini par l'équation suivante :

$$W = \ln (A/\tan\beta) \text{ avec } A : \text{ aire de drainage et } \beta: \text{ pente}$$

- Distance au courant le plus proche : l'unité de mesure est le mètre ;
- Indice de transport potentiel des sédiments (LSF) : il représente l'effet de la topographie sur le processus de transport des sédiments, c'est une mesure de la capacité de transport des sédiments par le flux d'eau en un point donné du paysage (Moore et Burch, 1985). C'est une mesure explicite des effets de la convergence de l'écoulement qui forme des sillons (*rilling*). Le LSF peut être écrit comme suit :

$$LSF = (n+1) (A_s/22.13)^n (\sin\beta/0.0896)^m$$

$$n=0.4 ; m=1.3$$

A : distance de la ligne de drainage

Par l'utilisation de la taxonomie numérique, les couches d'attributs topographiques ont été rassemblées dans un certain nombre d'unités du terrain. Aussi, les cartes géologiques au 1:100.000 ont été digitalisées et le processus précédent est répété pour les principales unités lithologiques. L'expérience avec ces processus de classification (e.g. Del Barrio et al., 1996 ; Boer, 1999) indique que les unités du terrain résultantes peuvent être associées à des unités du paysage conventionnel comme des crêtes ou différents secteurs de pente qui, à son tour, constituent une base adéquate pour expliquer la distribution des sols.

Les attributs topographiques s'utiliseront donc pour produire les cartes suivantes :

- Carte des pentes sur le Bassin O Ségui : l'intérêt d'avoir une représentation de ces pentes, est évidente dans le cadre d'un travail sur l'érosion. D'autre part, de nombreuses informations peuvent être dégagées de cette carte et notamment des données statistiques sur ces pentes ;
- Carte des expositions ;
- Représentation de l'orientation des pentes ;
- Exploitation hydrologique : IDRISI permet, entre autres, de calculer l'orientation des pentes et de calculer une zone de drainage à partir d'un ou plusieurs exutoires. Pour déterminer si une cellule appartient à la zone de drainage, la direction du flux d'eau est estimée à partir des orientations afin de savoir si le flux se fait ou non en direction d'une cellule appartenant déjà à cette zone. Les zones parfaitement planes ont la caractéristique de permettre l'écoulement des flux d'eau dans toutes les directions.

#### 4.2.2. - Régionalisation

La régionalisation est utilisée pour identifier les unités physiographiques ou unités de paysage. Au mode d'essai, à échelle nationale, nous avons d'abord utilisé un procédé simple

sur une couverture de carte à une résolution de 1 km pour toute la Tunisie. A cette résolution, le DEM (fig.4.1) est dérivé d'une base de données globale, disponible sur le site *Web de l'US Geological Survey*. En utilisant le logiciel de *PCRaster*, les attributs suivants de terrain ont été calculés : *slope angle*, *drainage area*, *wetness index*, *length slope factor*, *plan curvature*, *profile courbature*. Les 6 attributs et l'altitude forment les sept variables pour une analyse utilisant des algorithmes fournis dans PATN (Belbin, 1991). La description, par étapes, du processus de régionalisation est donnée par Del Barrio et al (1996). La régionalisation, reproduit exactement les principales formes de relief qui caractérisent les différentes régions de la Tunisie (fig.4.1). Bien qu'il soit difficile de l'apprécier avec une teinte grise, ces algorithmes pouvaient identifier les différents systèmes de montagne et les talwegs, sebkhas et les autres secteurs salés et les accumulations sableuses. Ce résultat, nous a assuré que le procédé serait également réussi au niveau régional, comme celui établi et trouvé pour le même environnement dans SE de l'Espagne (Del Barrio et *al.*, 1996 ; Boer, 1999).

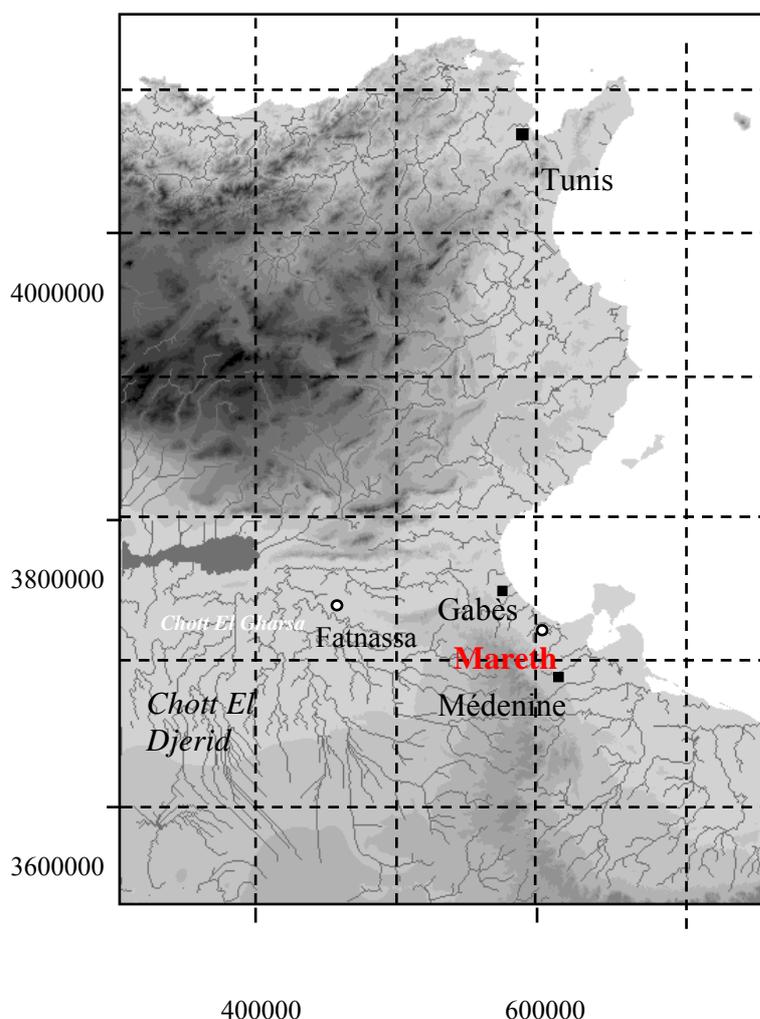


Figure 4.1 : Modèle d'élévation digital de Tunisie à 1 Km, dérivé à partir de base de données globale disponible au *US Geological Survey Website*)

### 4.2.3. - Relations sols-topographie

En cartographie des sols, il est fréquent d'utiliser des variables faciles d'accès et liées aux paramètres plus coûteux que l'on désire obtenir. Par exemple, les relations existantes entre la morphologie du relief et certaines propriétés du sol offrent un outil possible pour la cartographie de ces propriétés. Les MNA sont utilisés pour dériver les attributs morphologiques importants dans le développement et la distribution des sols dans le paysage (Moore et *al.*, 1993). La relation entre ces attributs morphologiques et des variables du sol peut améliorer la précision de prédiction des variables du sol tout en diminuant les coûts d'échantillonnage et le travail sur terrain.

Dans cette perspective, les caractéristiques du sol sont d'abord établies à partir de 107 profils. Le travail a été effectué sur deux couches de sols une superficielle et l'autre en profondeur, pour cet effet, le calcul de la moyenne pondérée des horizons ayant les mêmes caractéristiques physico chimiques a été fait soit en surface ou en profondeur. Ensuite, la variabilité est étudiée de manière détaillée pour savoir comment varient spatialement les caractéristiques du sol et les variables topographiques.

Des attributs topographiques dérivés (Moore et *al.*, 1991) ont été également calculés et leurs relations avec les propriétés de sol sont déterminées par les méthodes statistiques (corrélations paramétriques et non paramétriques, *Statistica v6.0*). Nous avons décrit 107 observations de champ pour 177 km<sup>2</sup>, pour chaque observation, plusieurs variables de sol ont été codées et des attributs principaux de terrain ont été dérivés de ce DEM ou MNA et assignés aux observations pédologiques. Des méthodes statistiques et graphiques ont été employées pour faire l'analyse entre ces différents paramètres.

Une Analyse de Composantes Principales (ACP) réalisée sur les 107 relevés de terrain, a permis de mettre en évidence la dispersion des caractéristiques des sols sur les différents attributs. Cette procédure a été suivie afin de comprendre quelles sont les relations qui existent entre les principaux éléments de sols et les attributs topographiques et le rôle de l'information géographique dans un contexte aussi conflictuel. En procédant à la réduction au minimum de nombre de variables et de voir quelles variables présentent des relations entre elles et aussi celles qui ne présentent aucune relation.

### 4.3. - RESULTATS

#### 4.3.1. - Modèle numérique d'élévation du bassin versant de Ségui

Le bassin versant du de l'oued Ségui présente un réseau hydrographique assez dense de 30 kilomètres de long, soit une densité de  $0.169491 \text{ km/km}^2$ . L'oued Ségui est un affluent de deux oueds de Tounine et Toujane.

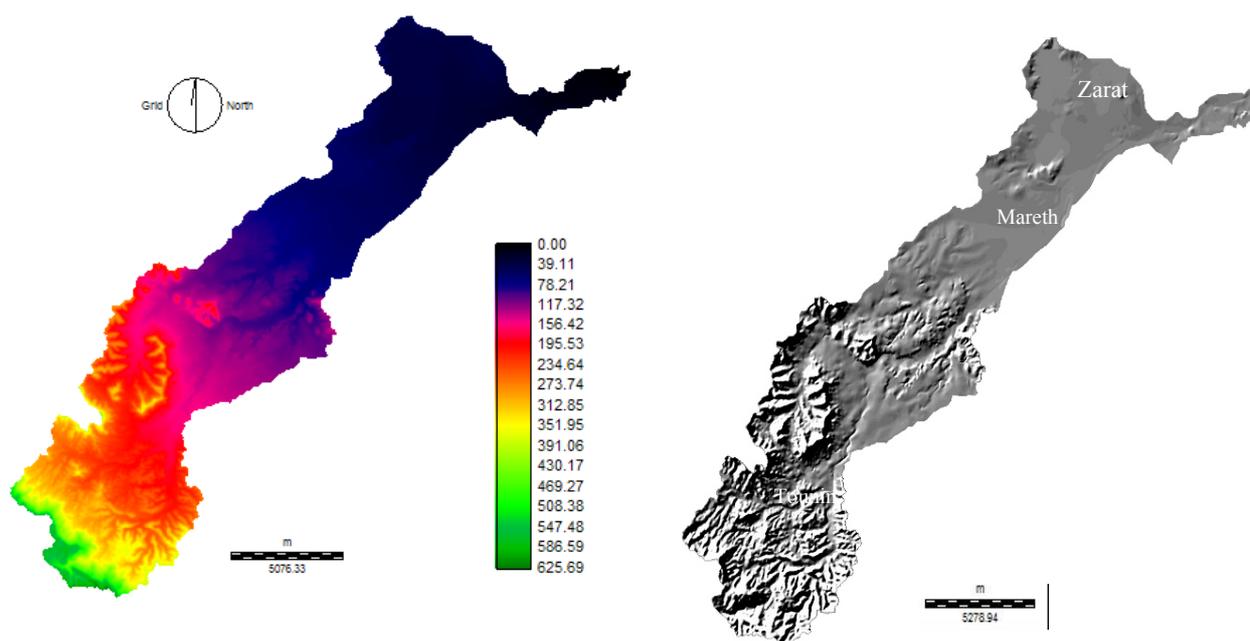


Figure 4.2: Modèle d'élévation digital du bassin versant de Ségui, source : carte 1:50000 de l'office de topographie et de la cartographie – Tunis, projection: UTM Zone 32; datum WGS84 Résolution 30 m; RMS (altitude): 1.82.

La subdivision du bassin versant a été effectuée en utilisant un réseau de canaux calculé en reclassifiant le bassin en 3000 cellules. Une telle valeur signifie qu'une cellule peut drainer une superficie de  $2.7 \text{ km}^2$ . Ce dispositif est utilisé pour délimiter le bassin en fonction des lignes de partage d'eau. L'algorithme calcule les différents micros bassins associés aux réseaux dérivés de canal ou oueds identifiés dans le secteur Zigzaou et Ségui font partie du même bassin selon ce procédé, avec une surface totale du  $337.8 \text{ km}^2$ . Cet aspect déterminé par le DEM, basé sur des fonds de carte très anciennes, n'est pas validé sur terrain du fait que le point de connexion entre Ségui et Zigzaou (d'après le DEM) n'existait pas d'après les occupants de cette zone.

Dans le MNA, l'O. Ségui est connecté à l'O. Zigzaou aux points UTMx = 623557, UTMy = 3723971 à UTMx = 625266, UTMy = 3721871 (Se). La longueur approximative de cette portion du bassin est de 3000 m. Par conséquent, il y a toujours une probabilité que le raccordement entre les deux bassins pourrait être à posteriori dû à l'incertitude au niveau de Z. Pour résoudre ce problème, il vaut mieux travailler sur des cartes à une échelle plus grande (malheureusement elles ne sont pas disponibles).

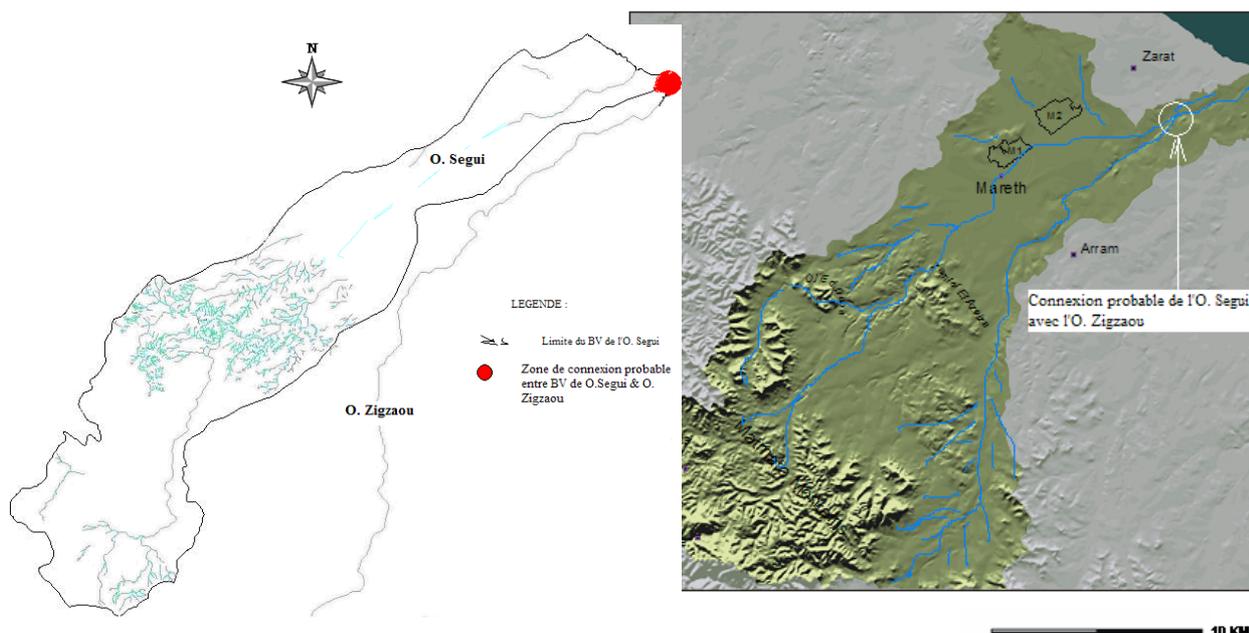


Figure 4.3: Bassin versant d'Oued. Ségui avec la zone de connexion

Figure 4.4: Situation de la zone de connexion entre le bassin versant d'Oued. Ségui & le bassin versant d'Oued. Zigzaou. Bassin versant Ségui et Zigzaou

Ainsi donc, il a fallu forcer la topographie à un réseau hydrographique dans lequel le Ségui débouchait directement dans la mer.

#### 4.3.2. - Attributs topographiques

Les figures 4.7 et 4.8 représentent la distribution spatiale des huit attributs calculés tels que *wetness index*, *spécific catchment size*, *distance to nearest channels*, *slope aspect*, *profile curvature*, *plane curvature*, *slope angle* et *length slope factor*. Le DEM laisse mesurer des rapports entre les différentes variables du sol et les attributs de terrain. La pente est certainement un des critères les plus importants et largement les plus répandus. Le gradient et les paramètres dérivés (courbures) sont liés à la vitesse d'écoulement et au taux d'écoulement.

L'aspect est également le point de départ pour beaucoup de paramètres dérivés à l'aide du chemin d'écoulement (réseau de drainage, secteur contributive, etc.). L'aspect est généralement employé dans le paysage de sol modelant, principalement pour des processus hydrologiques.

Les attributs topographiques, mentionnés précédemment, ont été extraits et certains sont présentés aux figures 4.7 et 4.8.

46% de la surface du bassin est orienté vers le nord ; 35.5% à l'est ; 8.2% sud et 10.3% restant à l'ouest.

Les altitudes oscillent entre 0 et 625 mètres, l'étude du micro-relief du bassin de Segui révèle l'existence des pentes très remarquées dans toutes les directions. Celles-ci varient 0% dans les plateaux et le lit de l'oued à plus de 40% dans les deux rives (les pentes sont entre 0 et 40°). La forme du relief est presque plate dans la partie NE du bassin tant en direction de la pente comme transversal à la pente, la courbature est très lisse.

Le secteur drainé à chaque point ou zone de contribution à chaque point varie entre 100 m<sup>2</sup> et 376000 m<sup>2</sup> (37.6 ha). 19% du secteur du bassin a un secteur drainé entre 100 et 200m<sup>2</sup> ; 57% de la superficie du bassin a une zone de contribution inférieure à 500m<sup>2</sup> et 79.5% inférieur à 1000 m<sup>2</sup>.

L'attribut topographique W présente des valeurs élevées (entre 7 et 17) grâce aux faibles pentes ce qui favorise la conservation de l'eau dans le sol du point de vue topographique.

Le potentiel pour le transport de sédiments (LSF) est en général faible (il oscille entre 0 et 13, mais 88.5% du secteur du bassin a un LSF inférieur à 1, seulement le 0.02% du secteur présente un LSF supérieur à 7). La distance aux lits d'oueds naturels oscille entre 0m à 230 mètres, 89% du secteur présente une distance moins que 100 mètres par rapport aux lits.

La distance de chaque pixel au réseau de drainage existant dans le bassin oscille entre 0 et 230 mètres (88.6% du secteur du bassin est moins de 100m du réseau de drainage).

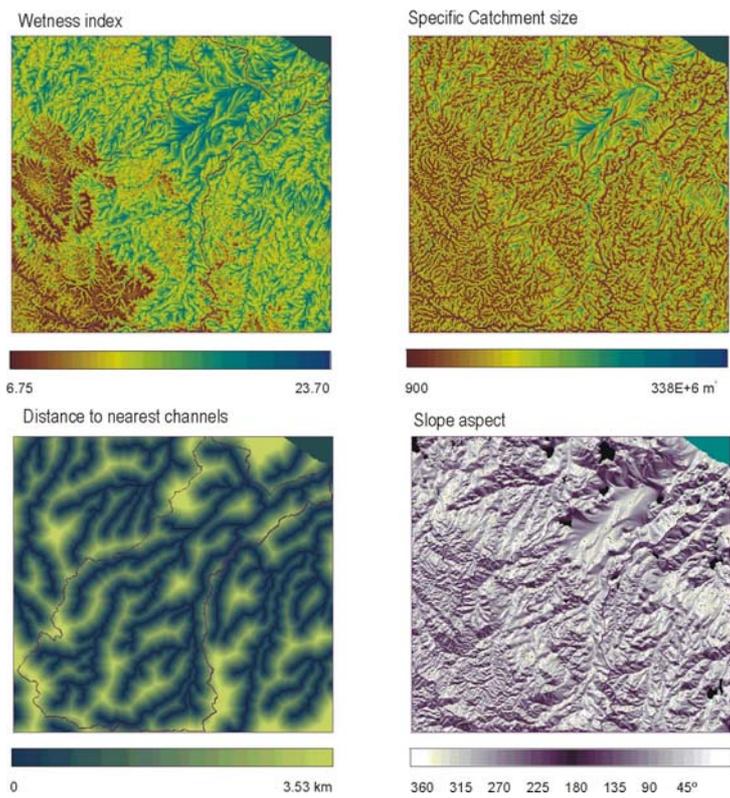


Figure 4.7 : Distribution spatiale de quatre attributs topographiques de la région de Mareth

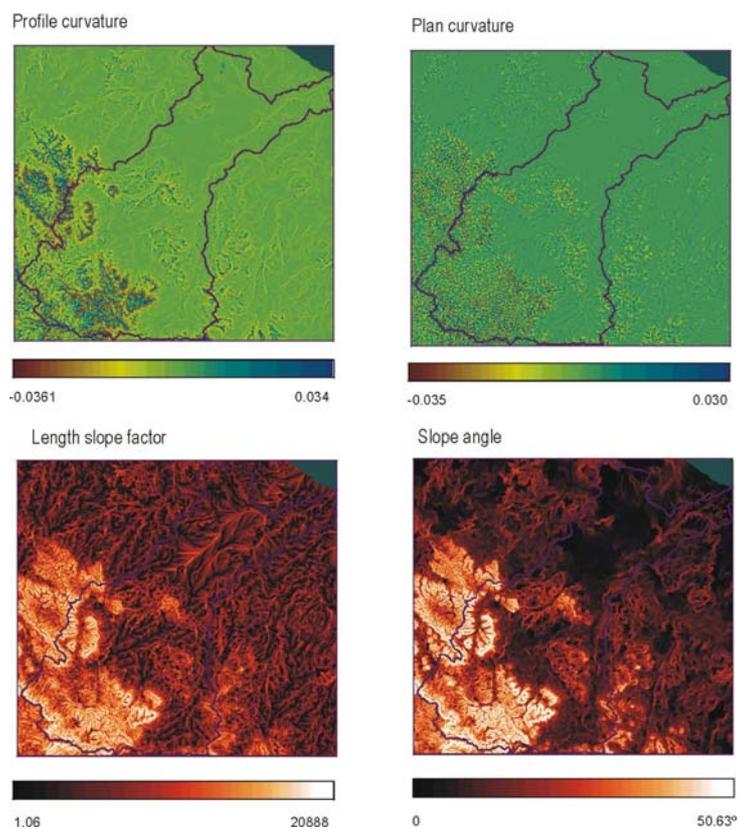


Figure 4.8. Distribution spatiale de quatre autres attributs topographiques de la région de Mareth

### 4.3.3. - Régionalisation

Beaucoup de propriétés de sol, telles que le type de sol, l'humidité, le risque d'érosion, peuvent être dérivés des attributs topographiques (Moore et al., 1991 ; 1993 ; Boer et al., 1996). La combinaison de différents attributs de terrain avec des analyses multivariées s'est avérée une méthode intéressante pour l'établissement des cartes des différentes unités physiographiques (Del Barrio et al, 1996).

En utilisant la taxonomie numérique, sept recouvrements topographiques ont été groupés sous forme d'unités multivariées de sol. La carte géologique (1:100.000) a été aussi digitalisée et les unités lithologiques principales ont été identifiées (Figure 4.5).

Del Barrio et al, 1996 ; Boer, 1999) prouvent que les unités résultantes de terrain peuvent être associées aux unités morphologiques de terrain comme les ravins, talwegs et les différentes sections de pente de colline, qui forment à leur tour une base appropriée pour la distribution des propriétés de sol.

Les données acquises peuvent être synthétisées aux unités suivantes :

1. les sebkhas localisées au Nord-Est (NE) ;
2. Une zone d'épandage des sédiments, apportés par l'oued Ségui avant son détournement en 1987 au niveau de Zemlet Azīza, constitue la plaine dite de Ségui ;
3. Des dépôts éoliens surtout vers la côte (NE) ;
4. Une zone à argile gypseuse avec des conglomérats, située autour de l'Oued Ségui au centre du bassin ;
5. Une zone limoneuse à concrétions calcaire (accumulations des loess) ;
6. A l'amont, surtout des dolomies et calcaires avec affleurement de la roche.

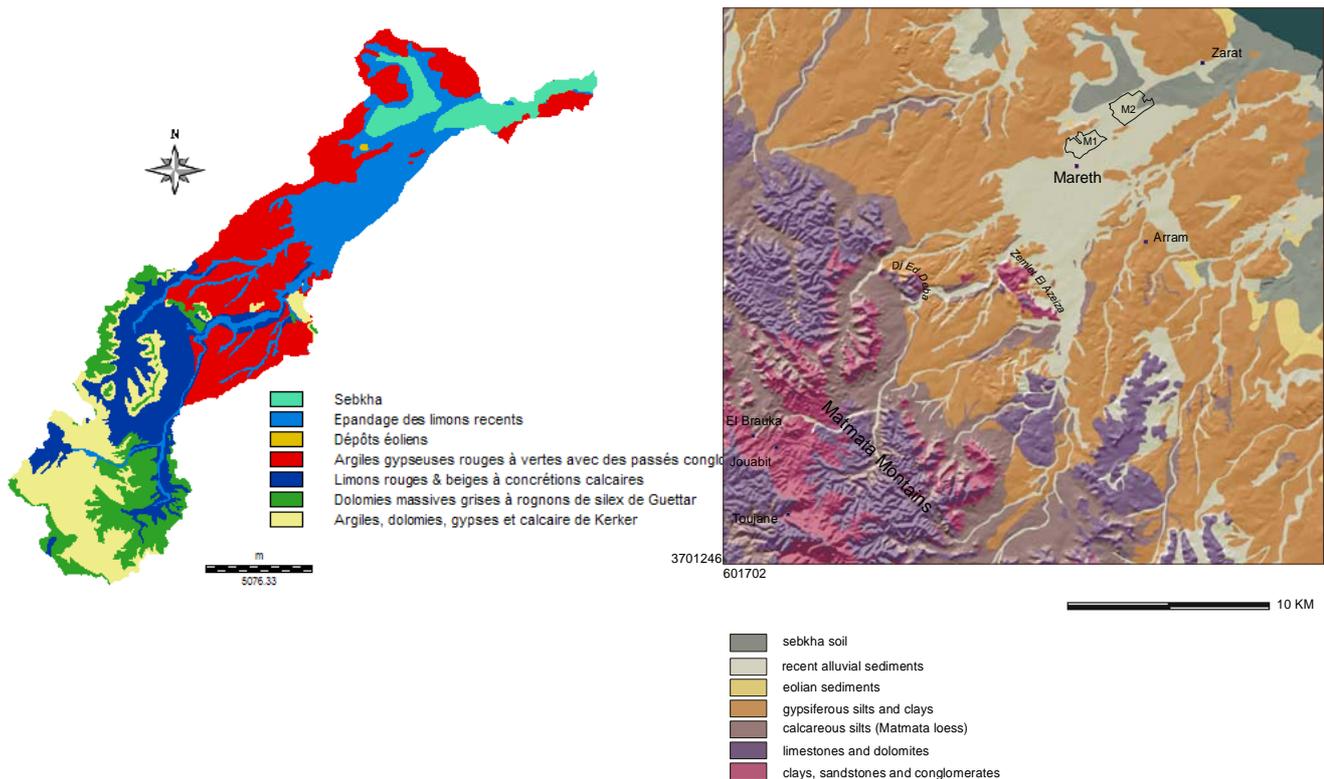


Figure 4.5 : Carte géologique-lithologique de Oued Ségui

Le MNA a permis de produire une régionalisation de la topographie de la zone. Une classification non-hiérarchique du territoire a été effectuée en utilisant les couches quantitatives générées. L'algorithme ALOC (Belbin, 1994), a été employé avec l'index métrique de Gower pour produire 9 classes de terrain (fig 4.6). Ces procédures sont expliquées par (Del Barrio et al, 1996). Les figures 4.7 et 4.8 représentent la distribution spatiale des huit attributs calculés. Il a contribué dans les aspects suivants :

- i) évaluation des canaux de drainage naturelle ;
- ii) évaluation des rapports entre la topographie et les paramètres de sol ;
- iii) les zones de talwegs définissent des zones majoritairement basses et concaves. Il s'agit de zones morphologiques qui représentent l'endroit le plus bas d'une vallée. C'est la zone où on retrouve les réseaux hydrographiques ;
- iv) les zones sommitales qui définissent des zones majoritairement hautes et convexes. Il s'agit de zones hautes, plus ou moins érodées. On y retrouve les zones de crête ; les zones de versants, il s'agit des zones intermédiaires. Elles relient les zones sommitales aux zones de talwegs.

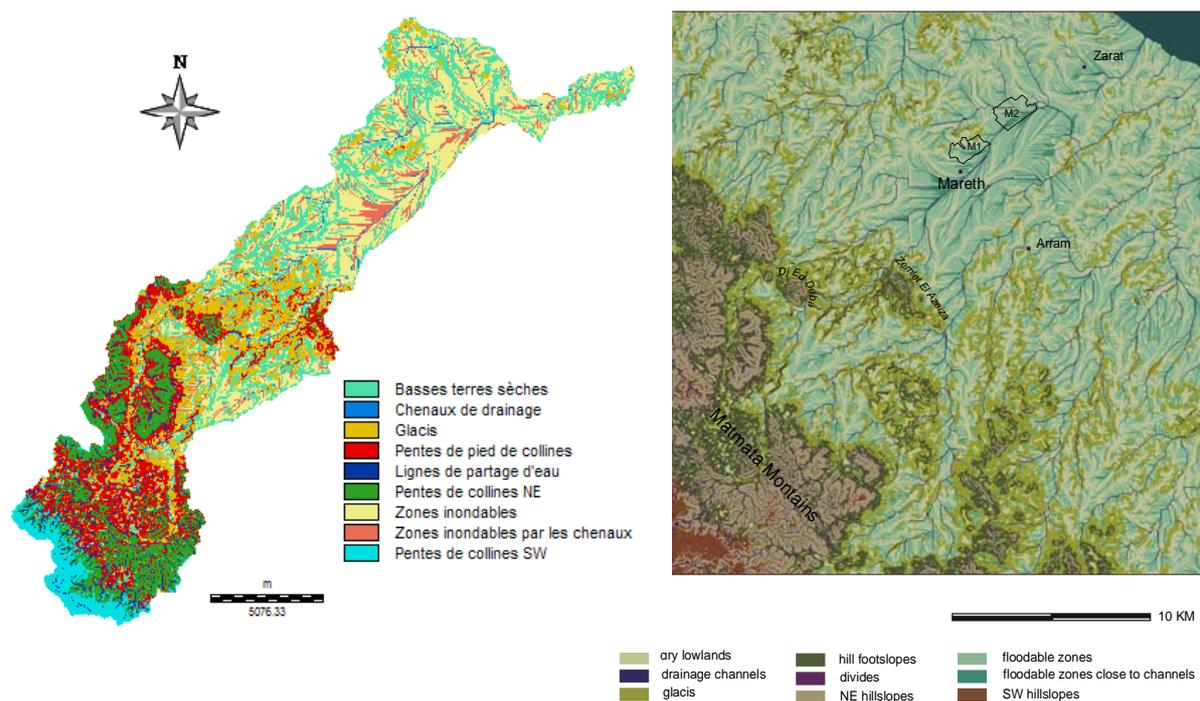


Figure 4.6 : Régionalisation du bassin versant de Ségui

La pente du terrain détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire. Dans les zones plus élevées du bassin, les cours d'eau participent souvent à l'érosion de la roche sur laquelle ils s'écoulent. Au contraire, en plaine, les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine. L'intérêt d'avoir une représentation de ces pentes, est évidente dans le cadre d'un travail sur l'érosion. Cette carte donne une idée précise sur le relief et sur l'orientation des pentes (fig. 4.6). En effet, quand les pentes sont assez fortes, les sols s'érodent et deviennent squelettiques et par conséquent ils deviennent peu rentables mêmes avec des aménagements appropriés. Il est important de retenir que la pente intervient dans les phénomènes de l'érosion par son intensité d'inclinaison, sa longueur et sa forme.

D'autre part, de nombreuses informations peuvent être dégagées de cette carte (figure 4.6), et notamment des données statistiques sur ces pentes. Idrisi permet, entre autres, de calculer l'orientation des pentes et de calculer une zone de drainage à partir d'un ou plusieurs exutoires. Nous déterminons la zone de drainage d'une ou de plusieurs cellules cibles situées sur une surface en utilisant l'image des orientations de la surface. Pour déterminer si une cellule appartient à la zone de drainage, la direction du flux d'eau est estimée à partir des orientations afin de savoir si le flux se fait ou non en direction d'une cellule appartenant déjà à

cette zone. Les zones parfaitement planes ont la caractéristique de permettre l'écoulement des flux d'eau dans toutes les directions.

#### 4.3.4. - Relations sols-topographie

L'accès facile du modèle d'altitude de Numérique (DEM ou MNA) laisse mesurer des rapports entre les variables de sol et les attributs de terrain. La pente est certainement un des critères les plus importants et largement les plus répandus. Le gradient et les paramètres dérivés (courbures) sont liés à la vitesse d'écoulement et au taux d'écoulement. L'aspect est également le point de départ pour beaucoup de paramètres dérivés à l'aide du chemin d'écoulement (réseau de drainage, secteur contributive, etc.). L'aspect est généralement employé dans le paysage de sol modelant, principalement pour des processus hydrologiques.

Les analyses statistiques ont montré que si on prend en considération les 4 axes soit 68 % de l'information (tableau 4.3), en outre, on peut se contenter des trois premiers axes seulement dont la projection des variables (fig 4.10 ; 4.11 et 4.12).

L'analyse des interrelations montre que le premier axe est fonction de la pente tandis que le deuxième axe est fonction de la position par rapport au bassin (fig. 4.9) La valeur élevée de LSF correspond à la zone médiane de la pente, pour le PLC ou courbature plane qui exprime la convexité des courbes de niveaux, si c'est positif, elle est convexe et si c'est négatif, elle est concave (tableau 4.1).

La valeur élevée de SUN correspond à la pente inclinée vers le sud, un gradient d'orientation convexe et concave vers le sud et que le SUN est élevé sur les zones montagneuses ; le premier axe exprime donc un gradient de la pente.

Sur l'axe 2, l'ATB (associé à l'humidité du sol) présente un gradient plus ou moins large, le SIZ, gradient hydrologique qui incluent les talwegs de Toujane vers la mer ce qui permet de dire que l'axe 2 se réfère à tout le bassin hydrographique. Le DEM et le SLO sont des variables locales et quand le DEM est élevé, le SIZ est petit et vice versa (fig. 4.9)

Tableau 4.1 : Matrice des corrélations entre les attributs topographiques issus du DEM

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9
ATB_B	<b>0,756592</b>	-0,617753	-0,085443	0,115598	-0,07349	-0,13343	-0,011016	0,044175	0,00294
DEM_B	<b>-0,855425</b>	0,120162	0,138239	-0,03148	-0,07044	-0,476282	-0,043511	-0,00309	-0,000004
LSFL_B	-0,596142	<b>-0,563446</b>	0,517714	0,084492	0,201562	0,084722	0,020031	-0,06138	0,001594
PFCM_B	-0,746492	-0,363492	-0,236352	0,065768	-0,414714	0,138976	-0,243162	-0,00229	-0,000003
PLC_B	<b>0,779908</b>	0,309401	0,37694	-0,09844	0,23914	-0,026437	-0,293843	-0,0031	-0,000002
SIZL_B	0,409632	<b>-0,875305</b>	0,185841	0,153023	0,034894	-0,082165	0,000273	0,01058	-0,003101
SLOL_B	<b>-0,885667</b>	0,030292	0,402262	-0,01626	0,172238	0,124548	0,001242	0,086127	0,000009
STRDM_B	0,047954	<b>0,366744</b>	0,098127	0,923097	-0,037845	-0,000157	-0,005541	-0,00042	0
SUN_B	0,444432	0,20122	<b>0,667266</b>	-0,13389	-0,541177	0,027837	0,071914	0,000049	-0,000001

Tableau 4.2: Eigenvalues of correlation matrix, and related statistics (cs\_gisdata\_filtre)

	Eigenvalue	% Total Variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	3.977099	44.18999	3.977099	44.1900
2	1.883452	20.92724	5.860551	65.1172
3	1.143610	12.70678	7.004160	77.8240
4	0.929223	10.32470	7.933384	88.1487
5	0.605354	6.72616	8.538738	94.8749
6	0.294877	3.27641	8.833615	98.1513
7	0.153091	1.70101	8.986706	99.8523
8	0.013273	0.14747	8.999979	99.9998
9	0.000021	0.00023	9.000000	100.0000

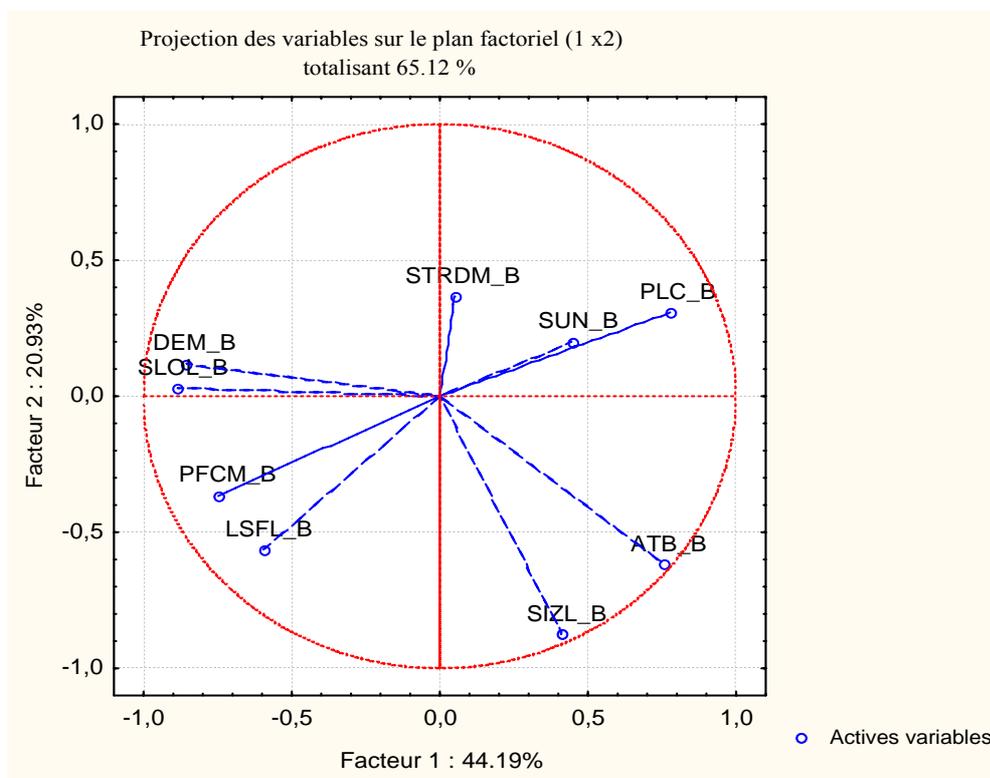


Figure 4.9 : Projection des différents variables

Tableau 4.3: Eigenvalues of correlation matrix, and related statistics (Sheet1 in ACP)

Active variables only

Eigenvalue	% total	Cumulative	Cumulative
	Variance	Eigenvalue	%
4.971980	29.24694	4.97198	<b>29.2469</b>
2.719800	15.99882	7.69178	<b>45.2458</b>
2.064501	12.14412	9.75628	<b>57.3899</b>
1.791701	10.53942	11.54798	<b>67.9293</b>
1.356056	7.97680	12.90404	75.9061
0.790667	4.65098	13.69470	80.5571
0.728622	4.28601	14.42333	84.8431
0.564812	3.32243	14.98814	88.1655
0.504006	2.96474	15.49214	91.1303
0.415842	2.44613	15.90799	93.5764
0.377165	2.21862	16.28515	95.7950
0.321936	1.89374	16.60709	97.6888
0.195300	1.14883	16.80239	98.8376
0.135405	0.79650	16.93779	99.6341
0.038348	0.22558	16.97614	99.8597
0.016258	0.09563	16.99240	99.9553
0.007601	0.04471	17.00000	100.0000

Les caractères en gras indiquent des coefficients de corrélation significatifs à 5%

D'après la matrice de corrélation entre les attributs topographiques et les caractéristiques pédologiques, nous remarquons qu'il y a des variables qui sont liées et d'autres à corrélation faible. Ainsi, par exemple, l'argile en profondeur est surtout corrélée avec la position par rapport au bassin (axe 2), de même pour la géologie (une corrélation de 76.3 %), par contre la régionalisation est surtout liée à la pente (axe 1). D'autre part, l'argile et les limons dans les horizons en profondeur sont fortement liés (70.6 %). En général, il y a des corrélations bien que parfois basses mais significatives.

Rows	AXE1	AXE2	ARGp	ARGs	CEp	CEs	CSREG	CalActp	CalActs	GEOLO	LIMp	LIMs	MOs	SABLp	SABLs	pHp	pHs
ARGp	0,193	<b>0,448</b>	1,000														
ARGs	0,141	0,165	0,102	1,000													
CEp	0,023	-0,255	-0,103	-0,080	1,000												
CEs	<b>0,053</b>	-0,237	-0,035	-0,059	<b>0,952</b>	1,000											
CSREG	<b>0,326</b>	-0,241	-0,200	-0,050	0,151	0,147	1,000										
CalActp	-0,224	0,156	<b>0,460</b>	0,095	0,023	0,033	-0,207	1,000									
CalActs	<b>0,029</b>	0,124	<b>0,362</b>	<b>0,467</b>	-0,094	-0,109	-0,156	<b>0,403</b>	1,000								
GEOLO	<b>0,323</b>	<b>0,763</b>	<b>0,450</b>	0,234	-0,240	-0,202	-0,245	-0,066	0,177	1,000							
LIMp	0,113	<b>0,389</b>	<b>0,706</b>	0,093	-0,177	-0,113	-0,139	<b>0,442</b>	<b>0,327</b>	<b>0,338</b>	1,000						
LIMs	0,046	0,148	0,039	<b>0,654</b>	-0,014	-0,023	-0,069	0,054	<b>0,529</b>	0,135	0,143	1,000					
MOs	0,144	0,208	<b>0,074</b>	0,320	0,056	-0,005	0,145	-0,128	0,149	0,232	0,028	<b>0,388</b>	1,000				
SABLp	-0,144	<b>-0,440</b>	-0,862	-0,133	0,161	0,089	0,186	<b>-0,484</b>	<b>-0,374</b>	<b>-0,424</b>	-0,956	-0,121	-0,074	1,000			
SABLs	-0,097	-0,193	-0,099	<b>-0,811</b>	0,055	0,048	0,097	-0,086	<b>-0,574</b>	-0,220	-0,196	<b>-0,951</b>	<b>-0,385</b>	0,190	1,000		
pHp	0,005	-0,293	<b>-0,323</b>	-0,148	-0,021	-0,077	0,283	-0,264	-0,196	<b>-0,423</b>	<b>-0,453</b>	-0,065	0,010	<b>0,447</b>	0,128	1,000	
pHs	0,114	-0,273	-0,301	-0,122	0,111	0,079	<b>0,328</b>	-0,269	<b>-0,330</b>	<b>-0,331</b>	<b>-0,338</b>	-0,062	-0,097	<b>0,354</b>	0,108	<b>0,489</b>	1,000

Tableau 4.4 : Matrice de corrélation entre différents attributs topographiques &amp; données pédologiques (coefficient de Pearson) (Les caractères en rouge indiquent des valeurs significatives)

Pour le graphique de la fig.4.10, l'axe 1 oppose SABLp (dans la partie négative de l'axe 1) et ARGp et LIMp dans la partie positive de l'axe 1, ce qui explique plus que nous avons d'argile et de limon en profondeur et nous avons moins de sable en profondeur ce qui explique que la pente joue un rôle important lors du ruissellement et des crues. Par contre pour l'axe 2, nous avons le même phénomène mais pour les horizons de surface.

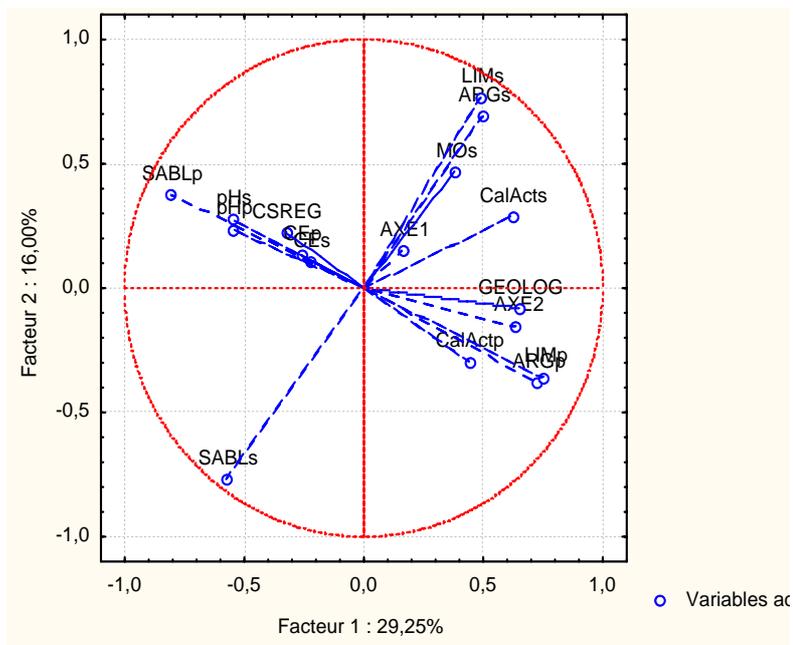
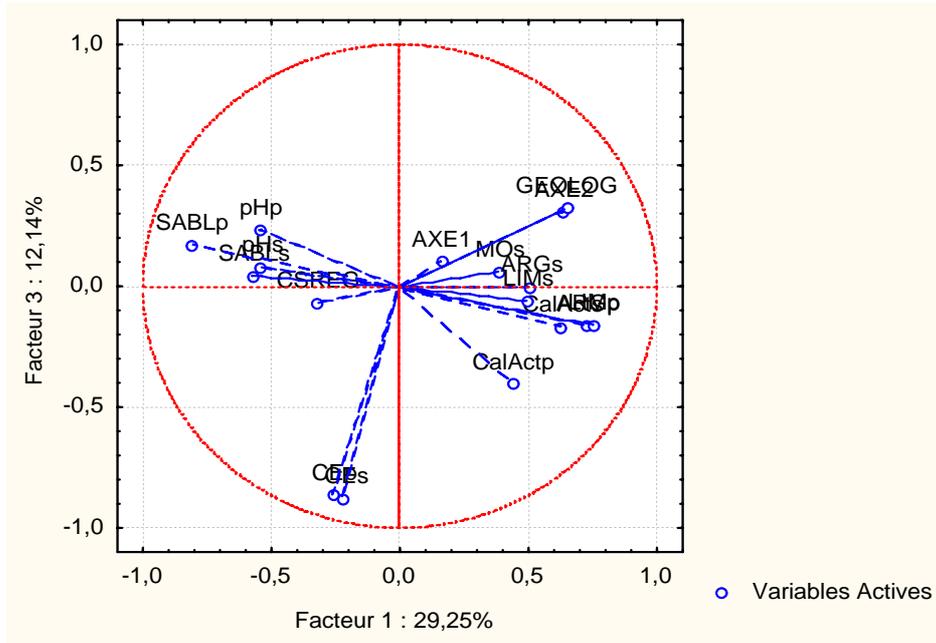
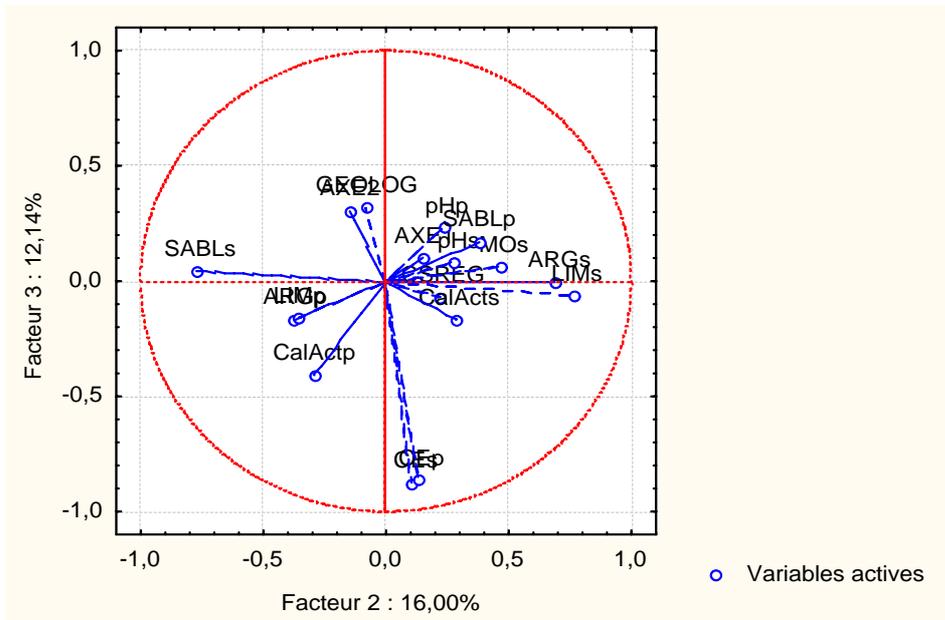


Figure 4.10 : Projection des variables sur le plan factoriel 1x2 totalisant 45,25 %

Le graphique de la fig.4.11 montre les mêmes tendances, l'axe1 oppose les sables en profondeurs dans la partie négative et les argiles et limons en profondeur aussi dans la partie positive. Par contre, l'axe deux est en relation avec la position par rapport au bassin, ceci met en exergue l'opposition de la géologie et lithologie avec la conductivité électrique et par conséquent la salure que ce soit en surface ou en profondeur.



Le graphique de la fig. 4.12 confirme les mêmes tendances pour les sables, les argiles et les limons mais au niveau des horizons de surface à l'axe1 et les mêmes tendances au niveau de l'axe2 que celui de la fig. 4.11.



L'analyse des interrelations entre les différents paramètres a permis donc d'aborder un certain nombre de points relatifs à la variabilité spatiale des paramètres étudiés qui n'est pas aléatoire, car elle est fonction de l'organisation du milieu. De plus, les variables sont spatialement auto-corrélées entre elles sur des distances relativement importantes et certains constituants des sols jouent un grand rôle dans la dynamique des milieux.

Les attributs sont dérivés de ce DEM tels que la pente, la position en l'occurrence l'orientation et la convexité de la pente, apparaissent significatifs.

En conclusion, cette méthode qui couple à la fois des données spatialisées (topographie, ...) et des données ponctuelles (relevés de terrain sur les sols) s'exprimant en terme de distribution, permet d'optimiser le travail de recherche sur le terrain et de développer une modélisation de la distribution des sols rendue possible par l'utilisation de GIS. Cette modélisation pourrait s'avérer très efficace pour une extension cartographique ultérieure à partir des données pédologiques existantes. Il est vrai que beaucoup de mesures sont de nature ponctuelle, c'est à dire que l'échantillon est de taille négligeable par rapport à l'étendue prospectée ; la connaissance de la variabilité des propriétés du sol reste une difficulté majeure dans la prévision du fonctionnement du sol à l'échelle régionale.

#### **4.4. - DISCUSSION ET CONCLUSION**

Cette étude constitue un effort de mise au point méthodologique visant l'interprétation de données spatiales à l'échelle d'un bassin versant. Le travail que nous avons entrepris n'avait pas la prétention de résoudre tous les problèmes d'origine édaphique mais notre but est beaucoup plus modeste. Il consistait à utiliser un certain nombre de méthodes et à évaluer leur intérêt pour une étude approfondie de relation sol topographie. Les résultats acquis des relations entre support édaphique, d'une part, et attributs topographiques, d'autre part, ont permis non seulement de comprendre l'organisation spatiale des caractéristiques du sol et des attributs topographiques, mais surtout de faciliter le suivi des transformations spatio-temporelles des milieux naturels dans le bassin versant de l'oued Ségui. L'analyse des interrelations entre les différents paramètres pédologiques et topographiques a permis de mettre en exergue certaines propriétés, par exemple de confirmer que les argiles et limons sont en profondeur tandis que les sables sont surtout en surface ce qui explique que la pente joue un rôle important lors des ruissellements et que la salure est surtout en relation avec la géologie et la lithologie.

En outre, la superposition des différentes couches d'informations et leur interprétation en terme quantitatif a permis de mettre en évidence l'importance de la pente, la position par rapport au bassin et surtout la texture des sols soit dans les horizons de surface ou en profondeur. Par ailleurs, un certain nombre de problèmes peuvent se poser tels que la validité du choix des profils-types et l'homogénéité des données.

Enfin, une généralisation de cette approche est à essayer sur des secteurs plus grands car le volume des observations, allant rapidement croissant, devient à la longue très difficile à gérer. En fait, cette méthodologie nous permet un gain de temps considérable par rapport aux méthodes traditionnelles.





**VARIATIONS SPATIALES ET TEMPORALES DANS LE BASSIN  
VERSANT DE L'OUED SEGUI**





## VARIATIONS SPATIALES ET TEMPORALES DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED SEGUI

### 5.1. INTRODUCTION

Dans le cadre de ce travail, la nécessité de procéder à la cartographie de l'occupation du sol a très vite été perçue, d'autant plus qu'il n'existait aucun document cartographique de cette nature sur la région. Une cartographie actualisée de l'occupation du sol s'avérait donc nécessaire. Avec les supports déjà disponibles (cartes topographiques, géologique, des formes du relief), et l'acquis d'images satellite espacées d'une période suffisamment longue pour pouvoir repérer des changements, nous avons procédé à la représentation cartographique de la distribution spatiale des différents types d'occupation du sol et à l'évaluation de leur superficie.

Il s'agit, donc, d'avoir un état des lieux et de procéder à une analyse de la structuration de l'occupation du sol.

Les objectifs de ce chapitre sont donc :

a) établir une classification des occupations du sol et sa distribution spatiale à partir de l'analyse d'images satellite ;

b) mesurer les changements de l'occupation du sol subis par la zone d'étude (le Bassin du Ségui) entre les dates d'acquis des images satellite (espacées de 11 ans) ;

c) évaluer l'influence de la topographie et la lithologie dans la distribution spatiale de l'occupation du sol et les changements subis.

## 5.2 METHODES

### 5.2.1. Achat et traitement des images

Trois images satellites (*Landsat Thematic Mapper*) de la région de Mareth, ont été acquises après avoir étudié un certain nombre de « *quick looks* » de la région et sélectionné celles qui présentaient le moins de nuages possible à des dates propices pour disposer d'une bonne base pour classifier les types de couverture végétale (Table 1) : deux images au début de la saison sèche estivale (09/04/1985 et 10/06/1996) et une image vers la fin de l'hiver (19/02/1996).

Table 5.1: Images *Landsat Thematic Mapper* étudiées

Zone d'étude	1980s	Scène	1990s	Scène	Total images
Mareth	09 Avril 1985	191/37	10 Juin 1996	191/37	2
			19 Février et 1996	191/37	1

Les images ont subi deux traitements préalables avant de pouvoir en extraire des informations sur la couverture du sol : correction géométrique et radiométrique. Ces corrections sont nécessaires pour obtenir des données superposables ou comparables.

#### a) Correction géométrique

Pour la correction géométrique des images satellites, 25 points de contrôle ou vérification répartis dans toute la zone d'étude ont été repérés dans les correspondantes cartes topographiques 1 :50.000. Les images ont été rectifiées géométriquement en utilisant la projection UTM (*universal transverse mercator*) et une taille du pixel de 30 x 30 mètres (celle qui correspond aux images satellite LANDSAT), avec une erreur standard moyenne de 0,4 pixels.

Les traitements appliqués au cours de cette opération consistent à attribuer à chaque fichier les coordonnées géographiques du morceau d'espace dont il est l'image. Autrement dit,

il s'agit d'attribuer à chaque fichier son identité géographique, dans un système de projection donné.

#### b) Correction radiométrique

La correction radiométrique des images satellites est effectuée selon le prétraitement suivant :

- calibrage du rayonnement : conversion de l'image numérique en valeurs absolues de rayonnement ;
- correction de l'angle solaire et de la distance sol-soleil ;
- effets atmosphériques : l'histogramme minimum a été utilisé pour la correction des effets atmosphériques parce que l'information météorologique pour la région d'étude n'était pas disponible.

Pour convertir les nombres numériques (DN : *digital numbers*) enregistrés par une sonde en facteur spectral de réflectivité sur la terre, la nécessité pour tenir compte des paramètres de calibrage de la sonde (pour convertir les DN en rayonnements) et des facteurs qui affectent le rayonnement solaire dans son chemin complexe du soleil à la terre et de nouveau à la sonde. Les nombres numériques (DN) d'images seront convertis en unités de rayonnement ( $\text{mWcm}^{-2} \cdot \text{steradian}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ) utilisant les valeurs standards minimum de la sonde de TM ( $L_{min}$ ) et brillance maximale ( $L_{max}$ ) après Markham et Barker (1986) et Boer (1999).

$\text{Rayonnement} = (DN/DN_{max}) \cdot (L_{max} - L_{min}) + L_{min}$ , où  $DN_{max}$  se rapporte au nombre numérique maximum (255).

Pour traduire les données d'image à partir des unités de rayonnement aux unités de réflectivité, nous supposons que l'information dans l'espace distribuée sur le rayonnement incident est, au moment où l'image a été acquise. La variation spatiale du rayonnement incident peut être provoquée par variation dans des attributs topographiques (aspect ...) et par des effets atmosphériques (Campbell, 1996). La correction des effets topographiques peut être faite si les modèles numériques d'altitudes (MNA ou DEMs) de la résolution spatiale et si les images sont disponibles. Malheureusement les séries de cartes topographiques de 1:50.000 n'étaient pas complètes pour les secteurs d'étude lors de la correction. Le terrain est très plat aux deux secteurs, ce qui permet de déduire que la topographie ne peut pas causer des variations importantes sur le rayonnement. Les effets atmosphériques devraient, de préférence, être corrigés en appliquant les modèles physiques exigeant l'information

météorologique détaillée (telle que l'humidité et la concentration atmosphériques des particules atmosphériques) qui ne sont pas disponibles pour cette étude.

Le logiciel IDRISI (Eastman, 1987) a des algorithmes appropriés pour ces deux types de correction et il sera utilisé.

### **5.2.2. Classification des usages du sol**

La classification consiste, en fait, à simplifier la radiométrie de l'image brute qui représente le paysage par la formation de classes. Les classes d'information sont des catégories d'intérêt qu'on tente d'identifier dans les images, comme les différents types de couverture du sol (par exemple, surfaces agricoles ou forestières) ou différents types de lithologie, etc., tandis que les classes spectrales sont des groupes de pixels qui ont les mêmes caractéristiques (ou presque) en ce qui a trait à leur valeur d'intensité dans les différentes bandes spectrales des données.

Deux grandes familles de classification automatique ont été testées moyennant le logiciel IDRISI (Eastman, 1987) :

- Classifications supervisées ;
- Classifications non supervisées.

Nous utilisons une classification non supervisée lorsque l'identité des types de couverture du sol n'est pas connue. Il existe des algorithmes de classification, composés de plusieurs itérations, permettant de créer des regroupements de pixels ayant des signatures spectrales similaires. L'utilisateur procède, ensuite, à la reconnaissance des classes créées par l'algorithme en affectant un nom et une couleur à chaque classe.

Si nous possédons suffisamment d'informations sur le terrain étudié pour constituer une nomenclature, nous pouvons effectuer une classification supervisée. Pour cela, nous devons au préalable définir des sites correspondant à des régions homogènes et dont nous connaissons la nature. Une campagne de terrain a permis d'identifier, décrire et noter la georeference de 28 aires distribuées sur tout le bassin versant. Les caractéristiques spectrales de ces régions vont ensuite être utilisées pour entraîner la classification. Les pixels se trouvant à l'intérieur et à l'extérieur des sites d'entraînement sont ensuite affectés à telle ou telle classe.

Aussi, plusieurs méthodes de classification supervisée permettent d'être testées avec IDRISI: a) parallélogramme, b) distance au moyennes, c) vraisemblance maximale.

La dernière étape d'une classification d'image consiste à valider ou pas la classification en évaluant sa pertinence. Pour cela, nous comparons les usages du sol obtenus sur le terrain (campagne dans laquelle on a échantillonné 150 points distribués sur tout le bassin versant) avec ceux obtenus moyennant l'analyse des images satellite, à travers le taux de pixels bien classés (ou le contraire, c'est à dire les erreurs) dans une matrice réalisée grâce à un fichier de référence représentant la réalité du terrain. Les erreurs peuvent être de deux types : a) les *erreurs de commission* sont les pixels assignés incorrectement à une classe qui appartiennent en fait à une autre classe : b) les *erreurs d'omission* sont les pixels incorrectement exclus d'une classe.

Le but d'une classification est, en fait, de simplifier la réalité d'un paysage pour pouvoir l'interpréter plus facilement, c'est à dire faire valider la correspondance entre les classes spectrales et les classes d'information. La classification numérique des images utilise l'information spectrale contenue dans les valeurs d'une ou de plusieurs bandes spectrales pour classifier chaque pixel individuellement (reconnaissance des regroupements spectraux). Ces deux façons de procéder (manuelle ou automatique) ont pour but d'assigner une classe particulière ou thème (par exemple : cultures en irriguées, arboriculture, etc.) à chacun des pixels d'une image. La "nouvelle" image qui représente la classification est composée d'une mosaïque de pixels qui appartiennent chacun à un thème particulier.

La création d'une carte thématique suppose, en général, une certaine généralisation spatiale qui consiste à ignorer les hétérogénéités locales au profit de la classe des objets dominants (Bonn F. et Rochon G., 1996). En effet, les résultats bruts des classifications sont le plus souvent inexploitable à cause de ces hétérogénéités qui peuvent être un reflet de la structure de l'occupation réelle du sol, l'objectif est donc d'obtenir des zones plus homogènes.

### **5.2.3. Changements d'usage du sol entre 1985 et 1996**

Une fois établie la classification des usages du sol pour les images correspondantes à 1985 et 1996, il est possible de connaître et quantifier les changements qui ont eu lieu entre

ces deux dates (taux d'augmentation ou de diminution des différents usages du sol entre ces deux dates).

#### **5.2.4. Relations entre les usages du sol et la topographie**

Pour connaître si la distribution spatiale des différents usages du sol est associée ou indépendante de la topographie et/ou de la lithologie, une table de contingence a été construite à partir des paires de données (usage des sols et formes du relief résultant de la régionalisation d'un côté, et usage des sols et lithologie de l'autre) et un test *Chi2* a été effectué. Les déviations à partir des fréquences espérées par rapport à celles observées ont été examinées pour interpréter la possible association.

### **5.3 RESULTATS**

#### **5.3.1. Achat et traitement des images**

Unes fois les images traitées moyennant les corrections géométrique et radiométrique expliquées au paragraphe 5.2.1, on a pu procéder à identifier sur elles les différents usages du sol du bassin versant.

#### **5.3.2. Usages du sol**

Avant de procéder à l'identification des usages du sol sur les images satellite, nous avons choisi des aires d'entraînement (aires représentatives des principaux types d'usage du sol dans la zone d'étude) moyennant la photo-interprétation et une campagne de terrain.

Sur le terrain, chaque aire d'entraînement d'une superficie d'à peu près un hectare a été identifiée moyennant des prises photographiques, a été caractérisée (description de la geoforme, type de sol et sa couverture, etc.) et a été géo-référencée (coordonnées topographiques avec GPS au centre de chaque aire). Un total de 28 aires d'entraînement a été choisi. Le tableau 5.2 contient l'identification, caractérisation (description de la geoforme, type de sol et sa couverture, etc.) et la géoréférence (coordonnées topographiques avec GPS du centre de chaque aire) des aires d'entraînement.

Ensuite et au bureau, on a procédé à essayer sur les images satellite les processus de classification non supervisée et supervisée pour choisir celle qui s'avérait la plus adéquate.

A partir des informations de l'ensemble des aires d'entraînement (moyennes et variances/covariances de la réflectance pour chaque bande de toutes les cellules ou pixels qui forment les différents types d'aires d'entraînement), on estime la probabilité de chaque pixel appartenant à une certaine classe.

Les résultats les plus adéquats ont été ceux de la classification supervisée des bandes TM basée sur l'information spectrale des aires d'entraînement. Pour cela la méthode de la vraisemblance maximale, basée sur la théorie bayésienne de la probabilité, a été choisie comme la meilleure.

Table 5.2 : Différents types d'occupation des sols

Description	Estimation du couvert végétal (%)	Coordonnées des sites géo référencées	
		X (UTM)	Y (UTM)
Sebkha stérile : grand étendu, beaucoup de sel et/ou gypse en surface, parfois la surface en sable est presque nue.	<1	632467	3725185
		631768	3722023
		643379	3717721
Sol nu, dépourvu de végétation la surface est sableuse avec parfois affleurement de la roche.	< 5	626376	3726835
		635264	3721876
		611841	3714775
Végétation pastorale très dégradée à cause probablement du surpâturage. Le couvert végétal est presque nulle aussi présence d'anciennes friches ( <i>Artemisia campestris</i> ).	<2	617445	3714857
		621444	3706232
		613776	3708828
Couvert végétal peu dense, la présence des espèces est fonction surtout de leur exposition ( <i>Stipa tenacissima</i> , <i>Artemisia campestris</i> et des annuelles clairsemées.	< 10	620066	3706393
		627363	3719384
		616388	3710334
Couvert végétal dominé par l' <i>Artemisia alba alba</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Thymus sp.</i> Et <i>Stipa tenacissima</i> .	10-20	621164	3718174
		624362	3706256
		604101	3700398
Dans le sebkha, pastorales halophytes dense dominé par les <i>Salicornia</i>	> 20	634228	3722005
		637602	3723348
		638222	3720851
Agriculture pluviale (céréaliculture)	> 50	616642	3704336
		615605	3704919
		612149	3709960
Arboriculture (olivier, amandier, figuier, etc) en association avec quelques plantes pastorales.	30-40	624078	3706428
		609140	3709575
		618721	3719188
Zone irriguée surtout du maraichage associé parfois avec des cultures sous tunnels et sous serres	30 à 70	620498	3717986
		618570	3717189
		617199	3719388

Oasis dense à 3 étages (palmiers, grenadiers, pommiers, abricotiers et céréales ou luzerne)	80-100	605424	3708474
		621471	3724026
		621582	3723940.
Milieu urbain (quelques plantes ornementales)		619510	3720479
		637927	3690662
		601262	3749253

La figure 5.1 montre les valeurs moyennes de la réflectance des aires d'entraînement dans chaque bande de l'image satellite de printemps 1996. S'il n'y a pas de superposition, il veut dire que le procédé de classification peut bien distinguer ces types d'utilisation des sols sans ambiguïté. La figure 5.1 met en évidence qu'il y a une superposition entre certains usages des sols ; dans ces cas l'ambiguïté est élevée. Ainsi on voit qu'il est difficile de distinguer entre les champs céréaliers et ceux d'oliviers ou amandiers avec des céréales entre les arbres (les valeurs médianes de réflectivité dans les différentes bandes pour les deux catégories sont très semblables et la distinction devient difficile).

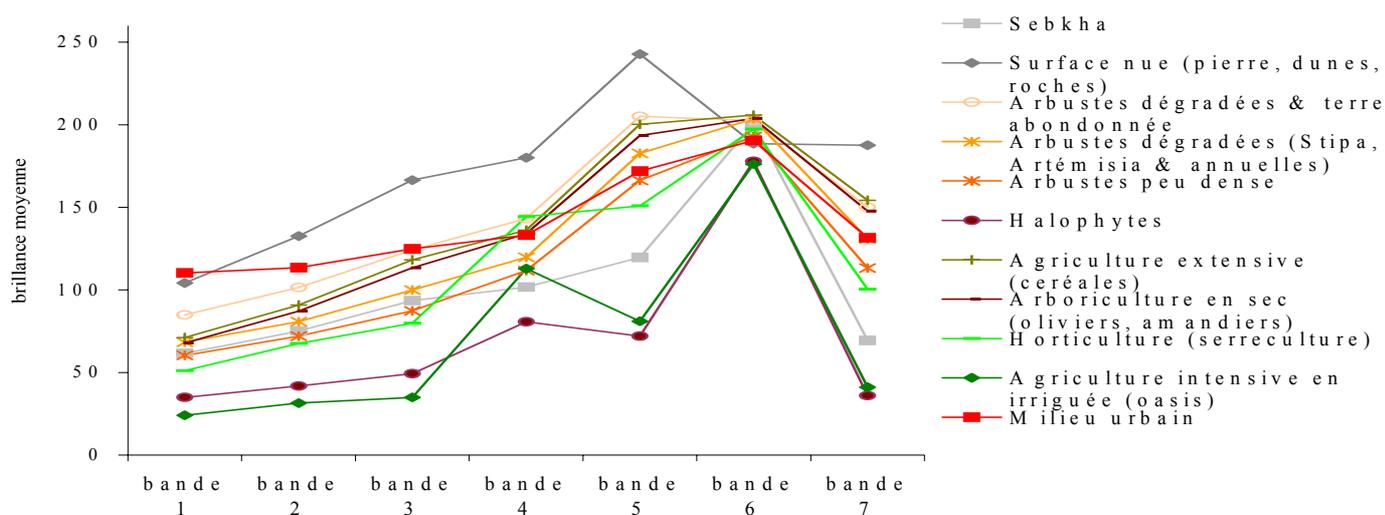


Figure 5.1: Valeurs moyenne de la réflexion, obtenues à partir des images Landsat pour la région de Mareth.

Nous avons obtenu une classification en onze classes principales d'usage du sol pour les images de 1996 (Figure 5.2).

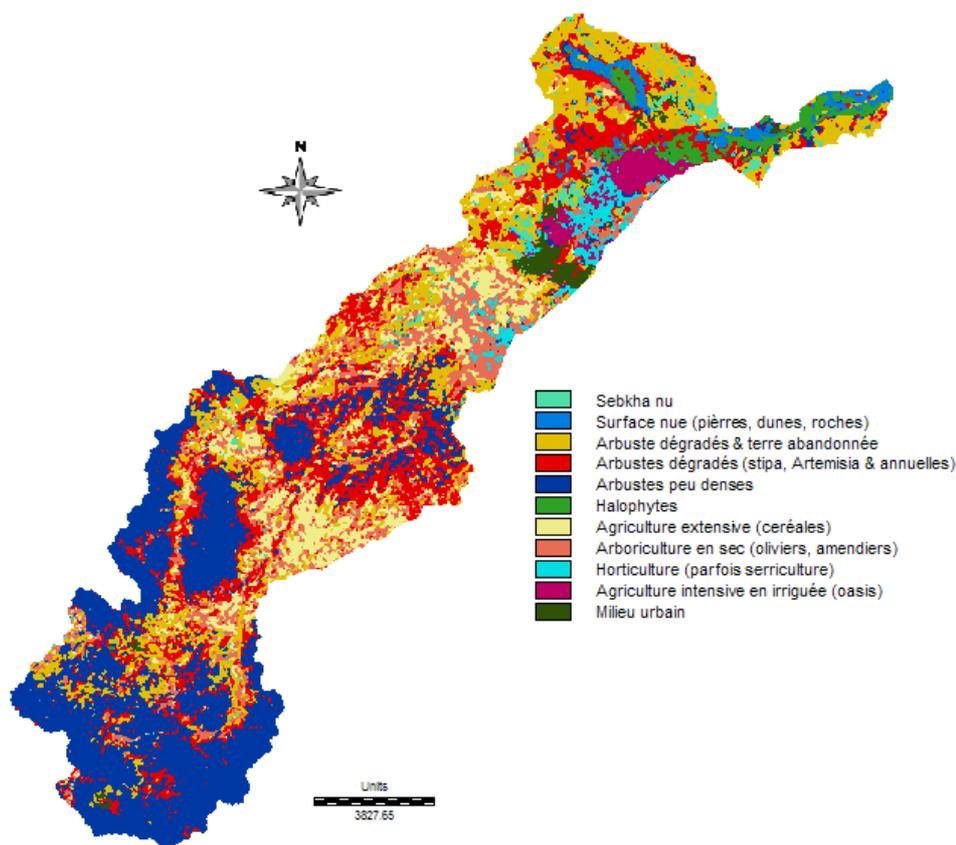


Figure 5.2: Occupation de sol du bassin versant de Ségui-Mareth (1996)

La table 5.3 montre le pourcentage de surface occupée par chaque usage du sol en 1996.

Table 5.3. Occupation des sols (année 1996)

	Année 1996 Superficie (km <sup>2</sup> )	% superficie totale
Sebkha	3.0852	1.74
Surface nue (pierres, dunes, roches)	3.3111	1.87
Arbustes dégradés & terre abandonnée	33.7392	19.02
Arbustes dégradés ( <i>Stipa</i> , <i>Artemisia</i> & annuelles)	34.4448	19.42
Arbustes peu denses	50.8509	28.67
Halophytes à la sebkha	4.131	2.33
Agriculture extensive (céréales)	17.5185	9.88
Arboriculture en sec (oliviers, amandiers)	19.8459	11.19
Horticulture (parfois serreculture)	3.951	2.23
Agriculture intensive en irriguée (oasis)	3.4614	1.95
Milieu urbain	3.0411	1.71

Le même procédé a été appliqué aux images de 1985, mais dans ce cas on a modifié certaines aires d'entraînement en utilisant l'information obtenue sur le terrain par les habitants de la région (Figure 5.3).

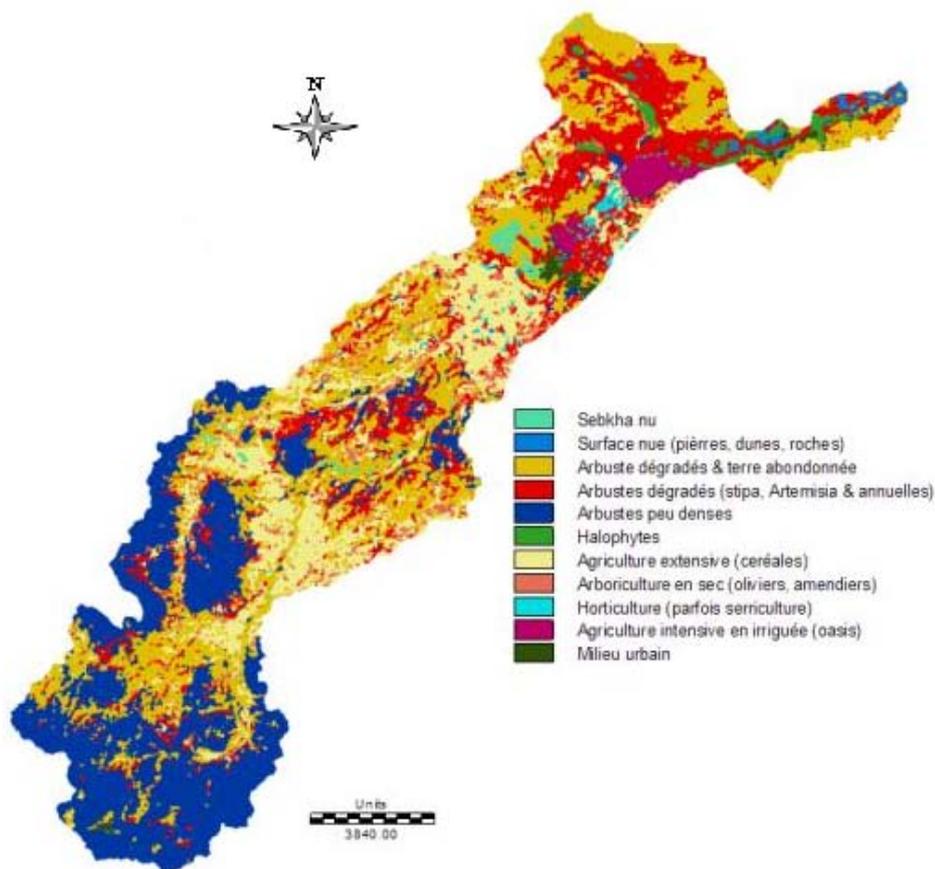


Figure 5.3: occupation de sol du bassin versant de Ségui-Mareth (1985)

Pour vérifier et valider les classifications résultantes, nous avons procédé à une deuxième campagne de terrain. La prise de données a été limitée aux proximités du réseau routier et cela pour trois raisons: a) difficulté d'accès aux aires lointaines; b) problèmes d'accès aux propriétés privées; c) restrictions budgétaires. Ces limitations ont diminué notre capacité d'échantillonnage (ou de prise de données) plus adéquats. Nous avons échantillonné 150 aires plus grandes qu'un hectare (100 m x 100 m) ; pour chaque aire on a pris sa géoreference et des photos, on a décrit les types de couverture et on a estimé leur surface. La figure 5.4 montre la distribution de ces aires d'échantillonnage pour valider les classifications.

A la fin nous avons obtenu pour toutes les catégories d'usage du sol un minimum de 50 pixels (4,5 ha puisque  $50 \times 30 \text{ m} \times 30 \text{ m} = 45000 \text{ m}^2$ ), ce qui correspond d'après Chuvieco (1996) au seuil minimum pour établir une catégorie.

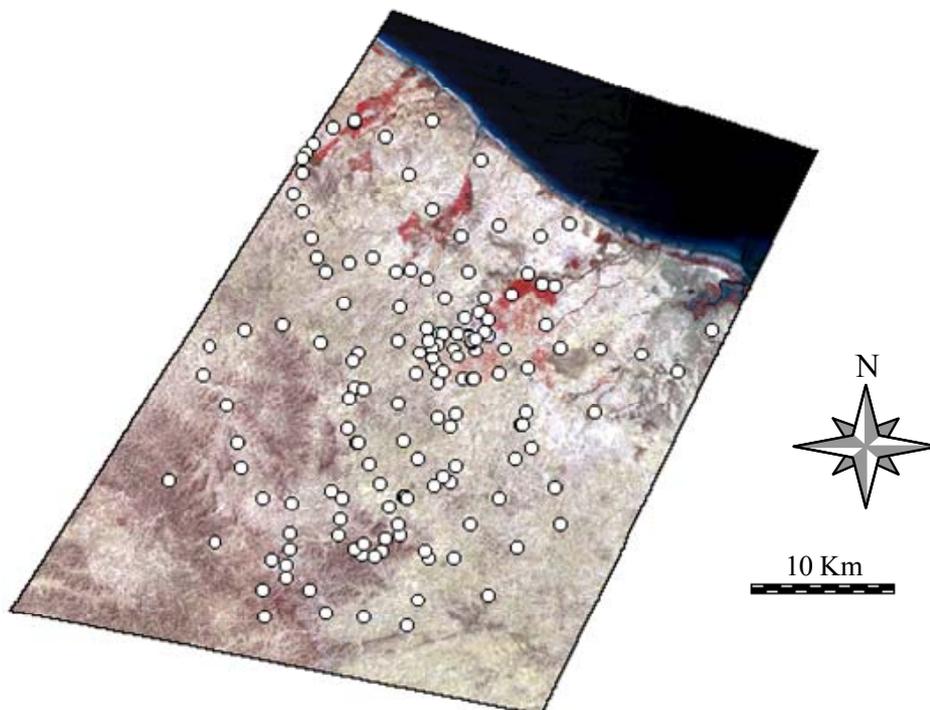


Figure 5.4.- Distribution spatiale des aires d'échantillonnage pour valider la classification des usages du sol.

La proportion totale de pixels correctement classifiés dans l'échantillon utilisé pour construire la matrice, est de 70% (table 5.4).

La matrice d'erreur (table 5.4) présente les erreurs d'omission et de commission qui sont élevés pour les cultures en sec des céréales et pour les cultures d'oliviers et amandiers associées avec des céréales entre les arbres. On note, aussi, que quelques pixels sont classés parfois comme vrais oasis mais en réalité il s'agit de cultures irriguées mais avec une plus petite densité de culture (dans l'oasis il va de soi qu'il existe deux ou trois étages de culture (herbacées, arboricultures surtout des grenadiers et palmiers). Les erreurs détectées dans la classification sont dues principalement au fait que les images correspondent à 1996 mais l'échantillonnage de validation est effectué au cours de l'année 2000, ce qui constitue un problème les cultures annuelles (horticoles, céréales, etc.) qui peuvent figurer durant l'année 2000 mais qui n'existent pas durant l'année 1996.

Table 5.4 : Matrice d'erreur pour la classification de l'occupation des sols à Mareth (1996), précision globale = 70% (EO = erreurs d'omission, EC = erreurs de commission)

	Image évaluée											Total	EO (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
1	615	0	27	1	16	0	0	0	0	0	22	681	9.69
2	0	332	39	0	17	0	11	2	0	2	14	417	20.38
3	12	32	1473	344	18	0	222	383	0	0	21	2505	41.20
4	0	0	231	1604	123	63	69	61	5	0	3	2159	25.71
5	0	0	2	69	619	0	0	0	0	0	0	690	10.29
6	0	0	0	0	0	185	0	0	0	0	0	185	0.00
7	0	10	77	126	3	0	554	214	0	0	0	984	43.70
8	0	15	220	91	18	0	529	911	24	0	1	1809	49.64
9	0	0	3	1	0	0	16	84	152	0	0	256	40.63
10	0	0	0	0	1	11	0	0	68	844	0	924	8.66
11	0	0	1	5	4	0	0	0	0	0	366	376	2.66
Total	627	389	2073	2241	819	259	1401	1655	249	846	427	10986	
EC (%)	1.9	14.65	28.94	28.42	24.42	28.57	60.46	44.95	38.96	0.24	14.29		

(1) *Sebkh*a ; (2) *Surface nue* (pierres, dunes, roches) ; (3) *Arbustes dégradés et terre abandonnée* ; (4) *Arbustes dégradés* (*stipa*, *Artemisia* & *annuelles*) ; (5) *Arbustes peu denses* ; (6) *Halophytes au sebkha* ; (7) *Agriculture extensive* (céréales) ; (8) *Arboricultures en sec* (oliviers, amandiers) ; (9) *Horticulture* (parfois serreiculture) ; (10) *Agriculture intensive en irriguée* (oasis) ; (11) *Milieu urbain*.

Dans une première étape, nous avons remarqué que l'image de 1996 est très similaire à la date de prospection de terrain en matière d'occupation de sol et pour travailler sur l'image 1985, on a dû éliminer quelques zones d'occupation actuelle qui n'existaient pas durant cette période par exemple l'extension de l'oasis du côté de la sebkha.

La mise en valeur au niveau du bassin d'Oued Ségui, hors des oasis et des périmètres irrigués, est basée essentiellement sur une agriculture de type traditionnel et familial typiquement extensif. Les cultures en irriguées, à partir des puits de surface ont une moindre importance du fait qu'elles sont pratiquées sur des superficies relativement réduites aux alentours de la ville de Mareth.

L'élevage extensif d'ovins et de caprins (parcours) est de loin la spéculation la plus importante, elle concerne l'ensemble de la zone. Dans la partie ouest, les habitations et les villages sont peu nombreux et la population qui y vit fait parcourir moutons et chèvres à proximité du domaine familial. L'exploitation des parcours de ces montagnes et glaciers n'est pas donc liée automatiquement au régime des pluies.

L'agriculture pluviale est limitée aux sols meubles qui reçoivent des eaux de ruissellement de façon naturelle ou par aménagement :

La culture d'oliviers, figuiers et de palmiers est pratiquée grâce au système des jessours, ouvrages en terre avec seuil empierré barrant les talwegs et les chenaux d'oueds alluvionnés. Ce système très ancien s'étend vers l'ouest du bassin et toute la chaîne de Matmata, au centre de la zone, la densité des jessours diminue. Même si les surfaces concernées sont très faibles, comparées au reste du bassin, l'efficacité de ce système en terme de gestion de l'eau et des sols est incontestable. Malheureusement, il devient un peu coûteux en main d'œuvre et laissé progressivement à l'abandon. L'érosion hydrique y fait alors des ravages avec les pertes en eau et en sol (BONVALLOT, 1980).

Le développement agricole, dans le bassin d'Oued Ségui, hors des oasis et des périmètres irrigués est typiquement extensif. Les faibles potentialités de production dues aux conditions climatiques marquées par l'aridité, ont rendu l'activité agricole une pratique basée principalement sur les cultures vivrières céréales, légumineuses et l'arboriculture diversifiée (oliviers, amandiers, figuiers, palmiers,...).

Du fait des caractéristiques géomorphologiques (topographie accidentée et affleurements dégradés,...) et climatiques (une pluviométrie variant entre 100 et 200 mm, irrégulière et torrentielle), le système de production est caractérisé par des aménagements hydro-agricoles traditionnels constitués par les jessours et tabias qui sont à la fois plantés et semés. La plus forte densité des Jessours est rencontrée à l'amont du bassin (Toujane & Tounine).

La superficie labourable occupe environ 10 % de la surface totale du bassin (Tableau 5.2).

### **5.3.3. Changements d'usage entre 1985 et 1996**

La comparaison des deux cartes d'utilisation du sol obtenues à partir de l'analyse des images satellites (Figs 5.4 y 5.3), a été entreprise sur tout le bassin versant, ce qui a permis une appréciation de la vitesse des évolutions passées ou en cours. Il faut souligner qu'une simple description de l'occupation des sols est insuffisante pour en saisir les interrelations, ce sont en effet les dynamismes internes et externes qui seront significatifs et pour ce faire l'analyse dans le temps est indispensable (85/96).

Les relations de transformation (dégradation, régénération) qui peuvent exister entre les systèmes écologiques, ont été analysées.

L'évolution des superficies d'une année à l'autre, correspondant aux différentes classes (superpositions des cartes : fig. 5.2 et 5.3), montre que les parcours sont relativement présents sur toutes les pentes. La présence des cultures diminue en fonction des pentes pour disparaître presque complètement à partir de 15% au profit des parcours permanents.

Table 5.5: Evolution de l'utilisation de sols (1985 -1996) . Unités en km<sup>2</sup>.

Occupation des sols	1985	1996	[1996-1985]
Sebkha	1.6065	3.0852	1.4787
Surface nue (pierres, dunes, roches)	1.5363	3.3111	1.7748
Arbustes dégradés et terre abandonnée	49.9554	33.7392	-16.2162
Arbustes dégradés ( <i>Stipa</i> , <i>Artemisia</i> & annuelles)	30.4434	34.4448	4.0014
Arbustes peu denses	47.8017	50.8509	3.0492
Halophytes à la sebkha	2.7207	4.131	1.4103
Agriculture extensive (céréales)	29.6253	17.5185	-12.1068
Arboriculture en sec (oliviers, amandiers)	8.3619	19.8459	11.484
Horticulture (parfois serreculture)	1.2375	3.951	2.7135
Agriculture intensive en irriguée (oasis)	2.7891	3.4614	0.6723
Milieu urbain	1.3023	3.0411	1.7388

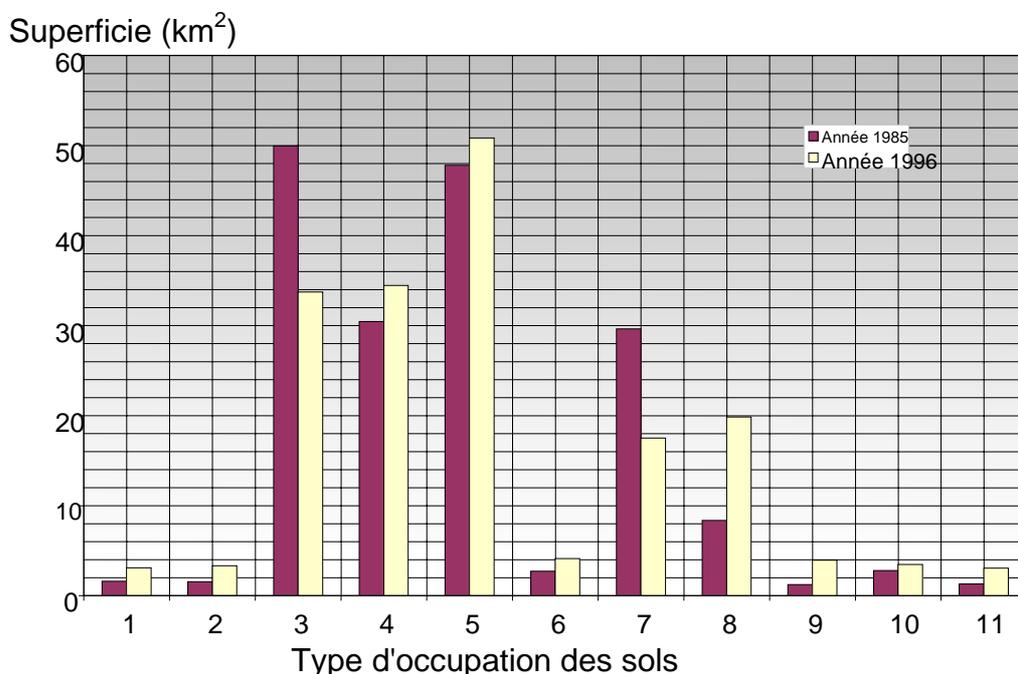


Figure 5.5: Evolution de l'utilisation des sols entre 1985 et 1996

(1) : Sebkha, (2) : Surface nue (pierres, dunes, roches), (3) : Arbustes dégradés & terre abandonnée, (4) : Arbustes dégradés (*Stipa*, *Artemisia* y annuelles), (5) : Arbustes peu denses, (6) : Halophytes à la sebkha, (7) : Agriculture extensive (céréales), (8) : Arboriculture en sec (oliviers, amandiers), (9) : Horticulture (parfois serreculture), (10) : Agriculture intensive en irriguée (oasis), (11) : Milieu urbain.

L'occupation des sols, en 1996 (Fig 5.2) et celle de 1985 (Fig 5.3), montre que les cultures pratiquées sur le bassin versant sont du type surtout traditionnel. L'évolution des superficies d'une année à l'autre, correspondant aux différentes classes montre que la surface occupée par les cultures céréalières a diminuée d'une manière remarquable ceci s'explique par l'extension de l'arboriculture et des cultures en irriguées. En outre, les années 90 correspondent à la période d'encouragement de l'état aux agriculteurs par des subventions pour creuser des forages dont un objectif d'extension des cultures en irriguées et surtout le maraîchage ce qui a induit actuellement à des problèmes de tarissement de la nappe et de salinisation des sols et par conséquent à des problèmes de désertification.

La population étant concentrée à Mareth et dans quelques petits villages, c'est essentiellement de là que s'organise l'occupation de l'espace, en particulier les cultures en irriguées, le parcours, et le travail dans les oasis.

La végétation naturelle existe peu dans le bassin versant à l'exception des quelques hectares qui subsistent à l'amont un fort surpâturage. Le nombre réduit de cultures en amont, à part les jessours serait dû aussi à un manque de connaissance de l'aspect utilisation des terres selon le relief, cette explication a été proposée par d'autres auteurs (Loom and Con, 1992) pour des situations comparables.

Dans ce bassin versant, l'espace est déjà largement occupé par les anciennes friches et de zones de parcours tandis que la zone NE de Mareth est occupée par des oasis qui rencontrent des problèmes de salinisation dus surtout à un mauvais entretien du réseau de drainage, entre cette zone et al mer c'est surtout la végétation halophyte qui couvre la surface de sol à des taux variables.

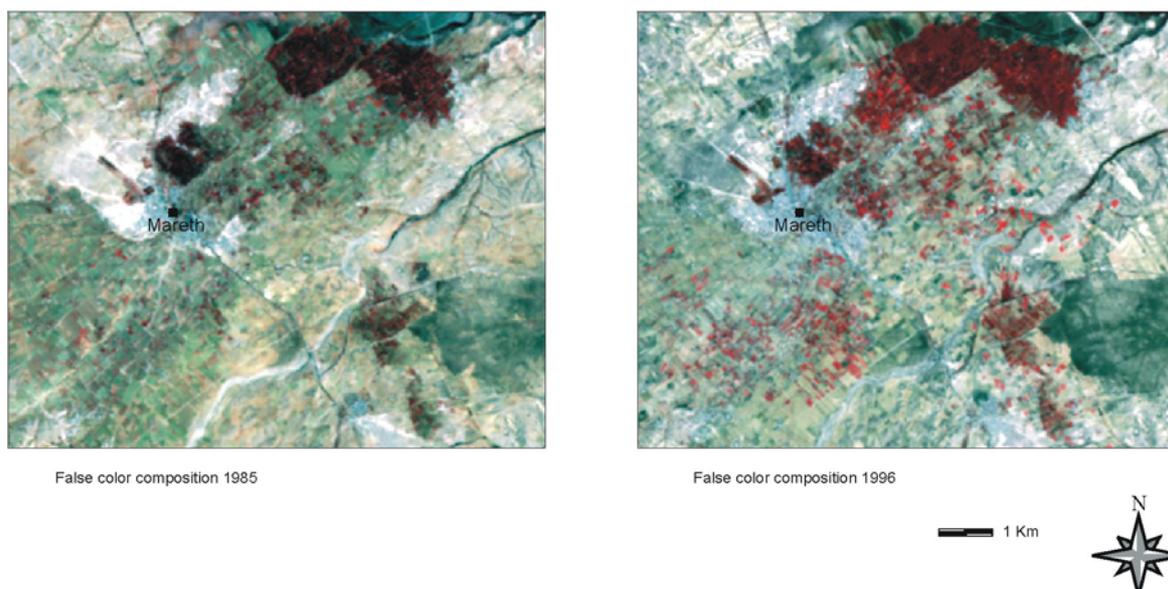


Figure 5.6: Zone irriguée en 1985 et 1996 dans la région de Mareth

Les grandes cultures et l'arboriculture représentent une grande partie de la superficie agricole utile. Les secteurs d'arboriculture sont surtout les jessours et la zone appelée Ségui de Mareth.

La vocation des terres n'est pas respectée dans plusieurs zones du bassin, en particulier à El Hmila et Ouarifin où beaucoup de terres de parcours se trouvent converties en zones de grandes cultures ou d'arboriculture avec toutes les conséquences de dégradation qui en résultent sur le sol.

#### **- Arboriculture**

L'arboriculture est réalisée exclusivement derrière les aménagements de petite hydraulique (Jessours et tabias), intéresse principalement l'olivier. Le plus souvent, elle est rencontrée dans la zone montagneuse et la zone de piémont (Hmila) et couvre une superficie estimée à 20 km<sup>2</sup>, soit 11.2 % de la superficie totale du bassin.

#### **- Oasis**

Les oasis représentent une activité agricole qui caractérise le milieu socio-économique de la région de Mareth et Zarat, ce sont des oasis à trois étages. Le grenadier (2<sup>ème</sup> étage) est très pratiqué avec une densité qui dépasse parfois 300 pieds par hectare. Les cultures sous-jacentes (luzerne, orge en vert et maraîchage) occupent des superficies moyennement limitées en raison d'un manque d'eau plus ou moins important.

### **- Cultures annuelles en sec**

Les superficies emblavées annuellement varient énormément en fonction des précipitations de l'automne et celles de l'hiver. Ces superficies sont consacrées essentiellement pour la céréaliculture et les légumineuses alimentaires.

Les principales cultures pratiquées sont essentiellement les céréales (orge et blé) et les légumineuses à graines (fève, petit pois, pois chiche, lentille).

Les grandes cultures sont importantes dans les zones d'épandage et sur les glacis limoneux des piémonts de la zone amont et dans la zone de Hmila.

### **- Cultures irriguées**

Les cultures en irriguées, à partir des puits de surface ainsi que des forages publics occupent une place relativement limitée, elles sont de l'ordre de 4km<sup>2</sup>. La majorité de la superficie irriguée est localisée dans les secteurs de Ségui Mareth.

Les principales cultures pratiquées sont l'arboriculture (pommier, poirier, grenadier,...), les cultures maraîchères (piment, tomate, carotte, melon, oignon,...) et les cultures fourragères (luzerne,...). Les contraintes majeures pour l'extension de ces cultures sont la qualité et la disponibilité en eau.

### **- Végétation naturelle**

Sur le Jebel (Toujane, Tounine, Ouarifin), la végétation est composée d'une steppe à sparte (*Lygeum spartum*) associée au romarin (*Rosmarinus officinalis*) vestiges d'une ancienne forêt de genévrier (LE HOUEROU 1959) et l'armoïse blanche (*Artemisia alba alba*). Le taux de recouvrement peut atteindre, dans les secteurs les moins accessibles 30 %. Une fois dégradée sous l'effet de la pression humaine ou dans les expositions Sud, l'alfa (*Lygeum spartum*) est relayée par une autre espèce un ligneux bas appelé *Gymnocarpos decander*.

- Les piémonts des Jebels et glacis : c'est le domaine des steppes à armoïse blanche (*Artemisia alba alba*) associée à des plantes annuelles en plus des groupements à base d'*Artemisia campestris* et *Astragalus armatus* ;

- Hmila et Zemlet Aziza : le type de recouvrement végétal varie ici en fonction de la nature du sol et de l'intensité de l'occupation humaine. Le *Rhantherium suaveolens* occupe les secteurs d'apport éolien sableux peu épais sur croûte calcaire alors que l'*Astragalus armatus* et le *Gymocarpos decander* se développent sur des sols rugueux avec parfois affleurement de

la roche tandis que l'*Artemisia campestris* et *Retama Raetam* occupent les anciennes friches (Table 5.6).

Tableau 5.6 : Surface des sols et végétation spontanées

Situation	Description	Type de végétation	CV%	UTM	
				X	Y
Zarat	Affleurement gypseux (Nord Est Zarat)	- <i>Zygophyllum album</i> - <i>Anthylis sericia / gymnocarpos decander</i> - <i>Astragalus armatus</i> - <i>Aristida pungens</i> - Quelques touffes de <i>lycium arabicum</i>	<5	605847	3706624
Sebkha Zarat		Végétation à base de <i>Salicornia arabica</i> ,	>20	627199	3724625
Zarat (partie Est du bassin)	Sol affleurant gypseux	- <i>Zygophyllum album</i> - <i>Gymnocarpos decander</i> - <i>Astragalus armatus</i> - <i>Legyum spatrum</i>	<5	627869	3724755
Entre Azaïza et Hmila	Surface rugueuse	<i>Gymnocapros decander, Arthrophytum scoparium, Salsola vermiculata , Astragalus armatus, Lygium spartum, Pitorentos tortuosos, Rhus tripartitum</i> (dans les bas fonds : <i>Artemesia compestrus</i> ) L'espèce dominante est : <i>Legyum spartum</i>	<5	615436	3714347
Hmila (entre village et oued Segui)	Affluent en surface caillouteuse, surface rugueuse avec pellicule des battance.	<i>Pitorentos tortuosos, Astragalus armatus, gymocarpos decander</i> , quelques touffes de <i>Rhanterium suovelens</i> . Plantation des oliviers et figuiers dans les bas fonds qui sont destinés aussi à la céréaliculture.	<20	609348	3709552
A 1 km de Tounine, à côté de la route	Surface rugueuse (pierres en surface)	<i>Astragalus armatus, Rhus tripartium, Rhanterium suovelens</i> Bas fond: céréaliculture et arboriculture (oliviers, figuiers, grenadier)	< 3	607928	3709093

D'une façon générale, la végétation est caractérisée par :

- une adaptation parfaite aux conditions du milieu ;
- un taux de recouvrement très faible dans l'ensemble ;
- un apport de matière organique au sol très faible qui reste toujours inférieur à 1 % ;
- une régression rapide sous l'effet de la mise en culture des terrains de parcours et l'accroissement des besoins de la population.

Figure 5.7: Plantes pastorales



*Artemisia alba alba*



*Artemisia compestris*



*Salicornia* (Zarat)



*Astragalus armatis* à (Hmila)



*Artrophytum scoparium* à Hmila



*Legyum spartum* à Azaïza



*Astragalus armatis* à Azaïza



*Salicornia* (Sebkha – Zarat)

### 5.3.4. Relations entre les usages du sol et la topographie et la lithologie

Nous avons constaté que la distribution spatiale des unités d'occupation des sols aussi bien en 1996 qu'en 1985 maintient une bonne relation avec les formes de relief (géomorphologie). Cette association a été démontrée par un test *chi2*.

Le test *chi2* a révélé qu'il y a une association entre la variable occupation du sol et les la géomorphologie. Cette association est démontrée par le test *chi2* :

- Mareth 96 :  $Q = 507064$  supérieur à la valeur de  $F = 148.2$  pour  $p < 0.001$  avec 99 degré de liberté, on rejette l'hypothèse d'indépendance.
- Mareth 85 :  $Q = 495638$  supérieur à la valeur de  $F = 148.2$  pour  $p < 0.001$  avec 99 degré de liberté, on rejette l'hypothèse d'indépendance.

De même, il s'est avéré que la distribution spatiale des différentes unités d'occupation des sols gardent une bonne relation avec la lithologie, le test *chi2* a prouvé que :

- Pour Mareth 85 :  $Q = 731152$  supérieur à la valeur de  $F = 148.2$  pour  $p < 0.001$  avec 77 degré de liberté, on rejette l'hypothèse d'indépendance ;
- Pour Mareth 96 :  $Q = 779408$  supérieur à la valeur de  $F = 148.2$  pour  $p < 0.001$  avec 77 degré de liberté, on rejette l'hypothèse d'indépendance.

L'analyse de la déviation de fréquence (table 5.6) montre que les sols à sebkha nue apparaissent dans des zones basses et sur des secteurs inondables. Le sol à végétation dégradée est aussi associé aux zones sèches à faible altitude, mais ils peuvent également apparaître sur le glacis, en tant que des sols à couvert végétal plus ou moins faible. Les zones de parcours à une couverture  $> 30\%$  principalement avec *Stipa*, sont associées aux versants de colline. Toutefois, les régions agricoles apparaissent sur des secteurs inondables et sur des zones à saturation potentielle près des lits des oueds. Les cultures en irrigué (oasis) occupent surtout le terrain plat à côté des sebkhas tandis que les emblavures (céréaliculture) sont surtout dans les secteurs inondables de Hmila et zone Ségui à côté des ravins et lits d'oued. Mais les deux occupations des sols montrent une déviation positive pour le glacis, ainsi elles apparaissent sur le glacis et sur de basses terres sèches (particulièrement récoltes de céréales).

Table 5.7 : Fréquence de déviation du test *chi*<sup>2</sup> entre la régionalisation et la classification de l'occupation des sols pour région de Mareth

<b>Occupation des sols</b>	Basse terre sèche	Chenaux de drainage	Glacis	Pied de pente	Lignes de partage	NE Sommet de pente	Zones inondables	Zones inondables fermées	SO Sommet de pente
Sebkha	2082	-187	-641	-1299	-366	-1357	2392	-97	-527
Surface nue (pierres, dunes, roches)	892	242	-2082	-1268	-306	-1087	3666	361	-418
Arbustes dégradés et terre abandonnée	18907	-1186	10985	-3982	-3150	-14311	651	-1856	-6059
Arbustes dégradés ( <i>Stipa</i> , <i>Artemisia</i> & annuelles)	2084	924	10955	4910	-1060	-10485	-3122	788	-4994
Arbustes peu denses	-31329	-1460	-17000	19597	8346	47386	-37005	-7293	18757
Halophytes au sebkha	593	194	-1880	-1079	-246	-893	3317	341	-347
Agriculture extensive (céréales)	5650	186	953	-6900	-1602	-7341	9781	1731	-2457
Arboriculture en sec (oliviers, amandiers)	776	1143	2904	-7353	-1077	-9615	11956	4554	-3288
Horticulture (parfois serreculture)	268	104	-2350	-1397	-219	-1196	4608	473	-292
Agriculture intensive en irriguée (oasis)	-301	42	-1130	-619	-140	-518	2192	670	-195
Milieu urbain	377	-1	-714	-610	-181	-584	1565	327	-179

Table 5.8: Fréquence de déviation de *chi2* entre la classification de l'occupation des sols & la lithologie pour la région de Mareth

Occupation des sols	Sebkha	Epanchage des limons récents	Dépôts éoliens	Argiles gypseuses rouges à vertes avec des passés conglomératiques	Limons rouges & beiges à concrétions calcaires	Dolomies massives grises à rognons de silex de Guettar	Argiles, dolomies, gypses et calcaire de kerker
Sebkha	-211	-1008	809	5607	-1772	-2476	-948
Surface nue (pierres, dunes, roches)	10426	-729	36	-4686	-2137	-2078	-831
Arbustes dégradés et terre abandonnée	-4420	-5186	-251	42821	-9829	-16242	-6894
Arbustes dégradés ( <i>Stipa</i> , <i>Artemisia</i> & annuelles)	-1283	-5278	-187	14802	126	-1837	-6343
Arbustes peu denses	-4180	-20697	-1235	-55340	-1833	54861	28425
Halophytes au sebkha	8066	460	-68	-4292	-1778	-1690	-698
Agriculture extensive (céréales)	-3803	3830	700	6005	10892	-12244	-5379
Arboriculture en sec (oliviers, amandiers)	-4654	11342	416	2143	10668	-14061	-5854
Horticulture (parfois serreculture)	-378	10050	-98	-4590	-2012	-2071	-901
Agriculture intensive en irriguée (oasis)	57	4985	-70	-2582	-1015	-980	-394
Milieu urbain	381	2230	-50	113	-1309	-1182	-183

## 5.4. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons : a) établi une classification des occupations des sols et leur distribution spatiale à partir de l'analyse d'images satellite; b) mesuré les changements de l'occupation des sols subis par le bassin du Ségui entre 1985 et 1996 ; c) évalué l'influence de la topographie et la lithologie dans la distribution spatiale de l'occupation des

sols et les changements subis. Tout cela a été fait dans un contexte de SIG moyennant le logiciel IDRISI.

Toutes ces analyses ont permis de ratifier les hypothèses de départ, c'est-à-dire que la zone de Ségui Mareth connaît depuis la fin des années 1980 et le début des années 1990, une dynamique importante, liée essentiellement à la multiplication rapide des forages individuels et la création de nouveaux périmètres irrigués autour de ces ouvrages.

En effet, l'image *Landsat TM* de 1996, que ce soit en lecture directe (image en fausses couleurs) ou après traitement (indice de végétation, classification, ...), montre une considérable extension des nouveaux périmètres irrigués réalisés entre 1985 et 1996, notamment dans la zone appelée Ségui Mareth ; le plus souvent à l'Ouest de la route reliant Gabès - Médenine.

La plus grande concentration des créations individuelles se situe toutefois aux environs de l'Ouest de la ville de Mareth.

L'analyse de la situation topographique des nouvelles créations privées montre dans la plupart des cas, sinon dans leur totalité, que ces créations nouvelles ont été faites sur des terrains bas.

La situation est d'autant plus préoccupante que les sondages privés sont de type artésien, donc fonctionnant sans arrêt.

Avec la multiplication rapide de ces sondages, on assiste à une extension géographique considérable des zones irriguées qui constituent désormais des unités «homogènes» occupant de grandes superficies. L'analyse de l'image satellite de 1996 montre à côté des périmètres irrigués à partir des sondages (reconnaissables à leur signature spectrale caractéristique) une forte densité de végétation.

Nous avons présenté des méthodes développées sur la base de classifications issues de l'interprétation des images satellites. L'application de ces méthodes a donné des résultats satisfaisants en ce qui concerne la répartition spatiale des classes. La classification supervisée a permis d'obtenir une carte d'occupation des sols, dont les résultats plus significatifs sont :

- i) Concernant les types d'occupation du sol les plus représentatifs du bassin versant sont :
  - Le système jessours à l'amont pour la valorisation des eaux de ruissellement pour des plantations arboricoles (surtout oliviers, figuiers et palmiers) ;

- Les fortes pentes de la zone montagneuse de Toujane sont occupées par une végétation spontanée destinée surtout pour le parcours ;
- Le glacis est occupé surtout par l'arboriculture en sec ;
- A Hmila où la surface est majoritairement rugueuse, les sols présentent un faible couvert végétal ont une vocation surtout de parcours et des plantations arboricoles en sec.
- Dans la zone de Ségui Mareth, on rencontre les périmètres irrigués (maraîchages et cultures sous serres) en association avec l'arboriculture ;
- A côté des oasis, c'est surtout les sebkhas avec ou non de végétations halophytes.

ii) Vérification des effets de la géomorphologie et de la nature lithologique des formations géologiques sur la répartition et l'occupation des sols.

Tous ces résultats montrent l'importance croissante des changements d'usage des sols. Beaucoup de ces changements sont à l'origine de problèmes de dégradation du milieu biophysique comme par exemple l'érosion des sols, leur salinisation, et aussi la perte de biodiversité.

Ces résultats ne sont pas l'exception dans le contexte des pays Méditerranéens, lesquels depuis la deuxième moitié du XXème siècle ont subis des changements d'occupation des sols très importants associés aux mouvements migratoires (aussi bien à l'intérieur des pays qu'entre différents pays), aux nouvelles formes culturelles et socio-économiques (sédentarisation, tourisme, passage de l'agriculture de subsistance à une commerciale, etc.).

## **DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS GENERALES**



## DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS GENERALES

Avant de présenter les conclusions générales, deux éléments seront envisagés :

- le point sur les recherches réalisées ;
- les voies pour les développements à venir.

### 6.1. - RECHERCHES REALISES

L'ensemble des recherches présentées dans ce travail peut être récapitulé en suivant l'enchaînement des étapes matérialisées chacune par un chapitre.

#### 6.1.1. - Présentation de la région d'étude

Le bassin versant de l'oued Ségui est très diversifiée, plusieurs types de paysages s'y étagent depuis l'amont les reliefs de calcaires de la chaîne des Matmata jusqu'à Djeffara à l'aval aux dépressions quaternaires du littoral, en passant par les piémonts et glacis où prédominent les lœss et limons sensibles à l'érosion.

Son climat, aride à saharien, se caractérise par une pluviométrie annuelle faible (entre 100 et 200 mm), irrégulière et par un bilan climatique déficitaire pour tous les mois de l'année. Les ressources en eau sont relativement limitées et en majorité non renouvelables, les nappes sont fortement sollicitées pour l'approvisionnement en eau potable et pour l'irrigation des surfaces cultivées. Dans le bassin versant de l'oued Ségui, les réserves en eau potables sont très réduites à cause des aléas climatiques (sécheresse) et du pompage intensif de l'eau pour l'agriculture moderne. La végétation est composée essentiellement de ligneux bas et de plantes annuelles sporadiques. Le milieu est utilisé principalement pour des cultures céréalières et arboricoles et comme pâturage extensif pour le cheptel (ovins, caprins, et camélidés dans la partie Est du bassin à côté des sebkhas).

Le bassin versant de l'oued Ségui affiche des caractères nettement prédésertiques et la pression croissante exercée sur ses ressources fragiles accentue le risque de désertification.

### 6.1.2. - Etude des sols

Une prospection systématique de tout le bassin versant de l'O. Ségui, basée sur l'observation de 107 fosses et l'analyse d'échantillons au laboratoire, a permis d'élaborer une carte pédologique dont l'analyse a montré la proportion des grands traits de la couverture pédologique de cette région.

Les sols ont une texture à dominante sableuse à sablo limoneuse et sont souvent riches en éléments grossiers (graviers, cailloux), très pauvres en matières organiques et leur structure est peu développée. Les accumulations calcaires et parfois gypseuses sont fréquentes (amas, nodules, concrétions, encroûtements et croûtes). La surface est surtout affectée par des phénomènes de battance sous l'action des précipitations, ce qui influe sur la vitesse d'infiltration des pluies par des ruissellements superficiels intenses surtout à l'amont du bassin. Les résultats montrent que la granulométrie de l'horizon de surface influe fortement sur l'aptitude à l'infiltration.

L'organisation de la couverture pédologique dépend en premier lieu de la lithologie et de la nature des formations superficielles, elles-mêmes le plus souvent caractérisées par des formes de relief (glacis, terrasses, dépressions fermées, etc.). Cette couverture se réduit à des affleurements de roches sédimentaires et de formations quaternaires qui en sont dérivées.

L'analyse des sols a permis de déterminer et de distinguer les sols qui présentent une valeur agricole à ceux qui n'en présentent pas :

Les sols à texture sableuse à sablo limoneuse qui sont les mieux appropriés pour l'aridoculture (arbres fruitiers, oliviers et figuiers) bénéficient des petites aménagements hydrauliques tels que les jessours qui permettent à la fois de lutter contre l'érosion hydrique au cours des années humides et d'avoir un appoint d'eau au cours des années sèches.

Les sols lœssiques sont anciens, exploités en système de jessours, occupés par les arbres fruitiers (oliviers, figuiers et palmiers).

Les sols peu évolués d'apport sont adaptés à une grande diversité de culture et sont très productifs, surtout lorsqu'ils sont irrigués ou bien quand la topographie est favorable, ils

peuvent être cultivés en céréales ou en arboriculture irriguée. Dans la partie accidentée et vallonnée, ces sols sont pâturés de manière extensive.

Les sols minéraux brut où le développement d'une agriculture intensive est possible sur des pentes faibles (olives, figues) tandis que sur les fortes pentes, le pâturage extensif contrôlé est l'utilisation la plus recommandée.

Les sols hydromorphes ou présentant des croûtes gypseuses constituent des facteurs limitant pour le développement de l'agriculture en général.

L'aridité marque les sols de cette région, la décomposition des roches est marquée surtout par la désagrégation due à l'amplitude thermique et par une faible altération due à la sécheresse, ce qui explique l'existence d'éléments grossiers et la rareté relative d'éléments fins. A une pluviométrie autour de 200mm, la nature des sols est étroitement liée aux données géomorphologiques et son utilisation varie d'une année à l'autre en fonction des précipitations enregistrées et surtout de leur répartition saisonnière.

### **6.1.3. - Erosion**

Dans le sud tunisien, de nombreux ouvrages de conservations des eaux et des sols ont été construits dont l'objectif de faire infiltrer dans le sous-sol presque toutes les pluies exceptionnelles. De nombreux facteurs, tant physiques qu'humains, font des zones arides en général et du bassin versant d'oued Ségui en particulier une zone particulièrement érodée. La transformation de l'occupation du sol rend les versants très vulnérables à l'action érosive de la pluie et du ruissellement entraînant des ravinements très fréquents.

En effet, le rôle joué par les jessours dans la lutte antiérosive n'est pas négligeable, si on se réfère aux quantités de sol et d'eau retenue derrière les barrages. Seulement, cette rétention est précaire et peut devenir nulle dès la destruction du seuil de rétention.

L'étude de l'érosion hydrique et de la destruction des jessours dans le micro bassin versant de Braouka (oued Ségui), nous a permis de bien montrer l'importance du rôle du ruissellement dans le phénomène de dégradation des sols. En fait, malgré la faible précipitation, les pluies souvent torrentielles provoquent un important ruissellement qui est à l'origine de l'érosion des sols et de la destruction des jessours. Ces phénomènes de dégradation causent une importante perte eau et en sol, réduisant ainsi le maintien et le développement du couvert végétal dans ces montagnes.

Les jessours comportent pas mal de défaillances qui sont à l'origine de leur destruction par débordement surtout lors des fortes pluies. Ces défaillances sont surtout :

- une disproportion entre la surface de rétention de Jisr et la surface de son impluvium ;

- une disproportion entre la capacité de rétention du Jisr et le volume d'eau arrivant ;

- une faible infiltration dans le Jisr, l'eau retenue par le barrage n'arrive pas à bien s'infiltrer ; ceci est dû essentiellement au dépôt des produits de l'érosion. Les couches supérieures de ses produits déposés sont formées, essentiellement, de limons très argileux et d'argiles. La strate, en surface, est composée d'une croûte (croûte dépositionnelle) qui réduit, considérablement, l'infiltration et l'eau retenue se perd donc par évaporation.

Ce chapitre nous a permis aussi :

- d'effectuer un passage important allant des aspects descriptifs de l'érosion par le biais de la compréhension des processus et de souligner les principaux facteurs liés surtout aux conditions climatiques du milieu, à la pluviosité (répartition spatiale et temporelle, intensité et durée), à la morphologie du bassin versant (forme, dimension, altimétrie, orientation des versants) et aux propriétés physiques du bassin (nature des sols, couverture végétale) qui conditionnent le comportement érosif du micro bassin versant et la diversité des processus intervenant dans le cycle de l'érosion et aussi leur complexité et leurs interrelations ;
- de fournir des résultats que nous avons utilisés pour établir une série de cartes sur la sensibilité des jessours à la destruction et l'étude de la fréquence du débordement.

#### **6.1.4. - Relation sol-topographie**

S'agissant du premier GIS dans la région de Mareth, nous avons porté une attention particulière à la régionalisation des plans d'information numériques à diverses échelles. En effet, face à la complexité et à la diversité de ces données, nous avons dû consacrer beaucoup d'effort à la collecte, la saisie, l'analyse et la gestion ainsi qu'à la maîtrise d'un grand nombre d'outils informatiques. Le point central de ces recherches a concerné l'élaboration de données numériques spatiales et temporelles, contenant les informations ayant un rapport avec la gestion environnementale et l'aménagement du territoire dans le bassin versant de l'Oued Ségui. Les variables utilisées pour caractériser la zone sont des indicateurs choisis parmi les variables pédologiques, lithologiques et topographiques disponibles qui visent à rendre compte des processus pédologique et hydrologiques observés dans toute la région de Mareth. La méthodologie a nécessité, par ailleurs, des approches ayant eu recours à divers traitements statistiques (régression, analyse en composantes principales).

L'analyse des interrelations entre les différents paramètres a permis :

- la création des documents spatiaux de base en format raster ou vecteur (la topographie, la couverture du sol, la lithologie, la pédologie, ... ) ;
- la superposition des différentes couches d'informations et leur interprétation en termes quantitatifs ont permis de mettre en évidence l'importance de la pente, la position par rapport au bassin et surtout la texture des sols soit dans les horizons de surface ou en profondeur ;
- certaines variables sont spatialement auto-corrélées entre elles et certains constituants des sols jouent un grand rôle dans la dynamique des milieux ;
- la variabilité spatiale des paramètres étudiés n'est pas aléatoire, elle est fonction de l'organisation du milieu ;
- L'utilisation du MNA ou DEM a permis de faire un rapprochement entre les variables de sol et les attributs de terrain ;
- Les analyses statistiques ont permis de vérifier les relations entre les unités du terrain de la régionalisation obtenue à partir des données purement topographiques, avec les propriétés des sols du bassin et leurs distributions spatiales : les résultats de l'ACP montrent une faible relation entre les propriétés du sol et leurs attributs topographiques (matrice de corrélations entre les variables topographiques et les facteurs de l'ACP), ainsi nous remarquons qu'il y a des variables qui sont liées et d'autres à corrélation faible (par exemple, l'argile en profondeur est surtout corrélée avec la position par rapport au bassin par contre la régionalisation est liée à la pente). Ceci a permis de confirmer, par exemple, que les argiles et les limons sont en profondeur tandis que les sables sont surtout en surface ce qui permet de déduire que la pente joue un rôle important lors des ruissellements

Une généralisation de cette approche est à essayer sur des secteurs plus grands car le volume des observations, allant rapidement croissant, devient à la longue très difficile de manipuler toutes les données. Par ailleurs un certain nombre de problèmes se posent : validité du choix des profils-types, homogénéité des données et d'autre part, elle permet un gain de temps considérable par rapport aux méthodes traditionnelles.

### 6.1.5. - Occupation des sols

Le présent travail a intéressé l'utilisation des données relevées et fournies par satellite pour caractériser l'environnement géomorphologique et dynamique en milieux fragiles entre deux périodes (1985 – 1996).

Nous avons présenté des méthodes développées sur la base de classifications issues de l'interprétation des images satellites. L'application de ces méthodes a donné des résultats satisfaisants et a permis d'obtenir des cartes d'occupation des sols. En effet, beaucoup de résultats ont été tirés :

Les types d'occupation du sol les plus représentatifs sont :

- le système jessours à l'amont, pour la valorisation des eaux de ruissellement, occupé par des plantations arboricoles (surtout oliviers, figuiers et palmiers) ;
- une végétation spontanée sur les pentes de la zone montagneuse ;
- l'arboriculture en sec sur les glacis ;
- les périmètres irrigués, en association avec l'arboriculture, dans la zone dite Ségui Mareth, les cultures irriguées sont restreintes à des parcelles alimentées par des puits de surface dans la zone de Ségui et des oasis de Mareth et Zarat ;
- une végétation halophyte autour des sebkhas et des oasis ;
- parfois, il est difficile de distinguer entre les occupations en céréales et les occupations en arboriculture associées avec des céréales. Aucun recouvrement n'indique qu'elle peut être séparée par classification sans difficulté ;
- la présence des cultures diminue en fonction des pentes pour disparaître presque complètement à partir de 15% au profit des parcours permanents (fig. 5.5) ;
- L'analyse statistique montre que les sols à sebkha apparaissent dans des zones basses et sur des secteurs inondables. Le sol à végétation dégradée est associé aux zones sèches à faible altitude, mais ils peuvent également apparaître sur le glacis, les zones de parcours sont souvent associées aux versants de colline. Toutefois, les régions agricoles apparaissent sur des secteurs inondables et sur des zones à saturation potentielle près des lits des oueds. Les cultures en irrigué (oasis) occupent surtout le terrain plat à côté des sebkhas tandis que les emblavures (céréaliculture) sont surtout dans les secteurs inondables de Hmila et zone Ségui à côté des ravins et lits d'oued.

Adaptées aux contraintes physiques et climatiques, l'utilisation des sols varie d'une année à l'autre en fonction des précipitations enregistrées et surtout de leur répartition saisonnière. L'exploitation des terres repose principalement sur une longue expérience des agriculteurs

adaptée aux conditions physiques de la région. Le système de l'utilisation des sols n'éprouve aucune concurrence entre la céréaliculture et l'activité pastorale, mais on note plutôt une complémentarité pour subvenir aux besoins des agriculteurs et également ceux du cheptel. Notons aussi que dans cette zone l'extension oasisienne récente, faite la plupart du temps de façon non contrôlée, fait subir aux ressources en eau et en sol, ainsi qu'au paysage, des transformations profondes et irréversibles.

## 6.2. - PERSPECTIVES

Cette méthode qui couple à la fois données spatialisées (topographie, ...) et données ponctuelles (relevés de terrain sur les sols) s'exprimant en terme de distribution permet d'optimiser le travail de recherche sur le terrain et de développer une modélisation de la distribution des sols rendue possible par l'utilisation de GIS. Cette modélisation pourrait s'avérer très efficace pour une extension cartographique ultérieure à partir des données pédologiques existantes. Il est vrai que beaucoup de mesures sont de nature ponctuelle, c'est à dire que l'échantillon est de taille négligeable par rapport à l'étendue prospectée. La connaissance de la variabilité des propriétés du sol reste une difficulté majeure dans la prévision du fonctionnement du sol à l'échelle régionale.

Pour lutter contre le phénomène de l'érosion, il est urgent de définir et d'élaborer de nouveaux modes de gestion durable de l'eau et des sols, à travers l'analyse du fonctionnement et de l'aménagement de bassins versants. La modélisation du fonctionnement des petits bassins versants permet d'avancer dans la recherche de solutions adaptées aux conditions spécifiques de différents sites pour répondre aux problèmes d'environnement ou d'impact des aménagements dans toute la chaîne de Matmata.

Les risques qui pèsent sur la conservation des ressources en eau et en sol des régions arides vivant de l'agriculture en font une thématique prioritaire, à la fois scientifique et d'aménagement.

### 6.3. - CONCLUSIONS GENERALES

Les facteurs que nous venons de voir dans le bassin de l'oued Ségui, se conjuguent pour générer une dynamique du milieu allant dans le sens de la dégradation. Cette dynamique de dégradation est définie comme un processus d'attaque du sol par différents facteurs dont la conjugaison et la permanence rend cette région peu fertile en une terre stérile. Les contraintes physiques et climatiques constituent, dans la plupart des cas des facteurs favorables.

L'organisation de la couverture pédologique dépend surtout de la lithologie et de la nature des formations superficielles, elle est liée aux données géomorphologiques (collines, plateaux, dépressions et plaines littorales). Les sols du bassin d'oued Ségui sont en général fragiles, et ce pour plusieurs raisons : les précipitations irrégulières et souvent violentes favorisent l'érosion ; l'importance des pentes dans les nombreux secteurs de collines et de montagnes aggrave le phénomène ; les températures élevées accélèrent la minéralisation de la matière organique ; le couvert végétal est souvent réduit à cause de la dureté du climat et des actions anthropiques, et de ce fait, protège mal le sol.

La contribution à l'étude de l'érosion hydrique et la destruction des jessours dans le micro bassin versant de Braouka a permis de bien montrer l'importance du rôle du ruissellement dans le phénomène de désertification. En effet, malgré des précipitations faibles, les pluies souvent torrentielles provoquent un important ruissellement qui est à l'origine de l'érosion hydrique des sols et de la destruction des jessours. L'érosion s'effectuait d'une façon lente et discrète et les résultats ne sont bien perceptibles que lors des pluies exceptionnelles. Mais ceci n'élimine pas le rôle des actions anthropiques, bien au contraire, l'homme par ces interventions a contribué à une importante accélération de l'érosion hydrique des sols.

La conservation des sols et les systèmes de culture dans le bassin d'oued Ségui ont été perturbés depuis plusieurs années, car on ne prend pas compte surtout des particularités bioclimatiques et des contraintes physiques de la zone. L'érosion des sols dans le bassin versant de l'O. Ségui impose des coûts importants en termes de réduction de la productivité des terres et des conséquences à l'aval qui se manifestent par le tarissement de la nappe et la faible fertilité des sols.

Enfin, un point important de ce travail est la constitution d'une base de données sur la région de Mareth intégrant des données multi source (données de télédétection et données

cartographiques diverses) constituant une monographie du tout le bassin versant qui sera utile pour les prochaines études sur la chaîne de Matmata et la plaine de la Djeffara. Les documents produits à référence spatiale (topographie, couverture du sol, lithologie, pédologie, hydrogéologie) serviront comme support de base pour toute étude ultérieure et permettront à des utilisateurs de SIG et aux gestionnaires un accès facile et la mise à jour.

Pour prévenir le risque d'arriver à la limite absolue des ressources essentielles, il est urgent de repérer les bases dynamiques d'un environnement viable, susceptible de générer un développement durable, suffisamment fort pour répondre aux besoins croissants de la population actuelle, sans fragiliser ni hypothéquer l'avenir.



## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**



**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- AKRIMI, N., ABAAB, A. (1991), Données générales sur la désertification en Tunisie. Revue des régions arides, numéro spécial, 9-13.
- ALAYA, K., Viertmann, W., y Waibel, T. (1993): *Les tabias*, Direction générale des forêts (Ministère de l'Agriculture), Tunis.
- ARABI M., 1991 – Influence de quatre systèmes de production sur le ruissellement et l'érosion en milieu montagnard méditerranéen, Méda, Algérie. Thèse doct. Grenoble 272 p.
- BAAKA, M. (1998): Stabilité mécanique des digues des jessours et exploitation de la margine en zones arides, Projet de fin d'études de technicien supérieur, IRA, Médenine.
- BELBIN, L. (1991). PATN Technical Reference. CSIRO, Canberra, Australia.
- BEVEN, K.J. y M.J. KIRKBY (1979). A physically based variable contributing area model of basin hydrology. Hydrological Sciences Bulletin 24, pp. 43-69.
- BOER, M.M. (1999). Assessment of dry land degradation: linking theory and practice through site water balance modelling. Dissertation Physical Geography Dep., Utrecht University, Utrecht The Netherlands, 291p.
- BOER, M.M., G. DEL BARRIO, y J. PUIGDEFABREGAS, (1996). Mapping soil depth classes in dry Mediterranean areas using terrain attributes derived from a digital elevation model. Geoderma 72, pp. 99-118.
- BOERS Th., y J. BEN-Asher 1982. A review of rainwater harvesting. *Agri. Water Manag.*, 5, 145- 158.
- BONVALLOT J., 1986 – Tabias et jessour du sud tunisien. Agriculture dans les zones marginales et parades à l'érosion. Cah. IRD pédol., 22,2, pp : 163-172.
- BONVALLOT, J. (1986): Tabias et jessour du Sud tunisien — agriculture dans les zones marginales et parade à l'érosion, in: Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXII, n<sup>o</sup>2, pp.163-171, Paris.

- BOURGES J., FIORET C., GIRARD G., 1984 – Dynamique de l'eau sur un glacier du sud tunisien (type Ségui). IRD, CEPE/CNRS, Montpellier, multigr, 86 p.
- Bulletin de la Direction des sols, 1989 : Note sur la méthodologie d'élaboration des cartes de classement des terres à vocation céréalière.
- Bulletin FAO, 1976: A framework for Land evaluation.
- C.SYS, 1980 : Land evaluation part I - II - III ; Faculté Agronomique de Gand - Belgique.
- Cah. ORSTOM, s&. Pédol., vol. XXII, no 2, 1986 : 123431*
- CAMPBELL, J.B. (1996). Introduction to Remote Sensing. London: Taylor & Francis.
- CASENAVE A., VALENTIN C., 1989 – Les états de surface de la zone sahalienne, influence sur l'infiltration. Editions IRD, Paris, pp : 14-179.
- CHAHBANI, B. (1990): Contribution à l'étude de la destruction des jessours dans le Sud tunisien, in: Revue des régions arides, n° 1, Publications de l'IRA, Médenine.
- CHAHBANI, B. (1992): Dynamique des phénomènes éoliens et techniques anti-érosives dans les régions prédésertique de la Tunisie, Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, Université de Gent.
- COINTEPAS, J. P., cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXI, n°2, 1974 : 145-170, - Application d'une analyse multivariable à quelques problèmes de pédogenèses.
- DEL BARRIO, G., M.M. BOER, y J. PUIGDEFABREGAS (1996). Selecting representative drainage basins in a large research area using numerical taxonomy on topographic and climatic raster overlays. In: Rumor, M., R. McMillan, & H.F.L. Ottens, eds. Geographic information. From research to application through cooperation. Amsterdam: IOS Press, pp. 398-407.
- Direction de CES., 1995 - Guide de conservation des eaux et du sol. Tunis, p 273.
- EL AMAMI, S. (1984): Les aménagements hydrauliques et hydro-agricoles en Tunisie, Centre du recherche du génie rural, Tunis.
- ESCADAFAL R., MTIMET A., ASSELINE., 1986 J – Etude expérimentale de la dynamique
- ESCAFAL, R. 1989. Caractérisation de la surface des sols arides par observation de terrain et par télédétection. Applications : exemple de la région de Tataouine (Tunisie). Etudes et Thèses ORSTOM, Paris 317 p.
- FAKHFAKH M., & LACLAVERE G ., (1979), Les atlas jeune Afrique, atlas de Tunisie ; éditions. J. a 72 pp.
- FAO (1977). Crop water requirements. FAO Irrigation & Drainage Paper N°24, FAO, Rome, 143 pp.

- FAUCK, R., EZ. MAKHLOUF, M.S., BACHTA, M., LAAMARY, Y A. MAROUANI. (1991). Rapport d'évaluation sur les techniques de CES en Tunisie. D-CES / Projet PNUD/FAO Tun 86-020.
- FERSI, M. (1981). Aperçu sur le régime hydrologique des oueds du Sud tunisien. 1er Congrès des sciences de la terre, Tunis, 28/9-4/10/1981.
- FLORET, C et PONTANIER, (1982) : "L'aridité en Tunisie présaharienne : climat, sol, végétation et aménagement". ORSTOM, Paris, 544 p.
- FLORET, C. MTIMET A. & PONTANIER, R. 1989. Régime hydrique et sensibilité à l'érosion de systèmes écologiques de la zone aride. Cah. ORSTOM, Sér. Péol., Vol. XXV, 1-2 : 53- 69.
- FLORET, C., MTIMET, A., y PONTANIER, R. (1990). Régime hydrique et sensibilité à l'érosion de systèmes écologiques de la zone aride (Tunisie). *Cahiers ORSTOM série Pédologie*, 24 (1-2) : 53- 69.
- FLORET, C., y PONTANIER, R. (1982). L'aridité en Tunisie présaharienne: Climat, sol, végétation et aménagement. ORSTOM, Paris, 544pp.
- FLORET, C., y PONTANIER, R. (1982): L'aridité en Tunisie pré saharienne - climat, sol, végétation et aménagement, Travaux et documents de l'ORSTOM, n<sup>o</sup>1 50, Paris.
- FLORET, CH., LE FLOC'H, E., ET PONTANNIER, R. (1976), Carte de la sensibilité à la désertification en Tunisie centrale et méridionale (processus de dégradation en cours des sols et de la végétation, éch. : 1/1.000.000). Sols de Tunisie n<sup>o</sup>8, 4-68, 1 carte couleur.
- FLORET, CH., PONTANNIER, R. (1982), L'aridité en Tunisie présaharienne, climat, sol, végétation et aménagement. Trav. Docum. ORSTOM, 150, 544 p.
- G. Gilbank. Introduction à la géographie générale de l'agriculture. Collection géographie, Masson et Cie, Paris. 1974.
- GABRIELS, D., De BOODT M., y MINJAUW, W. (1973). Description of a rainfall simulator for erosion studies. Med. Fak. Landbouw. Rqksuniv. Gent, 37,294-303.
- GOSSELIN M. 1939. L'hydraulique en Tunisie. Archives de L'Institut Pasteur de Tunis, Tome III.

- HARRIS, H. (1991). Implications of climatic variability. In: Harris, H., Cooper, P.J.M., y Pala, M. (Edits.), Proceedings of the Symposium "Soil and crop management for improved water use efficiency in rainfed areas", 21-34, ICARDA, 357 pp.
- HENIA, L. (1993). Climat et bilans de l'eau en Tunisie: Essais de régionalisation climatique par les bilans hydriques. Publication de l'Université de Tunis J série Géographie, 391 pp.
- HENIN S., 1976. Cours de physique du sol. Tome 1 & 2 ORSTOM-EDITEST.
- HILLEL D., 1974. L'eau du sol, principes et processus physiques. Vder, 288 p.
- HORTON, R.E. (1932). Drainage basin characteristics. Trans. Ame. Geo. Uni., 13, 350-361.
- HUTCHINSON, M.F. (1989). A new procedure for gridding elevation and streamline data with automatic removal of spurious pits. Journal of Hydrology 106, pp. 211-232.
- ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas) (1996). ICARDA's strategy.
- IRA, ICARDA (1993): Diagnostic physique et socio-économique du bassin versant d'Oued Graguer (Sud-Est Tunisie), Projet de recherche — développement sur la gestion des ressources dans les régions sèches d'Asie d'Ouest et d'Afrique du Nord, IRA, Médenine.
- JAIN, S.K., CHOWDARY, H., SETH, S.M., y NEMA, R.K. (1997). Flood estimation using a GIUH based on a conceptual rainfall-runoff model and GIS. *ITC Journal*, 1, 20-25.
- K. P. S. King / FAO, classification des terres aux fins d'aménagement des bassins versants <http://www.fao.org/DOCREP/006/AD071F/AD071f01.htm>
- KASSAB A. & SETHOM H., (1980), *Géographie de la Tunisie. Le pays et les hommes*, Tunis, Publication de l'Université de Tunis, 278 p.
- KASSAB, F. (1979). Les fortes pluies en Tunisie. Publication de l'Université de Tunis 1, série Géographie, 234.pp.(in press).
- KHATELLI, H. (1996), Erosion éolienne en Tunisie aride et désertique, analyse des processus et recherche des moyens de lutte. Thèse doct. d'Etat, Université de Gent, Belgique, 180 p.
- LAFFAT, F., OUESSAR, M., Y AZAQ, K. (1996). Pour un partenariat dans la réhabilitation des *jessours* en zones arides : Cas du bassin versant d'Oued Kef-Chern (Douiret,

- Tataouine). In: Séminaire International de l'IRA (Médénine): Acquis scientifiques et perspectives pour un développement durable des zones arides.
- LATHAM, M., cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXI, n°1, 1984-1985 : 119-122, - Etude de la couverture pédologique : ses implications au niveau des problèmes d'aménagements.
- LE FLOC'H, E. 1986. Carte bioclimatique de la Tunisie Sous la direction de M. Gounot, C.N.R.S.
- LE HOUEROU, H.N. (1969). La carte phytocéologique de la Tunisie centrale et méridionale au 1/500.000. ORSTOM, Paris.
- LE HOUEROU, H.N., (1991). Rangeland management in Northern Africa and the Near East : Evolution, trends and development outlook. *4ème CITP*, Montpellier (France) 22-26/04/1991. Tome 1: 545-553.
- LOOMIS, y D.J., Connor. Water management in irrigated agriculture. In crop ecology: productivity and management in agriarlttrral systems.378-399. Combridge University. Press. 1992.
- MANNAERTS, Ch. (1992). Assessment of the transferability of laboratory rainfall-runoff and rainfall soil loss relationships to field and catchment scales: A study in the Cape Verde islands. Ph. dissertation, University of Ghent, Belgium, 202 pp.
- MARKHAM, B.L. y BARKER, J.L. (1986). Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectance and at-satellite temperatures. Landsat Technical Notes 1.
- MEAT(1994): Atlas du gouvernorat de Gabès, Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire, Tunis.
- MELLOULI, H. (1996). Modification des caractéristiques physiques d'un sable limoneux par les effluents (*margines*) des moulins à huile d'olive: Incidence sur l'évaporation. Thèse de Doctorat, Université de Gand, Belgique, 255 pp.
- Mini. Agri. (Ministère de l'Agriculture) (1 990a). La stratégie nationale de la conservation des eaux et du sol (1990 - 2000). 29 pp.
- Mini. Agri. (Ministère de l'Agriculture) (1 990b). La stratégie nationale des ressources en eau (1990-2000).72 pp.
- MOORE, I.D. y G.J. BURCH (1986). Physical basis of the Length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. Soil Science Society of America Journal 50, pp. 1294-1298.

- MOORE, I.D., P.E. GESSLER, G.A. NIELSEN, y G.A. PETERSON (1993). Soil attributes prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal* 57, pp. 443-452.
- MOORE, I.D., R.B. GRAYSON, y A.R. LADSON (1991). Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and ecological applications. *Hydrological Processes* 5, pp. 3-30.
- MOUNIR, I. (2000): Aménagement optimal des bassins versants des Zeuss-Koutine, Rapport de stage, Ecole Supérieure d'Agriculture de Mograne.
- MOUSSA M. & TALBI M. 1997. Principes d'identification et caractérisation des sols par télédétection, Session de recyclage régionale sur la télédétection et suivi de la désertification ; 4p, IRA/ACSAD (document en arabe) ;
- MOUSSA M. 1994. Influences des techniques culturales sur le ruissellement & l'érosion dans les Rougiers de Camarès (Aveyron) ; Mémoire d'ingénieur, Montpellier France, 56p + annexes
- MOUSSA M., 2000. Evaluacion de suelos: caso del oasis de Mareth, sur Tunes; 22p + annexos (Trabajo de Investigacion, DEA Universidad de Almeria, Espagne);
- MOUSSA M., CHAHBANI B., HERMOSILLA J., GARCIA E ., & LANGA C. (2006) ; I.S.B.N 84-370-6420-1 ; La sebkha de Mehabeul, Tunisie ; paysage & patrimoine rural ; 76 pp.
- MOUSSA M., ROOSE E., DENONI G. & NOUVELOT J.F. 1996. Influence des techniques culturales sur l'érosion et le ruissellement (cas du sud Aveyron, France). *Acquis scientifiques et perspectives pour un développement durable des zones arides Revue des Régions Arides* ISSN 0330, Numéro spécial ; p 159 – 169,
- MTIMET A, DEROUCHE C., LOUATI M.,, 1997 - Etude de l'érosion en Tunisie. Tunis, 120 p.
- MTIMET A. DEROUCHE C., 1996 - Evaluation des paramètres physico-hydriques de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique. Tunis, p100.
- MTIMET, A. (1983). Contribution à l'étude pédologique des limons de Matmata (Sud tunisien). Thèse de spécialité, Univ. Paris VI.
- MTIMET, A. (1987). Evaluation de la sensibilité des sols arides à l'érosion hydrique (étude de simulation de pluies sur les sols d'un microbassin type jessours - Matmata). ES 240, DS, Tunis. pp.

- MTIMET, A. (1987). Evaluation de la sensibilité des sols arides à l'érosion hydrique (étude de simulation de pluies sur les sols d'un microbassin type jessours - Matmata). ES 240, DS, Tunis. pp.
- MTIMET, A. (1992). Les lœss sahariens et l'amélioration de leurs propriétés géotechniques: Cas des Matmata et de leurs bordures (Tunisie). In: Le Floc'h E., M. Grouzis, A. Cornet, y J.C. Bille (Edts), L'aridité une contrainte au développement, 387-400, Didactiques / ORSTOM.
- MZABI, H. (1988). La Tunisie du Sud-Est: Géographie d'une région fragile marginale et dépendante (2 Tomes). Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Tunis 1, Tunis.
- MZABI, H. (1988): La Tunisie du sud-est - géographie d'une région fragile marginale et dépendante, Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences Humaines et Sociales, Tunis.
- NAHAL, I. (1987). Desertification in the Arab world (in Arabic). Technopresse, Beyrouth, 263 pp.
- PERENNES, J.). 1993. L'eau et les hommes au Maghreb: Contribution à une politique de l'eau en Méditerranée. Editions Karthala, Paris,
- PUIGDEFÁBREGAS, J., G. DEL BARRIO, M. M. BOER, L. GUTIÉRREZ y A. SOLÉ. 1998. Differential responses of hill slope and channel elements to rainfall events in a semi-arid area. *Geomorphology*, 23: 337-351.
- PUIGDEFÁBREGAS, J., SOLÉ, A., GUTIÉRREZ, L., DEL BARRIO, G. y BOER, M. 1999. Scales and processes of water and sediment redistribution in drylands: results from the Rambla Honda field site in SE Spain. *Earth Sciences Reviews*, 48:39-70.
- QUINN, P., K. BEVEN, P. CHEVALLIER y O. PLANCHON (1991). The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. *Hydrological Processes* 5, pp. 59-79.
- ROOSE E., 1994 - Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse, et de fertilité des sols (GCES). Bulletin pédologique de La FAO 70, p 200.
- ROOSE E., 1995 - Une nouvelle Stratégie de lutte antiérosive en zones méditerranéennes. Paris, pp : 146-178
- SAKISS, N., ENNABLI, N., SLIMANI M.S, Y BACCOUR H. (1994). La pluviométrie en Tunisie a-t-elle changée depuis 2000 ans ? Recherches de tendances et de cycles dans les séries pluviométriques. INAT4NM/ANPE, Tunis.

- SHARMA, K.D., MENENTI, M., HUYGEN, J., Y FERNANDEZ, P.C. (1996). Distributed numerical rainfall runoff modeling in an arid region using thematic mapper data and geographical information system. *Hydrological Processes*, 10, 1229-1242.
- SNANE, M.H., Y MECHERGUI, M. (1996). Culture pluviales des montagnes arides en Tunisie: rôle et dimensionnement des jessours. *Sécheresse*, 3(7): 203-208.
- SNANE, M.H., Y MECHERGUI, M. (1996). Culture pluviales des montagnes arides en Tunisie: rôle et dimensionnement des jessours. *Sécheresse*, 3(7): 203-208.
- SOLE A. ; MOUSSA M., & CANTON Y. 2000. Cadre général physique des oasis Tunisiens de Mareth et Fatnassa, IMAROM Working Paper Series n° 7. 9p,
- SOLÉ A., MOUSSA M., CANTON Y. BOER M., DOMENE M.A. & PUIGDEFABREGAS J., 2001. Bio-physical assessment of the Tunisens oases, Migration agricultural transformations resource exploitation in the oases of Morocco and Tunisia ; p 167-206,
- SOLE, B. A., CANTON, Y., BOER, M., MOUSSA, M., MIGUEL, A.D., SANJUAN, M., PUIGDEAFBREGAS, J. Biophysical assessment of Tunisian oases, pp160-206; IMAROM Project (Migration, agricultural transformations and natural resource exploitation in the oases of Morocco and Tunisia.
- superficielle d'un sol aride. IRD Paris, 63 p.

[www.environnement.nat.tn/pressions.htm](http://www.environnement.nat.tn/pressions.htm)

- ZOLLWEG, J.A., GBUREK, W.J., Y STEENHUIS, T.S. (1996). SMORMOD - A GIS integrated rainfall runoff model. *Transactions of the ASAE*, 36(4): 1299-1307.

## **ANNEXES**

---

- 8.1. Description des profils de sols
- 8.2. Base de données de sol (0-30 cm & >30 cm).
- 8.3. Base de données de micro-bassin versant de Braouka
- 8.4. Base de données topographiques du bassin versant de l'O. Ségui
- 8.5. Lœss sahariens (coupe Matmata)
- 8.6. Les différentes classes de sols rencontrées en Tunisie
- 8.7. Abaque pour la détermination des étages bioclimatiques (le Houerou, 1959)
- 8.8. Glossaire
- 8.9. Données climatiques
- 8.10. Données topographiques et pédologiques
- 8.11. Liste des tableaux & figures



## 8.1. Description des profils de sols

### Zarat

Coordonnées **Z1** :

**X : 627222**

**Y : 3724572**

Position : une sebkha au S. E de la ville de Zarat, à coté de la route. Ce profil se trouve juste à la limite du BV de l'oued Ségui et du BV de l'oued Zigzaou.

Végétation : la surface présence une végétation salée (*Salicornia*) recouvrant plus que 25% de la surface totale

Description surface : sol travaillé et planté de palmiers



Hor	Prof. (cm)	Description :
Z1	0 – 6	Horizon humide, la structure est fragmentaire polyédrique subanguleuse et la texture est limono-sableuse. Présence de quelques taches salines apparemment du sel provoqué par la remontée capillaire, à la surface il y'a une pellicule blanche. La couleur est 7,5 YR 6/60, pas des racines, pas d'effervescence, présence de quelques concrétions gypseuses et pas d'élasticité.
Z1	6 – 15	Horizon humide, plus compacté que H1, l'observation de quelques racines fines, pas d'activité biologique d'origine animale. Présence des racines inertes, des concrétions gypseuses, la structure est idem que H1 (fragmentation polyédrique subanguleuse), La texture est limoneuse sableuse, pas d'effervescence, Couleur 7,5 YR 5/6
Z1	15 – 48	Horizon humide, structure et texture idem que H2, une forte concentration de concrétion gypseuse, pas de racine ni activité biologique ni effervescence, la transition n'est pas nette, couleur 7,5 YR 4/6
Z1	48 – 81	Horizon humide, peu élastique, faible effervescence et présence de concrétion gypseuse de taille plus au moins grande. La transition est nette, la texture est limoneuse sableuse, la structure est idem que H3, la couleur est 7,5 YR 4/4, présence de quelques micros pores et l'absence des racines.
Z1	81 – 108	Horizon humide, très peu élastique une faible effervescence. La structure est idem à celle du profil précédent, la texture est limoneux sableux argileuse et la couleur est 7,5 YR 4/6. Il y a quelques racines fines, quelques micro – pores et un faible gradient d'effervescence.
Z1	> 108	Horizon saturé, très élastique, faible effervescence, la texture est argilo-limoneuse, la structure est idem qu'au profil précédent, des concrétions gypseuses, et aucune activité biologique.

Coordonnées **Z2** :

**X : 626701**      **Y : 3724612**

Position : profil se trouvant dans un champ de céréaliculture sur un versant de petite colline qui diverse dans un Sebkhah au sud de Zarat,

Végétation : *Astragalus armatus*, *Salsola vermiculata* et *Legyum spartium*



Hor	Prof. (cm)	Description :
Z2	0 – 10	Horizon sec, texture sableuse à sableux limoneuse, structure fragmentaire subanguleuse et présence de quelques nodules gypseux revêtés pour une couche de calcaire. Présence de quelques racines dés annuelles, gravier de taille de 2 à 3 cm de Ø et des modules saumon.
Z2	10 – 22	Horizon sec, compacté, caractérisé par des nodules de gros diamètre d'origine mécanique provoqué par le travail du sol à l'aide d'un tracteur, la structure est massive à fragmentation polyédrique subanguleuse, la texture est idem que H1 et la couleur est 7,5 YR 6/4. Présence de quelques concrétions gypseuses, l'absence d'activité biologique.
Z2	22 – 53	Horizon très compacté, très sec, couleur 7,5 YR 7/2, la structure est fragmentaire subanguleuse, la texture est limono-sableuse, présente une forte effervescence et aucune activité biologique.
Z2	> 53	Horizon peu humide, avec une transition nette, une forte concentration de concrétion gypseuse, couleur 7,5 YR 7/4, la structure est idem que H3, la texture est limono-sableuse argileuse et des racines internes.

Coordonnées **Z3** :

**X : 625642**      **Y : 3724907**

Position : profil se trouvant dans l'oasis près d'un drain, c'est une parcelle mal entretenue et présentant 3 étages à savoir palmier, grenadiers, luzerne.



Hor	Prof. (cm)	Description :
Z3	0 – 25	Horizon humide, couleur 7,5 YR 5/4, forte effervescence, la texture est limono-sablo- argileuse et la structure est particulière à fragmentaire polyédrique subanguleuse. Il y a quelques racines dés annuelles et des racines inertes, faible densité.

Z3	25 – 69	Horizon très humide, couleur 7,5 YR 4/4, une effervescence plus ou moins forte, la texture est limono-argileuse et la structure est fragmentaire polyédrique subanguleuse. Présence de quelques racines inertes et des racines de tailles moyennes d'origine arboricole.
Z3	69 – 81	Horizon de transition presque saturé d'eau, la couleur est 7,5 YR 5/4 et ne représentant aucune effervescence. La structure est fragmentaire polyédrique subanguleuse, la texture est plus argileuse et une concentration des racines de tailles plus au moins grandes.
Z3	> 81	Horizon saturé d'eau, couleur est 7,5 YR 6/4 et présence des racines des palmiers. La texture est argilo- gypseuse de couleur blanchâtre et la structure est particulière à fragmentaire polyédrique subanguleuse.

---

## HAMILA

Coordonnées **HA1** :

**X: 610136**      **Y: 3710260**

Position : profil situé à Hmila, près de la route Mareth Tounine dans un champ labouré et présentant à la surface des mottes, situé à 100m au sud du lit de l'Oued Ségui.

Végétation : nouvelle plantation de Figuier.

Un gradient d'effervescence croissant.

Hor	Prof. (cm)	Description :
HA1	0 – 15	Horizon très sec, travaillé, couleur 7,5 YR 6/4, présence de graviers calcaires, une forte effervescence, un faible pourcentage de matière organique, des racines inertes et des nodules de calcaire. La structure est particulière et la texture est sablo-limoneuse.
HA1	15 – 32	Horizon très sec, la couleur est 7,5 YR 7/4, présence d'une forte effervescence, la structure est fragmentaire polyédrique subanguleuse et texture sablo-limoneuse. Présence des nodules calcaires et l'absence d'aucune activité biologique.
HA1	32 – 39	Horizon sec, présentant une croûte calcaire, une superposition des graviers et pierres sous forme lamineuse. Une forte effervescence et l'absence d'aucune activité biologique.
HA1	39 – 68	Horizon compacté avec des concrétions calcaires, quelques micropores, couleur 7,5YR 7/4, la structure est polyédrique subanguleuse, la texture est sablonneuse à sablo-limoneuse, quelques racines inertes et un gradient d'effervescence très important.
HA1	> 68	C'est un encroûtement calcaire avec des nodules et graviers calcaires. La couleur est 7,5YR 7/4, la structure est idem que H4 et la texture est sablo-limoneuse.

Coordonnées **HA2 :****X : 610747**      **Y : 3709715**

Position : à coté sud de l'Oued Ségui, sur le versant Nord de la colline, dans un champ

Végétation : palmiers, oliviers d'âge 20 ans.

Description surface : la surface présente des mottes.



Hor	Prof. (cm)	Description :
HA2	0 – 37	Horizon sec, travaillé avec labour profond, couleur 7,5 YR 7/4, la structure est sablo-limoneuse et la structure est particulière. La présence des nodules, des racines des annuelles et une forte effervescence.
HA2	37 – 122	Horizon limoneux sableux, peu humide, couleur 7,5 YR 6/6, une forte effervescence et l'absence des racines.

Coordonnées **HA3 :****X : 610710**      **Y : 3711815**

Position : juste à coté de l'Oued Ségui (40m au sud), face au Djebel Warifin, dans un ancien champ d'olivier qui date de plus que 30 ans.

Végétation : *Astragalus armatus*.

Description surface : sol travaillé, avec de petites mottes.



Hor	Prof. (cm)	Description :
HA3	0 – 37	Horizon sec, compacté, présence des racines fines, structure fragmentaire polyédrique subanguleuse, texture limono-sableuse, forte effervescence, quelques revêtements, des nodules calcaires, présence de micropores et une couleur de 7,5 YR 5/6.
HA3	37 – 50	Horizon de transition, couleur 7,5 YR 6/6, revêtement argileux à la surface, peu compacté, nodules calcaires, présence des racines, texture limono-sableuse et une structure polyédrique subanguleuse.
HA3	50 – 200	Horizon encroûté, forte effervescence, concrétions et revêtement calcaire, très compacté, traces des racines, couleur 7,5 YR 6/6, structure idem que H2, texture sablo-limoneuse et concrétion gypseuse.
HA3	> 200	Horizon présentant des galets de grosses tailles de 10 à 15 cm

Coordonnées **HA4 :****X : 610914**      **Y : 3711490**

Position : profil se trouve au sud de l'Oued Ségui, dans un champ d'olivier,

Végétation : oliviers et figuiers.

Description surface : des petites mottes en surface.

Hor	Prof. (cm)	Description :
HA4	0 – 16	Horizon sec, surface travaillée, couleur 7,5 YR 6/6, texture sablo-limoneuse, présentation des nodules calcaire, racines et chevelures des racines très fines. Un gradient croissant d'effervescence et structure polyédrique subanguleuse.
HA4	16 – 28	Horizon de transition, compacté, présentant des graviers calcaires, texture et structure idem que H1, couleur 7,5 YR 6/4 et forte effervescence.
HA4	28 – 53	Horizon très compacté, encroûté, un pourcentage important de calcaire, couleur 7,5 YR 8/4, texture limono-sableuse et structure polyédrique subanguleuse.
HA4	> 53	Horizon très compacté, quelques racines, forte effervescence, texture et structure idem et une Couleur de 7,5 YR 8/4.

Coordonnées **HA5 :****X : 610367**      **Y : 3713686**

Position : Profil se trouve dans un champ de palmiers à la rive gauche de l'Oued Ségui,

Végétation : présence aussi des oliviers et des amandiers.

Description surface : une pellicule de battance à la surface, produit de décantation.



Hor	Prof. (cm)	Description :
HA5	0 – 22	Horizon sec, tassé, d'apport d'origine colluviale, structure polyédrique fragmentaire subanguleuse, texture limono-sableuse, couleur 7,5 YR 6/6, présence de quelques racines, des nodules et graviers calcaire, forte effervescence, revêtement argileux et transition peu nette.
HA5	22 – 52	Horizon sec, compacté, couleur 7,5 YR 4/6, structure et texture idem que H1, quelques racines et forte effervescence.
HA5	> 52	Horizon compacté, sec, couleur 7,5 YR 7/6, structure et texture idem que HA5 : 22–52, présence des racines arboricoles et des effervescences.

Coordonnées **HA6** :

**X : 610239**      **Y : 3712826**

Position : profil se trouve dans un terrain non travaillé à l'Est de Djebel Warifin,

Végétation : *Astragalus armatus*, *Artemisia compistris*, *Artrophytum scoparium*.

Description surface : une pellicule de battance en surface avec une légère pente.



Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

HA6	0 - 24	Horizon sec, compacté, présence d'une pellicule de battance, transition nette, quelques traces de MO, racines fines, effervescence, quelques nodules et graviers calcaire, couleur 7,5 YR 6/6, texture limono-sableuse et une structure polyédrique subanguleuse.
HA6	24 - 67	Horizon sec, compacté, couleur 7,5 YR 6/6, revêtement calcaire, transition nette, présence de quelques nodules calcaires, pas des racines, structure idem que HA6 et une texture limono-sableuse.
HA6	67 - 74	Horizon de transition (pas d'échantillons), friable et une couleur de 7,5 YR 7/4.
HA6	74 - 104	Horizon sec, compacté, couleur 7,5 YR 7/6, pas des racines et des fortes concrétions calcaires.
HA6	> 104	Horizon sec, compacté, transition peu nette, pas des racines et une couleur de 7,5 YR 6/6

Coordonnées **HA7** :

**X : 610838**      **Y : 3712538**

Position : à coté d'un figuier et près de la rive gauche d'Oued Ségui vers Mareth.

Végétation : oliviers, figuiers, chiendent, *Artemisia compestris* et *astragalus armatus*.

Description surface : sol non travaillé, des travaux de CES



Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

HA7	0 - 22	Horizon sec, présente des micropores, des nodules calcaires, des racines fines, une forte effervescence et une couleur de 7,5 YR 6/6. La structure est fragmentaire polyédrique subanguleuse, la texture est limono-sableuse et la transition est nette.
HA7	22 - 67	Horizon sec, couleur 7,5 YR 7/6, forte concrétions calcaires et la présence de matière organique. La texture et structure est idem que HA7.

HA7 &gt; 67

Horizon humide, couleur 7,5 YR 4/6, présence des concrétions calcaire et la même texture et structure qu'au profil précédent.

Coordonnées **HA8 :**

**X : 612952**      **Y : 3712094**

Position : profil se trouve à la limite sud du B.V de l'oued Ségui dans la zone HMILA, dans une parcelle travaillée et possédant une nouvelle plantation.

Végétation : une nouvelle plantation.

Description surface : en surface, il y'a des grosses mottes.



Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

HA8 0 – 33

Horizon anthropique, sec, remué, travaillé, présence des grosses mottes, des graviers, des cailloux, une forte effervescence et aucune activité biologique. La structure est particulière à fragmentation polyédrique subanguleuse, la texture est limoneux-sableuse et la couleur est 7,5 YR 7/4.

HA8 &gt; 33

Horizon très compacté, sec, encroûtement calcaire avec forte concentration des graviers, cailloux et saumon, pas d'activité biologique, limono-sableuse, couleur 7,5 YR 8/4 et présence d'une forte effervescence.

Coordonnées **HA9 :**

**X : 612506**      **Y : 3711950**

Position : profil se trouve dans un champ travaillé, en lit de petit Oued (Cuvette)

Végétation : palmiers et oliviers.

Description surface : des grosses mottes en surface.



Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

HA9 0 – 13

Horizon humide, remué, d'apport hydrique, présence des racines fines et des graviers de 1 à 2cm de diamètre couleur 7,5 YR 4/6. La structure est fragmentaire polyédrique subanguleuse, la texture est limono-argileuse, une forte effervescence, des nodules calcaires et une transition peu nette.

HA9 13 – 44

Horizon humide, d'origine éolienne et hydrique, la couleur est 7,5 YR 4/6, des graviers calcaires et des traces de matière organique. La texture est sablo-limoneuse et la structure est fragmentaire polyédrique subanguleuse.

HA9 44 – 53

Horizon humide, présentant des concrétions et revêtements calcaires, une forte effervescence, des racines inertes et une transition nette. La

HA9	44 – 53	texture est limono-argilo-sableuse, la structure est idem qu'au profil précédent et une couleur de 7,5 YR 5/6.
HA9	53 – 68	Horizon humide, poreux, présentant des racines fines et une couleur de 7,5 YR 5/8. La texture est sablo-limoneuse et la structure est idem qu'au profil précédent.
HA9	68 – 95	Horizon de transition, humide, de transition nette et de couleur 7,5 YR 5/6. La texture est limoneux-argileuse, la structure est identique au précédent.
HA9	95 – 102	Horizon humide, poreux et avec une forte concentration des nodules calcaires. La transition est nette, la couleur est 7,5 YR 4/6, la texture est limoneux-argileuse, la structure particulière et il présente une forte effervescence.
HA9		Horizon des pierres d'origine hydrique (pierres d'Oued)

---

**Coordonnées HA10 :**
**X : 613518      Y : 3713480**

Position : profil se trouve entre la route de Mareth Tounine et l'Oued Ségui dans un champ travaillé, à rétention partielle.

Description surface : surface rugueuse.




---

Hor	Prof. (cm)	Description :
HA10	0 – 22	Horizon sec, compacté, à la surface existe une pellicule de battance, une forte effervescence, des chevelures des racines et des nodules et concrétions calcaires. La texture est limono-sableuse, la structure est fragmentaire polyédrique subanguleuse et la transition est peu nette.
HA10	22 – 106	Horizon sec, compacté, présentant des chevelures des racines, de couleur 7,5 YR 7/6 et une forte effervescence. La structure est idem qu'au profil précédent et la texture est limono-sableuse
HA10	> 106	Horizon sec, très compacté, la couleur est 7,5 YR 6/6, présence d'une forte effervescence et absence des racines et pores. Il possède la même structure et texture que l'horizon précédent.

Coordonnées **HA11 :****X : 612882**      **Y : 3712903**

Position : profil se trouve à 300m de la rive droite de l'Oued Ségui,

Végétation : oliviers et *Astragalus armatus*.

Description surface : A la surface, il y'a une pellicule de battance.



Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

HA11 0 – 24

Horizon sec, compacté, porte une concentration des racines des chiendents, une forte effervescence et une couleur 7,5 YR 7/4. La structure est fragmentaire polyédrique subanguleuse et la texture est limono-sableuse

HA11 24 – 89 et &gt; 89

Encroûtement calcaire de même structure et même texture que HA11, il possède une couleur 7,5 YR 7/4, présence des racines, forte effervescence.

Coordonnées **HA12 :****X : 612113**      **Y : 3712088**

Position : profil se trouvant dans une terrasse

Végétation : *Astragalus armatus*, *Piturontos tortuosos*, *Artemisia compestris*, *Gyminocarpos decander* et *Salsola vermiculata*

Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

HA12 0 – 14

Horizon sec, d'apport éolien et hydrique, une forte densité des racines des annuelles, quelques traces de matière organique, des nodules et graviers calcaires, une forte effervescence et une transition nette. La texture est à une sablo-limoneuse, la structure est fragmentaire polyédrique subanguleuse et la couleur est 7,5 YR 7/6.

HA12 14 – 28

Horizon compacté, porte des concrétions et quelques nodules, une forte effervescence, une transition nette et une couleur 7,5 YR 7/6. Même structure et texture qu'au profil précédent.

HA12 &gt; 28

Encroûtement calcaire idem à celui de HA11, pas d'échantillons.

Coordonnées **HA13 :**

**X : 609431**      **Y : 3711221**

Position : profil se trouve juste à côté du versant sud EST du Djebel Ben Zighar dans une surface non travaillée,

Végétation : *Astragalus Armatus*, *Artimisia compestris*, *Gymnocarpos decander*, *Artroplitium*, *Scoparium*.

Description surface : pellicule de battance en surface.




---

Hor      Prof. (cm)      **Description :**

HA13    0 – 18

Horizon sec, friable, de couleur 7,5 YR 6/6 et des racines fines. La texture est sablo-limoneuse, la structure est fragmentaire polyédrique, une forte effervescence et transition nette.

HA13    18 – 26

Horizon de transition, sec, plus compacté, présence des pores. La couleur est 7,5 YR 6/4.

HA13    > 26

Horizon sec, compacté et de couleur 7,5 YR 7/4. La texture est limono-sableuse (TERCHA)

---

Coordonnées **HA14 :**

**X : 613808**      **Y : 3714518**

Position : profil se trouve juste sur la rive droite de l'Oued Ségui dans un champ travaillé.

Végétation : oliviers, amandiers et figuiers.

Il y a un gradient d'effervescence de haut en bas.

---

Hor      Prof. (cm)      **Description :**

HA14    0 – 36

Horizon sec, perturbé, porte des racines fines, quelques nodules et graviers calcaires. La transition est nette, la couleur est 7,5 YR 6/6, la structure est fragmentaire polyédrique subanguleuse, la texture est sablo-limoneuse et la transition est nette.

HA14    36 – 70

Horizon sec, compacté, porte des Quelques racines fines et des nodules calcaires. La matière organique est non décelable, la transition est nette, la texture est limono- sableuse, la couleur est 7,5 YR 5/4. On a constaté la présence d'escargot et des concrétions.

HA14    70 – 79

Horizon d'accumulation colluvionnaire à forte concentration et nodules calcaires de diamètre 1 à 2cm, le sol est très faible, pas des caractéristiques physiques du sol, la transition est nette.

HA14    > 79

Horizon très compacté, caractérisé par l'absence d'activité biologique et des racines. La couleur est 7,5 YR 6/6, la texture est limono-sableuse (A) et la structure est identique que H1. On constate une forte concentration de concrétion et revêtement calcaire.

Coordonnées **HA15 :**

**X : 613105**      **Y : 3714869**

Position : profil se trouve sur une terrasse de la rive gauche de l'Oued Ségui, terrasse non travaillée et à coté d'une ancienne habitation.

Végétation : La plantation de la parcelle est composée de : palmiers, amandiers et oliviers avec la présence des *Astragalus armatus*.

Description surface : pellicule de battance



Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

HA15	0 – 16	
------	--------	--

Horizon sec, peu friable, présence d'une forte densité des pores, un gradient fort d'effervescence de haut en bas, activité biologique, nodules et graviers calcaire. La structure est fragmentaire polyédrique subanguleuse, la couleur est 7,5 YR 7/4, la texture est limono-sableuse, la transition est peu nette, quelques débris de végétaux (laitière), des traces de matière organique et quelques racines fines.

HA15	16 – 87	
------	---------	--

Horizon sec, compacté, possède Quelques micropores, fortes concentrations calcaire, des escargots et une couleur 7,5 YR 7/4. La texture est limono-sablo-argileuse, la structure est identique que H1 et la transition est nette.

HA15	> 87	
------	------	--

Horizon très compacté, sec et à forte concentration et nodules calcaires, des graviers, une même structure et texture que H2 et une couleur 7,5 YR 7/6.



Coordonnées **HA16 :****X : 612578**      **Y : 3714662**

Position : profil se trouve sur une terrasse juste sur la rive gauche de l'oued Ségui, le terrain est travaillé,

Végétation : oliviers, amandiers et figuiers.

Description surface : des petites mottes et une pellicule de battance. Il y a un gradient fort d'effervescence de haut en bas



Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

HA16    0 – 12

Horizon sec perturbé, porte des racines du chiendent, des graviers calcaires de 20cm et une couleur 7,5 YR 6/6. La structure est fragmentaire polyédrique, la texture est sablo-limoneuse, la transition est nette et la matière organique est non décelable.

HA16    12 – 63

Horizon sec, très compacté, porte des concrétions calcaires, quelques nodules calcaires, quelques racines très fines et une couleur 7,5 YR 7/4. La structure est fragmentaire polyédrique et la texture est limono-sableuse.

HA16    &gt; 63

Même horizon que H2 (12 – 63cm) mais très compacté.

Coordonnées **HA17 :****X : 612976**      **Y : 3714042**

Position : profil se trouvant sur une crête destinée au parcours au sud de la rive droite de l'Oued Ségui dans une terrasse pierreuse non travaillée

Végétation : *Astragalus Armatus*, *lygeum spartum*, *Pyganum harmala* et *Artroplitum scoparium*.

Description surface : pellicule de battance en surface.

Il y a un gradient croissant d'effervescence du haut en bas.



Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

HA17    0 – 16

Horizon sec, peu compacté, possède quelques traces de matière organique (racines inertes), des nodules calcaires et quelques traces des racines. La transition est peu nette, la couleur 7,5 YR 6/6, la structure est fragmentaire polyédrique subanguleuse et la texture est sablo-limoneuse.

HA17    16 – 57

Horizon sec, porte quelques concrétions et revêtements calcaires, quelques micropores et graviers de 3 à 4cm. La texture est limono-sableuse, la transition est peu nette, la matière organique est non décelable et il possède la même structure et même couleur que H1.

HA17    57 – 74

Horizon sec, très compacté, il tend vers un encroûtement et il porte des graviers et nodules calcaires. La texture est argilo-limono-sableuse, la couleur est 7,5 YR 8/4 et la texture est idem que H1.

HA17 &gt; 74

Horizon sec, très compacté et portant des Concrétions et nodules calcaires. La texture est limono-argileuse, la couleur 7,5 YR 7/4 et la structure est la même que H1.

Coordonnées **HA18 :****X : 612755****Y : 3713698**

Position : profil se trouve sur la même crête que HA17, mais dans une surface travaillée (défriché), destinée à la céréaliculture

Végétation : *Astragalus armatus* et *Legyum spartum*.

Description surface : La surface de la parcelle a une pellicule de battance,

Il y a un gradient croissant d'effervescence de haut en bas.



Hor	Prof. (cm)	Description :
HA18	0 – 22	Horizon sec, porte quelques concrétions et nodules calcaires, la couleur est 7,5 YR 6/6, la structure est fragmentaire polyédrique, la texture est sablo-limoneuse et la transition n'est pas nette. Dans ce profil on remarque l'absence de la matière organique et de l'activité biologique.
HA18	22 – 56	Horizon sec, il y a des nodules calcaires, une texture limono-sablo argileuse, une couleur 7,5 YR 6/4 et une structure identique que H1. La transition n'est pas nette.
HA18	> 56	Horizon très compacté, sec, encroûté, couleur 7,5 YR 7/4 et une même structure et texture.

Coordonnées **HA19 :****X : 612353****Y : 3713157**

Position : profil se trouve sur la même crête, dans une terrasse non travaillée, destinée à la céréaliculture

Végétation : *Artrophytum scoparum*, *Astragalus armatus*, *Lygyum spartum*.

Description surface : une pellicule de battance en surface.

Un gradient croissant d'effervescence de haut en bas.



HA19 &gt; 62

La couleur est 7,5 YR 7/6, la texture est sablo-limono argileuse, la transition est très nette et la structure est identique que H1.

Horizon sec, très compacté, c'est un encroûtement calcaire qui porte des nodules, des graviers, des pierres d'origine alluvionnaires et quelques racines fines. La couleur est 7,5 YR 7/4, la texture est limono-sablo argileuse et la structure est idem que H1. Pas de matière organique ni activité biologique.

## TOUNINE

Coordonnées **TN1** :

**X : 606148 Y : 3707884**

Position : profil situé à Tounine partie sud de l'oued Tounine, dans un versant Nord d'une colline.

Végétation : pas de végétation.

Description surface : surface rugueuse, pas de végétation.



Hor	Prof. (cm)	Description :
TN1	0 – 15	Horizon peut humide, friable, la couleur est 7,5 YR 6/6, présence des racines des annuelles, quelques nodules calcaires, quelques traces de matière organique et des racines très fines, la texture est limono-sableuse, la structure est fragmentation polyédrique subanguleuse et une forte effervescence.
TN1	15 – 29	Horizon sec, compacté, présentant quelques nodules et parfois des graviers calcaires, présence des pores, une forte effervescence et une couleur 7,5 YR 7/6. La texture est limoneuse à limono-sableuse et la structure est idem que le précédemment.
TN1	29 – 55	Horizon travaillé, présence des strates d'argile sous forme laminaire, issues de la décantation pendant une période lointaine, des racines, une forte effervescence, une texture et structure idem que précédemment et une texture limono-sableuse et parfois argileuse.
TN1	55 – 60	Horizon de transition, peut friable, d'origine colluvionnaire, il présente une forte concentration des nodules calcaires et quelques chevelures des racines. La texture est sablo-limoneuse, la structure est fragmentaire polyédrique, la couleur est 7,4 YR 7/4 et une forte effervescence.
TN1	60 – 90	Horizon très compacté, sec, d'origine colluvionnaire, portant des traces d'actives en tropique, quelques nodules calcaires et une forte effervescence. La structure est fragmentaire polyédrique subanguleuse, la texture est limoneuse à limono-sableuse et une couleur de 7,5 YR 7/6.

TN1 > 90

Horizon sec, très compacté, porte quelques traces des racines, une forte effervescence, une structure idem que H1, une texture sablo-limoneuse et une couleur 7,5 YR 7/6.

Coordonnées **TN2 :**

**X : 606479**

**Y : 3706832**

Position : profil situé entre les versants de 3 collines, sur une surface défrichée, destinée à la culture de céréale

Végétation : céréales

Caractérisé par un gradient croissant d'effervescence de haut vers le bas.



Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

TN2	0 – 12	
-----	--------	--

Horizon humide, Sol d'apport hydrique et éolien d'origine colluviale, porte de gravier et nodules calcaires, quelques micropores, quelques racines inertes donc présence des matières organiques (Présence de verre de terre) et une forte effervescence. La couleur est 7,5 YR 5/6, la texture est limono-sableuse (A) et la structure est fragmentaire polyédrique subanguleuse.

TN2	12 – 33	
-----	---------	--

Horizon sec, compacté, peu friable, porte des racines inertes, des concrétions calcaires, quelques pellicules d'argile (traces de décontraction), forte concentration de nodules calcaire et une transition très nette. La texture est limono-sableuse, la structure est que la même que H1, la couleur est 7,5 YR 6/4, une forte effervescence.

TN2	33 – 71	
-----	---------	--

Horizon sec, compacté, forte concentration et revêtement calcaire. Il existe des pores, des racines des annuelles inertes, une texture argileuse à argilo-limoneuse, une structure idem que précédemment, une forte effervescence et une couleur 7,5 YR 4/6.

TN2	> 71	
-----	------	--

Horizon compacté, peu humide, argileux avec des concentrations calcaires, structure idem que H1 et une couleur 2,5 YR 5/6.

Coordonnées **TN3 :**

**X : 609367**

**Y : 3706716**

Position : profil se trouvant dans l'Oued ZNEZFA, dans une terrasse entourée par des ouvrages de C.E.S à rétention totale et à côté d'une plantation de vigne.



Hor	Prof. (cm)	Description :
TN3	0 – 14	Horizon humide, couleur 7,5 YR 5/4, texture argileuse et structure massive issue de la décantation des produits des érosions. C'est une succession d'accumulation polyédrique, on remarque la présence des racines des annuelles et une activité biologique.
TN3	14 – 24	Horizon humide, d'apport éolien, à structure particulière et texture sableuse. Il porte des racines des annuelles, quelques traces de matière organique, une couleur 7,5 YR 6/4 et un gradient décroissant d'effervescence de haut en bas.
TN3	24 – 31	Horizon humide, argileux, a le même caractéristique que H1, provient de la décantation des produits de l'érosion de la couche argileuse, couleur 7,5 YR 6/4 et présence de plusieurs racines.
TN3	31 – 46	Horizon anthropique, argileux limoneux, présentant une structure polyédrique fragmentaire avec présence des chevelures des racines, possède une forte effervescence, marque l'absence des nodules et concrétions.
TN3	46 – 82	Horizon sec, compacté, limoneux sableux, la structure idem que le précédent et présence des racines.
TN3	> 82	Horizon de transition.

---

**Coordonnées TN4 :**
**X : 609033      Y : 3707962**

Position : profil se trouve juste sur la rive gauche de l'Oued ZNEZFA (Toujane) vers Mareth, dans une terrasse délimitée par des ouvrages de CES. L'origine de terre est lœss,  
 Végétation : *Artemisia Compestris*, *Rhus tirpartitum*,  
*Retama raetam* et *Gymnocarpus decander*.



Hor	Prof. (cm)	Description :
TN4	0 – 10	Horizon sec, compacté, la texture est argilo -limoneuse, la couleur est 7,5 YR 7/4, la structure est fragmentaire polyédrique subanguleuse, présence des racines inertes et forte effervescence. On a constaté l'absence d'activité biologique et des de concrétions.
TN4	10 – 34	Horizon humide, porte des traces biologiques, une structure idem que H1, une texture limono- argileuse et une couleur 7,5 YR 5/6.
TN4	34 – 81	Horizon peu humide, porte quelques revêtements calcaires, une texture limoneux sableux argileuse, une structure idem que H1 et une couleur 7,5 YR 5/6.

TN4	81 – 88	Horizon de transition avec un passage d'une forte concentration des nodules calcaire, humide et porte des racines. La structure est idem que H1, la texture est argilo sableuse et la couleur est 7,5 YR 5/6.
TN4	> 88	Horizon de couleur 7,5 YR 5/8

Coordonnées **TN5 :****X : 609112****Y : 3709137**

Position : se trouvant dans un champ de céréaliculture, au nord de la rive droite de l'Oued FEDHA,

Végétation : *Pitorentos tortuosos* et *Astragalus armatus*.

Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

TN5	0 – 10	Horizon sec, anthropique et porte quelques racines très fines. La couleur est 7,5 YR 6/6, la structure est fragmentaire polyédrique et structure est limono-sableuse.
TN5	10 – 32	Horizon de transition, sec, compacté et porte quelques graviers. La structure est idem que H1, la texture est limoneuse et une couleur 7,5 YR 8/4.
TN5	> 32	Horizon caractérisé par un encroûtement calcaire, porte des graviers de 4 à 5cm, la couleur est 7,5 YR 8/2 et une effervescence très forte.

Coordonnées **TN6 :****X : 608893****Y : 3709223**

Position : profil se trouvant au Nord Ouest de TN5 dans un champ labouré

Végétation : possédant des oliviers, des figuiers

Description surface : présentant des mottes.



Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

TN6	0 – 32	Horizon sec, travaillé, caractérisé par une forte effervescence, une forte concentration des nodules et graviers, calcaire, des racines très fines et des mottes. La texture est limono-sableuse, la structure est particulière polyédrique et la couleur est 7,5 YR 7/6
TN6	32 – 88	Horizon encroûté, compacté, caractérisé par l'absence des racines et de l'activité biologique la texture est limoneux sableuse (A) et d'une couleur 7,5 YR 8/4.

TN6 &gt; 88

Horizon très compacté, caractérisé par l'absence d'une activité biologique et la présence d'une texture limono-sableuse, d'une forte effervescence et d'une couleur 7,5 YR 8/2.

---

 Coordonnées **TN7** :
**X : 607243****Y : 3710990**

Position : à la partie Nord de Djebel Warifin, dans une terrasse non labourée

Végétation : *Artimisia campestris*, *Ziziphus lotus*, *Astragalus armatus*.

Description surface : La surface est formée par une pellicule de battance.




---

Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

TN7 0 – 22

Horizon d'apport éolien et hydrique d'origine colluviale et alluviale, porte quelques racines fines, quelques nodules des concrétions calcaires et des micropores. La structure est polyédrique subanguleuse, la texture est sablo-limoneuse, la couleur 7,5 YR 6/6, une effervescente moyenne et des Traces de matière organique.

TN7 22 – 58

Horizon très compacté, avec des concrétions calcaires et une activité biologique. La structure est idem que H1, la texture est limono-sableuse (lœss), la transition est nette et une forte effervescence.

TN7 &gt; 58

Horizon très compacté, présente des taches blanches (calcaires) et des racines. La texture et la structure sont identiques à H1. La couleur est 7,5 YR 6/4.

---

 Coordonnées **TN8** :
**X : 608261****Y : 3710066**

Position : profil situé juste au piedmont sud de Djebel Warifin,

Végétation : *Lycium arabicum*, *Astragalus armatus*, touffes de *lygeum spartum*, *Gymnocarpos decanderet* *Retama Raetam*, oliviers.

Description surface : en surface une forte pellicule de battance.

---

Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

TN8 0 – 9

Horizon d'apport éolien, sec, friable, porte des taches et concrétions calcaires, des racines très fines et Quelques micro pores. La couleur 7,5 YR 6/6, la structure est polyédrique subanguleuse, la texture est sablonneuse et il y a une forte effervescence.

TN8 9 – 17

Horizon sec, porte quelques traces de matière organique, racines fines, racines inertes et des racines de grosses tailles. La structure est que H1 idem, la couleur 7,5 YR 5/4 et il y a une forte effervescence.

TN8	17 – 51	Horizon sec, caractérisé par la présence des pierres saumon, présence des racines fines et nodules calcaires. La structure est qu'idem H1, la texture est limono-sableuse et couleur 7,5 YR 6/6.
TN8	51 – 82	Horizons d'origine hydrique, sec, porte des pores, des racines très fines et des racines inertes. La texture et la structure sont la même que H1, la couleur 7,5 YR 6/6 et une forte effervescence.
TN8	> 82	Même horizon sauf présence des densités importantes de concrétions et des pierres.

Coordonnées **TN9** :**X : 606665**      **Y : 3709118**

Position : profil se trouvant au sud du versant de Djebel Warifin, dans un champ labouré,

Végétation : palmiers et figuiers.

Description surface : En surface présence des mottes,



Hor	Prof. (cm)	Description :
TN9	0 - 40	Forte effervescence Horizon travaillé présentant des grosses mottes avec des fortes concentrations calcaires et des racines fines. La structure est polyédrique subanguleuse, la texture est limono sableuse, la couleur 7,5 YR 7/6 et la transition est nette.
TN9	40 – 71	Horizon sec, compacté, caractérisée par forte effervescence, une structure idem à H1, une couleur 7,5 YR 7/4, une texture limono-sableuse, des racines et par l'absence d'une activité biologique.
TN9	71 – 80	Horizon de transition sableux, couleur 7,5 YR 6/6 et présence des concrétions calcaires.
TN9	> 80	Horizon compacté, présence des racines de palmiers, possède la même structure que H1, la texture est limoneux sableuse et une couleur 7,5 YR 6/6. Pas d'activité biologique

Coordonnées **TN10** :**X : 607299**      **Y : 3706537**

Position : profil se trouvant dans un champ d'oliviers à rétention partielle, présence des ouvrages de C.E.S,

Végétation : *Artemisia campestris*, *Arthrophytum scoparium*.

Description surface : il y'a une pellicule de battance.



Hor	Prof. (cm)	Description :
TN10	0 – 15	Horizon peu humide, porte des racines très fines, des nodules calcaires, la texture est sablo-limoneuse, la structure est particulière fragmentaire polyédrique, la couleur 7.5YR 6/6, la transition est nette et une forte effervescence.
TN10	15 – 26	Horizon compacté, porte quelques racines très fines, une structure fragmentaire polyédrique, une texture limoneux sableuse, une forte effervescence, une couleur 7,5 YR 6/6, une transition peu nette et l'absence d'une activité biologique.
TN10	26 – 62	Horizon sec, compacté, présence des quelques racines, des graviers de 4 à 5 cm de diamètre, une forte densité des taches calcaires, une texture limoneux sableuse (loess), une structure idem que H1, une couleur 7,5 YR 7/6, une transition nette et aucune activité biologique.
TN10	> 62	Dalle calcaire

---

**Coordonnées TN11 :**
**X : 608635****Y : 3705892**

Position : profil se trouvant à coté de la rive gauche de l'Oued Znezfa et coté sud du Djebel Souaana,

Végétation : oliviers.



Hor	Prof. (cm)	Description :
TN11	0 - 20	Horizon humide, porte des nodules calcaires, revêtement argileux, une texture sableuse, une structure fragmentaire polyédrique, une forte effervescence, une couleur 7.5 YR 6/8 et quelques traces de matière organique.
TN11	20 – 41	Horizon humide, un peu plus compacté, porte des nodules et concrétions calcaires, la structure est fragmentaire polyédrique, la texture est sablonneuse, la transition est nette et la couleur est 7,5 YR 5/8. Rem : H1 et H2 sont deux horizons anthropiques d'origine d'apport
TN 11	41 – 63	Horizon sec, avec des taches blanches, une forte densité de concrétion calcaire, des graviers saumon, une faible intensité des racines fines, une transitions peu nette, une structure idem que H1, une texture limoneux sableuse et une couleur 5,7 YR 5/6.

TN11 > 63

Couleur 7,5 YR 4/6

Horizon sec, compacté, présence d'escargot, une densité des tâches blanches, revêtement calcaire, une structure polyédrique et une texture limoneuse à limono-sableuse.

Coordonnées **TN12** :

**X : 607598**

**Y : 3706228**

Position : profil se trouvant dans la partie Est du Djebel Bendo dans un champ non labouré

Végétation : *Artemisia CompestRhus*, *Astragalus armatus*, *Rhus tripartitum*,

Description surface : des petites mottes et une pellicule de battance.



Hor Prof. (cm) **Description :**

TN12 0 – 8

Horizon remué, humide, avec quelques concrétions et nodules calcaires, présence des racines des annuelles, une couleur 7,5 YR 6/6, structure polyédrique, une texture sablo limoneuse, une forte effervescence et une transition peu nette.

TN12 8 – 18

Horizon sec, peu compacté, porte quelques racines, des concrétions calcaires, un revêtement gypseux, une structure polyédrique, une texture limono-sableuse, une transition nette et une couleur 7,5 YR 6/6.

TN12 18 – 69

Horizon très compacté, avec une forte densité des tâches blanches, une couleur 7,5 YR 6/6, une texture limono-sableuse et une structure idem que H1.

TN12 > 69

Horizon très compacté idem que TN12 : 18 – 69



**Coordonnées TN13 :****X : 605008      Y : 3708608**

Position : profil se trouvant dans la pépinière forestière (plus de 15 ans) sur la rive gauche de l'Oued Tounine,

Végétation : Acacia, Oliviers, Prosopis

Description surface : présence de pellicule de battance.



Hor	Prof. (cm)	Description :
TN13	0 – 35	Horizon sec, avec un gradient fort d'effervescence de haut en bas, une transition nette, des racines fines et un revêtement argileux localisé. La couleur est 7,5 YR 6/4, une structure fragmentaire polyédrique et une texture argilo-limoneuse.
TN13	35 – 67	Horizon sec, porte des concrétions gypseuses et calcaires, des racines de taille moyenne, une transition peut nette, une couleur 7,5 YR 6/6, une forte effervescence, une même texture et une structure limono-argileuse.
TN13	> 67	Couleur 7,5 YR 6/6 avec une densité de concrétion gypseuse et calcaire importante, une poche d'argile très compactée et quelques racines.

**Warifin****Coordonnées OR1 :****X : 608558      Y : 3715708**

Position : profil se trouvant au sud du Djebel Warifin, dans un champ labouré.

Végétation : Présence des oliviers, palmiers et des figuiers.

Description surface : grosses mottes en surface.



Hor	Prof. (cm)	Description :
OR1	0 – 14	Horizon sec, travaillé, d'origine d'apport colluvial et alluvial, présence des racines des annuelles (chiendent), quelques revêtement argileux, pas d'activité biologique, petites concrétions calcaires, traces de matière organique (litière où racines inertes), la transition est nette, la texture est limoneux- sableuse, la couleur est 7,5 YR 7/6, la structure est particulière à fragmentaire subanguleuse et une forte effervescence.
OR1	14 – 72	Horizon très compacté, friable, présentant des micropores, des racines fines, des concrétions calcaires, quelques graviers de 1 à 2 cm de diamètre, des saumons revêtus par une couche calcaire, une transition très nette, une forte effervescence, une couleur 7,5 YR 7/6, une texture idem (löss) que H1 et une structure fragmentaire polyédrique.
OR1	72 – 81	Horizon peu compacté, présentant des traces d'escargot, des graviers et nodules calcaires d'apport hydrique, quelques racines, une couleur 7,5

OR1	81 – 118	YR 7/6, une forte effervescence, une texture sablo-limoneuse et une structure idem que H1.
		Horizon compacté, présence des quelques racines, quelques nodules calcaires, une forte effervescence, une couleur 7,5 YR 7/6, une structure polyédrique et une texture sablo-limoneuse.
OR1	> 118	Horizon compacté, avec des concrétions gypseuses, une couleur 7,5 YR 5/6, même structure et texture qu'au profil précédent, l'absence d'effervescence et l'activité biologique.

Coordonnées **OR2 :****X : 609197**      **Y : 3715387**

Position : profil se trouvant au Sud Est du Djebel Warifin dans un champ non travaillé, avec des travaux de CES à rétention complète.

Végétation : oliviers, figuiers

Description surface : une pellicule battance en surface



Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

OR2	0 – 20	Horizon sec, peu friable, possède des racines fines, quelques traces de matière organique, une forte effervescence, quelques concrétions et revêtement calcaire. La structure est polyédrique fragmentaire subanguleuse, la couleur 7,5 YR 6/6, la texture est limono-sableuse et les transitions est peu nette.
OR2	20 – 58	Horizon très compacté, sol d'apport hydrique, présente une forte effervescence, de concrétion et nodules calcaires, une couleur 7,5 YR 6/6, une structure idem que H1, une texture sablo-limoneuse et une densité très importante des racines.
OR2	58 – 117	Mêmes caractéristiques que H1 mais plus compacté
OR2	> 117	Horizon très compacté, avec une forte concentration gypseuse et une effervescence faible.

Coordonnées **OR3 :****X : 609175**      **Y : 3714909**

Position : profil se localisé dans une terrasse non travaillée au Sud du Djebel Warifin, C'est un ancien champ de céréalicultures.

Végétation : *Arthrophytum scoparium* et *Astragalus armatus*.

Description surface : à la surface une pellicule battance.



Hor	Prof. (cm)	Description:
-----	------------	--------------

OR3	0 – 19	Horizon sec, présente une forte concentration des nodules et graviers calcaires, quelques racines fines, une couleur 7,5 YR 7/4, une structure particulière et une texture limono-sableuse.
OR3	19 – 34	Horizon se trouve dans ravin friable, ave une structure polyédrique, une texture limono-sableuse, une couleur 7,5 YR 7/4, une forte effervescence et transition nette.
OR3	34 – 59	Horizon sec, compacté, pas des racines, présente une structure fragmentaire polyédrique, une texture limono-sableuse, une couleur 7,5 YR 7/4 et une forte effervescence.
OR3	59 – 98	Horizon sec, compacté, possède une forte concentration des nodules calcaires, une couleur 7,5 YR 6/6, même structure et texture que H1, pas des racines ni activité biologique.
OR3	> 98	Horizon sec, compacté, couleur 7,5 YR 6/6, pas des racines ni activité biologique.

---

**Coordonnées OR4 :**
**X : 609984****Y : 3715104**

Position : profil se trouvant sur le versement Sud Ouest au Djebel DHIBAA, portant des grosses mottes, c'est une nouvelle création, sur un terrain de parcours portant une pente de 5%.



Hor	Prof. (cm)	Description :
OR4	0 – 36	Horizon sec, perturbé, friable, possède un revêtement gypseux, quelques traces de matière organique, une structure polyédrique, une texture limono-sableuse, une transition nette, une forte effervescence et une couleur 7,5 YR 6/6.
OR4	36 – 58	Horizon compacté, sec, présente des concrétions et revêtement calcaire, une transition peu nette, une texture sablo-limoneuse (löss), une structure polyédrique, une forte effervescence et une couleur 7,5 YR 6/4.
OR4	58 – 98	Horizon sec, avec des concrétions et nodules calcaires, contenant des graviers et des pierres, la texture est sablo-limoneuse, la couleur est 7,5 YR 6/6, la transition est peu nette et l'effervescence est forte.
OR4	> 98	Horizon très compacté, la texture est limono-sableuse, la structure idem que H1, la couleur 7,5 YR 7/4, une forte effervescence et une végétation composée de : <i>Piturontos tortuosos</i> , <i>astragalus armatus</i> , <i>Retema raetam</i> et <i>arthrophytum Scoparium</i> .

Coordonnées **OR5 :****X : 609295**      **Y : 3714379**

Position : profil se trouvant dans un champ au nord de Djebel

Warifin où il existe des travaux de CES à rétention totale.

Végétation : Les plantations existantes se composent des oliviers, palmiers et figuiers.

Description surface : Il y'a des petites mottes avec une légère pente.

---

**Hor**    **Prof. (cm)**    **Description :**

OR5 0 – 24

Horizon sec, sol peu compacté, présence de quelques racines, d'une transition peu nette, d'une effervescence faible, d'une couleur 7,5 YR 6/4, une structure fragmentaire polyédrique et une texture limono-sablo-argileuse.

OR5 24 – 51

Horizon possède les mêmes caractéristiques que H1, plus une forte effervescence, des racines d'origines arboricoles et une couleur 7,5 YR 7/4.

OR5 &gt; 51

Horizon sec, compacté, présente des concrétions calcaires, des graviers, des saumons, peu des racines, une forte effervescence, une couleur 7,5 YR 6/6, une texture limono-sableuse (löss) et une structure polyédrique.

---

Coordonnées **OR6 :****X : 607742**      **Y : 3712629**

Position : profil se trouvant à la rive droite de l'Oued Warifin vers Mareth dans une terrasse plantée d'anciens palmiers, oliviers et figuiers (3 à 4 ans).

Végétation : d'anciens palmiers, oliviers et figuiers (3 à 4 ans).

La végétation naturelle est formée par *Ziziphus lotus et Astragalus armatus*.

Description surface : sol d'origine colluvionnaire,



---

**Hor**    **Prof. (cm)**    **Description :**

OR6 0 – 20

Horizon sec, peu friable, formé d'une mince pellicule de battance à la surface, présente des racines des annuelles, la matière organique est Peu décelable, des chevelures de racines fines, quelques graviers calcaires, une transition nette, une texture limono-sableuse, une structure fragmentaire polyédrique subanguleuse, une couleur 7,5 YR 7/4 et une forte effervescence.

OR6 20 – 84

Horizon sec, plus compacté, porte des nodules et concrétions calcaires, une forte concentration de racines, peu de graviers, une couleur 10 YR 6/4, une structure fragmentaire polyédrique, une transition nette et une texture sablo-limoneuse.

OR6 &gt; 84

Pas d'échantillon, horizon caractérisé par une forte concentration des pierres et dalles calcaires d'origine alluvionnaire.

Coordonnées **OR7 :**

**X : 607698**

**Y : 3713939**

Position : profil se trouve à coté de la rive gauche de l'Oued Warifin, dans une terrasse non travaillée,

Végétation : la végétation se compose de : *Astragalus Armatus*, *Ziziphus lotus*, *Arthroplitum Scoparium* et *Piturontos tortuosos*.

Description surface : A la surface, il y'a une pellicule de battance.

Un degré d'effervescence fort de haut en bas.



Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

OR7	0 – 14	Horizon sec, peu friable, présence de quelques racines inertes, la matière organique est peu décelable, quelques concrétions et nodules calcaire. Une couleur 7,5 YR 7/6, une structure fragmentaire polyédrique, une texture limono-sableuse et une transition nette.
-----	--------	--

OR7	14 – 57	Horizon sec, de lœss, présente une forte concentration des concrétions calcaire, une transition peu nette, une couleur 7,5 YR 6/6, une structure idem que H1 et une texture limono-sableuse.
-----	---------	--

OR7	> 57	Horizon possède les mêmes caractéristiques que H2, la seule différence c'est qu'il est plus compacté.
-----	------	---

## AZAÏZA

Coordonnées **AZ1:**

**X : 616916**

**Y : 3716747**

Position : profil se trouve à l'Est de la rive droite de l'Oued Ségui dans un ravin portant des ouvrages CES. Ce profil se trouve entre deux petites collines en face d'un château d'eau,

Végétation : il y'a comme plantations, des oliviers, des figuiers, des palmiers et des amandiers la végétation naturelle de la parcelle se compose de : *Artemisia compestris*, *Astragalus armatus*, *Gymnocarpos decander*.

Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

AZ1	0 – 12	Horizon sec, friable, de texture limono-sableuse et de Structure particulière à fragmentaire polyédrique. Il est d'apport hydrique, il présence des graviers, des pierres, une couleur 7,5 YR 6/4 et une transition nette.
-----	--------	--

AZ1	12 – 46	Horizon sec, compacté, de forte densité des nodules calcaires et des saumons. Il y a quelques racines fines et un gradient d'effervescence, des pores. La structure est fragmentaire polyédrique, la texture est limono-sableuse, la transition est nette et la couleur est 7,5 YR 7/6.
AZ1	46 – 62	Horizon sec compacté, il possède quelques racines, une forte effervescence d'origine hydrique. La texture est limono-sablo-argileuse, la structure est idem. Il y a quelques graviers et concrétions calcaires, quelques traces des MO et des racines inertes. La couleur est 7,5 YR 5/6.
AZ1	62 – 88	Horizon sec, à fortes concrétions et nodules calcaires. La texture est limono-sableuse, la structure est fragmentaire polyédrique, la couleur 7,5 YR 6/4 et la transition est peu nette.
AZ1	> 88	Horizon sec, très compacté, d'appoint hydrique, portant des nodules calcaires et saumon. Présente une forte effervescence, une même structure et texture qu'au profil précédent et une couleur 7,5 YR 7/6.

---

**Coordonnées AZ2 :**
**X : 616592                      Y : 3716981**

Position : profil se trouve sur la rive droite de l'Oued Ségui, dans un champ au lit d'Oued.

Végétation : oliviers et figuiers,

Description surface : portant une pellicule de battance, des grosses mottes et des anciennes accumulations.

---

Hor	Prof. (cm)	Description :
AZ2	0 – 33	Horizon sec, porte une mince couche d'argile, des racines fines, quelques micropores, des concrétions calcaires, une forte effervescence, une structure particulière à fragmentaire polyédrique, une texture sablo-limoneuse, une couleur 7,5 YR 7/6 et des traces de matière organique d'apport éolien.
AZ2	33 – 44	Horizon compacté, d'origine hydrique, pas d'activités biologiques, une couleur 7,5 YR 7/6 et structure et textures idem que H4.
AZ2	44 – 65	Horizon sec, forte effervescence, très compacté, porte quelques revêtements argileux, une structure polyédrique subanguleuse, une texture limono-sableuse, une couleur 7,5 YR 7/6 et une transition nette.
AZ2	65 – 70	Idem que H2, avec une forte concentration des nodules calcaires.
AZ2	70 – 94	Horizon compacté, possède une forte effervescence, la même structure que H2, une texture sablo-limoneuse et une couleur 7,5 YR 7/6.

---

AZ2	94 – 126	Horizon sec, d'origine hydrique, présence de quelques traces matière organique, des nodules calcaires, des graviers, quelques micropores et la même structure et texture que H2.
AZ2	> 126	Formé des galées d'origine alluvionnaire, la structure idem que H2 et la texture est limono-sablo-argileuse.

---

Coordonnées **AZ3 :****X : 616165**      **Y : 3716704**

Position : profil se trouve sur la rive droite de l'Oued Ségui, dans le lit de l'oued, sur une terrasse en formation,

Végétation : oliviers, figuiers et palmiers.

Description surface : surface travaillée.

---

Hor	Prof. (cm)	Description :
AZ3	0 – 26	Horizon sec, perturbé, quelques nodules d'origine calcaire, quelques racines, une forte effervescence, une structure polyédrique subanguleuse, une texture sableuse, une couleur 7,5 YR 7/6 et une transition peu nette.
AZ3	26 – 42	Horizon d'origine hydrique et éolienne, la structure est polyédrique subanguleuse, la texture est idem qu'au profil précédent et une couleur 7,5 YR 7/6.
AZ3	42 – 77	Horizon sec, d'origine hydrique, présente quelques revêtements argileux, quelques racines, une texture sableuse, une couleur 7,5 YR 6/6 et une structure polyédrique subanguleuse.
AZ3	77 – 96	Horizon sec, porte des pierres, la transition est peu nette, la texture est sableuse à sablo-limoneuse et la structure polyédrique subanguleuse.
AZ3	> 96	Présence des galets.

---

Coordonnées **AZ4 :****X : 616037**      **Y : 3717096**

Position : profil se trouve dans le lit de l'Oued Ségui,

Végétation : *Ziziphus lotus*, des oliviers, amandiers, vignes et figuiers.

Description surface : surface plane, travaillée.

---

Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

AZ4	0 – 16	Horizon sec, travaillé, présence des racines du chiendent, un revêtement argileux, quelques micropores, une structure polyédrique, une couleur 7,5 YR 7/6, une texture Sableuse et une transition nette.
AZ4	16 – 50	Horizon compacté, sec, présence d'un revêtement argileux, quelques racines fines, une couleur 7,5 YR 6/6, une texture sableuse à sablo-limoneuse, une structure polyédrique fragmentaire subanguleuse et une effervescence.
Z4	> 50	Horizon sec, compacté, présente quelques racines, une couleur 7,5 YR 7/6, une structure Polyédrique fragmentaire subanguleuse, une texture sableuse et marque l'absence de la matière organique et des nodules.

---

**Coordonnées AZ5 :**
**X : 616568****Y : 3717189**

Position : profil se trouve dans le lit de l'Oued Ségui, sur la terrasse d'un petit barrage

Végétation : Pas de végétation arboricole,

Description surface : il y a des accumulations sédimentaires

---

Hor	Prof. (cm)	Description :
AZ5	0 – 14	Horizon sec, perturbé, d'origine éolienne, existent des racines fines, des pores, quelques traces matière organique et débits végétaux. La texture est sableuse, la structure est polyédrique, fragmentaire, subanguleuse, la couleur est 7,5 YR 7/6, la transition est nette et de l'effervescence.
AZ5	14 – 50	Horizon sec, compacté, ne possède ni racines ni activité biologique, présence d'un revêtement argileux, d'origine alluvionnaire, une couleur 7,5 YR 7/6, une texture sableuse, et une structure polyédrique.
AZ5	50 – 84	Couleur 7,5 YR 6/4 Horizon de transition, sec, plus friable, la texture est sableuse, la structure est polyédrique et porte quelques nodules.
AZ5	84 – 92	Horizon d'origine alluvionnaire, présence des galées, structure particulière. Pas d'échantillon
AZ5	92 – 113	Horizon sec, d'origine hydrique, présence de quelques nodules et concrétions calcaire, une forte effervescence, une transition nette, une texture argilo-limoneuse, une couleur 7,5 YR 6/6 et présence des activités biologiques.
AZ5	> 113	Horizon similaire à l'horizon 4, mais il est plus profond.

Coordonnées **AZ6** :

**X : 615797**      **Y : 3716411**

Position : profil se trouve à côté de la rive droite de l'Oued Ségui, dans un petit champ travaillé à petites rétentions (travaux de CES),

Végétation : oliviers (2 ans), présence du chiendent.



Hor	Prof. (cm)	Description :
AZ6	0 – 19	Horizon sec, peu humide, perturbé, d'apport hydrique, présence de quelques racines fines, graviers et nodules calcaires, des pores, une structure polyédrique fragmentaire subanguleuse, une couleur 7,5 YR 6/6, une texture sableuse et une transition peu nette.
AZ6	19 – 47	Horizon sec, d'apport hydrique, plus compacté, présente quelques débris des racines, des concrétions et nodules calcaires et gypseux. La structure est fragmentaire polyédrique subanguleuse, la couleur est 7,5 YR 6/6, la texture idem que H1, la transition est peu nette et l'effervescence est forte.
AZ6	47 – 72	Horizon sec, peu compacté, quelques revêtements argileux, des racines inertes, des traces de matière organique, une couleur 7,5 YR 6/6, même structure et texture qu'au profil précédent, et une transition nette et une forte effervescence.
AZ6	> 72	Horizon sec, possède quelques concrétions et nodules calcaires, une forte effervescence, une couleur 7,5 YR 7/6, une texture sablo-limoneuse, une transition nette et la même structure que le profil précédent.

Coordonnées **AZ7** :

**X : 615365**      **Y : 3716590**

Position : profil se trouve au nord de l'Oued Ségui, dans une terrasse à rétention partielle, Il se trouve ne pas loin de ligne de partage d'eau

Végétation : implantée d'oliviers, *Astragalus armatus*, *Rhus tripartitum* et *Gymnocarpos decander*.

Description surface : surface travaillé, avec des mottes et des pierres.



Hor	Prof. (cm)	Description :
AZ7	0 – 14	Horizon friable, sec, à la surface il y a une couche mince d'argile, quelques nodules calcaires, des racines, la couleur 7,5 YR 7/6, la structure est particulière à fragmentaire polyédrique subanguleuse, la texture est limono-sableuse, l'effervescence est forte et la transition est nette.

AZ7	14 – 44	Horizon de 4 à 5 cm constitué par des nodules calcaires, sec, compacté, présente des saumons, une forte effervescence, une texture limono-sableuse, une couleur 7,5 YR 7/6, une transition nette et une structure fragmentaire polyédrique.
AZ7	44 – 86	Horizon sec, compacté, présence des racines fines, des pores et des nodules calcaires, une texture est limoneux argileuse, une couleur 7,5 YR 5/4, une structure polyédrique fragmentaire et une forte effervescence.
AZ7	> 86	Horizon sec, compacté, possède une couleur 7,5 YR 6/4, une texture limono-sablo argileuse, une même structure que le profil précédent et faible densité des racines.

Coordonnées **AZ8 :****X : 616265**      **Y : 3717979**

Position : profil se trouve dans un champ travaillé, présentant des

, Au nord de la rive gauche de l'Oued à coté d'un forage,

Végétation : la végétation est : *Zizyphus lotus*, *Artimisia compestris*, *Peganum harmala*, chiendent et des oliviers.

Description surface : La surface possède une pellicule de battance.

**Hor Prof. (cm) Description :**

AZ8	0 – 10	Horizon sec, friable, possède une structure fragmentaire polyédrique subanguleuse, une texture Limono-sableuse avec un peu d'argile, une couleur 7,5 YR 6/4, une forte effervescence et l'absence des racines.
AZ8	10 – 35	Horizon sec, très compacté, a la même structure et texture, une transition nette, une couleur 7,5 YR 7/6, une forte effervescence et un revêtement argileux.
AZ8	35 – 44	Horizon de transition, il ne possède ni d'activité biologique ni racines, sa texture est sablo- argileuse, la structure est articulaire à fragmentaires polyédrique subanguleuse, une forte effervescence et une couleur 7,5 YR 6/6.
AZ8	44 – 72	Horizon sec, possède la même structure que H3, une texture sableuse, une forte effervescence et une couleur 7,5 YR 7/6.
AZ8	72 – 91	Horizon sec, la texture est sableuse, la structure est particulière à fragmentation polyédrique subanguleuse, une forte effervescence, la transition est peu nette et une couleur 7,5 YR 7/6.
AZ8	> 91	Même horizon que AZ8 (72–91), mais avec une texture sablo-limoneuse.

Coordonnées **AZ9** :

**X : 615948**      **Y : 3717802**

Position : profil se trouve dans un ravin à coté de la ligne de partage d'eau,

Végétation : *Artimisia campestris*, *Rhus tripartitum*, avec un faible recouvrement *Lycium arabicum*, *Astragalus lotus*, *Peganum harmala*, oliviers et figuiers.

Description surface : présence d'une pellicule de battance.



Hor	Prof. (cm)	Description :
AZ9	0 – 14	Horizon sec, perturbé, porte quelques concrétions calcaires, du chiendent, des racines fines des annuelles, une transition peu nette, un degré croissant d'effervescence de haut en bas, une pellicule de battance, une couleur 7,5 YR 5/6, une structure fragmentaire polyédrique subanguleuse et une texture sablo-limoneuse.
AZ9	14 – 38	Horizon sec, compacté, porte quelques nodules calcaires, une couleur 7,5 YR 5/6, une même structure et une texture sablo-limono argileuse.
AZ9	38 – 69	Horizon sec, présentant des revêtements et concrétions calcaires, des pores, des racines fines, des micros mores et des traces de microbiologiques. Une transition peu nette, une couleur 7,5 YR 4/6, une même structure et une texture limono-sablo-argileuse.
AZ9	69 – 90	Horizon sec, compacté, présente quelques revêtements d'origine calcaires, des micronodules et concrétions calcaires. Une couleur 7,5 YR 4/4, une même structure, une texture argilo-limoneuse et un changement de couleur très nette.
AZ9	> 90	Structure la même qu'AZ9 (0-14) Horizon compacté, sec, présente quelques racines de taille moyenne, des concrétions et revêtement calcaire. Une couleur 7,5 YR 4/4 et une structure et texture idem que le profil précédent.

Coordonnées **AZ10** :

**X : 616674**      **Y : 3717470**

Position : profil se trouve au nord de la rive gauche de l'Oued Ségui, dans un champ plat travaillé portant des mottes et à coté d'une colline à forte rugosité.

Végétation : faible couverture végétale.

Description surface : forte rugosité

Hor	Prof. (cm)	Description :
AZ10	0 – 13	Horizon friable, sec, travaillé, présence des escargots, une forte effervescence, une texture limono-sableuse, une structure particulière à

		fragmentation polyédrique subanguleuse, une couleur 7,5 YR 6/4 et une transition nette
AZ10	13 – 41	Horizon sec, très compacté, présente quelques revêtements argileux, une activité biologique, une structure fragmentaire polyédrique subanguleuse, une texture limono-sableuse (A) et une couleur 7,5 YR 6/4.
AZ10	41 – 89	Horizon moins compacté que H2, porte quelques nodules calcaires, une structure et texture idem que H2, une couleur 7,5 YR 6/6, des micropores et une forte effervescence.
AZ10	> 89	Horizon sec, compacté, porte quelques nodules et revêtement argileux, une couleur 7,5 YR 5/4 et une même texture et structure que H2.

---

**Coordonnées AZ11 :**
**X : 616922****Y : 3717353**

Position : profil se trouve dans l'Oued Ségui, dans un champ travaillé portant des petites mottes, la rétention est complétée à l'aide des grands travaux de CES.

Végétation : oliviers, figuiers et vignes.




---

Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

AZ11	0 – 14	Horizon perturbé, sec, travaillé, porte quelques racines fines, un gradient croissant d'effervescence de haut en bas, une texture sablo-limoneuse, une structure particulière à fragmentaire polyédrique subanguleuse, une transition nette et une couleur 7,5 YR 7/6.
AZ11	14 – 118	Horizon, sec, compacté, porte quelques racines fines, un revêtement argileux, la même structure que H1, une couleur 7,5 YR 7/6, une texture sableuse et une forte effervescence.
AZ11	> 118	Horizon, sec, peu compacté, porte quelques racines fines, la même structure que H1, une transition peu nette, une couleur 7,5 YR 7/4 et une texture sablo-limoneuse.

---

**Coordonnées AZ12 :**
**X : 616080****Y : 3716341**

Position : profil se trouve à Zemlet Azaïza, dans une cuvette (ravin) sur une légère pente vers Oued Ségui.

Végétation : oliviers et palmiers.

Description surface : champ travaillé en surface




---

Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

AZ12	0 – 12	C'est un horizon caractérisé par un gradient croissant d'effervescence du haut en bas. Il y a des racines des annules réparties latéralement. La structure est particulière polyédrique subanguleuse, la texture est limono-sableuse et la couleur est 7,5 YR 6/4, la transition est nette.
AZ12	12 – 38	C'est un encroûtement calcaire avec des nodules et graviers, très compacté et porte des Saumons. La structure est polyédrique fragmentaire, la texture est limono-calcaire et il y a un gradient croissant d'effervescence. La couleur est 7,5 YR 8/4.
AZ12	38 – 64	Même structure et texture que l'horizon précédent, avec une faible compacité et une faible densité des racines.
AZ12	> 64	C'est une dalle calcaire

---

**Coordonnées AZ13 :**
**X : 618050      Y : 3716998**

Position : profil se trouve entre la limite de Azaïza et l'Oued Ségui d'une part et entre oued Ségui et oued Zigzaou d'autre part, dans une surface travaillée.

Végétation : oliviers, Ziziphus lotus.

Description surface : la surface porte une pellicule de battance et des mottes.



Hor	Prof. (cm)	<b>Description :</b>
AZ13	0 – 28	Horizon, sec, travaillé avec la présence des mottes, porte quelques racines, la matière organique est non décelable, pas des nodules ni concrétions, une couleur 7,5 YR 6/4, une structure particulière à fragmentaire polyédrique, une texture limono-sableuse et une forte effervescence.
AZ13	28 – 49	Horizon de transition, sec et portant Quelques racines de taille moyenne. La texture est limono-sableuse, la structure est idem que H et la couleur 7,5 YR 7/4.
AZ13	> 49	Horizon très compacté avec des concentrations de calcaires, il est caractérisé par l'absence des racines et des nodules (même échantillon que H2).

Coordonnées **AZ14** :

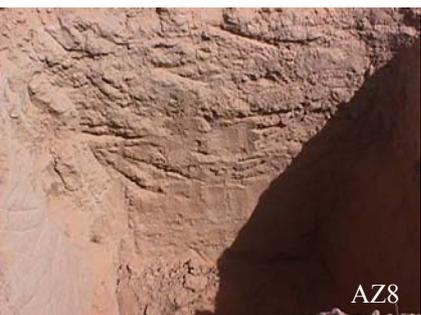
**X : 616055**      **Y : 3714670**

Position : profil se trouve dans un ravin au sud de l'Oued Ségui dans un jisir à rétention partielle. Près de la limite du bassin Oued Ségui, la surface est travaillée.

Végétation : *Artemisia Compestris*, *Rhus tripartitum*, *Lygium spartum* et oliviers.



Hor	Prof. (cm)	Description :
AZ14	0 – 15	Horizon sec, friable, porte quelques racines, une texture sablo-limoneuse, une structure fragmentaire polyédrique, une couleur 7,5 YR 6/4 et une transition nette.
AZ14	15 – 32	Horizon très compacté, sec, présente quelques racines fines, quelques concrétions calcaires, une couleur 7,5 YR 6/4, une texture sablo-limoneuse, une structure fragmentaire polyédrique et une transition n'est pas nette.
AZ14	32 – 63	Horizon sec, présente des concrétions calcaires, un revêtement argileux, la transition n'est pas nette, la couleur est 7,5 YR 7/4, la structure est idem que H2 et la texture est limono-sablo argileuse.
AZ14	> 63	Encroûtement calcaire, couleur 7,5 YR 8/4.



Coordonnées **AZ15** :

**X : 615519**      **Y : 3715174**

Position : profil se trouve entre deux collines, dans le même micro bassin du profil AZ14.

Végétation : oliviers d'âge très anciens,

Description surface : présente une battance à la surface.

Gradient croissant d'effervescence de haut en bas.



Hor	Prof. (cm)	Description :
AZ15	0 – 11	Horizon travaillé, sec, friable, présente quelques racines inertes, une texture limono- sableuse, une structure fragmentaire polyédrique subanguleuse, une couleur 7,5 YR 6/4 et une transition nette.
AZ15	11 – 52	Horizon sec, compacté, présente quelques racines, des nodules calcaires, des racines d'oliviers, une texture sablo-limoneuse, une couleur 7,5 YR 6/4 et une structure fragmentaire polyédrique subanguleuse.
AZ15	52 – 60	Horizon d'origine colluvionnaire et alluvionnaire constitué des nodules calcaires. Pas d'échantillon
AZ15	60 – 76	Horizon sec, présente des racines et des concrétions calcaires, une texture Limoneux sableuse, une structure fragmentaire polyédrique et une couleur 7,5 YR 6/4.
AZ15	76 – 88	C'est un horizon d'apport, (Pas d'échantillon).
AZ15	> 88	Horizon compacté, sec, ne possède pas des racines, la couleur est 7,5 YR 6/4, la même structure et une texture sablo-limoneux sec.

Coordonnées **AZ16** :

**X : 615229**      **Y : 3714606**

Position : profil se trouve dans la limite de Hmila et Azazia, sur une crête non travaillée,

Végétation : *Lygium spartum*, *Artimisia compestris* et *Piturontos tortuosos*.

Description surface : une pellicule de battance en surface



Hor	Prof. (cm)	Description :
AZ16	0 – 24	Horizon sec, possède une pellicule de battance, une texture sablo-limoneuse, une structure fragmentaire polyédrique, une couleur 7,5 YR 6/4, peu des racines, des concrétions et graviers calcaire et une transition peu nette.

AZ16	24 – 38	Horizon sec, présente des racines fines, des nodules calcaires, une forte effervescence, une texture limono-sableuse, la même structure que H1, une couleur 7,5 YR 6/4 et une transition nette.
AZ16	38 – 52	Horizon à forte concentration des graviers calcaires issue de l'altération de la roche mère (dalle calcaire)
AZ16	52 – 68	Encroûtement calcaire
AZ16	> 68	Encroûtement calcaire

---

**Coordonnées AZ17 :**
**X : 614468      Y : 3715606**

Position : profil se trouve dans un petit ravin (bas fond), portant des banquettes à rétention partielle,

 Végétation : oliviers et figuiers, *Piturontos tortuosos*, *lygium spartum* et *Astragalus armatus*.

Description surface : sol travaillé avec présence des mottes, une forte rugosité.

Un gradient croissant d'effervescence du haut en bas.

---

Hor	Prof. (cm)	Description :
AZ17	0 – 14	Horizon sec, friable, travaillé, présentant des mottes, quelques racines (chiendent), la matière organique est non décelable, pas d'activité biologique, quelques graviers, une transition nette, une couleur 7,5 YR 7/6, une texture limono-sableuse à sablo-limoneuse et une structure fragmentaire polyédrique subanguleuse.
AZ17	14 – 42	Horizon sec, très compacté, porte quelques concrétions calcaires, des graviers de 4 à 5 cm de diamètre, une même structure que H1, une texture limono-sableuse, une structure Polyédrique fragmentaire subanguleuse, une couleur 7,5 YR 6/4, une transition peu nette et une matière organique non décelable.
AZ17	> 42	Horizon sec, très compacté, présente des nodules calcaires et quelques racines très fines. La couleur est 7,5 YR 7/6 et la texture et structure la même que H1.

## SÉGUI

Coordonnées **S1** :

**X : 618584**      **Y : 3718279**

Position : profil se trouve dans un ancien périmètre irrigué,

(Propriétaire : Mr. Belgacem ben Chibani)

Végétation : oliviers.

Description surface : la surface du sol est travaillée.

Un gradient fort d'effervescence de haut en bas.



Hor	Prof. (cm)	Description :
S1	0 – 13	Horizon sec, friable, présence des racines des annuelles, pas des nodules ni des concrétions, la matière organique est non décelable, la texture limono-sableuse, la structure est fragmentaire polyédrique, la couleur est 7,5 YR 6/4 et la transition nette.
S1	13 – 26	Horizon sec, compacté, pas des racines ni concrétions, la couleur 7,5 YR 7/4, la structure est fragmentaire polyédrique, la texture limono-sableuse et la transition est nette.
S1	26 – 52	Horizon sec, peu compacté, présente Quelques concrétions et nodules calcaires, des chevelures des racines, une texture sablo-limoneuse, une couleur 7,5 YR 7/6, une transition nette et une structure fragmentaire polyédrique.
S1	52 – 59	Horizon sec, d'apport alluvial et éolien, présente quelques concrétions calcaires, une texture sableuse, une couleur 7,5 YR 7/6 et une structure fragmentaire polyédrique.
S1	59 – 70	Horizon sec, présente des concrétions calcaires, quelques graviers de 3 à 4cm de diamètre, une couleur 7,5 YR 7/5, une structure fragmentaire polyédrique et une texture limono-argilo sableuse,
S1	> 70	Même caractéristique que H1, la seule différence qu'il est plus compacté.

Coordonnées **S2** :

**X : 618478**      **Y : 3718257**

Position : profil se trouve près du profil S1, dans un périmètre irrigué, travaillé, portant des mottes,

Végétation : une plantation : d'oliviers

Description surface : un gradient croissant d'effervescence de haut en bas.



Hor	Prof. (cm)	Description :
S2	0 – 26	Horizon travaillé, friable, présente quelques racines fines, un revêtement argileux, une structure particulière à fragmentation

S2	26 – 53	polyédrique, une texture limono-sableuse, une transition nette, une couleur 7,5 YR 6/4 et de la matière organique non décelable.
S2	> 53	Horizon sec, peu compacté, présente quelques racines fines, la même structure que H1, une structure fragmentaire polyédrique et une couleur 7,5 YR 6/4.
S2	> 53	Horizon sec, compacté, présente des concrétions calcaires, un revêtement argileux, une couleur 7,5 YR 7/4, la même structure que H1, une texture limono-argileuse sableuse et l'absence des racines.

Coordonnées **S3** :**X : 617019**      **Y : 3717544**

Position : profil se trouve en plein lit d'Oued Ségui, dans une parcelle travaillée, limités par des banquettes (Tabia)

Végétation : oliviers

Un gradient croissant d'effervescence du haut en bas

Hor	Prof. (cm)	Description :
S3	0 – 15	Horizon sec, friable, travaillé, présence des racines des annuelles, une texture sablo-limoneuse, une structure particulière à fragmentation polyédrique, une transition nette, l'absence des concrétions et des graviers.
S3	15 – 23	Horizon sec, présence de quelques revêtements argileux, une couleur 7,5 YR 7/4, une structure fragmentaire polyédrique, une texture sableuse et une transition peu nette.
S3	23 – 77	Horizon sec, plus compacté, présente des racines fines, des racines inertes, un revêtement argileux, une couleur 7,5 YR 7/6, une texture limono-sableuse et une structure polyédrique subanguleuse.
S3	> 77	Horizon sec, très compacté, présente quelques racines, un pourcentage d'argile très important, une couleur 7,5 YR /4, une texture sablo-argileuse et une structure polyédrique subanguleuse.

Coordonnées **S4** :**X : 617824**      **Y : 3717898**

Position : profil se trouve aussi dans le lit d'Oued Ségui, dans d'un périmètre irrigué

Végétation : chiendent (*Cynodon dactylon*)

Un gradient fort d'effervescence du haut en bas.

Hor	Prof. (cm)	Description:
-----	------------	--------------

S4	0 – 21	Horizon sec, travaillé, présente quelques racines inertes, un revêtement argileux, une texture limono-sableuse (A), une structure fragmentaire polyédrique subanguleuse, une transition nette et une couleur 7,5 YR 6/4. La matière organique est non décelable.
S4	21 – 70	Horizon sec, très compacté, porte quelques racines fines, un revêtement argileux, une texture sablo-limoneuse, une couleur 7,5 YR 6/4, une structure fragmentaire polyédrique subanguleuse.
S4	70 – 102	Horizon sec, friable, porte quelques revêtements argileux, une structure particulière à fragmentation polyédrique subanguleuse, une couleur 7,5 YR 7/6, une faible effervescence, une transition peu nette et une texture sableuse.
S4	> 102	Horizon sec, très compacté, marqué par l'absence des racines et de l'activité biologique. La couleur est 7,5 YR 7/4, la texture est sablo-argilo limoneuse et la structure est fragmentaire polyédrique subanguleuse.

---

**Coordonnées S5 :**
**X : 617449      Y : 3718123**

Position : profil se trouve dans le lit d'Oued Ségui à la limite d'un périmètre irrigué,

Végétation : les plantations sont : oliviers, figuiers, grenadiers et culture maraîchère.

Description surface : surface non travaillée avec une pellicule de battance.

---

Hor	Prof. (cm)	Description :
S5	0 – 17	Horizon sec, compacté, présente quelques racines, quelques revêtements argileux, une couleur 7,5 YR 6/4, une texture limono-argileuse, une structure fragmentaire polyédrique subanguleuse, transition peu nette et une forte effervescence de la surface vers la profondeur.
S5	17 – 50	Horizon peu humide, présente quelques racines, un revêtement argileux, une structure fragmentaire polyédrique, une couleur 7,5 YR 6/6 et une texture limono-sablo argileuse.
S5	50 – 93	Horizon sec, compacté, présente quelques micropores, un revêtement calcaire, une texture sablo-limono argileuse, une structure fragmentaire polyédrique, une transition peu nette et une couleur 7,5 YR 6/6.
S5	> 93	Horizon sec, possède la même structure, une texture sableuse, une couleur 7,5 YR 5/6 et une faible densité des racines.

Coordonnées **S6** :

**X : 617887**      **Y : 3718804**

Position : profil se trouve aussi dans le lit de l'Oued, dans un champ travaillé et portant des mottes. Une rétention totale d'eau

Végétation : oliviers très anciennes

Description surface : un gradient fort d'effervescence du haut en bas.



Hor	Prof. (cm)	Description :
S6	0 – 9	Horizon sec, travaillé, marqué par la présence d'un revêtement argileux, une couleur 7,5 YR 7/4 friable, une texture sablo-argileuse, une structure fragmentaire polyédrique subanguleuse et une transition est nette.
S6	9 – 26	Horizon sec, très compacté, présence des racines inertes, une couleur 7,5 YR 7/4, une texture argilo-limoneuse, une structure fragmentaire polyédrique subanguleuse et une transition peu nette.
S6	26 – 48	Horizon sec, peu compacté, porte quelques racines, une couleur 7,5 YR 6/4, une structure polyédrique subanguleuse, une texture limono-sablo-argileuse et une transition peu nette.
S6	48 – 106	Horizon sec, possède la même structure et texture que H3, une couleur 7,5 YR 6/4 et des revêtements et concrétions calcaires.
S6	> 106	Horizon sec, très compacté, présente quelques racines, un revêtement argileux, une couleur 7,5 YR 7/2, une texture argilo-limoneuse et une structure fragmentaire polyédrique subanguleuse.

## BRAOUKA

Coordonnées **Br1** :

**X : 603404**      **Y : 3708681**

Position : profil se trouve dans le versant du Djebel Braouka, dans une terrasse

Végétation : oliviers, figuiers et *Lycium arabicum*, *Artemisia compestris* et *Retama retam*.

Description surface : une pellicule de battance.

Il y a un gradient d'effervescence dans tous les horizons.



Hor	Prof. (cm)	Description :
Br1	0 – 22	Horizon sec, peu compacté, présente des racines des annuelles, des pores, des micropores et quelques nodules et revêtement calcaire. La structure est fragmentaire polyédrique, la texture est limono-sableuse, la couleur est 7,5 YR 7/6 et l'effervescence est forte.

Br1	22 – 47	Horizon sec, plus compacté, présente quelques concrétions et nodules calcaires, une forte effervescence, une couleur 7,5 YR 6/6 et une même structure et texture que H1.
Br1	47 – 78	Horizon sec, très compacté, présente quelques revêtements argileux, une couleur 7,5 YR 7/6, une forte effervescence, une transition peu nette et une même structure et texture.
Br1	> 78	Horizon sec, très compacté, présente des fortes concrétions et nodules calcaires (TERCHA), une forte effervescence et une couleur 7,5 YR 7/6.

Coordonnées **Br2** :**X : 603920**      **Y : 3708842**

Position : sur une terrasse au nord Ouest de Tounine, dans un terrain travaillé.

Végétation : palmiers, *Rhus tripartitum*, *Artimisia campestris* et *Retama reatam*.

Description surface : en surface des loëss et des mottes.



Hor	Prof. (cm)	Description :
Br2	0 – 17	Horizon sec, travaillé et présentant des nodules et concrétions calcaires. La structure est fragmentaire polyédrique, la Texture est limono-sableuse et la couleur est 7,5 YR 7/6. Il se caractérise par une transition peu nette et un gradient d'effervescence croissant.
Br2	17 – 31	Horizon sec, de couleur 7,5 YR 6/6 et de texture et structure idem que l'horizon précédent. Il y a des racines des annuels. La transition est peu nette
Br2	31 – 67	Horizon sec, plus compacté, possède la même texture et structure que le précédent, sa couleur est 7,5 YR 6/6, il présente des racines de palmiers, des pores et un gradient croissant d'effervescence. La transition est nette.
Br2	> 67	Horizon de transition de (0 à 15 cm), caractérisé par une forte densité de concrétions calcaires, dur, compacté (TERCHA) et de couleur 7,5 YR 7/6. Il est caractérisé par un gradient croissant d'effervescence.

Coordonnées **Br3** :

**X : 604228**      **Y : 3708114**

Position : sur une terrasse située entre des collines, à croûte calcaire.

Elle est constituée par la sédimentation de l'érosion

Végétation : le couvert végétatif est plus au moins important, une végétation composée de : *Lycium arabicum*, *Artimisia compestris*, *Artimisia alba alba*.

Description surface : une surface rugueuse. Il y a une pellicule de battance.

Un gradient croissant d'effervescence de haut en bas.



Hor	Prof. (cm)	Description :
Br3	0 – 26	Horizon sec, présente quelques racines, une forte effervescence, une couleur 7,5 YR 6/4, une structure fragmentaire polyédrique, une texture limono-argileuse et une transition peu nette.
Br3	26 – 53	Horizon sec, plus compacté, présente quelques concrétions, des graviers, une transition peu nette, une forte effervescence, une même structure que H1, une couleur 7,5 YR 6/4 et texture argileuse.
Br3	53 – 74	Horizon sec, compacté, présente une forte densité des racines des palmiers, une transition peu nette, une même structure que H1, une texture limono-argilo-sableuse, une couleur 7,5 YR 7/4 et une forte effervescence.
Br3	> 74	Horizon sec, très compacté, porte des graviers de 3 à 4 cm de diamètre, des racines de taille moyenne, une faible effervescence, une couleur 7,5YR 7/4 et une même structure et texture que H1. <b>Rem</b> : le sol d'origine colluviale

## GEOUABIT

Coordonnées **Geol** :

**X : 603882**      **Y : 3706615**

Position : profil se trouve juste sur le versant Est du Djebel Geouabit, dans un petit ravin à rétention partielle, Il est situé au nord de Toujane

Végétation : même végétation que Br3 : Oliviers âgés plus de 20 ans.

Description surface : travaillé et portant des grosses mottes.



Hor	Prof. (cm)	Description :
Geol	0 – 17	Horizon sec, friable, présente quelques nodules calcaires, quelques racines inertes, une transition nette, une structure particulière, une texture sableuse à sablo-limoneuse, une couleur 7,5 YR 6/6 et un gradient d'effervescence de haut en bas.

Geol	17 – 44	Horizon sec, compacté, présente quelques nodules calcaires et parfois des graviers. La texture est sablo-limoneuse à limono-sableuse, la structure est fragmentaire polyédrique subanguleuse, la couleur est 7,5 YR 6/6, des racines fines et une forte effervescence.
Geol	44 – 75	Horizon de transition, sec, présente une forte effervescence et une couleur 7,5 YR 5/6. Pas d'échantillons
Geol	> 75	Horizon compacté, caractérisé par une forte concrétion calcaire, quelques racines de taille moyenne, une texture limono-sableuse (A), une couleur 7,5 YR 5/6 et une même structure que H2

---

**Coordonnées Geo2 :**
**X : 604578                      Y : 3707925**

Position : profil se trouvant dans un ravin non travaillé, la rétention est partielle.

Végétation : des figuiers, des palmiers

Description surface : présence d'une pellicule de battance.

Un gradient d'effervescence de haut en bas.




---

Hor	Prof. (cm)	<b>Description :</b>
-----	------------	----------------------

Geo2	0 – 38	Horizon sec, présence des racines, une couleur 7,5 YR 7/4, une texture argilo-limoneuse, une structure fragmentaire polyédrique subanguleuse et une transition peu nette.
Geo2	38 – 57	Horizon sec, compacté, présente quelques nodules calcaires, une couleur 7,5 YR 6/6, une même structure que H1 et une texture argilo-limoneuse.
Geo2	> 57	Horizon sec, très compacté, présente quelques racines, une couleur 7,5 YR 5/6, une texture argilo-limoneuse et une structure idem que H1.

## TOUJANE

Coordonnées **TJ1** :

**X : 605950**      **Y : 3704967**

Position : profil se trouve juste sur le versant Est du Djebel Toujane, sur une terrasse non travaillée,

Végétation : *Artimisia campestris*, *Astragalus armatus* et *Artimisia alba alba*.

Description surface : une pellicule de battance et une plantation des palmiers, avec des travaux de CES à rétention partielle.



Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

TJ1	0 – 17	Horizon sec, présente quelques concrétions calcaires, des racines fines, une couleur 7,5 YR 7/6, un gradient d'effervescence fort, une texture limono-sableuse et une structure polyédrique Subanguleuse.
TJ1	17 – 41	Horizon sec, très compacté, présente une couleur 7,5 YR 7/4, une structure et une texture identique à H1.
TJ1	41 – 72	Horizon très compacté, sec, présente quelques racines, quelques concrétions et nodules Calcaires, des graviers de 4 à 5cm, une texture sablo-limoneuse, une transition peu nette, une même structure que H1 et une couleur 7,5 YR 6/6.
TJ1	> 72	Horizon sec, très compacté, présente une couleur 7,5 YR 7/6, une forte densité de concrétions (TERCHA), une structure et texture identique que H1.

Coordonnées **TJ2** :

**X : 605448**      **Y : 3705944**

Position : profil se trouvant dans un petit ravin entre Oued Tounine et Oued Toujane sur une terrasse non travaillée,

Végétation : palmiers et oliviers.

Description surface : une terrasse non travaillée.



Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

TJ2	0 – 25	Horizon sec, perturbé, présente des racines, des escargots, quelques nodules calcaires, une texture sableuse, un gradient fort d'effervescence, une structure particulière, une couleur 7,5 YR 6/4 et une transition nette.
TJ2	25 – 46	Horizon sec, plus compacté que H1, présence d'une densité importante de racines, quelques concrétions calcaires, une texture sablo-limoneuse, une structure fragmentaire polyédrique subanguleuse et une couleur 7,5 YR 6/6.

TJ2	46 – 72	Horizon sec, plus compacté, présence des nodules calcaires, peu de racine, une forte densité de concrétions (TERCHA), une couleur 7,5 YR 6/4, une transition peu nette, une structure et une texture idem que H2.
TJ2	> 72	Horizon sec, pus compacté, présente une forte densité de concrétions, une couleur 7,5 YR 6/4, une forte densité des racines, une structure et texture identique que H2.

Coordonnées **TJ3 :****X : 606552****Y : 3704449**

Position : profil se trouve juste sur la rive droite de l'Oued Toujane, sur une terrasse.

Végétation : palmiers, *Piganum harmala*, *Astragalus armatus* et *Artimisia alba alba*

Description surface : une pellicule de battance.



Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

TJ3	0 – 18	Horizon sec, compacté, Présente des nodules calcaires, des pores, une structure fragmentaire polyédrique subanguleuse, une couleur 7,5 YR 7/6 et une texture limono-sableuse
TJ3	18 – 43	Horizon sec, plus compacté, présente des racines, des nodules calcaires, des pores, la même structure et texture que H1, une texture limono-sableuse, une couleur 7,5 YR 7/4
TJ3	43 – 72	Horizon sec, très compacté, présente quelques racines, la même texture et structure que H1 et une couleur 7,5 YR 7/4.
TJ3	> 72	Même caractéristique que l'horizon précédent.

Coordonnées **TJ4 :****X : 606000****Y : 3703844**

Position : profil se trouve dans une terrasse dans le versant nord Est de Oued Toujane juste sur le versant de la ville de Toujane, près d'un Marabou.

Végétation : palmiers



Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

J4	0 – 22	Horizon sec, friable, d'apport éolien et hydrique, présente des nodules et graviers calcaires, une texture sablo-limoneuse, une structure particulière, une couleur 7,5 YR 7/4 et un gradient fort d'effervescence de haut en bas.
----	--------	--

TJ4	33 – 31	Horizon de transition, compacté, possède une couleur 7,5 YR 7/4.
TJ4	> 31	Horizon sec, très compacté, présente des micropores, un revêtement argileux, quelques nodules et concrétions calcaires, une structure fragmentaire polyédrique subanguleuse, une couleur 7,5 YR 7/4 et une texture argilo-limoneuse.

---

**Coordonnées TJ5 :**
**X : 605665      Y : 3703196**

Position : profil se trouve dans une terre près de versant

Est de Djebel Toujane, près d'un cimetière et de l'hôtel.

Végétation : palmiers

Description surface : une pellicule de battance à la surface.




---

Hor	Prof. (cm)	Description :
TJ5	0 – 10	Horizon sec, présente quelques racines fines, des concrétions et nodules calcaires, une couleur 7,5 YR 6/4, une structure particulière à fragmentation polyédrique subanguleuse, une texture limono-argileuse (S), un gradient fort d'effervescence de haut en bas et une transition nette.
TJ5	10 – 63	Horizon sec, compacté, présente des concrétions et revêtement calcaire, des pores, une couleur 7,5 YR 6/4, une structure polyédrique subanguleuse et une texture limono-sablo-argileuse.
TJ5	> 63	Horizon sec, très compacté, présente un encroûtement calcaire, des concrétions calcaires, une concentration des racines de palmiers, une couleur 7,5 YR 7/4, une texture limono-sableuse et la structure que H1



Coordonnées **TJ6** :

**X : 605792**      **Y : 3704471**

Position : profil se trouvant juste sur le versant Est du Djebel Toujane, à côté de la route de Tounine-Toujane.

Végétation : *Artimisia alba alba*, *Astragalus Armatus*, *Lycium arabicum*, et palmiers

Une pellicule de battance en surface.



Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

TJ6	0 – 29	
-----	--------	--

Horizon sec, présente présence des nodules et graviers calcaires de diamètre 4 à 5 cm, des concrétions calcaires, quelques racines inertes, une structure fragmentation polyédrique subanguleuse, une texture limono-sableuse à limono-sablo-argileuse, une couleur 7,5 YR 7/4, un gradient fort d'effervescence de haut en bas et une transition nette.

TJ6	> 29	
-----	------	--

Horizon sec, caractérisé par un encroûtement à forte concentration calcaire (TERCHA), une forte intensité de racines de palmiers, une texture limono-sableuse, une couleur 7,5 YR 8/4 et une même structure que H1.

## TKH (TOUNINE KHYATA)

Coordonnées **TK1** :

**X : 609084**      **Y : 3709994**

Position : profil se trouve juste sur la rive gauche de l'Oued Ségui en face du versant sud du Djebel Ben zighar, sur une surface rugueuse et non travaillée,

Végétation : *Astragalus armatus*, *Gymnocarpos decander*, *Artimisia compestris* et *Artrophytum scoparium*.

Description surface : le recouvrement végétal est compris entre 10 et 20 cm.



Hor	Prof. (cm)	Description :
-----	------------	---------------

TK1	0 – 23	
-----	--------	--

Horizon sec, peu compacté, présente des racines, des concrétions et nodules calcaires, un gradient fort d'effervescence de haut en bas, une structure fragmentaire polyédrique, une texture limono-sableuse et une couleur 7,5 YR 6/6.

TK1	23 / 81	
-----	---------	--

Horizon sec, très compacté, présente des concrétions et revêtement argileux, une forte densité de concrétions (encroûtement), une couleur 7,5 YR 8/4, une texture limono-sableuse (A) et une structure idem que H1.

TK1	> 81	
-----	------	--

Horizon sec, présente une forte densité de concrétion calcaire, une couleur 7,5 YR 7/6 et une même structure et texture que H1.

Coordonnées **TK2** :**X : 609159**      **Y : 3709888**

Position : profil se trouve au sud du profil TK1 (60m), sur une terrasse travaillée, portant des grosses mottes

Végétation : amandiers et palmiers.

Description surface : des grosses mottes.



Hor	Prof. (cm)	Description :
TK2	0 – 6	Horizon sec, friable, travaillé, présente un gradient d'effervescence forte de haut en bas, une texture sablo-limoneuse, une structure fragmentaire polyédrique subanguleuse, une couleur 7,5 YR 7/6 et transition nette.
TK2	6 – 51	Horizon de transition, très compacté, sec, de même structure que H1, présence des quelques racines de palmiers, des racines inertes, des micropores, une couleur 7,5 YR 6/6 et une texture limono-sableuse.
TK2	> 51	Horizon sec, présente une forte concentration des concrétions calcaires, une couleur 7,5 YR 5/6, la même structure que H1, une texture limono-sableuse (A) et des racines de palmiers.

Coordonnées **TK3** :**X : 609557**      **Y : 3710305**

Position : profil se trouve près de la rive gauche de l'Oued Ségui, dans un petit champ travaillé,

Végétation : oliviers, figuiers et des anciens palmiers, *Piturontos tortuosos*, *Astragalus armatus* et *Artimisia compestris*.

Hor	Prof. (cm)	Description :
TK3	0 – 9	Horizon sec, friable, présence d'une pellicule de battance, d'un gradient fort d'effervescence de haut en bas, de quelques racines des annuelles, de quelques nodules calcaires d'origine éolienne, d'une texture sableuse, d'une structure particulière à fragmentaire polyédrique, d'une couleur 7,5 YR 6/6 et une transition nette.
TK3	9 – 36	Horizons de transition, sec, plus compacté, présente quelques racines, quelques concrétions calcaires et une couleur 7,5 YR 6/6. La matière organique est non décelable.
TK3	> 36	Horizon sec, très compacté, présente une forte concentration des concrétions calcaires, une même structure et texture que H2 et une couleur 7,5 YR 6/6.

Coordonnées **TK4** :**X : 609913****Y : 3710681**

Position : Profil se trouvant dans une surface non travaillée,

Végétation : végétation identique que TK2 et TK3.

Description surface : une pellicule de battance



Hor	Prof. (cm)	Description :
TK4	0 – 7	Horizon sec, présente une forte effervescence, quelques concrétions et nodules calcaires, des racines inertes, une texture sablo-limoneuse, une structure fragmentaire polyédrique subanguleuse et une couleur 7,5 YR 7/6.
TK4	7 – 34	Horizon de transition, sec, présente quelques concrétions calcaires, quelques nodules, quelques racines fines, une même structure que H1, une texture limono-sableuse et une couleur 7,5 YR 6/4.
TK4	> 34	Horizon très compacté, sec, présente un revêtement calcaire, une même structure et texture que H1 et une couleur 7,5 YR 6/6.

Coordonnées **TK5** :**X : 609135****Y : 3710515**

Position : profil se trouve entre Kheyana et Djebel ben Zighar, dans un champ travaillé

Végétation : oliviers, *Astragalus armatus* et *Artimisia campestris*.

Description surface : des grosses mottes.



Hor	Prof. (cm)	Description :
TK5	0 – 16	Horizon sec, perturbé, possède une pellicule de battance, quelques racines inertes, quelques nodules et concrétions calcaires. La structure est particulière à fragmentaire polyédrique subanguleuse, la texture est limono-sableuse, la transitions est nette et la couleur est 7,5 YR 6/4.
TK5	16 – 39	Horizon de transition, porte la même structure que H1, une texture limono-sableuse et une couleur 7m5 YR 6/6.
TK5	> 39	Horizon très compacté, sec, présente une forte effervescence, une couleur 7,5 YR 6/6 et une même structure et texture que H1.

**MARETH5**Coordonnées **M5<sub>1</sub>**:**X : 620535****Y : 3722639**

Position : profil se trouvant à coté du château d'eau de Mareth5,

Végétation : grenadiers et palmiers, *Cynodon dactylon*.

Un gradient fort d'effervescence.



Hor	Prof. (cm)	Description :
M51	0 – 22	Horizon sec, compacté, présente des racines fines de <i>Cynodon dactylon</i> , un revêtement organique, une structure fragmentaire polyédrique, une texture sablo-limono argileuse, une couleur 7,5 YR 6/4 et une transition nette.
M51	22 – 49	Horizon humide, présente des racines fines de taille moyenne (arboriculture), quelques micropores, une transition peu nette, une texture sableuse, une couleur 7,5 YR 5/6 et une même structure que H1.
M51	49 - 102	Horizon humide, quelques racines fines, quelques racines fines, un revêtement argileux, texture sablo-argileuse, une couleur 7,5 YR 4/6, une transition nette et une même structure que H1.
M51	102 – 132	Horizon humide, présente quelques racines arboricoles, quelques racines fines, une texture argilo-sableuse, la même structure que H1, une couleur 7,5 YR 4/6 et une transition peu nette.
M51	> 132	Horizon humide, présente quelques racines élastiques, une couleur 7,5 YR 4/6, une texture argileuse et la même structure qu'au profil précédent.

Coordonnées **M5<sub>2</sub>** :

**X : 620762**      **Y : 3725227**

Position : profil se trouve dans la région de Mareth5

Végétation : grenadiers, pommiers, oliviers et palmiers.

Un gradient d'effervescence fort du haut en bas.



Hor	Prof. (cm)	Description :
M5 <sub>2</sub>	0 – 30	Horizon humide, compacté, présente des racines des annuelles ( <i>Cynodon dactylon</i> ), quelque revêtement calcaire, quelques traces de matière organique, une texture sablo-argileuse, une structure fragmentaire polyédrique, une transition nette et une couleur 7,5 YR 4/6.
M5 <sub>2</sub>	30 – 52	Transition humide, présente des racines fines, des racines inertes, quelques micropores, des traces de matière organique, une couleur 7,5 YR 5/6, une texture sableuse et une même structure que H1.
M5 <sub>2</sub>	52 - 65	Horizon idem que H2 mais avec une texture argilo-sableuse, la couleur 7,5 YR 4/6, présence des racines arboricoles et une transition peu nette.
M5 <sub>2</sub>	65 - 98	Horizon humide, présente des racines de tailles moyennes, une couleur 7,5 YR 5/6, une même texture et structure que H2 et une transition peu nette.
M5 <sub>2</sub>	98 – 112	Horizon humide, présente quelques revêtements salins (calcaires non gypseuse), une texture argilo-sableuse, une structure fragmentaire, polyédrique subanguleuse, une couleur 7,5 YR 4/6 et une transition nette.
M5 <sub>2</sub>	> 112	Horizon idem que H2, avec couleur 7,5 YR 5/6 Rem : même profil que M5 <sub>3</sub>

Coordonnées **M5<sub>3</sub>** :

**X : 620992**      **Y : 3722262**

Position : profil se trouve dans un périmètre irrigué, surface plate proche de la rive droite de l'Oued Ségui

Végétation : grenadiers, palmiers et luzernes.

Le profil présente un gradient croissant de la surface



Hor	Prof. (cm)	Description :
M5 <sub>3</sub>	0 – 30	Horizon sec, compacté, présente des racines fines des annuelles ( <i>Cynodon dactylon</i> ), des racines inertes, une texture sableuse, une structure particulière à fragmentaire polyédrique, une couleur 7,5 YR

5/6, une transition peu nette et une absence remarquable de la matière organique et de l'activité biologique.

M5<sub>3</sub> 30 – 64

Horizon humide, présente une densité des racines fines, quelques revêtements calcaires et des nodules argileux. La texture est sableuse, la couleur est 7,5 YR 5/6, la transition est nette et la structure est particulière à fragmentaire polyédrique.

M5<sub>3</sub> 64 – 89

Horizon humide, présente des racines arboricoles (grenadiers), une texture argilo-sableuse, une structure particulière à fragmentaire polyédrique, une couleur 7,5 YR 5/6, une transition nette, quelques racines fines et la matière organique est non décelable.

M5<sub>3</sub> 89 – 121

Horizon humide, présente quelques racines, quelques nodules et revêtement calcaire ou gypseux, une texture Sablo-argileuse, une structure particulière à fragmentaire polyédrique, une transition peu nette, une couleur 7,5 YR 4/6 et des traces des fumures.

M5<sub>3</sub> > 121

Horizon humide, peu compacté, d'apport hydrique, présente quelques racines, quelques traces d'hydromorphie, une texture argilo-sableuse, une structure idem que H1, une couleur 7,5 YR 4/6 et aucun signe d'activité biologique.



**8.2. Base de données de sol (0-30 cm et >30 cm)**

Profil	Horizon	pH	cté	caco3 T	caco3 A	MO	A	L	S
HA1	HA1s	7,09	0,47	20,38	10,49	0,68	10,63	11,91	75,28
	HA1p	7,20	0,62	32,00	14,50		15,00	24,00	57,00
HA2	HA2s	7,00	1,25	24,00	9,50	0,50	10,00	15,00	70,00
	HA2p	8,00	0,41	34,00	7,00		14,00	26,00	55,00
HA3	HA3s	7,57	0,48	33,72	11,20	0,62	11,00	15,26	71,22
	HA3p	7,30	0,29	32,00	14,50		15,00	29,00	54,00
HA4	HA4s	5,90	1,95	22,00	9,50	0,80	13,00	19,00	66,00
HA5	HA5s	7,70	0,71	17,78	7,89	0,68	10,06	23,72	62,72
HA6	HA6s	7,54	2,21	23,96	11,77	0,55	3,87	25,94	60,02
HA7	HA7s	7,50	0,62	22,00	9,00	0,80	6,00	31,00	60,00
	HA7p	7,25	0,59	27,46	12,94		13,85	33,42	52,15
HA8	HA8s	6,50	0,82	30,00	14,50	0,37	10,00	29,00	59,00
	HA8p	6,50	4,28	58,00	28,00		15,00	49,00	35,00
HA9	HA9s	7,46	0,44	14,99	6,69	0,37	6,58	12,63	78,14
HA10	HA10s	7,45	0,35	44,67	12,84	0,57	18,57	35,27	45,13
HA11	HA11s	7,60	0,43	24,00	12,50	0,12	12,00	24,00	62,00
	HA11p	7,40	0,65	56,00	27,50		23,00	33,00	41,00
HA12	HA12s	7,30	0,38	22,00	12,00	0,62	10,00	15,50	71,50
HA13	HA13s	6,64	1,13	24,80	12,64	0,50	13,92	20,20	57,68
HA14	HA14s	7,32	0,72	16,80	5,52	0,50	10,96	14,04	74,92
HA15	HA15s	6,60	2,10	26,00	12,00	0,62	9,00	26,00	65,00
	HA15p	7,67	1,63	35,55	14,54		15,69	19,77	52,54
HA16	HA16s	0,85	0,09	2,16	1,14	0,31	1,08	2,40	8,40
	HA16p	7,67	0,54	27,54	9,83		12,89	20,51	64,58
HA17	HA17s	7,00	0,54	0,32	8,92	0,62	12,44	24,84	61,72
	HA17p	7,40	0,58	51,16	20,06		19,60	43,19	36,81
HA18	HA18s	7,50	0,66	24,00	13,00	0,37	13,00	23,00	62,00
	HA18p	7,54	2,07	54,59	37,78		23,13	47,46	39,97
HA19	HA19s	7,64	0,34	29,84	11,28	0,68	12,27	22,23	61,01
TN1	TN1s	7,56	0,41	26,97	8,44	0,19	10,04	19,83	65,91
TN2	TN2s	7,50	0,46	0,25	10,55	1,13	12,18	39,27	47,82
	TN2p	7,60	3,12	46,30	10,62		22,40	44,87	32,16

<b>Profil</b>	<b>Horizon</b>	<b>pH</b>	<b>cté</b>	<b>caco3 T</b>	<b>caco3 A</b>	<b>MO</b>	<b>A</b>	<b>L</b>	<b>S</b>
<b>TN3</b>	<b>TN3s</b>	7,20	1,25	47,00	17,00	2,26	22,40	64,00	60,29
	<b>TN3p</b>	7,32	0,49	24,66	8,14		9,16	25,74	
<b>TN4</b>	<b>TN4s</b>	7,41	0,40	34,41	16,47	1,19	22,24	32,18	47,00
	<b>TN4p</b>	7,44	0,65	24,47	9,35		14,92	17,80	63,38
<b>TN5</b>	<b>TN5s</b>	7,47	0,44	35,94	13,09	0,81	13,81	21,94	62,69
	<b>TN5p</b>	7,60	0,66	53,00	26,00		25,00	36,00	34,00
<b>TN6</b>	<b>TN6s</b>	7,51	6,83	48,18	13,09	1,09	17,00	31,36	37,64
	<b>TN6p</b>	7,70	3,30	24,00	27,70		31,00	31,00	34,00
<b>TN7</b>	<b>TN7s</b>	7,46	0,69	21,48	7,64	0,81	11,62	18,38	67,00
<b>TN8</b>	<b>TN8s</b>	7,73	1,06	0,39	7,60	1,39	14,18	21,94	60,20
<b>TN9</b>	<b>TN9s</b>	7,29	0,67	26,13	6,37	0,44	13,13	21,69	61,75
	<b>TN9p</b>	7,50	0,59	18,00	4,50		11,00	14,00	74,00
<b>TN10</b>	<b>TN10s</b>	7,49	0,45	23,05	9,82	1,00	15,02	23,74	60,76
<b>TN11</b>	<b>TN11s</b>	7,24	0,59	16,41	5,76	0,63	5,95	13,00	69,00
	<b>TN11p</b>	7,40	0,27	21,00	8,00		12,00	19,00	
<b>TN12</b>	<b>TN12s</b>	7,61	0,34	24,93	10,71	0,50	16,27	24,29	57,90
<b>TN13</b>	<b>TN13s</b>	7,50	0,99	26,00	10,30		16,27	30,00	50,00
	<b>TN13p</b>	7,40	2,81	21,00	12,50		22,00	35,00	39,00
<b>Z1</b>	<b>Z1s</b>	7,80	123,34	8,00	5,50	0,72			
	<b>Z1p</b>	7,20	64,85	15,68	13,79				
<b>Z2</b>	<b>Z2s</b>	7,40	5,20	15,00	5,00	0,96	9,00	17,00	71,00
	<b>Z2p</b>	7,56	9,48	28,93	9,64		14,65	30,44	50,02
<b>Z3</b>	<b>Z3s</b>	7,60	52,59	10,00	7,00	0,60	11,00	10,00	67,00
	<b>Z3p</b>	7,46	15,59	17,71	10,86		14,36	15,71	59,64
<b>Br1</b>	<b>Br1s</b>	7,74	0,43	27,27	9,18	0,42	14,31	25,60	58,97
<b>Br2</b>	<b>Br2s</b>		0,44	18,10	6,27	0,78	9,45	20,55	68,55
	<b>Br2p</b>	7,80	0,37	26,50	9,00		12,00	21,00	65,00
<b>Br3</b>	<b>Br3s</b>	7,70	0,44	27,77	9,76	1,27	14,18	31,69	50,28
<b>Tj1</b>	<b>Tj1s</b>	7,61	1,22	26,25	9,46	0,48	11,88	24,99	56,09
<b>TJ2</b>	<b>Tj2s</b>	7,65	0,54	20,37	5,68	0,42	10,37	21,00	67,26
	<b>Tj2p</b>	7,60	0,36	20,00	7,50		13,00	17,00	69,00
<b>Tj3</b>	<b>Tj3s</b>	7,38	0,50	43,83	8,01	0,84	11,00	47,61	44,38

<b>Profil</b>	<b>Horizon</b>	<b>pH</b>	<b>cté</b>	<b>caco3 T</b>	<b>caco3 A</b>	<b>MO</b>	<b>A</b>	<b>L</b>	<b>S</b>
<b>Tj4</b>	<b>Tj4s</b>	7,50	1,05	46,00	8,50	1,45	11,00	30,00	56,00
	<b>Tj4p</b>	7,50	0,82	40,00	12,50		15,00	43,00	40,00
<b>Tj5</b>	<b>Tj5s</b>	7,50	0,50	15,48	4,90	1,81	13,16	19,16	64,00
<b>Tj6</b>	<b>Tj6s</b>	7,60	0,63	29,00	9,00	1,08	11,00	26,00	62,00
	<b>Tj6p</b>	7,60	0,52	34,00	12,00		20,00	13,00	52,00
<b>OR1</b>	<b>OR1s</b>	7,35	1,64	21,54	7,56	0,84	10,46	22,47	64,60
<b>OR2</b>	<b>OR2s</b>	7,30	0,73	15,00	5,00	0,02	11,00	4,00	65,00
	<b>OR2p</b>	7,66	0,27	18,43	9,85		14,61	18,22	65,57
<b>OR3</b>	<b>OR3s</b>	7,10	3,88	32,00	4,00	0,90	13,00	18,00	63,00
	<b>OR3p</b>	7,24	7,74	44,86	18,59		21,56	237,22	40,99
<b>OR4</b>	<b>OR4s</b>	7,74	0,53	26,08	7,77	0,72	12,98	20,43	64,04
<b>OR5</b>	<b>OR5s</b>	7,70	0,44	30,00	11,00	1,39	22,00	42,00	33,00
<b>OR6</b>	<b>OR6s</b>	6,91	0,38	25,24	6,24	1,21	10,00	15,86	73,90
<b>OR7</b>	<b>OR7s</b>	7,60	2,56	31,54	9,39	0,72	20,30	22,77	55,68
<b>TK1</b>	<b>TK1s</b>	7,67	0,94	36,04	16,88	0,42	17,58	28,43	52,56
<b>TK2</b>	<b>TK2s</b>	7,70	0,51	20,00	6,50	1,01	9,00	19,00	70,00
	<b>TK2p</b>	7,80	0,21	28,00	9,50		12,00	21,00	63,00
<b>TK3</b>	<b>TK3s</b>	7,70	0,54	14,00	5,50	0,63	11,00	20,00	70,00
	<b>TK3p</b>	7,60	0,43	18,50	6,50		12,00	18,00	69,00
<b>TK4</b>	<b>TK4s</b>	7,70	0,66	21,00	6,00	0,72	9,00	22,00	68,00
	<b>TK4p</b>	7,80	0,59	26,00	8,00		18,00	26,00	55,00
<b>TK5</b>	<b>TK5s</b>	7,50	0,57	23,00	12,50	0,78	15,00	31,00	52,00
	<b>TK5p</b>	7,00	10,57	30,50	8,00		11,00	32,00	55,00
<b>S1</b>	<b>S1s</b>	7,33	0,94	24,00	5,50	0,06	10,75	20,75	67,00
	<b>S1p</b>	7,44	1,84	30,03	3,92		8,67	15,50	72,22
<b>S2</b>	<b>S2s</b>	7,55	2,75	22,91	7,02	0,02	10,00	25,98	63,02
<b>S3</b>	<b>S3s</b>	7,91	0,55	22,99	9,86	0,66	7,00	15,00	76,00
	<b>S3p</b>	7,40	0,48	26,00	10,50		18,00	40,00	41,00
<b>S4</b>	<b>S4s</b>	7,53	0,53	19,29	3,74	0,24	7,58	1,00	67,64
<b>S5</b>	<b>S5s</b>	7,44	1,73	27,45	7,36	0,20	14,16	27,09	53,57
	<b>S5p</b>	7,50	1,73	20,00	9,00		21,00	75,00	
<b>S6</b>	<b>S6s</b>	7,80	0,61	29,01	8,25	0,84	18,02	25,43	52,88

<b>Profil</b>	<b>Horizon</b>	<b>pH</b>	<b>cté</b>	<b>caco3 T</b>	<b>caco3 A</b>	<b>MO</b>	<b>A</b>	<b>L</b>	<b>S</b>
<b>JO1</b>	<b>JO1s</b>	7.65	0.38	21.00	9.64	1.09	13.09	19.68	22.15
<b>JO2</b>	<b>JO2s</b>	7.86	0.66	34.13	9.50	0.75	20.00	38.81	39.46
<b>M51</b>	<b>M51s</b>	7.82	2.13	20.27	6.86	0.77	13.20	20.17	65.66
<b>M52</b>	<b>M52s</b>	7.84	1.57	18.13	4.80	0.82	11.67	18.45	69.18
<b>M53</b>	<b>M53s</b>	7.74	2.15	20.45	5.61	0.16	10.06	11.72	74.69
	<b>M53p</b>	7.96	2.56	20.63	5.44		13.75	21.88	62.49
<b>AZ1</b>	<b>AZ1s</b>	7.85	0.59	28.36	6.11	0.82	13.00	18.68	67.27
<b>AZ2</b>	<b>AZ2s</b>	7.56	0.50	27.90	4.02	0.05	9.45	23.62	66.26
	<b>AZ2p</b>	7.60	0.70	33.85	5.93		6.00	11.93	78.72
<b>AZ3</b>	<b>AZ3s</b>	7.65	0.48	22.45	5.90	0.61	7.43	15.96	76.06
<b>AZ4</b>	<b>AZ4s</b>	7.67	0.28	17.68	4.02	0.22	5.32	11.00	81.68
<b>AZ5</b>	<b>AZ5s</b>	7.49	0.36	41.68	5.08	0.33	5.28	8.89	84.83
	<b>AZ5p</b>	7.60	0.32	28.00	7.50		10.00	20.00	65.00
<b>AZ6</b>	<b>AZ6s</b>	7.81	0.29	20.89	3.68	0.11	6.92	10.47	81.49
<b>AZ7</b>	<b>AZ7s</b>	7.68	1.74	27.15	6.42	1.16	12.44	23.05	64.16
<b>AZ8</b>	<b>AZ8s</b>	7.57	0.93	26.57	6.57	1.05	14.43	25.00	60.57
	<b>AZ8p</b>	7.57	0.40	15.95	2.98		7.63	15.38	76.16
<b>AZ9</b>	<b>AZ9s</b>	7.66	0.29	16.74	4.74	0.62	9.63	14.00	73.37
	<b>AZ9p</b>	7.62	0.30	20.77	8.30		15.00	16.19	65.40
<b>AZ10</b>	<b>AZ10s</b>	7.55	0.41	23.71	8.15	0.12	11.07	23.35	64.73
<b>AZ11</b>	<b>AZ11s</b>	7.41	0.42	21.97	8.44	0.18	9.00	20.64	68.59
<b>AZ12</b>	<b>AZ12s</b>	7.58	0.56	52.34	20.94	0.62	13.00	32.56	53.44
<b>AZ13</b>	<b>AZ13s</b>	7.70	0.85	19.71	9.71	0.31	17.43	25.57	55.00
<b>AZ14</b>	<b>AZ14s</b>	7.45	1.35	22.00	8.06	0.87	10.06	21.59	68.34
	<b>AZ14p</b>	7.60	2.22	48.00	15.50		15.00	28.00	45.00
<b>AZ15</b>	<b>AZ15s</b>	7.61	0.63	21.66	5.74	0.25	10.13	16.97	71.78
<b>AZ16</b>	<b>AZ16s</b>	7.60	0.68	19.50	5.50	0.50	8.00	15.00	75.00
	<b>AZ16p</b>	7.60	2.46	23.50	6.50		14.00	15.00	69.00
<b>AZ17</b>	<b>AZ17s</b>	7.70	0.64	23.50	6.33	0.69	13.33	25.33	61.00

### 8.3. Base de données de micro-bassin versant de Braouka

Code N° X Y hr Sr S Cr  
 Jisr (m) (m<sup>2</sup>) Impluvium (m<sup>3</sup>)  
 (m<sup>2</sup>)

1	1	602640	3707099	0.5	12	11520	6
2	2	602662	3707096	0.7	13	14080	9.1
3	3	619278	3720032	0.1	39	5760	3.9
4	4	602653	3707020	0.3	4	10360	1.2
5	5	602688	3706045	0.8	3	14200	2.4
6	6	602733	3707098	0.2	400	39800	80
7	7	602769	3706990	0.5	50	46200	25
8	8	602780	3706965	0.4	21	69880	8.4
9	9	602792	3706942	1	68	78840	68
10	10	602803	3706933	0	0	86520	0
11	11	602825	3706908	0.3	60	90360	18
12	12	602705	3706885	0	0	1920	0
13	13	602746	3706855	0.4	8	10880	3.2
14	14	602750	3706880	0.5	190	12780	95
15	15	602770	3706890	0.5	32	14690	16
16	16	602794	3706856	0.4	200	15970	80
17	17	602795	3706860	0.2	15	77410	3
18	18	602745	3706850	1	520	58240	520
19	19	602720	3706850	0.3	29	54400	8.7
20	20	602685	3706852	0	0	49920	0
21	21	602727	3706791	0.2	170	1280	34
22	22	602663	3706843	0	0	46080	0
23	23	602650	3706842	0.25	16	40960	4
24	24	602632	3706827	0.25	16	36480	4
25	25	602616	3706825	0.1	14	33280	1.4
26	26	602598	3706832	0.3	35	31360	10.5
27	27	602563	3706821	0.3	4	21120	1.2
28	28	602561	3706822	0	0	18560	0
29	29	602513	3706820	0	0	15360	0
30	30	602573	3706602	0	0	14720	0
31	31	602567	3706613	0	0	23680	0
32	32	602525	3706608	1	88	42240	88
33	33	602520	3706610	0	0	16640	0
34	34	602539	3706613	0	0	15360	0
35	35	602544	3706615	1	36	14720	36
36	36	602472	3706600	1.4	18	7040	25.2
37	37	602567	3706629	0	0	3840	0
38	38	602562	3706637	0	0	45440	0
39	39	602569	3706633	0.6	40	47360	24
40	40	602589	3706651	0.9	36	49920	32.4
41	41	602589	3706674	0.5	275	106880	137.5
42	42	602565	3706677	0	0	49920	0
43	43	602550	3706678	2	200	47360	400
44	44	602510	3706694	0	0	41600	0
45	45	602503	3706698	0	0	36480	0
46	46	602484	3706689	0	0	23040	0
47	47	602371	3706589	0	0	2560	0

48	48	602625	3706708	0.4	18	53760	7.2
49	49	602645	3706707	1	143	108160	143
50	50	602644	3706714	0	0	112020	0
51	51	602660	3706721	0.1	20	3200	2
52	52	602711	3706651	0	0	117780	0
53	53	602670	3706681	0.2	15	126100	3
54	54	602656	3706695	0	0	3840	0
55	55	602662	3706906	0.8	15	2550	12
56	56	602666	3706511	1	18	7670	18
57	57	602611	3706619	1.3	14	10870	18.2
58	58	602678	3706542	0.8	12	14070	9.6
59	59	602670	3706584	1	42	29430	42
60	60	602659	3706634	1	50	33910	50
61	61	602692	3706652	0.1	10	36470	1
62	62	602776	3706688	0	0	51820	0
63	63	602711	3706643	0.1	24	13430	2.4
64	64	602800	3706604	0	0	9600	0
65	65	602725	3706626	0	0	4480	0
66	66	602732	3706672	0	0	54390	0
67	67	602723	3706705	0	0	188170	0
68	68	602724	3706703	0.3	200	192100	60
69	69	602770	3706761	0.5	1	193380	0.5
70	70	602851	3706668	1.1	12	2560	13.2
71	71	602769	3706648	0.05	18	8960	0.9
72	72	602826	3706672	0	0	12800	0
73	73	602793	3706684	0.2	5	14080	1
74	74	602798	3706687	0.6	20	19200	12
75	75	602799	3706741	1.5	110	22410	165
76	76	602814	3706752	0.2	25	221550	5
77	77	602803	3706775	0	0	225400	0
78	78	602834	3706824	1	55	229290	55
79	79	602907	3706712	1	25	13440	25
80	80	602905	3706711	0.5	6	21120	3
81	81	602901	3706748	0.3	40	28160	12
82	82	602893	3706775	0	0	36480	0
83	83	602895	3706803	0.5	90	40320	45
84	84	602889	3706820	0	0	49920	0
85	85	602980	3706855	0.4	120	56320	48
86	86	602931	3706879	0.1	70	1920	7
87	87	602960	3706889	0.1	60	58220	6
88	88	602981	3706755	0.2	30	1900	6
89	89	602975	3706756	0	0	4900	0
90	90	602986	3706800	0	0	8100	0
91	91	602993	3706843	0	0	9660	0
92	92	603016	3706934	0	0	14780	0
93	93	602939	3706950	0	0	465970	0
94	94	602135	3706925	0	0	2560	0
95	95	602964	3706930	0.4	5	5130	2
96	96	602983	3707008	0.2	20	2550	4
97	97	602960	3706026	1.3	330	11520	429
98	98	603034	3707054	0.3	256	8320	76.8
99	99	602985	3706982	0.5	231	512110	115.5

100	100	603081	3706970	1	300	3840	300
101	101	603077	3706970	0	0	5120	0
102	102	603010	3706993	0.4	30	2550	12
103	103	603037	3707056	0.5	539	8960	269.5
104	104	603043	3707028	0.2	40	14720	8
105	105	603077	3706970	0	0	535150	0
106	106	603128	3707011	0	0	547310	0
107	107	603181	3707055	0.2	800	565860	160
108	108	603136	3706983	0.5	800	7680	400
109	109	603158	3707909	0	0	28120	0
110	110	603209	3706868	0	0	14060	0
111	111	603189	3706868	0.4	50	10220	20
112	112	603200	3706783	0.5	187	5740	93.5
113	113	603201	3706771	0.5	187	1920	93.5
114	114	603158	3706769	0	0	3200	0
115	115	603080	3706793	0.3	165	5760	49.5
116	116	603069	3706834	0	0	7660	0
117	117	603078	3706850	0	0	10860	0
118	118	603233	3707214	0	0	6400	0
119	119	603227	3707190	0	0	3840	0
120	120	603216	3707210	0.4	55	10240	22
121	121	603281	3707249	0	0	3840	0
122	122	603230	3707249	0	0	1280	0
123	123	603279	3707216	0	0	3860	0
124	124	603253	3707147	0	0	19840	0
125	125	603285	3707296	0	0	27540	0
126	126	603236	3706956	0	0	4480	0
127	127	603233	3706954	0	0	3840	0
128	128	603247	3707027	0	0	6390	0
129	129	603230	3707030	0.4	70	11510	28
130	130	603209	3707070	0.5	60	14710	30
131	131	603292	3707198	0	0	3220	0
132	132	603289	3707155	0	0	644580	0
133	133			0	0	649060	0
134	134	603311	3707214	0	0	651620	0
135	135	603385	3707174	0	0	655460	0
136	136	603286	3707195	0	0	18540	0
137	137	603398	3707211	0	0	23660	0
138	138	603381	3707268	0.5	50	693850	25
139	139	603379	3707243	0	0	2570	0
140	140	603350	3707277	0	0	1920	0
141	141			0	0	7680	0
142	142			0	0	7670	0
143	143			0	0	1280	0
144	144			0	0	2560	0
145	145	603448	3707262	0	0	712400	0
146	146	603444	3707293	0	0	4480	0
147	147	603434	3707336	0	0	723930	0
148	148	603473	3707330	0	0	5760	0
149	149	603504	3707316	0	0	3210	0
150	150	603479	3707394	0	0	5760	0
151	151	603490	3707434	0	0	9610	0

152	152			0	0	737430	0
153	153	603478	3707405	0	0	13440	0
154	154	603515	3707483	0	0	17280	0
155	155	603519	3707481	0.7	140	775190	98
156	156	603536	3707468	0.4	70	787350	28
157	157	603595	3707504	0	0	3840	0
158	158	603564	3707609	0	0	9600	0
159	159			0	0	829800	0
160	160	603576	3707578	0	0	1920	0
161	161	603565	3707550	0	0	3820	0
162	162	603586	3707588	0	0	5720	0
163	163	603597	3707596	0	0	799070	0
164	164	603613	3707562	0	0	802270	0
165	165	603596	3707605	0	0	2560	0
166	166	603602	3707616	0	0	7680	0
167	167	603644	3707638	0.3	105	790350	31.5
168	168	603695	3707523	0.1	12	2560	1.2
169	169	603701	3707550	0	0	5140	0
170	170	603708	3707554	0	0	7690	0
171	171	603678	3707568	0.1	20	10900	2
172	172	603705	3707570	0.2	1	20510	0.2
173	173	603703	3707583	0	0	21790	0
174	174	603727	3707668	0	0	1260	0
175	175	603719	3707670	0.7	150	837480	105
176	176	603675	3707807	3	1058	862000	3174
177	177	603720	3707860	0	0	10880	0
178	178	603770	3707929	0.1	16	5120	1.6
179	179	603650	3707938	1	675	772420	675
180	180	603687	3707986	0	0	755780	0
181	181	603725	3707995	0	0	750660	0
182	182	603690	3707983	0	0	13440	0
183	183	603626	3707967	0	0	3200	0
184	184	603632	3708019	0.2	220	5760	44
185	185	603634	3708074	0.5	75	9600	37.5
186	186	603395	3708089	0	0	3220	0
187	187	603455	3708050	0	0	7060	0
188	188	603475	3708039	0	0	10260	0
189	189	603486	3708020	0	0	5760	0
190	190	603488	3707965	0	0	745530	0
191	191	603444	3707936	0	0	5120	0
192	192	603418	3707367	0	0	4480	0
193	193	603374	3707870	0	0	7680	0
194	194	603400	3707840	0	0	30720	0
195	195	603530	3707886	0	0	700710	0
196	196	603570	3707886	0	0	660390	0
197	197	603500	3707870	1.5	435	9600	652.5
198	198	603470	3707878	0	0	14720	0
199	199	603208	3707063	0	0	3840	0
200	200	603530	3707853	0	0	1280	0
201	201	603460	3707825	0	0	2560	0
202	202	603270	3707900	1.2	450	4480	540
203	203	603290	3707870	0	0	9600	0

204	204	603340	3707803	0.5	250	12820	125
205	205	603079	3707778	0.5	150	23040	75
206	206	603055	3707736	0	0	12800	0
207	207	603050	3707721	0.4	90	8960	36
208	208	603070	3708515	0.2	45	5120	9
209	209	603103	3707723	0.1	30	12160	3
210	210	603127	3707727	1	50	40960	50
211	211	603188	3707784	0	0	45440	0
212	212	603173	3707717	0	0	46720	0
213	213	603205	3707725	0.3	180	50560	54
214	214	603285	3707790	0	0	2560	0
215	215	603300	3707792	0	0	8320	0
216	216	603306	3707815	0.2	75	8970	15
217	217	603340	3707766	0.4	100	1920	40
218	218	603330	3707720	1	750	628370	750
219	219	603313	3707684	0	0	618130	0
220	220	603265	370624	0.4	120	60810	48
221	221	603270	3707617	0	0	554120	0
222	222	603288	3707613	0	0	1280	0
223	223	603339	3707665	0	0	550920	0
224	224	603224	3707606	0.3	750	548990	225
225	225			0	0	515710	0
226	226			0	0	24320	0
227	227	603169	3707580	0.7	125	5120	87.5
228	228	603119	3707615	0.2	150	3840	30
229	229	603076	3707625	0	0	11520	0
230	230			1.4	52	13460	72.8
231	231			0	0	29460	0
232	232			2	800	25620	1600
233	233			0.2	210	16020	42
234	234			0.4	96	9610	38.4
235	235			0.3	126	5130	37.8
236	236			0	0	2570	0
237	237	602317	3707108	0	0	39040	0
238	238	602300	3707128	0.3	14	46080	4.2
239	239	602321	3707095	0	0	3840	0
240	240	602336	3707122	0.2	40	51840	8
241	241	602349	3707170	0.1	80	65900	8
242	242	602332	3707187	0	0	5760	0
243	243	602379	3707176	0	0	4480	0
244	244	602373	3707200	0	0	70360	0
245	245	602356	3707236	0.5	27	74840	13.5
246	246	602370	3707280	0.4	8	88280	3.2
247	247	602480	3707299	0.2	243	92120	48.6
248	248	602437	3707279	0.4	113	94680	45.2
249	249	602444	3707262	0.3	60	96580	18
250	250	602454	3707248	0.3	20	12780	6
251	251	602452	3707242	0.2	240	12130	48
252	252	602437	3707218	0.4	50	10210	20
253	253	602441	3707204	0.5	52	8290	26
254	254	602442	3707201	0.3	48	5730	14.4
255	255	602450	3707171	0.2	10	3820	2

256	256	602444	3707190	0.3	13	2520	3.9
257	257	602423	3707177	0	0	1240	0
258	258	602453	3707342	0.3	120	640	36
259	259	602488	3707340	0.5	220	112560	110
260	260	602444	3707355	0.2	75	149090	15
261	261			0	0	13470	0
262	262			0	0	20500	0
263	263	602670	3707170	0	0	31360	0
264	264	602670	3707180	0	0	48640	0
265	265	602724	3707199	0.3	250	5760	75
266	266	602775	3707275	0	0	55040	0
267	267	602735	3707307	0.3	150	11520	45
268	268	602790	3707303	0.1	220	80000	22
269	269	602802	3707371	0	0	106880	0
270	270	602823	3707345	0	0	5120	0
271	271			0	0	1920	0
272	272			0	0	115840	0
273	273			0	0	126080	0
274	274			0.3	390	12820	117
275	275	602511	3707357	0.1	195	10260	19.5
276	276	602545	3707331	0.2	10	8340	2
277	277	602536	3707283	0	0	6410	0
278	278	602543	3707254	0	0	2570	0
279	279	602536	3707236	0.4	30	17940	12
280	280	602536	3707228	0.2	21	12820	4.2
281	281	602540	3707229	0.2	5	9600	1
282	282	602548	3707206	0.2	20	6400	4
283	283	602450	3707355	1	280	167650	280
284	284	602422	3707366	0.2	250	7040	50
285	285	602595	3707352	0	0	10880	0
286	286	602606	3707533	0.7	1150	184930	805
287	287	602679	3707510	1	1000	193250	1000
288	288	602837	3707535	0.2	100	197090	20
289	289	602812	3707547	1.8	1000	220130	1800
290	290	602817	3707577	1	200	227170	200
291	291			0	0	2560	0
292	292			0	0	129280	0
293	293	602839	3707461	0	0	15360	0
294	294			0.4	150	11520	60
295	295			0	0	7040	0
296	296			0.4	60	1920	24
297	297			0.3	150	11520	45
298	298			0	0	362210	0
299	299			0	0	383350	0
300	300			0	0	392950	0
301	301			0	0	483690	0
302	302	603102	3707381	0	0	84980	0
303	303	603092	3707321	1.9	400	77940	760
304	304	603037	3707295	0.7	125	65780	87.5
305	305	602199	3707240	0	0	54260	0
306	306	602983	3707218	2	350	45300	700
307	307	602973	3707277	2	120	10240	240

308	308	602953	3707215	0	0	28160	0
309	309	602938	3707180	0	0	20480	0
310	310	602907	3707101	0	0	4480	0
311	311	602900	3707190	0	0	9600	0
312	312	603180	3707361	0	0	7680	0
313	313	603162	3707382	0	0	9600	0
314	314	603188	3707420	0	0	13440	0
315	315	603191	3707422	0.4	200	21120	80
316	316	603289	3707467	0.5	130	24960	65
317	317	603324	3707426	0	0	2560	0
318	318	603355	3707457	0	0	30040	0
319	319	603318	3707472	0.2	126	32610	25.2
320	320	602342	3707500	0	0	36450	0
321	321	603366	3707515	0	0	40930	0
322	322	603390	3707540	1	160	44150	160
323	323	603441	3707566	0.4	140	47990	56
324	324	603462	3707566	0.5	750	51190	375
325	325	603511	3707658	1.3	1225	55010	1592.5
326	326	603544	3707691	0.2	700	56300	140
327	327	603607	3707718	0.5	816	59500	408
328	328	603640	3707742	0	0	61420	0
329	329			0.3	117	3840	35.1
330	330			0.6	100	8960	60
331	331			0.7	156	14720	109.2
332	332			0.9	687.5	10240	618.75
333	333	-		0.4	290	844520	116
334	334	-		0.5	225	1759720	112.5
335	335	604072	3707787	0.6	100	1797480	60
336	336	604224	3707446	0.7	60	3520	42
337	337	604072	3707734	0.7	32	7040	22.4
338	338	604029	3707700	0.2	48	1307275	9.6
339	339	603956	3707680	0.1	100	1902174	10
340	340	604009	3707628	0.2	300	9600	60
341	341	604095	3707713	0.4	20	1300215	8
342	342	604147	3707680	0.5	60	1272695	30
343	343	603166	3707671	1	600	9600	600
344	344	604192	3707657	0	0	83000	0
345	345	604113	3707631	0	0	3840	0
346	346	604058	3707629	0	0	8960	0
347	347	605952	3707487	0.7	450	1536765	315
348	348	603910	3707414	0.5	50	977690	25
349	349	603945	3707348	0.2	100	31350	20
350	350	604049	3707934	1.2	672	17920	806.4
351	351	604099	3707916	0	0	22400	0
352	352	604129	3707908	0	0	4483	0
353	353	603936	3707254	0	0	2560	0
354	354	603982	3707262	0	0	7680	0
355	355			0	0	13440	0
356	356			0	0	15990	0
357	357			0	0	19190	0
358	358			0	0	4480	0
359	359			0.1	170	5120	17

360	360			0	0	3200	0
361	361			0	0	7043	0
362	362			0	0	8320	0
363	363	603909	3708041	0.2	18	9600	3.6
364	364	603894	3709060	0.2	36	16650	7.2
365	365	603864	3709067	0.1	25	5760	2.5
366	366	603837	3708066	0	0	3200	0
367	367	603923	3708042	0.3	130	17930	39
368	368	603955	3708055	0	0	21130	0
369	369	603978	3708071	0	0	28170	0
370	370	603960	3708090	0	0	129160	0
371	371	604002	3708178	0.2	450	89430	90
372	372	604007	3708160	0	0	1280	0
373	373	603991	3708191	0	0	70430	0
374	374	603927	3708248	0.2	41	63390	8.2
375	375	603931	3708186	0.1	70	45440	7
376	376	603870	3708200	0	0	63390	0
377	377	603892	3708184	0	0	5120	0
378	378			0	0	133000	0
379	379			0	0	7080	0
380	380			0	0	143240	0
381	381	604183	3708056	0.6	260	143240	156
382	382	604139	3707900	0	0	22400	0
383	383	604206	3708926	1.5	1125	7043	1687.5
384	384	604195	3707892	0.1	200	29440	20
385	385	604320	3707932	0	0	5760	0
386	386	604720	3707522	0	0	3200	0
387	387	604244	3708081	0	0	3200	0
388	388	604289	3708176	1	600	5120	600
389	389	604384	3708048	0	0	5120	0
390	390	604374	3708106	0	0	152840	0
391	391	604238	3708143	1	120	157320	120
392	392	604300	3708100	0	0	175040	0
393	393	604325	3708162	0.7	40	3426988	28
394	394	604348	3708227	0	0	3426988	0
395	395	604305	3708066	0	0	3186638	0
396	396			0	0	3232078	0
397	397			0	0	3424428	0
398	398			0	0	3840	0
399	399			0	0	7080	0
400	400			0	0	925220	0
401	401	603789	3707170	0	0	9600	0
402	402			0	0	9600	0
403	403			0	0	2560	0
404	404			0	0	893220	0
405	405	603775	3706040	0	0	878500	0
406	406	603765	3707074	0	0	2560	0
407	407	603747	3707097	0	0	3200	0
408	408	603742	3706955	0	0	847150	0
409	409	603742	3706940	0	0	11520	0
410	410	603385	3706901	0	0	15340	0
411	411	603403	3706891	0	0	19180	0

412	412	603456	3706896	0.4	75	5120	30
413	413	603468	3706924	0.3	90	33260	27
414	414	603457	3706992	0	0	40300	0
415	415	603481	3707028	0	0	42860	0
416	416	603507	3707063	0.3	165	52460	49.5
417	417	603566	3707129	0.5	250	81910	125
418	418	603539	3707181	0.5	150	113880	75
419	419	603456	3707163	0	0	19210	0
420	420	603477	3707165	0	0	120920	0
421	421	603452	3707146	0	0	5760	0
422	422	603435	3707135	0	0	8960	0
423	423	603421	3707131	0	0	16640	0
424	424	603424	3707119	0.5	5	21120	2.5
425	425	6034313	3707104	1	50	5720	50
426	426	603441	3707203	1	100	29410	100
427	427	603610	3707096	0	0	15360	0
428	428	603575	3707075	0	0	8960	0
429	429	603593	3707179	0.6	200	144600	120
430	430	603625	3707254	0.7	210	158040	147
431	431	603644	3707244	0	0	177245	0
432	432	603701	3707267	0.3	60	9605	18
433	433	603750	3707306	1	1400	191965	1400
434	434	603810	3707407	1	300	200285	300
435	435	603162	3706041	0.9	20	222045	18
436	436	603171	3706065	0	0	60820	0
437	437	603118	3706026	0	0	46740	0
438	438	603082	3706963	0	0	44820	0
439	439	603118	3705933	0	0	37140	0
440	440	603170	3705898	0	0	20500	0
441	441	603161	3705880	0	0	12180	0
442	442	603216	3705884	0.5	150	9620	75
443	443	603205	3705802	0	0	6400	0
444	444	603211	3705812	0.1	40	3210	4
445	445	603262	3705839	0.5	120	1920	60
446	446	603328	3705836	0.7	40	7690	28
447	447	603384	3705832	0.4	300	4480	120
448	448	603353	3705814	0.1	45	16660	4.5
449	449	603355	3705787	0.1	20	5760	2
450	450	603335	3705762	0.1	20	1290	2
451	451	603526	3705731	0.1	15	3200	1.5
452	452	603520	3705757	0.5	10	6420	5
453	453	603500	3705732	0	0	10260	0
454	454	603471	3705764	0	0	14740	0
455	455	603456	3705774	0	0	18590	0
456	456	603452	3705797	0.7	40	22460	28
457	457	603428	3705818	1.3	26	25660	33.8
458	458	603408	3705820	0.7	90	27580	63
459	459	603359	3705875	0.5	200	49360	100
460	460	603308	3705891	0.5	300	2560	150
461	461	603307	3705927	0	0	3200	0
462	462	603249	3705872	0.5	45	1930	22.5
463	463	603336	3705919	0.6	100	64090	60

464	464	603339	3705940	1.5	60	66650	90
465	465	603326	3705988	0	0	69850	0
466	466	603310	3705195	0.5	50	72410	25
467	467	603320	3705025	0.5	90	74330	45
468	468	603366	3706075	1.5	100	124570	150
469	469	603377	3706061	0	0	48960	0
470	470	603399	3706055	0	0	960	0
471	471	603384	3706079	0.2	200	1920	40
472	472	603435	3706061	0	0	3480	0
473	473	603454	3706034	0.1	40	43520	4
474	474	603478	3706033	0	0	38400	0
475	475	603515	3706024	2	30	31360	60
476	476	603535	3706031	0	0	23040	0
477	477	603516	3706047	0	0	6040	0
478	478	603500	3706053	0.5	50	7960	25
479	479	603450	3706100	0.5	7	12440	3.5
480	480	603398	3706112	1	120	1920	120
481	481	603413	3706089	0.6	40	3830	24
482	482	603435	3706050	0.3	30	1900	9
483	483	603387	3706106	0.2	20	241010	4
484	484	603381	3706143	0	0	233990	0
485	485	603352	3706168	1.5	170	21130	255
486	486	603323	3706127	0.6	80	8970	48
487	487	603280	3706135	1	45	7040	45
488	488	603261	3706097	1.5	80	4480	120
489	489	603260	3706070	0	0	194030	0
490	490	603352	3706159	0.3	400	242930	120
491	491	603302	3706217	0	0	248690	0
492	492	603382	3706228	0	0	4480	0
493	493	603412	3706288	0.7	100	8320	70
494	494	603369	3706323	0	0	258290	0
495	495	603337	3706306	0	0	264050	0
496	496	603379	3706360	0	0	267890	0
497	497	603379	3706368	0.5	90	281330	45
498	498	603451	3706369	1	100	289010	100
499	499	603377	3706425	0	0	3200	0
500	500			0.1	5	35840	0.5
501	501			0	0	47360	0
502	502			0	0	98560	0
503	503			0	0	1920	0
504	504			0.2	14	5760	2.8
505	505			0	0	10240	0
506	506			0.1	15	13720	1.5
507	507			0.2	17	18840	3.4
508	508			0.2	18	23320	3.6
509	509			0	0	1920	0
510	510	602836	3706820	0	0	115200	0
511	511	602910	3706330	0	0	126080	0
512	512	602938	3706356	0.1	70	160000	7
513	513	602973	3706368	0	0	129580	0
514	514	602910	3706384	0.1	25	1920	2.5
515	515	603900	3706403	0.4	40	11520	16

516	516	602870	3706411	0.4	20	3840	8
517	517	602880	3706385	0.1	18	4480	1.8
518	518	602972	3707383	0.2	100	182700	20
519	519	602964	3706404	0.3	25	16640	7.5
520	520	602014	3706206	0	0	47390	0
521	521	602009	3706161	0.5	132	40350	66
522	522	602024	3706142	1	25	33280	25
523	523	602930	3706140	0.3	250	30080	75
524	524	602884	3706127	0.3	20	23040	6
525	525	602850	3706116	0.4	40	14080	16
526	526	602834	3706104	0	0	9600	0
527	527	602850	3706088	0	0	3200	0
528	528	602923	3706095	0.4	40	8320	16
529	529	602930	3706045	0.4	75	4480	30
530	530	602964	3706101	0	0	20480	0
531	531	602997	3706120	0.2	22	52400	4.4
532	532	602010	3706270	0	0	60720	0
533	533	603040	3706348	0.4	60	295290	24
534	534	603038	3706371	0	0	297850	0
535	535	603044	3706429	0.1	7	7040	0.7
536	536	603046	3706442	0	0	310650	0
537	537	603079	3706480	0.3	150	316410	45
538	538	603088	3706457	0	0	5120	0
539	539	603026	3706509	0	0	2560	0
540	540	603030	3706545	0	0	9600	0
541	541	603030	3706555	0	0	14720	0
542	542	603075	3706555	0.5	400	16000	200
543	543	603125	3707044	0	0	338170	0
544	544	603168	3706504	0	0	340730	0
545	545	603164	3706623	0	0	15300	0
546	546	603124	3706644	0	0	11460	0
547	547	603106	3706649	0	0	6980	0
548	548	603211	3706611	0	0	3780	0
549	549	603274	3706623	0	0	2560	0
550	550	603303	3706645	0	0	26820	0
551	551	603436	3706496	1.5	200	43460	300
552	552	603435	3706590	0.4	700	694320	280
553	553	603564	3706576	1	100	347770	100
554	554	603323	3706491	1.5	450	36420	675
555	555	603181	3706361	0	0	31940	0
556	556	603204	3706409	0.2	50	3840	10
557	557	603150	3706414	0.4	50	25540	20
558	558	603124	3706384	0	0	19140	0
559	559	603210	3706441	0.2	75	10820	15
560	560	603206	3706461	0.3	24	8900	7.2
561	561	603211	3706485	0.2	50	7620	10
562	562	603187	3706502	0.5	30	6330	15
563	563			1	150	4410	150
564	564	603250	3706558	0	0	1850	0
565	565	603285	3706551	0	0	1200	0
566	566	603312	3706755	1.3	80	5750	104
567	567	603329	3706722	0	0	11480	0

568	568	603340	3706761	0.2	16	17880	3.2
569	569	603371	3706716	0.2	110	20430	22
570	570	603353	3706673	0	0	31940	0
571	571	603395	3706700	1	130	56210	130
572	572	603427	3706652	1	64	700080	64
573	573	603480	3706672	0.4	100	4480	40
574	574	603526	3706730	0.3	1200	785090	360
575	575	603565	3706655	0	0	5120	0
576	576	603556	3706680	0	0	4480	0
577	577	603627	3760837	0.7	800	803040	560
578	578	603125	3706776	0.2	65	6400	13
579	579	603385	3706793	0	0	4480	0
580	580	603710	3706890	0.3	200	7680	60
581	581	603760	3706880	0.2	22	4480	4.4
582	582	603713	3706860	0	0	1920	0
583	583	603711	3706757	1	400	819650	400
584	584	603723	3706898	0.2	22	838830	4.4
585	585	603767	3706990	0	0	1920	0
586	586	603773	3706960	0	0	3820	0
587	587	603731	3707020	1	400	7660	400
588	588	603731	3707030	0	0	5120	0
589	589	603784	3706879	0	0	3200	0
590	590	603736	3706841	0.4	75	859300	30
591	591			0.5	150	35583388	75

## 8.4. - Bases de données topographiques du bassin versant de l'O. Ségui

Profil	IDENT	ELEV	ATB		SLO	PFC	PLC	ASP	SIZ	LSF	STRDM	SUN
			w									
HA1	1,00	107,74	7,67		0,54	0,0001492	-0,2233274	67,27	1,44	1,13	214,1421339	0,5757091
HA3	3,00	141,24	12,60		1,54	0,0012529	-0,0028319	314,33	8,89	7,20	667,7529806	0,5521067
HA4	4,00	147,82	11,79		0,50	0,0000031	-0,0004703	73,92	5,11	2,38	153,3739760	0,5738274
HA5	5,00	135,54	13,20		0,99	0,0000029	-0,0001129	77,40	90,22	9,21	30,8088023	0,5735617
HA6	6,00	143,44	11,45		1,78	0,0000075	-0,0010538	112,83	5,56	5,89	319,6649814	0,5727277
HA7	7,00	133,80	12,21		1,08	0,0000467	-0,0003529	93,35	4,67	3,10	178,1861454	0,5731603
HA8	8,00	129,80	11,78		0,23	0,0000311	-0,0002746	201,91	3,89	2,16	190,0000000	0,5729910
HA9	9,00	129,90	15,06		0,22	0,0000020	-0,0002069	19,04	474,56	28,71	60,4737846	0,5735408
HA10	10,00	120,14	12,58		0,50	0,0001271	-0,0006897	75,01	8,22	3,48	110,7106773	0,5728713
HA11	11,00	128,31	12,63		1,16	0,0001005	-0,0000911	99,55	7,00	4,32	113,2352083	0,5725169
HA12	12,00	134,07	13,81		0,74	0,0000015	0,0000235	111,23	24,00	6,79	331,1844533	0,5733845
HA13	13,00	170,78	11,61		3,43	0,0000017	-0,0055779	126,17	16,22	23,87	341,1844550	0,5734247
HA14	14,00	94,48	12,28		1,80	0,0000040	-0,0001611	296,23	8,33	7,32	346,9441850	0,5734322
HA15	15,00	111,60	11,60		1,73	0,0000361	-0,0010766	183,85	6,33	7,38	21,3807119	0,5724960
HA16	16,00	104,98	10,83		4,95	0,0005239	-0,0084511	139,29	23,56	37,60	428,1692539	0,5764024
HA17	17,00	118,67	10,52		3,07	0,0001988	-0,0022904	103,34	3,00	8,64	173,6108695	0,5718251
HA18	18,00	121,53	11,24		1,59	0,0002874	-0,0041935	308,91	2,56	3,28	195,8003845	0,5693701
HA19	19,00	125,20	10,82		2,23	0,0004757	-0,0009376	93,50	2,33	5,31	372,4263916	0,5707997
TN1	20,00	230,66	9,64		6,28	0,0001147	-0,0172148	326,42	2,00	17,75	1369,3776177	0,5809965
TN2	21,00	254,28	11,06		8,33	0,0002261	-0,0188182	78,95	60,44	67,20	1379,0259603	0,5816829
TN3	22,00	200,65	11,93		2,00	0,0003676	-0,0016793	244,31	2356,44	50,88	1139,9901869	0,5816092
TN4	23,00	184,73	12,39		7,11	0,0005533	-0,0069011	102,60	6105,33	825,84	888,7648451	0,5771911
TN5	24,00	172,93	13,12		1,35	0,0002821	-0,0005889	90,30	13,00	7,55	658,5448710	0,5733952
TN6	25,00	180,01	11,62		1,47	0,0006054	-0,0001586	87,49	3,67	4,04	714,1084256	0,5716293
TN7	26,00	215,29	10,68		3,30	0,0003404	-0,0021068	99,69	3,00	9,63	1123,0865479	0,5711691
TN8	27,00	189,15	9,86		4,39	0,0005832	-0,0035794	104,91	1,78	10,77	978,3318142	0,5702706
TN9	28,00	223,81	12,72		3,02	0,0004616	-0,0030545	87,72	191,00	90,18	860,4806451	0,5716222
TN10	29,00	228,53	11,87		4,55	0,0001355	-0,0107130	262,68	84,44	44,10	530,4975162	0,5705482
TN11	30,00	220,11	12,81		2,45	0,0000041	-0,0063276	131,15	19,44	16,00	176,3722839	0,5713663
TN12	31,00	236,97	12,08		2,95	0,0000000	-0,0014498	86,74	23,11	20,93	0,0000000	0,5735765
TN13	32,00	238,05	14,67		0,63	0,0001180	-0,0006844	114,89	2534,44	78,04	11,3807119	0,5723216
Z1	33,00	11,07	13,09		1,19	0,0002795	-0,0036662	38,00	17,33	6,86	200,0000000	0,5681357

<b>Z2</b>	34,00	13,76	11,62	2,32	0,0000053	-0,0002662	86,75	5,00	8,53	260,0000000	0,5691491
<b>Z3</b>	35,00	17,63	13,07	0,49	0,0001569	-0,0001108	107,80	9,00	3,97	270,0000000	0,5727683
<b>Br2</b>	37,00	280,08	11,62	4,59	0,0007241	-0,0111497	85,74	11,00	33,15	252,3282733	0,5706349
<b>Br3</b>	38,00	274,29	9,48	8,65	0,0005122	-0,0134611	314,31	2,22	30,69	252,9983097	0,5701234
<b>Tj1</b>	39,00	324,57	9,01	13,25	0,0001124	-0,0266358	31,77	2,44	50,82	140,1387677	0,5709963
<b>Tj2</b>	40,00	309,64	10,51	5,49	0,0004382	-0,0076178	101,07	4,78	22,40	223,2758382	0,5761282
<b>Tj3</b>	41,00	323,53	11,05	8,25	0,0003682	-0,0052387	269,98	18,67	87,33	189,7056173	0,5757118
<b>Tj4</b>	42,00	342,80	10,28	11,15	0,0004600	-0,0396527	47,72	8,22	75,18	11,3807119	0,5694742
<b>Tj5</b>	43,00	496,16	10,39	15,46	0,0006106	-0,0044077	123,50	13,00	164,47	133,3333333	0,5694515
<b>Tj6</b>	44,00	409,74	8,85	11,64	0,0056476	-0,0291551	65,22	1,67	39,49	205,7597351	0,5455211
<b>OR1</b>	45,00	145,66	14,61	1,16	0,0049025	-0,0014375	116,72	160,44	22,63	324,7546675	0,5533754
<b>OR2</b>	46,00	139,53	13,67	0,77	0,0086439	-0,0021770	222,30	113,67	13,56	247,2792019	0,5539924
<b>OR3</b>	47,00	144,89	13,50	0,84	0,0062740	-0,0030394	34,68	17,00	5,54	166,1353963	0,5523483
<b>OR4</b>	48,00	142,97	10,73	5,40	0,0007123	-0,0004890	183,72	5,67	25,18	379,6481086	0,5774478
<b>OR5</b>	49,00	151,50	12,32	1,70	0,0016497	-0,0040736	58,77	9,56	8,39	421,1269396	0,5844006
<b>OR6</b>	50,00	176,86	13,18	2,68	0,0038731	-0,0021643	180,32	411,00	39,36	315,6615872	0,5778505
<b>OR7</b>	51,00	163,16	12,50	2,11	0,0019953	-0,0005409	76,57	20,00	16,28	216,6666667	0,5753720
<b>TK1</b>	52,00	170,50	11,62	0,95	0,0017724	-0,0004006	297,08	3,44	2,36	524,1252170	0,5988097
<b>TK2</b>	53,00	171,02	11,10	1,79	0,0025005	-0,0012266	80,90	2,44	4,39	778,4873454	0,6032954
<b>TK3</b>	54,00	162,36	11,81	0,92	0,0010795	-0,0022465	303,28	3,89	2,35	478,2673747	0,5749831
<b>TK4</b>	55,00	150,35	11,10	0,82	0,0076368	-0,0005811	190,88	1,67	1,71	300,3756443	0,6172835
<b>TK5</b>	56,00	169,36	13,35	2,79	0,0040694	-0,0054805	133,79	76,56	51,26	569,4111811	0,6501274
<b>S3</b>	59,00	63,36	16,28	0,29	0,0015202	-0,0002055	79,23	20207,33	232,34	572,7851698	0,5524651
<b>S5</b>	61,00	59,75	13,52	0,22	0,0017205	-0,0002047	301,44	82,67	11,03	338,8561740	0,5763088
<b>S6</b>	62,00	57,55	13,50	0,27	0,0022016	-0,0000041	7,23	15,00	5,30	414,3790148	0,5655907
<b>JO1</b>	63,00	350,52	10,67	12,24	0,0030000	-0,0128248	64,80	24,22	128,01	734,2808702	0,5657296
<b>JO2</b>	64,00	264,45	11,04	7,45	0,0008346	-0,0014779	277,85	19,00	59,13	767,5973036	0,5694745
<b>M51</b>	65,00	38,52	11,98	0,27	0,0003769	-0,0003551	138,27	3,22	2,11	983,3570421	0,5703047
<b>M52</b>	66,00	37,47	14,82	0,19	0,0005135	-0,0002956	49,61	330,44	25,36	1071,7801446	0,5797849
<b>M53</b>	67,00	38,13	13,30	0,30	0,0002837	-0,0003187	10,77	11,33	4,56	745,9797228	0,5795987
<b>AZ1</b>	68,00	71,88	11,77	3,89	0,0024075	-0,0021096	308,55	12,78	23,04	441,0456882	0,5745441
<b>AZ2</b>	69,00	66,74	12,95	0,55	0,0015556	-0,0003332	342,44	8,00	3,70	116,2335239	0,5685268
<b>AZ3</b>	70,00	67,47	14,47	0,95	0,0000505	-0,0003876	348,10	176,33	19,40	543,7495838	0,5757858
<b>AZ4</b>	71,00	68,70	13,01	0,52	0,0002210	-0,0004698	139,14	18,56	5,15	847,0253737	0,5733793
<b>AZ5</b>	72,00	65,62	14,81	0,33	0,0001440	-0,0000031	89,04	20077,56	225,11	906,1184726	0,5727917

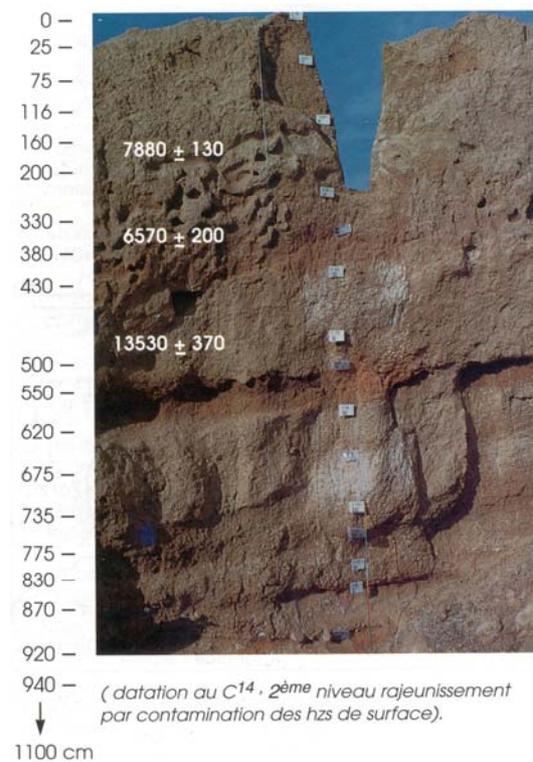
<b>AZ6</b>	73,00	70,63	12,14	3,70	0,0008399	-0,0092333	271,15	9840,56	126,17	625,1709468	0,5638027
<b>AZ7</b>	74,00	87,51	9,94	5,48	0,0018036	-0,0064953	78,86	2,33	17,94	309,2318336	0,5625493
<b>AZ8</b>	75,00	66,33	11,96	0,58	0,0027283	-0,0000515	45,07	3,33	2,13	550,4162598	0,5868912
<b>AZ9</b>	76,00	68,18	13,55	0,64	0,0049533	0,0000144	146,07	46,11	8,16	983,9122111	0,5811561
<b>AZ10</b>	77,00	64,80	13,17	0,35	0,0007471	-0,0012085	74,78	10,00	4,23	817,1068403	0,5779824
<b>AZ11</b>	78,00	64,68	13,74	0,45	0,0015343	-0,0001373	346,34	17,67	5,95	137,3773448	0,5850173
<b>AZ12</b>	80,00	0,00	0,00	0,00	0,0703311	0,0000000	0,00	0,00	0,00	159,4687339	0,5696725
<b>AZ14</b>	81,00	103,88	10,07	6,34	0,0950365	-0,0084027	206,33	3,44	24,01	154,0440114	0,5730245
<b>AZ15</b>	82,00	84,19	13,93	2,63	0,0020598	-0,0021992	152,45	859,78	58,23	166,2335247	0,5816955
<b>AZ16</b>	83,00	101,74	11,72	1,01	0,0006825	-0,0035465	36,09	4,67	3,47	219,7056241	0,5640201
<b>AZ17</b>	84,00	90,34	12,12	1,70	0,0000132	-0,0016811	195,28	44,78	10,11	146,3316481	0,5728136
<b>M1 81</b>	85,00	49,68	11,73	0,60	0,0000402	-0,0002948	180,14	2,67	1,86	96,9035594	0,5727106
<b>M1 15</b>	86,00	49,54	12,31	0,58	0,0001276	-0,0000707	150,32	4,60	2,61	171,9411255	0,5736902
<b>M1 104</b>	87,00	48,86	12,90	0,70	0,0041813	-0,0007892	146,08	9,56	3,87	410,1387431	0,5779240
<b>M1 199</b>	88,00	45,80	15,26	0,39	0,0006006	-0,0008275	87,66	448,78	30,67	647,8510929	0,5687858
<b>M1 128</b>	89,00	51,23	14,64	0,37	0,0083435	-0,0012101	52,51	192,89	19,00	536,9847480	0,5656041
<b>M1 153</b>	90,00	50,08	11,76	0,31	0,0000000	-0,0005406	61,55	4,00	2,13	0,0000000	0,5735765
<b>M1 261</b>	91,00	48,98	14,28	0,36	0,0008118	-0,0002094	68,15	50,00	10,10	60,0000000	0,5822605
<b>M1 241</b>	92,00	47,75	11,69	0,49	0,0137618	-0,0012852	61,95	2,67	1,84	144,8528129	0,4873515
<b>M1 328</b>	93,00	44,39	12,31	0,52	0,0049725	-0,0004195	148,06	4,44	2,57	181,6582252	0,5841746
<b>M1 331</b>	94,00	41,20	15,58	0,51	0,0070348	-0,0000357	87,51	665,00	38,58	220,2775099	0,5561245
<b>M1 73</b>	95,00	40,10	12,78	0,49	0,0098001	-0,0007864	66,72	9,33	3,76	284,0846303	0,4901252
<b>M2 136</b>	96,00	36,55	16,09	0,23	0,0141945	-0,0000070	99,52	3754,33	100,20	991,7800496	0,4766269
<b>M2 268</b>	97,00	36,20	13,77	0,21	0,0056409	0,0000000	95,40	18,00	6,03	46,3316498	0,5858564
<b>M2238</b>	98,00	34,96	14,24	0,23	0,0088432	-0,0000025	86,26	29,00	8,03	1722,0576036	0,5054081
<b>M2 335</b>	99,00	33,74	11,74	0,17	0,0095295	-0,0000472	64,41	2,67	1,87	702,4263916	0,5270231
<b>M2 102</b>	100,00	34,28	16,43	0,23	0,0018863	-0,0000005	92,29	3770,33	101,96	526,6904195	0,5739660
<b>M2 84</b>	101,00	33,79	14,49	0,24	0,0113405	-0,0000002	89,75	37,00	9,29	986,9847412	0,5905450
<b>M26</b>	102,00	33,96	14,44	0,27	0,0050138	-0,0000039	93,73	35,67	9,06	59,6649831	0,5996652
<b>M2 436</b>	103,00	32,64	16,65	0,23	0,0162549	-0,0000050	76,21	3785,33	103,45	494,5583733	0,4110327
<b>M2 399</b>	104,00	31,68	15,59	0,20	0,0216432	0,0000017	70,36	1334,56	43,74	390,0000000	0,4874726
<b>M2 495</b>	105,00	32,23	12,46	0,18	0,0007240	-0,0000048	77,08	5,00	2,78	252,4264069	0,5690388
<b>M2 355</b>	106,00	30,91	17,24	0,16	0,0273862	-0,0000829	64,88	4237,00	119,50	150,0000000	0,4664052
<b>M2 359</b>	107,00	30,94	13,46	0,18	0,0077701	-0,0004777	52,32	13,67	5,07	654,8527832	0,3610110

## 8.5. - Lœss sahariens (coupe Matmata)

### Lœss Saharien (coupe Matmata)

**0-35 cm** : 7.5 YR 6/6 sec, sablo-limoneux, structure polyédrique subanguleuse, moyennement poreux, cohérent, calcaire, amas et nodules (10%), nombreuses racines fines et moyennes, transition progressive.

**35-55 cm** : 7.5 YR 6/7 sec, sablo-limoneux, structure polyédrique subanguleuse, moyennement poreux, cohérent, calcaire, amas et nodules (5 à 7%), quelques racines fines, transition progressive.



**55-85 cm** : 7.5 YR 7/6 sec, sablo-limoneux structure massive peu poreux, cohérent calcaire en pseudo mycélium et amas, efflorescence gypseuse, quelques galeries biologique quelques racines moyennes, fentes verticales de 1 cm de large, transition progressive.

**85-115 cm** : 7.5 YP 6/6 sec, sablo-limoneux structure massive, peu poreux, cohérent calcaire diffus, amas, quelques racines fines, transition progressive.

**115-145 cm** : 7.5 YR 7/6 sec, même morphologie que l'horizon précédent, zone de passage.

**145-175 cm** : plus massif plus compact calcaire diffus en pseudo mycélium.

**175-215 cm** : 7.5 YR 7/4 sec, limoneux sableux, massif, calcaire en granules et tubules (5 à 10%) compact transition progressive.

**330-380 cm** : 7.5 YR 6/6 sec, sablo-limoneux, massif très compact, calcaire diffus amas.

**430-500 cm** : 7.5 YR 7/4 sec, assez blanc, limono-sableux, massif, compact calcaire diffus et continu, aspect d'encroûtement.

**600-630 cm** : 5 YR 6/6 sec, rougeâtre. sablo-limoneux, moyennement poreux, peu cohérent calcaire en nodules et tubules (> à 15%).

**720-750 cm** : 7.5 YR 7/3 sec, encroûtement calcaire blanchâtre, sous jacent à une petite croûte feuilletée.

**810-840 cm** : 7.5 YR 5/6 sableux limoneux, massif, se débitant en éclats, calcaire en nodules et amas (10 à 15%), aspect tacheté.

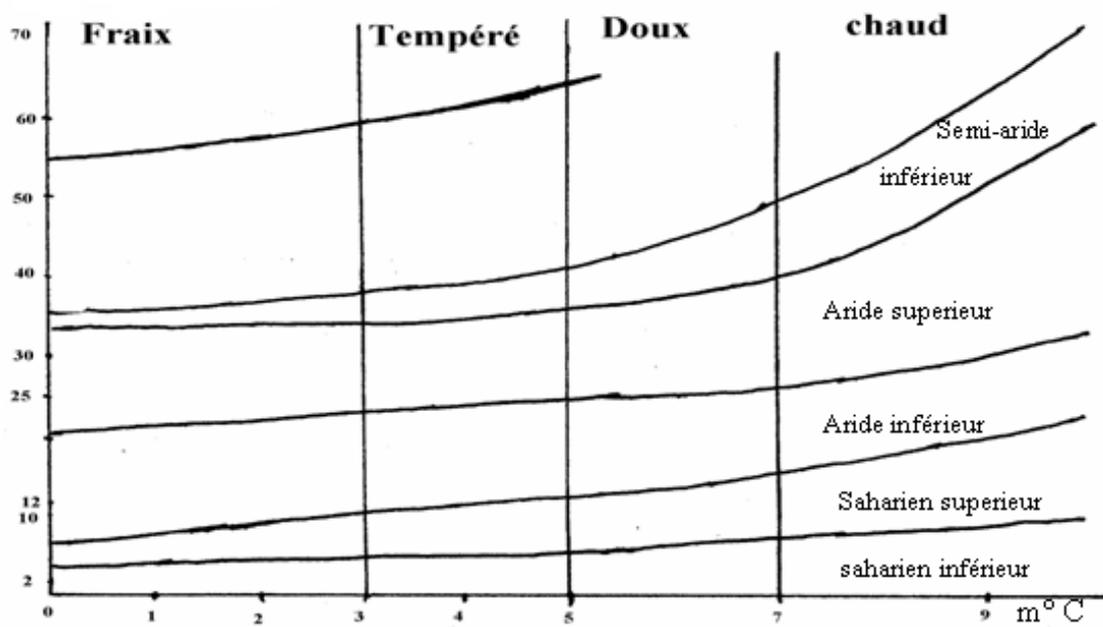
## 8.6. - Les différentes classes de sols rencontrées en Tunisie

(Classification française, FAO & *Soil taxonomy*)

<b>Classification française (CPCS, 1967)</b>	<b>FAO Legend (1989)</b>	<b>Soil Taxonomy</b>
Sols minéraux bruts	<i>Fluvisols, Regosols, Lithosols</i>	<i>Entisols</i>
Sols peu évolués d'érosion	<i>Regosols, Lithsols, Renkers, Yermosols</i>	<i>Entisols, Aridisols</i>
Sols peu évolués d'apport	<i>Fluvisols, Rankers, Greyzems</i>	<i>Inceptisols, Mollisols, Aridisols</i>
Sols calcimagnésiques	<i>Rendzinas, Yermosols, Xerosols</i>	<i>Inceptisols, Mollisols, Aridisols</i>
Sols isohumiques	<i>Xerosols, Kastanozems, Chernozems, Phaeozems</i>	<i>Inceptisols, Mollisols</i>
Vertisols	<i>Vertisols</i>	<i>Vertisols</i>
Sols à sesquioxydes de Fer (Fersiallitiques)	<i>Luvisols, Acrisols</i>	<i>Alfisols</i>
Sols brunifiés	<i>Cambisols, Luvisols</i>	<i>Inceptisols, Alfisols</i>
Sols sodiques	<i>Solontchaks, Solonetz</i>	<i>Soils with saline phase</i>
Sols hydromorphes	<i>Gleysols, Planosols</i>	<i>Soils with aquic moisture regime</i>

## 8.7. - Abaque pour la détermination des étages bioclimatiques (Le Houerou, 1959)

Indice d'Emberger



Moyenne des minimas du mois le plus froid

## 8.8. – Glossaire

**Banquette** : terrasse réalisée en terre rapportée et compactée, suivant les courbes de niveau sur un terrain en pente, en vue de faciliter l'infiltration des eaux de pluie et de lutter contre l'érosion par ruissellement.

**Impluvium** : zone de réception qui permet la collecte et l'utilisation des eaux de pluie.

**Terrasses** (en arabe *moudarraaj*) : sur les pentes, système de rétention des sols (et des eaux) formé par des murets de pierres (sèches, en principe) derrière lesquels s'accumule de la terre arable sur une épaisseur permettant la culture.

**Affluent** : cours d'eau qui jette dans un autre.

**Amont** : vient de « à mont », qui veut dire vers la montagne. L'amont d'une rivière est la partie du près de la source. Il se trouve dans la direction d'où vient le courant.

**Aval** : vient de « à val », qui signifie vers la vallée. L'aval d'un cours d'eau est la partie située vers dans la direction où va le courant.

**Bassin versant** (ou bassin hydrographique) : notion topographique de zone limitée par une ligne de partage des eaux et celle de surface d'interception des précipitations.

**Carte d'occupation du sol** : carte thématique de la couverture physique de la surface terrestre mettant en évidence la nature des objets : forêts, cultures, zone urbaine, surfaces en eau, etc...

**Courbe de niveau** : ligne artificielle qui relie des points de même altitude, par exemple pour mettre en évidence la topographie du terrain dans une carte topographique.

**Crue** : période de hautes eaux de durée plus ou moins longue, qui correspond à la réponse d'un bassin versant à un épisode pluvieux.

**Digitalisation** (ou numérisation) : encodage numérique d'éléments graphiques par saisie des coordonnées spatiales. Cette opération peut se faire de façon manuelle, à l'aide d'une table à digitalisation, ou de façon automatique, grâce à un scanner numérique.

**Exutoire** : point d'origine du bassin versant, par où s'écoule l'eau intercepté par le bassin.

**GPS** : système de positionnement global, constitué d'une constellation de satellites qui émettent des signaux temporels pouvant être traduits en mesure de distance par triangulation ; ceci permet de déterminer avec précision sa position sur la surface terrestre.

**DEM** (*Digital elevation model*) : représentation numérique d'une surface géographique avec des coordonnées (x, y, z) qui peuvent être ordonnées de différentes façons selon la méthode de modélisation employée (raster, etc.).

**Pixel** : contraction du terme anglais "*Picture Element*". Correspond à la plus petite surface homogène constitutive d'une image.

**Régionalisation** : estimation d'une caractéristique en un point donnée en utilisant l'information disponible en autres points. Concernant les crues, il s'agit d'estimer des caractéristiques hydrologiques en des sites non jaugés, à partir des informations sur des bassins voisins jaugés.

**Réseau de drainage** : chemin suivi par l'eau pour atteindre l'exutoire.

**Réseau hydrographique** : ensemble des canaux de drainage naturels où s'écoulent les eaux provenant du ruissellement ou restituées par les nappes souterraines soit sous forme de sources, soit par restitution continue le long du lit du cours d'eau [Roche 1963].

**Résolution** : plus petite distance entre deux éléments dans une image qui puissent être distinguées ; équivalent à la taille du plus petit élément visible dans une image. Ce terme est utilisé par extension et de manière abusive pour un DEM, sans aucune garantie de pouvoir séparer : on distingue la résolution planimétrique ou spatiale, relative à la position planimétrique des points, et la résolution altimétrique relative à l'unité de mesure de l'altitude des points.

**Système d'Information Géographique** : structure technique permettant la coordination du recueil des données géographiques en vue de leur gestion et de la mise en place d'opérations spatiales (requêtes) facilitant l'aide à la décision.

**Talweg** (ou talweg) : ligne qui relie les points les plus bas d'une vallée. Correspond donc au fond de vallée mais qui n'est pas nécessairement occupé par un cours d'eau.

**Vectorisation** : opération qui consiste à passer des données numériques du format raster ou format vecteur (ensembles de points, lignes et polygones). L'opération inverse est nommée rastérisation.

**Raster** : format de données géographiques représentées sous forme de matrice de pixels.

**Rastérisation** : opération qui consiste à passer de la représentation vectrice d'une information à une représentation sous forme de matrice de pixels. Opération inverse de la vectorisation.

**Réseau hydrographique** : ensemble des canaux de drainage naturels où s'écoulent les eaux provenant du ruissellement ou restituées par les nappes souterraines soit sous forme de sources, soit par restitution continue le long du lit du cours d'eau (Roche 1963).

**Résolution** : plus petite distance entre deux éléments dans une image qui puissent être distinguées ; équivalent à la taille du plus petit élément visible dans une image. Ce terme est utilisé par extension et de manière abusive pour un DEM, sans aucune garantie de pouvoir séparer : on distingue la résolution planimétrique ou spatiale, relative à la position

planimétrique des points, et la résolution altimétrique relative à l'unité de mesure de l'altitude des points.

### **Vocabulaire technique en arabe**

**Jessours** (pluriel de *jisr*) : en Afrique du Nord, petit barrage de terre renforcé (ou non) de pierres sèches.

**Manfès** : déversoir permettant la communication et l'écoulement de l'eau entre des cuvettes successives.

**Oued** (pluriel, *ouadi*) : vallée ; utilisé en Afrique du Nord dans le sens de cours d'eau.

**Sirocco** (ou *chhili*) : vent très sec d'origine saharienne, qui provoque de nombreux dégâts dans les cultures au sud de la méditerranée.

**Tabiâ** : banquette de terre (ou de pierre sèche) élevée au-dessus du sol naturel et formant barrage ou barrière.

## 8.9. - Données climatiques

Tableau 1 : Station Zerkine

Année	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.	JAN.	FEV.	MARS	AVR.	MAIS	JUI.	JUIL.	AOUT	TOTAL ANNUEL
1972/73	3.5	9.8	0.0	92.8	26.6	23.9	18.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	175.8
1973/74	1.6	0.0	91.6	182.7	2.0	15.9	34.4	9.1	0.0	5.1	0.0	0.0	342.4
1974/75	34.0	11.0	2.0	4.1	31.6	88.0	32.7	16.0	3.9	0.0	0.0	0.0	223.3
1975/76	6.5	60.8	10.7	55.1	139.8	76.0	73.9	0.0	15.5	2.6	0.0	0.0	440.9
1976/77	21.0	57.3	16.3	5.0	13.0	31.5	17.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	162.6
1977/78	120.0	0.0	56.5	2.0	28.8	18.0	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	236.3
1978/79	0.0	71.5	98.0	0.0	0.0	62.5	66.0	20.5	0.0	0.0	0.0	0.0	318.5
1979/80	26.0	8.5	0.0	0.0	0.0	19.0	26.5	18.5	14.0	0.0	0.0	0.0	112.5
1980/81	27.0	84.5	7.0	20.5	7.0	37.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	183.0
1981/82	0.0	5.7	0.0	0.0	6.0	12.5	15.0	22.5	0.0	0.0	0.0	0.0	61.7
1982/83	6.5	10.0	18.5	50.0	0.0	18.0	0.0	13.0	0.0	12.0	0.0	0.0	128.0
1983/84	4.5	19.5	0.0	25.7	0.0	9.5	27.8	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	88.0
1984/85	2.0	382.0	23.0	17.0	20.0	0.0	20.0	17.5	1.0	0.0	0.0	0.0	482.5
1985/86	6.0	0.0	0.0	59.0	3.0	0.0	4.5	35.0	5.0	4.5	0.0	0.0	117.0
1986/87	2.7	0.0	47.5	101.0	0.0	1.0	7.5	19.0	1.0	0.0	3.0	0.0	182.7
1987/88	48.0	34.0	41.0	50.0	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	192.5
1988/89	4.5	3.0	67.5	40.5	14.0	36.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	177.5
1989/90	0.0	55.5	19.0	2.0	206.5	0.0	3.0	32.5	13.5	1.0	0.0	0.0	333.0
1990/91	2.0	0.0	77.5	51.5	15.0	16.5	13.0	3.0	0.0	0.0	5.0	0.0	183.5
1991/92	71.5	1.0	2.0	39.0	24.0	6.5	44.0	6.5	16.0	3.0	0.0	0.0	213.5
1992/93	0.0	0.0	0.0	39.0	12.0	27.5	26.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	109.5
1993/94	9.0	1.0	15.0	31.0	91.0	19.0	2.0	70.0	5.5	0.0	2.0	0.0	245.5
1994/95	8.0	41.0	5.0	24.0	41.5	0.0	21.5	15.0	0.0	0.0	0.0	2.0	158.0
1995/96	92.0	154.0	4.0	55.0	24.0	29.0	40.0	8.0	10.0	17.5	0.0	0.0	433.5

Tableau 2 : Station de Mareth

Année	SEPT	OCT.	NOV.	DEC.	JAN.	FEV.	MARS	AVR.	MAIS	JUI.	JUIL.	AOUT	TOTAL ANNUEL
1968-69	4.0	30.0	0.0	13.4	10.6	2.5	5.0	5.1	2.0	0.0	0.0	0.0	72.6
1969-70	65.8	312.6	11.0	11.5	4.0	0.0	16.5	67.5	3.0	3.0	0.0	0.0	494.9
1970-71	9.0	0.0	0.0	45.5	15.6	13.6	5.5	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	93.7
1971-72	5.6	52.2	5.5	0.0	5.7	6.0	100.5	22.0	17.0	0.0	0.0	0.0	214.5
1972-73													
1973-74													
1974-75													
1975-76	0.0	59.7	9.7	60.3	152.3	99.5	10.7	0.0	16.0	0.0	0.0	0.0	408.2
1976-77	14.0	49.5	13.5	4.5	18.5	29.5	1.5	20.5	0.0	0.0	0.0	0.0	151.5
1977-78	71.0	0.0	51.6	0.0	29.5	16.0	2.5	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0	181.1
1978-79	0.0	41.4	98.0	0.0	0.0	66.0	76.0	35.5	0.0	0.0	0.0	0.0	316.9
1979-80	24.0	7.0	0.0	0.0	5.6	30.7	39.3	20.0	17.0	0.0	0.0	0.0	143.6
1980-81	19.0	68.2	4.7	36.9	1.2	36.5	2.5	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	175.7
1981-82	0.0	29.0	0.0	4.2	12.0	14.0	19.0	29.5	0.0	0.0	0.0	0.0	107
1982-83	11.5	66.0	26.0	71.0	0.0	14.0	16.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	208.5
1983-84	0.0	9.0	0.0	14.0	0.0	0.0	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0
1984-85	15.0	256.0	0.0	0.0	10.0	0.0	3.0	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	305.0
1985-86	14.0	0.0	0.0	129.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	143.0
1986-87	0.0	10.0	70.0	125.0	0.0	0.0	0.4	27.5	0.0	0.0	0.0	0.0	232.9
1987-88	34.0	36.0	53.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	134.0
1988-89	18.0	5.0	74.5	123.5	9.0	50.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	280.5
1989-90		19.0		7.0	211.5	0.0	10.5	21.0	22.0	22.0	0.0	0.0	

1990-91	0.0	0.0	155.0	43.0	14.0	21.0	19.5	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	260.5
1991-92	23.7	2.1	14.5	38.0	22.0	8.7	52.8	3.4	16.0	10.0	0.0	0.0	191.2
1992-93	0.0	1.7	0.0	30.0	18.2	24.6	23.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.3
1993-94	1.0	0.0	17.0	41.8	98.3	13.4	2.5	72.5	1.8	0.0	0.0	0.0	248.3
1994-95	4.5	63.3	8.6	25.0	23.6	0.0	27.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.9	166.9
1995-96	76.9	92.6	2.7	61.7	15.1	39.5	31.3	5.8	9.5	13.3	0.0	0.0	348.4

**Tableau 3 : Station météorologique de Toujene- Edkhila**

Année	SEPT	OCT.	NOV.	DEC.	JAN.	FEV.	MARS	AVR.	MAIS	JUI.	JUIL.	AOUT	TOTAL ANNUEL
1972/73	31.5	9.5	0.5	31.5	6.5	16.5	18.0	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	120.2
1973/74	0.0	1.9	56.0	127.5	2.1	9.0	35.3	21.5	0.0	0.0	0.0	0.0	253.3
1974/75	0.0	16.7	0.0	3.5	10.0	104.5	20.0	17.5	5.4	0.0	0.0	0.0	177.6
1975/76	8.9	52.6	7.1	84.4	149.7	93.3	97.1	0.0	21.8	0.0	0.0	0.0	514.9
1976/77	7.3	62.6	13.8	6.5	6.9	25.3	21.9	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	150.8
1977/78	62.0	0.0	39.0	0.0	30.4	12.2	0.0	0.0	13.7	0.0	0.0	0.0	157.3
1978/79	0.0	38.0	37.9	0.0	0.0	47.1	7.1	24.1	0.0	0.0	0.0	0.0	154.2
1979/80	36.7	6.2	6.2	0.0	5.7	43.4	14.0	2.5	12.9	0.0	0.0	0.0	127.6
1980/81	0.0	22.1	11.7	25.5	0.0	35.8	0.0	0.0	1.9	0.3	0.0	0.0	97.3
1981/82	0.0	0.3	1.6	0.0	18.5	22.9	28.3	20.7	0.0	0.0	0.0	0.0	92.3
1982/83	6.7	7.9	22.2	67.7	0.0	22.1	22.2	1.5	0.0	16.0	0.0	0.0	166.3
1983/84	7.5	7.5	0.0	46.8	4.2	0.0	19.8	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	98.3
1984/85	6.3	176.3	10.0	18.8	12.0	2.8	6.3	11.3	10.8	0.0	0.0	0.0	254.6
1985/86	17.1	0.0	0.0	77.2	2.0	0.0	13.0	20.5	0.0	0.0	0.0	0.0	129.8
1986/87	0.0	23.0	61.4	91.2	0.0	4.7	3.7	18.2	0.0	0.0	0.0	0.0	202.2
1987/88	7.5	3.9	32.1	57.2	5.1	0.0	2.5	0.0	6.9	0.0	0.0	0.0	115.2
1988/89	22.3	5.2	63.8	22.1	20.1	23.5	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	162.5
1989/90	0.0	17.7	2.3	0.0	211.5	0.0	3.1	18.8	65.0	0.0	0.0	0.0	318.4
1990/91	0.0	0.0	55.2	20.4	20.3	27.1	20.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	143.5
1991/92	0.0	0.0	0.0	18.0	35.1	12.6	61.0	5.2	43.3	3.4	0.0	0.0	178.6
1992/93	6.0	0.0	0.0	23.6	13.5	27.1	18.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	89.8
1993/94	7.6	20.5	32.9	35.8	117.1	11.0	5.8	75.8	1.2	0.0	0.0	0.0	307.7
1994/95	5.2	54.2	3.8	26.8	37.1	0.0	25.0	30.7	0.0	0.0	0.0	0.0	182.8
1995/96	72.2	97.0	1.2	43.5	11.7	44.5	40.7	2.0	7.5	8.2	0.0	0.0	328.5

**Tableau4 : Station météorologique de Gabès**

CAMPAGNE	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.	JAN.	FEV.	MARS	AVR.	MAIS	JUI.	JUIL.	AOUT	Total annuel
1900	3	21	12	4.5	36	29	6	10	7.5	0	0	6	135
1901	8.8	19	4.3	2.5	7.2	12	82	2.2	1	0	0	0	139
1902	3.5	41	0	0	40	0	22	40	20	0	0	0	167
1903	42	0	79	16	94	10	22	1.5	0	0	0	0	264
1904	2.4	20	25	14	44	0.8	3	41	11	1.5	2	0	164
1905	0	3.3	40	96	39	6.5	11	4	0.4	1	0	1	202
1906	31	54	104	2	32	20	14	4	1	0	0	0	262
1907	33	0	5	0	21	0	36	1	0	0	0	0	96
1908	0	1.1	0	15	54	14	30	13	28	3	7.5	0	165
1909	2.5	22	14	23	66	8	3	5	3	0	0	0	146
1910	11	0	0	52	63	0.7	9.2	13	1.2	0	0	0	149
1911	49	126	11	13	4	0	1	35	0	0	0	0	240
1912	48	5	28	0	19	60	8	0.5	33	0	0	0	201
1913	0	56	11	0	49	29	3.5	18	3.5	0	0	0	168
1914	3	49	1.5	76	85	49	2.5	1	1	4	0	0	271
1915	0	0	0	0	19	7.9	10	30	21	5.5	0	5	98
1916	4.7	16	13	5.4	8.5	3.8	50	2	0	10	0	0	113
1917	0	6.6	116	11	1.4	39	137	4.2	11	1	0	0	327
1918	0	0.7	39	22	8.9	3.4	11	2.8	46	1	0	9.5	145

1919	57	18	8.3	7	0.5	53	4.6	0	0	0	0	7	155
1920	24	12	111	2	0.3	8.3	83	48	49	0	0	0	338
1921	14	32	29	11	6	9	8	2	0	0	0	0	110
1922	0	0	280	1.5	16	8	1.5	12	1.5	4	0	0	324
1923	14	4	6	3	8	6	3.3	0	0	1.3	0.4	2.1	48
1924	13	30	33	14	0	8	16	6	26	0	0	0	146
1925	12	3	18	1	0	14	4	18	3.8	0	0	6.5	80
1926	6.2	0	30	2.3	8.5	1	8.3	2	0	0	0	0	58
1927	4	6.9	9.8	2.3	72	10	19	11	0	0	0	0	135
1928	15	24	5.9	16	11	9.9	33	0.7	2	2	0	0	120
1929	29	5.4	14	0	18	3.5	0.5	6	0	2	1	0	79
1930	2	2	10	6.3	43	21	0	1	6.3	0	0	29	120
1931	11	102	20	20	5.8	14	40	1	2	0	0	0	216
1932	36	1.5	8.1	29	3.4	16	67	2	3.9	9	1	0	178
1933	15	33	24	6.4	6.5	2.7	5	0.4	11	0	0	0	103
1934	0	114	128	13	9.9	18	47	0	0	0	0	2	331
1935	0.3	41	0.2	0.4	0	3.7	1.1	2.2	20	0	0	0	69
1936	0.1	22	55	22	23	3.1	14	8.1	0	0	0	0	147
1937	42	0.4	6.9	5.3	15	20	26	30	0.2	0.3	0	4.7	151
1938	4	5.1	110	10	0.1	53	5.4	72	16	0	0	0	276
1939	18	0	51	1.6	17	0	6.8	1.6	1	0.5	0	2.2	100
1940	23	53	8.3	26	8.7	0	30	5.2	86	0	0	0.2	240
1941	6.9	49	31	34	6.3	36	21	0	10	0	0	0	195
1942	22	9.8	12	93	18	6.6	8.3	9.8	34	0	0	0	213
1943	0	0	57	48	13	6	8.5	19	0	9.3	0	0	161
1944	2.8	0.2	2.9	12	3.9	44	7.8	4.5	7.2	0	0	0	86
1945	0	87	1.2	3	96	1.9	2.5	6.1	2.9	1.2	0	0	212
1946	8.1	0.6	0.7	10	7	0	0.4	10	1.8	0	0	0	39
1947	0.7	52	1.7	11	0	61	25	2.7	0	0	0	0	155
1948	0.8	19	24	14	72	55	48	3.4	2.3	0.3	4.6	0	243
1950	0	16	4.9	20	3.4	65	53	7.4	0.5	5	0	0.6	176
1951	1	320	6.8	27	32	0.4	7	0	0	0	1.5	1.1	397
1952	143	63	53	2.1	36	33	3.2	25	0.5	0.9	0.5	0	361
1953	2.2	9.6	42	0.5	10	20	49	12	15	2	0	0.2	162
1954	7.1	52	63	3.1	0.9	14	8.3	30	5.8	0	0.4	0	184
1955	0	53	12	12	9.6	5.9	0.8	22	1.4	0	0	1.6	118

Tableau 4 (suite)

CAMPAGNE	SEP.	OCT.	NOV	DEC.	JAN.	FEV.	MARS	AVR.	MAIS	JUI.	JUIL.	AOUT	Total annuel
1956	11	0.5	2.8	8.8	0.4	15	7	0	0.5	0.1	0	0	47
1957	22	35	46	2.9	31	0	3.7	97	12	7.6	0	2.7	260
1958	12	37	19	14	16	11	0.1	7.4	1.3	0.8	0	0	119
1959	13	30	32	52	17	14	0	6.3	16	2	0	0	183
1960	2.4	189	4.9	75	26	0	12	122	11	8.9	0	0	460
1961	1.4	0	0	10	16	2	14	20	0.4	2	0	1.1	67
1962	19	25	0.5	0	5	0.8	20	10	0.4	1.5	0	0	83
1963	43	8.4	142	2.2	9.3	8.6	91	0.8	27	1.2	0	0	333
1964	1.4	112	0	15	90	8.7	25	32	0	1.8	0	5	291
1965	0	1.4	15	63	33	9.2	40	12	0.8	0	0	0	175
1966	31	72	55	17	0	0.8	8.5	13	5.3	2.2	0	0	204
1967	67	26	25	0.4	0.2	92	0.9	1.1	19	1.6	0	0	233
1968	39	35	7	20	15	13	11	4	0.1	5.6	0	0.8	151
1969	2.4	39	0.9	31	12	0.3	2.3	24	9.1	0	6.2	0.2	128
1970	107	162	0	10	6.8	0	9.2	17	0.8	2.9	0	0	315
1971	8.7	0	0	77	7.2	12	6.3	1.8	13	0	2.6	0.3	129
1972	8.8	146	6.5	4.7	10	11	52	39	7.4	0	0.2	0	285
1973	13	15	3.2	35	21	26	22	6.9	1.2	0.2	0.9	4.1	150
1974	0.3	2.7	32	201	1.1	24	35	10	0	5.3	0	0	312
1975	72	39	1.5	3.1	17	60	71	16	6.8	16	0	0	302

---

1976	73	99	10	59	121	78	60	0.4	25	6.8	0	1.3	534
1977	5.5	31	29	0.7	25	14	3.5	3.9	4.4	0.4	0	0	117
1978	52	0	104	0.3	27	14	7.6	2	16	0	0	0.4	222
1979	1.8	68	88	0	0.1	41	39	17	2.2	0	0	0.3	256
1980	34	15	1.6	0	9.8	11	21	24	16	3.3	0	0	121
1981	34.2	49.3	7.9	36.9	2.4	40.4	5.7	0.0	0.9	9.4	0.0	0.0	152.9
1982	2.5	2.6	27.2	2.7	31.7	24.2	19.5	8.0	1.2	1.1	0.0	0.0	118.2
1983	29	25	46	66	2.3	18	13	0.5	3.8	11	0	0	185.4
1984	0	11	0.8	53	0.7	22	23	4.5	10	0	0	0	124.0
1985	0.5	185	6.9	19	20	0	19	9.7	2.1	0	0	0	261.6
1986	19	4	0	27	3.1	0	18	39	3.5	0.7	0	0	95.1
1987	1.4	8.5	38	56	0.5	3.3	9	20	0	1.4	4.5	0	141.3
1988	15	25	11	52	18	1.2	11	0.2	0.3	7.2	0	0	126.1
1989	43	2.1	78	36	18	3.6	1	1.8	0	0	5.4	0.6	147.3
1990	5.3	20	56	1.5	225	0	10	27	15	1.7	0	5.9	363.0
1991	0	0.3	53	69	16	5.1	27	2.1	0.3	2.5	0	0	175.4
1992	48	8.8	11	15	49	13	18	4.1	28	2.2	0	0	149.4
1993	0	7.7	3.3	31	2.8	24	30	0.9	0.8	0	0	0	100.3
1994	8.1	21	7.6	27	41	13	4.1	31	2.5	0	0	0	146.5
1995	0.5	77	0.3	15	29	0	13	37	0.4	0	0	1.2	172.7
1996	155	170	4.3	92	34	37	27	11	11	12	0	0	397.0
1997	6.1	6.6	4	1	21	7.2	2.5	15	2.8	0.5	0	16	76.5
1998	89	0.3	2.7	18	4.4	22	23	17	2.2	2	0	0	91.4
1999	14	50	0.5	7.2	96	8.9	8.1	0	1	0	3	0.1	174.8

---

## 8.10. - Données topographiques et pédologiques

Profil	PROFILS	AXE1	AXE2	GÉOLOG	CS_RÉG	pHs	pHp	CEs	CEp	CalcActs	CalcActp	MOs	ARGs	ARGp	LIMs	LIMp	SABLs	SABLp
HA1	1	4,654911	-0,28034	5	3	7,093	7,2	0,465	0,623	10,49	14,5	0,68	10,63	15	11,91	24	75,28	57
HA3	3	4,35815	-1,35756	5	7	7,574	7,3	0,477	0,292	11,2	14,5	0,62	11	15	15,26	29	71,22	54
HA4	4	3,713352	-1,20165	5	1	5,9	7,403	1,954	0,338	9,5	11,96	0,8	13	17,27	19	37,95	66	42,76
HA5	5	4,371403	-1,56516	5	1	7,7	7,3	0,712	0,485	7,889	9,236	0,68	10,06	16	23,72	39	62,72	43
HA6	6	4,087376	-1,25685	5	1	7,544	7,665	2,206	0,397	11,77	11,23	0,55	3,875	14	25,94	26	60,02	57
HA7	7	4,138067	-0,80249	4	8	7,5	7,254	0,615	0,59	9	12,94	0,8	6	13,85	31	33,42	60	52,15
HA8	8	2,846449	-0,65719	4	1	6,5	6,5	0,822	4,28	14,5	28	0,37	10	15	29	49	59	35
HA9	9	4,146376	-1,25258	4	7	7,457	7,3	0,441	0,654	6,691	14,26	0,37	6,578	19	12,63	42	78,14	37
HA10	10	3,408998	-0,19838	2	1	7,448	7,47	0,355	0,418	12,84	19,2	0,57	18,57	19,24	35,27	44	45,13	35,66
HA11	11	3,903422	0,224209	2	1	7,6	7,4	0,432	0,652	12,5	27,5	0,12	12	23	24	33	62	41
HA12	12	6,691773	-2,68999	4	7	7,3	7,3	0,379	0,427	12	11,24	0,62	10	20	15,5	37	71,5	41
HA13	13	5,079412	0,087451	7	3	6,636	7,2	1,129	0,399	12,64	8,235	0,5	13,92	17	20,2	34	57,68	46
HA14	14	4,659269	-0,60397	5	3	7,316	7,67	0,723	0,493	5,52	15,24	0,5	10,96	18	14,04	38	74,92	42
HA15	15	3,321238	-0,23146	4	3	6,6	7,669	2,097	1,633	12	14,54	0,62	9	15,69	26	19,77	65	62,54
HA16	16	3,883082	-1,27001	4	1	8,52	7,665	0,093	0,538	1,14	9,825	0,31	10,8	12,89	22,4	20,51	65,35	64,58
HA17	17	2,54635	-0,47042	2	1	6,996	7,402	0,542	0,58	8,921	20,06	0,62	12,44	19,6	24,84	43,19	61,72	36,81
HA18	18	4,607484	1,546426	2	4	7,5	7,544	0,66	2,068	13	37,78	0,37	13	23,13	23	36,56	62	39,97
HA19	19	3,089402	-0,87552	4	1	7,638	7,5	0,339	0,987	11,28	19,46	0,68	12,27	18	22,23	45	61,01	34
TN1	20	6,205426	-1,0258	2	5	7,558	7,6	0,409	0,578	8,444	12,66	0,19	10,04	21	19,83	45	65,91	42
TN2	21	4,571206	1,494262	7	4	7,5	7,6	0,462	3,119	10,55	10,62	1,13	12,18	22,4	39,27	44,87	47,82	32,16
TN3	22	3,805674	-0,20651	5	1	7,2	7,321	1,246	0,486	17	8,144	2,26	22,4	9,156	64	25,74	13,01	60,29
TN4	23	5,242743	-0,0845	6	3	7,412	7,438	0,403	0,645	16,47	9,348	1,19	22,24	14,92	32,18	17,8	47	63,38
TN5	24	4,639201	-2,28761	5	7	7,469	7,6	0,436	0,661	13,09	26	0,81	13,81	25	21,94	36	62,69	34
TN6	25	3,663655	-0,66042	5	1	7,509	7,7	6,829	3,297	13,09	7,7	1,09	17	31	31,36	31	47,64	34
TN7	26	6,444564	-0,26734	5	3	7,462	7,4	0,686	0,789	7,638	9,256	0,81	11,62	27	18,38	35	67	36
TN8	27	8,413254	-0,02534	7	5	7,728	7,434	1,062	0,426	7,604	8,569	1,39	14,18	23	21,94	43	60,2	31
TN9	28	6,542986	2,305734	7	6	7,287	7,5	0,667	0,59	6,373	4,5	0,44	13,13	11	21,69	14	61,75	74
TN10	29	4,496409	-0,92764	7	1	7,489	7,5	0,446	0,367	9,823	8,012	1	15,02	15	23,74	17	60,76	66
TN11	30	5,689546	0,280882	6	4	7,241	7,6	0,592	0,28	5,756	9	0,63	5,951	22	13	42	81	34
TN12	31	5,797394	1,464919	7	4	7,612	7,4	0,345	0,265	10,71	8	0,5	16,27	12	24,29	19	57,9	69
TN13	32	5,375665	-0,03522	7	3	7,5	7,4	0,987	2,806	10,3	12,5	0,84	16,27	22	30	35	50	39
Z1	33	5,460581	-4,61464	1	8	7,8	7,2	123,3	64,85	5,5	13,79	0,72	10	13	21,1	18	68,2	66

Br3	38	5,867197	1,593174	5	6	7,701	7,7	0,444	0,358	9,757	8,3	1,27	14,18	17	31,69	45	50,28	35
Tj1	39	5,705408	2,603853	6	4	7,609	7,6	1,215	0,265	9,46	11	0,48	11,88	18	24,99	48	56,09	31
Tj2	40	5,361591	2,595182	7	4	7,654	7,6	0,541	0,356	5,685	7,5	0,42	10,37	13	21	17	67,26	69
Tj4	42	5,593643	3,907625	7	6	7,5	7,5	1,047	0,817	8,5	12,5	1,45	11	15	30	43	56	40
Tj5	43	6,825954	3,883013	7	6	7,5	7,4	0,498	0,415	4,897	10,4	1,81	13,16	17	19,16	39	64	40,98
Tj6	44	7,635012	2,87478	7	6	7,6	7,6	0,632	0,524	9	12	1,08	11	20	26	24	62	52
OR1	45	5,502442	0,215	5	3	7,349	7,38	1,642	0,234	7,559	8,2	0,84	10,46	14	22,47	21	64,6	61
OR3	47	2,709142	-0,5727	5	1	7,1	7,239	3,884	7,743	4	18,59	0,9	13	12,56	18	23,72	63	58,99
OR4	48	4,576521	2,367129	4	4	7,745	7,7	0,533	0,426	7,765	18	0,72	12,98	13	20,43	17,46	64,04	66,46
OR5	49	5,526316	-2,46651	5	7	7,7	7,65	0,436	0,876	11	14	1,39	22	16	42	19	33	63
OR6	50	4,247827	-1,30354	5	2	6,91	7,44	0,383	0,661	6,238	12	1,21	10	9	15,86	14	73,9	75
OR7	51	4,807067	-1,62434	5	3	7,6	7,5	2,564	0,412	9,386	13	0,72	20,3	11	22,77	18	55,68	57,46
TK1	52	5,855804	-1,34732	5	3	7,672	7,672	0,94	0,94	16,88	16,88	0,42	17,58	17,58	28,43	28,43	52,56	52,56
TK2	53	5,341305	0,973109	5	4	7,7	7,8	0,512	0,213	6,5	9,5	1,01	9	12	19	21	70	63
TK3	54	3,291853	0,669625	5	3	7,7	7,6	0,54	0,426	5,5	6,5	0,63	11	12	20	18	70	69
TK4	55	4,484936	0,959035	5	4	7,7	7,8	0,664	0,587	6	8	0,72	9	18	22	26	68	55
TK5	56	5,81757	0,964468	7	4	7,5	7	0,566	10,57	12,5	8	0,78	15	11	31	32	52	55
S3	59	5,352361	-3,80079	2	7	7,91	7,4	0,55	0,483	9,864	10,5	0,66	7	18	15	40	76	41
S5	61	4,73487	-3,58946	2	1	7,437	7,5	1,728	1,731	7,36	9	0,2	14,16	2	27,09	21	53,57	75
S6	62	4,378496	-3,34678	2	8	7,805	7,5	0,607	0,836	8,245	9,5	0,84	18,02	12	25,43	36	52,88	49
JO1	63	5,106404	1,899813	7	4	7,655	7,4	0,378	0,225	9,64	8,25	1,09	13,09	15	19,68	41	62,15	41
JO2	64	6,110478	2,66999	7	6	7,857	7,3	0,665	0,156	9,5	11,2	0,75	20	14	38,81	41	39,46	43
M51	65	4,343852	-2,71841	2	7	7,815	7,6	2,133	0,932	6,864	10	0,77	13,2	5	20,17	17	65,66	75,36
M52	66	4,343856	-2,93625	2	7	7,841	7,6	1,565	0,832	4,799	9	0,82	11,67	8	18,45	25	69,18	64,35
AZ1	68	4,038424	-2,67696	2	7	7,848	7,4	0,592	0,652	6,114	8,6	0,82	13	9	18,68	27	67,27	61,56
AZ2	69	4,091583	-2,43505	2	1	7,565	7,6	0,498	0,349	4,015	11,2	0,05	9,446	8	23,62	23	66,26	67
AZ3	70	3,716978	-1,7403	5	7	7,651	7,6	0,476	0,35	5,903	7,3	0,61	7,429	10	15,96	24	76,06	65
AZ5	72	3,754146	-1,8961	2	1	7,491	7,6	0,36	0,321	5,076	7,5	0,33	5,283	10	8,891	20	84,83	65
AZ6	73	3,063651	-1,2491	5	1	7,808	7,4	0,291	0,403	3,681	6,34	0,11	6,917	8,53	10,47	18,34	81,49	69,22
AZ7	74	4,905714	-1,29531	4	7	7,684	7,5	1,737	0,352	6,419	6,525	1,16	12,44	12	23,05	19	64,16	66,55
AZ8	75	4,356371	-2,98108	2	8	7,571	7,566	0,927	0,401	6,571	2,982	1,05	14,43	7,625	25	15,38	60,57	76,16
AZ9	76	3,195313	-1,68909	4	7	7,663	7,619	0,285	0,304	4,737	8,298	0,62	9,632	15	14	16,19	73,37	65,4
AZ10	77	4,593989	-2,68535	2	7	7,552	7,6	0,415	0,452	8,146	6,57	0,12	11,07	7	23,35	14	64,73	75
AZ11	78	4,352145	-2,79089	2	7	7,412	7,4	0,424	0,368	8,441	7,45	0,18	9	9	20,64	17	68,59	72
AZ15	82	4,915948	1,322048	7	4	7,607	7,6	0,625	1,54	5,744	9,82	0,25	10,13	12	16,97	14	71,78	71

AZ16	83	5,557511	-0,2071	4	4	7,6	7,6	0,677	2,458	5,5	6,5	0,5	8	14	15	15	75	69
AZ17	84	5,489183	-0,11182	4	3	7,7	7,4	0,635	1,38	6,333	8,87	0,69	13,33	11	25,33	16	61	70,89
M1 81	85	4,335789	-0,17313	4	3	8,1	8,2	2,91	8,38	9,714	9	0,7	5	13	9,856	19	83,35	66
M1 15	86	3,284803	-0,45968	4	1	7,8	7,1	2	4,23	8	7,44	0,85	12,34	9	24	12	61,25	76
M1 104	87	3,132736	-0,88681	4	1	8,2	7,4	7,5	9,6	7,24	8	0,97	9	10	20	14	68	73
M1 199	88	6,521647	-4,06008	2	7	7,6	7,5	2,34	4,86	7	7,22	0,66	12	5	19	11	67	81
M1 128	89	4,605779	-1,93213	2	1	7,5	8,1	3,28	5,32	8,9	13,54	0,9	13	10	21	13	65	75
M1 153	90	5,257421	-2,68402	2	7	8,6	7,6	2,21	5,36	7,33	8,75	2	11,04	10	25,23	14	61,46	73
M1 261	91	4,452201	-2,23691	2	7	7,9	8,3	4,86	12,1	10,5	6,25	0,5	13,05	7	27	13	57,9	77,65
M1 241	92	4,469454	-2,06949	2	7	7	8,3	1,73	8,4	9	8,65	2,9	10	8	26	10	62	
M1 328	93	5,014988	-1,76333	2	7	7,7	8,1	3,08	5,65	7,44	5,44	0,6	13	7,608	24	11,22	65	77,57
M1 331	94	4,28578	-2,81664	2	7	7,7	8,1	3,08	5,65	6,68	9,21	0,8	13	8	28	18,97	57	73
M1 73	95	4,691623	-3,26549	2	7	8,6	8,6	2,35	1,7	8,22	8,07	1	9,865	7	24	16	64	75
M2 136	96	4,614758	-3,45122	1	7	8,5	8,7	4,54	2,21	5,55	7,77	0,18	12,46	5	29	10	56	81,36
M2 335	99	5,089503	-4,19798	2	7	7,9	8,1	1,6	1,3	10,32	8,55	0,15	10,75	7	22,88	14	64,49	76
M2 102	100	4,723011	-3,62778	2	7	8,5	7,8	3,95	2,45	9	11,65	0,09	8	11	20	17	69	70
M2 84	101	4,995386	-3,77312	1	7	8,5	8,1	3,6	8,2	4,35	9,2	0,7	6,917	12	15,47	17	81,49	68
M26	102	4,825925	-3,47659	1	7	7,7	7,9	1,28	1,86	8,55	8,36	0,48	10,44	7	25,05	20	64,16	71,24
M2 436	103	5,253255	-3,92413	2	1	7,8	8	7,9	3,9	8,64	7,24	0,1	9	9,655	20	18	67	70,33
M2 399	104	5,602817	-4,08156	2	1	8	7,7	1,57	2,23	7	7,65	0,32	8,446	7	24,62	17	65,26	73
M2 355	106	2,975812	-1,69952	1	7	8,2	8,3	1,5	1,46	7,32	11	0,67	11	6	14	14	73	77,36

<b>Profil</b>	<b>PROFILS</b>	<b>AXE1</b>	<b>AXE2</b>	<b>GÉOLOG</b>	<b>CS_RÉG</b>	<b>pHs</b>	<b>pHp</b>	<b>CEs</b>	<b>CEp</b>	<b>CalActs</b>	<b>CalActp</b>	<b>MOs</b>	<b>ARGs</b>	<b>ARGp</b>	<b>LIMs</b>	<b>LIMp</b>	<b>SABLs</b>	<b>SABLp</b>
HA1	1	4,65	-0,28	5	3	7,09	7,20	0,47	0,62	10,49	14,50	0,68	10,63	15,00	11,91	24,00	75,28	57,00
HA3	3	4,36	-1,36	5	7	7,57	7,30	0,48	0,29	11,20	14,50	0,62	11,00	15,00	15,26	29,00	71,22	54,00
HA4	4	3,71	-1,20	5	1	5,90	7,40	1,95	0,34	9,50	11,96	0,80	13,00	17,27	19,00	37,95	66,00	42,76
HA5	5	4,37	-1,57	5	1	7,70	7,30	0,71	0,49	7,89	9,24	0,68	10,06	16,00	23,72	39,00	62,72	43,00
HA6	6	4,09	-1,26	5	1	7,54	7,67	2,21	0,40	11,77	11,23	0,55	3,87	14,00	25,94	26,00	60,02	57,00
HA7	7	4,14	-0,80	4	8	7,50	7,25	0,62	0,59	9,00	12,94	0,80	6,00	13,85	31,00	33,42	60,00	52,15
HA8	8	2,85	-0,66	4	1	6,50	6,50	0,82	4,28	14,50	28,00	0,37	10,00	15,00	29,00	49,00	59,00	35,00
HA9	9	4,15	-1,25	4	7	7,46	7,30	0,44	0,65	6,69	14,26	0,37	6,58	19,00	12,63	42,00	78,14	37,00
HA10	10	3,41	-0,20	2	1	7,45	7,47	0,35	0,42	12,84	19,20	0,57	18,57	19,24	35,27	44,00	45,13	35,66
HA11	11	3,90	0,22	2	1	7,60	7,40	0,43	0,65	12,50	27,50	0,12	12,00	23,00	24,00	33,00	62,00	41,00
HA12	12	6,69	-2,69	4	7	7,30	7,30	0,38	0,43	12,00	11,24	0,62	10,00	20,00	15,50	37,00	71,50	41,00
HA13	13	5,08	0,09	7	3	6,64	7,20	1,13	0,40	12,64	8,24	0,50	13,92	17,00	20,20	34,00	57,68	46,00
HA14	14	4,66	-0,60	5	3	7,32	7,67	0,72	0,49	5,52	15,24	0,50	10,96	18,00	14,04	38,00	74,92	42,00
HA15	15	3,32	-0,23	4	3	6,60	7,67	2,10	1,63	12,00	14,54	0,62	9,00	15,69	26,00	19,77	65,00	62,54
HA16	16	3,88	-1,27	4	1	8,52	7,67	0,09	0,54	1,14	9,83	0,31	10,80	12,89	22,40	20,51	65,35	64,58
HA17	17	2,55	-0,47	2	1	7,00	7,40	0,54	0,58	8,92	20,06	0,62	12,44	19,60	24,84	43,19	61,72	36,81
HA18	18	4,61	1,55	2	4	7,50	7,54	0,66	2,07	13,00	37,78	0,37	13,00	23,13	23,00	36,56	62,00	39,97
HA19	19	3,09	-0,88	4	1	7,64	7,50	0,34	0,99	11,28	19,46	0,68	12,27	18,00	22,23	45,00	61,01	34,00
TN1	20	6,21	-1,03	2	5	7,56	7,60	0,41	0,58	8,44	12,66	0,19	10,04	21,00	19,83	45,00	65,91	42,00
TN2	21	4,57	1,49	7	4	7,50	7,60	0,46	3,12	10,55	10,62	1,13	12,18	22,40	39,27	44,87	47,82	32,16
TN3	22	3,81	-0,21	5	1	7,20	7,32	1,25	0,49	17,00	8,14	2,26	22,40	9,16	64,00	25,74	13,01	60,29
TN4	23	5,24	-0,08	6	3	7,41	7,44	0,40	0,65	16,47	9,35	1,19	22,24	14,92	32,18	17,80	47,00	63,38
TN5	24	4,64	-2,29	5	7	7,47	7,60	0,44	0,66	13,09	26,00	0,81	13,81	25,00	21,94	36,00	62,69	34,00
TN6	25	3,66	-0,66	5	1	7,51	7,70	6,83	3,30	13,09	7,70	1,09	17,00	31,00	31,36	31,00	47,64	34,00
TN7	26	6,44	-0,27	5	3	7,46	7,40	0,69	0,79	7,64	9,26	0,81	11,62	27,00	18,38	35,00	67,00	36,00
TN8	27	8,41	-0,03	7	5	7,73	7,43	1,06	0,43	7,60	8,57	1,39	14,18	23,00	21,94	43,00	60,20	31,00
TN9	28	6,54	2,31	7	6	7,29	7,50	0,67	0,59	6,37	4,50	0,44	13,13	11,00	21,69	14,00	61,75	74,00
TN10	29	4,50	-0,93	7	1	7,49	7,50	0,45	0,37	9,82	8,01	1,00	15,02	15,00	23,74	17,00	60,76	66,00
TN11	30	5,69	0,28	6	4	7,24	7,60	0,59	0,28	5,76	9,00	0,63	5,95	22,00	13,00	42,00	81,00	34,00
TN12	31	5,80	1,46	7	4	7,61	7,40	0,34	0,27	10,71	8,00	0,50	16,27	12,00	24,29	19,00	57,90	69,00
TN13	32	5,38	-0,04	7	3	7,50	7,40	0,99	2,81	10,30	12,50	0,84	16,27	22,00	30,00	35,00	50,00	39,00
Z1	33	5,46	-4,61	1	8	7,80	7,20	123,34	64,85	5,50	13,79	0,72	10,00	13,00	21,10	18,00	68,20	66,00
Br3	38	5,87	1,59	5	6	7,70	7,70	0,44	0,36	9,76	8,30	1,27	14,18	17,00	31,69	45,00	50,28	35,00

Tj1	39	5,71	2,60	6	4	7,61	7,60	1,22	0,27	9,46	11,00	0,48	11,88	18,00	24,99	48,00	56,09	31,00
Tj2	40	5,36	2,60	7	4	7,65	7,60	0,54	0,36	5,68	7,50	0,42	10,37	13,00	21,00	17,00	67,26	69,00
Tj4	42	5,59	3,91	7	6	7,50	7,50	1,05	0,82	8,50	12,50	1,45	11,00	15,00	30,00	43,00	56,00	40,00
Tj5	43	6,83	3,88	7	6	7,50	7,40	0,50	0,42	4,90	10,40	1,81	13,16	17,00	19,16	39,00	64,00	40,98
Tj6	44	7,64	2,87	7	6	7,60	7,60	0,63	0,52	9,00	12,00	1,08	11,00	20,00	26,00	24,00	62,00	52,00
OR1	45	5,50	0,21	5	3	7,35	7,38	1,64	0,23	7,56	8,20	0,84	10,46	14,00	22,47	21,00	64,60	61,00
OR3	47	2,71	-0,57	5	1	7,10	7,24	3,88	7,74	4,00	18,59	0,90	13,00	12,56	18,00	23,72	63,00	58,99
OR4	48	4,58	2,37	4	4	7,74	7,70	0,53	0,43	7,77	18,00	0,72	12,98	13,00	20,43	17,46	64,04	66,46
OR5	49	5,53	-2,47	5	7	7,70	7,65	0,44	0,88	11,00	14,00	1,39	22,00	16,00	42,00	19,00	33,00	63,00
OR6	50	4,25	-1,30	5	2	6,91	7,44	0,38	0,66	6,24	12,00	1,21	10,00	9,00	15,86	14,00	73,90	75,00
OR7	51	4,81	-1,62	5	3	7,60	7,50	2,56	0,41	9,39	13,00	0,72	20,30	11,00	22,77	18,00	55,68	57,46
TK1	52	5,86	-1,35	5	3	7,67	7,67	0,94	0,94	16,88	16,88	0,42	17,58	17,58	28,43	28,43	52,56	52,56
TK2	53	5,34	0,97	5	4	7,70	7,80	0,51	0,21	6,50	9,50	1,01	9,00	12,00	19,00	21,00	70,00	63,00
TK3	54	3,29	0,67	5	3	7,70	7,60	0,54	0,43	5,50	6,50	0,63	11,00	12,00	20,00	18,00	70,00	69,00
TK4	55	4,48	0,96	5	4	7,70	7,80	0,66	0,59	6,00	8,00	0,72	9,00	18,00	22,00	26,00	68,00	55,00
TK5	56	5,82	0,96	7	4	7,50	7,00	0,57	10,57	12,50	8,00	0,78	15,00	11,00	31,00	32,00	52,00	55,00
S3	59	5,35	-3,80	2	7	7,91	7,40	0,55	0,48	9,86	10,50	0,66	7,00	18,00	15,00	40,00	76,00	41,00
S5	61	4,73	-3,59	2	1	7,44	7,50	1,73	1,73	7,36	9,00	0,20	14,16	2,00	27,09	21,00	53,57	75,00
S6	62	4,38	-3,35	2	8	7,80	7,50	0,61	0,84	8,25	9,50	0,84	18,02	12,00	25,43	36,00	52,88	49,00
JO1	63	5,11	1,90	7	4	7,65	7,40	0,38	0,23	9,64	8,25	1,09	13,09	15,00	19,68	41,00	62,15	41,00
JO2	64	6,11	2,67	7	6	7,86	7,30	0,66	0,16	9,50	11,20	0,75	20,00	14,00	38,81	41,00	39,46	43,00
M51	65	4,34	-2,72	2	7	7,82	7,60	2,13	0,93	6,86	10,00	0,77	13,20	5,00	20,17	17,00	65,66	75,36
M52	66	4,34	-2,94	2	7	7,84	7,60	1,57	0,83	4,80	9,00	0,82	11,67	8,00	18,45	25,00	69,18	64,35
AZ1	68	4,04	-2,68	2	7	7,85	7,40	0,59	0,65	6,11	8,60	0,82	13,00	9,00	18,68	27,00	67,27	61,56
AZ2	69	4,09	-2,44	2	1	7,56	7,60	0,50	0,35	4,02	11,20	0,05	9,45	8,00	23,62	23,00	66,26	67,00
AZ3	70	3,72	-1,74	5	7	7,65	7,60	0,48	0,35	5,90	7,30	0,61	7,43	10,00	15,96	24,00	76,06	65,00
AZ5	72	3,75	-1,90	2	1	7,49	7,60	0,36	0,32	5,08	7,50	0,33	5,28	10,00	8,89	20,00	84,83	65,00
AZ6	73	3,06	-1,25	5	1	7,81	7,40	0,29	0,40	3,68	6,34	0,11	6,92	8,53	10,47	18,34	81,49	69,22
AZ7	74	4,91	-1,30	4	7	7,68	7,50	1,74	0,35	6,42	6,52	1,16	12,44	12,00	23,05	19,00	64,16	66,55
AZ8	75	4,36	-2,98	2	8	7,57	7,57	0,93	0,40	6,57	2,98	1,05	14,43	7,63	25,00	15,38	60,57	76,16
AZ9	76	3,20	-1,69	4	7	7,66	7,62	0,29	0,30	4,74	8,30	0,62	9,63	15,00	14,00	16,19	73,37	65,40
AZ10	77	4,59	-2,69	2	7	7,55	7,60	0,41	0,45	8,15	6,57	0,12	11,07	7,00	23,35	14,00	64,73	75,00
AZ11	78	4,35	-2,79	2	7	7,41	7,40	0,42	0,37	8,44	7,45	0,18	9,00	9,00	20,64	17,00	68,59	72,00
AZ15	82	4,92	1,32	7	4	7,61	7,60	0,63	1,54	5,74	9,82	0,25	10,13	12,00	16,97	14,00	71,78	71,00
AZ16	83	5,56	-0,21	4	4	7,60	7,60	0,68	2,46	5,50	6,50	0,50	8,00	14,00	15,00	15,00	75,00	69,00

AZ17	84	5,49	-0,11	4	3	7,70	7,40	0,64	1,38	6,33	8,87	0,69	13,33	11,00	25,33	16,00	61,00	70,89
M1 81	85	4,34	-0,17	4	3	8,10	8,20	2,91	8,38	9,71	9,00	0,70	5,00	13,00	9,86	19,00	83,35	66,00
M1 15	86	3,28	-0,46	4	1	7,80	7,10	2,00	4,23	8,00	7,44	0,85	12,34	9,00	24,00	12,00	61,25	76,00
M1 104	87	3,13	-0,89	4	1	8,20	7,40	7,50	9,60	7,24	8,00	0,97	9,00	10,00	20,00	14,00	68,00	73,00
M1 199	88	6,52	-4,06	2	7	7,60	7,50	2,34	4,86	7,00	7,22	0,66	12,00	5,00	19,00	11,00	67,00	81,00
M1 128	89	4,61	-1,93	2	1	7,50	8,10	3,28	5,32	8,90	13,54	0,90	13,00	10,00	21,00	13,00	65,00	75,00
M1 153	90	5,26	-2,68	2	7	8,60	7,60	2,21	5,36	7,33	8,75	2,00	11,04	10,00	25,23	14,00	61,46	73,00
M1 261	91	4,45	-2,24	2	7	7,90	8,30	4,86	12,10	10,50	6,25	0,50	13,05	7,00	27,00	13,00	57,90	77,65
M1 241	92	4,47	-2,07	2	7	7,00	8,30	1,73	8,40	9,00	8,65	2,90	10,00	8,00	26,00	10,00	62,00	
M1 328	93	5,01	-1,76	2	7	7,70	8,10	3,08	5,65	7,44	5,44	0,60	13,00	7,61	24,00	11,22	65,00	77,57
M1 331	94	4,29	-2,82	2	7	7,70	8,10	3,08	5,65	6,68	9,21	0,80	13,00	8,00	28,00	18,97	57,00	73,00
M1 73	95	4,69	-3,27	2	7	8,60	8,60	2,35	1,70	8,22	8,07	1,00	9,86	7,00	24,00	16,00	64,00	75,00
M2 136	96	4,61	-3,45	1	7	8,50	8,70	4,54	2,21	5,55	7,77	0,18	12,46	5,00	29,00	10,00	56,00	81,36
M2 335	99	5,09	-4,20	2	7	7,90	8,10	1,60	1,30	10,32	8,55	0,15	10,75	7,00	22,88	14,00	64,49	76,00
M2 102	100	4,72	-3,63	2	7	8,50	7,80	3,95	2,45	9,00	11,65	0,09	8,00	11,00	20,00	17,00	69,00	70,00
M2 84	101	5,00	-3,77	1	7	8,50	8,10	3,60	8,20	4,35	9,20	0,70	6,92	12,00	15,47	17,00	81,49	68,00
M26	102	4,83	-3,48	1	7	7,70	7,90	1,28	1,86	8,55	8,36	0,48	10,44	7,00	25,05	20,00	64,16	71,24
M2 436	103	5,25	-3,92	2	1	7,80	8,00	7,90	3,90	8,64	7,24	0,10	9,00	9,65	20,00	18,00	67,00	70,33
M2 399	104	5,60	-4,08	2	1	8,00	7,70	1,57	2,23	7,00	7,65	0,32	8,45	7,00	24,62	17,00	65,26	73,00
M2 355	106	2,98	-1,70	1	7	8,20	8,30	1,50	1,46	7,32	11,00	0,67	11,00	6,00	14,00	14,00	73,00	77,36

PROFILS	ATB_B	DEM_B	LSFL_B	PFCM_B	PLC_B	SIZL_B	SLOL_B	STRDM_B	SUN_B	AXE1	AXE2	GÉOLOG	CS RÉG
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,27	0,079	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,27	0,079	0	0
33	251	3	95	16	249	247	9	29	135	5,461	-4,615	1	8
102	213	13	68	16	249	177	18	46	135	4,826	-3,477	1	7
101	224	13	76	16	249	198	16	35	135	4,995	-3,773	1	7
104	236	12	84	16	249	220	13	74	135	5,603	-4,082	2	1
106	138	12	14	16	249	38	18	50	136	2,976	-1,7	1	7
96	211	15	67	16	249	174	15	27	135	4,615	-3,451	1	7
100	218	13	72	16	249	187	17	20	135	4,723	-3,628	2	7
103	230	13	79	16	249	208	14	51	135	5,253	-3,924	2	1
107	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,27	0,079	1	7
105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,27	0,079	1	7
97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,27	0,079	2	2
98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,27	0,079	2	2
99	239	13	86	16	249	226	12	7	135	5,09	-4,198	2	7
65	183	16	47	16	249	122	17	73	135	4,344	-2,718	2	7
66	192	15	53	16	249	138	19	48	135	4,344	-2,936	2	7
67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,27	0,079	2	7
95	204	15	61	16	249	161	16	55	136	4,692	-3,265	2	7
86	107	20	14	17	247	0	58	90	136	3,285	-0,46	4	1
87	117	20	0	19	248	0	32	94	136	3,133	-0,887	4	1
85	106	20	63	16	249	38	91	110	129	4,336	-0,173	4	3
88	251	19	95	17	247	247	37	104	137	6,522	-4,06	2	7
93	163	18	69	17	248	115	67	94	140	5,015	-1,763	2	7
94	189	16	51	16	249	133	23	45	135	4,286	-2,817	2	7
90	189	20	51	16	249	133	25	148	136	5,257	-2,684	2	7
89	159	20	29	16	249	77	28	157	137	4,606	-1,932	2	1
92	165	19	34	19	248	89	29	113	136	4,469	-2,069	2	7
91	171	19	38	16	249	99	29	108	134	4,452	-2,237	2	7
62	209	22	65	16	249	169	12	3	134	4,378	-3,347	2	8
57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,27	0,079	2	1
58	183	23	47	16	249	122	16	83	134	4,487	-2,63	2	7
61	220	23	73	16	249	191	14	8	134	4,735	-3,589	2	1
75	202	26	60	16	249	157	27	3	134	4,356	-2,981	2	8
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,27	0,079	2	7
76	150	27	23	16	249	61	30	15	134	3,195	-1,689	4	7
59	235	25	83	16	249	217	23	28	134	5,352	-3,801	2	7
77	192	26	53	16	249	138	29	56	135	4,594	-2,685	2	7
78	192	25	53	16	249	138	21	37	134	4,352	-2,791	2	7
72	159	26	29	16	248	77	29	56	134	3,754	-1,896	2	1
71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,27	0,079	4	8
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,27	0,079	0	0
69	180	26	44	17	248	115	25	34	135	4,092	-2,435	2	1
68	189	27	51	16	249	133	25	4	134	4,038	-2,677	2	7
70	159	28	29	16	249	77	44	34	138	3,717	-1,74	5	7
74	153	33	75	16	249	108	76	69	137	4,906	-1,295	4	7
73	138	28	14	16	249	38	43	22	136	3,064	-1,249	5	1
79	138	27	14	16	249	38	13	3	136	2,671	-1,589	2	8
45	118	61	106	17	249	89	118	69	141	5,502	0,215	5	3
84	120	37	115	18	250	99	125	58	151	5,489	-0,112	4	3
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,27	0,079	5	1
82	81	45	129	16	248	61	162	37	106	4,916	1,322	7	4
48	47	69	106	13	245	0	163	63	125	4,577	2,367	4	4

47	117	57	0	16	248	0	24	24	135	2,709	-0,573	5	1
15	111	47	9	17	247	0	53	74	132	3,321	-0,231	4	3
16	150	48	23	16	249	61	42	59	135	3,883	-1,27	4	1
81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,27	0,079	7	4
83	127	34	139	19	250	128	141	3	147	5,558	-0,207	4	4
14	134	39	68	29	245	77	80	23	141	4,659	-0,604	5	3
49	206	59	63	16	249	164	40	77	134	5,526	-2,467	5	7
17	114	40	4	16	249	0	50	3	132	2,546	-0,47	2	1
51	177	65	63	16	249	128	57	18	139	4,807	-1,624	5	3
18	71	48	116	15	246	38	157	44	108	4,607	1,546	2	4
5	165	54	34	16	249	89	40	67	134	4,371	-1,565	5	1
10	112	49	6	23	247	0	51	61	134	3,409	-0,198	2	1
19	117	49	0	16	249	0	1	94	135	3,089	-0,876	4	1
11	99	50	27	16	249	0	70	116	130	3,903	0,224	2	1
6	150	57	23	16	249	61	31	81	135	4,087	-1,257	5	1
50	166	70	46	16	249	99	53	3	135	4,248	-1,304	5	2
7	141	53	56	19	245	77	69	6	139	4,138	-0,802	4	8
12	220	53	97	16	249	210	60	121	131	6,692	-2,69	4	7
8	117	53	0	16	249	0	20	46	136	2,846	-0,657	4	1
9	150	54	23	16	249	61	35	87	136	4,146	-1,253	4	7
3	162	55	61	16	249	108	63	3	136	4,358	-1,358	5	7
4	150	59	23	17	247	61	35	31	134	3,713	-1,202	5	1
13	121	70	68	20	243	61	87	87	141	5,079	0,087	7	3
26	151	84	103	24	234	128	97	107	129	6,445	-0,267	5	3
55	91	64	86	23	229	38	117	13	143	4,485	0,959	5	4
56	104	76	128	17	250	89	146	53	138	5,818	0,964	7	4
54	91	65	40	18	240	0	82	8	130	3,292	0,67	5	3
1	133	64	84	17	247	89	92	16	127	4,655	-0,28	5	3
27	164	87	192	29	238	217	165	66	146	8,413	-0,025	7	5
52	179	69	106	21	243	166	85	18	137	5,856	-1,347	5	3
53	101	66	98	39	229	61	122	6	141	5,341	0,973	5	4
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,27	0,079	0	0
25	138	72	14	16	249	38	44	41	135	3,664	-0,66	5	1
24	192	70	53	17	248	138	14	21	135	4,639	-2,288	5	7
28	66	100	124	16	246	38	167	143	167	6,543	2,306	7	6
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,27	0,079	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,27	0,079	0	0
32	143	106	69	21	246	89	77	52	134	5,376	-0,035	7	3
38	97	107	138	17	248	89	159	7	140	5,867	1,593	5	6
23	133	76	96	17	249	99	101	33	137	5,243	-0,084	6	3
64	65	104	152	21	248	61	194	26	134	6,11	2,67	7	6
20	180	90	103	30	240	164	82	4	141	6,205	-1,026	2	5
21	84	103	50	22	243	0	93	81	127	4,571	1,494	7	4
22	128	82	29	16	249	38	58	26	134	3,806	-0,207	5	1
63	79	125	57	16	249	0	101	128	126	5,106	1,9	7	4
29	150	90	23	18	248	61	19	93	135	4,496	-0,928	7	1
31	96	95	106	26	240	61	131	74	121	5,797	1,465	7	4
40	59	123	89	18	242	0	140	82	152	5,362	2,595	7	4
30	132	89	109	19	249	108	113	43	122	5,69	0,281	6	4
39	72	120	115	28	220	38	154	47	114	5,705	2,604	6	4
44	93	140	167	41	210	108	189	61	94	7,635	2,875	7	6
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,27	0,079	6	5
42	32	145	129	16	244	0	195	26	146	5,594	3,908	7	6
43	67	165	150	42	168	61	191	22	98	6,826	3,883	7	6

## 8.11. - Liste des tableaux & figures

### Liste des tableaux

- Tableau 2.1 : Analyse statistique  
Tableau 2.2 : humidité relative  
Tableau 3.1 : Sites de mesure de l'infiltration  
Tableau 3.2 : Proportion des principaux sols du bassin de l'Oued Ségui  
Tableau 3.3 : Coefficient de ruissellement en fonction de la pluviométrie annuelle dans le sud tunisien  
Tableau 4.1 : Matrice des corrélations entre les attributs topographiques issus du DEM  
Tableau 4.2: Eigenvalues of correlation matrix, and related statistics  
Tableau 4.3: Eigenvalues of correlation matrix, and related statistics  
Tableau 4.4 : Matrice de corrélation entre différents attributs topographiques & données pédologiques  
Table 5.1 : Images Landsat Thematic Mapper étudiées  
Table 5.2 : Différents types d'occupation des sols  
Table 5.3 : Occupation des sols (année 1996)  
Table 5.4 : Matrice d'erreur pour la classification de l'occupation des sols à Mareth (1996)  
Table 5.5 : Evolution de l'utilisation de sols (1985 -1996)  
Tableau 5.6 : Surface des sols et végétation spontanées  
Table 5.7 : Fréquence de déviation du test  $\chi^2$  entre la régionalisation et la classification de l'occupation des sols pour région de Mareth  
Table 5.8 : Fréquence de déviation de  $\chi^2$  entre la classification de l'occupation des sols & la lithologie pour la région de Mareth

### Liste de figures

- Figure 2.1 : Situation de la zone d'étude  
Figure 2.2 : Bassin Versant d'Oued. Ségui – Mareth  
Figure 2.3a : Carte climatique de la Tunisie  
Figure 2.3 : Température moyenne mensuelle à Gabès  
Figure 2.4 : Carte des isohyètes de la Tunisie  
Figure 2.5 : Diagramme ombrothermique pour la station de Mareth  
Figure 2.6a : Carte géomorphologique sud tunisien  
Figure 2.6 : Coupe géologique & géomorphologique  
Figure 2.7 : Carte piézométrique de la nappe phréatique de Gabès Sud (1979).  
Figure 2.8 : Photos occupation des sols  
Figure 3.1 : Schéma du mini simulateur de pluie  
Figure 3.2 : Infiltromètre à double anneau  
Figure 3.3 : Simulation front d'humectation  
Figure 3.4 : Courbe typique d'infiltration d'un sol à trois états initiaux  
Figure 3.5a : Mesure de l'infiltration à Toujane  
Figure 3.5b : Mesure de l'infiltration à Znezfa  
Figure 3.5c : Mesure de l'infiltration à Hmila

- Figure 3.5d : Mesure de l'infiltration à Azaïza  
Figure 3.5e : Mesure de l'infiltration à Ségui Mareth  
Figure 3.6 : Coupe schématique montrant la distribution des unités de sols dans le bassin versant de l'oued Ségui  
Figure 3.7 : Carte de sols du bassin versant d'Oued Ségui – Mareth  
Figure 3.8 : Classes et répartition des sols du bassin versant d'Oued Ségui  
Figure 3.9 : Situation du micro-bassin versant de Braouka  
Figure 3.10 : Représentation schématique d'un bassin versant  
Figure 3.11 : Succession des jessours à travers les Talwegs  
Figure 3.12 : Les différentes composantes des Jessours  
Figure. 3.12a : Profil d'une tabia avec son Jisr  
Figure 3.13 : Jisr avec déversoir type Menfes  
Figure 3.14 : Jisr avec déversoir type Masref  
Figure 3.14a : Schéma d'un jisr avec Menfes & Masref  
Figure 3.15 : Jisr entre Toujane & Tounine  
Figure 3.16 : Décantation des particules  
Figure 3.17 : Schéma de réseaux de jessours  
Figure 3.18 : Algorithme de calcul  
Figure 3.19 : Carte de sens et classe de déversement  
Figure 3.20 : Carte des jessours avec leurs impluviums  
Figure 3.21 : Carte des jessours non fonctionnels  
Figure 3.22 : Nombre de jessours débordants  
Figure 3.23 : Débordement du jessr aval  
Figure 3.24 : % de débordement des jessours de la 1ère classe  
Figure 4.1 : Modèle d'élévation digital de Tunisie  
Figure 4.2 : Modèle d'élévation digital du bassin versant de Ségui  
Figure 4.3 : Bassin versant d'Oued. Ségui avec la zone de connexion  
Figure 4.4 : Situation de la zone de connexion entre le bassin versant d'Oued Ségui & le bassin versant d'Oued. Zigzaou. Bassin versant Ségui et Zigzaou  
Figure 4.5 : Carte géologique-lithologique de Oued Ségui  
Figure 4.6 : Régionalisation du bassin versant de Ségui  
Figure 4.7 : Distribution spatiale de quatre attributs topographiques de la région de Mareth  
Figure 4.8 : Distribution spatiale de quatre autres attributs topographiques de la région de Mareth  
Figure 4.9 : Projection des différents variables  
Figure 4.10 : Projection des variables sur le plan factoriel 1x2 totalisant 45,25 %  
Figure 4.11 : Projection des variables sur le plan factoriel 1x3 totalisant 41.39 %  
Figure 4.12 : Projection des variables sur le plan factoriel 2x3 totalisant 26.14 %  
Figure 5.1: Valeurs moyenne de la réflexion, obtenues à partir des images Landsat pour la région de Mareth.  
Figure 5.2 : Occupation de sol du bassin versant de Ségui-Mareth (1996)  
Figure 5.3 : Occupation de sol du bassin versant de Ségui-Mareth (1985)  
Figure 5.4 : Distribution spatiale des aires d'échantillonnage pour valider la classification des usages du sol.  
Figure 5.5 : Evolution de l'utilisation des sols entre 1985 et 1996  
Figure 5.6 : Zone irriguée en 1985 et 1996 dans la région de Mareth  
Figure 5.7 : Plantes pastorales