



*Université Cadi Ayyad - Faculté des Sciences et Techniques
Marrakech - Maroc*



MEMOIRE DU PROJET DE FIN D'ETUDES

LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES «EAU ET ENVIRONNEMENT»



ETUDE DE L'IMPACT DES STATIONS DES HUILLERIES SUR LA NAPPE SOUTERRAINE DE LA COMMUNE RURALE DE SKOURA (PROVINCE D'OUARZAZATE)

Par :

MARAH MOHAMED

Sous la direction de MM. :

BACHNOU A. Professeur à la FST -Marrakech

SEBBAR M. Chef d'agence du bassin hydraulique d'Ouarzazate

Mémoire présenté le 18 juin 2010 devant le jury composé de MM. :

IGMOULANE B. FST -Marrakech

BACHNOU A. FST -Marrakech

BENKADDOUR A. FST -Marrakech

Remerciements

Mes vives reconnaissances vont tout d'abord à **Mr M. SEBBAR**, chef d'agence du bassin hydraulique de la province de Ouarzazate, pour ses aides, ses conseils et pour l'encadrement judicieux qu'elle m'a accordé durant toute la période du stage.

Ma profonde reconnaissance s'adresse également à Mr Anass Zouag, Chef du service de l'environnement, sans oublier évidemment toute l'équipe chargée du service d'agence de bassin hydraulique pour ses soutiens et aides fructueux.

Mes remerciements s'adressent également à mes professeurs de la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech : **Mr A. BENKADDOUR, Mr Taourirt et Mr A. BACHNOU** qui m'a encadré tout au long de ce travail.

Mes remerciements les plus chaleureux s'adressent également à tous les professeurs qui ont contribué à notre formation durant cette année de formation en LST EE. Qu'ils trouvent ici toute ma gratitude pour les efforts qu'ils ont déployés.

J'espère que mes amis (es) de la **LST EE** trouvent ici toute l'expression de mes compliments pour leur amitié et leur soutien.

Que tous ceux et celles qui ont de loin ou de près participé à l'achèvement de ce travail, soient remerciés bien sincèrement.

Enfin, une grande pensée à ma famille qui a supportée toutes mes demandes matérielles et morales. Que je suis heureux de les voir assister au fruit de leurs sacrifices.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

PROBLEMATIQUE

CHAPITRE 1 : CADRE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION DE SKOURA

1- Cadre géographique

1-1 Localisation du secteur d'étude

1-2 Aspect socio-économique de la région de Skoura

a) Activités hors agriculture

b) L'agriculture

2- Cadre géologique et structural

a) Aperçu structural

b) Série stratigraphique de la région

3- Aperçu géomorphologique et pédologique

a) Géomorphologie

b) Pédologie

4- Cadre hydrologique

a) Climatologie

b) Hydrologie

5- Cadre hydrogéologique

CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE

1- Travaux effectués sur le terrain

1-1 Les visites

1-2 Situation des sites de prélèvements

1-3 Prélèvement d'échantillons

1-4 Paramètres mesurés sur le terrain

a) Piézométrie

b) Mesure des paramètres physico-chimiques

2- Travaux effectués au laboratoire

2-1 Alcalinité de l'eau

2-2 Analyse des chlorures

2-3 Analyse des sulfates

2-4 Dosage de composés phénoliques

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

1- Paramètres mesurés sur le terrain

Commentaire sur la piézométrie de la zone

Commentaire sur les paramètres chimiques

2- Résultats des analyses au laboratoire

2-1 Alcalinité de l'eau

2-2 Analyse des chlorures

2-3 Analyse des sulfates

2-4 Dosage de composés phénoliques

3- Commentaires et interprétation

3-1 l'alcalinité

3-2-les chlorures

3-3 les sulfates

INTRODUCTION

Le Maroc est souvent cité parmi les principaux pays producteurs d'huile d'olive du bassin méditerranéen. La moitié de la superficie arboricole nationale, soit 440,000 ha, est destinée à l'oléiculture et sa production annuelle moyenne est de 35,000 tonnes.

Cette activité oléicole génère potentiellement des problèmes environnementaux majeurs liés à la mauvaise gestion des rejets huiliers. Ces déchets polluants, qui sont fortement chargés en matière organique, affectent particulièrement les eaux souterraines en raison de leur infiltration à travers le sol. Ils entraînent ainsi une augmentation de l'acidité, de la charge organique et minérale de l'eau et engendrent un enrichissement des eaux en substances toxiques notamment en composés phénoliques (Zenjari et al., 2001) qui ont des effets négatifs sur la qualité de l'eau, sur le peuplement animal et sur les micro-organismes des milieux aquatiques récepteurs (S'habou et al., 2005).

Le présent travail a pour objectif l'étude de l'impact des stations des huileries sur la nappe souterraine de la commune rurale de Skoura. Il s'inscrit dans le cadre du projet de fin d'études de la Licence Sciences et Techniques « Eau et Environnement » de la faculté des sciences et techniques Guéliz - MARRAKECH.

Le stage a été effectué au sein de l'agence de bassin hydraulique Souss Massa Draa ; service d'Ouarzazate.

Le présent travail consiste à :

- Cerner le cadre hydrologique et hydrogéologique du secteur d'étude ;
- Caractériser quelques paramètres physico-chimiques des eaux prélevées ;
- Faire des prélèvements des eaux souterraines dans les puits avoisinants les huileries ;
- Faire apparaître l'effet négatif des stations des huileries sur la nappe souterraine.

-PROBLEMATIQUE

Au Maroc l'industrie oléicole constitue une source de problème environnemental. On estime environ 250.000 m³ la production annuelle d'eaux résiduaires, appelées margines, de ce secteur. Ces margines posent un sérieux problème lors de leur évacuation vers des milieux naturels tels que les cours d'eau. Les eaux réceptrices deviennent en effet fortement chargées en matières organiques et en polluants et perdent leur capacité de s'autoépurer.

Caractéristiques des Margines

- Forte coloration
- Faible pH : 4,5 – 5,2
- Forte charge organique : Valeurs élevées de la DCO, 150 gO₂/l pour l'extraction par pression et 85 gO₂/l pour l'extraction par centrifugation. Présence de substances inhibitrices du processus d'autoépuration naturelle des eaux (composés phénoliques à raison de 4 à 12 g/l de margines, tannins et acides gras libres).
- Au Maroc les margines ont généralement de forte charges salines dues aux ajouts importants de sel pour la conservation des olives.
- Ces caractéristiques confère aux margines une pollution au moins 100 fois plus que celle des eaux usées urbaines

Nuisances des margines sur l'environnement

Au Maroc, les margines sont dans la plupart des cas déversées brutes sans aucun traitement dans le milieu naturel, soit directement soit à travers le réseau d'égouts public, et posent de sérieux problèmes de pollution :

- Acidification du milieu
- Destruction de la microflore bactérienne du sol
- Sels potassiques ont un effet néfaste sur les plantations
- Pollution des oueds et barrages et disparition de la vie aquatique
- Pollution de la nappe souterraine
- Forte agressivité, vis-à-vis des matériaux constituant les canalisations.
- Réduction du débit et parfois bouchage des canalisations par le dépôt des matières en suspension
- Impact négatif sur les stations de traitement par voies biologiques

CHAPITRE 1 : CADRE GEOLOGIQUE ET
HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION DE
SKOURA

1- Cadre géographique

1-1 Localisation du secteur d'étude

La commune rurale de Skoura se trouve dans la province d'Ouarzazate au sud du Maroc. Elle renferme une palmeraie d'une superficie de 2700 hectares (fig. 1), qui borde la route nationale N10 entre Ouarzazate (40 km au NE) et Errachidia (270 km à l'ouest) (fig. 2). Elle constitue la plus importante oasis de la vallée du Dadès.



Fig. 1 : Vue panoramique de la palmeraie de Skoura

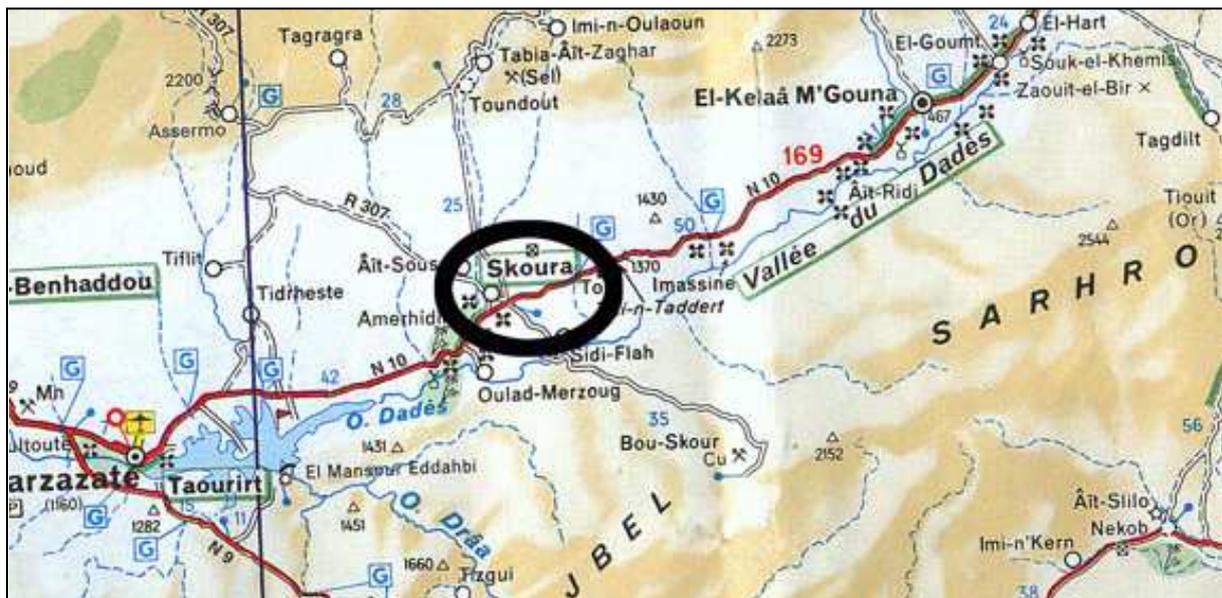


Fig. 2 : Situation géographique du secteur d'étude (commune de Skoura)

La zone s'étend essentiellement au nord de la N10 (fig. 2) et est limitée à l'Est par la route goudronnée qui mène à Toundoute (30 Km au Nord). La montagne adjacente ne comprend aucune route goudronnée, mais uniquement des pistes qui relient les douars et qui longent les cours d'eau, ces pistes subissent cependant la détérioration par les crues et restent souvent impraticables.

1-2 Aspect socio-économique de la région de Skoura

La commune de Skoura compte :

- une population de 28.000 habitants (recensement de 1996)
- 1924 foyers
- 47 douars
- 4 fractions: ah Ouast, Am Zaourou, Oulad Yaagoud, oulad Maagual.

a) Activités hors agriculture

Il existe très peu de possibilités d'activités économiques en dehors de l'agriculture dans le périmètre de Skoura. Une grande partie des activités hors agriculture se situent dans le bâtiment et les constructions en tous genres (bois, béton, carrelage, électricité, plomberie...) de maisons privées ou d'infrastructures de génie civil (ouvriers qui construisent des routes, des puits, des ponts...).

b) L'agriculture

La commune de Skoura renferme :

- Une coopérative huilière qui gère la production d'huile d'olive locale ;
- Une fromagerie.

Répartition et taille des exploitations (données de 1980) :

- superficie cultivée : 2.700 ha ;
- nombre d'exploitation : 2.562 ;
- tailles des exploitations : très petites en générale ;
- 55% des exploitations font moins de 0,5 ha ;
- 74% des exploitations font moins de 1 ha.

La répartition des propriétés est inégale :

- 55% des agriculteurs exploitent 15 % de la superficie ;
- 2 % des agricultures exploitent 25 % de la superficie.

Dans la région de Skoura, on constate un morcellement des propriétés. En général, on trouve des propriétés très morcelées, la moyenne indique 13 parcelles par exploitation.

Type de production :

- Céréales : blé dur, orge (47% de la superficie cultivée), maïs, luzerne (33% de la superficie cultivée).
- Culture maraîchère (7% de la superficie cultivée), uniquement pour la consommation des ménages ou parfois pour la vente au marché hebdomadaire.

- Arbres fruitiers : oliviers, amandiers, dattiers, pommiers (goyaves, grenades, abricots pour la production privée). Les dattes sont en quantité importante, mais leur piètre qualité en fait de la nourriture pour bétail, peu de fruits sont consommés par la population.

Fertilisants: faible utilisation de produits chimiques, culture « bio » à base de fumiers. On remarque un manque de traitement phytosanitaire.

Type d'élevage : ovins, caprins, animaux de traite (vaches laitières), animaux de labour et de transport (mulet, cheval).

Irrigation et sécheresse : Les parcelles d'exploitation agricole sont irriguées par le biais de seguias. L'alimentation de ces canaux est assurée par les khattaras et les puits de pompage (collectifs ou individuels).

2- Cadre géologique et structural

a) Aperçu structural

Notre zone d'étude (comprenant Skoura et presque l'ensemble du bassin versant de la rivière Hajjaj) s'étend sur trois unités structurales majeurs que nous allons brièvement commenter (Jossen & Filali Moutei 1988) (fig. 3) :

- **La zone axial du Haut Atlas** : on la représente comme une zone comprenant des sommets très élevés qui forment une crête. On détermine une limite entre le bassin versant de Hajjaj et le bassin versant voisin (Oued Tessaout) par le prolongement de cette haute ligne de crête. En règle générale, la topographie suit les grandes lignes tectoniques dans cette région.
- **La sous zone subatlasique méridionale** : elle est localisée par un ensemble de couches plissées, relevées et renversées, érodées en forme de collines. Cette zone (ainsi que celle des plateaux) constitue la limite Sud du Haut Atlas.
- **La zone des plateaux** : on la nomme également la zone «zone des khelas», depuis Ourazazate jusqu'à Boumalne. Il s'agit d'une plaine régulière entrecoupée de buttes témoins, cette grande zone constitue le fameux «couloir d'Ouarzazate» qui est limité au Nord par le Haut Atlas et au sud par le Jebel Sarhro. Skoura se situe au sud de cette zone.

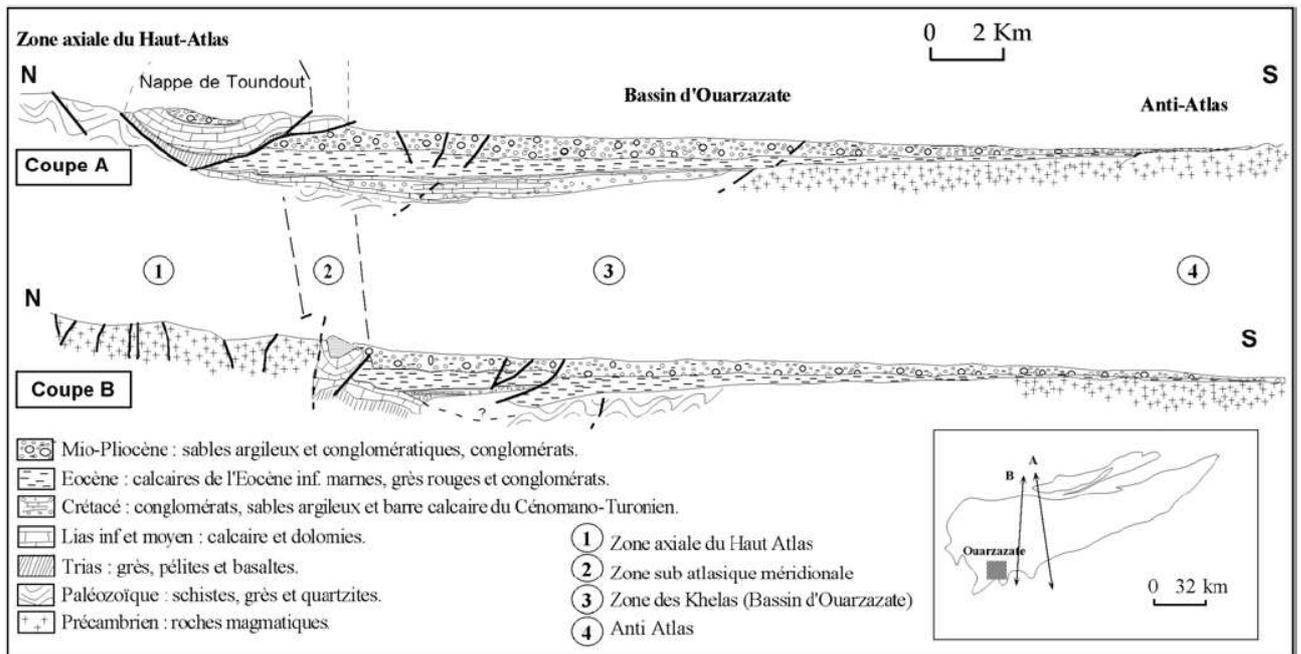


Fig. 3 : Coupes géologiques transversales du centre du bassin d'Ouarzazate (d'après Jossen & Filali Moutei, 1988).

b) Série stratigraphique de la région

En règle générale, toute la région d'Ouarzazate est constituée d'importants domaines géologiques d'étendue régionale, mais qui ont des variations notables sur le plan géomorphologique. Dans notre description nous nous intéressons particulièrement aux caractéristiques sédimentaires des formations, car elles donnent des indications sur l'activité hydrologique qui s'y trouve.

La série stratigraphie de la région a été établie depuis longtemps. On ne fera ici qu'énumérer brièvement les étages géologiques représentés dans la zone de notre étude (fig. 4 et 5) :

- Le Précambrien : schistes verts luisants, grès à quartzite ou métamorphiques riches en amphiboles et épidotes avec passages de filons de diorites à gabbros. Séries particulièrement épaisses de plusieurs milliers de mètres en général.
- Le cambrien : mince conglomérat à la base, puis grès légèrement plus épais , puis schistes verts et noirs fins à ardoisiers.
- Le silurien (Gothlandien) : grès et schistes peu épais à graptolithes, couronnés de marnes calcaires à lamellibranches.
- Le permo-trias : basaltes doléritiques, couches rouges grossières sans fossiles. Les conglomérats, grès et schistes argileux gris et verts reposent en discordance sur ces couches.
- Le lias (inférieur) : calcaires massifs (avec, puis sans silex), calcaires dolomitiques en alternance avec des calcaires bleutés de 1m d'épaisseur. Calcaires à *Doroceras*.

- Le lias (moyen) : il est représenté par trois faciès distincts dont : le faciès mixte (marno-calcaires à ammonites, puis calcaires à lamellibranches et gastéropodes), les faciès coralligènes lagunaires (calcaires à lamellibranches), faciès lagunaire (calcaires à lamellibranches, calcaires verts, jaunes et marnes rouges et noires).
- Le crétacé : marnes rouges et vertes, gypseuses à calcaire tendres en alternance. Marnes rouges à gypse, calcaire marnes vertes rouges et noires. Calcaires tendres, gréseux, blancs à silex dolomitiques. Marnes rouges gypseuses.
- L'Éocène : dans la zone recouverte de cette période, on trouve deux anticlinaux (petites collines au relief accidenté et de couleurs vives) séparés par trois synclinaux. Dans le premier anticlinal (sud) on trouve des calcaires et des argiles rouges à gypse ; dans le deuxième (nord) une série phosphatée qui constitue une arête pointue de grès divers, au centre de cette voûte on trouve des argiles rouges. En bref, disons que cet ensemble affleure dans la zone de collines blanches et rouges de la tranche subatlasique méridionale. Ces formations concordent avec les plissements du Crétacé.
- Le Mio-pliocène : il s'agit d'un piémont graveleux des chaînes de montagnes adjacentes. On y trouve des conglomérats, des grès, des marnes et plus rarement du calcaire et du gypse (près de Toundoute) ; l'épaisseur est variable.
- Le Pliocène (continentale) : ensemble de cailloutis grossiers non consolidés qui forme une sorte de substratum pré-quaternaire.
- Le Villafranchien : conglomérat grossier à cimentation calcaire.

Globalement on note un point commun à toute la structure géologique de la région, elle est constituée de vastes étendues de milieux discontinus et de structures complexes.

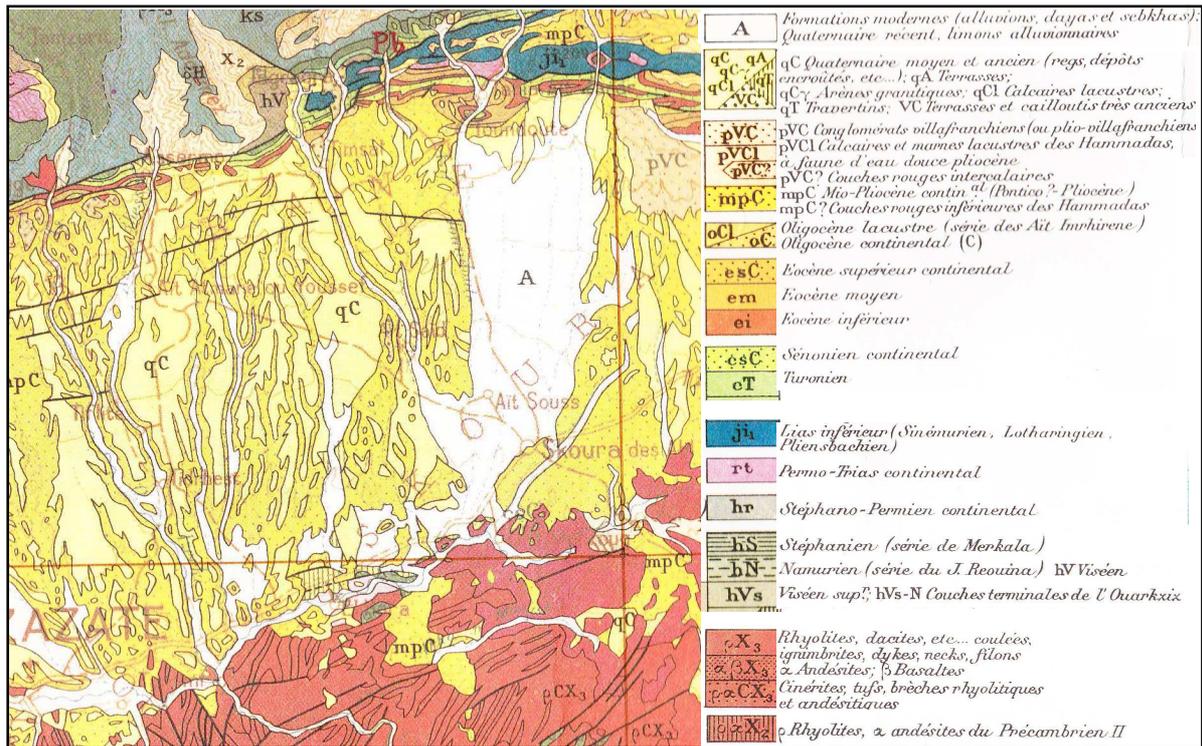


Fig. 4 : Carte géologique de la région de Skoura (d'après la carte géologique du Maroc au 1/500 000, feuille d'Ouarzazate)

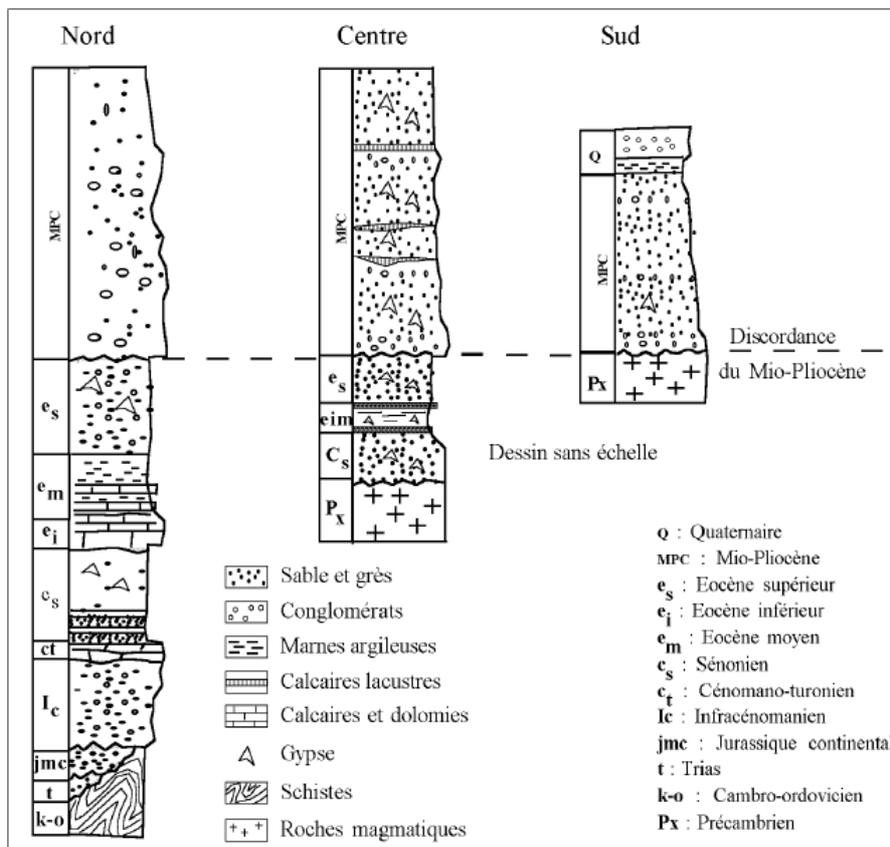


Fig. 5 : Colonnes stratigraphiques synthétiques du bassin d'Ouarzazate (d'après Jossen & Filali Moutei, 1988).

3- Aperçu géomorphologique et pédologique

a) Géomorphologie

La région de Skoura est recouverte de dépôts quaternaires formant un glacis qui repose sur une épaisse formation (300 à 500m) de sédiments Pontico-pliocène discordants sur les couches inférieures. Cette formation représente le soubassement imperméable de la nappe qui alimente Skoura ; elle est formée de lithofaciès allant des grès aux marnes roses en passant par les conglomérats. Au dessus, il s'agit essentiellement des alluvions de granulométrie variable en quantité et en épaisseur : blocs, graviers, sable et argiles.

La majeure partie du relief actuel est due à la succession de périodes de creusement ou de comblement qui retracent les variations climatiques du Quaternaire. Toute la zone du plateau où se trouve Skoura a en effet subi l'érosion régressive des Oueds qui y trouvaient leur niveau de base et s'est formée de la reconversion de ces alluvions. On remarque trois niveaux de dépôts principaux dans la succession des phases de formation :

- Le Salétien et Amirien : ils constituent essentiellement les grands cônes de déjections qui bordent les montagnes à la sortie des Oueds. Ils forment ensemble des glacis phylogéniques qui s'étendent jusqu'à la palmeraie. La composition granulométrique se différencie en un groupe inférieur caillouteux grossier et un groupe supérieur limoneux caillouteux à tendance imperméable.
- Le Soltanien : les dépôts de cette période sont peu épais, mais caractéristiques et se retrouvent dans toute la palmeraie de Skoura. Il s'agit d'un premier dépôt d'alluvions grossiers, caillouteux à sableux. Au dessus se trouve une fine couche de limons bruns à roses (3 à 7cm).
- Le Rharbien : cette dernière période notable recouvre toute la région de limons jaunâtres d'épaisseur respectable (5 à 30cm, c'est dans ce sol que l'on procède aux cultures). Au dessus se trouvent les dépôts actuels visibles le long des Oueds, ils sont de type sableux.

La pente structurale est de 2% environ sur toute la longueur du bassin versant de l'Oued Hajjaj. Les formes que l'on trouve localement sont variables et essentiellement forgées par les Oueds. On trouve au centre de la palmeraie des zones de plaines d'épandage (terrasses climatiques), des cônes d'épandage ou glacis ... Ils sont bordés à l'Est par un relief pénéplané et au sud par des surfaces tabulaires de très hauts glacis ou par des éboulis.

b) Pédologie

La plupart des sols de la palmeraie (85 %, soit 2300 ha) sont du type brun iso-humique assez profond (une moyenne de 80 cm). On note que :

- La texture est sablo limoneuse en profondeur.
- La structure est massive en surface et polyédrique et pauvre en éléments fertilisants ; il manque beaucoup d'azote et du phosphore.
- L'humidité est de 20% dans les horizons supérieurs et dépasse 30% dans ceux de profondeur. La profondeur d'humectation est de 80 cm. Sa densité apparente est de 1,4. Les études montrent que les doses d'irrigation optimales seraient de 840 m³/ha, cela est calculé en dehors de la contrainte de lessivage.
- La salinité est moyenne dans les trois premiers horizons du sol ; elle est calculée sur la conductivité électrique de l'extrait de pâte de sol saturé. Les statistiques indiquent, pour

ces valeurs de salinité, que la culture d'orge, de blé et de dattes est tolérable, mais en revanche la production est affectée pour la luzerne, le maïs et l'olivier.

4- Cadre hydrologique

a) Climatologie

La zone de Skoura ne reçoit pas l'influence des vents océaniques humides, uniquement celle des vents sahariens secs et chauds. L'état bioclimatique de la région est dit saharien à hiver frais. Le climat est aride à tendance continentale pré-saharienne car le relief adjacent arrête les précipitations venant de l'Atlantique.

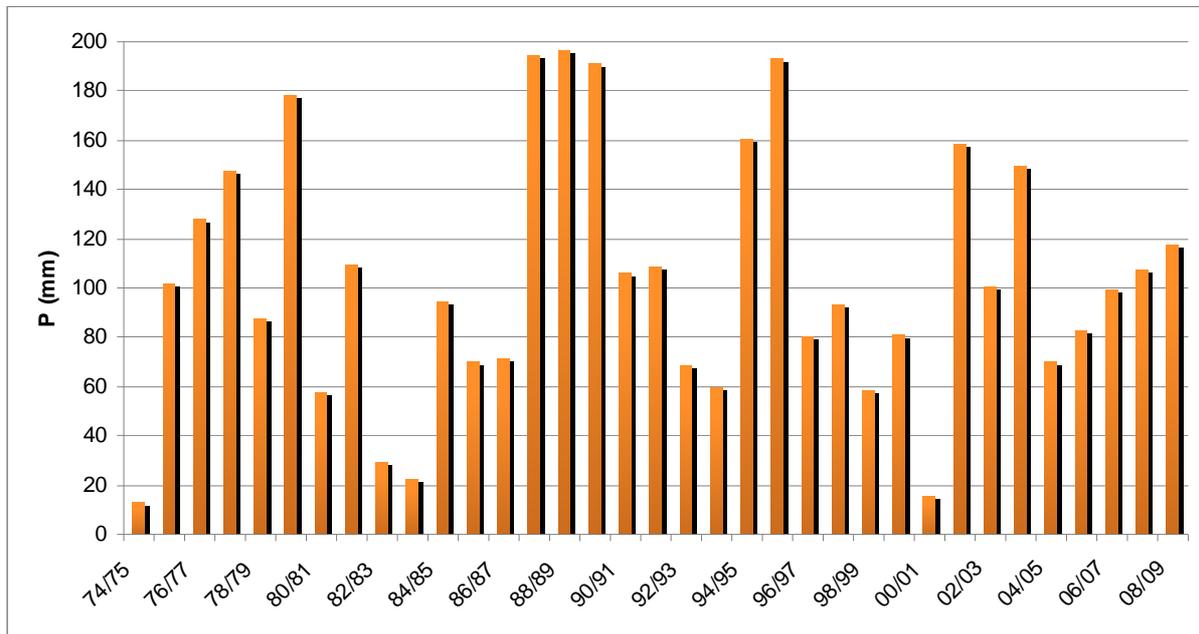


Fig. 6 : Pluies moyennes inter-annuelles à la station Aagri (région de Skoura)
(période : 1974/1975 à 2008/2009)

La zone subie des variations de températures journalières modérées, on note une moyenne annuelle de 19,7° (1975-2009). Les températures journalières varient suivant les saisons : juillet est le mois le plus chaud avec un maximum absolu mensuel de 40°C; janvier est le mois le plus froid avec un minimum absolu mensuel de - 1,7°C. L'évaporation moyenne annuelle est de 2900mm avec plus de 50% enregistrée à l'été de chaque année (Agoussine, 2009).

La pluviométrie moyenne annuelle est de 106,1 mm (Étude de 1975 à 2009) (fig. 6). L'année est divisée en deux saisons humides (automne et printemps qui durent respectivement de 4 à 5 et de 2 à 3 mois), une saison moins humide (hiver de 2 à 3 mois) et une saison sèche (l'été de 4 à 5 mois). La concentration des pluies se fait essentiellement en automne. On note une grande variabilité inter-annuelle des pluies, en effet la sécheresse peut sévir plusieurs années de suite.

b) Hydrologie

- Skoura se trouve dans un cadre hydrologique particulier, car de nombreux oueds circulent dans le bassin de Ouarzazate par voies superficiels.
- Le relief est généralement plat et l'écoulement se fait depuis le piémont du Haut Atlas vers la palmeraie, puis conflue vers l'Oued Agralienne. Les écoulements s'étalent en nappes en amont de la palmeraie. Néanmoins, c'est l'influence du bassin versant de l'Oued Hajjaj qui domine l'irrigation de la palmeraie.
- le bassin versant de l'Oued Hajjaj est un affluent de la rive droite de l'Oued Dadès. Le réseau hydrographique est anastomosé. Il se compose de trois sous bassins versants (Madri, Tabia et Targa) dont les deux derniers (qui changent de lit à chaque crue) confluent en amont de la palmeraie pour former le lit principal de l'Oued Hajjaj. Les eaux proviennent du Haut atlas et s'écoulent en deux parties (1/3 sur le plateau du sillon préafricain et 2/3 sur le versant sud du Haut Atlas).
- L'altitude moyenne du bassin versant est de 1927m.
- La superficie du bassin versant est de 910,5 km²

5- Cadre hydrogéologique

Réservoirs aquifères

Nous distinguons plusieurs types de nappes souterraines représentées dans la zone de Skoura et qui joue un rôle notable au niveau de l'apport en eau.

- Le potentiel hydrologique de la zone montagneuse septentrionale : il s'agit des dépôts de l'Éocène supérieur et moyen. On note un important écoulement souterrain venant des montagnes adjacentes, mais l'eau qui en provient est enrichie en gypse, c'est ce qui la rend inutilisable pour la consommation et l'irrigation.
- Les nappes profondes et semi profondes (zone des plateaux) : il s'agit ici des séries de l'Éocène inférieur. On note que seulement la région entre Ouarzazate et Skoura pourrait contenir des roches de cette période (lias et dogger), qui ont une grande potentialité de rétention d'eau. La profondeur de ces niveaux est grande et ils contiennent probablement une importante charge hydrique. D'autres niveaux seraient susceptibles de contenir des réservoirs aquifères, mais leur profondeur est encore plus grande et on risque d'y trouver des dépôts marins qui rendraient l'eau peu propice à la consommation.
- Les nappes phréatique « superficielles » : les terrains datent du quaternaire récent. On peut subdiviser le bassin d'Ouarzazate en plusieurs zones influencées par des nappes superficielles liées aux circulations alluviales sub-aériennes. La zone qui nous concerne dans la palmeraie de Skoura se situe dans le domaine de la nappe phréatique et alluviale du Mgoun-Dadès. Cette nappe est alimentée par les sous-écoulements de l'Oued, mais également par l'apport phréatique lié à la morphologie locale : les cônes de déjection et les terrasses alluviales. La nappe suit le cours des vallées, elle est étroite en amont dans les glacis alluvionnaires et s'étale en aval dans les terrains du Mio-Pliocène. La continuité hydrodynamique de l'écoulement permet de la caractériser de nappe généralisée. En revanche, la circulation est hétérogène et suit un cheminement complexe en fonction de la variation de perméabilité et d'extension des niveaux supérieurs. On note que l'épaisseur de la nappe est assez faible, ce qui limite le débit capté. Celui-ci varie cependant en fonction de la nature du sol (granulométrie).

L'eau se charge progressivement en sel, ce qui la rend de moins bonne qualité en aval qu'en amont de la palmeraie. On note la présence de deux autres nappes de grande importance dans le bassin d'Ouarzazate, la nappe de Tikirt et la nappe d'Ouarzazate (ORMVAO, 1988).

Bassin versant de la rivière Hajjaj.

Le réservoir qui alimente le bassin versant de l'oued Hajjaj se situe entre le piémont de la montagne au nord (haut Atlas), jusque l'Oued Dadès au sud. Les limites Est et Ouest ne sont pas strictes, elles se situent à peu près aux bords de la palmeraie, c'est-à-dire partout où la population s'est implantée. Toute la zone de ce bassin est appelée « la plaine », celle-ci compte 403.6 km² de surface du bassin versant. Rappelons que le substratum anté-quaternaire de la plaine est essentiellement constitué de dépôts du pontico-pliocène. On y trouve des roches sédimentaires en alternance très variables. Les marnes sont discontinues et permettent ainsi la formation de nappes isolées souvent captives. Le quaternaire recouvre la presque totalité de la plaine, on observe des cônes de déjections et des terrasses alluviales constituées de dépôts sédimentaires grossiers fortement cimentés, ces roches sont souvent remontées en conglomérats ou en croûtées, le sol arable est produit par le dépôt de limon plus ou moins épais (de 0.5 à 5 m).

Ces dépôts pontico-pliocène et récents contiennent la nappe phréatique à surface libre dont il est question dans l'exploitation hydrologique à Skoura. On estime sa profondeur entre 5 et 35m (fig. 7), elle est largement influencée par la topographie et les contraintes géologiques. En règle générale plus on va vers le sud et vers Skoura plus la nappe est superficielle.

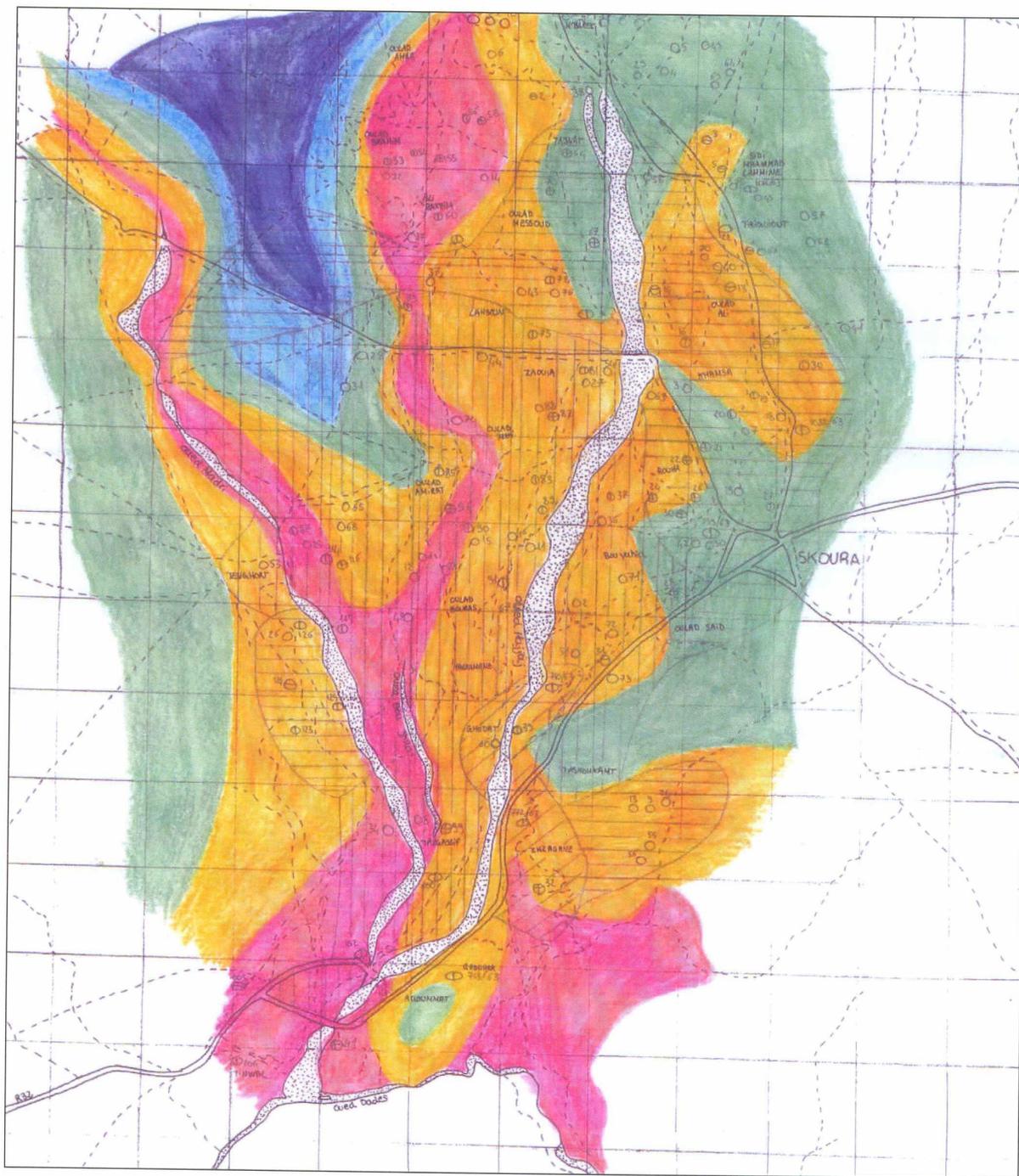
Apports de la nappe

La nappe est rechargée par (ordre décroissant de l'importance de l'apport): les écoulements des oueds, la recharge souterraine le long des vallées en provenance du relief atlasique, l'infiltration de l'eau de pluie et la percolation des eaux de l'irrigation.

Dynamisme de la nappe

Les relevés piézométriques ont révélé que la nappe souterraine qui alimente le bassin versant de l'oued Hajjaj circule du nord au sud (fig. 8). Elle a une charge hydraulique de près de 350m (1989) et un gradient hydraulique moyen de 0.013. La plaine est traversée par un écoulement long de 27 km, soit entre 1510 et 1130m d'altitude.

Le courant circule du nord vers le sud et suit la direction de l'écoulement de l'oued Hajjaj. Dans l'oasis, les eaux souterraines des Oueds Toundoute, Targa et Madri alimentent le bassin versant de Hajjaj, lequel est influencé par les prélèvements dans la nappe (khattaras et pompages).



1 / 64 000

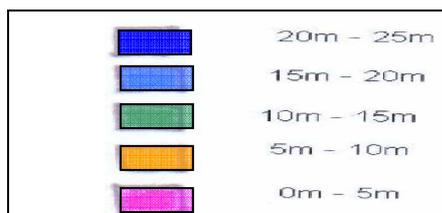


Fig. 7 : La carte de la profondeur de la nappe de Hajjaj (ORMVAO, 1988)

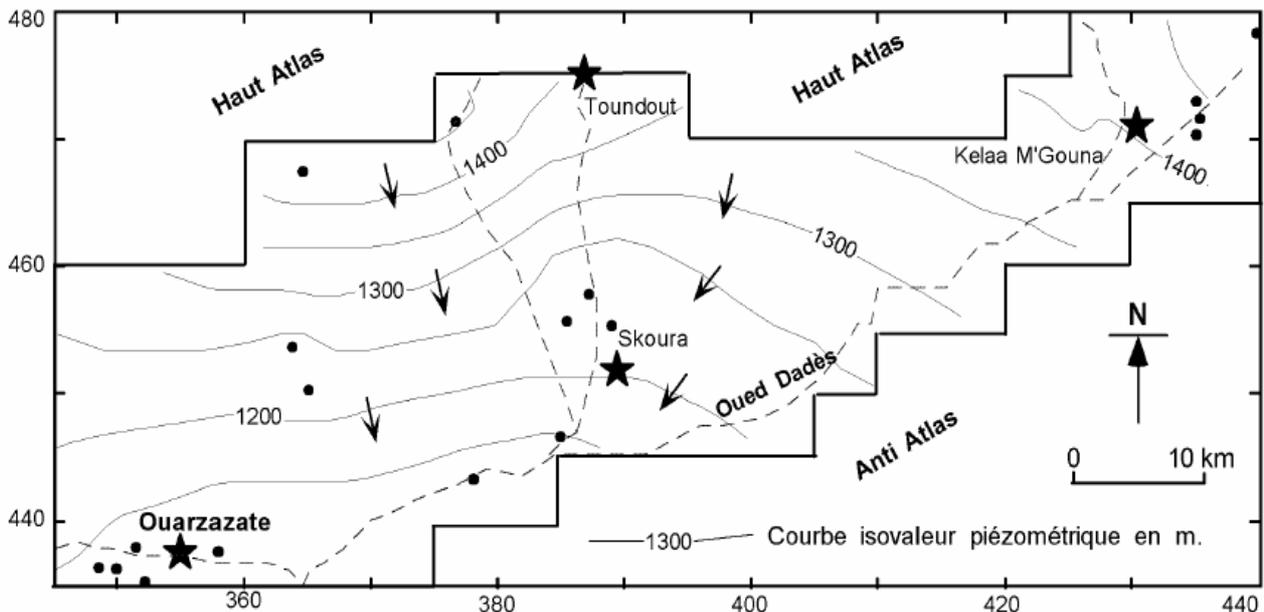


Fig. 8 : Plaine d'Ouarzazate, piézométrie d'avril 1998, 27 points de mesure
(Données de La D. R. H. A. in Agoussine et al., 2004)

La transmissivité et les coefficients d'emmagasinement de la nappe permettent une interprétation du dynamisme de celle-ci, les études faites sur des forages préexistants nous ont permis de faire les observations suivantes :

- les zones de très haute transmissivité se trouvent dans la région de Toundoute en amont de la palmeraie, ainsi que dans le lit principal de l'oued Hajjaj.
- La haute transmissivité se localise dans les cônes de déjection de Toundoute
- La moyenne transmissivité est présente dans la majeure partie de palmeraie de Skoura
- la transmissivité relativement faible est présente entre Skoura et Toundoute, près du Douar d'Amekchoud.
- La zone de faible transmissivité est étroitement liée aux affleurements des roches du Pontico-Pliocène, c'est à dire aux bords de la palmeraie, mais aussi dans les zones directement alimentées en eau par la nappe du Pontico-Pliocène : douars Rouah, Khamsa, Ihazgane, Gaddara, Olad Arbia ..., dans le centre de l'oasis.
- La transmissivité est très faible dans les dépôts de l'éocène, c'est-à-dire au Nord de Skoura .

Rappelons que la transmissivité est un bon indicateur pour déterminer les zones d'exploitation potentielle d'une nappe phréatique.

Formations traversées par la nappe Hajjaj

Les formations ont été, en effet, mises en évidence dans tous les sondages de reconnaissance et puits qui ont traversé ces formations (fig. 8). Les dépôts y sont argileux, épais et peu perméables ; cependant, ils sont plus détritiques dans l'Est (argiles sableuses, argiles intercalées de cailloutis, Conglomérats) et sont alors perméables. La nappe est principalement libre ; des secteurs de semi-captivité ont été néanmoins mis en évidence dans

les conglomérats, sables et grès du Mio-Pliocène, lorsque les horizons argileux de couverture sont relativement épais. Cet aquifère présente assurément une certaine discontinuité à cause de la forme lenticulaire des corps du Mio-Pliocène (fig. 9) (Agoussine et *al.*, 2004).

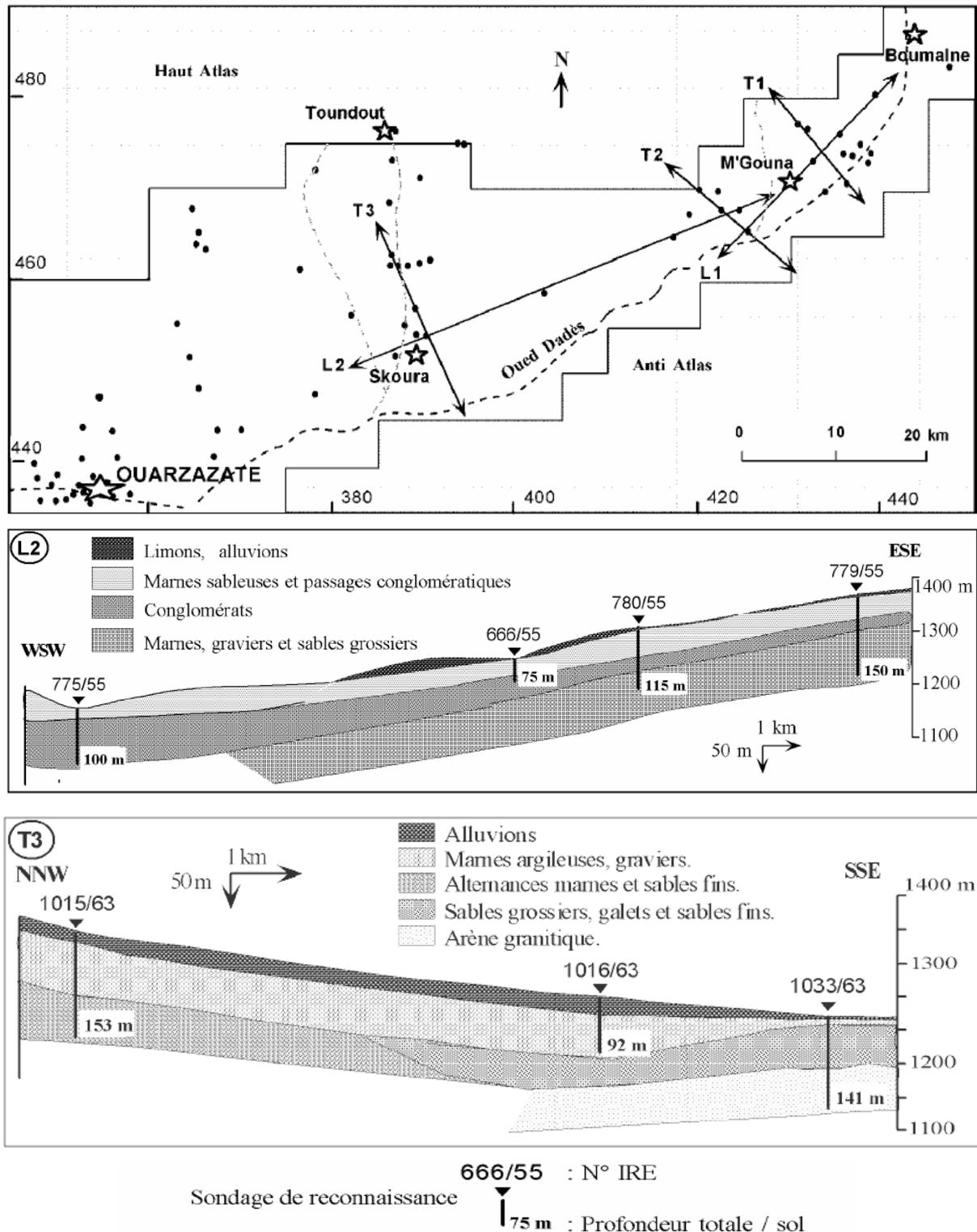


Fig. 9 : Localisation des sondages de reconnaissances et coupe corrélatives dans la plaine d'Ouarzazate (d'après Agoussine et *al.*, 2004)

CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE

1- Travaux effectués sur le terrain

1-1 Les visites

- le 02 /03/2010 : la première visite à la zone d'étude pour voir la situation de la zone.
- le 15/03 /2010 : visite dont l'objectif est d'inventorier le nombre des stations des huileries dans la zone étudiée.
- le 22/03/2010 : choisir les puits qui sont susceptibles d'être contaminés par le phénol.
- le 30/03/2010 : dernière visite pour les prélèvements et les mesures.



Les photos au dessus qui montrent la pollution engendré par les stations des huileries de la région

1-2 Situation des sites de prélèvement

Pour les 8 puits choisis, on a pris en considération les points d'eau susceptibles d'être contaminés par la pollution engendrée par les stations des huileries de la région. Pour cela, on a fait des prélèvements en amont des stations et puis en aval sur deux sites présentés dans les figures 10 et 11.



Fig. 10 : Le premier site de prélèvement au Sud de la palmeraie de Skoura(Google earth)

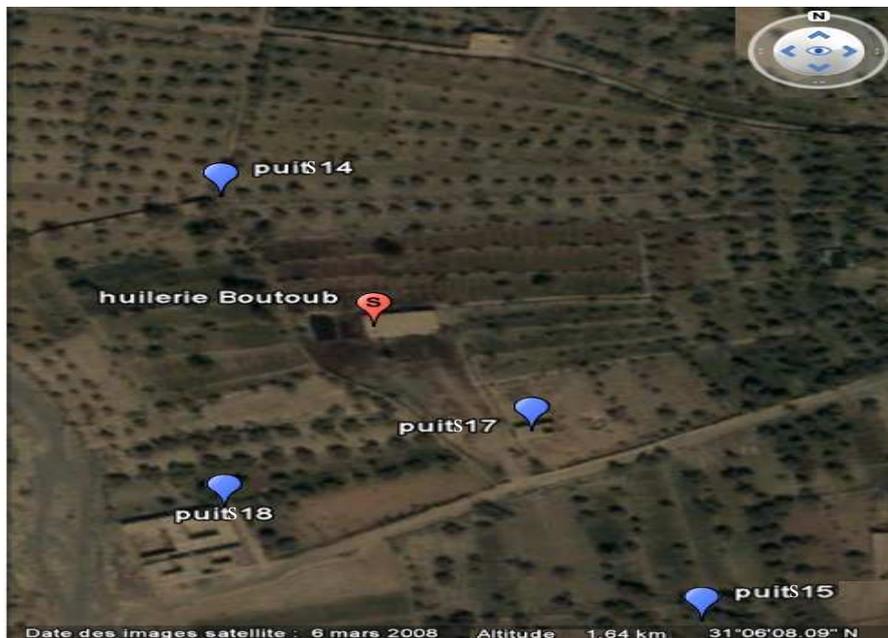


Fig. 11 : Le deuxième site de prélèvement au Nord de la palmeraie de Skoura(Google earth)

1-3 Prélèvement d'échantillons

Les prélèvements ont été effectués sur une série de puits référencés P14, P15, P17, P18, P19, P22, P23, P24. Ces échantillons sont destinés aux analyses chimiques au laboratoire.

1-4 Paramètres mesurés sur le terrain

a) Piézométrie

La mesure des niveaux hydrostatiques est indispensable pour l'élaboration d'une carte piézométrique qui représente à une date donnée la distribution spatiale des charges et des potentiels hydrauliques. De ce fait, on a déduit les niveaux piézométriques (NP) par la différence entre la cote du puits (Z) et la profondeur de l'eau dans ce puits (H), laquelle est mesurée par une sonde électrique. Le schéma suivant résume l'opération de mesure sur le terrain (fig. 12).

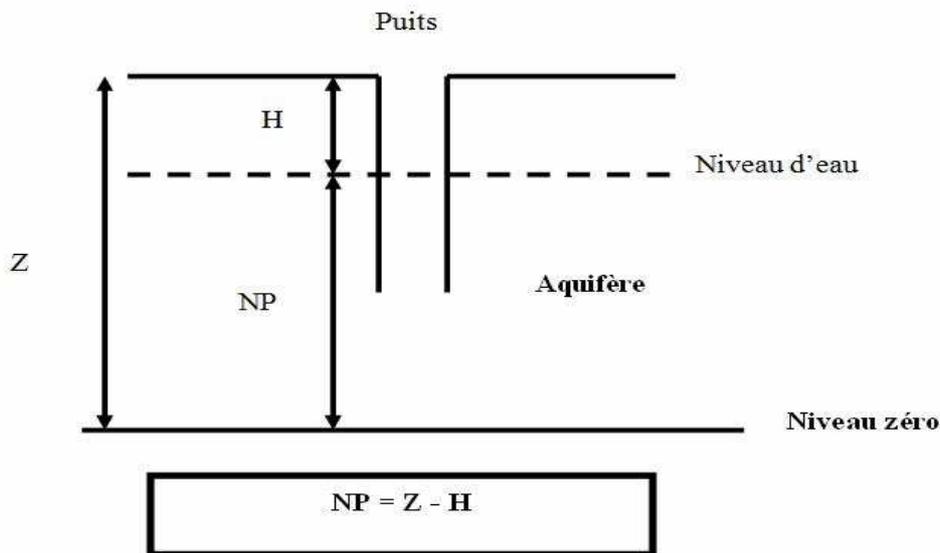


Fig. 12 : Principe de mesure du niveau piézométrique

b) Mesure des paramètres physico-chimiques

Sur le terrain, on a procédé par les mesures classiques des paramètres physico-chimiques suivants : température, conductivité et pH. Faute de moyens on n'a pas pu mesurer l'oxygène dissous, ni le potentiel d'oxydoréduction à cause de la grande incertitude de l'appareil (Horiba WATER CHKER U-10).

Température

La température d'un échantillon va évoluer après le prélèvement et l'information sera perdue. Il faut donc la mesurer rapidement après la collecte de l'échantillon. Pour se faire, on a utilisé un thermomètre à mercure, la colonne de ce dernier doit être immergée dans l'eau, il faut attendre que l'ensemble soit en équilibre thermique, faire plusieurs lectures et noter la

valeur la plus exacte.

Conductivité

La mesure de la conductivité est très importante car elle renseigne sur la salinité. Bien que pouvant attendre l'arrivée au laboratoire, sa mesure est utile pour mieux gérer la stratégie de prélèvement. Elle est très aisée et fiable grâce à un Conductivimètre de terrain.

Mesure de pH : (Horiba WATER CHKER U-10).

Les coordonnées : (GPS)

2- Travaux effectués au laboratoire

Au laboratoire, on a pu faire les analyses suivantes : le titre alcalimétrique, le dosage des chlorures et des sulfates et la mesure de la concentration de polyphénol.

Pratiquement, les analyses effectuées ne peuvent pas nous renseigner sur le faciès chimique des eaux, ni sur la qualité des analyses (balance ionique). Mais, elles peuvent quand même nous donner des idées à propos du degré de pollution par les éléments phénoliques et sur la potabilité de point de vue chimique.

2-1 Alcalinité de l'eau

Le TAC (Titre Alcalimétrique complet) de l'eau, exprimé en degrés français (°f), est fonction de la concentration en ions carbonates et bicarbonates. Il caractérise le pouvoir tampon de l'eau, c'est à dire la capacité d'influence d'un produit acide ou basique sur le pH de l'eau. Plus le TAC est élevé, et plus il est difficile de faire varier le pH de l'eau.

L'alcalinité de l'eau est liée aux ions : OH^- , HCO_3^- et CO_3^{2-} .

Principe

Pour détecter l'alcalinité d'une eau, on utilise la méthode de la titration avec la solution H_2SO_4 à 0.02N. Pour cette raison, on prépare au début 2l de la solution H_2SO_4 à partir de 34N.

Donc : $2\text{N} \rightarrow 1\text{M}$

$34\text{N} \rightarrow x\text{M} = C_i = 34/2 = 17\text{M}$

Et on sait que $V_f = 2\text{l}$ et $2\text{N} \rightarrow 1\text{M}$

$0.02 \rightarrow C_f$

Donc : $C_f = 0.02/2 = 0.01\text{M}$

Alors : $V_i = (V_f \times C_f) / C_i = 1.17 \text{ ml}$.

Pour calculer la concentration des ions HCO_3^- , on suit les étapes suivantes :

- On prépare une solution de H_2SO_4 (2l).
- On rince la burette avec de l'eau distillée puis avec la solution H_2SO_4 .
- On titre d'abord avec 100ml d'eau distillée.

- On détermine le volume de virage pour l'eau distillée. Le virage est de jaune vers l'orange. Dans ce cas, on a production des protons H^+ qui vont se combiner avec l'indicateur pour changer la couleur de la solution.
- On procède par la même démarche pour l'analyse des ions HCO_3^- de 100ml de l'eau de robinet et on obtient un volume de virage égal à 12ml.
- Analyse des échantillons : au début on utilise 50ml d'échantillon puis on fait un deuxième essai avec 100ml pour bien préciser le point de virage.

Méthode de calcul

N.B : puisque l'alcalinité est complète donc $[HCO_3^-] = [CO_3^{2-}]$.

On a :

$$C_i * V_i = C_f * V_f$$

Selon la formule de dosage on a :

$$N_{H_2SO_4} * V_{H_2SO_4} = N_{\text{échantillon}} * V_{\text{échantillon}}$$

$$N_{\text{échantillon}} = (N_{H_2SO_4} * V_{H_2SO_4}) / V_{\text{échantillon}}$$

Donc : $N_{\text{échantillon}} = T.A.C = (HCO_3^-) + 2(CO_3^{2-}) + (OH^-)$

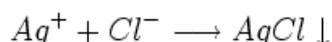
Etant donné que $(CO_3^{2-}) + (OH^-)$ est très faible alors: $N_{\text{échantillon}} = (HCO_3^-)$

La quantité des ions bicarbonates dans l'eau est donnée par l'expression suivante :

$$[HCO_3^-] = N_{\text{échantillon}} * 61 * 1000 \text{ (mg/l)}$$

2-2 Analyse des chlorures

En présence de nitrate d'argent en solution aqueuse ($Ag^+ + NO_3^-$), les chlorures précipitent pour donner du chlorure d'argent (AgCl) selon :



Méthode expérimentale

Sur un échantillon d'eau, on ajoute 5 gouttes de chromate de potassium K_2CrO_4 ; le mélange se colore en jaune. La solution est dosée par une solution de nitrate d'argent N/25. Le nitrate d'argent précipite les chlorures alcalins et alcalino-terreux sous forme de chlorure d'argent. La fin de la réaction est repérée par l'apparition de la teinte rouge brique du chromate d'argent.

Lorsqu'on constate un précipité rouge brique de bichromate d'argent qui subsiste après agitation, on note le volume versé de $AgNO_3$ et le dosage est terminé. La concentration des chlorures dans l'échantillon d'eau sera donc :

$$V_{AgNO_3} * 142 = [Cl] \text{ mg/l}$$

2-3 Analyse des sulfates

Les sulfates (SO_4) peuvent être trouvés dans presque toutes les eaux naturelles. Le sulfate est l'un des éléments majeurs des composés dissous dans l'eau de pluie. Les concentrations en sulfate dans les eaux sont très variables selon la nature lithologique des terrains. Parmi les problèmes causés par les SO_4^{2-} , on cite : la complication gastro-intestinale et des problèmes sérieux d'odeur par dégagement de H_2S à corrosion du baryum.

Méthode de détermination de SO_4^{2-}

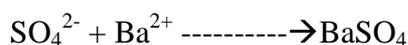
Il y a plusieurs méthodes qui sont basées toutes sur la formation des sulfates de baryum insoluble. On a procédé par la méthode néphélométrie (spectrométrie).

Cette fois ci, on va analyser la lumière transmise.

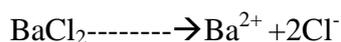
Selon la loi :

$$I = I_r \text{ réfractés} + I \text{ absorbé} + I \text{ Transmise} + I \text{ dispersé}$$

On va combiner les sulfates avec le Ba^{2+} selon la réaction :



Pour empêcher ce composé de se décanter, on ajoute le tween 20. Et pour avoir le Ba^{2+} , on ajoute :



Après la stabilisation, on mesure avec le spectromètre.

Réactifs :

- ✓ Solution d'HCl (1/10).
- ✓ Solution de tween 20 à 25%
- ✓ Solution de BaCl_2 stabilisée
- ✓ Solution étalon de sulfate de sodium à 120mg/l de SO_4^{2-} .

D'après la loi de Beer-Lambert on trouve la concentration de SO_4 soit :

$$y = \epsilon l C$$

Avec :

- y: absorbance
- ϵ : le coefficient d'absorption
- l : la largeur de cuve
- c : la concentration de la solution

2-4 Dosage de composés phénoliques

Principe

Le dosage des composés phénoliques totaux, de nos extraits, est effectué selon la méthode décrite par Macheix (1974). Elle est basée sur une réaction d'oxydation des composés phénoliques par le réactif de **Folin-ciocalteau** (formé à partir des acides phosphomolybdique et phosphotungstique). Il en résulte la formation d'un complexe bleu.

Dans un tube à essai, on met 10 µl de l'extrait, 1.745 ml d'eau distillée et 250 µl du réactif de folin-ciocalteau dilué au 1/3. Après agitation, 500 µl d'une solution de carbonate de sodium 20 % sont ajoutés. Les tubes sont ensuite bien agités puis incubés à une température de 40°C pendant 30 min. L'absorbance est mesurée à 760 nm.

La quantification des polyphénols est faite à partir d'une courbe d'étalonnage linéaire ($y = ax+b$) réalisée par le tyrosol, dans les mêmes conditions, à partir d'une gamme de concentration allant de : 0 à 25 µg.

Et d'après la loi de Beer Lambert on trouve la concentration en phénol :

$$y = \epsilon l C$$

Avec :

- y: absorbance
- ϵ : le coefficient d'absorption
- l : la largeur de cuve
- c : la concentration de la solution

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

a. Paramètres mesurés sur le terrain date (30/03/2010)

Les paramètres mesurés sur le terrain avec les noms des propriétaires de chaque puits et leurs coordonnées prises par le GPS sont mentionnés dans le tableau ci-dessous.

Ordre	prop	coordonne			T	PH	conductivité (ms/cm)	Côte piézométrique
		x	y	z				
14	Brakli med	N 31°06' 9 .78"	W 06°36'3.01"	1272 m	18,8	7,6	4,26	1262 m
15	batoube med	N 31°06'4.37"	W 06°36'58.78"	1273 m	18,6	7,66	5,4	1284,65 m
17	Bahadi Abdullah (huilerie)	N 31°06'6.55"	W 06°36'0.33"	1285 m	17	6,3	9,7	1268,8 m
18	Moulay Hassan ifroude	N 31°06'5.52"	W 06°36'2.98"	1273 m	18,1	7,58	4,99	1271 m
19	Brahim ben assila	N 31°04'1.98"	W 06°33'48.65"	1231 m	18,7	7,33	4,66	1212,3 m
22	AEP Ass wafa	N 31°03'59.88"	W 06°33'50.39"	1236 m	18,5	6,1	3,35	1217,8 m
23	AEP Ass ekhlass	N 31°03'57.41"	W 06°33'49.82"	1242 m	19,2	7,5	3,29	1222,8 m
24	Mokhtar (huilerie)	N 31°04'0.98"	W 06°33'46.99"	1238 m	18	6,2	4,73	1219,7 m

Tabl. 1 : paramètres mesurés sur le terrain.

a) Commentaire sur la piézométrie de la zone

Les relevés piézométriques de ces 8 puits ont révélés que la nappe souterraine qui alimente le bassin versant de l'oued Hajjaj circule du nord au sud.

b) Commentaire sur les paramètres chimiques

La conductivité :

La conductivité de ces eaux augmente de l'amont vers l'aval par augmentation de la minéralisation, ce qui entraîne une augmentation de la salinisation des sols après évaporation de l'eau. Sauf une exception, c'est l'échantillon numéro 17 qui a une forte minéralisation même s'il est en amont par rapport aux autres puits 18, 19, 22, 23 et 24. Elle pourrait être due à la nature lithologique des formations aquifères traversées d'une part, ou à l'infiltration des solutions riches en éléments chimiques qui proviennent de la station de **Bahadi Abdullah**.

Le pH :

Les résultats obtenus, à partir de la mesure du pH, ont montré que les échantillons analysés se partagent en 2 groupes :

- Le groupe qui présentent des valeurs de pH neutre à légèrement basique qui sont : les puits 14, 15, 18,19 et 23
- Le groupe qui présente des valeurs de pH légèrement acide qui sont : 17 ,22 et 24.

Ces 3 puits se situent en aval des stations des huileries choisies (fig. 10 et 11). Cette acidité peut être due à l'effet des margines qui présentent un faible pH entre 4,5 – 5,2.

2- Résultats des analyses au laboratoire

2-1 Alcalinité de l'eau

L'alcalinité des différents échantillons étudiés est représentée dans le tableau ci-dessous :

ECHANTILLONS	Volume de virage (ml)	Concentration en HCO_3^- en mg/l	Concentration en CO_3^{2-} en g/l
14	1,7	20,74	0
15	1,6	19,52	0
17	11	135	0
18	4	48,8	0
19	1,5	18,3	0
22	10,3	125,66	0
23	3	36,6	0
24	9	109	0

Tabl. 2 : Alcalinité de l'eau dans les différents sites de prélèvements

2-2 Analyse des chlorures

Le tableau ci-dessous représente les valeurs obtenues après l'analyse des chlorures dans les différents échantillons.

ECHANTILLONS	volume de virage (ml)	concentration de Cl en mg/l
14	5	710
15	8,2	1164,5
17	8,5	1207
18	4,8	681
19	4,9	695,9
22	8	1136
23	2,4	340
24	7,2	1022,4

Tabl. 3 : Résultat de l'analyse des chlorures des différents échantillons prélevés

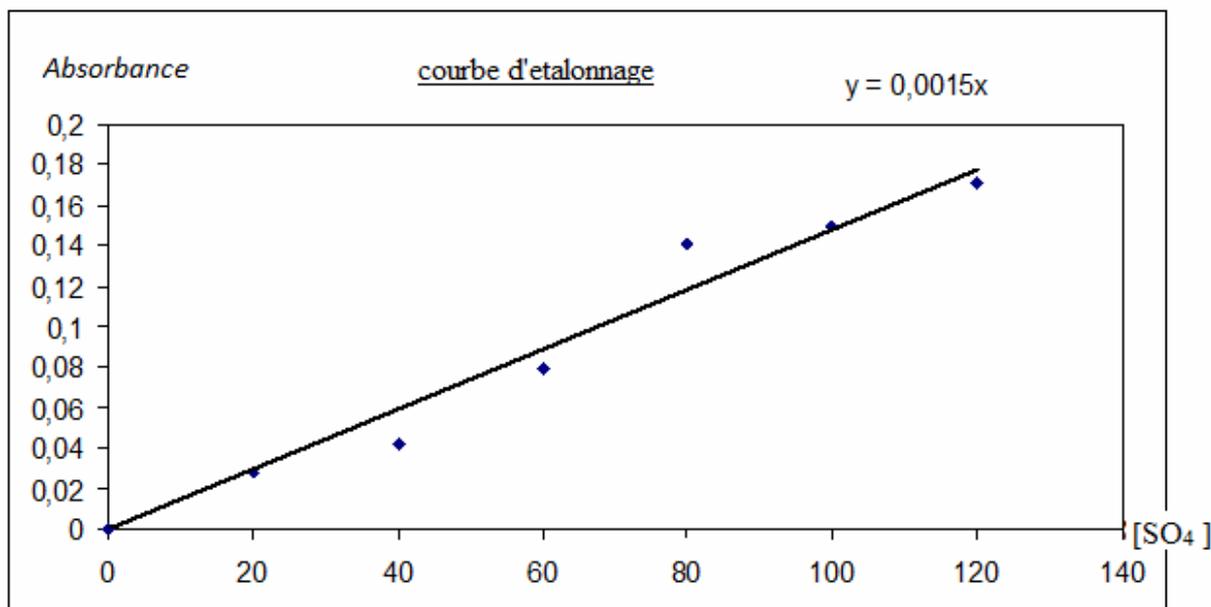
2-3 Analyse des sulfates

Courbe d'étalonnage :

Pour déduire les concentrations des sulfates dans les différents échantillons, on a réalisé une courbe d'étalonnage (densité optique en fonction des concentrations en mg/l) grâce à une série de solution de SO_4^{2-} de titre connu.

Concentration de SO_4^{2-}	0	20	40	60	80	100	120
L'absorbance à 650 nm	0	0,028	0,042	0,079	0,141	0,15	0,171

La courbe d'étalonnage obtenue est la suivante :



Le tableau suivant illustre les résultats des dosages de l'élément SO_4^{2-} dans les prélèvements pris des différents puits inventoriés.

ECHANTILLONS	Absorbance	Concentration de SO_4 en mg/l
14	1,444	962,66
15	1,87	1246,66
17	2,02	1346,66
18	1,706	1137,33
19	1,876	1250,6
22	1,248	832
23	0,762	500
24	0,85	566,66

Tabl. 4 : Résultats de densité optique des échantillons avec les concentrations en SO_4^{2-}

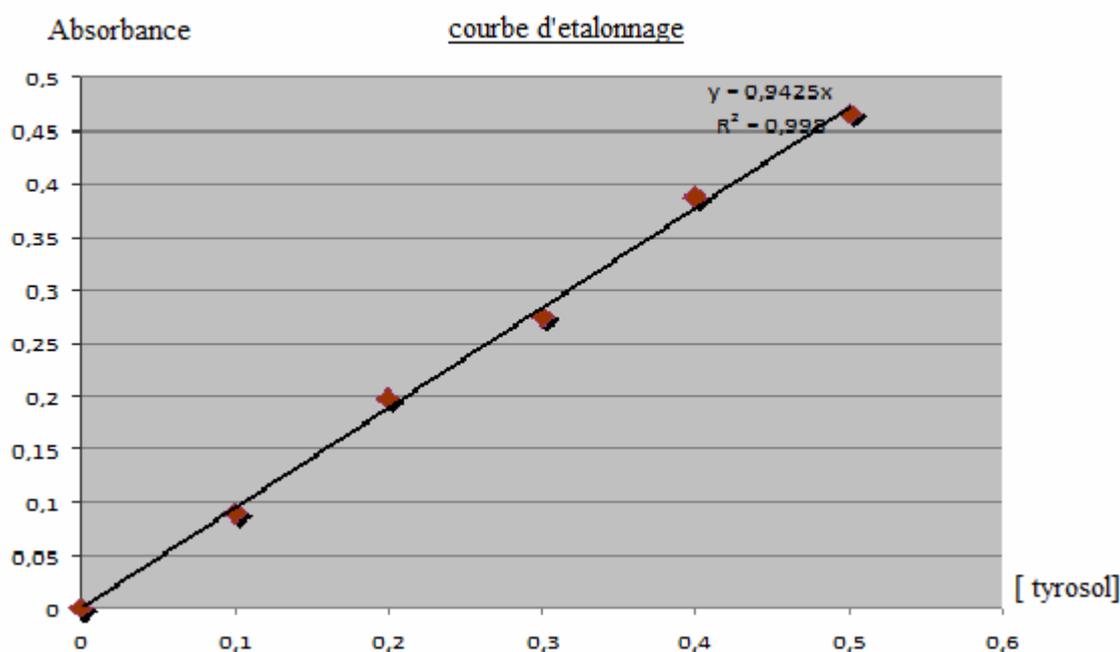
2-4 Dosage de composés phénoliques

Courbe d'étalonnage :

Pour déduire les concentrations des polyphénols dans les différents échantillons, on a réalisé une courbe d'étalonnage (densité optique en fonction des concentrations en g/l) grâce à une série de solution de tyrosol de titre connu.

DILLUTION	1 sur 5	2 sur 5	3 sur 5	4 sur 5		
solution	1	2	3	4	solution mer	
[TYR] en g/l	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0
absorbance	0,09	0,198	0,275	0,387	0,465	0

La courbe d'étalonnage obtenue est la suivante :



Le tableau ci- dessous représente la concentration d'éléments phénoliques (tyrosol)

dans les points d'eaux inventoriés. Cette concentration peut donner une idée sur le degré de la contamination des eaux par cet élément.

Point d'eau	DO 760 nm	[polyphénols] en (mg de tyrosol/l)
14	0,005	5,305039788
15	0,115	122,0159151
17	0,426	451,9893899
18	0,215	228,1167109
19	0,121	128,3819629
22	0,427	453,0503979
23	0,003	3,183023873
24	0,407	431,8302387

Tabl. 5 : résultats de densité optique des échantillons avec les concentrations en élément phénolique

3- Commentaires et interprétation

Le tableau ci-dessous résume les résultats des analyses des eaux prélevées au niveau des puits de la région de Skoura. Une Analyse en Composante Principale (ACP) a été réalisée sur ces données.

Points d'eau	PH	Conductivité (ms/cm)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	polyphénols en (mg/l) de tyrosol
P14	7,6	4,26	20,74	710	962,66	5,305039788
P15	7,66	5,4	19,52	1164,5	1246,66	122,0159151
P17	6,3	9,7	135	1207	1346,66	451,9893899
P18	7,58	4,99	48,8	681	1137,33	228,1167109
P19	7,33	4,66	18,3	695,9	1250,6	128,3819629
P22	6,1	3,35	125,66	1136	832	453,0503979
P23	7,5	3,29	36,6	340	500	3,183023873
P24	6,2	4,73	109	1022,4	566,66	431,8302387

Matrice de corrélation

	PH	Conductivité	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	phénols
PH	1	-0,278	-0,949	-0,616	0,199	-0,917
Conductivité	-0,278	1	0,416	0,528	0,641	0,425
HCO ₃ ⁻	-0,949	0,416	1	0,609	-0,127	0,935
Cl ⁻	-0,616	0,528	0,609	1	0,402	0,733
SO ₄ ²⁻	0,199	0,641	-0,127	0,402	1	0,048
phénols	-0,917	0,425	0,935	0,733	0,048	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil $\alpha=0,050$ (test bilatéral)

Analyse en composantes principales

Deux axes principaux ont été retenus pour l'interprétation puisqu'ils permettent d'expliquer 90% de la variabilité totale.

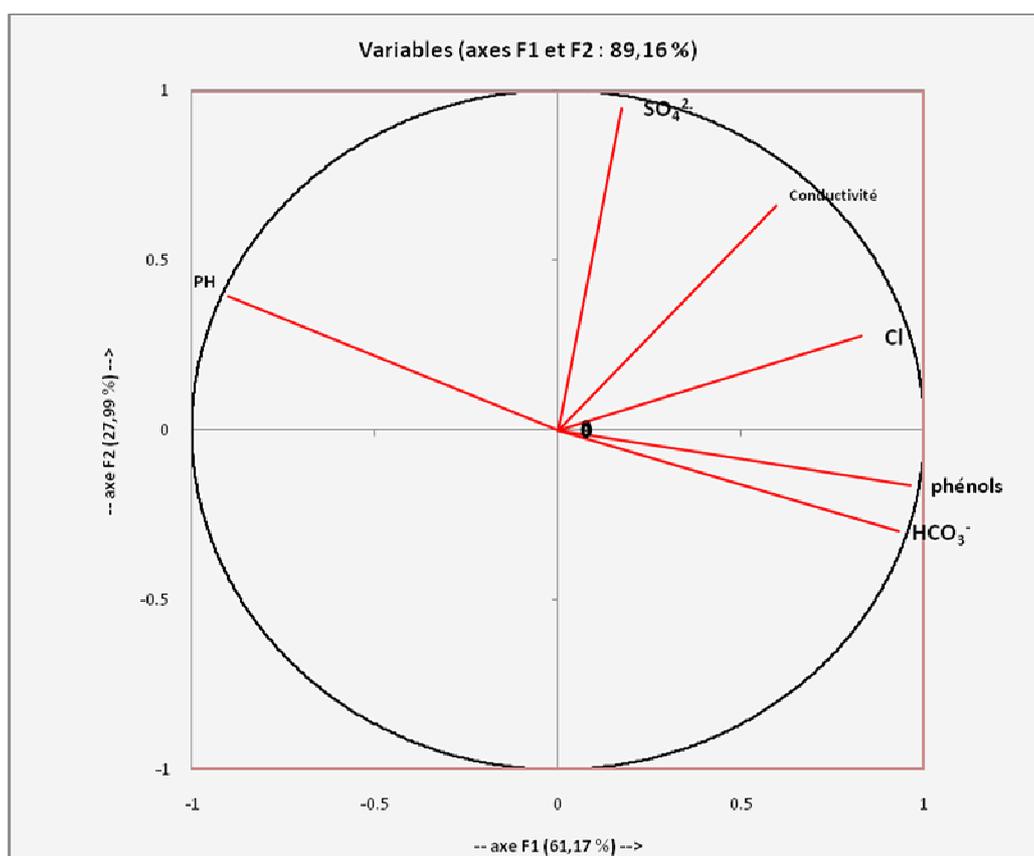


Fig. 12 : Projection des variables dans le plan factoriel F1-F2

L'analyse du schéma suivante nous permet de constater que les paramètres SO₄, HCO₃, phénol et le PH sont bien représentés par rapport au Cl et la conductivité puisque ils sont très proches à la bordure de cercle. Les paramètres HCO₃, phénol, Cl et le PH sont bien corrélés

sur l'axe F1 et on ce qui concerne SO_4 et la conductivité sont corrélés sur l'axe F2, on peut parler aussi de l'existence d'une anti-corrélation entre le paramètre HCO_3 et le PH donc ce dernier augmente lorsque la concentration en HCO_3 de l'échantillon diminue ; il sera autant plus élevé que le milieu sera dilué.

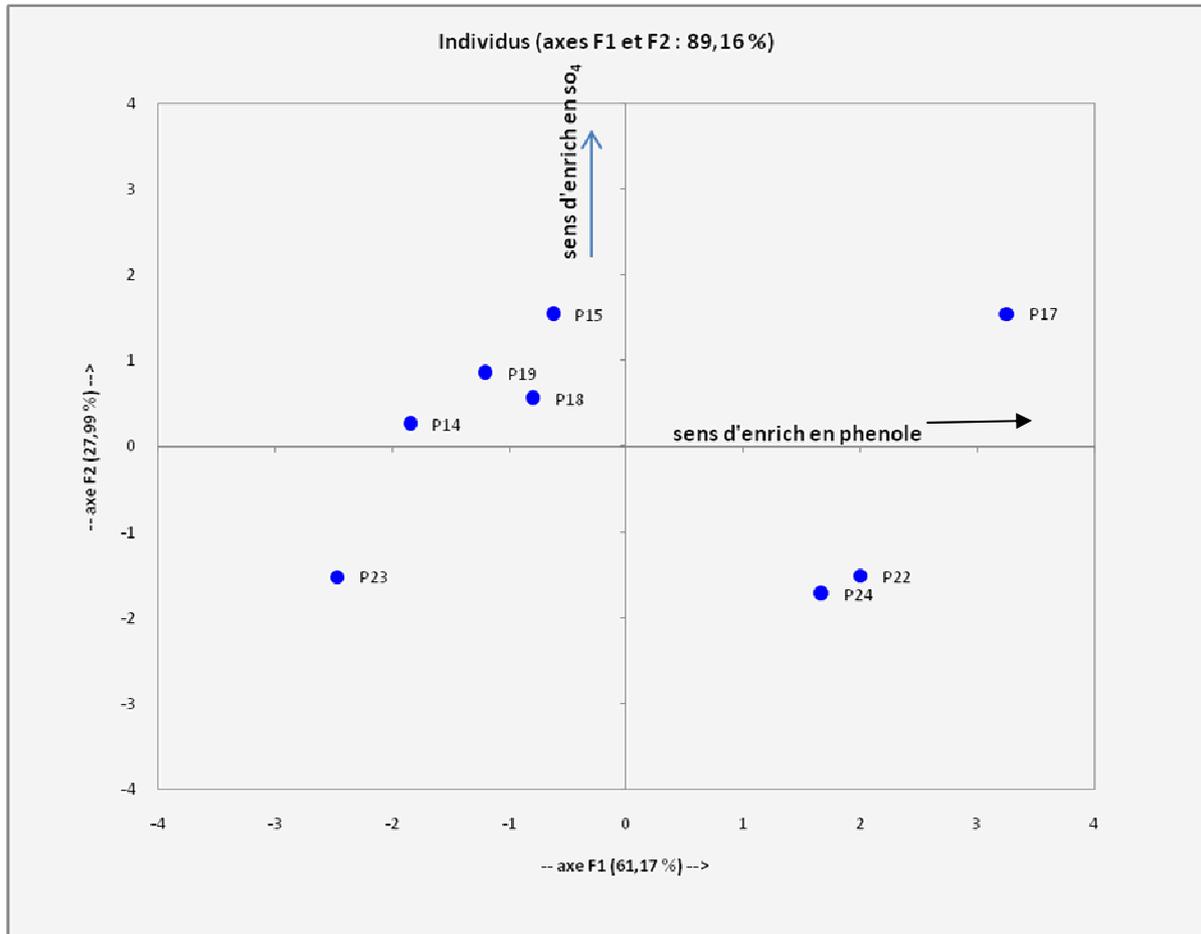


Fig. 13 : Projection des puits prospectés dans le plan factoriel F1-F2

D'après la figure 13, les échantillons sont partagés en quatre groupes :

- Le premier groupe : composé par les échantillons P14, P15, P19, P18 qui sont riches en SO_4 . probablement l'eau qui alimente la nappe souterraine de Hajjaj percole aux travers des formations de l'Eocène où on a une dominance des marnes et de gypse, ainsi l'eau se charge en sulfate. Ce groupe présente des teneurs faibles à moyennes concernant les paramètres Cl, HCO_3 , polyphénols et des pH neutres dus à la formation argileuse du terrain. Les faibles teneurs en contaminants organiques seraient probablement liées au fait que ces points d'eau sont situés en amont des stations des huileries (fig. 10 et 11).
- Le deuxième groupe : représenté par l'échantillon P17. C'est l'eau présentant la conductivité la plus élevée dans la région. Les teneurs en SO_4 y sont à presque la même que le groupe 1. Les points d'eau de ces deux groupes sont proches les uns des autres (fig. 11). L'origine des ions sulfates serait la même que pour les eaux du groupe

1. Cependant, la teneur en élément phénolique (tyrosol) est très élevée. une forte valeur de conductivité 9,7 ms/cm à cause aux effluents de margine qui sont généralement évacués directement autour de ce puits sans aucun traitement (cf. photo), ou collectés dans de grands bassins d'évaporation qui représentent localement une source de pollution potentielle des eaux. Cette contamination est confirmée aussi par le pH légèrement acide (6,3). On note également des teneurs élevées en chlorures. L'ion Cl aurait une origine anthropique. Au Maroc, les margines ont une forte charge saline due aux ajouts importants de sels pour la conservation des olives.



- Le troisième groupe : représenté par l'échantillon P23, ce dernier peut être considéré comme le seul échantillon situé sous les normes de potabilité, comme la montre les analyse.
- Le quatrième groupe : représenté par les échantillons P22 et P24 qui sont proches l'un de l'autre. On remarque qu'ils ont des faibles teneurs en SO_4 et des conductivités moyennes, des teneurs élevées en polyphénols et des pH légèrement acides. Ceci est en relation avec le fait que les deux échantillons sont situées en aval de bassin de margine, ce qui a influencé sur les deux puits étudiés (fig. 10).

Conclusion

Au terme de cette étude, nous mesurons combien la qualité des eaux des puits est menacée, puisqu'elle est affectée par une forte pollution d'origine essentiellement anthropique (rejets des margines) surtout les puits 17,22 et 24 qu'ils sont situés en aval des sites choisies. Le risque s'aggrave avec l'installation de nouvelles huileries ne répondant que partiellement aux normes nationales et internationales. C'est pourquoi, il est impératif de protéger les eaux souterraines contre le déversement des margines et d'utiliser des procédés écologiques d'extraction d'huile d'olives sans production intense de margines, avec toutefois, l'application des nouvelles lois relatives à la protection et à la mise en valeur de l'environnement, la loi sur la pollution et la loi sur l'eau.

Enfin dans l'urgence, voici quelques recommandations et mesures prioritaires qui devront être prises par la population, les associations et les organisations non gouvernementales :

- Donner la priorité aux actions qui visent l'introduction du procédé écologique dans les huileries.
- Ne plus exonérer des droits de douane, l'importation des équipements polluants notamment le système à trois phases (broyage des olive, pressage a froid et centrifugation pour récupérer l'huile).
- Sensibiliser davantage les propriétaires des huileries de l'intérêt du système écologique
- Réserver le système d'évaporation naturelle pour l'élimination des margines aux petites huileries traditionnelles travaillant encore avec des presses.
- Interdire aux grandes huileries, à procédé continu, le rejet des margines dans les égouts, les oueds et les retenues des barrages.

En général, la qualité des eaux souterraines de la région de Skoura commence à connaître de sérieux problèmes liés à la pollution des stations des huileries. L'étude de ces paramètres mériterait une étude tant approfondie que précise, piste de recherche que nous souhaitons développer ultérieurement.

BIBLIOGRAPHIE

- **AGOSSINE M., SAIDI MM. et IGMOUILLAN B. (2004)** : Reconnaissance des ressources en eau du bassin d'Ouarzazate (Sud-Est marocain). Bull. Inst. Sc. Rabat, N°26, p. 81-92.
- **JOSSEN J-A et FILLALI MOUTEI J. (1988)** : Bassin d'Ouarzazate, synthèse stratigraphique et structurale. Contribution à l'étude des aquifères profonds. Projet PNUD-DRPE. MOR/86/004. Rap. Inedit, 38p., 1 carte, 3 coupes.
- **Macheix (1974)** : Dosage de composés phénoliques
- **ORMVAO (1988)** : Etude hydrologique du bassin versant de l'Oued Hajjaj en vue de la construction d'un barrage de dérivation au niveau de Skoura. ED Techno Export Troy (Ref : 326).
- **ORMVAO (1989)** : Bassin versant de l'Oued Hajjaj. Etude des ressources en eau et établissement du bilan des eaux. Rabat : ED Techno Export Troy.
- **S'HABOU, R., ZAIRI, M. et BEN DHIA, H. (2005)**: Characterization and environmental impacts of olive oil wastewater disposal, Env Technol, 26, 34–45.
- **ZENJARI, B. et NEJMEDDINE, A. (2001)**: Impact of spreading olive mill wastewater on soil characteristics: laboratory experiments, Agronomie, 21, 749–755.