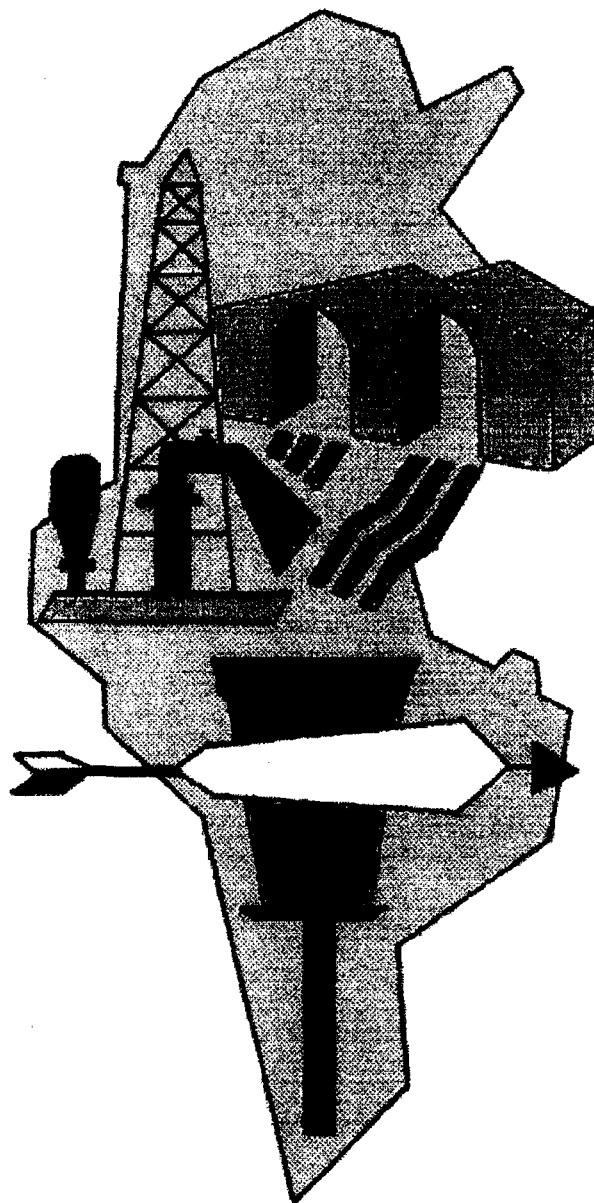


# **RESSOURCES EN EAU DE TUNISIE**

**N° 13**

**1992**



**Publication de la DIRECTION GENERALE DES RESSOURCES EN EAU**

**Ministère de l'Agriculture**

**43, Rue de la Manoubia - Montfleury 1008 Tunis - Tunisie**

**Tel : 490 800 Fax : 391 549**







## **TABLE DES MATIERES**

### **PREFACE :**

#### **- PREMIERE PARTIE : Eaux de Surface.**

##### **1. Homogénéisation et extension des données pluviométriques de la Tunisie du Nord.**

Par *Mme* **Z. BENZARTI** - DGRE Tunis.....9

##### **2. Homogénéisation de données pluviométriques de la Djeffara Nord.**

Par *Mme* **M. AYADI** - CRDA de Zaghuan.....23

#### **- DEUXIEME PARTIE : Eaux Souterraines :**

##### **3. Note sur les potentialités géothermales mobilisables en Tunisie.**

Par *A.* **MAMOU** - DGRE Tunis.....37

##### **4. Mesures à différentes profondeurs de la température et de la salinité de l'eau des nappes phréatiques du gouvernorat de Monastir.**

Par *A.* **MAMOU** - DGRE Tunis & *R.* **AMRI** - CRDA de Monastir.....57

##### **5. Evolution de la température et de la géochimie des eaux des nappes du piémont oriental du Dahar.**

Par *H.* **YAHYAOUI** - CRDA de Tataouine.....69

##### **6. La gestion des ressources en eau Tunisie.**

Par *R.* **KHANFIR** - DGRE Tunis.....87



**7. Impact de l'exploitation et de la recharge sur l'évolution des caractéristiques hydrodynamiques et hydrochimiques du réservoir carbonaté de Zeuss-Koutine.**

Par *R. MANSOURI* - S.O.N.E.D.E.....95

**- TROISIEME PARTIE : Activité de la D.G.R.E.**

**8. Situation de l'exploitation des nappes en Tunisie en 1992.**

Par *A. MAMOU* - D.G.R.E. Tunis.....109

**9. Situation pluviométrique et hydrologique pour l'année agricole 1991-1992**

Par *R. KALLEL* - D.G.R.E. Tunis.....111

**10. Atelier et séminaires :**

- Ateliers géophysiques.....115
- Journée annuelle des ressources en eau.....117
- Journée sur la cartographie des eaux souterraines.....121
- Journées scientifiques à l'échelle régionale :
  - \* Journée sur le réseau piézométrique à Kairouan.....123
  - \* Journée sur la surexploitation des nappes à Mahdia.....125

**11. Analyse bibliographique de la production scientifique à la D.G.R.E**

Par *B. LABIDI* - D.G.R.E. Tunis.....127





## **PREFACE**

Ce 13<sup>ème</sup> numéro de la revue "Ressources en Eau de Tunisie" regroupant une partie de l'activité scientifique de la Direction Generale des Ressources en Eau au cours de l'année 1992, est conçu en trois parties :

**La première partie** : relative a l'eau de surface traduit un souci d'homogénéisation des données pluviométriques et leur extension en Tunisie du Nord et dans le Sud-Est du pays.

**La deuxième partie** : consacrée au eaux souterraines traduit :

- **une préoccupation d'évaluation des ressources exploitables** à travers les trois communications relatives à "la gestion des ressources en eau en Tunisie" aux potentialités géothermales mobilisables en Tunisie" et l'impact de l'exploitation et de la recharge sur l'évolution des caractéristiques hydrodynamiques du reservoir carbonaté de Zeuss-Koutine.

- **une préoccupation de précision du fonctionnement hydrodynamique** des nappes aquifères à travers la mesure de la température de leurs eaux et de leur salinité à différentes profondeurs.

- **La troisième partie** : résumant l'activité 1992 menée à la DGRE à travers :

- le suivi de l'exploitation des nappes.
- le suivi de la pluviométrie et des apports des oueds aux barrages.
- les ateliers et séminaires organisés par la DGRE à Tunis et dans les CRDA,
- l'analyse de la production scientifique de la DGRE.

Avec cette nouvelle structuration de la revue "Ressources en Eau de Tunisie" la DGRE vise d'assurer une ouverture plus large de son activité sur les autres structures administratives et de recherche. Elle fait des communications publiées annuellement dans chaque numéro de sa revue, un moyen de suivi et d'évaluation de son activité.



***PREMIERE PARTIE***

***EAUX DE SURFACE***



## **HOMOGENEISATION ET EXTENSION DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES DE LA TUNISIE DU NORD**

Mme BENZARTI Zeineb

### **RESUME**

La méthode d'homogénéisation des données (VECREG ou MVR) a été utilisée comme méthode de critique des pluies annuelles de la Tunisie du Nord et a permis de contrôler et de vérifier l'état du réseau et des fichiers pluviométriques. Ce travail fastidieux de préparation des données a abouti à la constitution, à partir d'un fichier en l'état, d'un fichier étendu composé de valeurs observées vérifiées et contrôlées, de valeurs corrigées et de valeurs reconstituées. Ces 2 fichiers ont été traités et analysés statistiquement alors que la représentation graphique du vecteur a permis de suivre l'évolution de la pluviosité sur la période étudiée.

### **OBJECTIF DE L'ETUDE :**

La Tunisie dispose d'une banque de données pluviométriques relatives à un réseau de mesures composé de 1730 postes pluviométriques répartis sur tout le territoire et ayant fonctionné à des dates et sur des périodes différentes. Le premier poste pluviométrique installé connu en Tunisie date de 1873 et la série pluviométrique la plus longue compte 119 années d'observations complètes. Par ailleurs, la majorité de ces postes ( 60% ) sont localisées dans la Tunisie du Nord. Au cours de leur existence, la plupart des postes ont subi des modifications diverses telles que des changements d'appareillage, de sites, d'environnement, d'observateurs... C'est pour cela qu'il a fallu entreprendre une critique et une recherche d'homogénéité des valeurs observées ce qui consiste à détecter les erreurs systématiques ou accidentelles de mesure, contrôler la qualité des données puis combler les lacunes et étendre les séries d'observations.

L'Homogénéisation et l'Extension des données pluviométriques de la Tunisie du Nord s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche intitulé, " AMELIORATION DES METHODES D'EVALUATION DES CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES DU NORD DE LA TUNISIE " mené conjointement par la Direction Générale des Ressources en Eau et l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le développement en Coopération (O.R.S.T.O.M)

L'objectif de ce travail est la critique de l'information pluviométrique et l'élaboration à partir du "fichier pluviométrique *en l'état*" disponible à la D.G.R.E. d'un "fichier *opérationnel*" constitué, de données pluviométriques annuelles homogènes et complètes sur une longue série d'années communes afin de:

- \* disposer d'une banque de données pluviométriques homogènes, plus complète et plus fiable,
- \* calculer les paramètres statistiques de la pluie annuelle sur de longues séries de données
- \* tracer une carte des isohyètes.
- \* utiliser les données pour des simulations hydrologiques.

### ***LA METHODE UTILISEE :***

La méthode d'homogénéisation utilisée, basée sur le principe de pseudo-proportionnalité, des totaux pluviométriques entre postes voisins est celle du "Vecteur Régional" qui n'est autre que celle des doubles cumuls "double mass" à la différence que les séries pluviométriques des stations d'un secteur homogène sont comparées à une seule série chronologique d'indice pluviométrique annuel moyen ou modal (le plus probable) appelé "Vecteur Régional" et formé à partir de l'ensemble des observations de toutes les stations pluviométriques du secteur.

Des programmes de traitement automatique des données annuelles ont été mis au point à l'O.R.S.T.O.M. sur ordinateur puis sur micro-ordinateur VECREG (basé sur l'espérance mathématique) et M.V.R. (basé sur le mode). Les données traitées par le vecteur doivent obéir à certaines conditions:

- \* Une année n'est retenue que si l'on dispose d'un minimum de trois stations.
- \* Une station n'est traitée que si elle compte un nombre d'années observées supérieur ou égal au quart de la période d'homogénéisation considérée. Cette condition n'est pas nécessaire pour le MVR.

### ***PREPARATION DES DONNEES :***

Plusieurs phases de préparation des données doivent donc précéder les traitements informatiques :

1) Un inventaire exhaustif de toutes les données relatives à la pluviométrie depuis la création du premier réseau pluviométrique tunisien (réseau de stations, coordonnées, type d'appareillage, date de mise en service, date de fermeture, observations pluviométriques...)

2) Délimitation de 17 secteurs homogènes (Fig n°1) couvrant la Tunisie du Nord. Limitée au nord et à l'est par la Mer Méditerranée, à l'ouest par la frontière Tuniso-algérienne et au sud par la Dorsale tunisienne, le Nord de la Tunisie comprend les bassins hydrologiques de l'extrême-Nord et de l'Ichkeul, de la Mejerdah, du Miliane et du Cap Bon. Le découpage a été fait sur des critères physiques (hydrologiques, orographiques...)

3) Positionnement sur cartes topographiques au 1/25000ème, au 1/50000ème ou au 1/200000ème des postes pluviométriques. Cette opération nous permet déjà de contrôler les coordonnées du poste, son affectation au secteur étudié et même une vérification de son numéro mécanographique.

4) Collationnement, vérification, contrôle, correction et complément des données pluviométriques journalières saisies sur support informatique à partir de bulletins pluviométriques originaux, de fiches, de documents édités, d'archives de l'Institut National de la Météorologie, de correspondances classées dans les archives avec critique et commentaires sur l'origine, la valeur et la qualité, des données.

5) Etablissement de fiches-historiques pour chaque poste avec indication des noms et de la qualité, de tous les observateurs qui se sont succédés à ce poste, des éventuels déplacements de station, des modifications d'environnement, des remplacements de matériel détérioré ou perdu, des interruptions dans les observations...

6) Visite des stations pluviométriques fonctionnelles et non fonctionnelles et vérification de coordonnées avec enquête sur les éventuels déplacements de matériel, changements d'observateurs ou d'appareillage (concordance entre pluviomètre et éprouvette), état des appareils (pluviomètres percés, éprouvette cassée, support...), changements d'environnement (nouvelles constructions, nouvelles plantations...), emplacements (abrité, sur le toit, sur un mur...)

Ainsi, les deux tiers des postes pluviométriques du Nord de la Tunisie ont pu être visités et contrôlés ( 569 postes ) Ceci correspond à environ une centaine de jours de tournées pluviométriques sur tout le Nord du pays de la frontière Tuniso-algérienne (Sakiet Sidi Youssef, Haidra, El Feija ou Ghardimaou...) à la pointe du Cap Bon (Kélibia, Dar Chichou ou El Haouaria) de régions montagneuses et inaccessibles (Bessouagui, Dar Fatma, Ain Saida, Ain Taga Kef Chegaga, Jebel Bou Lahnech, Ain Boussaadia...) à des régions plates ou côtières (Tunis, Ariana, Sidi Thabet, Tabarka, Bizerte, Hammamet, Nabeul...)

7) Etablissement d'un cahier de "voisinage" qui groupe, pour chaque année, toutes les données pluviométriques mensuelles et annuelles de tous les postes du secteur classés par ordre géographique afin de détecter et corriger les valeurs aberrantes et de compléter dans la mesure du possible les valeurs manquantes.

### ***TRAITEMENT DES DONNEES :***

A la suite de cette préparation fastidieuse et pénible des données se fait la saisie sur micro-ordinateur des totaux pluviométriques annuels et la constitution de fichiers de travail. C'est alors qu'on procède à des passages successifs du programme "VECREG" avec exploitation des fichiers-résultats, traces des courbes de doubles-cumuls, calcul des coefficients de correction de pente jusqu'à l'obtention du vecteur final du secteur. Celui-ci est retenu quand les coefficients de corrélation sont assez satisfaisants, le nombre d'itérations réduit...C'est ainsi que certaines stations ont été éliminées ( 66% du nombre total des postes, V. Fig n°2 ) et que certaines années n'ont pas été retenues ( Tab. n°1). La fin de ces traitements se traduit par la constitution de deux fichiers:

**Le Fichier Vérifié Corrigé, Complété.** compose de données observées vérifiées, corrigées et complétées avec élimination des données aberrantes, des séries trop courtes et des années pour lesquelles on ne dispose pas de 3 stations au minimum.

**Le Fichier Etendu** compose

- des valeurs du fichier précédent auxquelles ont été apportées des modifications pour en faire des séries homogènes
- pour les années manquantes, de valeurs reconstituées obtenues à partir des valeurs moyennes et de la composante du Vecteur régional.

L'extension des données nous a permis de passer, pour toute la Tunisie du Nord, d'un fichier de 8452 années-stations à un fichier de 18292 années-stations avec des séries complètes et homogènes sur une longue et même période pour toutes les stations de chaque secteur.

Par la suite, une analyse statistique des données des deux fichiers est élaborée à l'aide du logiciel Dixlois et les fichiers-résultats sont exploités pour le choix des lois, des paramètres statistiques et la représentation graphique.

À la fin de chaque étude, on procède au calcul de l'indice de pluviosité, soit le cumul chronologique des écarts des indices annuels (vecteur régional  $Z_i$ ) à la moyenne. Cet indice permet de décomposer la série en séquences croissantes et séquences décroissantes et de détecter la persistance d'années sèches ou humides et d'éventuelles tendances dans la répartition des pluies annuelles.

### **RESULTATS OBTENUS :**

Au terme de ce programme de recherche, la DGRE dispose, pour chaque secteur de la Tunisie du Nord (Tab. n°2):

1- d'un inventaire de tous les postes pluviométriques avec leurs coordonnées, leur date d'ouverture, éventuellement leur date de fermeture et le nombre d'années de mesures depuis la date de création du poste jusqu'à l'année 1983-84. Il a été remarqué, au cours de cette première étape, que

- les postes d'altitude sont en faible proportion et ne couvrent pas les points culminants
- le fonctionnement des postes est très fortement lié aux événements politiques: extension des domaines coloniaux, guerre mondiale, lutte pour l'indépendance, nationalisation des domaines coloniaux, institutions de Cooperatives agricoles...

- la densité du réseau est très inégale selon les régions : certaines régions sont vides alors que dans certaines régions des postes sont doublés (Jendouba, Tabarka, Sidi Thabet, Mejez El Bab...)



2- d'un vecteur régional des indices annuels de Precipitation (V. Tab n°3) qui traduit l'indice de pluviosité régionale de chaque année. La longueur de ce vecteur varie entre 34 et 80 années selon les secteurs.

3- d'un fichier pluviométrique vérifié, corrigé, complété composé de 12727 années-stations relatif à 877 stations pluviométriques

4- d'un fichier pluviométrique opérationnel ou étendu composé de 18292 totaux pluviométriques annuels (valeurs observées, corrigées et étendues) pour 286 stations (soit une moyenne de 64 années par station) accompagnée d'une liste des modifications apportées au fichier vérifié, corrigé complété...

5- d'une carte au 1/200000ème d'emplacement des postes du secteur.

6- des fiches signalétiques de toutes les stations. Ces fiches contiennent les différentes coordonnées de chaque pluviomètre, l'historique du poste, le type de matériel utilisé, les noms des observateurs et les dates de leur intervention, un extrait de carte au 1/25000ème ou au 1/50000ème (parfois un croquis) sur lequel figure l'emplacement exact du poste.

7- d'une étude et une représentation graphique de l'évolution de la pluviosité, sur la période retenue avec définition des séquences sèches et des séquences humides.

et pour chaque poste retenu par le vecteur:

1- d'un tableau des paramètres statistiques des séries observées et des séries étendues (moyenne, écart-type, coefficient de variation, coefficient de corrélation) le nombre d'années dans chaque série, et la différence (en %) entre moyenne étendue et moyenne observée. Les séries observées pouvant correspondre à des séquences sèches ou des séquences humides, leurs paramètres statistiques peuvent être très différents de ceux des séries étendues.

2- des résultats des ajustements statistiques des pluies annuelles (loi retenue, fréquence au dépassement, médiane, valeurs de récurrence 5 ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100 ans en périodes sèches et humides, coefficient d'irrégularité  $k_3$ )

3- d'une représentation graphique de l'ajustement statistique des deux séries observées et étendues

Nous donnons en exemple de ces traitements les résultats obtenus pour le secteur de Tunis-Sidi Thabet (Tab. N° 4 et 5 et Fig. N° 3 et 4).

**CONCLUSION :**

Le programme d'Homogénéisation et d'Extension des données pluviométriques de la Tunisie du Nord a permis d'améliorer le contenu des fichiers pluviométriques de la DGRE en quantité, et en qualité de mettre à jour la saisie sur support informatique de toutes les données pluviométriques à partir des archives qu'il a fallu trier et classer. Les enseignements que nous pouvons tirer de cette action peuvent nous orienter dans la programmation d'activités futures telles qu'une étude d'optimisation de réseau, un micro-fichage des archives ou un tracé de la carte des isohyètes objectif immédiat de cette opération d'homogénéisation et d'extension des données pluviométriques.

**BIBLIOGRAPHIE**

**HIEZ (G)** - 1977 - "L'homogénéité des séries pluviométriques Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, Vol.XIV, n°2, pp 129-172

**BRUNET-MORET (Y)**- 1979-"Homogénéisation des précipitations" Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, Vol.XIV, n°3-4, pp. 147-170

**BRUNET-MORET (Y)** - "Recherche d'un test d'ajustement" Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, Vol.XV, n°3, pp. 261-280

**L'HOTE (Y)** - 1982 - Les ressources en eau de la Guadeloupe. Chapitre II-III, (Pluviométrie), ORSTOM.

**LAFFORGUE (A), MAMI (E)** - 1983 - Homogénéisation et extension des données pluviométriques du Centre de la Tunisie. DRE, multig., 61 p., Tunis.

**CAMUS (H), ABIDI (B)** - 1986 - Homogénéisation et extension des données pluviométriques de la Tunisie du Nord. 2-secteur de BIZERTE - DRE/ORSTOM, multig., 67 p., Tunis.

**CAMUS (H), ABIDI (B)** - 1986 - Homogénéisation et extension des données pluviométriques de la Tunisie du Nord. 1-secteur de RAS JEBEL - DRE/ORSTOM, multig., 40 p., Tunis.

**CAMUS (H), BENZARTI (Z), L'HOTE (Y)** - 1986 - Homogénéisation et extension des données pluviométriques de la Tunisie du Nord. 4-secteur de TABARKA - DRE/ORSTOM, multig., 68 p., Tunis.

**BENZARTI (Z), CAMUS (H)** - 1986 - Homogénéisation et extension des données pluviométriques de la Tunisie du Nord. 6-secteur de MATEUR - DRE/ORSTOM, multig., 65 p., Tunis.

**CAMUS (H), ABIDI (B)** - 1987 - Homogénéisation et extension des données pluviométriques de la Tunisie du Nord. 5-secteur de SEJNANE - DRE/ORSTOM, multig., 76 p., Tunis.

**CAMUS (H), BENZARTI (Z), ABIDI (B)** - 1987 - Homogénéisation et extension des données pluviométriques de la Tunisie du Nord. 8-secteur de BEJA - DGRE/ORSTOM, multig., 104 p., Tunis.

**BENZARTI (Z), CAMUS (H), BOUGHRARA (L), ABIDI (B)** - 1987 - Homogénéisation et extension des données pluviométriques de la Tunisie du Nord. 7-secteur de MEJEZ EL BAB - DGRE/ORSTOM, multig., 94 p., Tunis.

**COCHONNEAU (G), HIEZ (G), SECHET (P)** - 1988 - "MVR - Automatisation d'un modèle d'information pluviométrique régionale". In SEMINFOR 2, pp. 133-143, ORSTOM Paris.

**CAMUS (H), ABIDI (B)** - 1988 - Homogénéisation et extension des données pluviométriques de la Tunisie du Nord. 3-secteur de SIDI THABET, 16 - secteur de TUNIS - DGRE/ORSTOM, multig., 169 p., Tunis.

**CAMUS (H), ABIDI (B)** - 1989 - Homogénéisation et extension des données pluviométriques de la Tunisie du Nord. 18-secteur de PONT DU FAHS - DGRE/ORSTOM, multig., 110 p., Tunis.

**CAMUS (H), ABIDI (B)** - 1989 - Homogénéisation et extension des données pluviométriques de la Tunisie du Nord. 15-secteur de GROMBALIA - DGRE/ORSTOM, multig., 110 p., - Tunis.

**BENZARTI (Z), BOUGHRARA (L), CAMUS (H)** - 1989 - Homogénéisation et extension des données pluviométriques de la Tunisie du Nord. 10-secteur de JENDOUBA - DGRE/ORSTOM, multig., 110 p., Tunis.

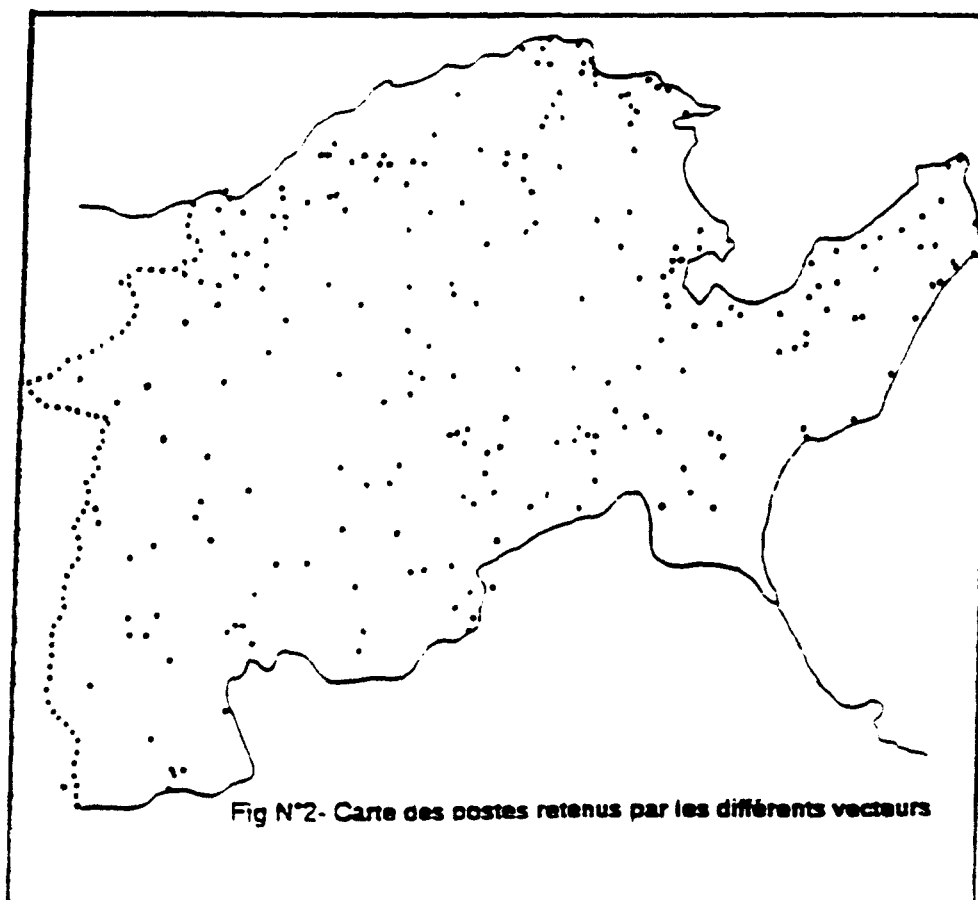
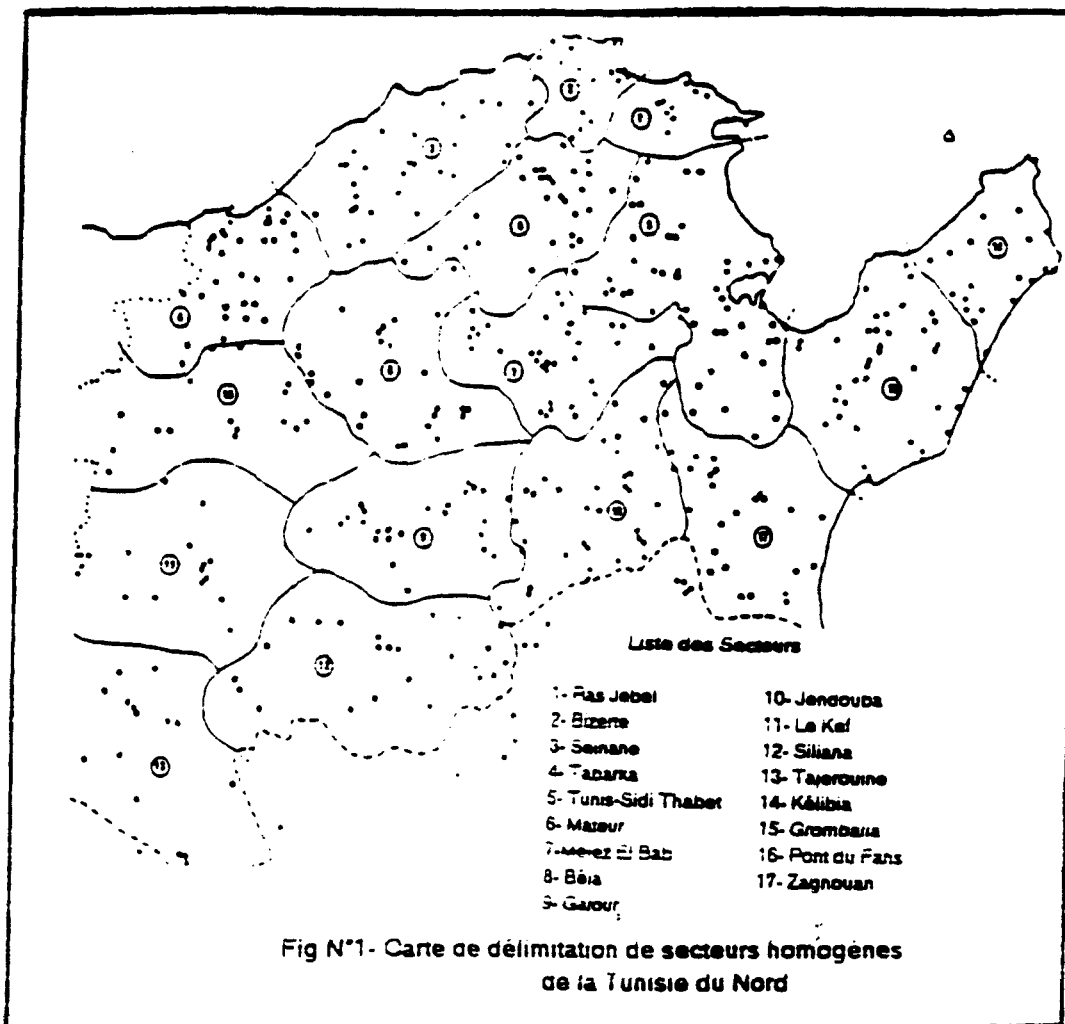
**BENZARTI (Z), BOUGHRARA (L)** - 1990 - Homogénéisation et extension des données pluviométriques de la Tunisie du Nord. 11-secteur du KEF - DRE/ORSTOM, multig., 103 p., Tunis.

**BENZARTI (Z), BOUGHRARA (L)** - 1991 - Homogénéisation et extension des données pluviométriques de la Tunisie du Nord. 12 - secteur de SILIANA - DGRE/ORSTOM, multig., 94 p., Tunis.

**BENZARTI (Z), BOUGHRARA (L)** - 1991 - Homogénéisation et extension des données pluviométriques de la Tunisie du Nord 13-secteur de TAJEROUINE - DGRE/ORSTOM, multig., 112 p., Tunis.

**CAMUS (H), ABIDI (B)** - 1992 - Homogénéisation et extension des données pluviométriques de la Tunisie du Nord. 17-secteur de ZAGHOUAN - DGRE/ORSTOM, multig., 110 p., Montpellier - Tunis.

**CAMUS (H), L'HOTE (Y), ABIDI (B)** - 1993 - Homogénéisation et extension des données pluviométriques de la Tunisie du Nord. 14-secteur de KELIBIA. 1ère utilisation de MVR, méthode du vecteur régional (HIEZ) - DGRE/ORSTOM, multig., 110 p., Montpellier - Tunis.



**Tableau n°1- INVENTAIRE DES ANNEES RETENUES PAR LE VECTEUR REGIONAL  
POUR LES DIFFERENTS SECTEURS DE LA TUNISIE DU NORD**

ANNÉES	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069	2070	2071	2072	2073	2074	2075	2076	2077	2078	2079	2080	2081	2082	2083	2084	2085	2086	2087	2088	2089	2090	2091	2092	2093	2094	2095	2096	2097	2098	2099	2100	2101	2102	2103	2104	2105	2106	2107	2108	2109	2110	2111	2112	2113	2114	2115	2116	2117	2118	2119	2120	2121	2122	2123	2124	2125	2126	2127	2128	2129	2130	2131	2132	2133	2134	2135	2136	2137	2138	2139	2140	2141	2142	2143	2144	2145	2146	2147	2148	2149	2150	2151	2152	2153	2154	2155	2156	2157	2158	2159	2160	2161	2162	2163	2164	2165	2166	2167	2168	2169	2170	2171	2172	2173	2174	2175	2176	2177	2178	2179	2180	2181	2182	2183	2184	2185	2186	2187	2188	2189	2190	2191	2192	2193	2194	2195	2196	2197	2198	2199	2200	2201	2202	2203	2204	2205	2206	2207	2208	2209	2210	2211	2212	2213	2214	2215	2216	2217	2218	2219	2220	2221	2222	2223	2224	2225	2226	2227	2228	2229	2230	2231	2232	2233	2234	2235	2236	2237	2238	2239	2240	2241	2242	2243	2244	2245	2246	2247	2248	2249	2250	2251	2252	2253	2254	2255	2256	2257	2258	2259	2260	2261	2262	2263	2264	2265	2266	2267	2268	2269	2270	2271	2272	2273	2274	2275	2276	2277	2278	2279	2280	2281	2282	2283	2284	2285	2286	2287	2288	2289	2290	2291	2292	2293	2294	2295	2296	2297	2298	2299	2300	2301	2302	2303	2304	2305	2306	2307	2308	2309	2310	2311	2312	2313	2314	2315	2316	2317	2318	2319	2320	2321	2322	2323	2324	2325	2326	2327	2328	2329	2330	2331	2332	2333	2334	2335	2336	2337	2338	2339	2340	2341	2342	2343	2344	2345	2346	2347	2348	2349	2350	2351	2352	2353	2354	2355	2356	2357	2358	2359	2360	2361	2362	2363	2364	2365	2366	2367	2368	2369	2370	2371	2372	2373	2374	2375	2376	2377	2378	2379	2380	2381	2382	2383	2384	2385	2386	2387	2388	2389	2390	2391	2392	2393	2394	2395	2396	2397	2398	2399	2400	2401	2402	2403	2404	2405	2406	2407	2408	2409	2410	2411	2412	2413	2414	2415	2416	2417	2418	2419	2420	2421	2422	2423	2424	2425	2426	2427	2428	2429	2430	2431	2432	2433	2434	2435	2436	2437	2438	2439	2440	2441	2442	2443	2444	2445	2446	2447	2448	2449	2450	2451	2452	2453	2454	2455	2456	2457	2458	2459	2460	2461	2462	2463	2464	2465	2466	2467	2468	2469	2470	2471	2472	2473	2474	2475	2476	2477	2478	2479	2480	2481	2482	2483	2484	2485	2486	2487	2488	2489	2490	2491	2492	2493	2494	2495	2496	2497	2498	2499	2500	2501	2502	2503	2504	2505	2506	2507	2508	2509	2510	2511	2512	2513	2514	2515	2516	2517	2518	2519	2520	2521	2522	2523	2524	2525	2526	2527	2528	2529	2530	2531	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573	2574	2575	2576	2577	2578	2579	2580	2581	2582	2583	2584	2585	2586	2587	2588	2589	2590	2591	2592	2593	2594	2595	2596	2597	2598	2599	2600	2601	2602	2603	2604	2605	2606	2607	2608	2609	2610	2611	2612	2613	2614	2615	2616	2617	2618	2619	2620	2621	2622	2623	2624	2625	2626	2627	2628	2629	2630	2631	2632	2633	2634	2635	2636	2637	2638	2639	2640	2641	2642	2643	2644	2645	2646	2647	2648	2649	2650	2651	2652	2653	2654	2655	2656	2657	2658	2659	2660	2661	2662	2663	2664	2665	2666	2667	2668	2669	2670	2671	2672	2673	2674	2675	2676	2677	2678	2679	2680	2681	2682	2683	2684	2685	2686	2687	2688	2689	2690	2691	2692	2693	2694	2695	2696	2697	2698	2699	2700	2701	2702	2703	2704	2705	2706	2707	2708	2709	2710	2711	2712	2713	2714	2715	2716	2717	2718	2719	2720	2721	2722	2723	2724	2725	2726	2727	2728	2729	2730	2731	2732	2733	2734	2735	2736	2737	2738	2739	2740	2741	2742	2743	2744	2745	2746	2747	2748	2749	2750	2751	2752	2753	2754	2755	2756	2757	2758	2759	2760	2761	2762	2763	2764	2765	2766	2767	2768	2769	2770	2771	2772	2773	2774	2775	2776	2777	2778	2779	2780	2781	2782	2783	2784	2785	2786	2787	2788	2789	2790	2791	2792	2793	2794	2795	2796	2797	2798	2799	2800	2801	2802	2803	2804	2805	2806	2807	2808	2809	2810	2811	2812	2813	2814	2815	2816	2817	2818	2819	2820	2821	2822	2823	2824	2825	2826	2827	2828	2829	2830	2831	2832	2833	2834	2835	2836	2837	2838	2839	2840	2841	2842	2843	2844	2845	2846	2847	2848	2849	2850	2851	2852	2853	2854	2855	2856	2857	2858	2859	2860	2861	2862	2863	2864	2865	2866	2867	2868	2869	2870	2871	2872	2873	2874	2875	2876	2877	2878	2879	2880	2881	2882	2883	2884	2885	2886	2887	2888	2889	2890	2891	2892	2893	2894	2895	2896	2897	2898	2899	2900	2901	2902	2903	2904	2905	2906	2907	2908	2909	2910	2911	2912	2913	2914	2915	2916	2917	2918	2919	2920	2921	2922	2923	2924	2925	2926	2927	2928	2929	2930	2931	2932	2933	2934	2935	2936	2937	2938	2939	2940	2941	2942	2943	2944	2945	2946	2947	2948	2949	2950	2951	2952	2953	2954	2955	2956	2957	2958	2959	2960	2961	2962	2963	2964	2965	2966	2967	2968	2969	2970	2971	2972	2973	2974	2975	2976	2977	2978	2979	2980	2981	2982	2983	2984	2985	2986	2987	2988	2989	2990	2991	2992	2993	2994	2995	2996	2997	2998	2999	3000	3001	3002	3003	3004	3005	3006	3007	3008	3009	3010	3011	3012	3013	3014	3015	3016	3017	3018	3019	3020	3021	3022	3023	3024	3025	3026	3027	3028	3029	3030	3031	3032	3033	3034	3035	3036	3037	3038	3039	3040	3041	3042	3043	3044	3045	3046	3047	3048	3049	3050	3051	3052	3053	3054	3055	3056	3057	3058	3059	3060	3061	3062	3063	3064	3065	3066	3067	3068	3069	3070	3071	3072	3073	3074	3075	3076	3077	3078	3079	3080	3081	3082	3083	3084	3085	3086	3087	3088	3089	3090	3091	3092	3093	3094	3095	3096	3097	3098	3099	3100	3101	3102	3103	3104	3105	3106	3107	3108	3109	3110	3111	3112	3113	3114	3115	3116	3117	3118	3119	3120	3121	3122	3123	3124	3125	3126	3127	3128	3129	3130	3131	3132	3133	3134	3135	3136	3137	3138	3139	3140	3141	3142	3143	3144	3145	3146	3147	3148	3149	3150	3151	3152	3153	3154	3155	3156	3157	3158	3159	3160	3161	3162	3163	3164	3165	3166	3167	3168	3169	3170	3171	3172	3173	3174	3175	3176	3177	3178	3179	3180	3181	3182	3183	3184	3185	3186	3187	3188	3189	3190	3191	3192	3193	3194	3195	3196	3197	3198	3199	3200	3201	3202	3203	3204	3205	3206	3207	3208	3209	3210	3211	3212	3213	3214	3215	3216	3217	3218	3219	3220	3221	3222	3223	3224	3225	3226	3227	3228	3229	3230	3231	3232	3233	3234	3235	3236	3237	3238	3239	3240	3241	3242	3243	3244	3245	3246	3247	3248	3249	3250	3251	3252	3253	3254	3255	3256	3257	3258	3259	3260	3261	3262	3263	3264	3265	3266	3267	3268	3269	3270	3271	3272	3273	3274	3275	3276	3277	3278	3279	3280	3281	3282	3283	3284	3285	3286	3287	3288	3289	3290	3291	3292	3293	3294	3295	3296	3297	3
--------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	---

[illegible]

Tableau n°4- MOYENNES INTERANNUELLES ETENDUES SUR UNE PERIODE DE 80 ANS  
SECTEUR DE TUNIS-SIDI THABET

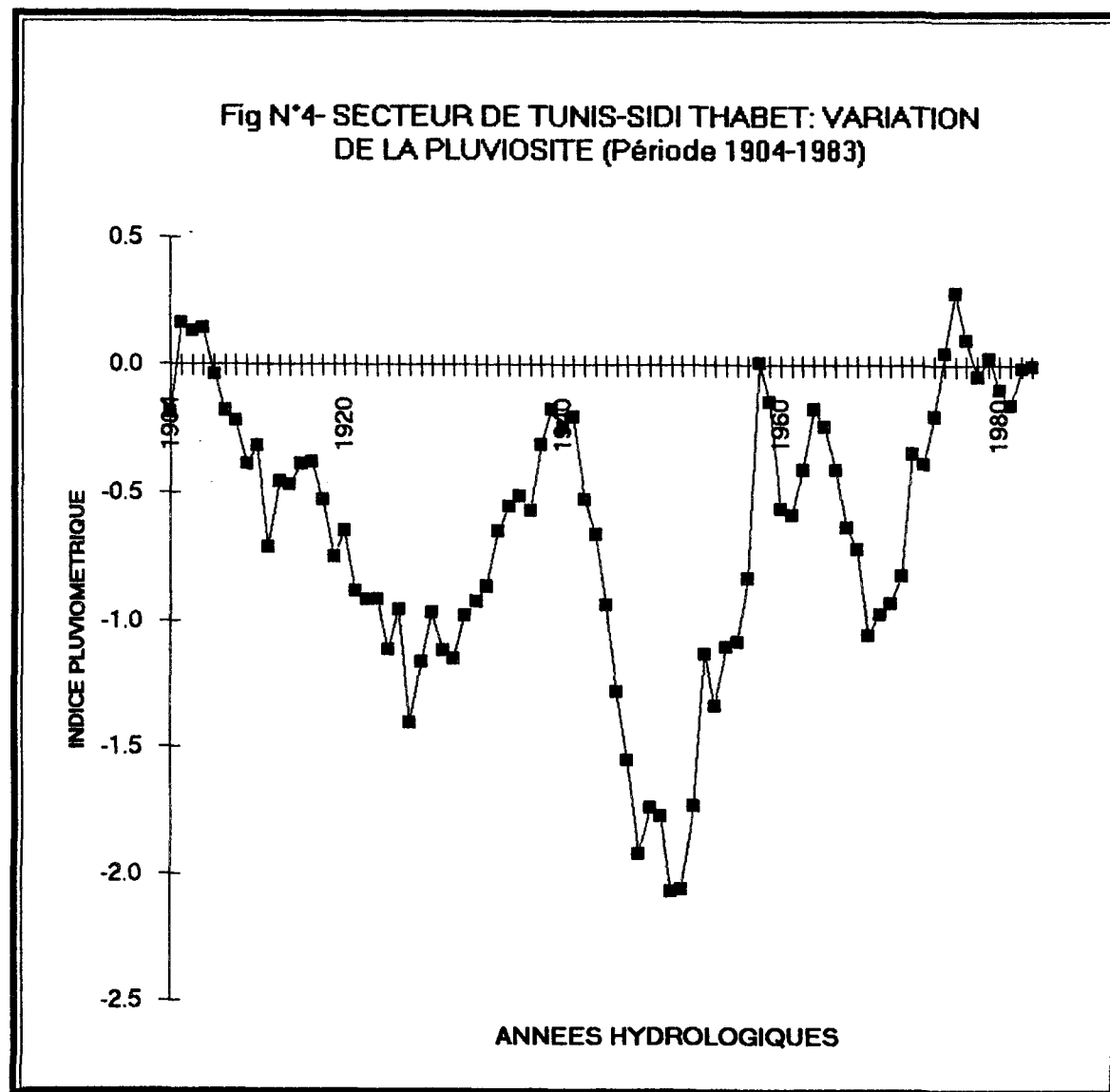
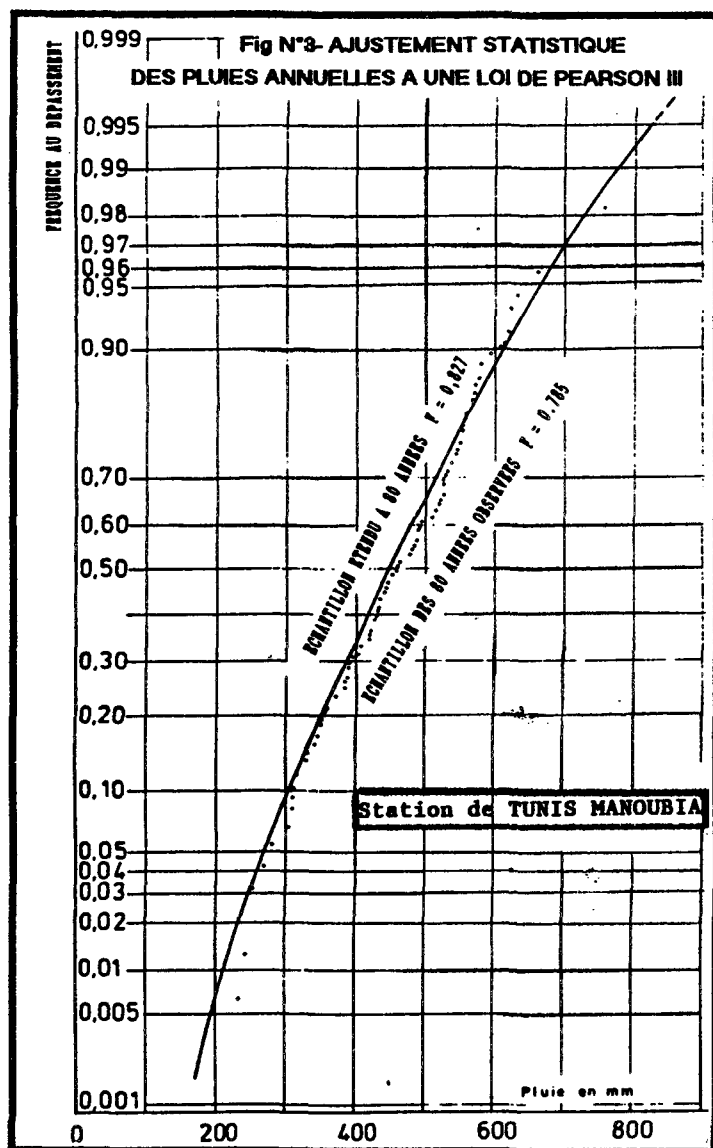
N° de code	Identification	D'après la période retenue dans le fichier vérifié, corrigé, complété				Extension sur une période de 80 années ( 1904 - 1983 )					Différence entre Moy. étendue et Moy. V.C.C. en %
		Nombre d'années	Pluie Moyenne	Ecart-Type	Coef. Var.	Nombre d'années	Pluie Moyenne	Ecart-Type	Coef. Var.	Coef. Corr. Z.	
40758	Bardo Jardins	23	480	126	0.263	80	472	111	0.235	0.969	-1.7%
41058	Borj Chékir	68	430	122	0.284	80	445	117	0.263	0.960	3.5%
41775	Créteville	71	469	135	0.288	80	502	126	0.251	0.928	7.0%
42717	Fouchana	40	400	114	0.285	80	394	97	0.246	0.947	-1.5%
43727	Khédia Pompage	24	460	137	0.298	80	426	122	0.286	0.977	-7.4%
43927	Ariana Laboratoire	24	431	114	0.265	80	412	95	0.231	0.927	-4.4%
44339	Mégrine Coteaux	30	472	151	0.320	80	456	112	0.246	0.958	-3.4%
44595	Mira 1	33	423	106	0.251	80	420	99	0.236	0.945	-0.7%
44870	Oudhna Gare	23	390	120	0.308	80	413	104	0.252	0.944	5.9%
46274	Sidi Bou Saïd**	30	407	107	0.263	80	406	98	0.241	0.925	-0.2%
47050	La Soukra 1	36	435	121	0.278	80	428	101	0.236	0.954	-1.6%
47832	Carthage Aéroport	33	487	116	0.238	80	469	107	0.228	0.939	-3.7%
47834	Usine Elevatoire	36	439	143	0.326	80	448	107	0.239	0.946	2.1%
47836	Tunis Manoubia	80	450	118	0.262	80	463	118	0.255	0.960	2.9%
51558	Chaoual 1	37	471	120	0.255	80	462	104	0.225	0.942	-1.9%
53040	Halsia	40	420	118	0.281	80	423	88	0.208	0.942	0.7%
54028	Mabrouha St Victor	26	464	102	0.220	80	485	113	0.233	0.915	4.5%
55482	Saïda **	28	414	87	0.210	80	436	98	0.225	0.949	5.3%
55836	Sidi Othman	21	508	117	0.230	80	481	114	0.237	0.924	-5.3%
55670	Sidi Thabet **	57	451	106	0.235	80	436	96	0.220	0.928	-3.3%
57966	Utique S.M.	21	471	104	0.221	80	481	109	0.227	0.920	2.1%
43692	Khaznadar *	32	437	101	0.231	80	446	100	0.224	0.949	2.1%

Tableau n°5- AJUSTEMENT STATISTIQUE DES PLUIES ANNUELLES  
SECTEUR DE TUNIS-SIDI THABET

(1ère ligne: Fichier V.C.C. - 2ème Ligne: Fichier étendu )

N° de code	Identification	Nombre d'années	Loi retenue	Prob. F de Test	ANNÉES SÈCHES					Médiane	ANNÉES HUMIDES					K3
					100	50	20	10	5		5	10	20	50	100	
40758	Bardo Jardins	23	GALTON	0.484	235	257	291	326	370	467	584	653	716	793	848	2.00
41058	Borj Chékir	68	GALTON	0.350	257	277	308	338	377	462	562	620	673	736	781	1.83
41775	Créteville	71	GALTON	0.787	234	248	271	295	328	409	519	591	661	751	819	2.00
42717	Fouchana	40	GALTON	0.646	240	257	284	311	347	430	534	599	658	732	787	1.93
43727	Khédia Pompage	24	GAUSS	0.198	158	194	249	297	356	469	581	640	689	743	780	2.15
43927	Ariana Laboratoire	24	GALTON	0.814	272	292	324	355	397	488	600	667	728	802	856	1.88
44339	Mégrine Coteaux	30	GALTON	0.455	189	207	237	265	303	388	489	550	605	672	720	2.08
44595	Mira 1	33	GALTON	0.578	210	227	252	279	312	385	470	521	566	620	659	1.87
44870	Oudhna Gare	23	GALTON	0.938	220	239	270	302	344	441	565	643	715	806	874	2.13
46274	Sidi Bou Saïd**	30	GALTON	-	239	257	285	313	349	427	518	572	620	678	719	1.93
47050	La Soukra 1	36	GALTON	0.690	235	250	276	302	336	416	517	580	639	714	767	1.92
47832	Carthage Aéroport	33	GALTON	0.397	229	246	273	298	332	403	487	536	579	632	670	1.80
47834	Usine Elevatoire	36	GALTON	0.257	209	230	264	299	345	451	566	670	748	846	918	2.24
47836	Tunis Manoubia	80	GALTON	0.263	241	260	291	321	360	445	545	605	658	722	768	1.88
51558	Chaoual 1	37	GALTON	0.062	218	237	267	294	332	413	509	566	617	679	723	1.93
53040	Halsia	40	GALTON	0.809	230	248	275	302	336	411	498	550	596	651	691	1.82
54028	Mabrouha St Victor	26	GAUSS	0.277	116	149	196	239	290	390	488	540	583	631	663	2.26
55482	Saïda **	28	GALTON	0.795	215	233	262	289	325	403	495	549	598	658	700	1.90
55836	Sidi Othman	21	GALTON	0.708	214	232	260	288	323	401	483	548	597	657	700	1.90
55670	Sidi Thabet **	57	GALTON	0.610	220	237	264	290	324	397	483	534	579	634	673	1.84
57966	Utique S.M.	21	GALTON	0.337	210	230	262	293	333	420	526	589	645	714	764	2.01
43692	Khaznadar *	32	GALTON	0.376	235	253	281	308	343	419	508	560	607	663	704	1.82
		33	GALTON	0.536	277	296	324	353	390	474	575	636	691	759	807	1.80
		80	GALTON	0.336	263	282	312	341	379	460	554	609	658	718	760	1.79
		37	GALTON	0.627	194	212	243	275	317	416	544	626	703	799	870	2.28
		80	GALTON	0.531	241	260	290	319	356	436	533	590	640	701	745	1.85
		80	PEARSON 3	0.785	211	235	271	307	352	448	555	617	670	733	777	2.01
		80	PEARSON 3	0.827	225	247	284	318	362	454	558	617	668	728	770	1.94
		37	GALTON	0.501	241	262	295	326	368	459	567	631	688	758	808	1.94
		80	GALTON	0.755	258	277	307	335	372	453	546	601	650	709	751	1.79
		40	PEARSON 3	0.775	195	207	243	278	323	419	525	587	641	704	748	2.11
		80	PEARSON 3	0.341	221	241	272	301	338	416	503	552	595	644	679	1.83
		31	PEARSON 3	0.126	243	264	295	325	364	443	530	580	622	673	707	1.78
		80	GALTON	0.257	266	286	318	349	388	474	575	634	687	751	796	1.82
		28	GAUSS	0.278	234	246	280	311	347	417	487	523	560	598	610	1.68
		80	GALTON	0.239	243	261	289	316	352	427	516	568	615	671	711	1.80
		21	PEARSON 3	0.871	272	295	331	366	409	501	602	659	708	766	806	1.80
		80	GALTON	0.803	268	287	317	346	385	469	570	630	684	750	797	1.82
		57	GALTON	0.497	254	272	300	327	363	441	534	589	639	699	743	1.80
		80	GALTON	0.991	248	266	293	319	354	427	513	563	607	660	699	1.76
		22	GAUSS	0.918	236	263	302	338	380	462	544	587	622	662	688	1.74
		80	GALTON	0.250	271	291	322	351	389	472	568	624	674	735	778	1.78
		32	GALTON	0.329	237	255	284	312	348	428	520	576	625	684	727	1.85
		80	GALTON	0.406	251	268	297	324	360	437	526	579	625	682	722	1.79







# HOMOGENEISATION DE DONNEES PLUVIOMETRIQUES DE LA JEFFARA NORD

Mme M. AYADI

## RESUME

Les séries pluviométriques sont assez souvent l'objet d'erreurs. Ainsi, pour avoir la certitude d'analyser des données pluviométriques homogènes représentatives d'une seule population mère et sur lesquelles, on peut se livrer en toute sécurité, à une analyse statistique, il est nécessaire de détecter et de corriger ces erreurs.

C'est dans ce contexte, qu'a été faite cette étude d'homogénéisation des données pluviométriques des deux secteurs de la Jeffara Nord.

Les séries pluviométriques homogénéisées par la méthode du vecteur régional des indices annuels de précipitation, sont par la suite étendues sur un période de 77 années, soit de 1909/10 à 1985/86.

L'analyse statistique de ces séries, a permis de mettre en évidence l'irrégularité inter-annuelle des pluies. En effet, les années sèches qui sont d'ailleurs très sévères sont relativement plus fréquentes que les années humides.

Les valeurs extrêmes les plus faibles sont observées en 1935/36 pour le secteur 1 et en 1939/40 pour le secteur 2. Les récurrences de chacune des deux années varient de la centennale sèche à la cinquantennale sèche.

Inversement, l'année 1975/76 semble être l'année la plus pluvieuse. Les récurrences de cette année sont supérieures à la centennale humide pour tout le bassin.

## INTRODUCTION :

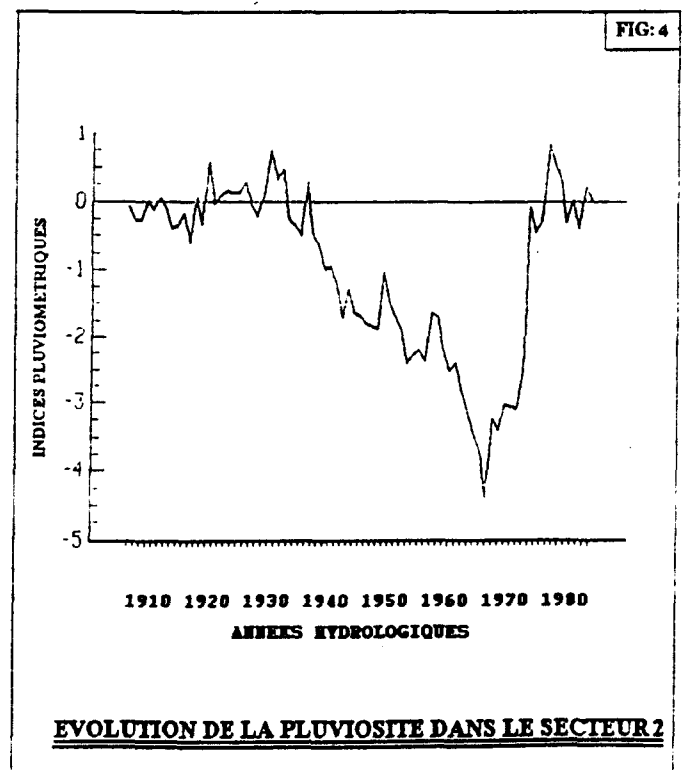
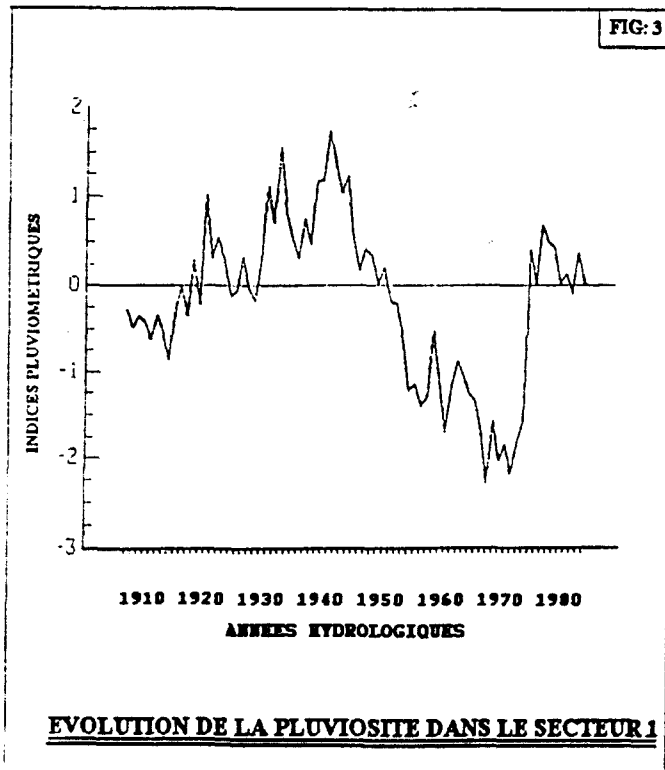
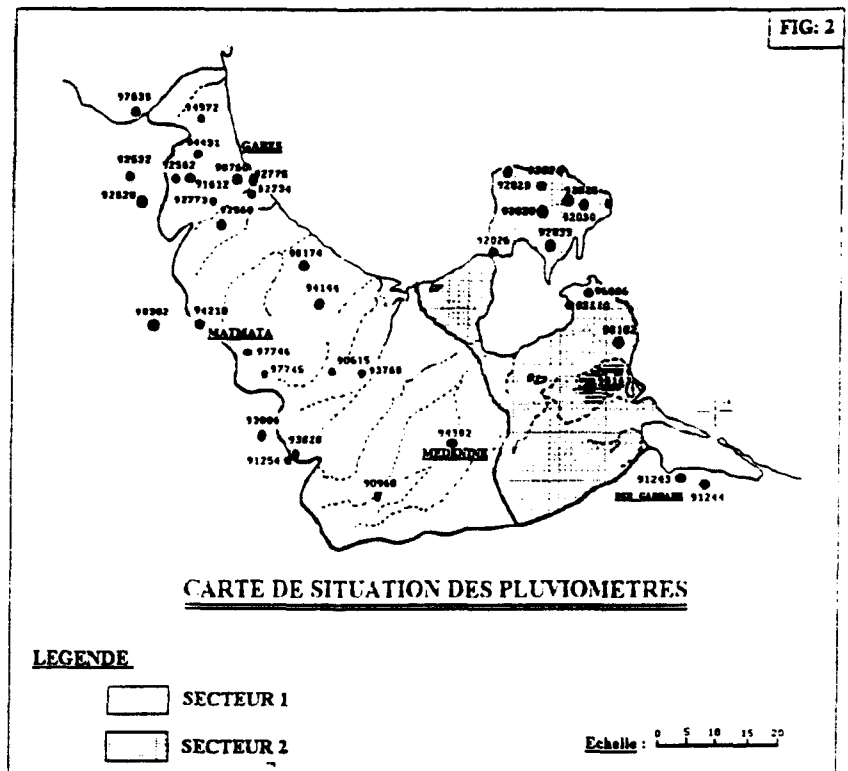
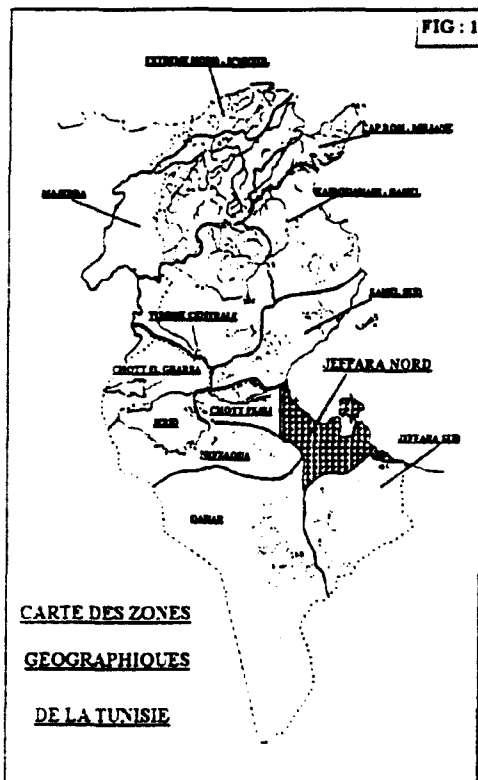
La présente étude a pour objectif :

- l'établissement de séries homogènes permettant de déterminer ponctuellement les paramètres statistiques et les variations spatiales de la pluie;
- l'établissement d'un fichier "opérationnel" sur une période finie qui permettra l'utilisation de modèles de simulation à des pas de temps annuels et l'élaboration d'une carte des isohyètes interannuelles la plus fiable possible sur le bassin de la Jeffara Nord.

## 1- CADRE GEOGRAPHIQUE :

Le bassin de la Jeffara Nord est limité par (Fig. n°1) :

- l'Oued El Akarit au Nord ;
- l'Oued Fessi au Sud ;
- le Dahar à l'Ouest ;
- la Méditerranée à l'Est.



## 2- INVENTAIRE ET PREPARATION DES DONNEES UTILISEES :

La préparation des données utilisées dans cette étude a été faite en quatre étapes :

1) Collecte de la totalité des données du bassin de la Jeffara Nord arrêtées à l'année hydrologique 1985-86.

Le fichier en "l'état" obtenu correspond à 53 postes pluviométriques qui se répartissent comme suit :

nombre d'années complètes	>0	>1	>5	>10	>20	>30	>50	>70	>80
Nombre de stations	53	48	35	25	8	6	5	4	1
%	100	91	66	47	15	11	9	7	2

2) Sélection de cinq stations supplémentaires sur le pourtour du bassin de la Jeffara Nord.

3) Elimination des postes ayant moins de dix années d'observations complètes ou susceptibles d'être complétées.

4) Contrôle et correction éventuelle des données sélectionnées, en vérifiant à l'échelle journalière, leur conformité avec les bulletins originaux des observateurs. Après ce contrôle, nous avons complété les années où quelques totaux mensuels manquent ou bien sont inutilisables telsquels, en se basant sur les stations les plus proches.

A ce stade, nous disposons d'un fichier en l'état comprenant 931 stations années réparties sur 38 postes pluviométriques dont la densité moyenne est de 1 pluviomètre pour 200 Km<sup>2</sup> (Fig.n°2).

## 3- CORRECTION DES DONNEES :

### 3-1- Correction des erreurs accidentelles :

Cette correction a consisté à comparer entre eux les relevés effectués aux mêmes époques sur des groupes de postes géographiquement très proches. Ce qui a permis de mettre en évidence les erreurs les plus grossières et de valoriser les échantillons de pluies annuelles en estimant les compléments mensuels par voisinage chaque fois que cela a été jugé possible.

### 3-2- Correction des erreurs systématiques :

Ces erreurs sont détectées et corrigées en utilisant la méthode du vecteur régional des indices annuels de précipitation par application d'un programme de calcul automatique "VECREG" mis au point à l'ORSTOM. Ce programme crée une suite chronologique de précipitations annuelles fictives à une station fictive : "vecteur régional".

Les composantes  $Z_i$  de ce secteur représentent la pluviosité moyenne de l'année (i) sur une zone climatique homogène dans l'espace. Elles sont calculées de la façon suivante:

### 3-2-1- Hypothèses de base :

La précipitation annuelle ( $P_{xi}$ ) de l'année (i) à la station (x) est liée à l'indice ( $Z_i$ ) de l'année (i) quelle que soit la station parmi les  $\mu$  existantes) par

$$P_{xi} / P_x = \bar{Z}_i + e_{xi}$$

$\bar{P}_x$  : espérance mathématique des précipitations annuelles

$e_{xi}$  : variable aléatoire indépendante de  $Z_i$

### 3-2-2- Principe de calcul des indices $Z_i$ :

La méthode utilisée par le programme "VECREG" pour le calcul des indices ( $Z_i$ ) est celle des moindres carrés qui consiste à minimiser la somme des carrés des écarts ( $e_{xi}$ ). Ceci revient à résoudre les deux systèmes suivants.

$$Z_i = 1 / \mu' \sum_{x=1}^{\mu'} (P_{xi} / P_x) \quad (i = 1 \dots n) \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{n'} P_{xi} * ((P_{xi} / P_x) - Z_i) = 0 \quad (2)$$

Pour ce qui concerne la présente étude, nous avons procédé pratiquement de la manière suivante :

- délimitation de zones climatiques homogènes ou secteurs comportant un nombre suffisant de postes de longue durée d'observation.
- premier passage des données "en l'état" sur le programme de traitement pour chacun des secteurs définis, établissement des graphiques de doubles cumuls entre postes et vecteur régional, correction des erreurs accidentelles les plus flagrantes et élimination des années ou des postes manifestement aberrants.

La matrice ( $E_x$ ) des écarts à ( $Z_i$ ), de moyenne 0 et d'écart type -1MT2 permet de repérer les totaux pluviométriques exagérément forts ou faibles (écart - type supérieur à 2.5 1MT2).

- Passages successifs sur le même programme avec les données corrigées et progressivement améliorées, nouveaux traces de doubles cumuls, recherche et corrections des erreurs les moins apparentes jusqu'à obtention de séries chronologiques vraisemblables.

Remarquons qu'en règle générale, nous estimons qu'en dehors des corrections d'appareillage (multiplication par 1.27 ou 0.785) et de quelques cas particuliers reconnus (changement d'emplacement ou modification sévère de l'environnement), il est déconseillé d'utiliser des valeurs ayant subi des corrections de l'ordre de 20 % ou plus sans que l'origine exacte de l'erreur ait pu être précisée (Y. BRUNET - MORET, 1979).

### 3-3- Délimitation des secteurs :

Pour délimiter les secteurs, on a intérêt à retenir des regroupements de postes pluviométriques sur les superficies les plus réduites possibles, afin de diminuer la dispersion des pluies moyennes relatives à chaque année. Or, ceci entraîne la réduction du nombre de stations de longue durée d'observation et par suite l'amplitude de la période d'homogénéisation. Il est, par ailleurs, indispensable de disposer, à l'intérieur d'un secteur, d'un nombre suffisant de postes pour que l'on ait une bonne probabilité de mettre en évidence les anomalies. Or, cette condition

que l'on a traduit pratiquement en s'imposant un minimum de 3 postes en activité pour une année donnée et de 10 années d'observations pour une station donnée, nous contraint au contraire, à étendre la superficie du secteur.

La résolution du problème de délimitation n'est donc pas évidente et finalement elle consiste à trouver un compromis, le moins mauvais possible, entre des objectifs assez contradictoires lorsque la densité du réseau d'observation est faible.

Ainsi, après plusieurs essais préliminaires, nous avons retenu deux secteurs ( fig. 2 ). On pourrait nous reprocher d'avoir rattaché à un même secteur homogène, des postes tels que Matmata, Medenine et Gabès. En effet, les caractéristiques de la pluie y sont très sensiblement différentes et on aurait dû les mettre dans trois secteurs séparés. Or, ceci va entraîner la réduction de l'amplitude de la période d'homogénéisation qui sera limitée de 1968 à 1985. En effet avant 1968, on ne dispose que des données de ces trois stations.

### **3-4- Composantes des vecteurs :**

Les composantes ( $Z_i$ ) des vecteurs sont fournies dans le tableau 1. Signalons que par rapport à la moyenne calculée sur la période d'homogénéisation, une valeur de  $Z_i$  inférieure à 1 caractérise une année déficitaire et une valeur supérieure à 1 correspond à une année excédentaire.

L'examen de ce tableau montre que :

- l'année 1975/76 est exceptionnellement pluvieuse sur les deux secteurs. De même, mais à un degré moindre, les années 1922/23 et 1969/70.

- pour le secteur 1, les années 1923/24 et 1935/36 sont très sèches. Par contre, ce sont les années 1935/36 et 1939/40 qui sont très sèches sur le secteur 2.

### **4- EXTENSION DES DONNEES HOMOGENEISEES :**

Cette extension consiste à reconstituer les valeurs des pluies annuelles vraisemblables pour les années non observées de chaque poste retenu après homogénéisation. Le but de l'opération est d'obtenir des caractéristiques statistiques comparables entre stations, quelle que soit leur durée réelle d'observation.

On procédera, ici, à une extension de premier ordre, portant sur une période de 77 années et correspondant à la longueur des vecteurs  $Z_1$  et  $Z_2$  ( de 1909-10 à 1985-86 ).

Les hauteurs pluviométriques annuelles manquantes sur cette période ont été estimées à l'aide du vecteur indice du secteur en utilisant la relation suivante :

$$P_{xi} = \bar{P}_x * Z_i$$

Les résultats synthétiques de l'extension sont présentes, poste par poste, dans le tableau 2. Nous remarquons d'après ces tableaux que plus la période d'observation retenue est faible plus la différence entre la moyenne étendue et la moyenne observée est forte.

### **5- EVOLUTION DE LA PLUVIOSITE SUR LA PERIODE 1909/1985 :**

Pour chacun des vecteurs  $Z_1$  et  $Z_2$ , nous avons établi la suite des écarts des indices annuels  $Z_i$  à la moyenne, soit  $e_i = Z_i - 1$  puis celle des cumuls chronologiques des écarts ( $\sum e_i$ ).

Le report de ces derniers sur les figures 3 et 4 met en évidence l'évolution de la pluviosité sur la période 1909-1986.

En effet, pour un secteur donné, l'écart à la moyenne est représenté par un segment de droite dont le signe de la pente indique soit un déficit, soit un excédent. De même, la pente d'un segment quelconque joignant deux points distants de (n) années pris sur l'une des lignes brisées fournit la pluviosité ( $P_n$ ) de la période correspondante :

$$P_n = 1 + (1/n) * \sum_{j=1}^n e_j$$

### **5-1 Evolution de la pluviosité dans le secteur 1 :**

En examinant la figure 3, il apparaît que la période retenue pour l'étude présente cinq phases bien individualisées :

- **avant 1916** : une phase de 7 années déficitaires ( $P_n = 0.51$ ) ;
- **de 1916/17 à 1942/43 inclus** : une phase de 27 années à tendance générale excédentaire ( $P_n = 1.26$ ) interrompue par deux séries de 8 années (de 1923/24 à 1930/31) et de cinq années (de 1935/36 à 1939/40) relativement sèches ;
- **de 1943/44 à 1974/75 inclus** : une phase de 32 années à très faible pluviosité ( $P_n = 0.22$ ) ;
- **de 1975/76 à 1980/81 inclus** : une phase de 6 années à tendance excédentaire ( $P_n = 1.34$ ) ;
- **depuis 1981/82** : une série de 5 années à tendance déficitaire.

### **5-2 Evolution de la pluviosité dans le secteur 2 :**

L'examen de la figure 4 montre que la période retenue pour l'étude présente cinq phases.

- **de 1909/10 à 1919/20 inclus** : une phase de 11 années à tendance moyenne largement déficitaire ( $P_n = 0.79$ ) ;
- **de 1920/21 à 1932/33 inclus** : une phase de 13 années à tendance moyenne largement excédentaire ( $P_n = 1.12$ ) ;
- **de 1933/34 à 1968/69 inclus** : une phase de 36 années à tendance moyenne très largement déficitaire ( $P_n = 0.66$ ) ;
- **de 1969/70 à 1978/79 inclus** : une phase de 10 années à tendance légèrement excédentaire ( $P_n = 1.007$ ) ;
- **depuis 1979/80** : une série de 7 années où la pluviosité tend à se maintenir en alternant les années ; mais reste légèrement déficitaire.

## **6 - ETUDE STATISTIQUE DES PLUIES ANNUELLES :**

### **6-1 Choix des lois :**

Les échantillons de pluies annuelles du fichier vérifié corrigé et complété puis ceux du fichier étendu ont été analysés par un programme de calcul automatique (DIXLOI) écrit spécialement pour la recherche de la meilleure loi s'ajustant aux échantillons parmi dix lois classiques en pluviométrie: GAUSS, GUMBEL M.V., GALTON, PEARSON III, PEARSON V, GOODRICH, FRECHET, LOG-GAMMA, FUITE et POLYA.

Deux paramètres calculés dans le programme permettent de choisir la meilleure distribution de l'échantillon :

- la valeur du test, dite XTEST3.
- la probabilité au dépassement F de la distribution du test, signalée dans les tableaux 3 et



La valeur de cette probabilité est d'autant plus forte que la loi s'ajuste mieux à l'échantillon.

### **6-2 Résultats des ajustements :**

Les résultats statistiques des pluies annuelles des deux secteurs sont fournies dans le tableau 3.

#### **6-2-1 SECTEUR 1 :**

Pour les 17 postes retenus dans le secteur 1, les lois qui s'ajustent le mieux aux échantillons traités sont: la loi de GALTON (14 postes), la loi de PEARSON V (2 postes) et la loi de PEARSON III (1poste).

Ces lois sont du type hypergaussique et il faut par conséquent, s'attendre à des années sèches relativement plus fréquentes que les années humides. Inversement, les années humides de récurrences rares sont relativement très abondantes.

Les changements des lois retenues entre les échantillons vérifiés, corrigés, complétés et étendus sont relativement très peu fréquents (3 postes). De toute manière, dans le cas de ces changements, les paramètres des lois (échelle, position et forme) ne sont pas profondément modifiés.

Le coefficient  $K_3$  qui représente le rapport de la pluie décennale humide à la décennale sèche, caractérise l'irrégularité interannuelle des pluies. La valeur de ce coefficient varie entre 3.28 (à Medenine) et 4.09 (à Zarkine) indiquant ainsi des années sèches fréquemment sévères et des années humides très abondantes.

Nous avons tracé sur les graphiques 5 et 6 les ajustements relatifs aux stations de Medenine SM et Matmata.

Sur ce secteur, on constate déjà que la moyenne interannuelle étendue varie entre 146.2 mm (à Bir lahmar) et 224.9 mm (à Matmata).

Les valeurs extrêmes les plus faibles de la pluie sont observées en 1946/47 pour Gabès SM et en 1935/36 pour tous les autres postes.

Selon les postes, les récurrences de l'année 1935/36 varient de la centennale sèche (voir légèrement plus rares à Medenine et à Matmata) à la cinquantenale sèche pour Zarkine et décennale sèche pour Gabès.

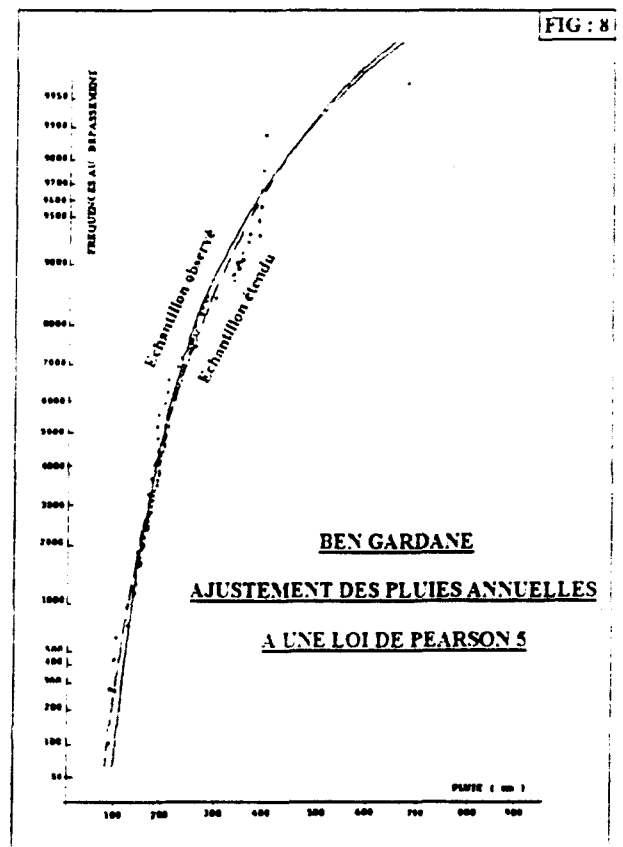
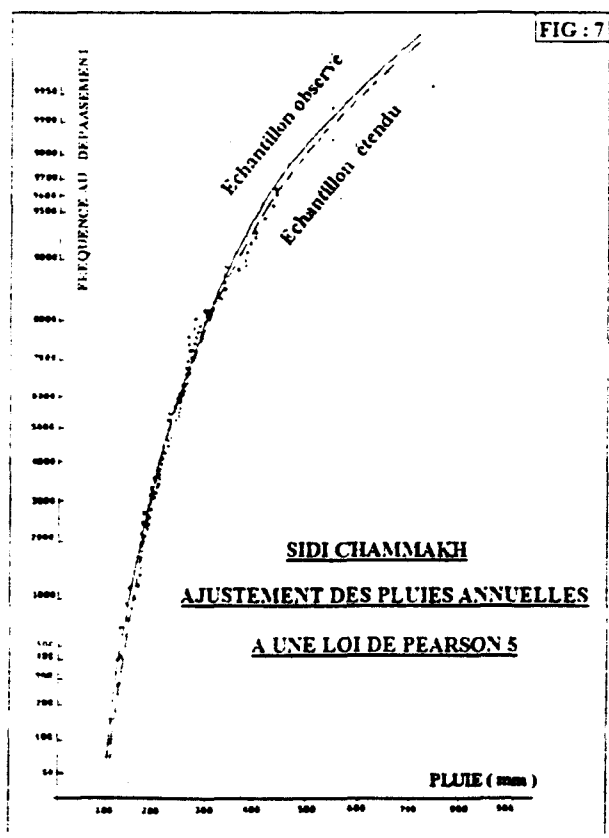
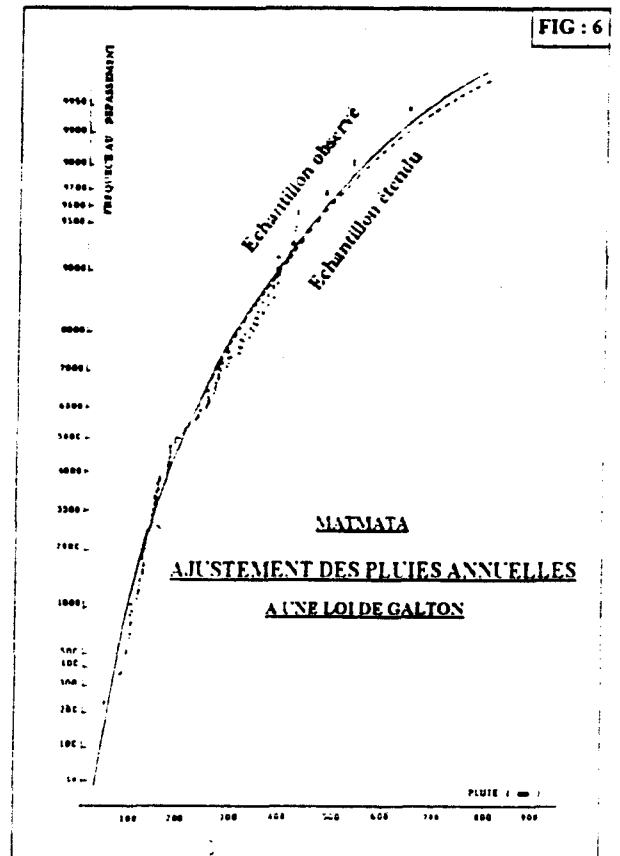
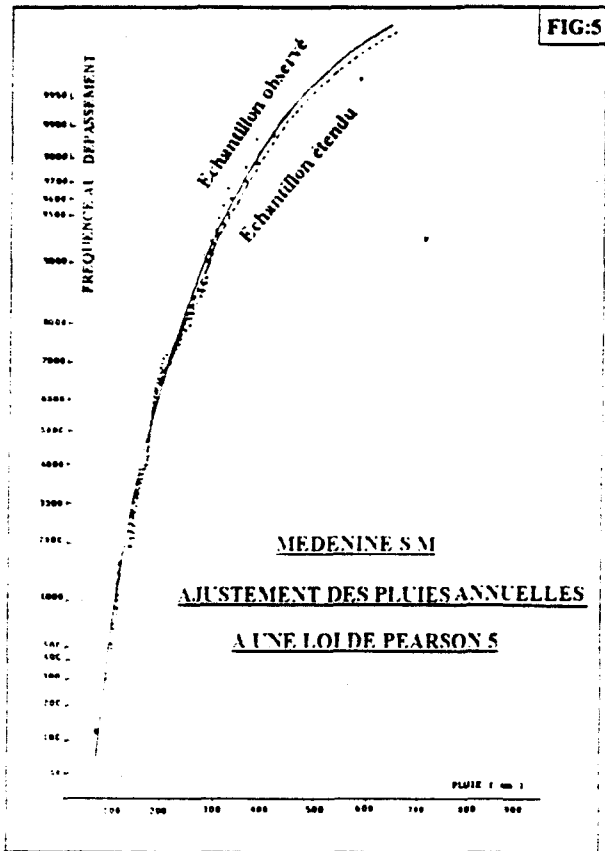
En ce qui concerne les valeurs extrêmes humides, l'année record semble être 1975-76 suivie des années 1922/23, 1934/35 et 1932/33.

Les valeurs observées en 1975/76 sont de récurrences centennales humides pour les postes de Gabès SM, Gabès HER, EL Mdou et Metouia. Tandis que pour les 13 autres postes, les valeurs de cette année sont de récurrences supérieures à la centennale humide.

On peut également noter que pour tous les postes, les valeurs de l'année 1922/23 sont de récurrences comprises entre la cinquantenale et la bidecennale humide.

#### **6-2-2 Secteur 2 :**

Les résultats des ajustements statistiques des pluies annuelles fournis dans le tableau 3 pour les 13 postes retenus dans le secteur 2 permettent de constater que c'est la loi de **Pearson V** qui s'ajuste le mieux aux échantillons traités et que les changements de lois retenues entre les



échantillons vérifiés, corrigés, complétés et étendus ne sont observés que pour trois postes ( Houmt Souk, Ben Guerdane-Zokra et Jerba Cedghiane ).

Cette loi nous indique que les années sèches sont relativement plus fréquentes que les années humides.

Les figures 7 et 8 montrent quelques uns des ajustements (Sidi Chammakh et Ben Guerdane SM ).

La valeur du coefficient  $K_3$  varie entre 3.24 et 3.62 indiquant ainsi des années sèches fréquemment sévères et des années humides très abondantes.

La moyenne interannuelle étendue varie entre 218.2 mm (à Jerba Aérodrome) et 171.3 mm (à Zarzis Sebkhah).

Les valeurs extrêmes les plus faibles de la pluie sont observées en 1935/36 pour Houmt Souk et Benguerdane Zokra et en 1939/40 pour tous les autres postes.

Les récurrences de l'année 1939/40 varient, selon les postes, de la centennale sèche à la cinquantenale sèche.

En ce qui concerne les valeurs les plus fortes, l'année 1975/76 semble être exceptionnellement pluvieuse ; elle est suivie des années 1969/70 et 1978/79.

Les pluies de l'année 1975/76 sont de récurrences supérieures à la centennale humide pour tous les postes.

Les récurrences des années 1969/70 et 1978/79 varient, selon les postes, de la cinquantenale à la bidecennale humide et même la décennale humide ( Jerba Aérodrome en 1978/79 ).

Tableau 1 - VECTEUR DES INDICES ANNUELS DES PRECIPITATIONS

ANNEES	Z1	Z2	ANNEES	Z1	Z2	ANNEES	Z1	Z2
1909-10	0.7349	0.9247	1935-36	0.2669	0.2572	1961-62	0.4099	0.4676
1910-11	0.7723	0.7974	1936-37	0.7144	0.9489	1962-63	1.5476	0.7150
1911-12	1.1391	0.9996	1937-38	0.7725	0.8405	1963-64	1.2744	1.1054
1912-13	0.9346	1.2699	1938-39	1.4510	1.7622	1964-65	0.8337	0.5318
1913-14	0.7866	0.8972	1939-40	0.6975	0.2419	1965-66	0.7901	0.6941
1914-15	1.2942	1.1807	1940-41	1.7112	0.8341	1966-67	0.9207	0.7048
1915-16	0.7998	0.8321	1941-42	1.0121	0.6373	1967-68	0.6415	0.7691
1916-17	0.6691	0.7091	1942-43	1.5581	1.0588	1968-69	0.4066	0.3066
1917-18	1.5980	1.0216	1943-44	0.6462	0.7534	1969-70	1.7324	2.1754
1918-19	1.2523	1.1954	1944-45	0.6485	0.4910	1970-71	0.5183	0.8236
1919-20	0.6738	0.5590	1945-46	1.1911	1.4221	1971-72	1.2031	1.3833
1920-21	1.6374	1.6632	1946-47	0.3040	0.6369	1972-73	0.6469	0.9471
1921-22	0.4961	0.6111	1947-48	0.6524	0.9476	1973-74	1.3646	0.9845
1922-23	2.2237	1.9039	1948-49	1.2285	0.8949	1974-75	1.2581	1.5461
1923-24	0.2994	0.4155	1949-50	0.9276	0.9655	1975-76	2.9981	3.4925
1924-25	1.2387	1.1113	1950-51	0.6899	0.9512	1976-77	0.5845	0.6196
1925-26	0.7292	1.0629	1951-52	1.1816	1.8776	1977-78	0.9796	1.1565
1926-27	0.6101	0.9691	1952-53	0.6119	0.4932	1978-79	1.7006	2.1005
1927-28	1.0447	1.0105	1953-54	0.9646	0.8011	1979-80	0.8114	0.7256
1928-29	1.3988	1.1342	1954-55	0.5842	0.7796	1980-81	0.9443	0.7832
1929-30	0.6151	0.6846	1955-56	0.4007	0.5354	1981-82	0.5912	0.3592
1930-31	0.8645	0.8410	1956-57	1.0714	1.1117	1982-83	1.1170	1.3374
1931-32	1.4899	1.2846	1957-58	0.7584	1.0599	1983-84	0.7609	0.5885
1932-33	1.8152	1.6725	1958-59	1.0755	0.8595	1984-85	1.4654	1.6071
1933-34	0.5932	0.5666	1959-60	1.7933	1.7373	1985-86	0.6223	0.7880
1934-35	1.8473	1.1462	1960-61	0.4053	0.9253			

Tableau 2 - MOYENNES INTERANNUELLES ETENDUES SUR UNE PERIODE DE

77 ANNEES

N°CODE	NOM DU POSTE	Fichier Verifié, Corrigé, Complété				Fichier Etendu sur 77 années (1909-1986)				Diff. Moy. étendue et moy. v.c.c. ( % )
		Nbre années	Pluie moyenne	Ecart type	Coeff. var.	Nbre années	Pluie moyenne	Ecart type	Coeff. var.	
92775	GABES SH	77	201.4	100.7	0.500	77	201.4	100.7	0.500	0.00
92774	GABES MER	22	221.4	119.5	0.540	77	207.0	100.5	0.485	-6.50
94431	METOUJA	15	181.1	83.3	0.460	77	157.3	74.5	0.474	-13.10
92773	JARDIN D'ESSAI	14	215.1	106.6	0.496	77	205.5	105.8	0.515	-4.50
92560	EL H'DOU	11	196.0	125.3	0.639	77	170.8	84.9	0.497	-12.80
94210	MATHATA	73	223.3	116.5	0.522	77	224.9	117.7	0.523	0.72
97745	DIH, TOLLANE	14	191.8	132.6	0.691	77	181.4	94.3	0.520	-5.42
94302	MEDENINE SH	71	168.5	82.2	0.488	77	174.3	84.6	0.485	3.44
90960	BIR LAHMAR	11	167.9	109.0	0.649	77	146.2	73.6	0.504	-12.92
90615	ALANET MEHLLOUCH	10	144.7	58.0	0.401	77	162.0	80.9	0.500	-11.95
98174	ZARKINE	16	220.5	107.0	0.485	77	186.8	94.1	0.504	-15.28
93760	KOUTINE	11	203.7	142.7	0.700	77	188.4	95.6	0.507	-7.51
94144	KARETH	10	224.8	114.8	0.511	77	171.4	83.7	0.488	-23.75
93828	KASR JEDID	16	185.0	135.8	0.735	77	187.7	99.6	0.531	1.46
93806	KASR EL MALLOUF	16	186.2	130.2	0.699	77	185.2	97.1	0.524	-0.54
91254	BENI KHEDACHE	17	218.1	157.5	0.722	77	216.0	115.0	0.533	-0.96
97746	TOLLANE ECOLE	21	151.9	59.3	0.391	77	184.9	98.0	0.530	-21.72
92026	HOUT SOUK	63	200.4	84.0	0.419	77	210.3	108.5	0.516	4.94
98182	ZARZIS PV	72	214.3	112.5	0.525	77	213.9	110.5	0.516	-0.18
96886	SIDI CHAMMARH	48	178.8	92.8	0.519	77	188.2	99.4	0.528	5.25
91243	ZOKRA B. GARDANE	34	177.2	80.5	0.454	77	183.7	96.2	0.524	3.67
91244	BEN GARDANE SH	28	175.1	82.0	0.469	77	179.4	91.4	0.509	2.45
93110	HASSI JALLABA	25	185.1	96.1	0.519	77	193.6	100.1	0.517	4.60
92023	JERBA AERODROME	25	231.4	157.7	0.682	77	218.2	112.5	0.515	-5.70
98180	ZARZIS SH	21	214.1	153.5	0.717	77	198.4	102.6	0.517	-7.33
92030	JERBA MIDOUN	19	247.8	158.6	0.640	77	204.3	106.3	0.520	-17.55
92033	JERBA CEDOUKRECH	18	251.2	158.6	0.631	77	209.6	107.6	0.513	-16.56
92028	JERBA EL MAY	14	248.4	176.6	0.711	77	208.8	108.1	0.518	-15.94
98185	ZARZIS SEBNA	12	214.4	146.3	0.683	77	171.3	87.5	0.511	-20.10
92025	JERBA CEDRIANE	12	201.0	83.8	0.417	77	211.1	107.7	0.510	5.02

Tableau 3 : AJUSTEMENT STATISTIQUE DES PLUIES ANNUELLES

(1ère Ligne : Fichier V.C.C / 2ème Ligne : Fichier étendu )

N°Code	Nom du poste	réf.	Loi	Prob. Freq. du Test	ANNÉES SECHES					MÉDIANE					ANNÉES HUMIDES					K3
					100	50	20	10	5	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01			
92775	GABES SM	77	GALTON	0.684	48	58	74	92	117	181	273	337	400	483	548	618	681	748	3.66	
92774	GABES MER	22	GALTON	0.751	42	53	71	91	120	196	307	385	463	568	650	748	848	948	4.23	
		77	GALTON	0.391	50	60	77	96	122	188	280	343	404	485	566	647	728	809	3.57	
94431	METOUJA	15	GALTON	0.504	59	68	82	96	117	167	236	282	326	383	426	486	538	598	2.94	
		77	GALTON	0.701	39	47	61	75	95	144	212	257	301	358	401	461	518	578	3.43	
92773	GABES JARDIN D'ESSAI	14	GALTON	0.916	48	59	79	100	128	197	291	352	411	487	564	644	724	804	3.52	
		77	GALTON	0.331	31	44	66	88	118	189	283	344	401	474	529	599	669	739	3.91	
92560	EL M'DOU	11	GOODRICH	0.572	98	99	100	102	108	144	251	352	467	638	780	948	1118	1288	3.45	
		77	GALTON	0.525	45	53	66	80	100	153	230	285	339	412	469	549	609	679	3.56	
94210	MATNATA	73	GALTON	0.429	47	58	77	97	126	200	306	379	450	545	618	718	818	918	3.91	
		77	GALTON	0.291	47	58	77	97	129	201	309	383	457	555	631	731	831	931	3.95	
93828	KSAR JEDID	16	GALTON	0.343	63	66	73	81	95	143	244	336	443	613	765	948	1148	1348	4.15	
		77	GALTON	0.896	50	58	71	86	108	165	254	317	381	469	539	639	739	839	3.69	
93806	KSAR HALLOUF	16	GALTON	0.736	73	75	81	89	101	145	239	325	427	588	734	918	1118	1318	3.65	
		77	GALTON	0.749	51	59	72	86	107	163	249	312	375	462	531	631	731	831	3.63	
91254	BENI RHEDAOH	17	GALTON	0.906	62	67	77	89	108	171	275	401	521	705	865	1065	1265	1465	4.50	
		77	GALTON	0.723	58	67	82	99	124	190	292	364	438	539	619	739	839	939	3.68	
97745	DAH. TOLLANE	14	GOODRICH	0.924	92	92	93	96	104	145	251	345	447	593	710	868	1028	1188	3.59	
		77	GALTON	0.637	51	58	71	85	105	160	244	304	364	447	513	613	713	813	3.58	
97746	TOLLANE ECOLE	21	GALTON	0.347	59	65	75	85	100	139	196	236	275	328	369	428	469	528	2.78	
		77	GALTON	0.640	52	59	72	86	107	163	249	311	373	459	528	628	728	828	3.62	
94302	MEDELINE SM	71	PEARSONS	0.477	48	56	70	84	104	153	223	270	318	382	433	503	558	628	3.21	
		77	PEARSONS	0.629	48	57	71	86	107	158	231	281	330	397	450	520	575	645	3.28	
90760	DIR LAHMAR	11	PEARSONS	0.521	32	40	53	68	88	143	230	296	366	468	554	664	774	884	4.35	
		77	PEARSONS	0.666	34	42	54	68	86	132	197	242	283	349	398	478	528	608	3.56	
90615	ALLAMET MECHLOUKE	10	GALTON	0.232	57	63	74	84	100	136	184	216	246	285	314	364	414	464	2.57	
		77	GALTON	0.707	43	50	62	76	95	145	218	269	320	388	442	512	562	632	3.54	
98174	ZARKINE	16	GOODRICH	0.830	106	107	111	117	130	185	291	371	452	558	638	758	878	998	3.17	
		77	PEARSONS	0.156	17	31	54	76	107	176	261	311	356	410	448	508	558	618	4.09	
93760	KOUTINE	11	GALTON	0.786	67	71	79	89	106	161	272	368	478	649	798	948	1098	1248	4.13	
		77	GALTON	0.769	50	58	72	88	110	168	254	314	374	455	517	607	687	767	3.57	
94144	MARETH	10	GALTON	0.751	103	107	113	122	136	186	288	379	486	654	803	953	1103	1253	3.11	
		77	GALTON	0.761	44	52	66	81	102	155	231	283	335	403	456	536	588	648	3.49	
92026	HOUT SOUK	63	FULTES	0.746	47	59	79	100	128	192	267	312	352	399	432	492	532	572	3.12	
		77	PEARSONS	0.667	48	60	78	97	124	190	283	348	412	499	567	657	747	837	3.59	
98182	ZARZIS PV	21	PEARSONS	0.925	55	61	71	83	103	163	285	400	545	796	1048	1300	1552	1804	4.82	
		77	PEARSONS	0.368	48	59	78	97	124	191	286	351	416	505	575	675	745	845	3.62	
96866	SIDI CHAPPAH	48	PEARSONS	0.944	38	48	64	80	103	161	242	299	356	434	496	586	666	746	3.73	
		77	PEARSONS	0.711	48	57	72	88	110	167	248	306	364	445	509	609	689	769	3.48	
91243	ZIGRA BEN GARDANE	34	GUMB. V.	0.495	45	56	72	89	111	164	235	282	327	386	430	496	540	606	3.17	
		77	PEARSONS	0.453	52	61	75	89	110	164	243	300	358	439	504	594	664	734	3.37	
91234	BEN GARDANE S M	28	PEARSONS	0.487	55	62	75	89	108	157	231	283	337	413	474	554	614	674	3.18	
		77	PEARSONS	0.452	46	55	71	87	109	163	240	292	344	415	470	550	610	670	3.36	
98180	ZARZIS SM	21	PEARSONS	0.919	54	60	71	84	103	164	286	401	543	791	1037	1283	1529	1775	4.77	
		77	PEARSONS	0.475	52	61	79	96	119	178	263	322	381	462	527	627	687	747	3.35	
93110	HASSI JALLABA	25	PEARSONS	0.986	52	60	74	88	108	173	247	309	375	470	549	649	749	849	3.51	
		77	PEARSONS	0.823	49	58	74	90	113	170	253	312	372	454	520	620	680	740	3.47	
92023	JERBA AERO	25	PEARSONS	0.802	60	67	84	100	124	191	307	401	505	664	806	948	1090	1232	4.01	
		77	PEARSONS	0.252	59	70	89	108	135	199	289	350	410	490	553	653	713	773	3.24	
92030	JERBA RIIOUH	19	PEARSONS	0.997	77	84	97	111	133	200	326	437	571	792	1002	1212	1422	1632	3.94	
		77	PEARSONS	0.809	55	65	82	99	123	184	272	333	395	499	546	646	696	746	3.36	
92033	CEDOUKECH	18	PEARSONS	0.986	71	78	93	108	132	203	336	451	588	811	1021	1231	1441	1651	4.17	
		77	PEARSONS	0.684	56	64	84	101	126	188	277	340	402	488	557	657	717	777	3.37	
92028	EL MAY	14	PEARSONS	0.956	77	83	94	107	126	190	323	452	618	916	1222	1528	1834	2140	4.18	
		77	PEARSONS	0.566	58	68	85	102	126	187	276	338	400	485	553	653	713	773	3.31	
98185	ZARZIS SEDHMA	12	PEARSONS	0.995	47	54	67	83	106	172	292	395	513	703	877	1077	1277	1477	4.76	
		77	PEARSONS	0.712	45	54	68	83	104	155	228	279	330	399	454	544	599	649	3.36	

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- BRUNET-MORET, Y. : Homogénéisation des précipitations.  
Cahiers O.R.S.T.O.M., série hydrologie, volume XIV, n° 3 et 4, Paris, 1979.
- CAMUS, H. : Homogénéisation et extension des données  
pluviométriques de la Tunisie du Nord.  
( Secteur de Bizerte ). Rapp.int., D.R.E., 1986.
- HIEZ, G. : L'homogénéité des séries pluviométriques.  
Cahiers O.R.S.T.O.M., série hydrologie, volume XIV, n° 2, Paris, 1977.
- LAFFORGUE, A., al. : Homogénéisation et extension des données  
pluviométriques du Centre de la Tunisie. Rapp.int., D.R.E., Tunis, 1983.
- L'HOTE Y. : Contrôle de la qualité et de l'homogénéité  
des données pluviométriques par la méthode du vecteur des indices annuels de  
précipitation.  
Comm.Journées Hydrologiques de l'O.R.S.T.O.M. Montpellier, 1986.

*DEUXIEME PARTIE*

*EAUX SOUTERRAINES*





**NOTE SUR LES POTENTIALITES  
GEOTHERMALES MOBILISEES EN TUNISIE**

A. MAMOU

**RESUME**

Les potentialités géothermales mobilisées en Tunisie sont souvent liées à la mise en exploitation des eaux des nappes profondes par sources ou forages.

L'auteur tente de passer en revue les différentes provinces géothermales de la Tunisie et l'état de la mobilisation de leurs eaux géothermales ainsi que des orientations à donner aux futures reconnaissances. Il met l'accent plus particulièrement sur les nappes du Sud tunisien où cette mobilisation est déjà très avancée.

Sur la base de l'évaluation des ressources géothermales mobilisées dans les gouvernorats de Tozeur, Kébili, Gabès et Tataouine (4400 l/s), il apparaît que près de 70 % de ces ressources sont localisées dans les trois premiers gouvernorats et que les températures de l'eau y oscillent entre 35 et 75°. Ces eaux présentent des salinités variant entre 2,2 et 4,5 g/l.

Suite à une série d'expérimentations visant l'utilisation des eaux chaudes dans les cultures des primeurs, certaines initiatives ont été encouragées pour la création de projets agricoles dont l'objectif est l'exportation de primeurs. Ainsi, un projet mettant en valeur 1,5 ha de cultures sous tunnel en plastique a pu être réalisé en collaboration entre un promoteur belge et le PNUD. Cette initiative a largement contribué pour l'acquisition d'une expérience dans le domaine. Ainsi, la production de ce secteur en primeurs a été de 2000 tonnes en 1986-87. Elle est passée à 5400 tonnes en 1991-92. En parallèle, l'exportation est passée de 60 T en 1987-88 à 1150 tonnes en 1991-92.

La stratégie nationale pour l'utilisation des eaux géothermales, est conçue par le Ministre de l'Agriculture pour organiser ce secteur et assurer une meilleure gestion des ressources en eau au sein des oasis. Il est bien entendu que la priorité d'utilisation des ressources en eau est accordée au secteur agricole classique au sein des oasis (palmiers). Cette stratégie prévoit la création de 300 ha en plus des 70 ha existant dans les gouvernorats de Gabès, Kébili et Tozeur. Il est attendu que la production en primeurs y atteigne à l'horizon l'an 2000, les 48 000 tonnes essentiellement constituées de tomate et de melon.

Cette stratégie prévoit la création dans le cadre du VIII plan, de 100 nouveaux hectares en cultures sous 2000 tunnels en plus des 70 ha existants. Cette superficie sera subdivisée en 116 parcelles dont la plus petite est de 0,5 ha (10 séries) et la plus grande de 3 ha. La répartition de ces unités par gouvernorat est la suivante :

- 36 unités de 30 ha de superficie globale dans le gouvernorat de Gabès,
- 43 unités couvrant 40 ha dans le gouvernorat de Kébili,
- 37 unités couvrant 30 ha dans le gouvernorat de Tozeur.

## 1- INTRODUCTION :

Les ressources géothermales associées aux nappes souterraines tunisiennes sont généralement des deux types :

- **des ressources à géothermie de haute énergie** avec une eau dont la température est comprise entre 50 et 90°C.
- **des Ressources à géothermie de très basse énergie** avec une eau dont la température est entre 20 et 50°C.

On considère qu'une eau est utilisable pour le **chauffage des serres** si elle présente une température qui est supérieure à 35°C. Les eaux dont la température est entre 25 et 30°C sont employées pour la **pisciculture** et sont considérées à basse énergie. Les eaux à **usage curatif** et **thérapeutique** ont généralement une température entre 40 et 60°C et sont d'une composition chimique particulière.

La description des points d'eau à température dépassant la moyenne annuelle est initialisée avec les travaux de H. SOLIGNAC (H. SOLIGNAC, 1927) qui était le premier à présenter les sources thermales de la Tunisie. Les travaux de A. JELLOULI entre 1964 et 1970 ont été principalement orientés vers les aspects d'aménagement et de captage de plusieurs de ces sources.

Les tentatives de synthèse sur les ressources géothermales des nappes tunisiennes ont démarré avec les travaux de H. BEN DHIA, (BEN DHIA H., 1983 et 1987) mais ces synthèses sont essentiellement descriptives n'aboutissant pas à un bilan d'eau. Avec l'Etude de l'AGIP-ETAP-DGRE, 1986 se dégagent la description des principales potentialités géothermales du pays ainsi que la description des secteurs d'utilisation de ces ressources.

L'ensemble de ces études sont restées descriptives dans leur ensemble ou présentant, des évaluations sectorielles essentiellement axées sur les variations du gradient géothermique sans aboutir pour autant, à une quantification des ressources géothermiques et des conditions de leur mobilisation.

En réalité, l'évaluation des ressources géothermiques mobilisables constitue un aspect complexe du fait que ces ressources sont toujours liées aux deux autres notions qui sont la **quantité mobilisable** et la **qualité de l'eau**. Si le **bilan quantitatif** des ressources en eau souterraine susceptibles d'être mobilisées, est déjà sujet à controverses quant aux méthodes d'évaluation et à la précision de l'évaluation, le **bilan qualitatif** est lui aussi, plus difficile à maîtriser du fait qu'il prend en considération, en plus de la quantité d'eau à mobiliser, sa qualité chimique appelée à évoluer dans le temps.

Avec l'introduction de la notion de température et de l'usage géothermique la notion de **ressources mobilisables** est plus nuancée et moins précise du fait de la variabilité de cette caractéristique dans le temps et sous l'influence de plusieurs autres facteurs.

En ayant voulu limiter cette évaluation aux **potentialités géothermales mobilisées**, nous avons tenté en nous référant à des ouvrages de mobilisation déjà existants et dont les caractéristiques sont connues, d'échapper à l'imprécision de la quantification hypothétique des ressources potentielles. Nous insistons plus particulièrement, sur le fait que ces ressources déjà mobilisées, ne traduisent dans aucune mesure, les ressources géothermales potentielles ou globales du pays. En effet, cette mobilisation a toujours eu comme objectif l'aspect quantitatif permettant de mettre à la disposition des usagers (eau potable, agriculture et industrie), une eau de qualité chimique acceptable (RS : 3,5 g/l et accessoirement en l'agriculture, un RS : 5 g/l). Cette évaluation, à son stade préliminaire actuel, correspond en réalité à l'état de nos

connaissances et demande à être actualisée à mesure que les études des aquifères aux quels sont rattachées ces ressources évoluent et se précisent.

Du fait que la Tunisie est un pays dont les ressources en eau sont limitées et sur le point d'être mobilisées en totalité dans un proche avenir, l'utilisation géothermique de cette eau ne peut être considérée à elle seule mais toujours associée à l'aspect quantitatif.

C'est dans ce sens que ces ressources en eau mobilisées dans l'un des trois secteurs d'activité économique précités sont avant tout, **des débits** (ou des volumes) dont les caractéristiques physico-chimiques et plus particulièrement la salinité répondent aux besoins du secteur d'utilisation. **L'aspect géothermique n'intervient qu'en second lieu comme utilisation non nuisible et non modificative de la qualité de l'eau ou de sa quantité.** A ce titre l'usage géothermique peut être considéré quand il est associé à un autre usage, comme **un moyen de développement des ressources en eau.** C'est plus particulièrement le cas du chauffage (serres, habitations ou bureaux).

## **2- RESSOURCES GEOTHERMALES MOBILISEES :**

### **2-1- Tunisie du Nord :**

La répartition des ressources géothermales de la Tunisie est conforme à celle des nappes profondes du pays. Ainsi, la Tunisie du Nord essentiellement occupée par le flysch numidien, présente peu d'aquifères profonds à grande extension. Cette zone se caractérise par contre, par une disposition tectonique très favorable à l'émergence des sources à partir d'aquifères d'origine profonde.

En effet, c'est à l'occasion de plusieurs contacts anormaux que l'eau chaude de niveaux profonds se manifeste en surface sous forme **d'une source dont l'attachement hydraulique est difficile à établir.**

Ces contacts anormaux résultant du charriage, des remontées diapiriques et de l'effet de la tectonique cassante, caractérisent au sein de cette zone plus particulièrement, le versant septentrional de la dorsale et la limite méridionale du sillon tunisien. Ainsi, les sources thermales de cette région, sont en liaison étroite avec les accidents tectoniques accompagnant souvent les diapirs triasiques (A. JELLOULI & Z. KALLAL, 1972).

Les ressources géothermales de la Tunisie du Nord, connues essentiellement à travers la manifestation en surface de certaines sources, sont loin d'être bien évaluées du fait que leur reconnaissance par sondages n'a pas été poussée au point d'aboutir à l'élucidation du fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère auquel se rattache la source.

D'un débit souvent faible et avec une eau de salinité excessive (plus de 10 g/l), la plupart de ces sources n'ont qu'un usage curatif (cristallinisme) associé à la température de leur eau et à sa composition physico-chimique (sources sulfureuses ou présentant une certaine concentration en ions). Dans ce cas, le débit de la source prend une importance secondaire par rapport à son aspect géothermal curatif.

La minéralisation de l'eau de ces sources provient essentiellement du contact avec les formations triasiques ce qui fait que la plupart de ces eaux sont du **groupe chloruré-sodique.** La faille de Zaghouan semble donner des eaux appartenant à ce groupe avec une température supérieure à 45°C (eaux hyperthermales). Ceci est l'indice d'une longue circulation en profondeur. La constance du débit de ces sources au cours de l'année et la pérennité de leur écoulement, sont des facteurs qui plaident à la faveur de l'interprétation qui voit derrière leur fonctionnement, un aquifère important supplantant la source.

Parmi les principales sources thermales de la Tunisie du Nord, nous citons celles de **Korbous, Dj. Ouest, Hammam Mellègue, Hammam Bourguiba, Hammam Lif, Hammam Biadha et Hammam Ez Zriba**. L'ensemble de ces sources se répartissent en deux groupes conformément à la configuration géologique de la région. On y distingue :

- **les sources rattachées au flysch numidien** et dont le thermalisme est lié de près, à la remontée en surface des diapirs triasiques.
- **les sources rattachées à la tectonique atlasique** et dont le thermalisme est commandé par les principales failles affectant la dorsale tunisienne dans la partie nord-orientale.

#### ***1-1 Sources associées au flysch :***

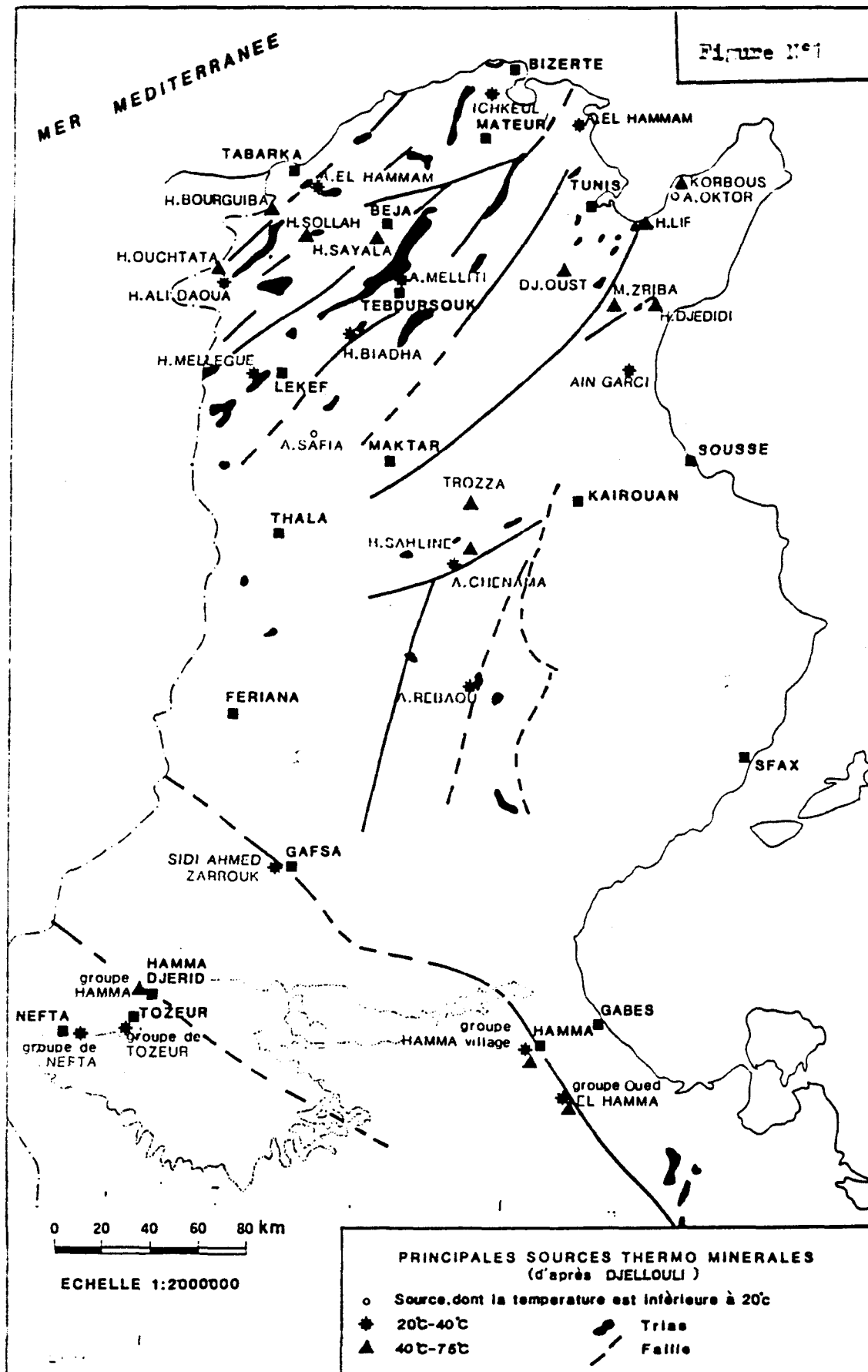
Les sources associées au domaine du flysch numidien résultent d'un contact anormal des formations tertiaires et quaternaires avec d'autres formations plus anciennes à l'occasion des poussées diapiriques du Trias. Cette situation est particulièrement caractéristique des pointements triasiques de l'**Atlas Tellien, des Mogods** et de la **Kroumirie**. On y différencie trois groupements de sources reliées à ce type de structures (**Fig.n° 1**) :

- **les sources de l'Atlas Tellien** : C'est le cas des deux sources hydrothermales : Hammam Mellègue et H. Biadha,
- **les sources de la Kroumirie** : dont les principales sont H. Bourguiba (Aïn Draham), H. Sollah, H. Ouchtata, H. Sayala, H. Ali Daoua, etc...
- **les sources des Mogods** : La source de l'Ichkeul est la mieux connue dans cette région.

L'eau de l'ensemble de ces sources présente des températures qui sont supérieures à **40°C**. Certaines comme celles de **H. Bourguiba** et **H. Sollah**, ont une eau dépassant même les **50°C**. Malgré tous les efforts pour rattacher ces sources aux formations à travers lesquelles elles sourdent (**A. JELLOULI & Z. KALLEL, 1972**), le doute subsiste quand à la vraie origine hydrogéologique de ces émergences. En effet, en considérant que la température de l'eau de ces sources à l'émergence est un paramètre indicateur de la profondeur à partir de laquelle cette eau provient, on estime sur la base d'un gradient géothermique de **3,3°C/100 m**, que le réservoir aquifère se situe à **600 m de profondeur** au moins pour une eau émergeant à **40°C** et à **1360 m de profondeur** pour une eau émergeant à **65°C**.

Pour de telles profondeurs les formations aquifères sont autres que celles à travers lesquelles émergent ces sources d'où la nécessité de rattacher ces eaux thermales à leur contexte hydrogéologique. Ceci ne peut se faire sans une étude de détail du **fonctionnement hydrodynamique du système** et une reconnaissance en profondeur avec des sondages profonds.

Le schéma d'ensemble de l'émergence de ces eaux est commandé de près par les intrusions diapiriques triasiques et le rôle qu'elles jouent dans l'émergence en surface des eaux en charge des formations aquifères avec lesquelles elles sont en contact. L'évaluation du potentiel mobilisable de ces eaux nécessite une connaissance détaillée de la géométrie de ces réservoirs aquifères et de leur fonctionnement hydrodynamique. Cette opération est encore à son début et demande à être étendue et menée par plusieurs partenaires comme l'Agence de Maitrise de l'Energie (A.M.E.), l'Université (ENIS, F. des Sciences), l'Office National des Mines (O.N.M.) et la D.G.R.E.



### ***1-2 Sources associées à la tectonique atlasique :***

Ces sources se répartissent le long des unités structurales de la dorsale tunisienne. On en connaît dans le cadre de la Tunisie du Nord, celles qui sont directement rattachées aux deux grands accidents tectoniques de Zaghouan et de Kourbous comme **H. Zeriba**, **Dj. Ouest**, **Hammam Lif** et **Kourbous**. Les caractéristiques physico-chimiques des principales sources géothermales résultant de la tectonique atlasique le long de la dorsale tunisienne sont les suivantes (Tableau n° 1 & 2) :

Il est évident que les sources associées à la tectonique atlasique de la dorsale tunisienne ont pour origine, des eaux profondes qui trouvent leur cheminement vers la surface, à travers des fractures majeures constituant un des principaux traits de l'activité tectonique de la région.

Avec des températures d'eau toujours supérieures à 40°C, l'activité de ces sources indique une origine dépassant les 500 m de profondeur.

Les sources de **H. Zeriba**, **Dj. Ouest** et **Hammam-Lif** se localisent dans un environnement structural qui est largement influencé par la faille de **Dj. Zaghouan**. La géologie de ce massif d'ossature essentiellement formée par des calcaires jurassiques, est loin d'être bien expliquée. Son fonctionnement hydrogéologique n'est que partiellement connu en surface sans aucune précision sur son enracinement en profondeur. C'est aussi le cas de tous les pointements jurassiques de la région entre **Dj. Fekérine**, au Sud et **Dj. Bou Kornine**, au Nord. Les sources de cette région ont une répartition spatiale qui coïncide avec les zones de minéralisation du **plomb**, du **Zinc** et de la **fluorine**. De ce fait, elles sont à salinité dépassant généralement les 10 g/l. Leur débit est tributaire de la fracturation à travers laquelle s'effectue l'acheminement de l'eau vers la surface.

Aucune hypothèse n'a été faite sur les ressources en eau mobilisables à partir des formations aquifères auxquelles sont rattachées ces sources. Deux approches peuvent être adoptées dans ce sens :

- une approche basée sur une reconnaissance détaillée à l'aide de la prospection géophysique et des sondages mécaniques,
- une approche basée sur l'étude des eaux d'exhaure des mines dans la mesure où elles sont importantes. Dans ce cadre la géochimie et les isotopes seraient d'un grand intérêt.

**Les sources de Kourbous** liées à l'effondrement du flanc nord de **Dj. Kourbous** constituent la manifestation en surface des eaux de l'Oligocène et du Miocène du Cap Bon. (S.C.E.T, 1965).

La salinité de ces aquifères varie entre celle d'une eau douce localisée dans les couches les plus superficielles et/ou soumises à une bonne alimentation à partir des pluies et celle d'une eau franchement salée (18 g/l au forage de Kourbous KO-1 dans l'Oligocène à la profondeur de 1144m et 50 g/l dans le sondage offshore JR-1 à 1690 m dans les sables pliocènes).

Les températures maxima à prévoir dans les niveaux aquifères présentant un certain intérêt géothermal, sont de l'ordre de 50°C à 1000 m et de 65°C à 1500m.

Ainsi, vu les profondeurs relativement faibles auxquelles se trouvent ces formations et compte tenu de la disposition structurale de la région, le groupe lithologique allant du **Ségué** à

**Tableau n°1 : Caractéristiques physico-chimiques des sources  
du flysch numidien** (A. Jallouli & Z. Kallel, 1972)

Source	Débit (l/s)	R.S. (g/l)	Température (°C)	Observations
<b>- Atlas Tellien :</b>				
. H. Mellègue	1,0	7,9	42	Aquifère triasique, bains
. H. Bidha	-	52,8	45	Aquifère triasique, bains
<b>- Kroumirie :</b>				
. H. Bourguiba (*)	0,3 à 1,8	1,0	38,5 à 51	Aquifère dans le flysch, bains
. H. Ouchtata	4	0,9	44,5	Aquifère, Eocène Supérieur, bains
. H. Sollah	1,1	28,0	75	Aquifère, Eocène supérieur, bains
. H Sagala	0,75	13,6	46	Aquifère, Miocène inférieur, bains
. H. Ali Daoua	-	50	-	Bains populaires
<b>- Mogods :</b>				
. Ichkeul				

(\*) Groupement de trois sources.

**Tableau n° 2 : Caractéristiques physico-chimiques des sources  
thermales associées à la tectonique atlasique en  
Tunisie Nord Orientale** (A. JALLOULI & Z. KALLEL, 1972)

Sources	Débit (l/s)	Résidu sec (g/l)	Température (°C)	Observations
Hamam Zeriba	6,25	5,47	46	Aquifère Crétacé Supérieur
H. Bent Djedidi	15	19,3	62	Aquifère triasique
Dj. Ouest	4,5	18,3	58	Aquifère Jurassique Quaternaire
Hamam Lif	2 à 2,5	13,8 à 14,6	43 à 46	Aquifère Jurassique Supérieur
<b>- Korbous</b>				
. Aïn Atrous	40	11,3	58	Aquifères dans les grès oligocènes
. Aïn Cheffa	20	11,3	57,5	Aquifères dans les grès oligocènes
. Aïn Haraga	1	10,8	44	Aquifères dans les grès oligocènes
. Aïn Sbia	0,5	11,3	49,5	Aquifères dans les grès oligocènes

**Aïn Grab** et incluant **Oum Douil**, représente en Tunisie Nord-Orientale, un intéressant objectif pour les fins géothermiques.

### *1-3 Eaux d'exhaure des mines :*

Les potentialités géothermales de la Tunisie du Nord ne sont exploitées actuellement que pour un usage curatif. Cet usage ne fait appel qu'aux ressources arrivant en surface sous forme de sources.

La reconnaissance minière de certaines zones du Nord-Ouest tunisien (Jerissa, Bou Jabeur, Fej el Hadoum, etc...) a révélé des potentiels en eau de nappe non négligeables vu que la minéralisation est associée à des karsts qui se développent dans les différentes formations calcaires du Crétacé et de l'Eocène (**BESBES W., 1991**). Ceci est plus particulièrement le cas des zones minières de Jerissa et Bou Jabeur dont les débits d'exhaure varient entre, **90 et 100 m<sup>3</sup>/h**. Comme l'alimentation de ces aquifères est essentiellement d'origine superficielle dans une zone où la pluviométrie est excédentaire, la salinité de l'eau est relativement peu accusée (**2,3 g/l** à Jerissa **3,7g/l** à El Akhouet, **5,2 g/l** à Fedj el Hadoum, **6,5 g/l** à Bou Jabeur). Parallèlement, la température de l'eau est relativement basse (**15 à 28°C**). Seules les eaux de Bou Jabeur ont une température de **38°C**.

Au sein de cette région du Nord-Ouest, **les calcaires aptiens** se dégagent comme un réservoir aquifère dont les potentialités en eau géothermale sont d'une importance principale. Ceci est pratiquement le cas de la plupart des formations calcaires fracturées et karstifiées de la région qui sont en contact avec les couches triasiques et dont l'enfouissement en profondeur, leur permet de bénéficier des communications latérales entre aquifères. C'est le cas des **calcaires de l'Abiod** du Sénonien et **des calcaires à Nummilites** de l'Eocène.

Les tentatives d'évaluation des réserves en eau géothermale à partir de ces formations, sont encore au stade descriptif. La reconnaissance géothermique de ces réservoirs aquifères est toute récente (**A.M.E., 1991**)

### *2-2 Tunisie du Centre :*

La Tunisie du Centre se caractérise par une structure géologique où prédominent les plissements atlasiques sans charriage. De ce fait, les pointements triasiques ne sont connus qu'à l'occasion de l'intersection des grands accidents tectoniques. C'est plus particulièrement le cas le long de l'axe Nord-Sud (Fayedh et Mazzouna). Ailleurs, les bassins sédimentaires sont relativement étendus et à fonds peu profonds. Ces bassins sont généralement comblés par un remplissage tertiaire (Oligocène et Miocène) et quaternaire de quelques centaines de mètres d'épaisseur.

Les formations marines, d'âge crétacé, principalement carbonatées, sont largement influencées dans leurs composition et leurs épaisseurs, par la proximité de l'île de Kasserine favorisant les dépôts néritiques à épinéritiques. Elles constituent un des principaux traits géologiques de la Tunisie Centrale tant par leurs faciès que par leur large extension (**MARABET A., 1981**). Ceci a largement favorisé l'évolution structurale de la dorsale tunisienne et des chaînons de l'Atlas saharien qui lui est annexé en plis à large rayon de courbure, légèrement déversés vers le Sud et souvent faillés sur leur bord méridional (**ZARGOUNI F., 1983**).

Le Crétacé inférieur très influencé par les apports terrigènes sahariens, n'y est franchement détritique que vers sa partie sommitale (sables de Sidi Aïch et de Bou Dinar) ce qui lui confère un certain intérêt hydrogéologique dans la mesure où son alimentation est assurée soit à partir des affleurements soit par communication latérale.



Les formations détritiques tertiaires de la Tunisie Centrale, constituent le principal niveau aquifère de cette région. Généralement située à une profondeur n'excédant pas les **600 m**, l'eau de cet aquifère est à une température qui varie entre **20 et 26°C**. Exceptionnellement, cette température atteint la valeur de **33°C** comme c'est le cas dans le bassin de Souassi (Forage Souassi n° 7<sup>b</sup>, N° IRH 15744/4).

Les formations calcaires du Crétacé (Sénonien, Turonien et Cénomano-Aptien) n'ont acquis leur perméabilité secondaire qu'à l'aide de leur fracturation tectonique et karstification avant leur enfouissement. De ce fait, la perméabilité de ces formations est aléatoire. Elle n'est relativement bonne qu'à proximité des arflements et dans les zones de broyage tectonique. Souvent, elle est mauvaise sous les fonds des synclinaux où est supposée avoir lieu l'augmentation de la température de l'eau.

Cette région caractérisée par une disposition structurale de bassins sédimentaires très peu serrés et d'une envergure hecto-kilométrique, présente peu de manifestations en surface d'eau géothermique. La géologie de la région sans charriage ni remontées diapiriques, a fait que **les eaux aux températures les plus élevées sont toujours les plus profondes**. Comme la tectonique y a été essentiellement atlasique et cassante, seules les nappes logées dans les formations continentales tertiaires et quaternaires présentent certains exutoires naturels superficiels. Cette disposition structurale associée à la configuration hydrogéologique des aquifères reconnus, explique la présence de peu de sources dont l'eau est à une température dépassant les **25°C**.

En effet, la Tunisie Centrale est le domaine des **seuils hydrauliques** comme c'est le cas de ceux de Sbiba-Sidi Marzouk, Kasserine, Sbeitla, Hadjeb el Ayoun, Gafsa, etc... mais l'ensemble des sources de ces seuils donnent une eau dont la température est inférieure à **28°C**. Une telle température permet de supposer que cette eau provient d'une formation aquifère n'excédant pas **200 à 300 m** de profondeur ce qui est confirmé par la géométrie des réservoirs.

Toutefois, il y a lieu de signaler que les deux seules sources thermales connues dans le Kairouannais : Aïn Chenama et Hammam Salhine, se trouvent sur le sillage d'un grand accident tectonique favorisant la remontée en surface, du Trias (Faille de Oued el Hateb). La source de **Aïn Chenama** dont le débit est de **0,15 l/s** présente une eau de **13,9 g/l** de salinité et de **30°C** de température.

La source de **Hammam Sahline** d'un débit de **1,1 l/s**, présente une eau de **28g/l** dont la température est de **65°C**. De même, la vapeur des **trous soufleurs de Dj. Trozza** semble être influencée par la proximité du Trias en contact avec l'aquifère du Crétacé inférieur ce qui explique sa température qui est de **50°C**.

La source de **Aïn Rebaou** jaillissant au contact des assises de l'Eocène et du Crétacé et malgré un débit de **66 l/s**, ne présente qu'une eau dont la température est de **28°C**. La salinité relativement peu élevée de cette source (**5,38 g/l**), s'explique par le mélange qui a pu avoir lieu au sein du réservoir aquifère, entre des eaux profondes et d'autres superficielles.

Il en résulte que pour la mobilisation des eaux géothermiques en Tunisie Centrale, seul le **sondage d'eau** est de nature à accroître les disponibilités. L'activité des sources se fait à partir d'aquifères relativement peu profonds à eau dont la température est inférieure à **28°C**.

Les sondages d'eau profonds poussés au delà de **1000 m** dans les zones de Meknassy, Hassi el Frid et de Souinia dans les aquifères du **Zebbag inférieur** et du **Crétacé inférieur**, ont donné des eaux dont les températures respectives sont de **39°C** et de **51,5°C** pour des salinités correspondantes qui sont de **4,3 g/l** et de **3,3 à 9,0 g/l**.

Ainsi ce dégagent en Tunisie Centrale deux nouveaux niveaux aquifères à caractéristiques géothermiques intéressantes et dont l'exploitation sans pompage n'est qu'exceptionnelle (à Kharrouba). Ces deux aquifères se localisent entre 1000 et 2000 m de profondeur suivant les endroits.

A un stade de reconnaissance encore peu avancé, l'aquifère du Zebbag inférieur semble être plus prometteur dans les zones de Meknassy et Gatsa que dans la région de Kasserine. Ses ressources exploitables ne sont pas encore au stade de l'évolution. Celui du Crétacé inférieur, un peu mieux connu à travers les forages qui l'ont atteint, se prête déjà à une synthèse de ses caractéristiques hydrogéologiques.

Sur la base des éléments hydrogéologiques recueillis sur les forages captant le Crétacé inférieur de la Tunisie Centrale, une première évaluation des ressources exploitables à partir de cet aquifère (A. MAMOU & A. AZZOUZ, 1989), est de l'ordre de  $5,6 \text{ Mm}^3/\text{an}$  (150 l/s).

### **2-3 Tunisie du Sud :**

D'une géologie traduisant le passage de la tectonique atlasique vers la plateforme saharienne, la Tunisie du Sud se caractérise par des plissements de grand rayon de courbure et des structures tabulaires affectées par des fractures d'effondrement ou de coulissement.

Les trois principales nappes de cette région qui sont le Continental intercalaire, le Complexe terminal et la Djeffara, présentent des eaux dont les températures varient entre  $22^\circ$  et  $75^\circ\text{C}$  (Fig.n°2).

D'autres formations aquifères à température dépassant  $35^\circ\text{C}$  sont connues dans la région au sein du Permien, du Trias et du Jurassique, mais elles présentent des salinités excessives dépassant généralement les 10 g/l et pouvant aller jusqu'à 75g/l.

Le tableau n° 3 présente une synthèse des principales caractéristiques des eaux des niveaux aquifères du Sud tunisien pouvant avoir un certain intérêt géothermique.

Les données sur les aquifères Permien, Triasique et Jurassique se localisent au niveau des forages pétroliers qui sont en plus forte densité sur la plateforme saharienne et en Djeffara maritime que sur le Dahar et dans le sillon des Chotts.

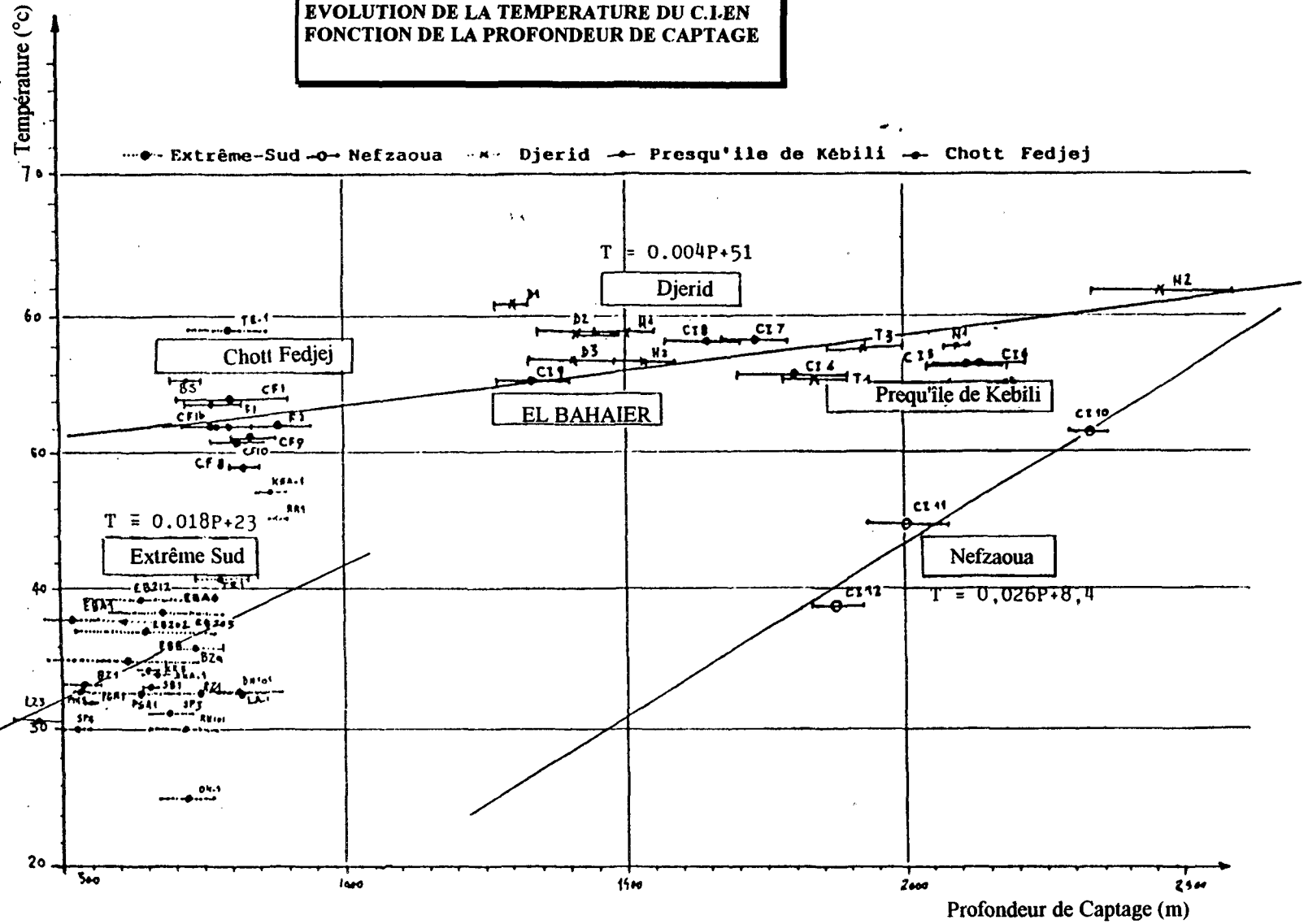
Le Permien s'est révélé aquifère sur le flanc occidental du Dahar (F. Zoumit) où il est jaillissant avec un débit de 50l/s. Son eau est à une salinité de 9 g/l et une température de  $51^\circ\text{C}$ . Il est aussi aquifère sous un autre faciès (grès) sous la Djeffara au niveau des forages de Leguine (LG1, LG2 et LG3) où sa salinité est entre 35 et 65 g/l. Ailleurs sous la plateforme saharienne, il est relativement profond et son intérêt hydrogéologique diminue. Sa reconnaissance sur le pourtour du dôme du Dahar s'impose.

L'aquifère triasique est relativement bien connu sous la plateforme saharienne en Extrême Sud tunisien. Généralement, avec une eau de salinité élevée (20 à 60 g/l), sous la plateforme saharienne, son eau n'est relativement douce (2 à 7 g/l) que sous la plaine d'el Ouara et à proximité de la frontière libyenne. Dans cette aire, la température de son eau est de  $30$  à  $50^\circ\text{C}$ . Sous la Djeffara maritime (Djerba et Ben Gardane), l'eau du Trias est assez salée (30 à 65 g/l), et sa température est de  $45$  à  $55^\circ\text{C}$ .

Les connaissances sur les trois principales nappes du Sud tunisien ; Continental intercalaire, Complexe Terminal et Djeffara, sont suffisantes pour présenter une évaluation précise sur les potentialités exploitables (A. MAMOU, 1990). Le suivi continu de l'exploitation de ces nappes permet de dégager les ressources mobilisées et celles qui restent à mobiliser. En tenant compte de l'évolution de la mobilisation des ressources en eau de ces

Fig n°2

EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DU C.I. EN  
FONCTION DE LA PROFONDEUR DE CAPTAGE



**Tableau n° 3 : Principales caractéristiques des niveaux  
aquifères du Sud tunisien à intérêt géothermique**

(D'après H. BEN DHIA, 1983, modifié)

Zone	R	Permien					Trias				Jurassique				C.I. (*)				C.T. (**)			
	G	H	P	S	T	H	P	S	T	H	P	S	T	H	P	S	T	H	P	S	T	
Sillon des Chotts	2,5	3500	500	>	120?	2500	100	>	120	1000	400	>	60	700	500	2,5	40	100	200	1,0	20	
	à	à	à	60	à	à	à	60	à	à	à	50	à	à	à	à	à	à	à	à	à	
	4,3	4000	1500	?	165?	3500	250	?	165	3500	1200	?	90	2500	2000	5,5	80	1200	900	6,5	45	
Extrême Sud	2,1	2300	500	>	120?	1500	150	2,8	70	600	350	2	40	0	300	1,0	35	0	100	1,0	21	
	à	à	à	60	à	à	à	à	à	à	à	à	à	à	à	à	à	à	à	à	à	
	3,5	1500	1500	?	165	2500	200	40	85	1200	400	10?	5	700	500	6,5	55	100	300	5,0	40	
Dahar	2,5	0	1000	>	120?					0	100	1,0	21	0	0	1,0	20					
	à	à	à	60	à	-	-	-	-	à	à	à	à	à	à	à	à	-	-	-	-	
	3,5	1500	4000	?	165?					800	400	10?	55	300	500	3,5	30					
Djeffara	2,7	0	500	60	120?	0	100	3,5	50					1500	500	30	50	0	100	1,0	20	
	à	à	à	à	à	à	à	à	à	-	-	-	-	à	à	à	à	à	à	à	à	
	4,6	3000	1500	95	165	1500	1500	60	90					3500	1500	65	80	400	500	..	32	

(\*) CI : Continental Intercalaire, (\*\*) CT : Complexe Terminal

G:Gradientgéothermique(°C/100m),R:Réservoir aquifère.H:Profondeur (m/TN), P:Puissance totale(m),S:Salinité(g/l),

T:Température de l'eau(°c).

**Tableau n° 4: Potentialités et mobilisation des ressources  
géothermiques des principales nappes du Sud tunisien**

Nappe	Ressources exploitables (RE)		Exploitation (EX)		Ressources géothermales (REG)		Ressources géother.mobilisées (RGM)	
	(l/s)	(Mm³/an)	(l/s)	(Mm³/an)	(l/s)	(Mm³/an)	(l/s)	(Mm³/an)
<b>Continental intercalaire :</b>	<b>3510</b>	<b>110.5</b>	<b>1883</b>	<b>59,3</b>	<b>3200</b>	<b>100.8</b>	<b>2900</b>	<b>91.1</b>
- Extrême Sud	1000	31.5	256	8.0	800	25.2	600	18.9
- Nefzaoua	880	27.7	891	28.0	880	27.7	880	27.7
- Djerid	550	17.3	265	8.5	550	17.3	150	14.2
- Chott Fedjej	1080	34.0	471	14.8	970	30.6	970	30.6
<b>Complexe terminal :</b>	<b>11350</b>	<b>358</b>	<b>10520</b>	<b>331.7</b>	<b>1125</b>	<b>35.5</b>	<b>1000</b>	<b>31.5</b>
- Nefzaoua	6500	205	6001	189.2	325	10.2	300	9.5
- Djerid	4500	142	4421	139.4	450	14.2	400	12.6
- Chott el Gharsa Nord	350	11	95	0.3	350	11.1	300	9.5
<b>Djeffara :</b>	<b>4500</b>	<b>142</b>	<b>3566</b>	<b>112.4</b>	<b>1100</b>	<b>34.7</b>	<b>1100</b>	<b>34.7</b>
- Gabès	3800	120	3181	100.3	900	28.4	300	28.4
- Médenine	700	22	385	12.1	200	6.3	200	6.3
<b>TOTAL</b>	<b>19360</b>	<b>610.5</b>	<b>15969</b>	<b>503.4</b> (82 % RE)	<b>5425</b> (28 % REG)	<b>171</b>	<b>5000</b> (92 % REG)	<b>157.6</b>

nappes au cours de ces deux dernières décennies, il devient clair à la lumière de la cadence actuelle, que les disponibilités en eau à partir de ces nappes, seraient totalement mobilisées d'ici l'an 2000. Ceci est particulièrement le cas des deux nappes du Complexe Terminal et de la Djeffara dont la mobilisation des ressources connaît au stade actuel une certaine avance sur les prévisions.

Sur le plan géothermique, seule la nappe du **Continental Intercalaire** présente de larges disponibilités. En effet, sur ces ressources qui sont estimées à  $110,5.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ , cette nappe a près de 90 % de ses ressources ( $100,8.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ ) dont la température est supérieure à  $35^\circ\text{C}$ . Sur cet ensemble  $91,1\text{Mm}^3/\text{an}$  (90 %) sont déjà mobilisés dans l'Extrême Sud, la Nefzaoua, le Djerid et Chott Fedjej. Les disponibilités qui restent à mobiliser se situent dans l'Extrême Sud et au Djerid (**Tableau n° 4**).

L'eau de la nappe du **Complexe terminal** n'est utilisable pour un usage géothermique avec une température supérieure à  $35^\circ\text{C}$ , que dans l'extrémité orientale du Djerid (el Hamma-Sagdoud-Oued Séhili). Les ressources de cette nappe qui répondent à un tel usage sont estimées à près de 10 % de ses ressources exploitables ce qui revient à  $12,6.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ . Ces ressources géothermales sont actuellement quasi-mobilisées en totalité.

Dans le cas de la **nappe de la Djeffara**, la zone qui présente un certain intérêt géothermique est celle d'el Hamma-Chenchou. Les ressources de cette nappe répondant cet usage sont de l'ordre de 20 % des ses ressources exploitables qui s'élèvent à  $142.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ . Ceci fait une disponibilité en eau géothermique qui est de  $34,7.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$  et dont la mobilisation est pratiquement faite en totalité.

Ainsi, il se dégage pour l'ensemble des trois principales nappes du Sud tunisien, des potentialités en eaux géothermiques qui sont de l'ordre de  $171.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ . Ces ressources sont déjà mobilisées à d'autres usages agricoles et industriels à raison de 92 %.

Les potentialités des aquifères saumâtres du Permien, Trias et Jurassiques restent à évaluer. Leur utilisation se conçoit en tenant compte de la salinité excessive de leurs eaux dépassant généralement les 10 g/l.

## **RESSOURCES EN EAU GEOTHERMIQUES MOBILISEES :**

### **1- NAPPE DU CONTINENTAL INTERCALAIRE :**

La nappe du Continental intercalaire présente une extension qui déborde le cadre du Sud tunisien. Elle s'étend en Algérie et en Libye sur l'ensemble des bassins du Grand Erg Oriental, de l'Erg Occidental et de Marzouk-el Hamada el Hamra.

En Tunisie, cette nappe est reconnue en Extrême Sud, dans la Nefzaoua, le Djerid et le sillon des Chotts ainsi que sous le Dahar et en Djeffara-maritime. Son exploitation pose des problèmes liés à la forte pression artésienne et à l'effet corrosif de l'eau.

#### **1- Djerid :**

Sous le Djerid, la nappe du Continental intercalaire est à des profondeurs se situant entre -1400 et -2200 m (A. MAMOU, 1986). Les forages qui la captent sont ceux de Nefta, Tozeur, el Hamma et Dégache. Les ressources en eau de cette nappe sont estimées à 550 l/s. Mais comme les pressions de jaillissement sont faibles, l'exploitation de ces ressources est envisagée **par pompage**. Vu la nature chimique incrustante et corrosive de l'eau et sa température généralement élevée ( $65$  à  $75^\circ\text{C}$ ), les équipements de pompage doivent être choisis pour pouvoir résister à la corrosion (**Tableau n° 1**).

## **2- Nefzaoua :**

Le Continental Intercalaire de la Nefzaoua se présente sous forme de plusieurs niveaux aquifères superposés verticalement sur plus de 1000 m et séparés par des couches semi-imperméables. Les sables de Kebeur el Hadj se trouvant à la base, sont les plus productifs et la température de leur eau est la plus élevée (M. BEN MARZOUK, 1988, A. MAMOU, 1990).

Les forages captant ces sables ont des profondeurs variant entre -1800 et -2200 m. Les ressources en eau de cette nappe sont mobilisées à l'optimum dans la région de Nefzaoua. La pression artésienne relativement élevée (10 à 20 kg/cm<sup>2</sup>) est largement suffisante pour assurer l'exploitation de la nappe pendant 10 à 25 ans à venir (Tableau n°2).

## **3- Chott Fedjej :**

La région de Chott Fedjej est l'exutoire de la nappe du Continental intercalaire dans le Sud tunisien. Elle est captée entre -700 et -1800 m. La totalité des ressources de cette nappe sont mobilisées avec les forages existants. L'eau de la nappe est de nature incrustante et corrosive. Son exploitation se fait par artésianisme (Tableau n° 3).

## **4- Extrême Sud :**

La nappe du Continental intercalaire n'est jaillissante en Extrême Sud tunisien que sous les dunes du Grand Erg Oriental. (Ksar Rhilane, Garaet Ben Sabeur, El Borma, Ech Cheouech, Garaet Tebourt, etc...). Les forages ont des profondeurs variant entre 700 et 1100 m.

Dans cette aire où la température de l'eau est entre 35 et 60°C, l'exploitation de la nappe se fait par artésianisme. Les problèmes de la corrosion sont les plus répandus dans cette zone (Tableau n°4).

## **2- NAPPE DU COMPLEXE TERMINAL :**

### **1- Nefzaoua :**

La nappe du Complexe terminal de la Nefzaoua est largement captée par des forages dont la profondeur n'excède pas 450 m.

La température de l'eau y est généralement entre 21 et 28°C d'où le peu d'intérêt géothermique de cette zone (A.MAMOU, 1990).

Seule la région de Redjem Mâatoug où les calcaires sénoniens sont surmontés par les sables pontiens présentent des eaux dont des températures sont entre 26 et 28°C dans les sables et entre 29 et 33°C dans les calcaires (R.S:5 à 6 g/l).

### **2- Djerid-Gafsa :**

Les eaux du Complexe terminal du Djerid proprement dit sont à une température qui est entre 30 et 34°C. Dans cette zone les captages n'excèdent pas 700 m de profondeur (A. MAMOU, 1990).

Sous la rive nord de Chott el Gharsa, la nappe du Complexe terminal est à des profondeurs qui varient entre 700 et 1200 m. La température de l'eau y évolue en parallèle entre 40 et 51°C (Tableau n°5).

**Tableau n° 1 : Ressources en eau géothermale mobilisées****à partir du C.I. du Djérid**

Nappe	Forage	N° IRH	Profondeur Totale	Captage de...A....	Débit d'exploit. en l/s	N.P. en m	R.S. (g/l)	Tempér. (°C)	Observations
C	Nefta CI1	19084/5	2154	2068-2122	12	-	3,49	72°	Equipé, exploité (agricole)
O	Nefta CI2	19227/5	2645	2326-2584	15	+0,5	2,94	76°	exploité, artésien (agricole)
N	Tozeur CI1	19162/5	2002	1778-1894	22	+2,0	3,6	67°	"
T	Tozeur CI2	19224/5	2204	1755-1877	18	+12	3,6	68°	equipé, exploité (agricole)
.	Tozeur CI3	19225/5	2286	1856-2002	13	+20	2,45	72°	Exploité, artésien (agricole)
I	Hamma CI1	19200/5	1700	1444-1550	36	-	2,6	70,5°	"
I	Hamma CI2	19233/5	1608	1469-1596	40	+26	2,04	71°	"
N	Hamma CI3	19396/5	1700	1517-1607	40	+33	2,9	71°	"
T	Dégache CI1	19039/5	1445	1370-1430	30	-	2,22	75°	"
E	Dégache CI2	19230/5	1702	1337-1485	15	-	2,32	-	Non exploité, à équiper
R	Dégache CI3	19231/5	1805	1327-1448	30	+39,5	2,4	71°	Exploité, artésien (agricole)
					271 l/s				

Source : Arrondissement des Ressources en Eau à Tozeur

**Tableau n° 2 : Ressources en eau géothermale mobilisées à****partir du C.I. de la Nefzaoua**

NAPPE	FORAGE	N°IRH	PROF Totale (m)	CAPTAGE DE ... A ... (m)	DEBIT D'EXPL l/s	N.P/TN (m)	R.S (g/l)	TEMP (°C)	OBSERVATIONS
	BOUABDELLAH CI 1	19157	1420	930 - 1093	17	20,8	2,8	46	A Equip. (Agri)
	TAOURGHA CI 2	19199	1400	900,1- 1098,5	27	38,6	2,3	46	A Equip. "
	MANSOURA CI 3	19140	2200	1700- 1904	35	56,5	3,0	52	A Equip. "
	Zt.CHOURFA CI 4	19304	2200	2042- 2190	90	205,0	2,4	70	Exploité "
	ZOUAIA CI 5	19348	2229	2052,8- 2214,8	90	212,2	2,6	71	Exploité "
	MENCHIA CI 6	19412	2310	2177,8- 2304	85	202,3	2,44	71	Exploité "
	SEFTIMI CI 7	19452	1987	1666- 1786	70	178,5	2,5	72,5	Exploité "
	LIMAGUESS CI 8	19394	1752	1568- 1730	70	152,9	2,3	72,5	Exploité "
	EL BEHAIER CI 9	19484	1621	1268- 1400	70	137,3	2,66	68	Exploité "
	KEBILI CI 10	19400	2580	2286,8- 2557,89	85	176	2,4	66	Exploité "
	JEMMA CI 11	19468	2162	1928- 2078	70	217,2	2,88	59	Exploité "
	DOUZ CI 12	19450	2080	1826- 1994	70	198,2	4,2	53	Exploité "
	SAIDANE	19272	800	714,5- 744,5	25	73,5	2,9	55,6	Exploité "
	KSAR GHILANE 2	7810	675	628- 675	65	-	4,5	43	A boucher
	KSAR GHILANE 3b	19009	680	625,5- 667	80	69	4,5	43	Exploité (Agri)
	MENCHIA	9346	1496	568- 575	8	-	5,5	45	A boucher
	SEFTIMI 1	7305	1204	638- 670	14	-	4,3	45	Exploité (Agri)
	SEFTIMI 3	7283b	1012	930- 1000	12	-	3,1	46	Exploité (Agri)
	LIMAGUESS	16729	890	542- 578	15	-	2,8	42	Exploité "
	OUM EL FARETH 2	5918	904,5	480- 660,4	45	-	3,3	41	Exploite "
	MZRAA NEJI 3t	5821t	651,5	387,4- 451,2	42	-	4,7	37	Exploite "
					1085				

Source : Arrondissement des Ressources en Eau à Kébili

**Tableau n° 3 : Ressources en eau géothermale mobilisées  
à partir du C.I. du Chott Fedjej (Gabès)**

Nappe	Forage	N°IRH	Prof. totale	Captage de...à...m	Débit d'exploitation (l/s)	N.S (m)	R.S (g/l)	Tempér. (°C)	Observations
	CF 1 Bis	19190	865	728-836	60	+ 94,50	2,780	66°	Exp.AIC Kebayet
	CF 2	5950	1324	940-1036	50	+140	2,700	68°	Exp.AIC Guelb Dokhane
	CF 2 Bis	19482	1103	968-1070	70	+ 87,3	2,700	69°	Exp.AIC Ben Ghilouf
	CF 3 Bis	19175	860	710-836	135	+ 93,05	3,080	66°	Exp.AIC Béchima II
	CF F1	18695	872	720-816	150	+101,85	2,700	67,5°	Exp.SONEDE
	CF F2	18686	890	744-846	150	+106,9	2,900	66°	Exp.SONEDE
	CF F3	18697	949	856-949	150	+ 91,0	2,940	67°	Exp.SONEDE
	CF 9	18699	900	791-880	150	+ 75,75	3,800	65,5°	Exp.SONEDE
	CF 8	18698	861	799-846	90	+ 88,3	2,940	63°	Exp.SONEDE
	CF 10	18700	884	735-852	150	+ 80,85	3,420	65°	Exp.SONEDE
					1050 l/s				

Source: Arrondissement des Ressources en Eau à Gabès

**Tableau n° 4 : Ressources en eau géothermale mobilisées  
à partir du C.I. de l'Extrême Sud tunisien (Tataouine)**

Nappe	Forage	N°IRH	Prof. total (m)	Captage de...à...m	Débit d'exploitation (l/s)	N.S (m)	R.S (g/l)	Tempér. (°C)	Observations
	Tiazet	-	920m	805-818	40	-37,5	0,9	40°	Non exploité
	Blir Zar	19504/5	963m	680-806	30	-71,6	1,94	36°	Non exploité
	Borina 8				26	+55,0	-	+35°	Exp SITEP
O	Borina 202				21	+68,0			Exp SITEP
N	Borina 203				21	+60,4			Exp SITEP
T	Borina 204				25	+67,4			Exp SITEP
I	Borina 205				21	+71			Exp SITEP
N	Borina 206				30	Art.			Exploité
	Borina 207				56	Art.			Exp SITEP
I	Borina 208				14	Art.			Exp SITEP
N	Borina 209				44	Art.			Exp SITEP
T	Borina 210				15				Non exploité
E	Borina 211				36	Art.			Exp SITEP
R	Borina 212				47				Exp SITEP
C	El Mzar	19746/5	481m	400-472	20	-57,0	7,48	37°,8	Non exploité
					446 l/s				

Source : Arrondissement des Ressources en Eau à Tataouine

**Tableau n° 5 : Ressources en eau géothermale mobilisées  
à partir du C.T. de Gafsa-Djerid**

Nappe	Forage	N° IRH	Profondeur Totale	Captage de...à....	Débit d'exploit. en l/s	N.P. en m	R.S. (g/l)	Tempér. (°C)	Observations
C	Dhabria CT1	19242/5	1306m	1081-1174	30	-	4,05	51°	Exploité, artésien, (agricole)
	Dhabria CT2	19270/5	1291m	1064-1226	27,5	-	3,1	51°	Exploité, artésien, (agricole)
	Dhabria CT3	19330/5	1297m	1052-1203	30	-	3,1	50°	Exploité, artésien, (agricole)
T	Oudia CT1	-	855m	672-762	Vanné	-	2,6	45	Vanné à équiper (agricole)
					87,5 l/s				
	Segdoud CT1	19269/5	1279m	935-1015	50	- 3	4,5	42°	Exp.Agricole
	Segdoud CT2	19426/5	1305m	946-1036	50	+20	4,5	42°	Exp.Agricole
	Segdoud CT3	19491/5	1074m	884-973	50	+ 5,5	4,5	42°	Exp.Ag.à remp.ensablé
	O.Shili(5)	19392/5	858m	674-812	50	- 2	4,0	38°	Exp.Agricole
	Neggazz	19761/5	903m	674-776	50	+ 4,8	3,5	38°	N'est pas exp.PDRI
	Gouifla 6	19055/5	678m	557-632	80	- 9,0	6,5	35°	Exp.CPG (industrie)
	Gouifla 7	19716/5	653m	539-639	100	-20,0	6,5	35°	Exp.CPG ( " " )
	Gouifla 8	19717/5	664m	520-614	100	- 2,0	6,5	35°	Exp.CPG ( " " )
					530 l/s				
Gafsa Nord	Lala P1	19444/5	700m	409-654	10	+10,0	3,0	35°	Non exp(Oasis agricole)
	O.Segui 1	19738/5	710m	566-671	80	-47,0	7,0	35°	Non exp.CPG (C.F.G)
					90 l/s				

Source : Arrondissements des Ressources en Eau à Gafsa et à Tozeur



### **3- NAPPE DE LA DJEFFARA :**

#### **1- Région de Gabès :**

La nappe de la Djeffara de la région de Gabès présente des eaux dont la température est généralement entre **21** et **29°C** à l'exception de la région de Chenchou-el Hamma où l'influence de l'alimentation à partir du Continental intercalaire se fait sentir avec des températures variant entre **37** et **60°C**.

Dans cette région, les captages se font à moins de **300 m** de profondeur et les potentialités géothermiques sont relativement élevées dans la mesure où c'est conçu comme une utilisation secondaire de l'eau (Tableau n°6).

### **4- NAPPE DU CRETACE INFÉRIEUR DE LA TUNISIE CENTRALE :**

Cette nappe reconnue à Souinia, Kharrouba, Hassi el Frid et el Guettar, se présente avec un aquifère dont le captage est entre **-1300** et **-1800 m**. La piézométrie de la nappe indique un écoulement vers le seuil de Gafsa. La température de l'eau varie entre **39** et **51°C** suivant la profondeur de captage. Cette nappe est appelée à faire l'objet d'une reconnaissance plus poussée.

### **5- NAPPE DU ZEBBAG INFÉRIEUR DE MEKNASSY :**

Cette nappe est reconnue par les deux forages de **Kharrouba Zi** (N° 19501/5) et de **Rabta** (N° IRH 19588/5).

Captée entre **-480** et **-540 m**, cette nappe présente une eau dont la température oscille entre **37** et **40°C**.

D'une extension encore non délimitée, cette nappe mérite d'être reconnue plus amplement dans les gouvernorats de Sidi Bouzid, de Gafsa et de Kasserine (Tableau n°7).

**Tableau n° 6 : Ressources en eau géothermale mobilisées à  
partir du C.T. d'El Hamma-Chenchou (Gabès)**

Nappe	Forage	N°IRH	Prof. totale	Captage de...à...m	Débit d'exploitation (l/s)	N.S (m)	R.S (g/l)	Tempér. (°C)	Observations
	El Hamma Sud2	19648	404	90-128	50	- 10,15	3,200	60°	Projet Géothermie (Equip.en cours d'installation) Oasis El Hamma
	El Hamma 2Bis	19086	49	202-230 44-49,5	50	- 1,76	3,520	39,5°	
	El Ham.SONEDE	13553	152,5	120-152	35	- 3,90	3,180	41°	SONEDE
	Tekouri 2	19610	45	17-28	20	- 12,94	3,660	37°	AIC Tekouri
	Chenchou 1	6870	53,13	19,40-53	30	- 20,53	3,080	56°	AIC Chenchou 1
	Chenchou 4Bis	19361	100	41,5-100	100	- 30,5	3,120	50°	O.E.P
	Chenchou 9	13445	47	33-47	105	- 18,89	3,980	40,5°	O.E.P
	Chenchou 16	19142	101	40-101	80	- 34	3,260	53°	Projet Géothermie
	Chenchou 14	18652	93	19-41	75	- 22,00	3,080	41°	SONEDE
	Chenchou 15	18683	95	40-90	75	- 23,00	3,180	41°	SONEDE
	ElHam.M'zirâa	18953	600	517-600	40	- 6,20	3,780	50°	AIC M'zirâa
					660 l/s				

Source : Arrondissement des Ressources en Eau à Gabès

**Tableau n° 7 : Ressources en eau géothermale mobilisées à partir  
du Crétacé Inférieur de la Tunisie Centrale**

Nappe	Forage	N°IRH	Prof. total	Captage de...à...m	Débit d'exploitation (l/s)	N.S (m)	R.S (g/l)	Tempér. (°C)	Observations
BRAGUA	Rabta	19588/5	667	488-529m	20	120	2,9	37°	
					20 l/s				
MAKNASSY	Kharrouba CI	19373/5	1296	920-1072m	50	Artésien	3,3	51°	Crét.lnf
	Kharrouba ZI	19501/5	537	499-537m	90	Artésien	4,3	40°	Zeb. Inf
					140 l/s				
OUED HADJEL	Od Farhane	18962/4	940	825-903m	40	36,5	3,9	49°	
					40 l/s				

Source : Arrondissement des Ressources en Eau à Sidi Bouzid

**BIBLIOGRAPHIE**

**A.M.E. (1991- 92) :** Projet Géothermie du Nord. Rapports d'activité ( Mars 1991- Janvier 1992)

**AGIP-ETAP, DRE (1986) :** Etude d'évaluation du potentiel géothermique tunisien basse enthalpie.

Ministère de l'Energie et des Mines-Tunis, 152 p. 12 Annexes, planches.

**H. BEN DHIA (1983) :** Les provinces géothermiques en Tunisie. potentialités géothermiques de la Tunisie méridionale.

Thèse d'Etat Es Sciences, soutenue le 30/11/83 à l'Université de Bordeaux I, 196 p. Annexes.

**H. BEN DHIA (1987) :** The geothermal gradient map of Central Tunisia comparison with structural gravimetric and petroleum data.

Amsterdam-tectonophysics, 142 (1987), pp.99-109.

**M. BEN MARZOUK (1988) :** La nappe du Continental intercalaire au niveau de la Nefzaoua.

DRE-Tunis, Fév. 1988, 53 p. Annexes

**W. BESBES (1991) :** Rapport sur les eaux d'exhaures des mines du Nord, LHG/PGN : 1/91, Juillet 1991, 21 p.

**A. DJELLOULI & Z. KALLAL (1972) :** Eléments d'hydrologie tunisienne. Tunis. 1972, 60p.

**A. MAMOU (1986) :** La nappe du Continental intercalaire au niveau du Djérid.

DRE-Tunis, Avril 1986, 46 p. 15 fig. Annexes.

**A. MAMOU & A. AZZOUZ (1989) :** La reconnaissance hydrogéologique de la nappe du Crétacé inférieur dans la région d'el Guettar-Gafsa.

DGRE-Tunis, Mars 1989, 31 p.

**A. MAMOU (1990) :** Caractéristiques et évaluation des ressources en eau du Sud tunisien.

Thèse Es-Sciences, Univ. Orsay, Juin 1990, 414 p.

**A. MRABET (1981) :** Stratigraphie, sédimentation et diagenèse carbonatée des séries du Crétacé inférieur en Tunisie Centrale.

Thèse Es Sciences-ORSAY-Paris, Oct. 1981, 540 p.

**S.C.E.T. (1965) :** Etude d'aménagement de la station thermale de Korbous.

S.C.E.T.-Tunis, 1965.

**A. SOLIGNAC (1927) :** Sources thermo-minérales de la Tunisie ( 1er fascicule.: Régions de Gabès et Tunis).

T.P., 1927, 54 p.

**F. ZARGOUNI (1986) :** Tectonique de l'Atlas méridional de Tunisie. Evolution géométrique et cinématique des structures en zone de cisaillement INRST-Tunis.

Rev. des Sci. de la Terre, Vo. n° 3, 304 p. 115 Fig.

Thèse Doctorat es Sc. Univ. de Strasbourg.



**MESURES A DIFFERENTES PROFONDEURS  
DE LA TEMPERATURE ET DE LA SALINITE DE L'EAU  
DES NAPPES PHREATIQUES DU GOUVERNORAT DE MONASTIR**

A. MAMOU  
R. AMRI

**RESUME**

Cette étude est le résultat d'une experimentation dont l'objectif est de caractériser les nappes phréatiques à travers la mesure de la conductivité et de la température de leurs eaux à différentes profondeurs dans les puits qui les exploitent.

Une première tentative a été faite dans ce sens sur les nappes phréatiques du gouvernorat de Monastir qui sont souvent des entités hydrogéologiques alluvionnaires correspondant au niveau aquifère supérieur d'un système multicouche.

Les mesures à différentes profondeurs, de la conductivité de l'eau ont permis de mettre en évidence la stratification saline quand elle existe et d'avancer certaines hypothèses sur l'origine de la contamination de la nappe. D'autre part, les mesures de la température de l'eau ont permis de préciser la zone de l'hétérothermie et les cas où on soupçonne une arrivée d'eau profonde.

**1- INTRODUCTION :**

La région de Monastir fait partie du Sahel côtier, les terrains géologiques rencontrés en affleurement sont rattachés au Miocene et au Plio-Quaternaire.

**Le Miocène** est essentiellement sableux avec les intercalations marneuses et argileuses. L'épaisseur de ces dépôts dépasse au niveau de la zone de Zeramdine-Béni Hassen, les 600 m.

**Le Plio-Quaternaire** couvre les différents bassins d'effondrement de la région. Il est constitué de dépôts argileux au sein desquels s'intercalent des passées sableuses.

Du point de vue hydrogéologique, aussi bien le Miocene que le Plio-Quaternaire renferment des **nappes phréatiques qui sont les principaux aquifères de la région.**

Exceptée la **nappe de Zeramdine-Béni Hassen** logée dans les dépôts sableux du Miocène, les autres nappes du gouvernorat de Monastir sont souvent avec des eaux relativement chargées en sels. Ceci résulte de la nature lithologique des formations aquifères à tendance argileuse et de la proximité de la mer qui en se retirant au Quaternaire ancien, a laissé plusieurs sebkhas et marais sur le littoral.

**La multiplication des créations** en puits dont la salinité de l'eau est acceptable, la **tranche d'eau** est insuffisante pour permettre une exploitation agricole.

Cette situation incite les propriétaires des puits à les surcreuser avec **des sondages à bras** afin d'atteindre d'autres aquifères plus profonds. Cette opération se solde souvent, par des résultats peu satisfaisants du fait que l'eau qui sort du sondage est aussi chargée en sels que celle de la nappe phréatique.

Il a été constaté dans certains puits que la salinité de l'eau augmente de haut en bas en passant de moins de **2 g/l** à plus de **10 g/l**. Une telle variation de salinité au sein de la même nappe, fait que l'approfondissement des puits n'est d'une certaine utilité que jusqu'à une certaine cote au delà de laquelle l'eau puisée devient saumâtre.

De telles variations de la salinité de l'eau au sein de la même nappe, demandent à être élucidées. C'est ce qui a été tenté à travers les mesures de conductivité et de température de l'eau qu'on a réussi à réaliser à différentes profondeurs dans certains puits de la région (Fig. n°1)

Deux nappes phréatiques parmi celles exploitées dans le gouvernorat de Monastir ont fait l'objet de ces mesures ; ce sont celles de **Sahline** et de **Moknine**.

## **2- MESURES DANS DES PUIITS CAPTANT LA NAPPE DE SAHLINE :**

Les puits qui captent la nappe de Sahline présentent généralement une profondeur totale variant entre quelques mètres et 20 m. Ces puits traversent souvent avant d'arriver jusqu'à la nappe, les formations suivantes:

- **un niveau à limons récents** dont l'épaisseur n'excède pas un mètre,
- **une croûte calcaire feuilletée** avec des éléments noduleux et qui sont à différents stades de leur évolution pédogénétique: l'épaisseur de cette croûte est souvent inférieure à 3 m.
- **un niveau argileux** très peu détritique qui englobe certaines alternances d'argiles endurées ; ce niveau présente une épaisseur qui varie de quelques mètres à plus de 15 m.

Les deux puits sur lesquels ont été réalisées les mesures de température et de conductivité à différentes profondeurs au sein de cette nappe, sont :

### **2-1 Puits Hassen el Mensi :**

Ce puits dont la profondeur totale est de **8,4 m**, présente une tranche d'eau entre **-8,4** et **-6,3 m (Figure n° 1bis)**. Les mesures de conductivité réalisées tous les 50 cm, affichent, jusqu'à la profondeur de **-8,0 m**, une constance nette qui indique une eau à salinité homogène sans stratification. De **-8,0** à **-8,4 m**, la conductivité de l'eau accuse une augmentation sensible qui se traduit par l'augmentation de la salinité de **3.0** à **4.0 g/l**

Les mesures de la température de l'eau dans ce puits, montrent en surface des valeurs de l'ordre de **16.4°C**. Cette température reste quasi-constante jusqu'à la profondeur de **- 8 m**. A **-8,4 m**, elle atteint la valeur de **18.4°C**. Cette variation de température qui est de **2.0°C** sur **0,4 m** de profondeur, indique une arrivée d'eau profonde plus chaude que celle de la nappe phréatique captée par la partie supérieure du puits.

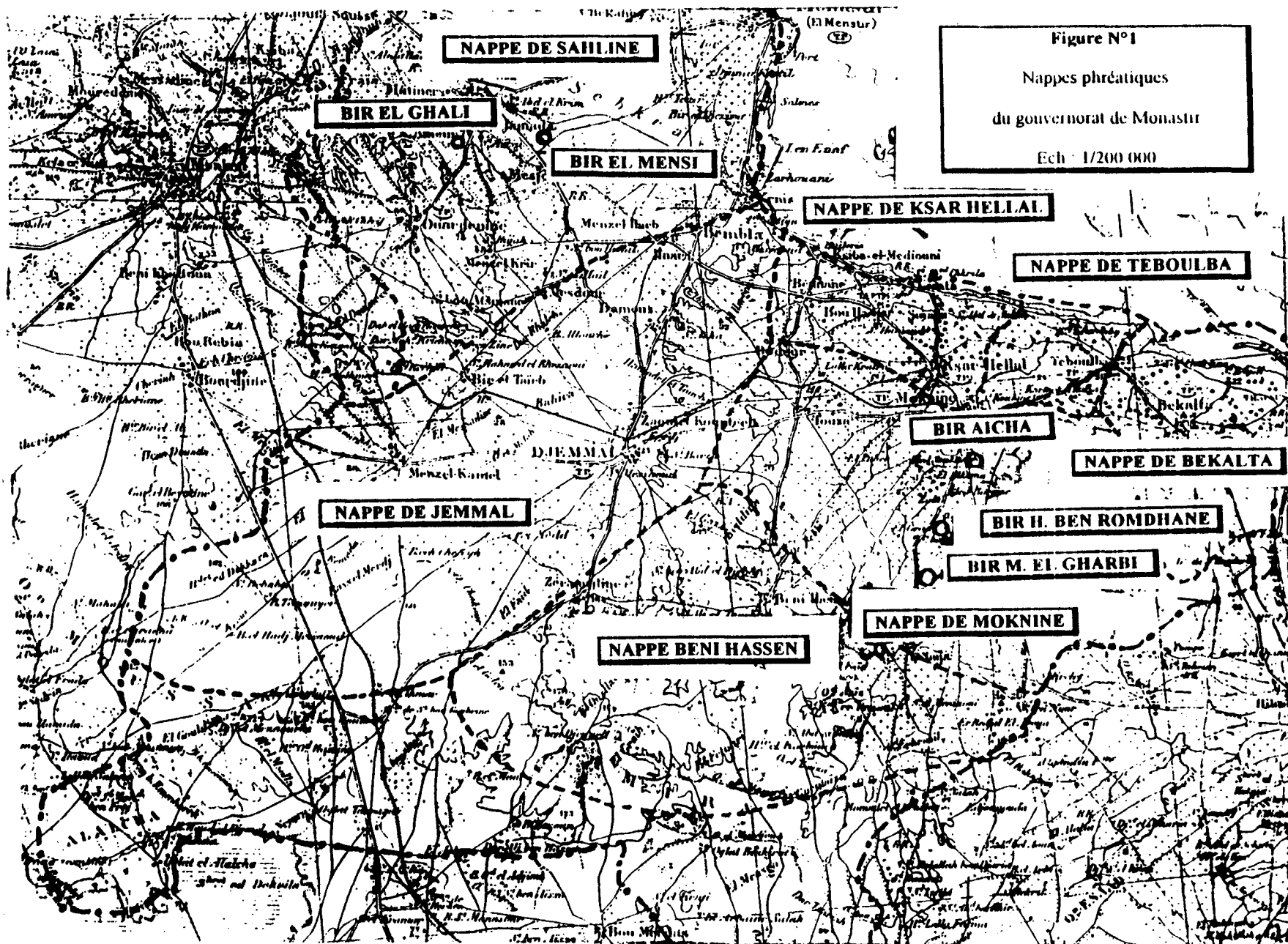
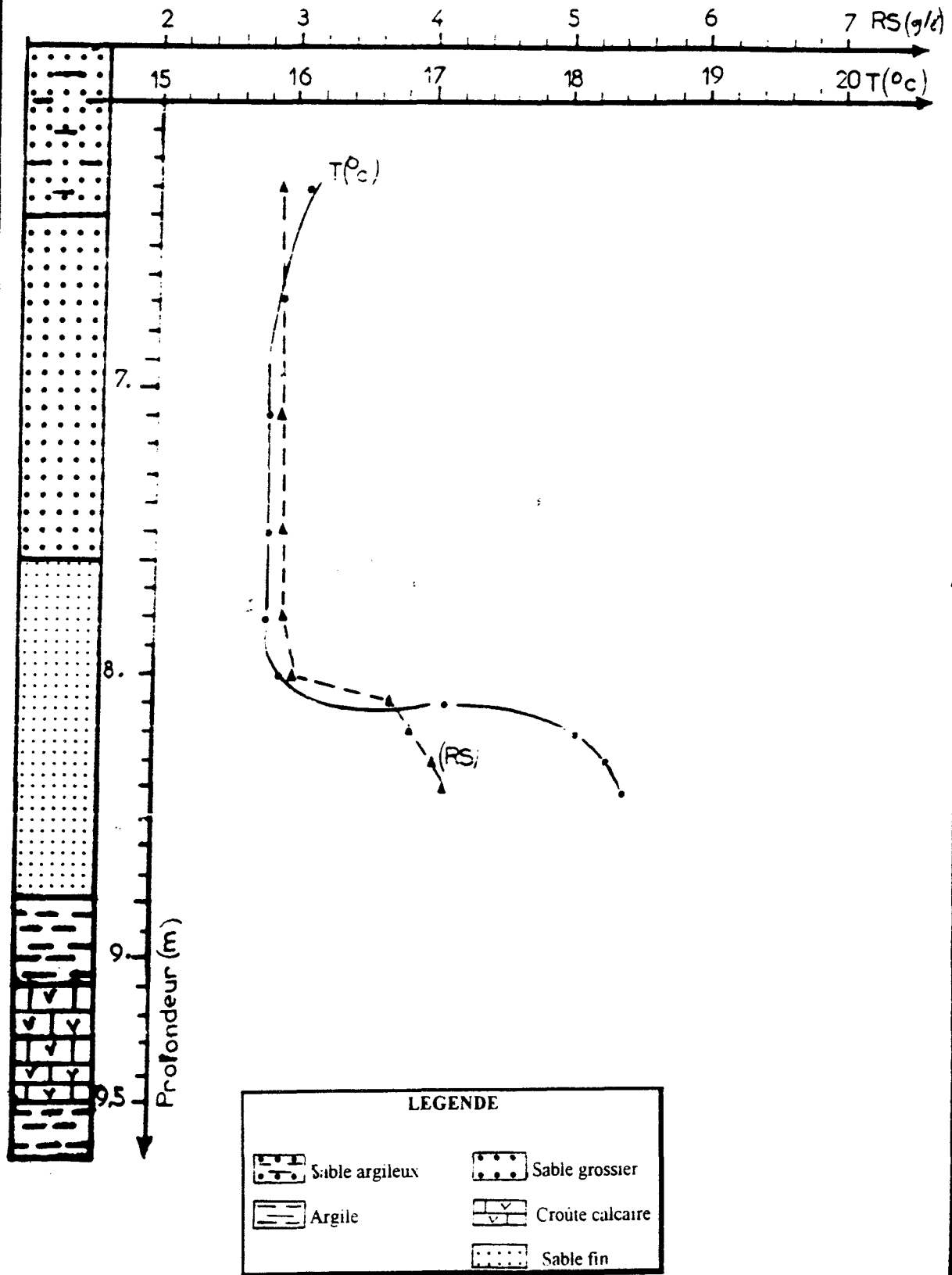


Figure N°10

B HASSEN EL MENSI  
(SAHLINE)

NS 43 m PT 84 m





### **2-2 Puits Bir el Ghali :**

Ce puits qui se situe à l'amont du précédent, présente de ce fait, un niveau statique plus profond (NS : -13,8 m). Sa profondeur totale est de **21,0 m**. Il a une tranche d'eau qui est de 7,2 m. Les formations captées par ce puits sont similaires à celles décrites précédemment (**Figure n° 2**).

Les mesures de la conductivité de l'eau dans ce puits, à différentes profondeurs, montrent entre la surface piézométrique et le fond, de faibles variations n'excédant pas les **0,1 g/l**. Avec une salinité qui est de l'ordre de **4,8 g/l**. L'eau de ce puits semble appartenir à la même nappe phréatique.

De même les mesures de températures de l'eau n'accusent que de faibles variations entre **21,0°C** et **21,3°C** qui confirme l'hypothèse que ce puits capte une seule nappe.

**Il en résulte que dans la région de Sahline, les puits de surface captent par endroits, deux niveaux aquifères distincts dont le plus profond semble donner une eau dont l'origine est à plus de 100 m de profondeur. Ce niveau aquifère contribue avec une eau dont la salinité est de l'ordre de 6 g/l.**

**Le premier niveau aquifère correspondant à la nappe phréatique est le plus important mais il présente une eau relativement salée.**

### **3- MESURES DANS DES PUIITS CAPTANT LA NAPPE DE MOKNINE :**

Dans la région de Moknine, la nappe phréatique est captée par des puits de surface qui traversent depuis la surface **une formation argilo-sableuse** qui est surmontée par un niveau argilo-détritique à limoneux contenant du gypse. Ainsi, cette zone se caractérise par la disparition de la croûte calcaire observée dans la région de Sahline. Les puits sont de même ordre de profondeur et captent un niveau sableux situé à la base de l'unité argileuse précédemment décrite.

Trois puits ont été choisis dans cette région pour mesurer à différentes profondeurs, la température de l'eau et sa conductivité. Il s'agit des puits Bir Aïcha, Mahjoub Gharbi et Hédi Ben Romdhane.

#### **3-1 Puits Bir Aïcha :**

Le puits de Bir Aïcha présente une profondeur qui n'excède pas **4,5 m**. Le niveau statique de la nappe est à **-3,0 m** de la surface du sol (**Fig.n° 3**).

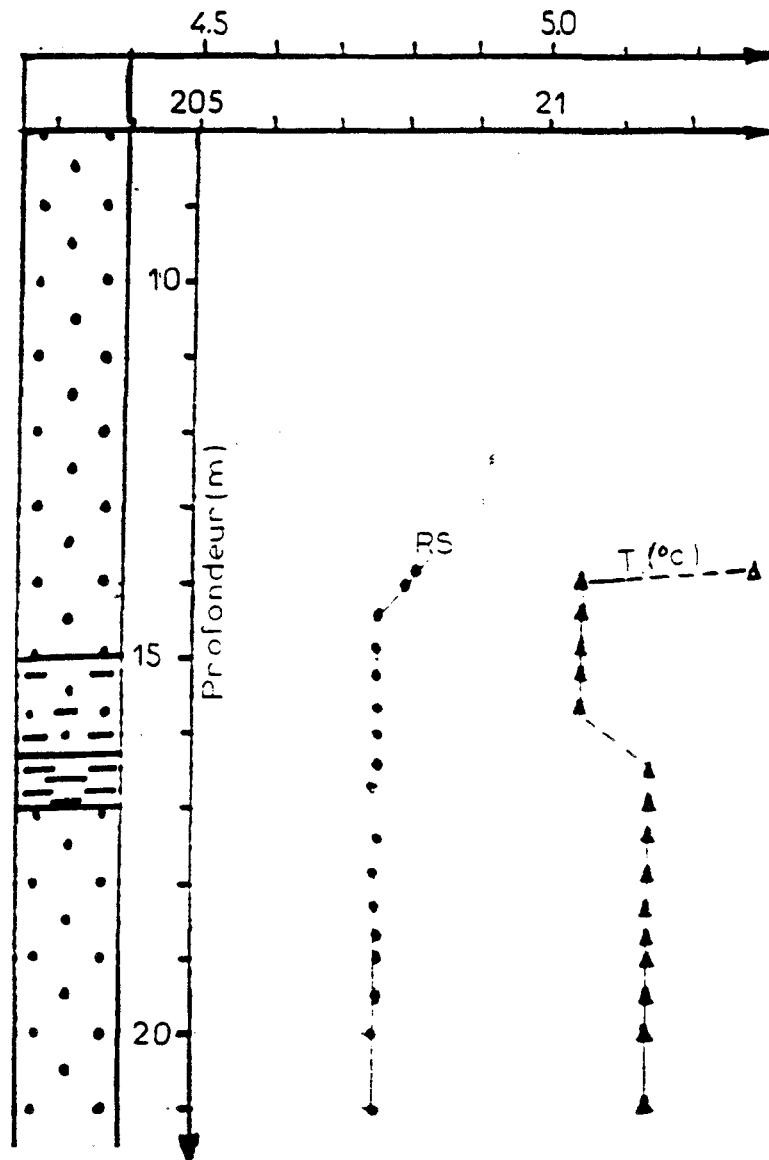
**Les variations de la salinité de l'eau s'y avèrent jusqu'au fond de puits, très peu sensibles ce qui dénote la présence d'une nappe unique et homogène.**

La température de l'eau y montre par contre, une nette variation tout près de la surface piézométrique de la nappe. Elle est ainsi de **19,3°C** en surface et décroît jusqu'à **16,3°C** à **-3,8m** de profondeur. Plus en profondeur, la température de l'eau devient quasi-constante aux alentours de **16,4°C**.

Fig N° 2

P. BIREL GHALI  
(SAHLINE)

NS 138 m/TN PT 21 m



## LEGENDE



Sables grossier



Argile sableuse

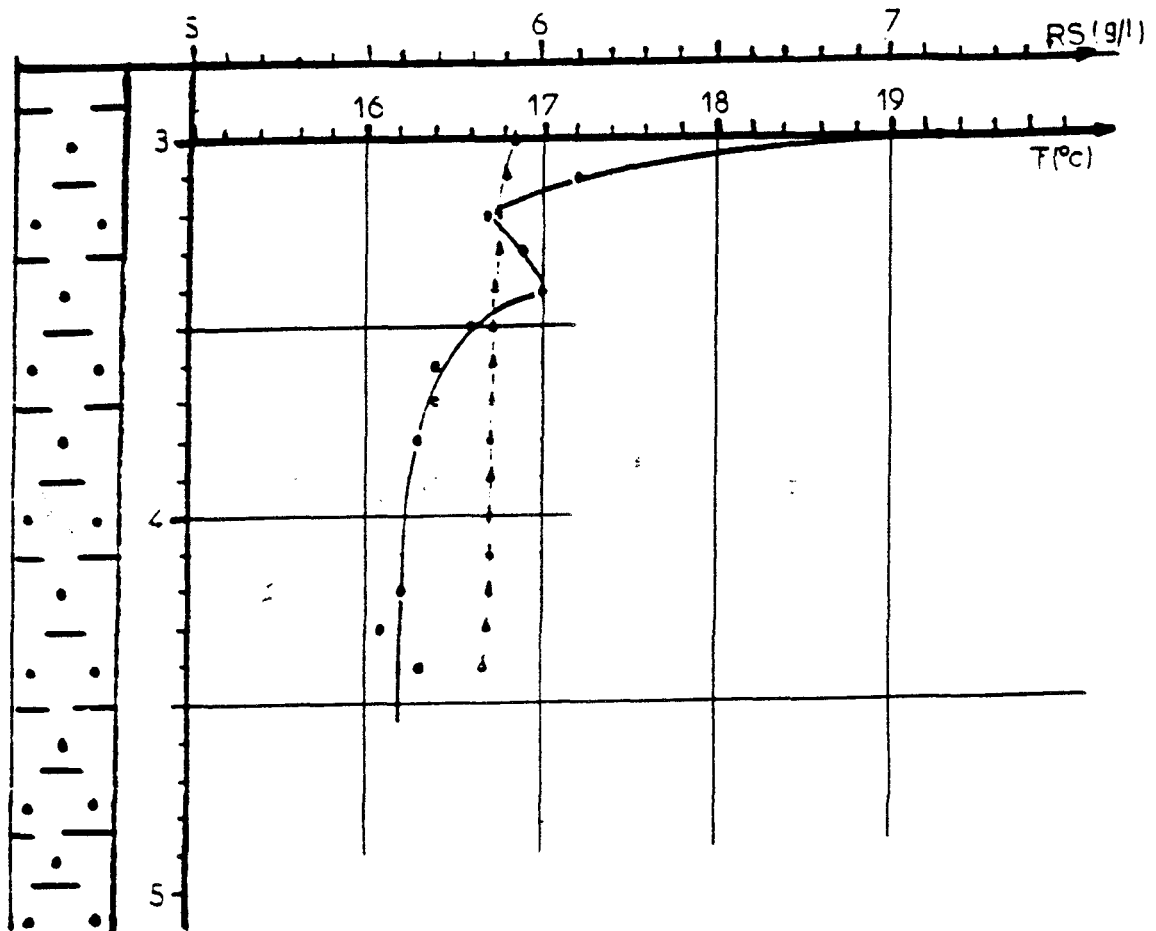


Argilite

Fig N° 3

P BIR AICHA  
(MOKNINE)

NS -3 m PT 11 m



## LEGENDE

Argile sabieuse

La constante de la salinité de l'eau indique son homogénéité au sein de la nappe. La variation de la température à proximité de la surface piézométrique met en évidence le **phénomène d'hétérothermie** que reflètent les eaux des nappes soumises aux variations superficielles des températures.

Au niveau de ce puits, la nappe s'alimente essentiellement à partir de l'infiltration et reflète les caractéristiques d'une nappe phréatique homogène.

### **3-2 Puits Mahjoub el Gharbi :**

Le puits de Mahjoub el Gharbi présente une profondeur totale de **10,4 m** avec une surface piézométrique qui se situe à **-8,1 m** de la surface du sol (**Fig.n° 4**).

Les variations de la température de l'eau dans ce puits sont pratiquement insensibles à plus de **1,0 m** de la surface piézométrique. Ainsi donc, **la zone d'hétérothermie est relativement réduite et ne dénote qu'une faible influence de la température de l'air sur celle de l'eau de la nappe.**

Les variations de la salinité de l'eau se limitent elles aussi à la zone d'hétérothermie. Plus en profondeur, la salinité de l'eau devient homogène et stable.

Ce phénomène dénote une origine superficielle de la salinisation de l'eau de cette nappe ce qui peut être expliqué par l'un des deux phénomènes suivants :

- l'apport en eau superficielle de drainage ou d'origine domestique,
- l'évaporation qui finit par concentrer les sels dissous à proximité de la surface du sol et dont le lessivage à l'occasion des pluies, les entraînent jusqu'à la nappe.

**Il en résulte que la nappe de Moknine est monocouche au niveau de ce puits et qu'elle s'alimente à partir de l'infiltration.**

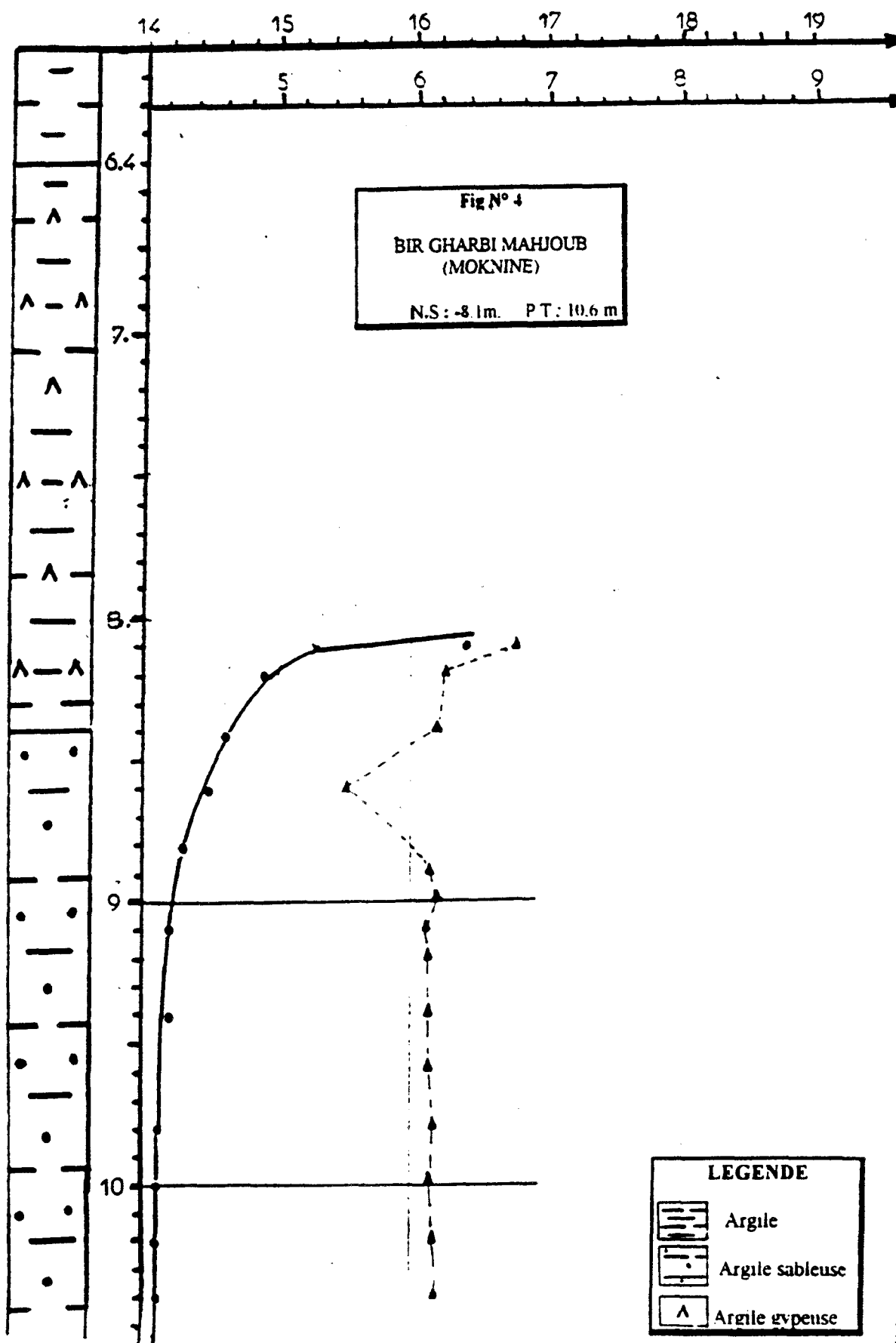
### **3-3 Puits Hédi Ben Romdhane :**

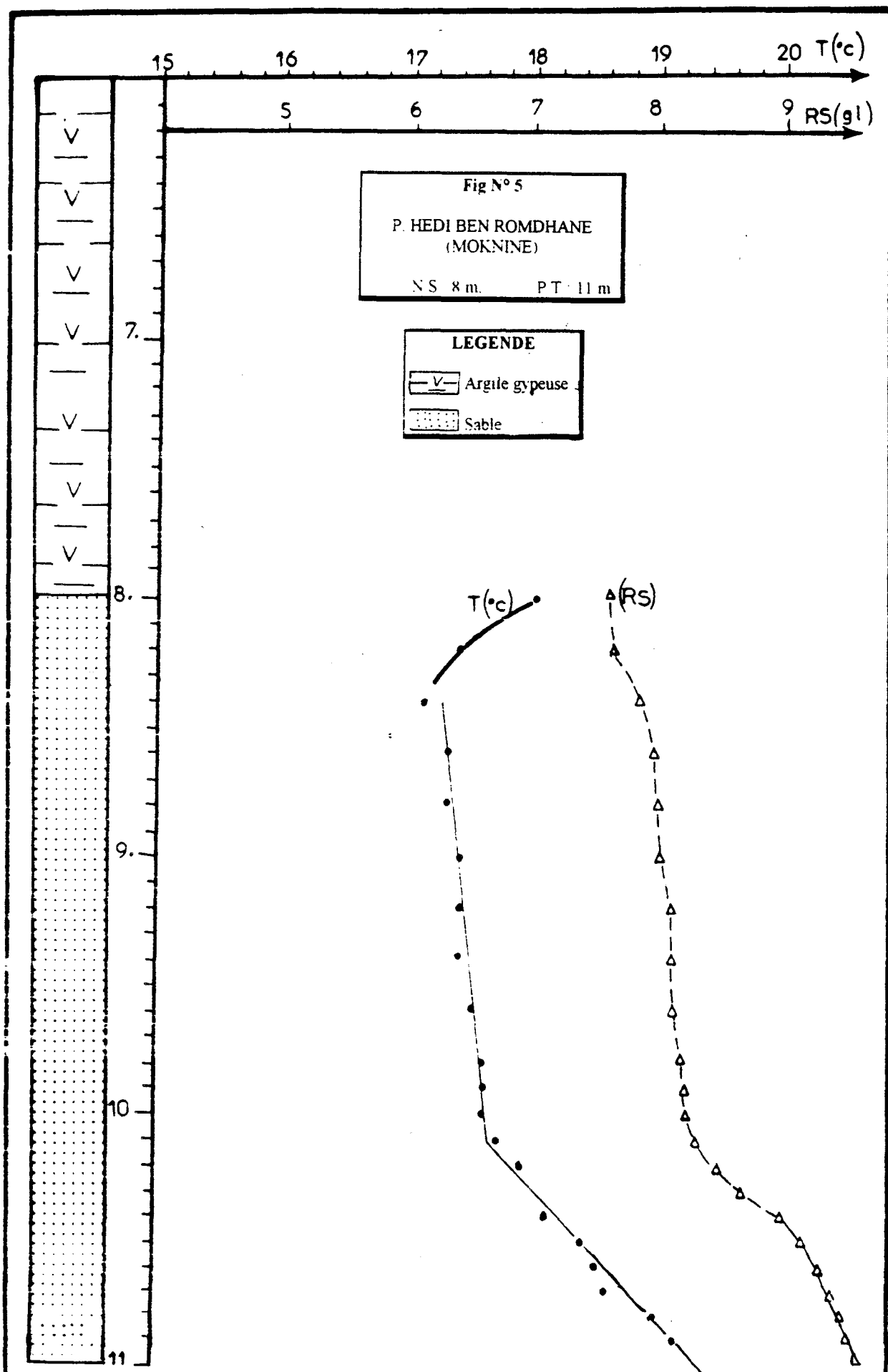
Ce puits dont la profondeur totale est de **11,0 m**, présente une surface piézométrique qui se situe à **-8,0m** de la surface du sol (**Fig.n° 5**). La variation de la température de l'eau dans ce puits reflète trois zones verticales qui sont :

- de **8,0 à -8,4 m** : zone d'hétérothermie superficielle,
- de **-8,4 à -10,2 m** : zone de mélange des eaux superficielles et des eaux profondes,
- de **-10,2 à -11,0 m** : zone d'apport d'eau profonde.

Ces variations de température permettent d'en déduire qu'au niveau de ce puits, deux niveaux aquifères sont captés. Le premier niveau aquifère est d'origine phréatique ; il présente une épaisseur qui est de l'ordre de **2 m**. Le deuxième niveau aquifère situé en profondeur, semble avoir une origine de plus de **100 m** de profondeur.

Les variations de la salinité de l'eau sont similaires dans ce puits, à celle de sa température ce qui confirme **la stratification de l'aquifère en bicouche**. Le niveau aquifère profond contribue avec une eau dont la salinité est de l'ordre de **10 g/l** tandis que l'aquifère phréatique donne une eau dont la salinité est à l'origine, de l'ordre de **7 g/l**.





Ainsi donc, dans la région de Moknine le réservoir aquifère de la nappe phréatique se présente suivant les endroits, soit en monocouche soit en bicouche. Dans le premier cas, la nappe reflète des caractéristiques homogènes tant pour la température de l'eau que pour sa salinité. Dans le deuxième cas, le niveau aquifère inférieur présente une origine profonde et contribue avec une eau de salinité plus élevée. Cette configuration est de nature à favoriser l'augmentation progressive de la salinité de la nappe à l'occasion de l'intensification de son exploitation.

#### **4- CONCLUSION :**

Les mesures de salinités et de températures de l'eau effectuées à différentes profondeurs dans des puits captant les deux nappes phréatiques de **Sahline** et de **Moknine**, ont permis de mieux expliquer la configuration de la géométrie de ces nappes dont la stratification des couches était auparavant, peu différenciée. Elles ont permis également de localiser les secteurs où la nappe est monocouche et les zones où elle est bicouche. La mise en évidence de stratifications thermiques et hydrochimiques dans les puits, contribue à élucider le fonctionnement dynamique de la nappe et l'origine de son eau.

Dans les deux cas des nappes de **Sahline** et de **Moknine**, la présence d'eau d'origine profonde et relativement plus salée que celle du niveau phréatique, est de nature à les rendre à la suite de l'intensification de leur exploitation, très vulnérables à la salinisation.

Ces mesures de température et de salinité d'eau qui demeurent à ce stade, descriptives, demandent à être poursuivies par des autres qui se feront en parallèle avec des pompages d'essai pour pouvoir évaluer la contribution du niveau aquifère profond à l'alimentation de la nappe phréatique.





**EVOLUTION VERTICALE DE LA TEMPERATURE  
ET DE LA GEOCHIMIE DES EAUX DES NAPPES  
DU PIEDMONT ORIENTAL DU DAHAR**

H. YAHYAOUI

**RESUME**

L'investigation de la température et de la géochimie de l'eau des nappes du Jurassique supérieur et du Continental Intercalaire du piedmont oriental du Dahar, à l'aide de mesures verticales dans les forages, a permis de mettre en évidence les aspects suivants :

- des valeurs plus précises du gradient géothermique où intervient l'influence de l'eau infiltrée sur les affleurements,
- des valeurs verticales de la salinité de l'eau liées à la configuration en multicouche du système aquifère et à l'effet des eaux d'infiltration,
- une dissolution des sulfates au sein de l'aquifère qui dépend de la durée du séjour et de leur taux initial.

**1- INTRODUCTION :**

La zone du piedmont de Dahar de l'Extrême Sud tunisien se situe à cheval entre la plaine d'el Ouara à l'Est et le plateau du Dahar et l'Erg oriental à l'Ouest.

Cette zone correspond au flanc occidental du dôme de la Djeffara. Il s'agit d'une plaine dont les bas-fonds sont occupées par des formations gréseuses du Continental intercalaire (C.I.). Elle est délimitée à l'Est, par les affleurements des carbonates du Jurassique supérieur.

Ces affleurements gréseux correspondent à la partie orientale de l'aquifère du C.I. du Sud tunisien. Les formations calcaire-gréseuses du Jurassique constituent des aquifères fissures localisés à l'Est de la falaise du Dahar (Dehibat, Bir 30, el Ferch et Zeuss-Koutine). Ces deux types d'aquifères sont associés aux "nappes d'undertflow de la chaîne montagneuse du Dahar".

L'étude de l'évolution verticale de la température et la salinité des eaux souterraines de ces nappes a été abordée par une sonde resistivimétrique et un hydrocapteur. La sonde permet de mesurer la conductivité et la température de l'eau en fonction de la profondeur : l'hydrocapteur a servi pour prélever des échantillons d'eau tous les cinq mètres et à chaque variation de conductivité afin de faire l'analyse chimique. La profondeur d'investigation ne dépasse pas les 100 m.

## 2- VARIATION DE LA TEMPERATURE :

En se basant sur les données disponibles, la corrélation entre l'évolution de la température (T) des eaux souterraines et la profondeur (P) de la formation captée répond à l'équation suivante :

$$T = P/60 + 23.3$$

Dans l'extrême sud tunisien, le gradient géothermique moyen relatif aux nappes du Crétacé et du Jurassique est de un degré celsius pour 44 m de profondeur (Ggt = 1°C/44m). Or, au niveau des nappes situées à l'Est de la falaise de Dahar (**Fig.n°1**), le gradient géothermique est variable et il est généralement plus faible à cause de refroidissement entraîné par l'infiltration des eaux de ruissellement. En effet à égale profondeur, le **forage Zeft** (N° IRH : 19370) situé dans une zone relativement bien alimentée par les eaux de ruissellement (lit majeur d'oued Nekrif), contient les eaux souterraines les plus froides de la région.

## 3- EVOLUTION VERTICALE DE LA SALINITE :

### 3-1 Nappes du Continental Intercalaire :

#### 3-1-1 Nappe wealdienne :

##### \* Forage Bir el Abreg (N° IRH : 19413) :

On y individualise deux tranches d'eau distinctes selon leur résidu sec (**Fig.n° 2**) :

- de 83,85 m à 89 m de profondeur : le résidu sec augmente progressivement de 1,56 g/l à 4,20g/l,
- de 89 m à 104 m de profondeur : le résidu sec augmente très lentement de 4,20 g/l à 4,78 g/l.

##### \* Forage Marbah Essafsaf (N° IRH : 19635) :

On y distingue aussi deux zones d'évolution chimique (**Fig.n°3**).

- de 49,8 m à 93 m de profondeur : la salinité est constante (le résidu sec = 1,22 g/l).
- de 93 m à 102 m de profondeur : elle augmente progressivement de 1,22 g/l à 1,62 g/l,

Au niveau de ces deux forages, l'épaisseur de la nappe dont les eaux sont les moins chargées en sels est respectivement de 5,0 m et de 4,3 m. Ainsi, cette épaisseur est d'autant plus grande que le niveau statique par rapport au sol est moins profond. Pour les deux forages précédents situés d'ailleurs, sur la même isopièze (+308 m), l'interface eau douce-eau salée est aux alentours de 90 m de profondeur par rapport au sol indépendamment du niveau statique de la nappe dans chaque puits.

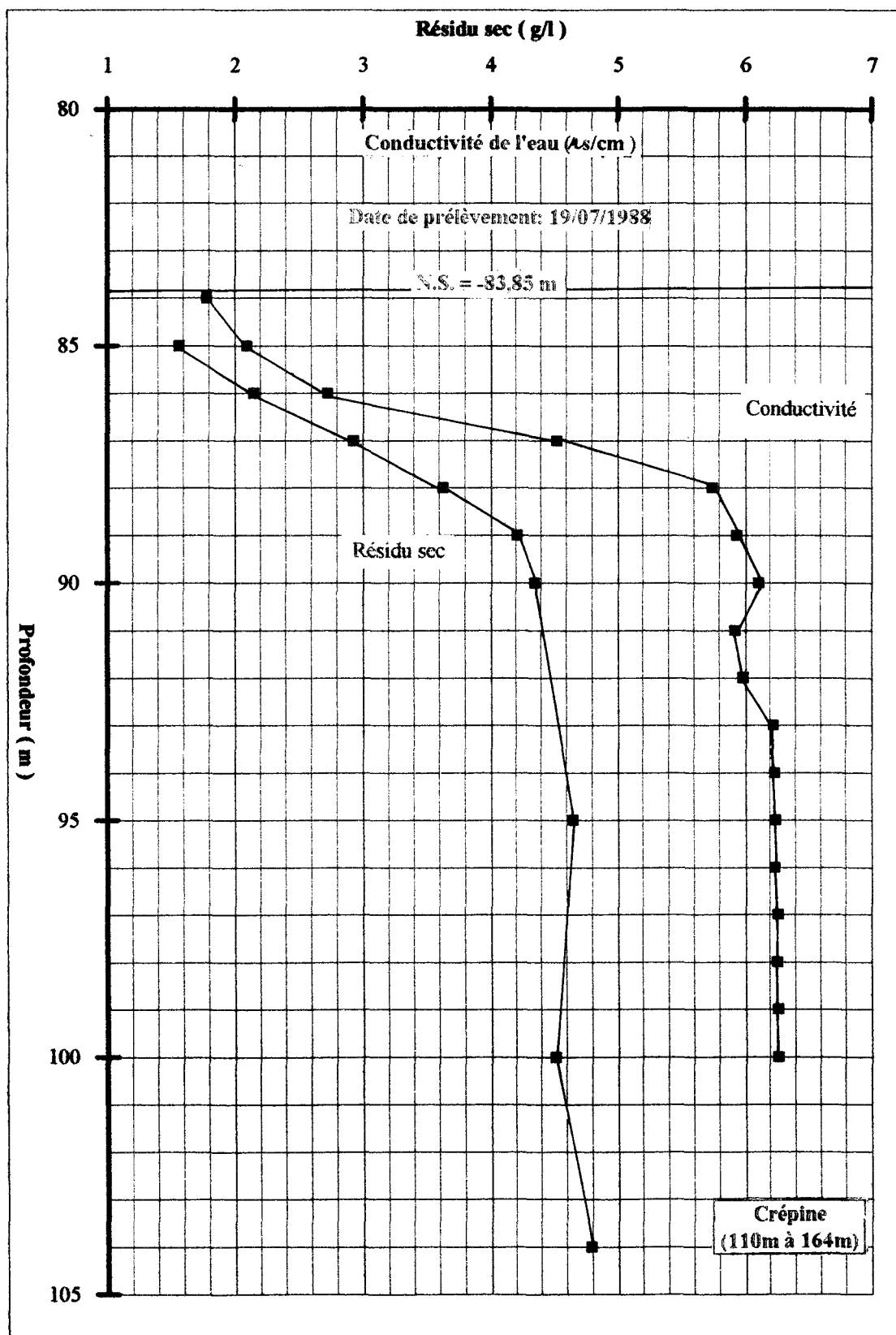
The graph displays temperature profiles for seven different boreholes. The vertical axis represents depth in meters, ranging from 10 to 100. The horizontal axis represents temperature in degrees Celsius, ranging from 21.5 to 26.5. The legend identifies the following boreholes:

- F. n°IRH: 19413 (filled square)
- F. n°IRH: 19647 (filled square)
- F. n°IRH: 19634 (filled square)
- F. n°IRH: 19635 (open square)
- F. n°IRH: 19416 (filled square)
- F. n°IRH: 19370 (open square)
- F. n°IRH: 19247 (filled square)

The data shows that for most boreholes, temperature decreases as depth increases. However, between 50m and 70m depth, several boreholes (19413, 19647, 19634, 19635, 19416, 19370, 19247) show a distinct increase in temperature, indicating a geothermal gradient or a specific geological feature in that zone. Borehole 19370 shows a more gradual temperature decrease with depth compared to the others.

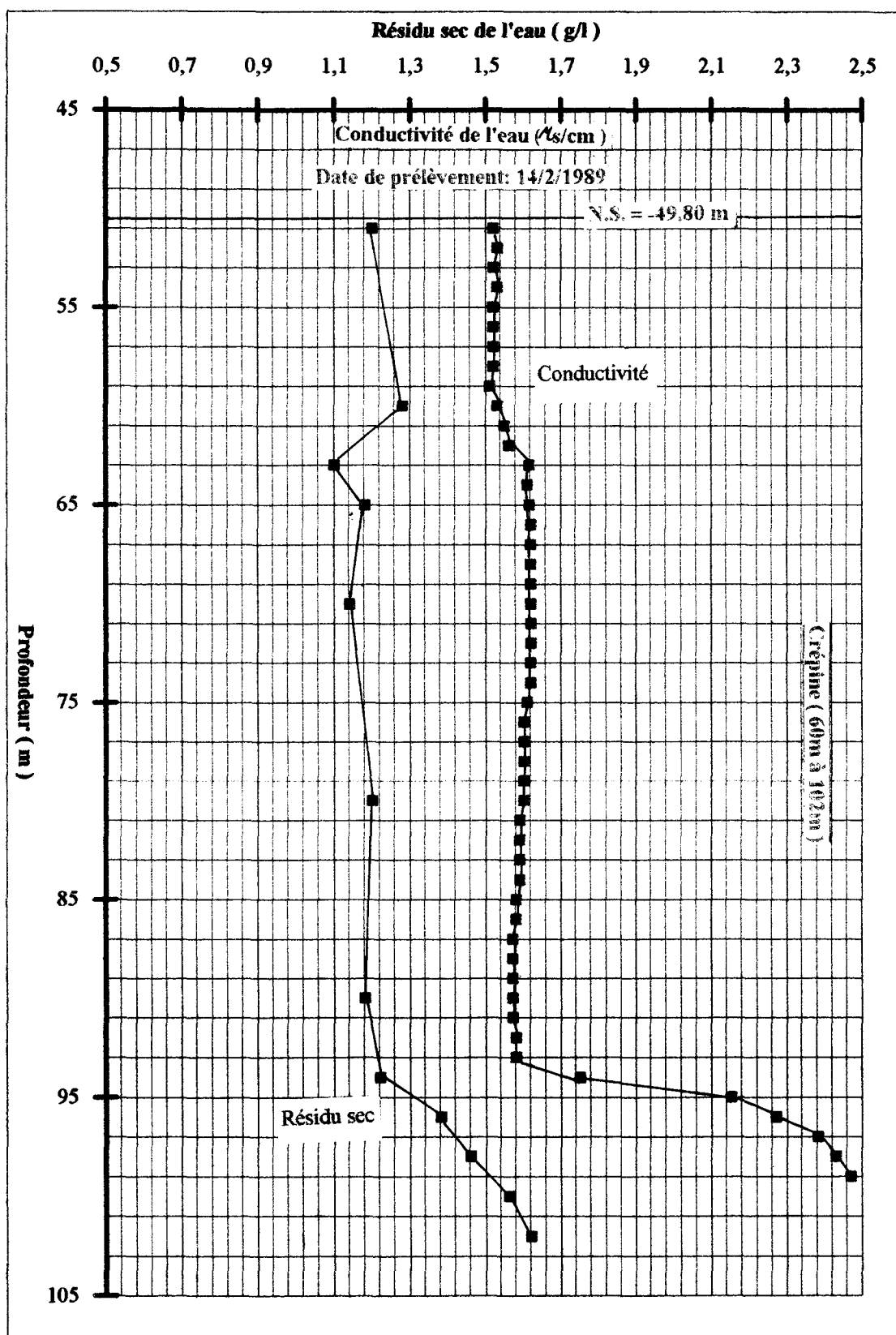


Evolution verticale de la conductivité et de la salinité de l'eau de la nappe wealdienne du C.I.  
- Forage de Bin El-Abreg ( n°IRH:19413/5 ) -





Evolution verticale de la conductivité et de la salinité de l'eau de la nappe wealdienne du C.I.  
-Forage de Marbah Essafsaf ( n°IRH: 19635/5 ) -







L'hétérogénéité de la salinité au sein de la nappe wealdienne a été décelée aussi au cours de l'exploitation. A titre d'exemple, le forage Nekrifl (N° IRH 8787) dont le résidu sec qui n'était que de 1,10 g/l à la réception (5/1/1967) a vu passer sa salinité à 1,72 g/l après 20 ans d'exploitation.

### **3-1-2 Nappe albienne du Continental Intercalaire (C.I) :**

L'hétérogénéité de la salinité au sein de la nappe albienne est mise en évidence au niveau des forages suivants :

- **Forage Temejine 2** : Au départ, la salinité de l'eau était dans ce forage, identique à celle de Temejine1 (N° IRH 19192) situé à 37 m du premier (le résidu sec = 1,88 g/l). Après un pompage prolongé au débit de 20 l/s à 26 l/s, le résidu sec a sensiblement augmenté pour se stabiliser à 2,5 g/l.

- **Forage Daghsen 3 (N° IRH : 19638)** : Le carottage électrique de ce forage a montré que les séquences sableuses de base localisées entre 128 m à 164 m de profondeur, sont nettement plus chargées en sels que celles qui leur sont sus-jacents. Le résidu sec moyen de l'eau de ces séquences, atteint 3,78 g/l.

- **Forage d'exploitation Nougui** : La minéralisation totale augmente avec le débit Q de pompage en passant d'un résidu sec de 2,6 g/l à 3,4 g/l et d'un débit de 10 l/s à 40 l/s..

- **Forage Béni Guendil (N°IRH:19402)** : Pendant le développement et la réception de ce forage, le résidu sec était de 1,38 g/l. Le forage étant ferme, son résidu sec s'est réduit à 0,76 g/l.

- **Forage Oued Abdallah 2 (N°IRH : 1925)** : Une augmentation de la salinité de l'eau de ce forage en fonction de la profondeur de prélèvement, a été constatée conformément au tableau suivant :

<b>Profondeur (m)</b>	165	187	203
<b>Salinité (g/l)</b>	2,78	2,90	3,10

Cette variation verticale de la salinité est due, d'une part, à la nature multicouches des niveaux aquifères intercommunicants du Continental Intercalaire (C.I) et d'autre part, à l'action de ces aquifères par les eaux d'infiltration.

En effet avec un pompage à faible débit pendant une courte durée, est constaté un appel à l'eau de la partie supérieure de la nappe. Celle-ci est caractérisée par des sables plus ou moins propres et loin des dépôts de transition localisés entre le substratum argilo-gypseux et l'aquifère gréseux. Elle est également alimentée en permanence par les eaux douces d'infiltration dans les zones d'affleurement.

Par contre, lorsque le pompage est long et à fort débit, l'ensemble de la nappe est sollicité et l'eau épuisée provient des différents niveaux aquifères produisant ainsi une homogénéisation de la salinité.

Dans le cas où la nappe est au repos, les eaux d'infiltration atteignant la nappe, circulent dans les niveaux supérieurs de l'aquifère, tandis que les eaux les plus anciennes, donc les plus chargées en sels et les plus denses, circulent dans des niveaux aquifères relativement plus bas.

A ceci, il y a lieu d'ajouter le rôle des lentilles argileuses établissant des systèmes multicouches locales au sein de chaque aquifère du Continental Intercalaire (C.I). C'est ainsi que même à l'état d'équilibre de la nappe, l'homogénéisation n'est jamais parfaite.

### **3-2 Nappe du Jurassique supérieur :**

#### **\* Forage Graouia (N° IRH : 19416) :**

Au niveau de ce forage qui est situé à proximité d'Oued Om Zoggar, deux zones à différentes salinités ont été nettement mises en évidence (**Fig. n°4**). Elles se situent :

- de 51 m à 77 m de profondeur : le résidu sec est quasi-constant
- de 78 m à 100 m de profondeur : le résidu sec augmente brusquement à 5,14 g/l, après quoi, il varie légèrement pour arriver à 100 m de profondeur à 6,0 g/l.

Il s'agit d'une nappe libre logée dans un aquifère calcaire-gréseux du Jurassique supérieur.

#### **\* Forage Zelt (N° IRH : 19370) :**

Trois domaines de variation de la conductivité et du résidu sec de l'eau apparaissent dans ce forage (**Fig.n°5**):

- de 13,9 m à 32 m de profondeur : le résidu sec oscille entre 0,92 g/l et 1,02 g/l,
- de 33 m à 37 m de profondeur : une variation graduelle du résidu sec, s'observe entre 1,12 g/l et 1,36 g/l,
- de 38 m à 75 m de profondeur : le résidu sec ne varie que très peu de 1,30 g/l à 1,40 g/l.

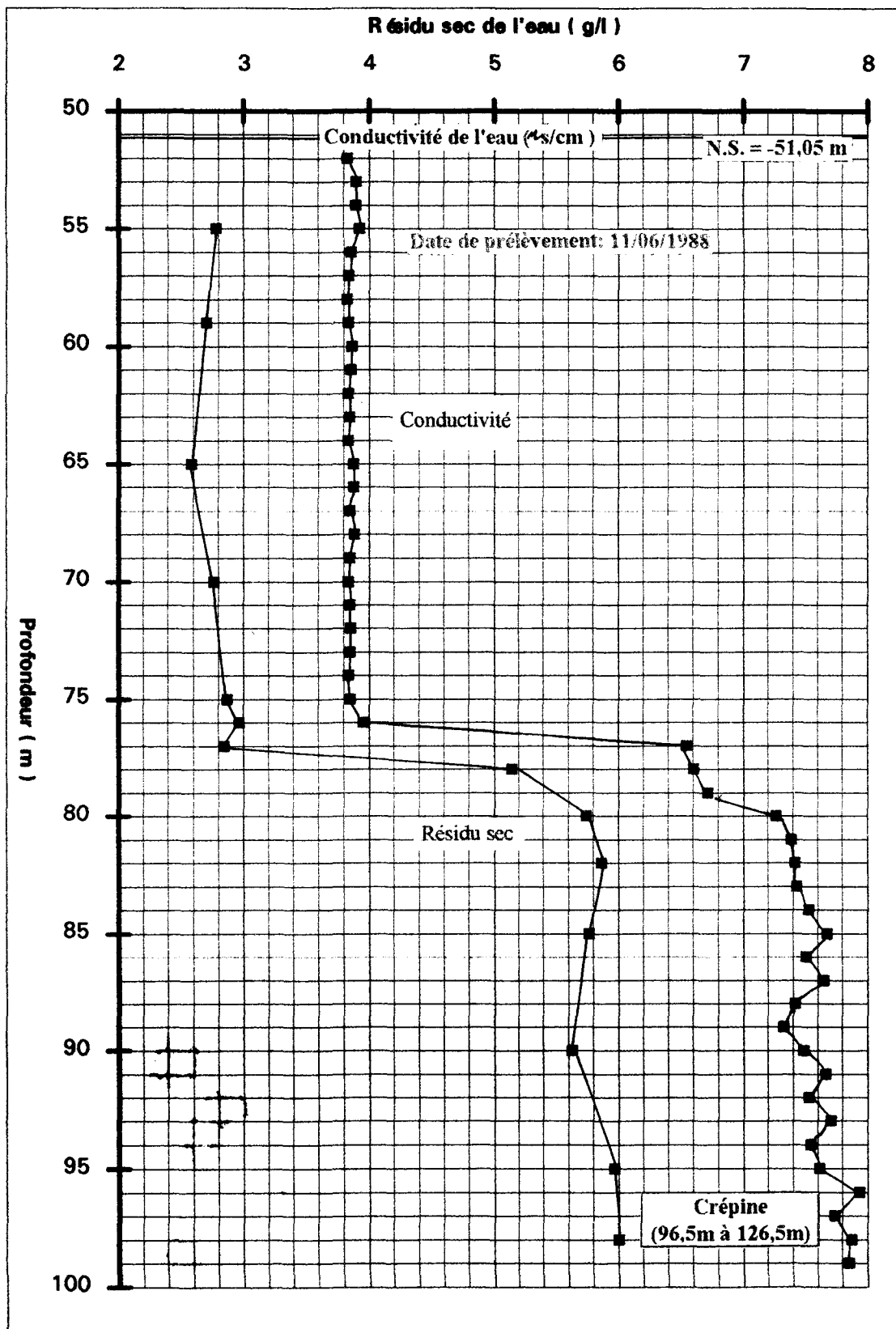
Ce forage est situé dans le lit majeur d'Oued Nekrif. La nappe y est logée dans des grès très fins, souvent argileux alternant avec des argiles parfois légèrement sableuses.

L'augmentation verticale de la salinité résulte au niveau de ces deux forages, de l'influence décroissante des eaux de ruissellement infiltrées.

### **4- EVOLUTION VERTICALE DE LA COMPOSITION CHIMIQUE :**

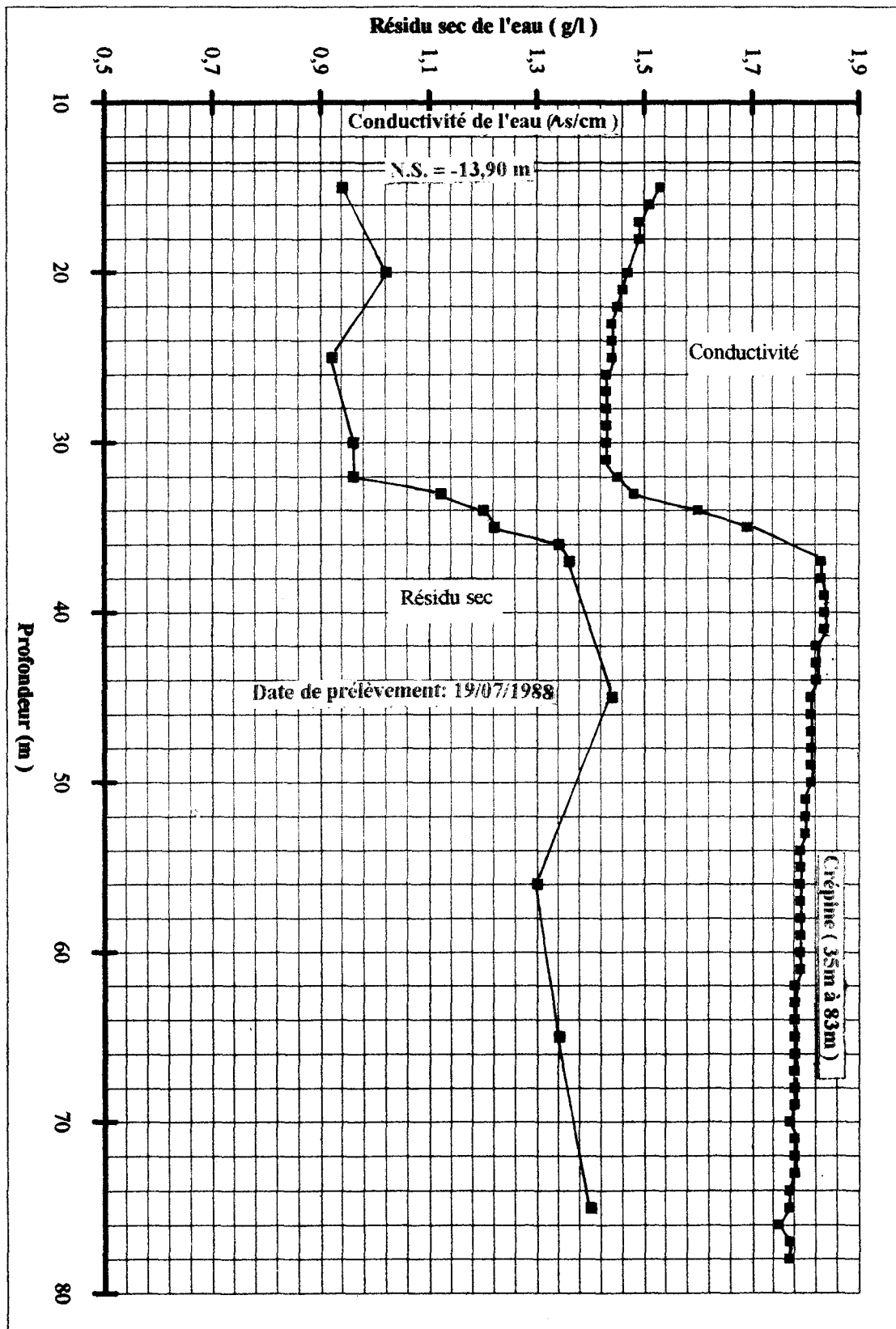
Les analyses chimiques complètes des échantillons prélevés à différentes profondeurs ont permis de déceler une évolution verticale de la composition chimique au sein de la nappe wealdienne du Continental Intercalaire (C.I) et de la nappe du Jurassique supérieur (**Fig.n°6**).

Evolution verticale de la conductivité et de la salinité de la nappe du  
Jurassique supérieur de Dehibat  
- Forage de Graouia ( n°IRH:19416 ) -





Evolution verticale de la conductivité et de la salinité de la nappe du Jurassique  
supérieur de Remada  
-Forage de Zelt n°IRH:19370/5





#### **4-1 Nappe wealdienne :**

##### **4-1-1 Forage Bir el Abreg (N° IRH : 19413) :**

Plus la profondeur augmente, plus la concentration de chaque constituant est grande ainsi que les rapports :  $r(\text{SO}_4 = / \text{Cl}^-)$  et  $r(\text{Mg}^{++} / \text{Ca}^{++})$ ; les rapports  $r(\text{Na}^+ / \text{Mg}^{++})$  et  $r(\text{Na}^+ / \text{Ca}^{++})$  diminuent.

Cette évolution correspond à l'influence décroissante vers le bas, d'une dilution relative à partir des eaux d'infiltration. L'influence de la dilution apparaît nettement entre 84 m et 89 m de profondeur.

Plus bas, l'effet de l'alimentation s'amortit lentement alors que la dissolution des sulfates est de plus en plus grande. Cette dissolution dépend du temps de séjour de l'eau ainsi que du taux des roches sulfatées au sein de l'aquifère.

Quelles soient prélevées à l'état de repos ou de pompage, les eaux de différents échantillons appartiennent à la même famille chimique. Mais, les échantillons prélevés à l'état de sollicitation de la nappe sont plus chargés en sels, or, vu que ceux prélevés à l'état de repos sont les moins chargés, la salinité doit effectivement continuer d'augmenter plus bas.

##### **4-1-2 Forage de Marbah (N° IRH : 19635) :**

Au niveau de ce forage, on note une augmentation de la concentration des ions ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{=}$  et  $\text{Cl}^-$ ) entre 93 m et 102 m de profondeur. Ceci revient à l'action simultanée de deux phénomènes chimiques suivants :

Il s'agit, d'une part, de la dilution à partir des eaux d'infiltration qui intervient entre 50 m et 93 m de profondeur, et d'autre part, de la dissolution des sulfates et des chlorures provenant de la roche magasin. Cette dissolution s'accroît en fonction de la profondeur et elle est maximale vers la partie basale de la nappe, car, elle dépend du temps de séjour et des taux des argiles et des sulfates dont la teneur est croissante vers le substratum.

Il est important de signaler que lorsque la nappe est sollicitée par pompage, l'eau présente un faciès chimique normal de celle de la nappe wealdienne. Par contre, lorsqu'elle est au repos, le faciès chimique est typiquement celui des eaux du Jurassique.

Ce phénomène s'explique par le fait que le débit provenant des sables wealdiens est beaucoup plus grand relativement à celui provenant des terrains sus-jacents. En revanche, à l'état de repos, les eaux piégées dans la partie basale de la nappe wealdienne et les terrains semi-perméables du Jurassique, qui sont d'ailleurs les plus chargés en sels, ont tendance à s'équilibrer avec les eaux les moins chargées sus-jacents et à leur céder par conséquent une partie de leur aspect chimique.

#### **4-2 Nappes du Jurassique :**

##### **4-2-1 Forage Graouia (N° IRH : 19416) :**

Une augmentation brutale des concentrations des différents sels est constatée entre 77 m et 78 m de profondeur. Les rapports  $r(\text{Na}^+/\text{Mg}^{++})$  et  $r(\text{Na}^+/\text{Ca}^{++})$  marquent une diminution importante tandis que les autres principaux rapports ioniques demeurent invariables. En plus, la composition chimique des eaux au niveau de ce forage n'a aucune parenté chimique avec celle des eaux de la nappe du Continental Intercalaire (C.I.) sus-jacente. D'ailleurs les niveaux piezométriques des deux nappes sont très différents.

Les diagrammes chimiques des eaux prélevées à différentes profondeurs permettent de distinguer deux familles d'eaux superposées au sein de la même nappe. En effet, en opposition à la première famille, la plus profonde se distingue par des eaux plus chargées en sels et notamment en sulfates, avec  $r\text{SO}_4 = > r\text{Na}^+$  et  $r\text{Mg}^{++} > r\text{Ca}^{++}$ .

Cette composition chimique montre clairement que l'augmentation de la salinité en fonction de la profondeur est due à une dissolution des sulfates ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ). On peut en déduire également que le débit spécifique des niveaux aquifères situés entre 55 m et 8 m de profondeur, est beaucoup plus important par rapport à celui des niveaux plus profonds, car, la composition chimique de l'échantillon d'eau prélevé après une longue durée de pompage, est similaire à celle des eaux de la partie supérieure de l'aquifère quand la nappe est au repos.

**4-2-2 Forage Zeft (N° IRH : 19370) :** au niveau de ce forage, apparaît une augmentation progressive de la concentration de différents constituants en fonction de la profondeur d'échantillonnage ; mais, celles des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  demeurent constantes. Parallèlement, on enregistre une augmentation des rapports :  $r(\text{SO}_4^{=}/\text{Cl}^-)$ ,  $r(\text{Mg}^{++}/\text{Ca}^{++})$  et une diminution du rapport  $r(\text{Na}^+/\text{Ca}^{++})$ .

Cette évolution verticale de la composition chimique résulte de la dissolution des sulfates qui dépend de la durée de séjour et du taux des sulfates au sein de l'aquifère.

D'autre part, en opposition à ce qui a été observé au niveau du forage de Marbah Essafsaf (N° IRH : 19635), l'eau du forage Zeft se caractérise par un faciès chimique qui est celui des nappes du Jurassique en état de pompage. Par contre, au repos, l'eau a une parenté chimique très nette avec celle de la nappe wealdienne.

Ceci ne peut être dû qu'à la prépondérance du débit provenant des niveaux aquifères du Jurassique par rapport à celui de la nappe alluviale. Il faut signaler que cette dernière est alimentée par les eaux de ruissellement et par celles provenant de la nappe wealdienne.



Fig n°6  
EVOLUTION VERTICALE DE  
LA COMPOSITION CHIMIQUE

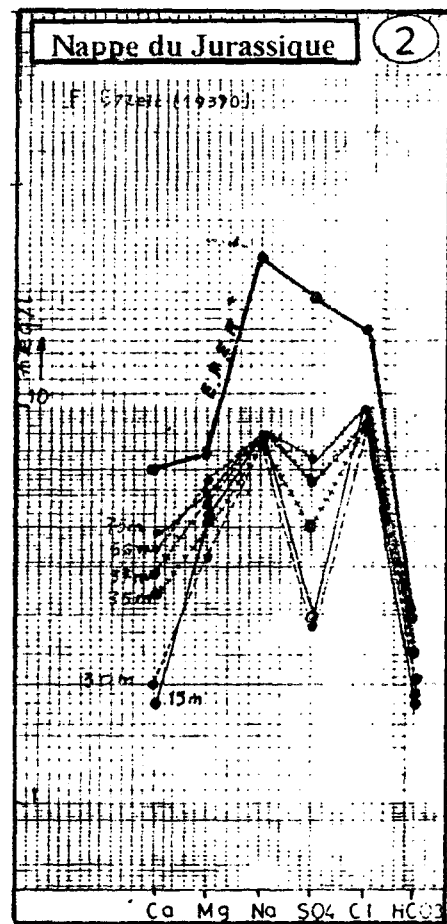
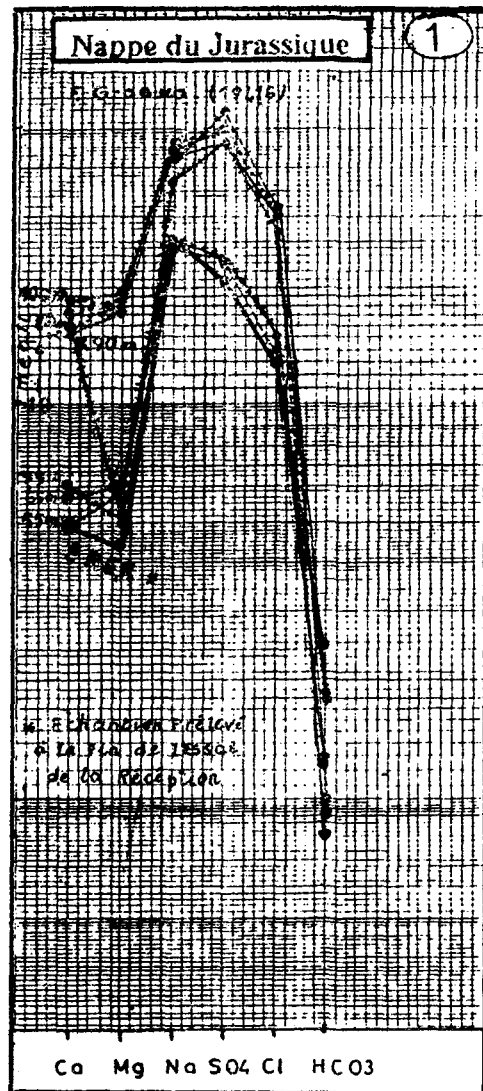
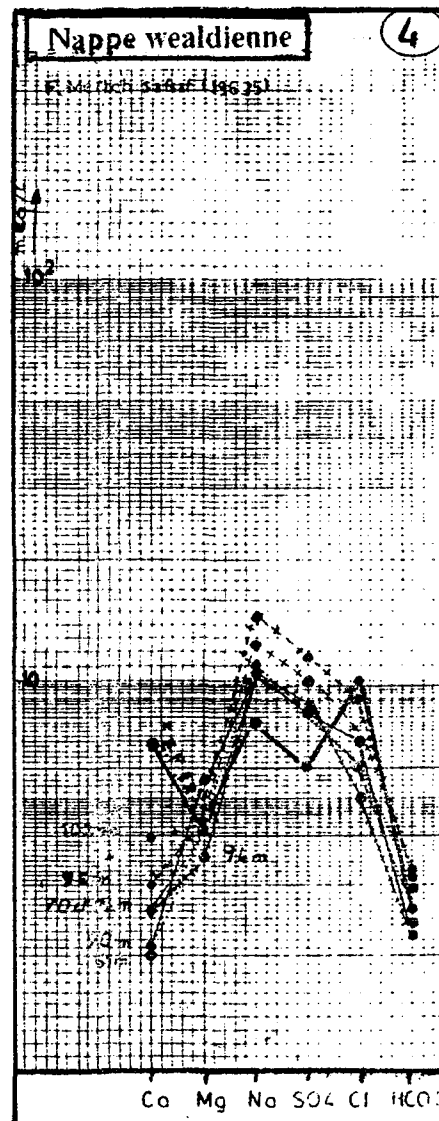
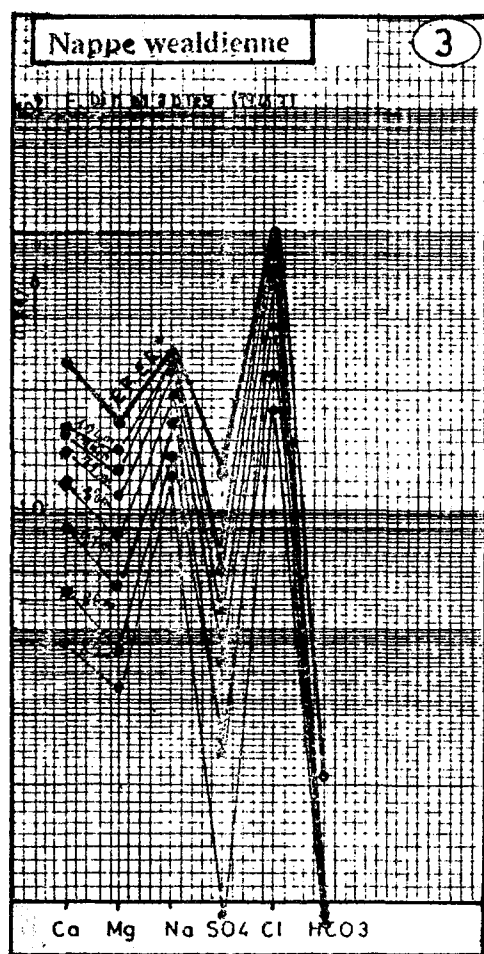


Fig n°6<sup>b</sup>

## EVOLUTION VERTICALE DE LA COMPOSITION CHIMIQUE



**LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU  
SOUTERRAINES EN TUNISIE**

**R. KHANFIR**

## RESUME

Les ressources en eau souterraines qui représentent 41% des ressources globales du pays, sont exploitées à près de 87,5%. Certaines nappes phréatiques sont intensivement exploitées ce qui a provoqué des baisses du niveau piézométrique et des intrusions d'eau saumâtre.

Ce déséquilibre entre les ressources et l'exploitation des nappes d'eau souterraine nécessite une meilleure gestion afin de développer les ressources de rationaliser l'exploitation, et de répondre aux besoins en eau du pays.

Ces objectifs ne pourraient être atteints que par la sauvegarde des ressources disponibles, l'amélioration des conditions de recharge des nappes, la bonne répartition de l'exploitation dans le temps et dans l'espace, l'utilisation des méthodes d'économie d'eau, le suivi de l'évolution des nappes d'eau souterraine et une meilleure gestion intégrée des ressources en eau du pays.

### 1. INTRODUCTION :

Les ressources en eau souterraine de la Tunisie sont estimées à **1840 Mm<sup>3</sup>/an** (1) dont **669 Mm<sup>3</sup>/an** à partir des nappes phréatiques et **1171 Mm<sup>3</sup>/an** à partir des nappes profondes. Ces ressources représentent 41% des ressources en eau globales du pays qui sont estimées à **4530 Mm<sup>3</sup>/an**.

L'exploitation de ces ressources a évolué ces dernières années pour atteindre en 1990, **699 Mm<sup>3</sup>/an** à partir des nappes phréatiques, soit **104,4 %** des ressources et **836 Mm<sup>3</sup>/an** à partir des nappes profondes, soit **71%** des ressources exploitables.

L'évolution de cette exploitation fait apparaître un net déséquilibre entre celle-ci et les ressources disponibles ce qui nécessite l'amélioration de la gestion et le développement de ces ressources en eau souterraine afin de pouvoir répondre aux besoins en eau du pays.

L'amélioration de cette gestion a été conçue dans le cadre d'une stratégie décennale de développement de ces ressources qui assure une exploitation durable des aquifères. Elle se base essentiellement sur :

- l'identification poussée de la géométrie des structures aquifères.
- l'affinement de l'estimation des ressources régulatrices et géologiques
- la caractérisation géochimique des différents niveaux aquifères et la différenciation de leurs faciès chimiques
- la planification de l'exploitation des différents aquifères
- le suivi de l'évolution du niveau piézométrique et de la qualité chimique.

---

(1) Mm<sup>3</sup>/an = Million de m<sup>3</sup> par an.

- le développement des ressources et l'atténuation de l'effet de surexploitation des nappes par leur recharge artificielle, et la prise des mesures juridiques permettant de préserver les nappes vulnérables à l'intrusion des eaux saumâtres.

## **2. LA GESTION DES NAPPES PHREATIQUES :**

Les ressources en eau des nappes phréatiques de Tunisie sont estimées à **669 Mm<sup>3</sup>/an**, ce qui représente 36% des ressources en eau souterraine du pays.

L'exploitation de ces nappes a connu une progression continue durant la dernière décennie. Elle a presque doublé en 10 ans en passant de **395 Mm<sup>3</sup>/an** en 1980 à **699 Mm<sup>3</sup>/an** en 1990

L'exploitation de ces ressources se fait à l'aide de puits de surface de moins de 50 m de profondeur. La création, l'équipement et l'aménagement des puits ne sont soumis à l'autorisation de l'administration qu'après l'instauration de périmètres de sauvegarde ou d'interdiction. L'exploitation actuelle de l'ensemble de ces nappes se fait par l'intermédiaire de **109.000** puits dont **62.000 équipés**.

On distingue, au sein des nappes phréatiques en fonction du stade d'exploitation atteint

**1.1 des nappes intensivement exploitées :** Ces nappes accusent un déficit global par rapport à leurs ressources exploitables qui est de l'ordre de **164 Mm<sup>3</sup>/an**. Le puisage s'y fait dans leurs réserves géologiques et au détriment de leur équilibre hydrodynamique. Pour une gestion plus rationnelle des ressources en eau de ces nappes, les prélèvements doivent être mieux contrôlés dans l'objectif d'assurer à court et moyen terme, le retour à l'état d'équilibre permettant la préservation de la qualité chimique de l'eau de cette ressource. Ce contrôle tant sur le plan piézométrique qu'hydrochimique, nécessite le renforcement du réseau national des piézomètres afin d'assurer la régularité des mesures et leurs analyses à temps.

La surexploitation des nappes phréatiques est essentiellement due à la conception de leur gestion. En effet, la création et l'exploitation de puits de surface ne sont pas soumises à une autorisation au préalable. Cela fait que la maîtrise de la gestion de ces nappes n'est prise en main par l'administration, qu'après l'enregistrement des premiers signes de surexploitation. Ainsi, l'instauration des périmètres de sauvegarde et d'interdiction ne constitue à ce moment qu'une opération de préservation à posteriori dont la portée est limitée à l'atténuation des méfaits du puisage abusif.

La surexploitation des nappes phréatiques, est envisageable comme une variable dans le temps. C'est particulièrement le cas des nappes qui ne présentent pas de risque d'intrusion d'eau salée à partir de la mer ou des Sebkhas durant les périodes de sécheresse prolongée. C'est aussi le cas des nappes profondes intensivement exploitées pour l'eau potable (SONEDE) telles que les nappes de Bou Hafna, Dj Zaghouan, Sbeitla, Jimla et DJ Jauggar. Ce type de nappe pourrait être surexploitée durant les périodes de sécheresse à forte demande en eau et soulagée par la suite en période d'excédent pluviométrique afin qu'elle recupèrent leur équilibre hydrodynamique. Cette conception de gestion alternée des nappes d'eau souterraine, constitue un élément très important dans la rationalisation de la mobilisation de leurs ressources en eau. Elle se base sur la complémentarité entre les ressources en eau souterraine et celles de surface dans un contexte du climat aride dotant l'eau de notion de "ressource rare".

Les nappes phréatiques côtières et celles proches des sebkhas sont souvent vulnérables à la salinisation et la surexploitation de leurs ressources est souvent délicate. Une surveillance continue du chimisme de ces nappes est nécessaire afin d'empêcher la progression de l'intrusion saline qui est un phénomène irréversible. La gestion contrôlée de ces nappes se fait en Tunisie, sur la base d'autorisations pour l'exploitation, les créations et l'équipement des puits de surface. Elle se réfère essentiellement aux études fines des écoulements souterrains et au transport de masses dans les nappes d'eau souterraines ainsi qu'au suivi régulier et continu des prélèvements, de la piézométrie et de l'hydrochimie de la nappe.

**1.2 Les nappes sous-exploitées :** Ces nappes recèlent des disponibilités évaluées à **135 Mm<sup>3</sup>/an** dont la mobilisation au cours des années à venir, est envisageable moyennant un programme rationnel d'équipement des puits existants ou de création de nouveaux puits dans les régions qui s'y prêtent, ces créations et équipements se feront sur la base d'évaluation poussée des ressources exploitables et d'un suivi continu de l'évolution de la piézométrie et de la chimie de l'eau.

Les problèmes qu'engendre l'exploitation de ces ressources résultent principalement de :

- \* la qualité de certaines eaux disponibles (zones côtières et le sud Tunisien) qui est souvent élevée, faisant que leur utilisation comme ressources n'est possible qu'après dessalement. L'exploitation des eaux de ces nappes à leur état naturel, pourrait être envisagée pour certains usages municipaux comme l'arrosage des espaces verts et le nettoyage des zones urbaines.

- \* la modestie de ces ressources qui sont souvent logées dans des structures aquifères à faible emmagasinement (nappes d'underflow).

- \* la cherté du coût d'exploitation dans le cas où le niveau piézométrique est profond et/ou le débit spécifique est faible.

### **3. LA GESTION DES NAPPES PROFONDES :**

L'exploitation des nappes profondes de la Tunisie est évaluée en 1992, à **860 Mm<sup>3</sup>/an**. Elle représente **73%** des ressources exploitables qui sont estimées à **1171 Mm<sup>3</sup>/an**. Cette exploitation se fait par l'intermédiaire de **2032 forages** et **80 sources** et elle se répartit entre les différents secteurs économiques comme suit :

- usage agricole : **75 %**
- alimentation en eau potable : **18 %**
- usage industrielle : **7 %**

Afin de mobiliser les ressources disponibles au sein des nappes profondes, la stratégie décennale de développement des ressources en eau 1990 - 2000, a prévu la réalisation de **610 nouveaux forages d'exploitation** et **500 forages de remplacement**.

On distingue au niveau des nappes profondes deux types : les nappes à réserves fossiles et les nappes à ressources renouvelables.

L'exploitation des nappes profondes est soumise à une autorisation de l'administration au niveau de la création et de l'exploitation des forages ce qui facilite la planification de leur gestion.

**2.1 Les nappes à ressources fossiles :** L'exploitation de ces nappes se fait en quantifiant les prélèvements alloués aux différents secteurs d'exploitation, sur la base d'études approfondies prenant en considération en plus des données hydrogéologiques, les paramètres technico-économiques permettant d'assurer la bonne gestion de cette ressource.

L'étude par modèle mathématique des Ressources en Eau du Sahara Septentrional (ERESS), a permis d'arrêter un schéma d'exploitation des nappes du sud tunisien qui tient compte à moyen terme (1970 - 2010) de l'évolution de leurs caractéristiques hydrodynamiques et chimiques.

L'exploitation des nappes à ressources fossiles est estimée en 1990 à **505 Mm<sup>3</sup>/an** pour une allocation qui est de l'ordre de **631 Mm<sup>3</sup>/an**.

Bien que l'administration contrôle la gestion de ces ressources certains captages illicites sont de nature à entraîner le dépassement rapide des prévisions et la dégradation accélérée des caractéristiques hydrodynamiques et chimiques de ces nappes dans certaines zones vulnérables telle que celle de Nefzaoua (nappe du complexe terminal) où l'exploitation est en 1992 à **221 Mm<sup>3</sup>/an**, dépassant ainsi légèrement l'allocation qui est estimée à **205 Mm<sup>3</sup>/an**.

**2.2 Les nappes à ressources renouvelables :** Les ressources en eau renouvelables des nappes profondes sont estimées à **540 Mm<sup>3</sup>/an** avec déjà **331 Mm<sup>3</sup>/an** qui sont exploitées ce qui représente **61 %** des ressources exploitables.

Ces ressources sont de bonne qualité chimique et pourraient être exploitées soit pour l'eau potable soit pour tout autre usage. La gestion des ressources en eau de ces nappes est souvent bien maîtrisée.

### **3. DEVELOPPEMENT DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE :**

La stratégie de développement des ressources en eau souterraine s'est fixée les objectifs suivants :

- assurer l'alimentation en eau potable des agglomérations urbaines et rurales du pays tout en garantissant la qualité adéquate.

- répondre à la demande des zones assoiffées en périodes de pénurie résultant de sécheresse prolongée ; c'est le cas plus particulièrement des villes s'alimentant en eau potable à partir des eaux de surface.

- répondre aux besoins sans cesse croissants en eau agricole, touristique et industrielle dans les différentes régions où les eaux de surface sont insuffisantes voir même inexistantes.

Afin de répondre à ces objectifs, le développement du potentiel en eau souterraine du pays s'impose. Ce développement est conçu à l'aide de :

- une couverture complète du pays par les prospections géologiques, géophysiques et par forages afin de localiser toutes les structures géologiques aquifères. En ce sens, la stratégie prévoit déjà la réalisation de **1150 forages de reconnaissance**.

- une meilleure connaissance des caractéristiques hydrogéologiques des nappes phréatiques et profondes basée sur des reconnaissances aussi que des observations et des mesures continues sur des piézomètres et des forages, et à l'aide d'études par modèles mathématiques.

- une recharge induite ou une suralimentation artificielle des nappes à partir des ouvrages hydrauliques existants ou programmés. Cette opération d'ampleur permettra de récupérer une grande partie des eaux de surface excédentaires pendant les périodes humides et l'emmagasiner dans les réservoirs souterrains et de concevoir une surexploitation volontaire et contrôlée des nappes qui s'y prêtent pendant un laps de temps déterminé et compte tenu des besoins urgents

- une sensibilisation des usagers à l'économie d'eau.

#### ***4. LA GESTION RATIONNELLE DE L'EXPLOITATION DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE :***

La gestion rationnelle de l'exploitation des ressources en eau souterraine nécessite l'établissement d'un certain équilibre entre l'exploitation et les ressources exploitables, une utilisation rationnelle des équipements et des ouvrages de captage et une planification à cours et moyen terme des prélèvements des différentes nappes.

Dans le cas des nappes sous-exploitées, l'augmentation du taux d'équipement des puits et des forages existants, permet d'améliorer le niveau d'exploitation des ouvrages déjà équipés et de mieux orienter la planification des nouvelles créations en puits et forages.

Dans le cas des nappes surexploitées, la limitation de l'exploitation en favorisant les mesures d'encouragement à l'équipement des parcelles par du matériel d'économie d'eau en plus de l'instauration des périmètres de sauvegarde et d'interdiction permet de limiter la détérioration de l'équilibre hydrodynamique au sein de la nappe et la dégradation de la qualité chimique de l'eau.

#### ***5 LA GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU DU PAYS .***

La stratégie de mobilisation des eaux de surface prévoit à l'échelle du pays, la réalisation de **21 barrages**, de **203 barrages collinaires**, **1000 lacs collinaires** ainsi que des travaux de conservation des eaux et des sols en plus des ouvrages existants soit **17 barrages**, **20 barrages collinaires** et **50 lacs collinaires**. L'ensemble de ces ouvrages est de nature à permettre la maîtrise de la quasi-totalité des écoulements de surface.

Il est recommandé dans ce sens, de :

- procéder à l'étude de l'impact de ces ouvrages sur les nappes situées à l'aval et exclusivement alimentées à partir des eaux superficielles,

- d'assurer le suivi régulier de ces ouvrages et des nappes qui leurs sont adjacentes
- de doter chaque région naturelle d'un plan directeur régional des ressources en eau où seront confrontés les ressources et les besoins avec une stratégie de développement, de mobilisation et d'utilisation de l'ensemble des ressources.

En outre, la généralisation progressive des réseaux d'assainissement et leur implantation dans les principales agglomérations du pays permettront le dégagement de ressources en eau supplémentaires non conventionnelles mais de qualité médiocre que la recharge artificielle des nappes est en mesure de valoriser. C'est le cas essentiellement des nappes côtières soumises au danger de contamination par les eaux salées et dont la recharge est de nature à limiter l'intrusion marine et dans certains cas, d'améliorer la qualité chimique de l'eau.

#### **6) CONTROLE ET SUIVI DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE :**

La bonne gestion des ressources en eau souterraine est tributaire du comportement des utilisateurs et de leur prédisposition pour respecter les conditions d'exploitation déduites de la planification. Elle dépend également du bon suivi de l'évolution des nappes dans le temps et dans l'espace.

Bien que dans la stratégie décennale du développement des ressources en eau ait prévu la réalisation de **230 piézomètres par an**, on n'a pu assurer jusqu'à 1993, que **50 piézomètres par an**. Cette cadence de création de piézomètres est encore très faible par rapport aux prévisions de la stratégie. Ceci d'autant plus souligné qu'actuellement le réseau piézométrique n'est constitué que de 2471 points d'observation sur **86180 puits et forages exploités** soit un taux de **2,9%**. Ce nombre est réparti sur **362 nappes d'eau souterraine** ce qui fait en moyenne **6,8 points** d'observation par nappes. Ce réseau est composé en **2399 puits de surface**, de **72 forages** et **382 piézomètres** dont uniquement **141 piézomètres sont équipés de limnigraphes** soit un taux de **5,7%**.

Pour les nappes phréatiques qui sont au nombre de **201**, nous possédons **2541** points d'observation composés de **2399 puits** et 142 piézomètres dont uniquement **62 piézomètres** sont équipés d'un appareil enregistreur. Pour un nombre total de puits exploités de **84063**, le taux de points surveillées est seulement de **3%** et cela fait en moyenne de **12,6 points surveillés** par nappes. Le taux de piézomètres équipés de limnigraphes est uniquement de **2%**.

Les 161 nappes profondes du pays sont surveillés par **315 points d'observation** soit en moyenne de **2 points par nappe**. Le réseau de surveillance des nappes profondes est formé de 72 forages concentrés dans le sud du pays et **240 piézomètres** dont **79** uniquement sont équipés de limnigraphes soit un taux de **25%** de tous les points surveillés dont 79 uniquement sont équipés de limnigraphes soit un taux de **25%** de tous les points surveillés.

De l'état actuel du réseau de surveillance, nous pouvons dégager plusieurs constatations :

1- Le nombre de piézomètres encore très faible par rapport au nombre total de points surveillés soit **15,5%** ceci est d'autant plus vrai pour les nappes phréatiques où ce taux est seulement de 6% uniquement.

2- Le taux de piézomètres équipés est encore très bas et ne dépasse pas **5,7%** par rapport au nombre total de points d'observation. Ce taux est plus faible que celui des nappes phréatiques où il est uniquement de **2%**.



**3- Le nombre de points de surveillance des nappes profondes est encore très faible de l'ordre de 2 points par nappe :**

La bonne gestion des ressources en eau et la maîtrise de développement de l'exploitation et de la recharge, et le suivi des variations des caractéristiques hydrodynamiques et géochimiques des eaux souterraines, nécessitent le renforcement du réseau de surveillance par les actions suivantes :

- le remplacement des puits et des forages surveillés par des piézomètres.
- le développement du réseau de surveillance des nappes profondes.
- l'utilisation d'un matériel de mesure permettant le stockage et le traitement informatique des données.
- intégré la surveillance de la qualité de l'eau dans le réseau actuel de surveillance du niveau de la nappe.

## **B I B L I O G R A P H I E**

- 1. Hamza. M. & Khanfir. R. :** Evaluation du potentiel et de l'exploitation des Ressources en Eau Souterraine de la Tunisie - 1991 - D.G.R.E.
- 2. D.G.R.E. :** Stratégie pour le développement des Ressources en Eau de la Tunisie au cours de la Décennie 1991 - 2000 - D.G.R.E. 1990.
- 3. D.G.R.E. :** Annuaire de l'exploitation des nappes profondes de Tunisie - 1990 -.
- 4. D.G.R.E. :** Situation de l'exploitation des nappes phréatiques de Tunisie - 1990 -.
- 5 D.G.R.E :** Le réseau national de piézomètres de la Tunisie - 1994 -.



**IMPACT DE L'EXPLOITATION ET DE LA RECHARGE SUR L'EVOLUTION  
DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES ET HYDROCHIMIQUES  
DU RESERVOIR CARBONATE DE ZEUSS-KOUTINE**

**R. MANSOURI**

***1 - INTRODUCTION :***

La nappe de Zeuss-Koutine située au Sud de Gabès, assure l'alimentation en eau potable des principales villes du gouvernorat de Medenine et Tataouine ; d'où l'importance que requiert la maîtrise de la mobilisation de ses ressources exploitables et la stabilité de la qualité chimique de son eau.

Cette nappe a fait l'objet de nombreuses études qui se sont intéressées à la géométrie du réservoir aquifère et à son hydrodynamisme. Cette note a pour objectif de mettre en évidence à l'impact de l'exploitation et des travaux de CES sur l'évolution de ses caractéristiques hydrodynamiques et hydrochimiques.

La nappe de Zeuss-Koutine est logée dans les calcaires du Sénonien, de l'Albo-Aptien et du Jurassique, qui présentent surtout à l'affleurement, une forte densité de fracturation permettant l'infiltration rapide des eaux de surface.

La tectonique de compression qui a affectée la région de Jeffara depuis le Crétacé, a permis la compartimentation de ce réservoir carbonaté en assurant l'établissement des communications hydrauliques horizontales et verticales entre les différentes formations aquifères.

L'exploitation de ce réservoir aquifère a commencé timidement depuis l'année 1962, mais ce n'est qu'à partir de 1972 que l'exploitation a pris de l'importance. Depuis, un suivi systématique du niveau piézométrique et de la qualité chimique des eaux est assuré.

***2- RESSOURCES ET EXPLOITATION :***

Les ressources en eau de la nappe Zeuss-Koutine évaluées à 350 l/s (B. BEN BACCAR, 1981) sont actuellement sollicitées par le réseau de la SONEDE à raison 331 l/s ; mais la répartition de cette exploitation au niveau des différents sous bassins versants, n'est pas équilibrée comme le montre le tableau ci dessous :

Tableau N° 1

BASSINS VERSANTS	DESIGNATION FORAGES	SUPERFICIE		EXPLOITATION EN %		EXPLOITATION (1991)	
		Km2	%/S.T.	M.m3/an	en % (*)	M.m3/an	l/s f.c.
Oued Oum Zassar	Koutine 2 Koutine 3 H. Abdelml	80	17 %	1,84	16	1,65	51
Oued Zigzaou	Hir Frej 1 Hir Frej 2 H. Titoun K. Chrif 1 K. Chrif 2	214	46,5 %	5,13	30	3,10	100
Oued Zeuss	Zeuss 4 Zeuss 5 Zeuss 1 Zeuss 1 bis Zeuss 3	167	36,5 %	4,03	54	5,69	180
TOTAL		461	100 %	11	100 %	10,44	331
BILAN (l/s f.c.)							350

Le bassin versant de Zeuss dont la superficie correspond à **36,5 %** de la superficie totale de la nappe, connaît une exploitation qui est de **54 %** des prélèvements globaux. Celui de Oued Zigzaou dont la superficie est de **46,5 %** de celle de la nappe est exploité à raison de **30 %** des prélèvements globaux ; tandis que dans le bassin de l'oued Oum Zassar (**17 %** de la superficie), les prélèvements ne sont que de **16 %** des prélèvements globaux.

Cette exploitation qui était de **102 l/s** en 1974, est passée en 1979 à **207,5 l/s** pour atteindre en 1985, **299 l/s** puis **357 l/s** en 1990.

### 3- EVOLUTION DE LA PIEZOMETRIE :

L'évolution de la piézométrie de cette nappe depuis sa mise en exploitation a révélé une tendance générale vers l'abaissement qui est en moyenne de **0,34 m/an** dans le bassin versant de O. Zigzaou, de **0,34 m/an** dans celui de O.Oum Zassar et **0,42 m/an** dans le bassin de Oued Zeuss. (tableau n°2). Ainsi la plus forte baisse piézométrique est enregistrée au niveau du bassin versant de Oued Zeuss où se localise la plus forte concentration des forages.

Tableau N° 2

Bassins Versants	Designation Forages	Date Execution	Niveau Statique (m/TN)		Baisse du N.S par forage (m)	Baisse interannuelle Moyenne (m/an)	Baisse interan. moyenne par B.V (m/an)
			Récept.	actuel			
Oued Zigzaou	H.Frej 1	1973	-37,70	-39,30	1,60	0,08	0,23
	H.Frej 2	1986	-39,82	-40,00	0,18	0,03	
	K.Chrif 1	1974	-59,00	-65,25	6,25	0,35	
	K.Chrif 2	1972	-59,10	-64,55	5,45	0,27	
	H.Titoun	1975	-104,7	-112,1	7,33	0,43	
Oued Oum Zassar	Koutine 2	1964	-37,08	-45,84	8,76	0,31	0,34
	Koutine 3	1965	-40,25	-50,00	9,75	0,36	
	H.Abdelm	1970	-12,72	-20,50	7,78	0,35	
Oued Zeuss	Zeuss 4	1972	-22,62	-29,53	6,91	0,35	0,42(*)
	Zeuss 5	1972	-22,40	-31,50	9,10	0,45	
	Zeuss 1	1962	+ 3,11	- 6,85	9,96	0,33	
	Zeuss 3	1962	- 3,76	-16,25	12,49	0,42	
	Zeuss 1b	1962	+ 4,50	-10,06	14,56	0,48	

#### 4- EVOLUTION DE LA SALINITE :

La salinité de l'eau de la nappe a accusé parallèlement à l'augmentation de l'exploitation, un accroissement sensible qui est de **27 mg/l/an** en moyenne sur les forages du bassin versant Oued Zigzaou, **23 mg/l/an** sur les forages de bassin versant Oued Oum Zessar et de **49 mg/l/an** sur les forages du bassin versant de Oued Zeuss (Tableau n°3).

Le gardient d'accroissement de la salinité le plus élevé est également enregistré au niveau du bassin versant de Oued Zeuss où l'exploitation est la plus importante.

Tableau N°3

Bassins Versants	Désignation Forages	Date Exécution	Residu Sec (mg/l)		Augm. du R.S. par forage (mg/l)	Augm. interannuelle Moyenne (mg/l/an)	Augm. interan. moyenne par zone (mg/l/an)
			Récept.	actuel			
Oued Zigzaou	H. Frej 1	1973	2205	2536	331	17,5	27
	H. Frej 2	1986	2520	2746	226	37,6	
	K. Chrif 1	1974	780	1552	772	43	
	K. Chrif 2	1972	1360	1814	454	23	
	H.Titoun	1975	1300	1560	260	15	
Oued Oum Zessar	Koutine 2	1964	1040	1834	794	28	23
	Koutine 3	1965	1280	1560	280	10	
	H.Abdelm	1970	1800	2456	658	30	
Oued Zeuss	Zeuss 4	1972	2100	3510	1410	71	49(*)
	Zeuss 5	1972	2200	3492	1292	65	
	Zeuss 1	1962	2440	3930	1490	50	
	Zeuss 3	1962	2560	3530	970	33	
	Zeuss 1b	1962	3500	4190	690	24	

Malgré une exploitation (331 l/s f.c.) n'ayant pas atteint le potentiel des ressources en eau (350 l/s f.c.), il est constaté qu'à l'exception du bassin versant de Oued Zigzaou (Zone de Ksar Cherif et Hir Frej) où une légère remontée du niveau piézométrique est observée, partout ailleurs, l'exploitation a entraîné une importante baisse du niveau piézométrique accompagnée d'une dégradation sensible de la salinité, ce qui met en évidence une situation de surexploitation du système aquifère.

#### 5- IMPACT DE L'AMENAGEMENT EN C.E.S DU BASSIN :

Les travaux d'aménagement hydraulique qui ont été entamés depuis l'année 1985, au niveau du bassin versant de Oued Zeuss, et ultérieurement au niveau des bassins versants des Oueds Zigzaou et Oum Zessar, avaient pour but de favoriser un apport d'eau supplémentaire à la nappe en vue de freiner l'abaissement des niveaux piézométriques et d'améliorer la qualité chimique des eaux.

La superficie des bassins traités est de **30 170 Ha**, ce qui correspond à **42 %** de la superficie totale des trois bassins versants (Tableau n°4).

Tableau N° 4

Bassins Versants	Affluents et Ravins traités	Nature des travaux "C.E.S" effectués	Surfaces Traitées	
			(Ha)	% / S.T
Oued Zeuss	<ul style="list-style-type: none"><li>- Chaabet Chaoua</li><li>- O.Mertba Bou Remli</li><li>- Chaabet Grouz</li><li>- Chaabet Ouergli</li><li>- Chaabet Ettine</li><li>- Chaabet Abdelkrim</li><li>- O.Karma</li><li>- O. Mjirda</li><li>- O.Mriza</li><li>- O. Bou Remli</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Jessours, tabias et terrassement mécanique</li><li>- Sauvegarde et entretien d'anciens jessours</li></ul>	8.170	52 %
		<ul style="list-style-type: none"><li>- 20 unités de recharge de nappe</li></ul>		
Oued Zigzaou	<ul style="list-style-type: none"><li>- O.Termamane</li><li>- O.Rhouibet Derbane</li><li>- O.Bou Yahia</li><li>- O.Saadane</li><li>- O.Temed</li><li>- O.Touati</li><li>- O.El Bir</li><li>- O.El Biati</li><li>- Chaabet Kharrouba</li><li>- O.Zabouza</li><li>- Chaabet Maloula</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Jessours, tabias et terrassement mécanique</li><li>- Sauvegarde et entretien d'anciens jessours</li></ul>	8.000	38 %
		<ul style="list-style-type: none"><li>- 15 unités de recharge de nappe</li></ul>		
Oued Oum Zessar	<ul style="list-style-type: none"><li>- O. Nagueb</li><li>- O.Halk Jemel</li><li>- O. El Haimeur</li><li>- O. El Moura</li><li>- O. Dekhilet Yahia</li><li>- Chaabet Hir Zitoun</li><li>- O. El Mtabeg</li><li>- O. Bou Ghaba</li><li>- O. Hajjej</li><li>- Chaabet Edib</li><li>- O. Moussa</li><li>- O. Segdel</li><li>- O. Hachana</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Jessours, tabias et terrassement mécanique</li><li>- Sauvegarde et entretien d'anciens jessours</li></ul>	14.000	42 %
		<ul style="list-style-type: none"><li>- 50 unités de recharge de nappe</li><li>- 25 unités d'épandage des eaux de crues</li></ul>		
T O T A L			30.170	42 %

## 6- RESULTATS :

Tableau N° 5

Bassins Versants	Travaux "C.E.S" Effectués	Volume Mobilisé (Mm³/an)	
		Partiel	Total
Oued Zeuss	- Jessours, Tabias et terrassement mécanique	0,815	1,215
	- 20 Unités de recharge de nappe	0,400 (*)	
Oued Zigzaou	- Jessours, Tabias et terrassement mécanique	1,012	1,132
	- 15 Dignes déversoirs en gabion	0,120 (*)	
Oued Oum Zessar	- Jessours, Tabias et Terrassement mécanique	1,770	
	- 50 unités de recharge de nappe		2,370
	- 25 unités d'épandage des eaux de crues	0,600 (*)	
VOLUME TOTAL MOBILISE		4,617 (147 l/s f.c.)	

Le volume total d'eau de surface mobilisé lors des crues par ces traitements a été évalué à **4,617 Mm³/an** (soit l'équivalent de 147 l/s f.c.).

La ratio contribuant à la recharge de la nappe profonde provenant des unités de recharge et d'épandage des eaux de crues évalué sur la base d'un coefficient d'infiltration de 24%, s'élève à :

$$0,400 + 0,120 + 0,600 = 1,120 \text{ Mm}^3/\text{an} \text{ (soit } 35,5 \text{ l/s f.c.)}$$

Ce volume est relativement modeste, d'où son effet réduit sur la recharge. Ceci provient du fait que la plupart des traitements effectués avaient pour but essentiel la réduction de l'érosion hydrique, la recharge de la nappe phréatique et l'emménagement d'une partie de l'eau au profit des plantations agricoles.

#### 6-1 IMPACT DES TRAVAUX DE C.E.S SUR LA PIEZOMETRIE :

L'évolution du niveau piézométrique de la nappe dans les forages entre la date de leur mise en exploitation et l'achèvement de la première tranche des travaux C.E.S (1988) a révélé **une baisse interannuelle moyenne sensiblement identique sur les trois bassins versants**. Elle est de l'ordre de **0,35 m/an**.

Après l'aménagement du bassin versant de Zeuss-Koutine en C.E.S., l'équilibre a été rompu si bien qu'au niveau du bassin versant de Oued Zigzaou, la piézométrie a accusé une **légère remontée**.

Au niveau du bassin versant de Oued Oum Zassar, la baisse de la piézométrie a pratiquement **doublée** ; alors qu'au niveau du bassin versant de Oued Zeuss, la baisse de la piézométrie est pratiquement, **trois fois** sa valeur d'avant l'aménagement (Tableau n°6).

Tableau N°6

EVOLUTION DES NIVEAUX JUSQU'A "1988" "1 <sup>ère</sup> tranche des travaux C.E.S."							EVOLUTION DES NIVEAUX APRES "1988" "2 <sup>ème</sup> TRANCHE DES TRAVAUX C.E.S."				
Bassins Versantes	Désignation Forages	Date Exécution	Niveau statique (m/TN)		Baisse du NS (m)	Baisse interan-moyenne (m/an)	Baisse interan-moyenne par B.V. (m/an)	NS 1992 (m/TN)	Baisse du N.S 1988-92 (m)	Baisse Interan-Moyenne (m/an)	Baisse interannuelle moyenne par B.V. (m/an)
			Récept.	1988							
OUED ZIGZAOU	Hir Fredj 1	1973	-36,70	-42,00	4,3	0,29	0,37	-39,30	+2,70	+0,67	+0,04
	Hir Fredj 2	1986	-39,82	-40,56	0,76	0,37		-40,00	+0,56	+0,14	
	Hr.Titoun	1975	-104,77	-110,00	5,23	0,37		-112,10	2,10	0,52	
	K.Cherif 1	1974	-59,00	-65,12	6,12	0,44		-65,25	0,13	0,03	
	K.Cherif 2	1972	-59,10	-64,40	6,30	0,39		-64,55	0,15	0,04	
OUM ZESSAR	Koutine 2	1964	-37,08	-40,70	3,62	0,15	0,30	-45,84	5,14	1,28	0,61
	Koutine 3	1965	-40,25	-49,63	9,38	0,41		-53,00	3,67	0,84	
	H.Abdelml	1970	-12,72	-18,59	5,87	0,33		-20,00	1,91	0,47	
OUED ZEUSS	Zeuss 4	1972	-22,62	-29,33	6,71	0,42	0,35	-29,53	0,20	0,05	1,06(*)
	Zeuss 5	1972	-22,40	-29,25	6,85	0,43		-31,50	2,25	0,56	
	Zeuss 1	1962	+ 3,11	-3,85	6,96	0,27		-6,85	3,00	0,75	
	Zeuss 1bis	1962	+ 4,50	-3,45	7,95	0,30		-10,06	6,61	1,65	
	Zeuss 3	1962	-3,76	-7,13	3,37	0,13		-16,25	9,12	2,28	

## 6-2 IMPACT DES TRAVAUX DE C.E.S. SUR LA SALINITE :

En suivant l'évolution de la salinité des forages durant la même période, on a constaté qu'avant 1988, l'augmentation de la salinité de l'eau est **sensiblement la même** au niveau des bassins des deux oueds Zigzaou et Oum Zessar (23 mg/l/an), mais elle est plus importante au niveau de celui de l'Oued Zeuss (43 mg/l/an). Par contre durant la période postérieure à 1988, le gradient de salinité a subi au niveau du bassin versant de Oued Zigzaou, **une légère diminution** (passage de 23 à 15 mg/l/an). Quant à l'augmentation de ce gradient au niveau du bassin versant de Oued Zeuss, elle est pratiquement le double de sa valeur d'avant l'aménagement (passage de 43 à 73 mg/l/an) (Tableau n°7).

Tableau N° 7

Bassins versants	Designat. Forages	Date Exécut.	Evolution de la salinité jusqu'à "1988" "1 <sup>ère</sup> tranche des travaux C.E.S."				Evolution de la salinité après "1988" "2 <sup>ème</sup> tranche des travaux C.E.S."				
			Résidu sec (mg/l)		Augment. du R.S. par forage (mg/l)	Augment. internat. moyenne (mg/l/an)	Augment. internat. au moy. par B.V. (mg/l/an)	Résidu sec 1992 (mg/l)	Augment. du R.S. par forage (mg/l)	Augment. internat. moyenne (mg/l/an)	Augmen internat. moyenne par B.V. (mg/l/an)
			Récept.	1988							
OUED ZIGZAOU	Hir Frej 1	1973	2205	2582	377	24	23	2536	-46	-11,5	15
	Hir Frej 2	1986	2520	2520	-	-		2746	226	56	
	H. Titoun	1975	1300	1700	400	33		1560	-140	-28	
	K. Chrif 1	1974	780	1370	590	39		1552	182	61	
	K. Chrif 2	1972	1360	1700	340	20		1814	114	38	
OUED OUM ZESSAR	Koutine 2	1964	1040	1711	671	27	23	1834	123	62	30
	Koutine 3	1965	1280	1494	214	9		1560	66	22	
	H.Abdelm 1	1970	1800	2438	638	34		2458	20	7	
OUED ZEUSS	Zeuss 4	1972	2100	3180	1080	64	43	3510	374	94	73(*)
	Zeuss 5	1972	2200	3136	936	55		3492	356	90	
	Zeuss 1	1962	2440	3340	900	34		3542	202	51	
	Zeuss 1 <sup>bis</sup>	1962	3500	4410	910	34		4202	-208	652	
	Zeuss 3	1962	2560	3300	770	29		3530	230	58	

## 6 - 3 RECAPITULATION :

L'impact de la recharge sur l'évolution des caractéristiques hydrodynamiques et hydrochimiques de la nappe de Zeuss-Koutine, se traduit :

- au niveau des bassins versants de **Oued Zeuss** et de **Oued Oum Zessar**, par une forte baisse du niveau piézométrique **parallèlement à une augmentation sensible de la salinité** malgré les traitements en CES réalisés. Ceci s'explique par **l'importance de l'exploitation** d'une part et **la faible réalimentation de la nappe d'autre part**.

- au niveau du bassin versant de **Oued Zigzaou**, la salinité a enregistré **une faible augmentation accompagnée d'une légère stabilisation des niveaux**, ce qui s'explique d'une part, par **l'effet bénéfique de la recharge** à partir des ouvrages de la C.E.S. réalisés au niveau de la zone d'alimentation préférentielle (zone amont de Ksar Cherif) et d'autre part, par **l'exploitation relativement réduite**.



Tenant compte de l'accroissement de la demande en eau dans cette partie du Sud tunisien, il n'est pas concevable de réduire l'exploitation de cette nappe.

Par ailleurs, les travaux de C.E.S. réalisés en dehors des zones d'alimentation préférentielle de la nappe, n'ont permis de contre balancer qu'en partie, la baisse du niveau piézométrique et la dégradation de la qualité chimique de son eau.

Il y a donc lieu d'envisager l'intensification de l'aménagement en ouvrages hydrauliques au niveau des zones d'alimentation préférentielle de la nappe de Zeuss-Koutine.

#### 7- PROPOSITIONS POUR DES AMENAGEMENTS EN OUVRAGES DE C.E.S. :

Suite à une reconnaissance sur terrain et à partir des cartes et des photos aériennes, les meilleurs sites qui se prêtent à d'éventuels aménagements en ouvrages de C.E.S. sont :

- 1<sup>er</sup> site : Zemlet Leben
- 2<sup>ème</sup> site : Ksar Cherif
- 3<sup>ème</sup> site : Confluence Oued Negueb-Oued Hallouf
- 4<sup>ème</sup> site : Hir Jouarbria(Digue déversoir + canal de déviation)

Des relevés topographiques de ces sites choisis ont été effectués (SONEDE, 1985). Ces relevés ont permis d'arrêter les caractéristiques physiques et hydrologiques des ouvrages projetés.

Tableau N° 8

Bassins versants situés		O. Zeuss	O. Zigraou	Oued Oum Zessar	
Caractéristiques des aménagements projetés		Zemlet Leben	Aval Ksar Cherif	Aval Confluence O. Negueb O. Hallouf	Digue Déversoir H. Jouabria
Côte du fond de l'oued (côte vidange) (m/NGT)		117	99	102	140
Côte max. de l'ouvrage (m/NGT)		127	110	110	145
H. max. de l'ouvrage (m)		10	11	8	5
Dimensions de l'ouvrage projeté	Long. (m)	500	400	450	300
	G. Base (m)	15	15	10	10
	P. Base (m)	5	5	4	4
Pente du terrain (%)		8	9	9	6
Superficie de la retenue	km <sup>2</sup>	1,14	0,66	0,61	-
	Ha	114	66	61	-
Longueur de la retenue (m)		1700	1600	1250	-
Capacité de retenue de l'ouvrage jusqu'à la côte de vidange (m <sup>3</sup> )		3.812 000	2.437 225	1.631 200	-
Perte par évaporation (m <sup>3</sup> ) (*)		2.280 000	1.330 000	1.220 000	-
Capacité de stockage (m <sup>3</sup> )		1.520 000	1.100 000	400 000	-

(\*) Le taux d'évaporation a été pris égal à 2 m/an.

## 7-1 CONSEQUENCES ATTENDUES DES AMENAGEMENTS PROJETES :

Deux méthodes ont été utilisées pour l'estimation du volume ruisselé au niveau des ouvrages projetés.

**\*Première méthode = estimation du volume ruisselé à partir du coefficient de ruissellement "Kr3" :**

En se basant sur un coefficient de ruissellement (kr) égal à 7 % calculé à partir de données hydrométriques mesurées à la station de Koutine sur oued Oum Zessar (années 1973-91) la superficie du bassin (S) et la pluviométrie moyenne annuelle (P), le volume ruisselé ( $V_r$ ) est donné par l'expression suivante :

$$V_r = S \times P \times K_r$$

où

S = superficie (m<sup>2</sup>)

P = Pluviométrie (mm)

Kr = Coefficient de ruissellement (%)

Le volume ruisselé jusqu'aux ouvrages projetés est égal à **4,82 Mm<sup>3</sup>/an** soit 153 l/s f.c.). Ce volume représente 51% du volume total ruisselé qui est de **9,45 Mm<sup>3</sup>/an** (300 l/s f.c.).

(voir tableaux a et b)

### a) Sans canal de déviation à Hir Jouabria :

Tableau N° 9

Bassins versants	Superficie (km <sup>2</sup> )	Pluviométrie moyenne annuelle (m/an)	Surface du B.V. au niveau des ouvrages		Coefficient de ruissellement "KR"	V.Total ruisselé $V_r = S.P.K_r$ (Mm <sup>3</sup> /an)	V. Ruisselé jusqu'aux ouvrages projetés (Mm <sup>3</sup> /an)
			S (km <sup>2</sup> )	%/S.T.			
Oued Zeuss	167	0,185	17	10 %	7 %	2,2	0,22
Oued Zigzaou	214	0,190	100	45 %	7 %	2,85	1,33
Oued Oum Zessar	350	0,180	260	68 %	7 %	4,40	3,27
	Mm <sup>3</sup> /an					9,45	4,82
TOTAL	l/s f.c.	731	377	51,5 %	-	300	153 (*)

### b) Canal de déviation à Hir Jouabria :

Tableau N° 10

Bassins versants	Superficie (km <sup>2</sup> )	Pluviométrie moyenne annuelle (m/an)	Surface du B.V. au niveau des ouvrages		Coefficient de ruissellement "KR"	V.Total ruisselé $V_r = S.P.K_r$ (Mm <sup>3</sup> /an)	V. Ruisselé jusqu'aux ouvrages projetés (Mm <sup>3</sup> /an)
			S (km <sup>2</sup> )	%/S.T.			
Oued Zeuss	247	0,185	(17+80)=97	39 %	7 %	(2,2+1) = 3,2	(0,22+1) = 1,22 (*)
Oued Zigzaou	214	0,190	100	45 %	7 %	2,85	1,33
Oued Oum Zessar	270	0,180	(260-80) = 180	68 %	7 %	(4,4-1) = 3,40	(3,27-1) = 2,27
	Mm <sup>3</sup> /an					9,45	4,82
TOTAL	l/s f.c.	731	377	51,5 %	-	300	153 (*)

**\* Deuxième méthode=Estimation du volume ruisselé à partir de la lame d'eau ruisselée "L<sub>r</sub>"**

En se basant sur la lame d'eau ruisselé (L<sub>r</sub>) établie par la formule de M. FERSI pour le Sud tunisien :

$$L_R = 163,9 \cdot 10^{-4} P \sqrt{IG}$$

où

P = Pluie moyenne interannuelle (mm)

IG = Indice de pente globale (m/km)

L'expression du volume ruisselé est donné par :

$$V_R = L_R \times S$$

où

L<sub>r</sub> = Lamme d'eau ruisselée (mm)

S = Superficie (m<sup>2</sup>)

Les volumes ruisselés jusqu'aux ouvrages projetés sont évalués à **3,5 Mm<sup>3</sup>/an** (111 l/s f.c.), ce qui représente 52 % du volume total ruisselé qui est de **6,68 Mm<sup>3</sup>/an** (212 l/s f.c.). (Voir tableaux a et b)

**a) Sans canal de déviation à Hir Jouabria :**

**Tableau N° 11**

Bassins versants	Superficie (km <sup>2</sup> )	Pluviométrien Moyenne (m/an)	Coefficient de compacité Kc	Indice de pente globale IG (m/km)	Lame ruisselé "L <sub>R</sub> " (mm)	Surface du B.V. au niveau des ouvrages		V.Total ruisselé V <sub>r</sub> = L <sub>r</sub> × S (Mm <sup>3</sup> /an)	V. Ruisselé jusqu'aux ouvrages projetés (Mm <sup>3</sup> /an)
						(km <sup>2</sup> )	%/S.T.		
Oued Zeuss	167	0,185	1,31	6,09	7,90	17	10 %	1,32	0,13
Oued Zigzaou	214	0,190	1,84	9,73	10,30	100	45 %	2,20	1,03
Oued Oum Zessar	350	0,180	1,81	8,34	9,00	260	68 %	3,16	2,34
TOTAL	Mm <sup>3</sup> /an							6,68	3,50
	l/s f.c.	731						212	111

**b) Avec canal de déviation à Hir Jauabria :**

**Tableau N° 12**

Bassins versants	Superficie (km <sup>2</sup> )	Pluviométrien Moyenne (m/an)	Coefficient de compacité Kc	Indice de pente globale IG (m/km)	Lame ruisselé "L <sub>R</sub> " (mm)	Surface du B.V. au niveau des ouvrages		V.Total ruisselé V <sub>r</sub> = L <sub>r</sub> × S (Mm <sup>3</sup> /an)	V. Ruisselé jusqu'aux ouvrages projetés (Mm <sup>3</sup> /an)
						(km <sup>2</sup> )	%/S.T.		
Oued Zeuss	247	0,185	1,31	6,09	7,9	(17+80)=97	39 %	(1,32+0,70) = 2,02	(0,13+0,7= 0,83 (*)
Oued Zigzaou	214	0,190	1,84	9,73	10,30	100	45 %	2,20	1,03
Oued Oum Zessar	270	0,180	1,81	8,34	9,00	(260-80)=180	68 %	(3,16-0,70) = 2,46	(2,34-0,7) = 1,64
TOTAL	Mm <sup>3</sup> /an							6,68	3,50
	l/s f.c.	731						212	111

Le volume d'eau ruisselé calculé à partir de la lame d'eau ruisselé ( $L_r$ ) est inférieur à celui calculé à partir du coefficient de ruissellement ( $K_r$ ), ceci pourrait être dû au degré d'appréciation des paramètres physiques et hydrogéologiques des différents bassins versants, c'est ainsi qu'il a été adopté une valeur moyenne pour l'estimation des volumes ruisselés au niveau des ouvrages projetés.

En adoptant la moyenne des deux méthodes on obtient un volume total moyen ruisselé jusqu'aux ouvrages qui est de :

$$(V_{\text{tot moy}} = 4,16 \text{ Mm}^3/\text{an} \text{ (132 l/s f.c.)})$$

(Voir tableaux a et b)

*a) Sans canal de déviation à Hir Jouabria :*

Tableau N° 13

Bassins versants	Superficie (km <sup>2</sup> )	Pluviométrie moyenne (m/an)	Coefficient de compacité $k_c$	Indice de pente globale $IG$ (m/km)	Surface du B.V. au niveau des ouvrages		V.Total ruisselé $V_r = L_r.S$ (Mm <sup>3</sup> /an)	V. Ruisselé jusqu'aux ouvrages projetés (Mm <sup>3</sup> /an)
					(km <sup>2</sup> )	%/S.T.		
Oued Zeuss	247	0,185	1,31	6,09	(17+80)= 97	39 %	1,76	0,17
Oued Zigzaou	214	0,190	1,84	9,73	100	45 %	2,52	1,18
Oued Oum Zessar	270	0,180	1,81	8,34	(260- 80)=180	68 %	3,78	2,80
TOTAL	Mm <sup>3</sup> /an	731					8,06	4,15
	l/s f.c.						256	132

*b) Avec canal de déviation à Hir Jouabria :*

Tableau N° 14

Bassins versants	Superficie (km <sup>2</sup> )	Pluviométrie moyenne (m/an)	Coefficient de compacité $k_c$	Indice de pente globale $IG$ (m/km)	Surface du B.V. au niveau des ouvrages		V.Total ruisselé $V_r = L_r.S$ (Mm <sup>3</sup> /an)	V. Ruisselé jusqu'aux ouvrages projetés (Mm <sup>3</sup> /an)
					(km <sup>2</sup> )	%/S.T.		
Oued Zeuss	247	0,185	1,31	6,09	(17+80)= 97	39 %	2,61	1,02
Oued Zigzaou	214	0,190	1,84	9,73	100	45 %	2,52	1,18
Oued Oum Zessar	270	0,180	1,81	8,34	(260- 80)=180	68 %	2,93	1,95
TOTAL	Mm <sup>3</sup> /an	731					8,06	4,15
	l/s f.c.						256	132

**8 - CONCLUSION :**

L'impact de l'exploitation et de la recharge sur l'évolution du niveau statique et de la salinité de l'eau dans les forages captant la nappe de Zeuss-Koutine, révèle ce qui suit :

1) au niveau du bassin versant de Oued Zeuss, malgré l'importance des traitements effectués (52 % de la superficie totale), **la baisse des niveaux statiques s'est accentuée après l'achèvement de la première tranche des travaux C.E.S. : (passage du gradient de 43 à 73 mg/l/an.**

Ceci témoigne de l'effet négligeable de la réalimentation et de l'importance de l'exploitation (54 % de l'exploitation totale).

Ces traitements n'ont été bénéfiques que pour la recharge de la nappe phréatique et à la réduction de l'érosion hydrique.

2) Au niveau du bassin versant de oued Oum Zessar, les niveaux statiques des forages ont continué à baisser, mais suivant un gradient modéré : (passage de 0,30 à 0,61 m/an) entraînant **une légère augmentation de la salinité** (passage du gradient de 23 à 30 mg/l/an) ; ce qui témoigne d'une faible contribution de la recharge et surtout de l'exploitation sectorielle modérée (30 % de l'exploitation totale).

En effet, malgré l'importance des traitements effectués (42 % de la superficie totale du bassin versant), seul **10 % de la superficie totale traitée contribue à la réalimentation de la nappe profonde** (unités de recharges de nappes).

Vu l'inefficacité de la plupart des traitements de C.E.S. effectués, seul l'aménagement d'ouvrages de régulation de ressources, situés au niveau des zones d'alimentation préférentielles peuvent entraîner le rétablissement des niveaux piézométriques et l'amélioration de la salinité.

L'apport d'eau global estimé à partir de ces ouvrages de régulation s'élève à : **4,16 Mm<sup>3</sup>/an (soit 132 l/s f.c.)**, pour un coût total d'environ 4 millions de dinars.

Les actions à entreprendre se résument ainsi :

1) réactualiser le bilan de cette nappe sur la base des données actuelles afin d'optimiser l'exploitation de cette nappe étant donnée que le bilan a été déterminé en assimilant l'aquifère à un milieu poreux isotrope alors qu'il est un milieu carbonaté fissuré hétérogène.

2) établir un modèle qualitatif permettant de prévoir l'évolution de la qualité chimique des eaux au cours du temps en fonction des différents scénarios de prélèvement.

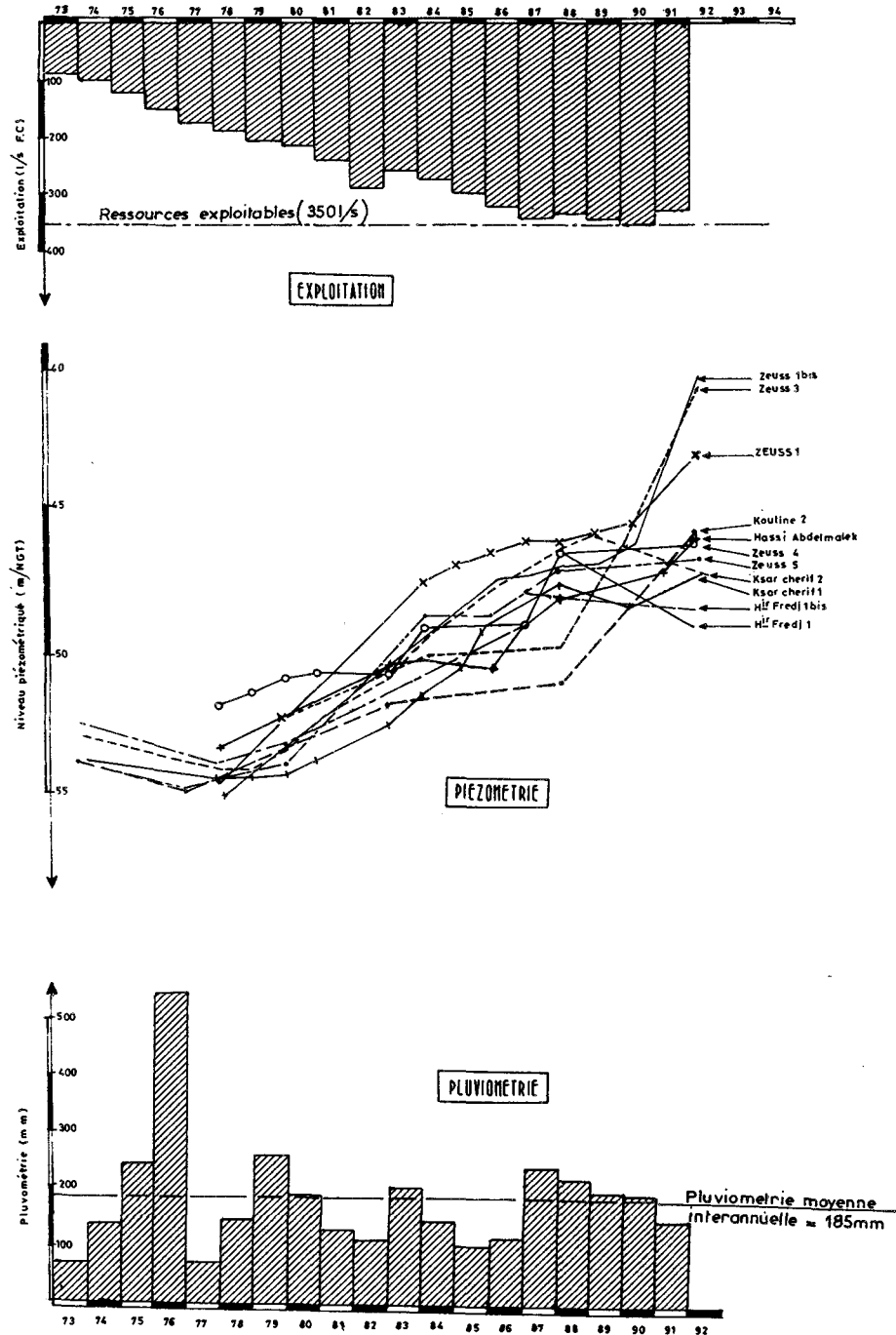
3) rééquilibrer l'exploitation au niveau des différents bassins versants de cette nappe.

4) réaliser les ouvrages de recharge au niveau des zones d'infiltration préférentielle du réservoir carbonaté profond.

5) renforcer le réseau de surveillance de cette nappe par l'exécution de piézomètres à équiper de limnigraphes.

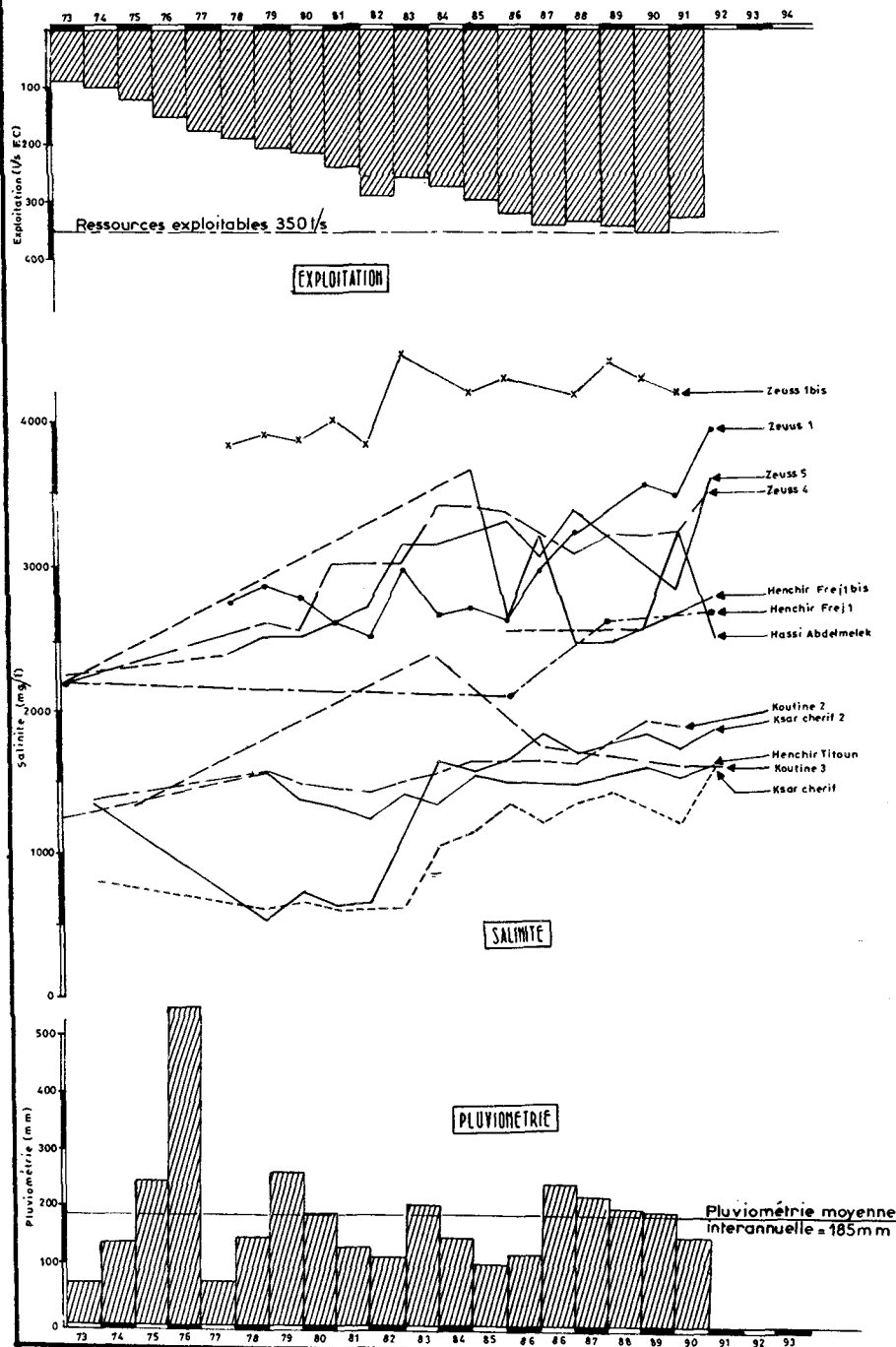


EVOLUTION DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES  
ET DE LA SALINITE DES FORAGES  
CAPTANTS LA NAPPE ZEUSS-KOUTINE  
(1974-1991) Fig.7



EVOLUTION DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES  
ET DE LA SALINITE DES FORAGES  
CAPTANTS LA NAPPE ZEUSS-KOUTINE  
(1974-1991)

Fig. 8





*TROISIEME PARTIE*

*ACTIVITE DE LA DGRÉ*



# EXPLOITATION DES NAPPES EN TUNISIE EN 1992

A. MAMOU

## 1- EXPLOITATION DES NAPPES PHREATIQUES :

La Tunisie compte **206 nappes phréatiques** exploitées par **121 000 puits** de surface à raison d'un volume d'exhaure de **727 Mm<sup>3</sup>/an**.

L'essentiel des ressources des nappes phreatiques se localise en Tunisie du Nord (56,6 %). C'est dans cette région et plus particulièrement dans le Nord Est que l'exploitation de ces nappes est la plus poussée.

La Tunisie du Centre à ressources plus modestes (30 %) connaît des situations de surexploitation dans le Sahel (Sousse, Monastir, Mahdia et Sfax) ainsi qu'à Sidi Bouzid et Kairouan. Ceci a été à l'origine de la salinisation de l'eau (intrusion d'eau saumâtre à partir de la mer et des Sebkhs), de l'abandon de plusieurs puits (Sfax et Mahdia) et de la baisse sensible de la surface piézométrique (Sidi Bouzid et Kairouan).

En Tunisie du Sud à ressources en eau phréatique réduite (14,5 %) et de qualité relativement médiocre (nappes côtières et nappes des oasis), la majeure partie de ces nappes sont à un stade d'exploitation quasi-optimisée.

## 2- EXPLOITATION DES NAPPES PROFONDES :

L'exploitation globale des nappes profondes de la Tunisie a atteint au cours de l'année 1992, l'équivalent de **861,3 Mm<sup>3</sup>/an** enregistrant ainsi une augmentation de **27,8 Mm<sup>3</sup>/an** (3 %) par rapport à l'année 1991. Cette exploitation représente 74 % des ressources exploitables à partir des nappes profondes estimées à **1171 Mm<sup>3</sup>/an**. Le tableau suivant traduit l'évolution de l'exploitation des nappes profondes en Tunisie entre 1985 et 1992.

**TABLEAU N° 1 : EVOLUTION DE L'EXPLOITATION DES NAPPES PROFONDES  
DE TUNISIE ENTRE 1985 ET 1992**

Exploitation Mm <sup>3</sup> /an Région	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Tunisie du Nord	62	55	59	66	69	71	65	74.8
Tunisie du Centre	132	167	192	183	186	171	169.5	169.8
Tunisie du Sud	469	505	515	559	596	594	599	616.7
<b>Total</b>	<b>663</b>	<b>727</b>	<b>766</b>	<b>808</b>	<b>851</b>	<b>836</b>	<b>833.5</b>	<b>861.3</b>

Les prélèvements sur les nappes profondes de la Tunisie se font à partir de **2112 points** d'eau se répartissant entre les sources, les forages jaillissants et les forages pompés suivant la ventilation suivante :

- **sources** : 58.3 Mm<sup>3</sup>/an (80 sources).
- **forages artésiens** : 304 Mm<sup>3</sup>/an (298 forages).
- **forages pompés** : 499 Mm<sup>3</sup>/an (1734 forages).

Comparée à la situation de 1991, celle de l'exploitation de ces nappes en 1992, fait apparaître que les prélèvements à partir des sources se stabilisent à **6,8 %** des prélèvements globaux. Ceux des forages jaillissants enregistrent une augmentation sensible en passant de **270 Mm<sup>3</sup>/an** en 1991 à **304 Mm<sup>3</sup>/an** en 1992. Ces prélèvements correspondent à **35,2 %** de l'exhaure global. Ainsi près de **58 %** des prélèvements à partir des nappes profondes se font par pompage.

La répartition de l'exploitation des nappes profondes du pays entre les différents usages économiques, est restée du même ordre de grandeur au niveau de l'alimentation en eau potable avec **151,9 Mm<sup>3</sup>/an** représentant (**15,5 %** des prélèvements). La consommation du secteur agricole irrigué reste prépondérante avec **649,1 Mm<sup>3</sup>/an** représentant **75,5 %** des prélèvements. Le secteur industriel qui prélevait en 1991, l'équivalent de **6,5 %** du l'exhaure global de ces nappes, est passé en 1992, à **7 %**, soit **60.35 Mm<sup>3</sup>/an**.

---

Mm<sup>3</sup>/an = million de m<sup>3</sup> par an.

**LA SITUATION PLUVIOMETRIQUE ET HYDROLOGIQUE**  
**AU COURS DE L'ANNEE AGRICOLE 1991-92**

**M. R. KALLEL**

L'année hydrologique 1991-92 a été caractérisée par une situation pluviométrique dans l'ensemble satisfaisante et qui a confirmé l'amélioration enregistrée durant les deux années précédentes. Un excédent moyen global de **16%** a été enregistré pour l'ensemble du pays, alors qu' à l'échelle des régions, les excédents varient de 25% au Nord Est à 3% au Sud-Est, seul le Sud-Ouest à enregistré un léger déficit estimé à 3%. Des quantités de pluies importantes ont été enregistrées sur plusieurs régions. Elles ont dépassé :

- **1500 mm** sur les reliefs du Nord-Ouest
- **500 mm** sur toute la Tunisie du Nord, le Sahel de Sousse, seules quelques zones du Nord-Ouest ont enregistré de faibles déficits.
- Au Sud d'une ligne Chebba-Sidi Bouzid les totaux pluviométriques annuels ont été inférieurs à **300 mm** et les déficits bien faibles (0 à 15%) sur la majorité des stations du réseau pluviométrique.

A l'échelle des grandes régions naturelles du pays la situation pluviométrique à la fin de l'année agricole 1991/92 se présente donc comme suit :

REGION	PLUIE PERIODE mm	MOYENNE PERIODE mm	RAPPORT A LA MOYENNE	EXCEDENT OU DEFICIT %
Nord Est	489	614	1.26	Exc. 26
Nord Ouest	597	663	1.11	Exc. 11
Centre Ouest	315	380	1.21	Exc. 21
Centre Est	313	371	1.18	Exc. 18
Sud Ouest	117	114	0.97	Déf. 03
Sud Est	174	179	1.03	Exc. 03
<b>TUNISIE</b>	<b>334</b>	<b>387</b>	<b>1.16</b>	<b>Exc. 16</b>

A l'échelle saisonnière, toutes les saisons furent en moyenne excédentaires pour l'ensemble du pays, à l'échelle régionale quelques déficits ont été toutefois relevés:

- l'été pour le Centre Ouest et le Sud-Ouest

Mai 1992 alors les mois de Décembre 91 et Mars 92 ont été plus déficitaires.

mensuelle dans les différents Gouvernorats :

 Mois excédentaire     Mois normal     Mois déficitaire

**ETAT DE LA SITUATION PLUVIOMETRIQUE MENSUELLE REGIONALE**  
**ANNEE AGRICOLE 1991-1992**

[illegible]

Malgré leur importance relative, ces pluies n'ont pas eu les répercussions escomptées sur les écoulements de surface. Seuls les épisodes pluvieux importants du mois d'avril 1992 ont eu un impact assez remarquable sur les écoulements dans le bassin de la Medjerda où des crues importantes ont été observées amenant un apport total d'une centaine de millions de m<sup>3</sup> au barrage de Sidi Salem. Nous pouvons aussi relever la crue importante observée sur le Mellègue au cours du mois de Mai et dont le débit maximum atteint 1300 m<sup>3</sup>/s, quelques crues assez importantes ont été aussi observées sur les oueds du Centre au cours des mois de Février, Mai, Septembre et Octobre 1992.

Toutefois et malgré ces crues, les écoulements ont été d'une façon générale assez déficitaires. Les apports globaux n'ont pas dépassé 70% des apports moyens interannuels soit 1800 millions de m<sup>3</sup> contre une moyenne interannuelle de 2700 millions de m<sup>3</sup>. La répartition régionale de ces apports se présente comme suit:

REGION	Surface (km <sup>2</sup> )	PLUIE			APPORT		
		Moyenne mm	An 91/92 mm	Rapport %	Moyenne Mm <sup>3</sup>	91-92 Mm <sup>3</sup>	Rapport %
Nord	34000	550	640	116	2190	1600	73
Centre	28000	315	380	121	273	130	48
Sud	52000	145	150	103	117	70	60
<b>TUNISIE</b>	<b>114000</b>	<b>310</b>	<b>355</b>	<b>115</b>	<b>2700</b>	<b>1800</b>	<b>67</b>

Par ailleurs l'analyse des apports aux différents barrages confirme les déficits enregistrés par rapport aux normales connues. C'est ainsi que le volume global de ces apports n'a pas dépassé durant l'année hydrologique 1991-92, 842 millions de m<sup>3</sup> soit 68% de la moyenne interannuelle évaluée à 1243 millions. Ces apports furent respectivement de :

\* 715 Millions de m<sup>3</sup> pour les barrages du Nord soit 71% de la moyenne estimée à 1009 Mm<sup>3</sup>;

\* 103 millions de m<sup>3</sup> pour les barrages du Centre soit 49% de la moyenne estimée à 211 Mm<sup>3</sup>;

\* 24 millions de m<sup>3</sup> pour les barrages du Cap-Bon soit 104% de la moyenne estimée à 23 Mm<sup>3</sup>.





<b>ATELIERS D'INITIATION A L'INTERPRETATION DES DIAGRAPHIES</b> <b>DIFFEREES REALISEES DANS LES FORAGES D'EAU</b>
--

Dans le cadre de l'activité de formation et de recyclage, la Direction Générale des Ressources en Eau a organisé au cours de l'année 1992, **deux ateliers d'initiation à l'interprétation des diagraphies différées réalisées dans les forages d'eau** au profit des hydrogéologues et des techniciens des Arrondissements des Ressources en Eau.

**Premier atelier** : il a été organisé au Centre de Formation Professionnelle Forestière de Bizerte le 3-1-1992 pour les chefs d'arrondissements du Nord de la Tunisie.

**Deuxième atelier** : il a été fait au Centre de recyclage et de formation professionnelle de Zerkine à Gabès 28-5-1992 pour les chefs d'arrondissements du Centre et du Sud de la Tunisie.

Le programme de ces deux journées était le suivant :

- la matinée a été consacrée après l'ouverture par le CRDA concerné, à la présentation des communications suivantes :
- **rôle des diagraphies en hydrogéologie** par Mr. A. MAMOU,
- **les différents types de diagraphies enregistrées dans les forages d'eau** par Mr. A. SEHLI,
- **l'apport des diagraphies dans les forages d'eau et l'expérience tunisienne dans ce domaine** par Mr. M. HAMZA,
- **principe de l'interprétation quantitative et de la correction des paramètres diagraphiques** par A. SEHLI.

L'après midi a été consacrée à **l'interprétation qualitative et quantitative des diagraphies sur la base d'enregistrements effectués par la DGRE et d'autres Sociétés et Service dans des forages d'eau réalisés en Tunisie**.

L'interprétation qualitative consiste à la corrélation de l'ensemble des paramètres enregistrés avec la coupe géologique du forage afin de délimiter les différentes formations recoupées et l'établissement d'une première esquisse lithologique corrigée suivant les profondeurs.

L'interprétation quantitative nécessite tout d'abord la correction des paramètres mesurés (résistivité, PS, GR...) en fonction de l'effet du diamètre du trou et de la boue du forage.

En hydrogéologie cette interprétation est orientée surtout vers la connaissance des caractéristiques et des paramètres hydrogéologiques des formations et plus particulièrement :

- la teneur en argile (GR),
- la porosité et la perméabilité (SP, résistivités et sources),
- la salinité de l'eau des formations aquifères (SP, résistivités).

Les deux journées ont été clôturées par une communication présentée par A. SEHLI, sur **les moyens et les opérations nécessaires pour le contrôle de la fiabilité des paramètres diagraphiques enregistrés** tout en mettant l'accent sur :

- le calibrage
- l'étalonnage
- la section répétée
- le contrôle de la vitesse d'enregistrement
- le calage des profondeurs.

Ces deux journées ont permis de familiariser les hydrogéologues de la DGRE habitués jusqu'à présent à n'utiliser que l'aspect qualitatif de cette discipline, à l'interprétation quantitative des diagraphies, ce qui leur permettra d'optimiser le rendement des forages d'eau et de mieux connaître les caractéristiques hydrogéologiques des aquifères.

A. S

**DIXIEME JOURNEE ANNUELLE DES  
RESSOURCES EN EAU**

**INAT, 29/04/1992**

La D.G.R.E. s'est fixée depuis 1981 l'objectif d'organiser annuellement une journée scientifique portant sur un thème d'actualité dans le domaine des ressources en eau et à laquelle sont appelés à y participer par la présentation de communications, des ingénieurs de la DGRE et d'autres ingénieurs et chercheurs des organismes administratifs et universitaires concernés par le thème choisi.

Cette journée qui est ouverte au public scientifique intéressé par le domaine des ressources en eau, est souvent organisée au cours du deuxième trimestre de chaque année à l'INAT afin d'assurer l'ouverture de l'administration sur le milieu universitaire et de drainer la participation du personnel technique des directions du Ministère de l'Agriculture et des bureaux d'études exerçant dans le domaine. Le taux de participation a évolué au cours des dix premières journées organisées entre 1981 et 1992, entre 100 et 250 participants qui se répartissent en :

- \* Organismes du Ministère de l'Agriculture (Directions centrales, CRDA, Offices et Etablissements publics)
- \* Organismes d'autres Ministères s'intéressant au domaine des ressources en eau
- \* Universités et Grandes Ecoles
- \* Sociétés de forages et Bureaux d'Etudes

Les thèmes traités lors des neuf précédentes journées des ressources en eau sont les suivants :

- 1<sup>ère</sup> journée (INAT, 9/16/1981) : les nappes phréatiques et leur exploitation.
- 2<sup>ème</sup> journée (INAT, 22/4/1982) : relation eaux de surface-eaux souterraines en Tunisie Centrale. Répercussions sur les aménagements hydrauliques.
- 3<sup>ème</sup> journée (INAT, 20/4/1983) : ressources en eau et aménagement hydrauliques de la Djeffara.
- 4<sup>ème</sup> journée (INAT, 26/4/1984) : ressources en eau et salinité. Impact sur la mise en valeur hydro-agricole.

- **5ème journée** (INAT, 11/4/1985) : les grandes nappes du Sud Tunisien, leur rôle dans le développement régional.

- **6ème journée** (INAT, 6/05/1986) : la recharge artificielle des nappes composante de la gestion intégrée des ressources en eau.

- **7ème journée** (INAT, 14/4/1987) : les ressources en eau du Nord Ouest et leur exploitation.

- **8ème journée** (INAT, 11/5/1989) : les ressources en eau dans la sécheresse.

- **9ème journée** (INAT, 25/4/1991) : stratégie pour le développement des ressources en eau en Tunisie.

Le thème choisi pour la dixième journée des ressources en eau organisée le 29/4/1992 à l'INAT, a porté sur "**la recharge artificielle des nappes à travers la maîtrise des eaux de surface**".

Lors de cette journée dont l'ouverture a été honorée par la présence de Monsieur **Ameur Horchani** Secrétaire d'Etat aux Ressources Hydrauliques, et la clôture par celle de Monsieur **Mouldi Zouaoui** Ministre de l'Agriculture, il a été noté la participation par des communications des organismes suivants : DGRE, DG/ETH, DG/CES ainsi que les A/RE aux CRDA de Ben Arous et du Kef.

Les communications présentées lors de cette journée sont les suivantes :

- \* Mobilisation des lâchures des barrages de Sidi Saad et d'El Haouareb et leur impact sur des nappes de Kairouan. H. Chaieb (DGRE)
- \* La recharge artificielle des nappes au Cap Bon. M. Rekaya (A/RE, à Nabeul)
- \* La recharge artificielle des nappes d'eau souterraine du Synclinal de Nadhour Saouef à partir du barrage collinaire de l'Oued El Oiga. R. Khanfir (DGRE).
- \* La recharge artificielle du système aquifère de la plaine de Morneg. A. Kallali (A/RE au CRDA de Ben Aous)
- \* Apport des lacs collinaires à la recharge des nappes d'eau souterraine. M. Lajili (A/RE au CRDA du Kef)
- \* Contribution des eaux des barrages à la recharge artificielle des nappes d'eau souterraine. Mme M. Abid (DG/ETH)

- \* Contribution des travaux de la CES a la recharge des nappes d'eau souterraine.  
A. Bouzid (D/CES)

Lors de la clôture de cette journée, Monsieur le Ministre de l'Agriculture a mis l'accent sur la nécessité d'assurer **une gestion rationnelle des ressources en eau** sous leurs différentes formes (de surface, souterraines, non conventionnelles etc.....) et d'oeuvrer pour le développement de ces ressources.

La recharge des nappes a partir de l'excédent en eau de surface a été considérée lors de cette journée, comme une option qui permet de développer les eaux souterraines et de préserver leur bonne qualité chimique.

Il a été décidé **que la recharge des nappes à partir des eaux de surface devienne une activité de base dans les programmes des eaux souterraines en Tunisie** et qu'une ligne budgétaire soit spécifiée à partir de 1993, pour le renforcement des opérations à l'échelle régionale pour contribuer à stocker dans les aquifères, des volumes en eau de plus en plus grands afin de faire face aux années de sécheresse et d'exploiter ces nappes avec des disponibilités plus grandes.

A. M



**JOURNEE DE LA CARTOGRAPHIE DES RESSOURCES EN EAU**

**(ENIT. 20 NOVEMBRE 1992)**

La Direction Générale des Ressources en Eau a organisé le 20/11/1992 à l'ENIT, une journée consacrée à la cartographie des ressources en eau. Cette journée qui a été inaugurée par Monsieur Ameer HORCHANI, Secrétaire d'Etat aux ressources hydrauliques, a comporté une exposition des cartes réalisées dans le domaine des ressources en eau depuis l'indépendance ainsi que la présentation de cinq communications relatives à la cartographie des ressources en eau souterraine en Tunisie. Ces communications sont les suivantes :

- L'expérience tunisienne en cartographie hydrogéologique et présentation de la carte des ressources en eau au 1/500 000 (M. HAMZA).
- Les nappes du Sud tunisien à travers la carte des ressources en eau au 1/200.000 (A. MAMOU),
- La représentation cartographique des nappes du Nord-Est tunisien (M. REKAYA),
- Les structures aquifères et les nappes du Nord-Ouest (R. KHANFIR),
- Les ressources en eau du Sahel (D. EL BATTI).

Cette journée essentiellement consacrée à la présentation et à l'analyse de la carte des ressources en eau au 1/500.000 récemment éditée par la DGRE, a été une occasion pour souligner de la part de Monsieur le Secrétaire d'Etat aux ressources hydrauliques, le rôle des cartes thématiques dans la synthèse des données et l'analyse du progrès réalisé dans le domaine de la prospection des ressources en eau souterraine.

Les discussions ont porté sur les points suivants :

- les notions de cartographie thématique et les normes pour la représentation cartographique des données spatio-temporelles,
- l'échelle de la carte et la représentativité de l'information ponctuelle,
- la temporalité de la carte et la dynamique de la cartographie des ressources en eau à travers les éditions successives d'une carte,
- l'informatisation du traçage des cartes thématiques et l'évolution des banques des données.

A. M





# **JOURNEE SUR LA GESTION DU RESEAU PIEZOMETRIQUE**

**(C.F.R.A. de Barouta - Kairouan, 15.04.92)**

En collaboration entre la Direction Générale des Ressources en Eau et le Commissariat Régional au Développement Agricole à Kairouan, une journée scientifique ayant pour thème "la gestion du réseau piézométrique national" a été organisée le 15.04.92 au C.F.R.A. de Barouta à Kairouan.

Cette journée a groupé les ingénieurs et techniciens hydrogéologues de la DGRE et des Arrondissements régionaux des Ressources en Eau. Elle a porté sur l'organisation actuelle du réseau piézométrique national et les moyens de son optimisation. Les communications suivantes y ont été présentées :

- réseau piézométrique du Gouvernorat de Gabès (B. BEN BACCAR),
- réseau piézométrique du Gouvernorat de Kairouan (F. MAALEL),
- conception et exploitation d'une base de données (A. DAOUD).

Il en résulte de cette journée que le réseau piézométrique national est essentiellement constitué de 2000 puits de surface et 500 de forages d'exploitation et de 150 piézomètres et qu'il est appelé à évoluer vers un réseau essentiellement constitué de piézomètres assurant l'autonomie de l'observation hydrogéologique et sa fiabilité.

L'état actuel de l'équipement de ce réseau fait apparaître la faible densité des enregistrements continus et la discontinuité de la mesure hydrogéologique. Un effort de rationalisation de ce réseau doit être fait par :

- l'intensification de la création des piézomètres (objectif de 2300 piézomètres en l'an 2000),
- la régularité des mesures suivant une densité adaptée à l'objectif de l'observation,
- l'optimisation du réseau par son homogénéisation et sa maintenance tant du point de vue densité spatiale que fonctionnalité de la mesure hydrogéologique,
- l'automatisation de la mesure par l'introduction des systèmes d'acquisition automatique des données.

A. M



**JOURNEE SUR LA SUREXPLOITATION****DES NAPPES PHREATIQUES****(Mahdia, 29/10/92)**

La Direction Générale des Ressources en Eau a organisé le 29/10/1992 en collaboration avec le CRDA de Mahdia une journée scientifique ayant groupé les ingénieurs des Arrondissements des Ressources en Eau sur le thème de "la surexploitation des nappes phréatiques".

Les communications scientifiques présentées lors de cette journée sont les suivantes :

- la surexploitation des nappes phréatiques en Tunisie (A. MAMOU),
- les signes de la surexploitation des nappes phréatiques du gouvernorat de Mahdia (A. MARRAKCHI),
- l'impact quantitatif et qualitatif de la surexploitation des nappes aquifères : cas des nappes du Mornag et du Cap Bon (M. REKAYA),
- les nappes phréatiques surexploitées du gouvernorat de Bizerte (R. GUABBOU).

Cette journée a permis de dégager une méthodologie de suivi de l'évolution de la surexploitation des nappes phréatiques qui se base sur la gestion contrôlée comme moyen de vérification de la bonne estimation des ressources exploitables en même temps qu'elle permet de modéliser l'intensité de la surexploitation en fonction du régime d'alimentation de la nappe, de son exploitation et des remèdes techniques permettant de développer ses ressources (recharge) et de limiter la dégradation de la qualité de son eau.

Cette journée a été suivie par 70 ingénieurs et techniciens de la DGRE et des Arrondissements des Ressources en Eau dans les CRDA et les communications qui y ont été présentées ont fait l'objet d'une publication de la DGRE.

A. M

