Chapitre II : Présentation des régions d'étude

Nous avons choisis deux régions d'étude situées au Sahara septentrional et représentant deux types de bassins endoréiques :
- Sebkha : Sebkha de Ouargla et de Mellala;
- Daya : Daya d'El-Amied à Guerrara.

II.1-Localisation géographique

La wilaya de ***Ouargla*** couvre, une superficie de 163 238 Km^2. et se trouve dans le Nord-Est de la partie septentrionale du Sahara; Elle est limitée :

- Au Nord-Est par la wilaya d'El-Oued.
- Au Nord-Ouest par la wilaya de Djelfa.
- Au Sud-Est par la wilaya d'Illizi.
- A l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa.

Les coordonnées géographiques de la région sont :

- *Latitude* : 31°57' Nord, *longitude* : 5°19' Est et une altitude de 157 m (Rouvillois-Brigol, 1975) (Figure 01).

La région de ***Guerrara*** est située à près de 110 Km au nord-est de Ghardaïa chef lieu de Wilaya (Figure 01). Elle couvre une superficie totale de 2600 Km^2 (C.D.A.R.S, 1999). Elle est limitée :

- Au Nord : par la Wilaya de Djelfa.
- A L'Est : par la Wilaya de Ouargla.
- A l'Ouest : par les Daïras de Berrian et Bounora.
- Au Sud : par les Daïras de Zelfana et Al atteuf.

Ses coordonné géographiques sont :

- *Latitude* : 32° 50' Nord, *longitude* : 4° 30' Est

II.2- Hydrogéologie

En régions arides, les aquifères profonds sont souvent l'unique ressource en eau, cependant ils sont exploités à un taux excédant largement le taux de recharge actuel (Gasse, 2005).

Le bassin sédimentaire du Sahara septentrional s'étend à travers quelques 780.000 Km^2 surtout en Algérie. Il contient deux systèmes aquifères importants. Le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT) (Nesson, 1978; Castany, 1982; Guendouz et *al.*, 2003).

II.2.1- Le Continental Intercalaire (CI)

Le Continental Intercalaire, surtout gréseux, situé à la base, constitue la formation la plus étendue (Latrech, 1997).

Avec prés de 800 000 km² le Continental Intercalaire est l'un des aquifères les plus étendu de la planète dont l'une des particularités est de constituer une ressource en eau souterraine fossile puisque très peu alimenté avec les conditions climatiques actuelles (PNUD-UNESCO, 1972). Le volume d'eau contenu dans l'aquifère est cependant considérable. On peut l'évaluer à 3,5 10^{13} m^3 ce qui signifie qu'il faudrait un débit continu de 1000 m^3/s pendant 1000 ans pour le remplir (BNEDER, 2000).

II.2.2- Le Complexe Terminal (CT)

Le complexe terminal (Figure 02) est un aquifère Algéro-Tunisien multicouche (Swezey, 1999; Guendouz et *al*., 2003) qui entretient une industrie active de dattes. Il est plus hétérogène, et comprend : la nappe phréatique, la nappe du Mio-Pliocène, la nappe du Sénono-Eocène et la nappe du turonien (Nesson, 1978; Latrech, 1997).

Bien que l'aquifère couvre une superficie approximative de 350 000 Km^2, son volume total n'est pas connu avec une grande précision (Swezey, 1999).

Il est certain que davantage d'eau est retirée de l'aquifère qu'il n'en est apporté par recharge, et que l'aquifère sera probablement épuisé si cette tendance continue (Castany, 1982).

La recharge de l'aquifère s'effectue principalement au niveau d'affleurements situés autour des marges du Grand erg oriental, bien qu'une recharge minime se produise aussi directement par infiltration à partir du grand erg oriental lui-même (Swezey, 1999).

Cependant, la recharge de ces deux aquifère sous le climat actuel est considérée comme négligeable. (Guendouz et *al.*, 2003).

II.3- Géologie

Schématiquement, on observe un substratum de formation antécambrienne recouvert par des séries sédimentaires pelliculaires plus ou moins épaisses (Lelubre, 1952).

Au début de ***l'ère Primaire*** l'érosion et la désagrégation arasent ce relief et le mue en une vaste pénéplaine (Gardi, 1973).

Avec ***l'ère Secondaire*** s'installe un régime continental qui dure jusqu'au Crétacé; l'érosion intense du massif central saharien et des grés primaires a dû fournir l'essentiel des dépôts énormes du continental intercalaire (Dutil, 1971).

Au ***Crétacé supérieur***, la mer a envahi le Nord Sahara dont le lent affaissement se poursuivait. Ce nouveau régime marin permet alors les dépôts de calcaires dolomitiques et d'argiles plus ou moins gypseuses jusqu'à l'éocène. Les argiles salines indiquent les hésitations de cette mer crétacée, le véritable régime marin étant représenté au Nord du Mzab par le ***Cénomanien et le Turonien*** (Dutil, 1971).

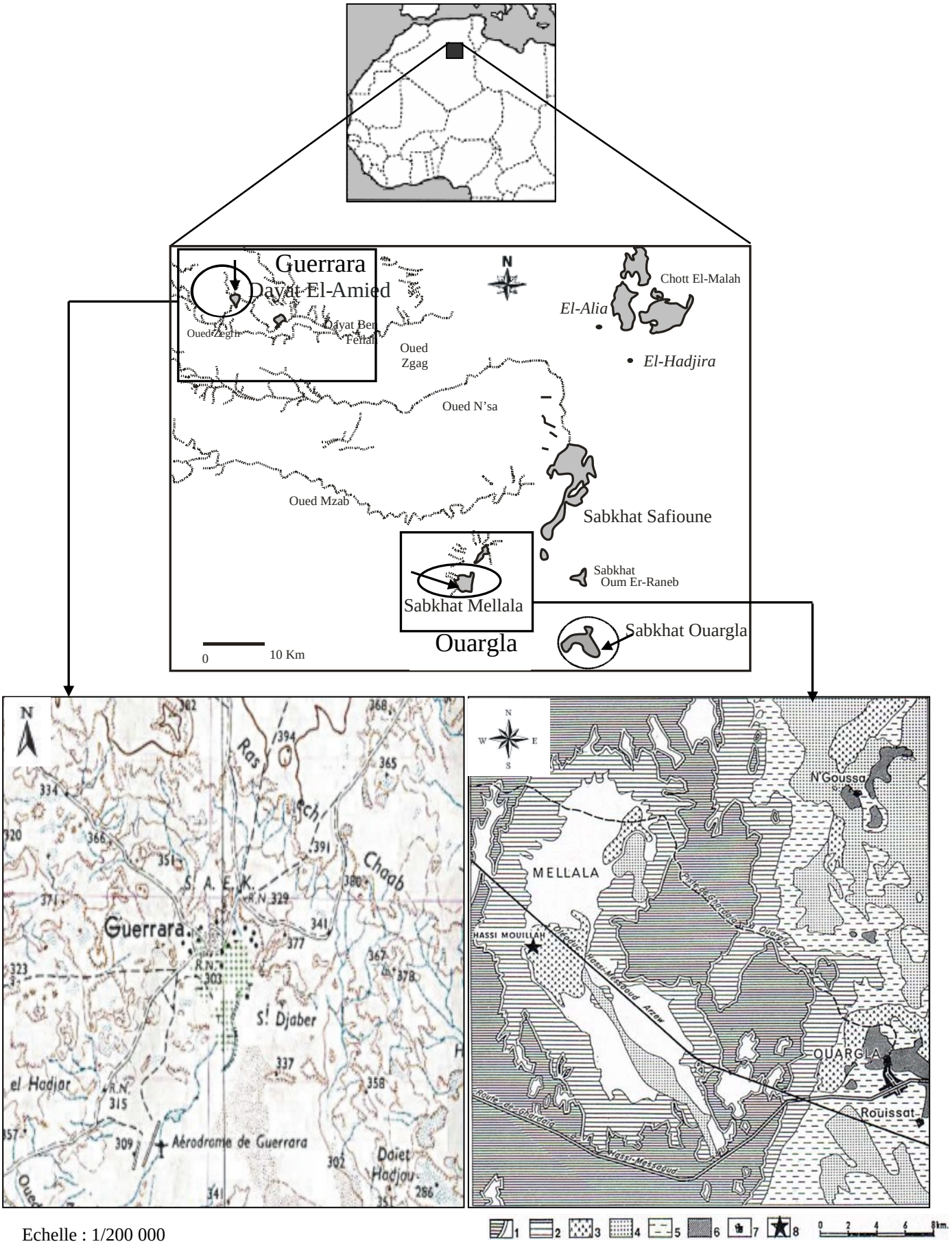


Figure 01 : Localisation géographique des régions d'étude.

Au début de ***l'ère Tertiaire***, le mouvement de retrait de la mer Crétacée s'est poursuivi et, à ***l'Eocène moyen***, le Mzab était émergé; seul, un golfe marin subsistait dans le sud constantinois. A la fin de l'Eocène, la mer s'est définitivement retirée de la plateforme saharienne et, dés lors, le régime continental installé a façonné progressivement l'aspect général actuel du désert (Dutil, 1971). La série Tertiaire se termine par des formations argilo-sableues rouges, avec dépôts évaporitiques, puis par quelques bancs calcaires assez épais (Aumassip et *al*., 1972).

Les dépôts du Sénonien supérieur, constitué à Ouargla par des marnes et argiles avec bancs d'évaporites, atteignent une épaisseur de plus de 400 m, nettement supérieur à celle enregistrée généralement dans l'oued Righ .

Au cours du Quaternaire la géomorphologie et la sédimentologie font état d'une aridification de plus en plus prononcée (Aumassip et *al.*, 1972).

Une croûte de grés conglomératique à ciment siliceux en forme la surface "cette période, d'abord nettement sub-aride atténuée, correspond vraisemblablement au ***Pliovillafranchien***" (Aumassip et *al.*, 1972; Rouvilois-Brigol, 1975). C'est une phase tectonique légère qui détermine des reprises d'érosion locales suivies de dépôts évaporitiques puis calcaires (Aumassip et *al.*, 1972).

Depuis le ***Villafranchien***, des périodes humides alternant avec des périodes plus sèches ont contribués à façonner définitivement le paysage saharien actuel; quel que soit le cadre climatique exact des évolutions, de caractères désertiques ou sub-désertiques, des phénomènes de creusement et d'érosion corrélatifs de phénomènes de remblaiement ont affecté l'ensemble des surfaces du désert, mais dans les limites permises par les niveaux de base progressivement établis. Les dernières périodes arides ont alors simplement assuré le remaniement et la réorganisation des matériaux de surface avec la mise en place des sols actuels (Dutil, 1971).

Le ***Villafranchien supérieur***, correspond à un climat de type semi-aride dont les précipitations ont eu des effets accentués par la phase tectonique précédente. Des écoulements entraînant une reprise d'érosion ont pu se produire, alors, dans le bas oued Mya, aux environs de l'actuelle oasis de Ouargla. L'empâtement gypso-calcaire du glacis le plus élevé traduit, ensuite, une diminution des précipitations et une évolution vers un climat subaride (Aumassip et *al.*, 1972).

Le ***Pleistocène supérieur*** correspond au Sahara à une augmentation de précipitations sur les bordures septentrionales (Rognon, 1976 b)***. Le dernier (Holocène) optimum climatique*** est très bien documenté tout au long du Sahara. (Pettit-Maire, 2002). Les données lacustres pour l'Afrique de l'Hémisphère Nord montrent que les conditions ont été généralement plus humide qu'aujourd'hui durant l'ancien et le moyen **Holocène** (10 000-6000 ans B.P.) puis sont devenues progressivement plus sèches après 5000 ans B.P. le présent est la période la plus aride de l'holocène; la plupart des lacs sont desséchées ou bien présentent un niveau plus bas (Damnati, 2000).

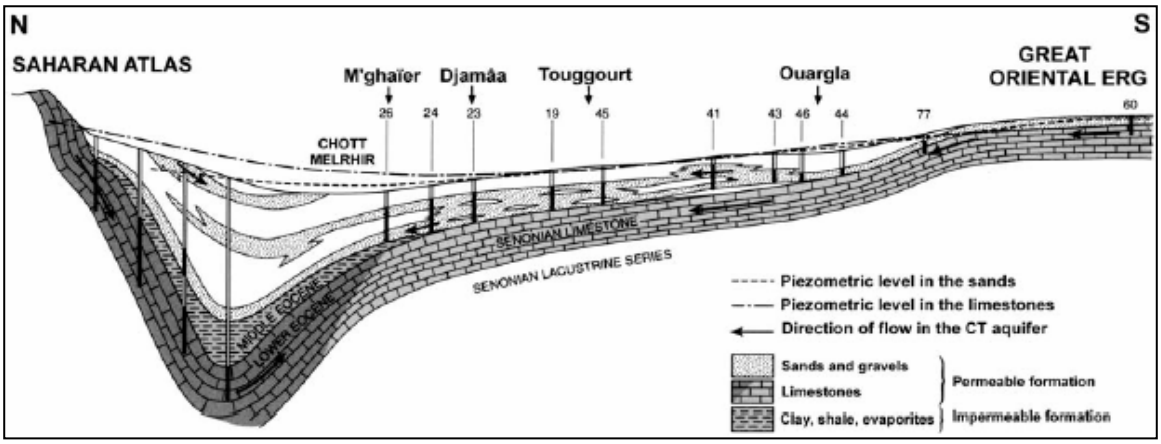


Figure 02 : Coupe hydrogéologique du CT en Algérie (Guendouz et *al*., 2003).

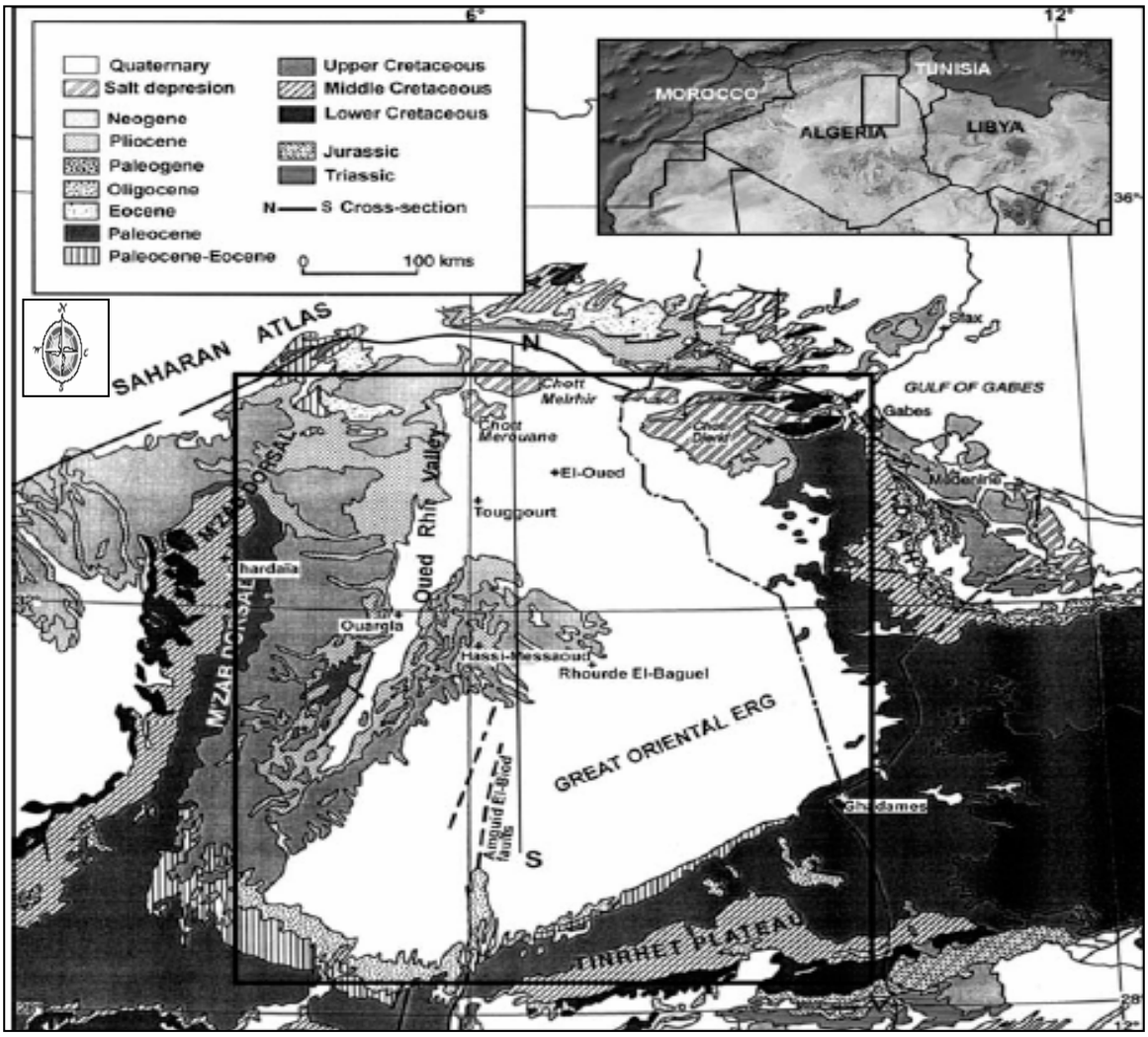


Figure 03 : Carte géologique du grand erg oriental, d'après (Guendouz et *al*., 2003).

II.4- Le relief

II.4.1- Le Plateau

Il domine la région de Ouargla à l'Ouest et dans lequel s'emboîtent les terrains quaternaires. Ce "plateau des ganntra" est constitué de sables siliceux rougeâtres plus ou moins cimentés par du calcaire suivant les niveaux et selon les lieux, présentant parfois des stratifications entrecroisées, riches en bâtonnets gréseux ou gypseux et entrecoupés de concrétions gréseuses ou de bancs de poupées gréso-calcaires. Souvent même, des lentilles de calcaires à Characées et Ostracodes ou de calcaire sublithographique sans organisme se trouvent interstratifiées dans les grés rouges (Aumassip et *al.*, 1972).

Sa surface est plate et monotone, accidentée seulement de haouds (dépressions fermées aux bords abrupts dont les formes et les orientations sont diverses) parfois grossièrement circulaires. La dépression de Hassi-Mellala, est la plus grande et la plus profonde (30 km de long, de 6 à 11 km de large, 80 à 90 m de profondeur). Elle s'étend parallèlement à la vallée de l'Oued Mya (Rouvillois-Brigol, 1975).

Dans la région de Guerrara, le plateau occupe quelques parties au Nord et au Sud. Il s'abaisse légèrement d'Ouest en Est. Dans la partie Nord les terrains s'étendent sur une région appelée communément « plateau des dayas ». Alors que, dans le Sud le plateau est appelé localement « plateau des Gantras » (Ville, 1872).

II.4.2- Les Glacis

Selon Rouvillois-Brigol (1975), le versant Ouest de la cuvette de Ouargla présente quatre niveaux étagés de glacis caractéristiques :

- Le plus ancien recoupe le sommet de la bordure du plateau et des buttes;
- Le second glacis est beaucoup plus visible et se développe au Nord de la route de Ghardaïa, à une altitude de 180 m environ;
- Le troisième niveau, à 160 m d'altitude, il est recouvert de sable et de graviers gréseux plus ou moins encroûtés de gypse et sa pente est faible;
- Le dernier glacis, développé à 140 m d'altitude environ, et à donné naissance à des formes de relief originales.

- Dans la région de Guerrara, le versant Nord de la grande dépression, présente deux niveaux d'étage de glacis (glacis de terrasse) (Ville, 1872).

II.4.3- Les Dépressions

II.4.3.1- Les Dayas

Dans les régions planes des Hauts-plateaux et du Nord Sahara, on appelle Daya le point bas d'un bassin fermé. Le terme est plus spécifiquement appliqué aux dépressions de faibles dimensions pouvant varier de un à quelques dizaines d'hectares, que l'on trouve un peu partout en milieu aride ou subaride (Dutil, 1971 ; Cooke et *al.*, 1993). Il s'agit le plus souvent de petites cuvettes plates, nées d'un creux topographique originel, puis exposées à une alternance d'inondation (qui favorise la désagrégation du substrat) et de déflation, qui assurera l'exportation des produits les plus fins (Monod, 1973).

A l'Est de la Chebka, les croûtes calcaires ont été démantelées; à l'Ouest de Guerrara, il apparaît parfois un poudingue pliocène reposant sur un substrat sableux, gypseux ou gréseux; là encore, de telles formations sont très perméables (Dutil, 1971).

On peut donc considérer les Dayas comme des points bas recevant encore actuellement de grandes quantités d'eau qui s'infiltre assez rapidement dans les formations géologiques sous-jacentes; ces eaux contiennent des particules minérales en suspension constituant un alluvionnement fin, à base de sables et limons principalement. Elles offrent ainsi le caractère de sédiments récents et actuels reposant sur un substrat perméable (Dutil, 1971).

II.4.3.2- Les Sebkhas et les Chotts

Lorsque les eaux s'évaporent sous l'effet de la chaleur, des plaques de sels divers se déposent en surface formant suivant l'origine de leurs eaux (phréatiques ou superficielles) les chotts et les sebkhas (Monod, 1992; Cooke et *al.*, 1993; Briere, 2000).

L'originalité de la sebkha de Ouargla, qui est actuellement active est soulignée par la comparaison avec les sebkhas méridionales. Légèrement plus basse (130 à 128 m), elle est séparée des sebkhas de l'oued Mya par un groupe d'avant buttes- auquel appartient la Gara Krima. Le fond de la dépression qui entoure une éminence portant la ville et la palmeraie, présente trois aspects différents: l'essentiel de la surface est occupé par des sols salés non inondables passant à l'Est à des sols salés encroûtés; seuls les deux extrémités fonctionnent comme une sebkha (Aumassip et *al.*, 1972). Ainsi si la sebkha de Ouargla fonctionne partiellement c'est grâce à l'intervention de l'Homme qui en suralimentant la nappe phréatique a provoqué une remontée de son niveau. Au néolithique cependant, la sebkha de Ouargla a fonctionné naturellement (Aumassip et *al.*, 1972).

II.5- L'hydrologie superficielle

II.5.1.1- Ouargla

a- Oued Mya

L'oued Mya draine la partie orientale du plateau de Tadmaït (Dubief, 1953; Medinger, 1961), ses crues assez violentes dépassent Hassi Hinifel, mais n'atteignent cependant pas le chott de Ouargla, exutoire normal actuel (altitude : 127,5 m) (Dubief, 1953). Sur ce bassin extrêmement plat, avec des précipitations très faibles et situé en plein cœur du Sahara, on imagine difficilement d'importantes crues du collecteur principal. Vraisemblablement depuis le Quaternaire ancien, il n'a pas existé d'écoulement concentré drainant la dépression de l'oued Mya sur toute sa longueur (Aumassip et *al.*, 1972).

b- Oued N'sa

Le bassin du N'sa présente une superficie de 7800 km^2 environ (Dubief, 1953).

c- Oued M'Zab

La superficie du bassin du M'Zab est de 5000 km^2 environ. Ses contours sont imprécis dans la partie orientale. Limité à Ghardaïa, point le plus bas généralement atteint par les crues, cette superficie tombe à 1500 km^2 (Dubief, 1953).

II.5.1.2- Guerrara

Les eaux superficielles dans la région de Guerrara sont quasiment insignifiantes, en raison de la faiblesse de la pluviométrie. La région est drainée principalement par l'oued Zegrir, dont l'écoulement se produit surtout en période des orages (B.N.E.D.E.R., 2000).

a- Oued Zegrir

Limité à la hauteur de Guerrara, ce bassin couvre une superficie de 4100 km^2. situé en majeur partie sur les affleurements du Miocène et du Pliocène continentaux, il est parsemé de nombreuses Dayas parfois drainées par les oueds (Dubief, 1953).

L'Oued Zegrir prend sa source sur le Ras chaab, à 152 km Nord-Ouest de Guerrara. Il se dirige d'abord du Nord-Ouest au Sud-Est jusqu'auprès de Guerrara; à 8 km de la ville, il fait un crochet à angle droit vers le Nord-Est, pour se diriger sur l'oasis qui a été planté dans les alluvions de la rivière, puis il se détourne de nouveau au Sud-Est vers el Hadjira. (Ville, 1872).

II.6- Les sols

II.6.1- Guerrara

Le travail mené par Djili (2004), dans la Daya d'El Amied (Guerrara), a permis de dégager six unités cartographiques qui ont permis de réaliser une esquisse d'une carte de sols (Figure 04) :

- Unité 01 : sol caillouteux dès la surface;
- Unité 02 : sol sablo-graveleux;
- Unité 03 : sol limoneux à limono-sableux;
- Unité 04 : sol sablo-limoneux sur sables;
- Unité 05 : sol sablo-limoneux calcaire sur sables;
- Unité 06 : sol sableux à graviers gréseux.

II.6.2- Ouargla

A travers l'étude réalisée par Hamdi-Aïssa (2001), sur les sols de la cuvette de Ouargla (Figure 05), basée sur des travaux de télédétection et complétée par une étude sur terrain, on peut mettre en évidence une toposéquence type constituée de 5 pédopaysage :

- Un plateau à 180-200 m d'altitude, caractérisé par une croûte pétrocalcique surmontant une croûte pétrogypsique. Ce pédopaysage est actuellement non

fonctionnel à l'exception de transport éolien et d'humectation des premiers centimètres supérieurs lors des rares pluies;

- Les glacis et le versant Ouest de la cuvette (entre 180 et 150 m d'altitude) sont en grand partie recouverts de matériau alluvio-éoliens sans développement pédologique notable (REGOSOLS sableux et/ou à gravier) (AFES-INRA, 1995). Ces REGOSOLS s'alternent latéralement avec des formations éoliennes (dunes, nebkhas, etc…);
- Les bordures des glacis étagés à 180 m, à 160 m et à 140 m, bien visibles, en partie érodées, se caractérisent par l'affleurement du substrat gréseux du Mio-Pliocene (LITHOSOLS);
- La cuvette comprend un ensemble légèrement surélevé constituant le pédopaysage gypseux caractéristique du Chott situé entre 140 et ~ 135 m d'altitude. Ce pédopaysage est subdivisé en deux sous-systèmes: (i) à croûte gypseuse de surface, actuellement peu ou non fonctionnel (ii) gypso-salin, à croûtes gypseuses de sub-surface et croûtes salines de surface, actuellement fonctionnel;
- Le centre de la cuvette (135-130 m d'altitude) correspond au pédopaysage salin à croûtes salines de surface.

II.7- Le climat

Les tableaux II et III, montrent les données climatiques relatives aux régions de Ghardaïa (1994-2004) et de Ouargla (1990-2004).

II.7.1- Données bruts

II.7.1.1- Précipitations

Selon Dubief (1953), les précipitations sahariennes sont caractérisées par leur faible importance quantitative et les pluies torrentielles sont rares. Cette insuffisance de pluies est accompagnée d'une irrégularité très marquée du régime pluviométrique et d'une variabilité interannuelle considérable, ce qui accentue la sécheresse (Ozenda, 1983; Youcef et Chehma, 2005).

La moyenne constatée durant la période 1990-2004 dans la station de Ouargla est de 64.94 mm/an. Tandis qu'à Ghardaïa elle était de 79,17 mm/an (1994-2004). En général, on remarque une faiblesse et une hétérogénéité dans la distribution de la pluie au cours de l'année, qui constitue une caractéristique des pluies sahariennes (Meddi M. et Meddi H., 1998; Thierriot et Matari, 1998).

II.7.1.2- Température

Les tableaux II et III montrent une température moyenne annuelle de l'ordre de 23,53 °C dans la station de Ouargla, et de 22,35 °C pour la station de Ghardaïa. Les valeurs les plus basses se produisent en janvier avec 4,95 °C à Ouargla, et 5,93 °C à Ghardaïa. Tandis que les mois de juin, juillet et août, présentent les températures les plus importantes de l'année avec des valeurs qui atteignent 43,50 °C à Ouargla et 40,84 °C à Ghardaïa.

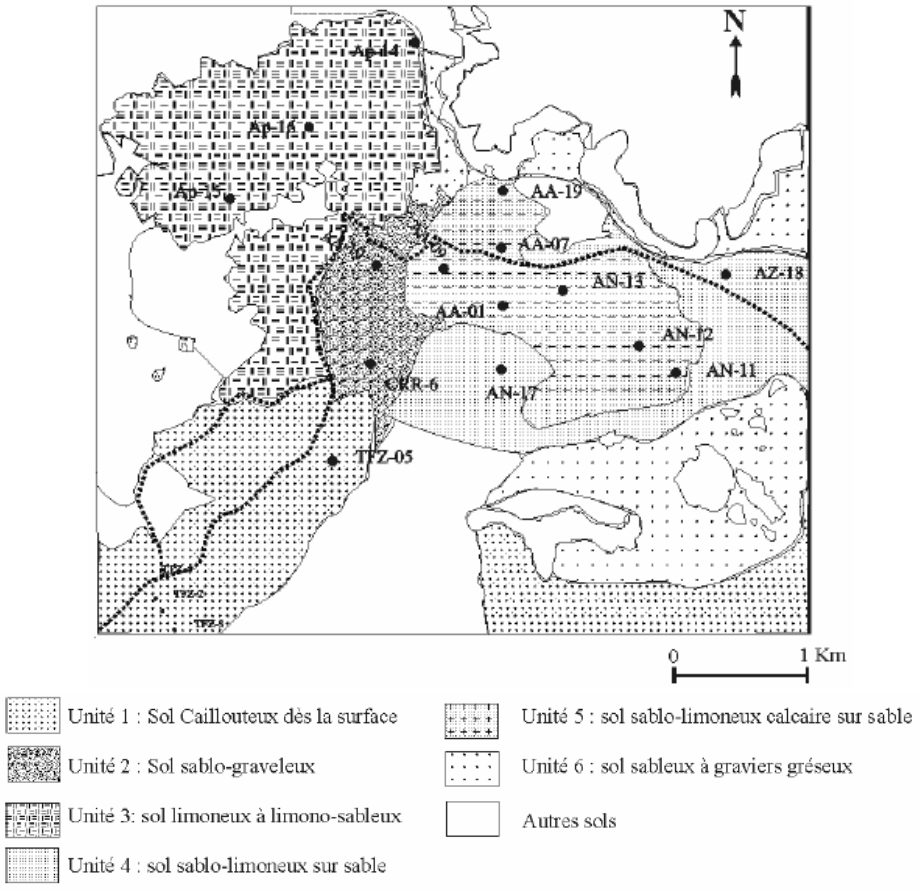


Figure 04 : Esquisse de carte de sol dans la région de Guerrara. (Djili, 2004).

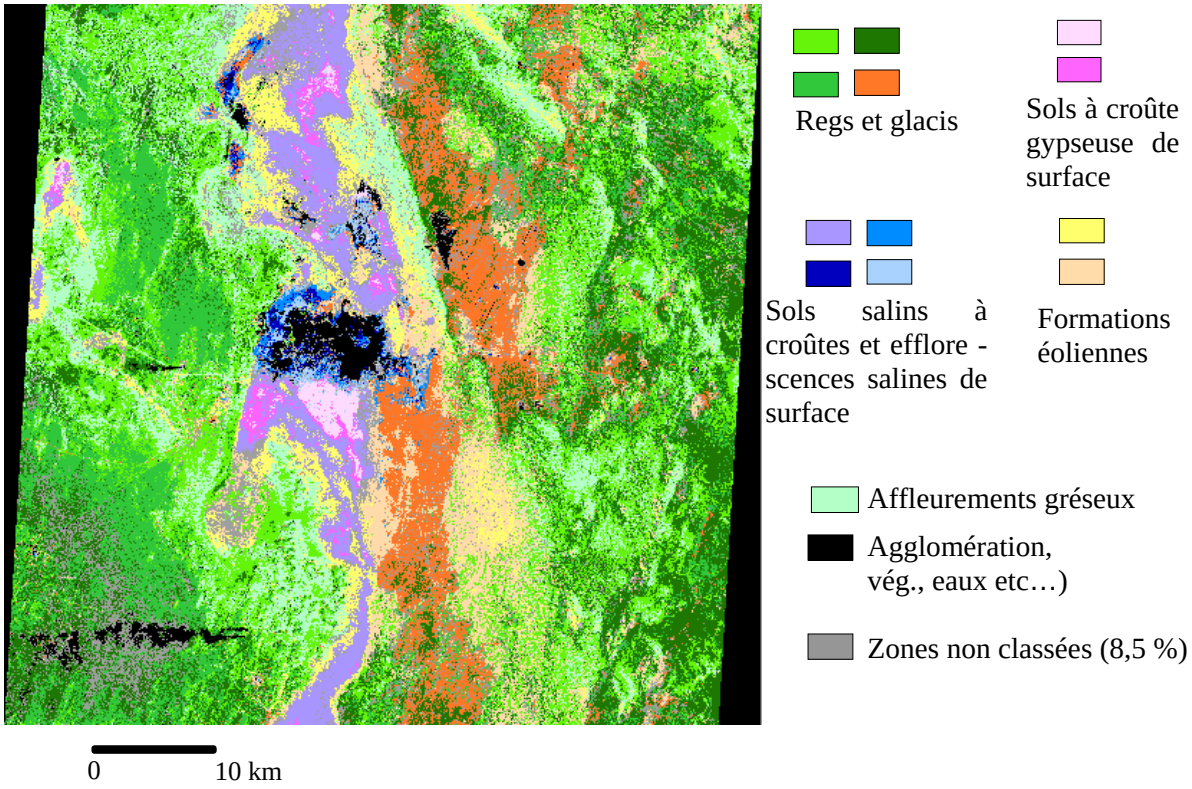


Figure 05 : Carte des états de surface de la région de Ouargla (Hamdi-Aïssa, 2001).

II.7.1.3- Vent

Malgré les apparences, le Sahara n'est pas à proprement parler un pays venteux, mais un pays où, par suite de sa dénudation, on ressent le plus facilement le vent (Dubief, 1952).

La station de Ouargla présente un maximum de vitesse du vent en Mai avec 4,83 m/s et un minimum en décembre avec 2,77 m/s. Tandis qu'à Ghardaïa le maximum est en avril (4,40 m/s) et le minimum en août (2,85 m/s). La direction dominante des vents selon Seltzer (1946), est le Nord-Ouest.

II.7.1.4- Evaporation

Selon Dubief (1950), le Sahara apparaît comme la région du monde qui possède l'évaporation la plus élevée. Les données propres aux deux stations nous montrent des valeurs très importantes avec 2,8 m à Ouargla et 2,7 m à Ghardaïa.

II.7.1.5- Humidité de l'air

L'humidité relative au Sahara est faible, souvent inférieure à 20 % (Monod, 1992) même dans les montagnes, ce n'est qu'exceptionnellement que l'on observe des valeurs plus fortes, tandis qu'au Sahara septentrional, elle est généralement comprise entre 20 et 30 % pendant l'été et s'élève à 50 ou 60 % et parfois davantage en janvier (Ozenda, 1983 ; Le Houerou, 1995).

Les tableaux II et III nous montrent des maximums en janvier, novembre et décembre dans les deux stations avec un minimum en juin à Ouargla et en juillet à Ghardaïa. Ces taux d'humidité varient dans la première station de 27,97 % à 62,97 % et dans la deuxième de 22,23 % à 59,53 %.

II.7.1.6- Insolation

Avec si peu de nuages, le Sahara est avant tout le pays du soleil (Dubief, 1959)**.** A cause de la faible nébulosité de l'atmosphère, la quantité de lumière solaire est relativement forte, ce qui a un effet desséchant en augmentant la température (Ozenda, 1983).

Les durées d'insolation sont évidemment très importantes au Sahara et varient assez notablement d'une année à l'autre et même suivant les périodes de l'année envisagées (Dubief, 1959). Les données des tableaux II et III, montrent des moyennes de 252,52 heures à Ouargla et de 235,07 heures à Ghardaïa. Avec des maximums en juillet dans la première station et en juin dans la deuxième.

Tableau II : Données climatiques de la région de Ouargla (1990-2004).

	Température			***Précipitations (mm)***	***Insolation (heure)***	***Vent (m/s)***	***Evaporation (mm)***	***Humidité (%)***
	Tmin °C	***Tmax °C***	***Tmoy °C***					
Janvier	4,95	18,55	11,75	18,29	210,33	2,79	112,07	62,97
Février	6,41	21,14	13,77	5,78	214,88	3,01	143,67	55,47
Mars	11,42	26,24	18,83	10,08	240,24	3,95	184,73	46,37
Avril	15,06	29,17	22,12	3,93	275,73	4,56	231,53	39,13
Mai	19,68	34,21	26,95	2,47	300,58	4,83	263,80	34,30
Juin	24,83	39,97	32,40	0,25	304,12	4,77	343,53	27,97
Juillet	28,02	43,50	35,76	0,10	337,61	4,45	382,60	28,33
Août	27,66	42,44	35,05	1,05	313,48	3,91	374,93	29,17
Septembre	23,50	37,28	30,39	3,44	262,21	3,94	275,36	36,97
Octobre	18,51	33,13	25,82	8,52	220,97	3,55	215,20	47,50
Novembre	10,48	23,22	16,85	6,85	208,09	2,78	139,60	59,33
Décembre	6,35	19,01	12,68	4,17	141,94	2,77	187,43	61,83
Moyenne	16,41	30,66	23,53	64,94*	252,52	3,78	2854,46*	44,11

(O.N.M., 2005)

Tableau III : Données climatiques de la région de Ghardaïa (1994-2004).

	Température			***Précipitations (mm)***	***Insolation (heure)***	***Vent (m/s)***	***Evaporation (mm)***	***Humidité (%)***
	Tmin °C	***Tmax °C***	***Tmoy °C***					
Janvier	5,93	17,02	11,47	10,19	246,59	4,06	114,4	54,6
Février	7,78	19,65	13,71	2,52	188,15	3,59	124,7	48,57
Mars	10,89	23,83	17,36	9,23	266,42	4,15	170,7	43,53
Avril	14,17	27,15	20,66	10,39	296,22	4,40	237,7	38,57
Mai	19,38	32,78	26,08	2,06	324,46	4,36	286,9	31,13
Juin	24,39	38,16	31,28	1,24	347,85	3,78	355,4	26,93
Juillet	26,54	40,84	33,69	0,81	342,22	3,33	408,6	22,23
Août	27,15	40,59	33,87	5,52	346,63	2,85	380,5	25,6
Septembre	22,54	34,76	28,65	13,75	283,74	3,11	263,9	35,7
Octobre	17,2	28,84	23,02	8,63	226,00	3,02	197,0	43,33
Novembre	10,69	21,7	16,20	7,72	237,89	3,09	115,6	57,67
Décembre	6,73	17,73	12,23	7,13	235,07	3,86	102,3	59,53
Moyenne	16,12	28,59	22,35	79,17*	278,44	3,63	2757,6*	40,62

*cumul annuel (O.N.M., 2005)

II.7.2- Synthèse climatique

II.7.2.1- Diagramme ombrothermique de GAUSSEN

Les diagrammes ombrothermiques relatives aux deux stations (Figures 06 et 07), montrent que la durée de la saison sèche est de 12 mois (sécheresse permanente).

II.7.2.2- Classification bioclimatique

Emberger (1955) a proposé une formule valable aux régions méditerranéennes, où l'évaporation à une importance particulière. Il admet que cette évaporation croit avec l'amplitude thermique annuelle, qu'il exprime par la différence entre la moyenne M du mois le plus chaud et la moyenne m du mois le plus froid ; et comme T est peu différent de (M+m/2), il propose d'utiliser le quotient pluviothèrmique défini par l'expression :

$$\left(Q_2 = \frac{1000\ P}{\frac{M+m}{2}M - m} \text{ ou } Q_2 = \frac{2000\ P}{M^2 - m^2} \right)$$

La valeur (M+m)/2 du fait de son expression en degré Kelvin varie peu : Stewart l'assimile à une constante K=3.43, d'où le quotient :

$$Q_3 = 3.43\frac{P}{M-m}$$

M et m s'expriment en degré Celsius (Benabadji et Bouazza, 2000).

De ce fait le Q_3 pour la station de Ouargla est égal à 5,77 et pour Ghardaïa il est de 7,77. Donc, les deux stations appartiennent à l'étage saharien à hiver doux.

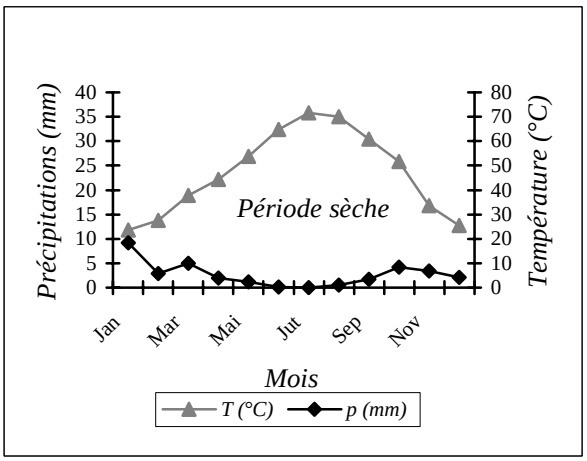


Figure 06: Diagramme ombrothérmique de la station de Ouargla.

(Période 1990-2004).

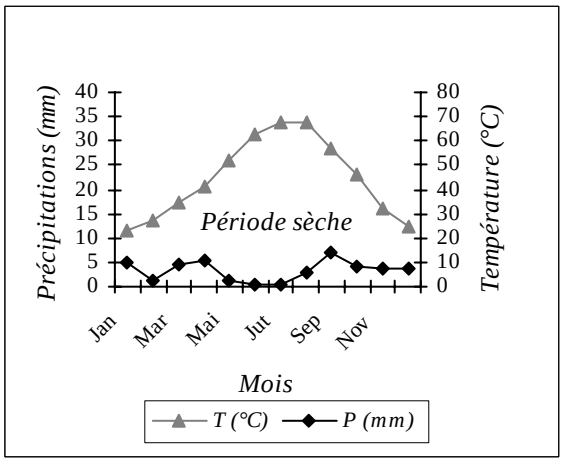


Figure 0 7: Diagramme ombrothérmique de la station de Ghardaïa.

(Période 1994-2004).

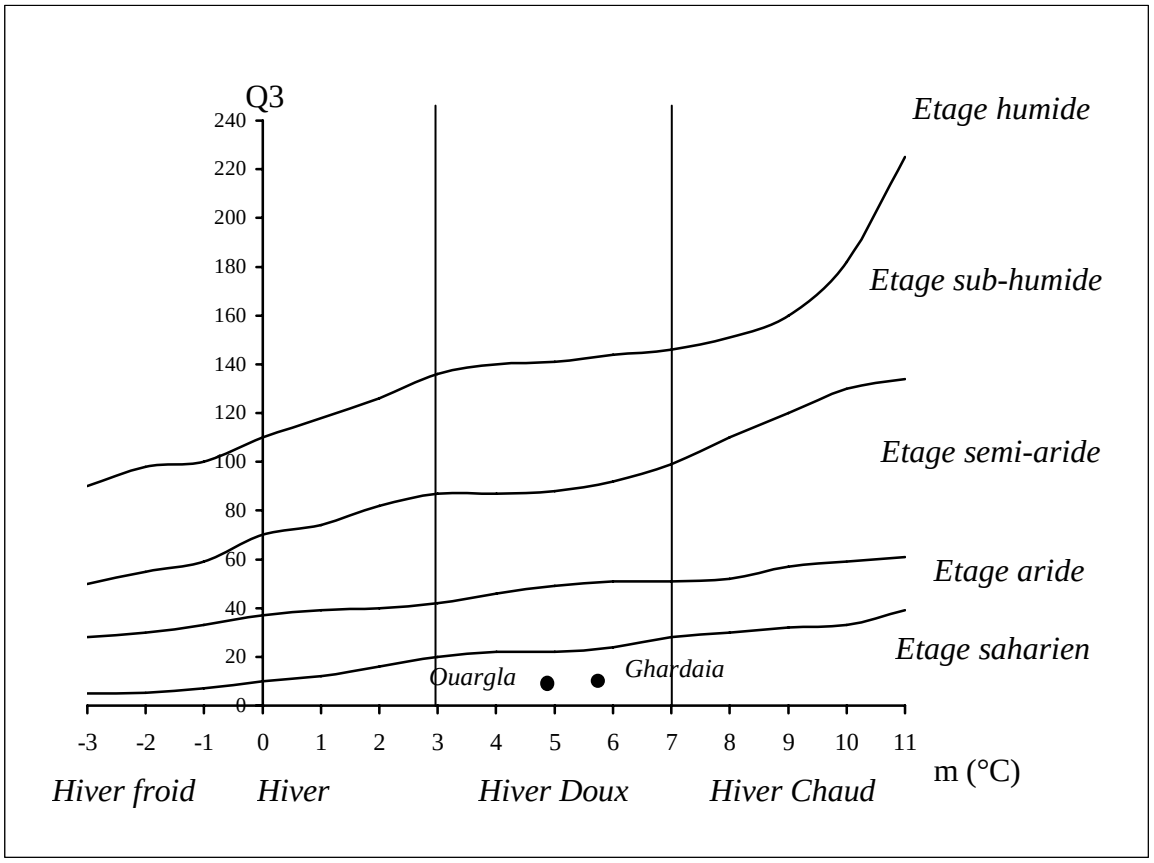


Figure 08 : Climagramme d'EMBERGER pour les régions de Ghardaïa et Ouargla.