

Les variations paléogéothermiques dans la Dorsale d'Amguid-El-Biod - Hassi Messaoud (Région de Gassi-Touil et de Rhourde-Nouss, Sahara Central, Algérie)

Mohamed Kamel KERDJIDJ*, Jean TRICHET et Brahim BENRABAH*****

*Institut Algérien du Pétrole, 35000 Boumerdès

**Université d'Orléans, Laboratoire de Géochimie Organique

***Centre de Recherche et de Développement-SONATRACH, 35000 Boumerdès

Résumé: Dans le cadre d'une étude géologique, géochimique et minéralogique réalisée sur des séries paléozoïques et mésozoïques de la dorsale Amguid - El-Biod - Hassi Messaoud, les résultats ont permis de constater que ces séries ont subi des évolutions thermiques sous des gradients différents, élevés à Gassi-Touil et faibles à Rhourde-Nouss.

Mots clés: Bassin triasique - Amguid-El-Biod-Hassi Messaoud - Cristallinité - Phases tectoniques - Pétrographique - Pouvoir réflecteur de la vitrinite - Paléozoïque - Trias - Paléogéothermie.

Palaeogeothermal variations in the Amguid - El-Biod - Hassi Messaoud ridge (Gassi-Touil and Rhourde-Nouss Area, Central Sahara, Algeria)

Abstract: Gassi-Touil and Rhourde-Nouss area are located on the high Amguid - El-Biod - Hassi Messaoud ridge in the Triassic basin horsts, in central Sahara.

The tectonic study revealed two important tectonic phases (hercynian and autrichian), that affected differently these two regions. The autrichian phase is noticeable in the Gassi-Touil region more especially as it is unusual in the Saharian level stretch.

The thermal history reconstitution is based on the thermal transformation that organic and/or mineral component have undergone underground.

Illit is used as a paleothermometer by using the progressive variation of its cristallinity as function of temperature. The thermal changes undergone by the organic components can be show by optical and geochemical studies.

The mesurment of the vitrinite reflectance, the rock eval pyrolysis (Tmax), the mineral diagenesis, and structural study permitted the distinction of two regions by their thermal history: Gassi-Touil in the North and Rhourde-Nouss in the South.

All these results show that during the paleozoic, the geothermal gradient was weak in both regions and remained as such during the Meso-Cenozoic in the Rhourde-Nouss, but varied considerably in Gassi-Touil region.

Key words: Triassic bassin - High Amguid - El-Biod - Hassi Messaoud spur - Crystallinity - Tectonic phases - Organic petrography - Vitrinite reflectance - Paleozoic - Triassic - Palaeogeothermal.

1 - INTRODUCTION

La reconstitution de l'histoire thermique d'un bassin repose sur l'interprétation des transformations thermiques subies par les constituants organiques ou minéraux au cours de leur enfouissement. Ces transformations peuvent être connues grâce à des études optiques et géochimiques appliquées aux constituants organiques contenus dans les roches (Robert, 1976; 1983a; Tissot *et al.*, 1971; Tissot *et al.*, 1978).

Les marqueurs de la diagenèse des minéraux peuvent également constituer des paramètres utiles dans les reconstitutions paléogéothermiques bien que leur réponse aux effets thermiques soit plus lente que celle des matières organiques (Dunoyer, 1966; Kubler, 1966; Helling *et al.*, 1974; Wolf, 1975; Pollastro *et al.*, 1984).

2 - SITES ETUDIÉS

Les régions de Gassi-Touil et de Rhourde-Nouss distantes de 60 Km environ se situent à la limite sud-est du Bassin triasique (Sahara central), sur la dorsale d'Amguid - El-Biod - Hassi Messaoud qui est une structure composée de horsts et de grabens alignés selon une direction subméridienne sur plus de 600 Km (fig. 1).

La série stratigraphique comprend dans la région les termes allant du Cambrien au Mio-Pliocène. Le dépôt des sédiments a été entrecoupé par trois discordances: hercynienne (Carbonifère), autrichienne (Barrémien), et alpine (Eocène) (A. Boudjemâa, 1987).

3 - TECTONIQUE

La dorsale d'Amguid - El-Biod - Hassi Messaoud a connu quatre phases de compression qui ont été identifiées d'après la direction régionale des éléments et l'âge des strates qu'elles ont affectées (Sonatrach-Beicip, 1975; A. Boudjemâa, 1987). Ces phases et leurs directions majeures de contraintes sont les suivantes: hercynienne N120°, autrichienne N90°, Eocène supérieur N160° et post-oligocène N50°.

L'étude tectonique a permis de discerner deux régions, l'une septentrionale (Gassi-Touil), l'autre méridionale (Rhourde-Nouss) qui ont été affectées différemment.

A la fin de l'Hercynien, l'érosion qui a suivi a été plus importante à Gassi-Touil qu'à Rhourde-Nouss comme en témoigne l'écorché de la discordance hercynienne reconstituée dans la figure 2. C'est également dans la région de Gassi-Touil que se marque le plus spectaculairement la phase autrichienne (fig. 3). Cette phase s'exprime par le jeu ascendant de plusieurs structures permettant à l'érosion de faire apparaître

LES VARIATIONS PALEOGEOTHERMIQUES DANS LA DORSALE D'AMGUID- EL-BIOD - HASSI MESSAOU

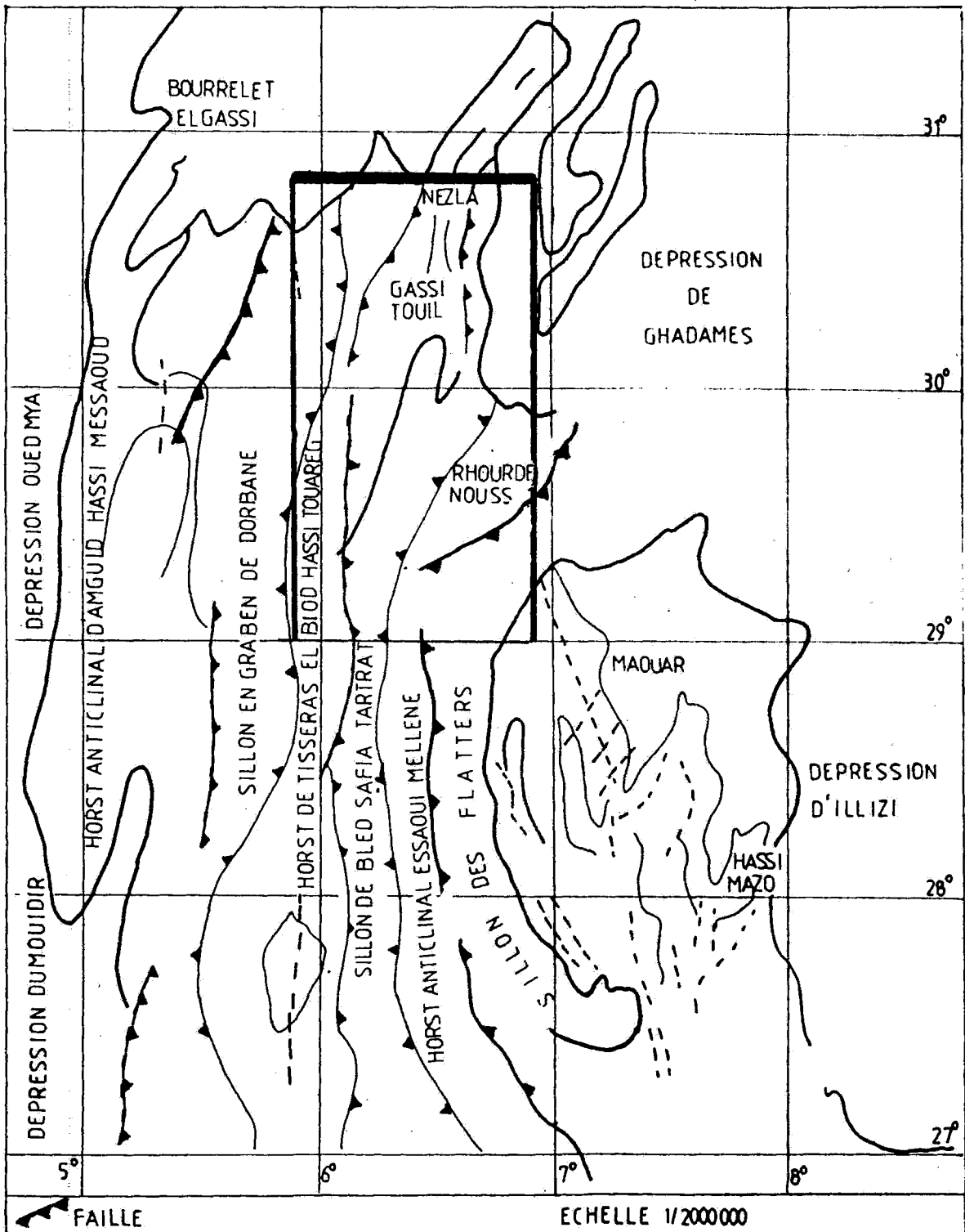


Fig. 1 - Situation géographique et géologique
Geologic and geographic setting map

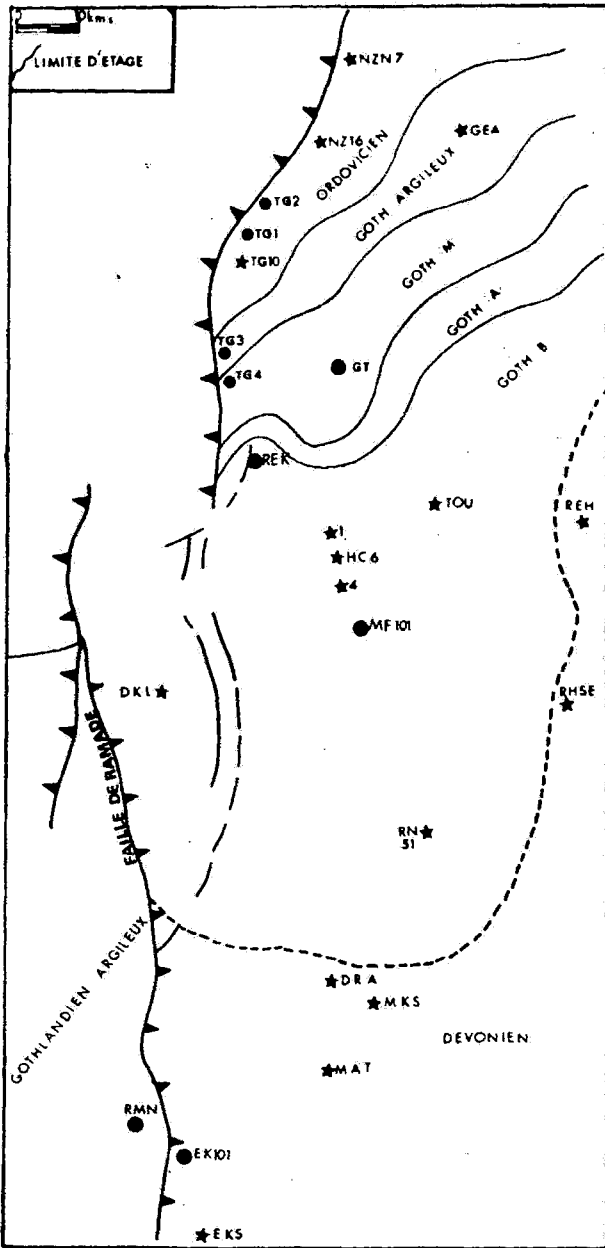


Fig. 2 - Ecorché de la discordance hercynienne
Hercynian unconformity

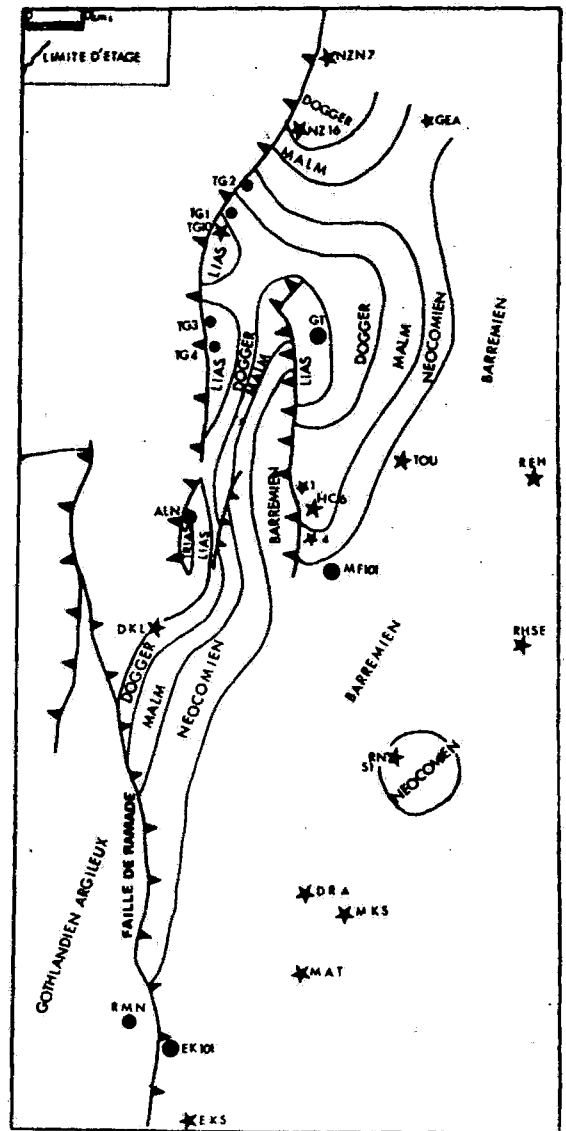


Fig. 3 - Ecorché de la discordance atrichienne
Atrichian unconformity

des coeurs triasiques, et surtout, se manifestent des phénomènes de subsidence remarquable ayant permis l'accumulation de plus de 1000 m de dépôt détritique dans les fosses jouxtant immédiatement les structures ascendantes. Ce double jeu des mouvements, d'une ampleur exceptionnelle et insolite dans la plate-forme saharienne, a été également mis en évidence par Busson (1971).

Les accidents subméridiens qui subdivisent la dorsale Amguid - El-Biod - Hassi Messaoud en horsts et en grabens linéaires sont d'âge panafricain. Ces zones de faiblesse ont toujours joué au cours des temps géologiques surtout au Crétacé inférieur où il y a eu formation de rifting dû à l'ouverture diachronique de l'Atlantique sud. Cette ouverture a créé un réseau de fossés continentaux dans la plaque africaine par l'intermédiaire de grands faisceaux de failles qui ont joué un rôle de relais ou de rampes latérales, du Golfe de Guinée au Soudan, ou de zone d'amortissement (faisceaux nigéro-algériens).

L'analyse tectonique faite par Guiraud *et al.* (1990) a permis de distinguer deux étapes dans le rifting.

L'une, anté- aptienne, avec l'océanisation de l'Atlantique sera amorcée dès le Néocomien au sud de Walwis, se propage vers le Nord pour atteindre le Bassin du Congo-Gabon à l'Aptien inférieur en créant des fossés (Haute Bénoué), des jeux en demi-grabens (sud Tunisie et Algérie orientale).

Il y a eu également des coulissages senestres le long des grands accidents subméridiens du Tim Mersoï (Niger) et Amguid - El-Biod - Hassi Messaoud. Les plis situés aux deux extrémités de ce décrochement peuvent traduire l'amortissement des coulissages dans ces régions.

L'autre de l'Aptien supérieur à l'Albien, où l'océanisation s'est beaucoup prononcée vers l'Atlantique équatoriale dont les marges fonctionnent en cisaillement dextre avec accentuation des grands fossés (Syrte).

Nous constatons qu'au Nord de la région de Gassi-Touil, les plis disparaissent peu à peu et diminuent d'amplitude. Les décrochements sont très remarquables. L'importance de l'amortissement se manifeste également par la formation de horsts élevés où l'on constate des érosions intenses. Ceci prouve bien que la région de Gassi Touil a été une zone d'amortissement. Le même phénomène a été décrit par Klitzsch (1978) en Libye où le faisceau de failles assure la transition entre le massif du Tibesti et le bassin du Mourzouk, comme en témoignent également les plissements et une forte discordance intra-crétacée.

4 - ETUDE PALEOGEOTHERMIQUE

4.1 - Données de pétrographie organique

Les analyses pétrographiques ont porté sur des séries anté-triasiques et triasiques recoupées par quatorze sondages. Les termes allant du Jurassique au Mio-Pliocène étant très pauvres en matière organique n'ont pas été étudiés de ce point de vue. Nous avons discerné dans les séries deux types de matières organiques:

- l'un constitué de matière organique amorphe associée à quelques algues du genre *Botryococcus*, et localisé dans l'Ordovicien et le Silurien;

- l'autre dérivant de végétaux supérieurs, et localisé dans le Dévonien et le Trias.

4.1.1 - Résultats et interprétation des mesures du pouvoir réflecteur de la vitrinite (P.R.V.)

Les mesures de réflectance ont été réalisées sur des populations de particules de vitrinite dans les strates du Dévonien et du Trias. Elles n'offrent pas de grandes continuités verticales. Toutes les valeurs du P.R.V. du Trias ont été reportées dans un diagramme P.R.V./profondeur (fig. 4). Nous y distinguons deux ensembles:

- un ensemble correspondant à la région de Rhourde-Nouss où la vitrinite présente une réflectance de 0,40% à 2200 m et de 0,60% à 3200 m, soit un taux d'augmentation $\Delta R/100$ m voisin de 0,020;
- un ensemble correspondant à la région de Gassi-Touil où la vitrinite passe de 0,60% à 1500 m à 1,20% à 3200 m, avec un taux de croissance $\Delta R/100$ m voisin de 0,030.

Nous constatons que la dispersion des valeurs du P.R.V. est plus faible dans le premier ensemble que dans le second.

L'évolution thermique de la matière organique du Dévonien montre une évolution semblable à celle observée dans les assises triasiques, à savoir une évolution plus poussée à profondeur égale dans la région de Gassi-Touil que dans celle de Rhourde-Nouss (fig. 5).

La ligne d'isoréflectance (0,40-0,45%) du Trias de la région de Rhourde-Nouss plonge vers les profondeurs croissantes dans la direction du Nord-Est. Il en est de même pour la ligne d'isoréflectance (0,70%) dans le Dévonien (fig. 6 et 7). Ces lignes étant sensiblement parallèles au pendage des couches elles-mêmes, la maturation thermique a donc lieu avant le

plissement des couches (fig. 8). Les figures 9 et 10 illustrant la position des lignes d'isoréflectance 0,70% et 1,0% dans le Trias de la région de Gassi-Touil, confirment ce point de vue et permettent de conclure que la houillification est incontestablement anté-tectonique.

L'examen des courbes du P.R.V. de deux sondages R.E.H. et R.H.S.E appartenant respectivement à la région de Gassi-Touil et de Rhourde-Nouss, montre qu'il n'existe qu'un faible décalage entre la courbe mésozoïque et paléozoïque séparées par la discordance hercynienne (fig. 11). Il y a donc eu une quasi-continuité dans le taux d'évolution diagénétique de la matière organique au cours de l'orogénèse hercynienne. Les effets thermiques induits lors des mouvements hercyniens n'ont donc pas dû être intenses sinon ces courbes présenteraient un décalage plus important. Ceci signifie que la maturation de la matière organique ne s'est réalisée pour l'essentiel, qu'au Mésozoïque.

4.2 - Interprétation des variations de la température maximale de la pyrolyse rock eval

L'état d'évolution de la matière organique a été également estimé d'après la température maximale (T_{max}) du pic S2 de la pyrolyse rock eval. Le décalage dans l'évolution diagénétique de la matière organique constaté dans la figure 4, est également perçu dans la figure 12; on constatera, par ailleurs, qu'il existe une très bonne corrélation entre les deux paramètres de rang P.R.V. et T_{max} (fig. 13).

La figure 14 montre une évolution monotone de la T_{max} , variant de 440°C (à 2900 m) à 445°C (à 3700 m) pour les matières organiques de

LES VARIATIONS PALEOGEOTHERMIQUES DANS LA DORSALE D'AMGUID- EL-BIOD - HASSI MESSAOUD

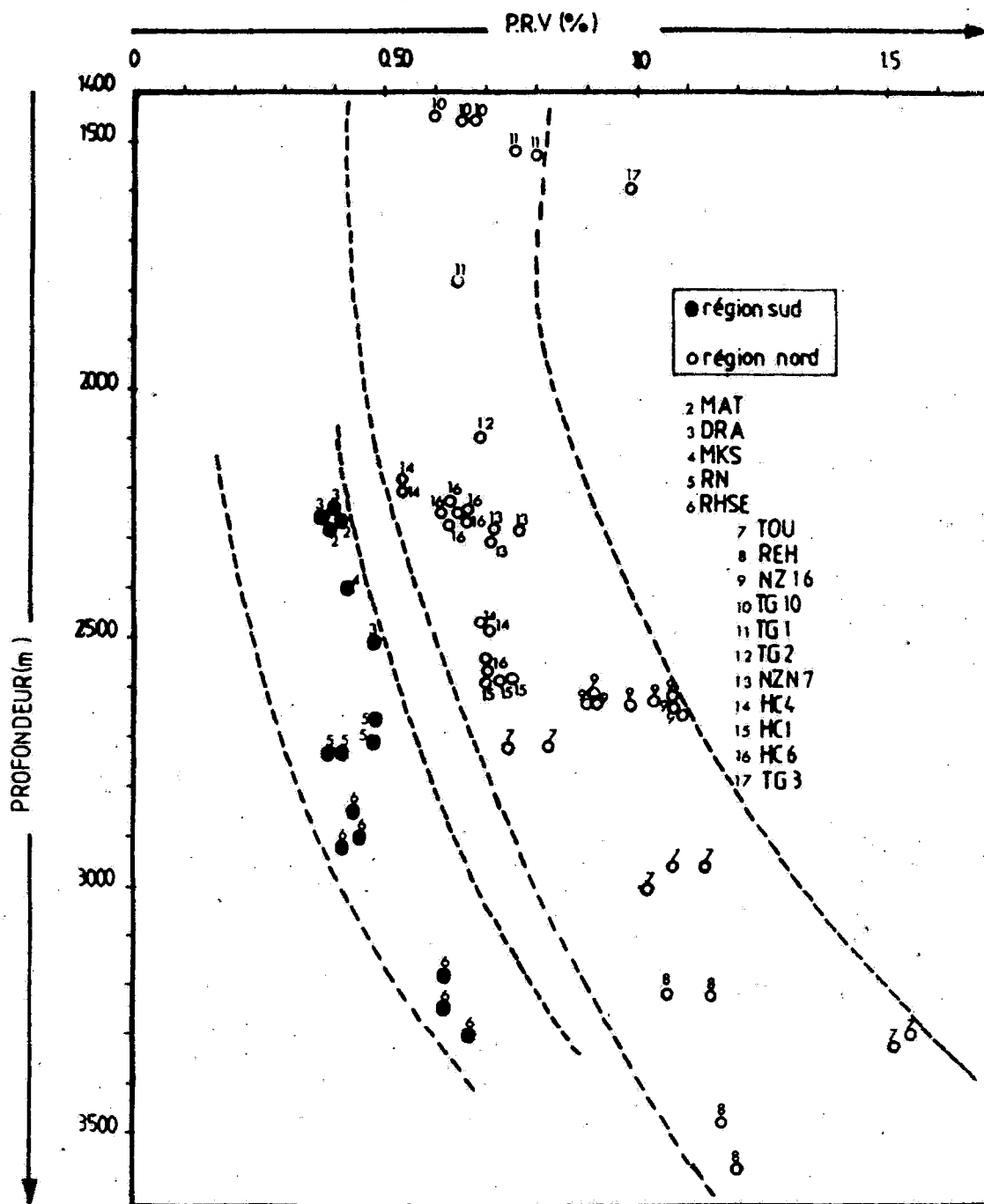


Fig. 4 - Evolution du PRV du Trias en fonction de la profondeur dans l'ensemble des régions étudiées
Evolution of the Triassic series Vitrinite reflectance versus the depth in the studied area

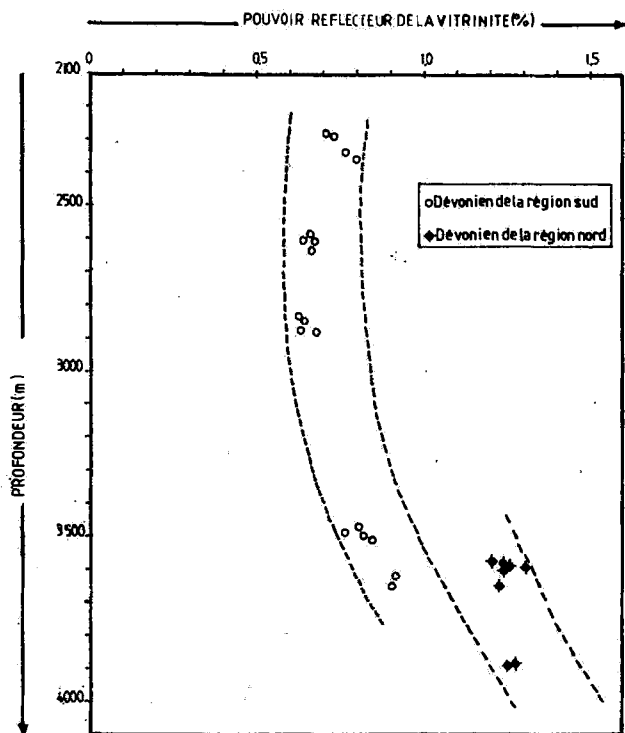


Fig. 5 - Evolution du PRV du Trias en fonction de la profondeur dans l'ensemble des régions étudiées
Evolution of the Devonian series vitrinite reflectance versus depth in the studied area

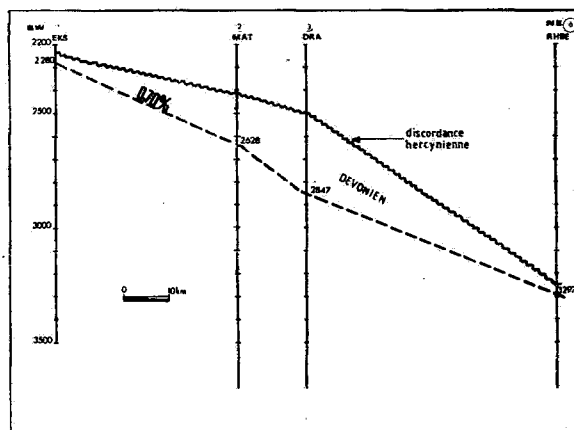


Fig. 7 - Position de la ligne d'isoreflectance dans le Dévonien (0,70%) de la région de Rhourde-Nouss
Devonian isoreflectance line position (0,70%) in the Rhourde-Nouss Area

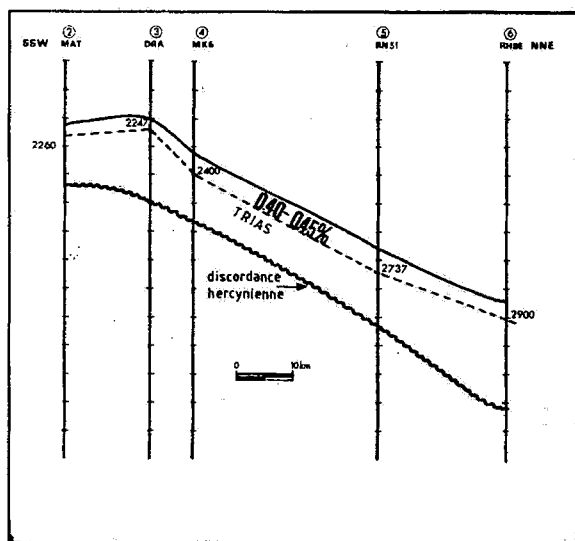


Fig. 6 - Position de la ligne d'isoreflectance du Trias (0,45%) dans la région de Rhourde-Nouss
Triassic isoreflectance line position (0,45%) in the Rhourde-Nouss area

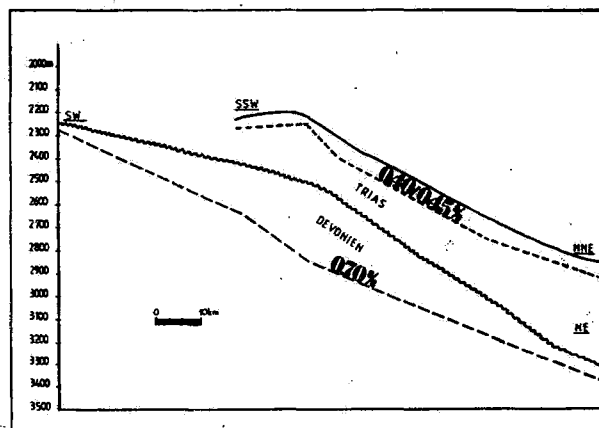


Fig. 8 - Superposition de la ligne d'isoreflectance du Trias (0,45%) et du Dévonien (0,70%) dans la région de Rhourde-Nouss
Superposition of the isoreflectance line of the Triassic (0,45%) and that of Devonian (0,70%) in the Rhourde-Nouss area

l'Ordovicien et du Silurien de la région de Rhourde Nouss. Ce degré d'évolution des matières organiques paléozoïques indique bien que le gradient thermique a été faible dans cette région. La région de Gassi-Touil présente un phénomène

LES VARIATIONS PALEOGEOTHERMIQUES DANS LA DORSALE D'AMGUID- EL-BIOD - HASSI MESSAOUD

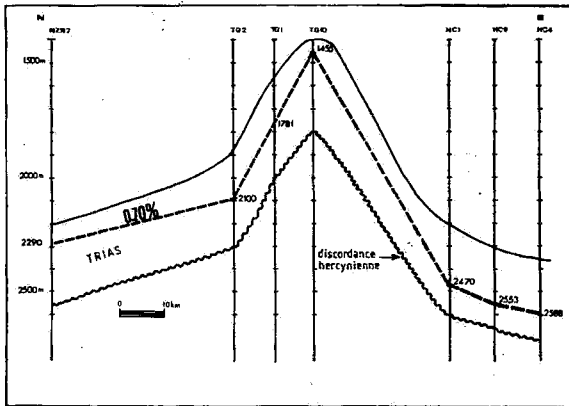


Fig. 9 - Localisation de la ligne d'isoreflectance du Trias (0,70%) dans la région de Gassi-Touil
Triassic isoreflectance line (0,70%) in the Gassi-Touil area

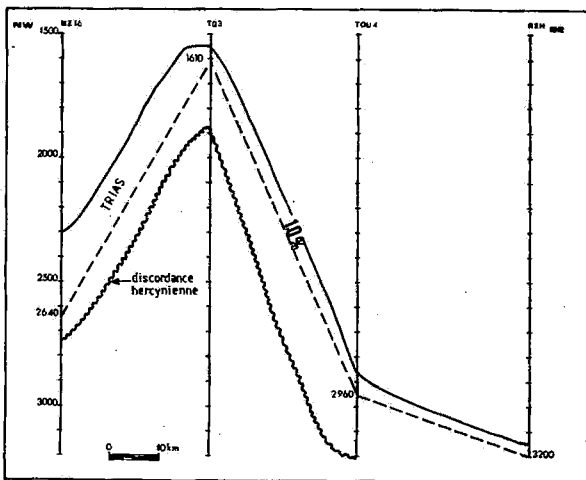


Fig. 10 - Localisation de la ligne d'isoreflectance du Trias (1%) dans la région de Gassi-Touil
Triassic isoreflectance line (1%) in the Gassi-Touil area

thermique plus complexe. En effet, les valeurs de Tmax de la matière organique de l'Ordovicien de deux sondages (NZN-7 et GEA) montrent une évolution monotone mais faible, comparée à celle du Trias de la zone de Gassi-Touil; elles indiquent

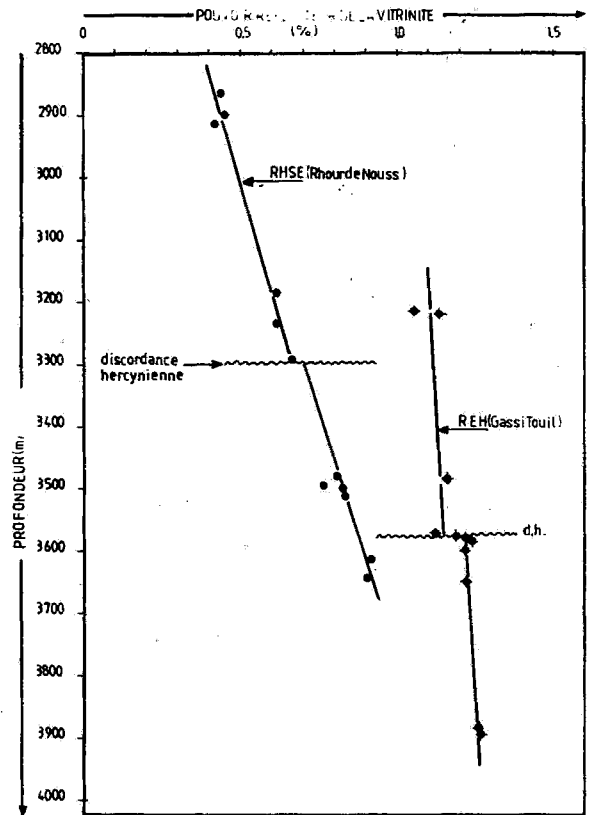


Fig. 11 - Evolution du PRV en fonction de la profondeur dans deux sondages de la région de Gassi-Touil (REH) et de Rhourde-Nouss (RHSE)
Evolution of the vitrinite reflectance versus the depth of two wells in the Gassi-Touil Area (REH) and Rhourde-Nouss area (RHSE)

que les effets thermiques ont été faibles au Nord de la région de Gassi-Touil.

4.3 - Données de la cristallinité des argiles

4.3.1 - Rappel sur la méthode

L'illite, de tous les minéraux argileux le plus répandu, est utilisé comme paléothermomètre grâce à la variation progressive que présente sa cristallinité en fonction de la température

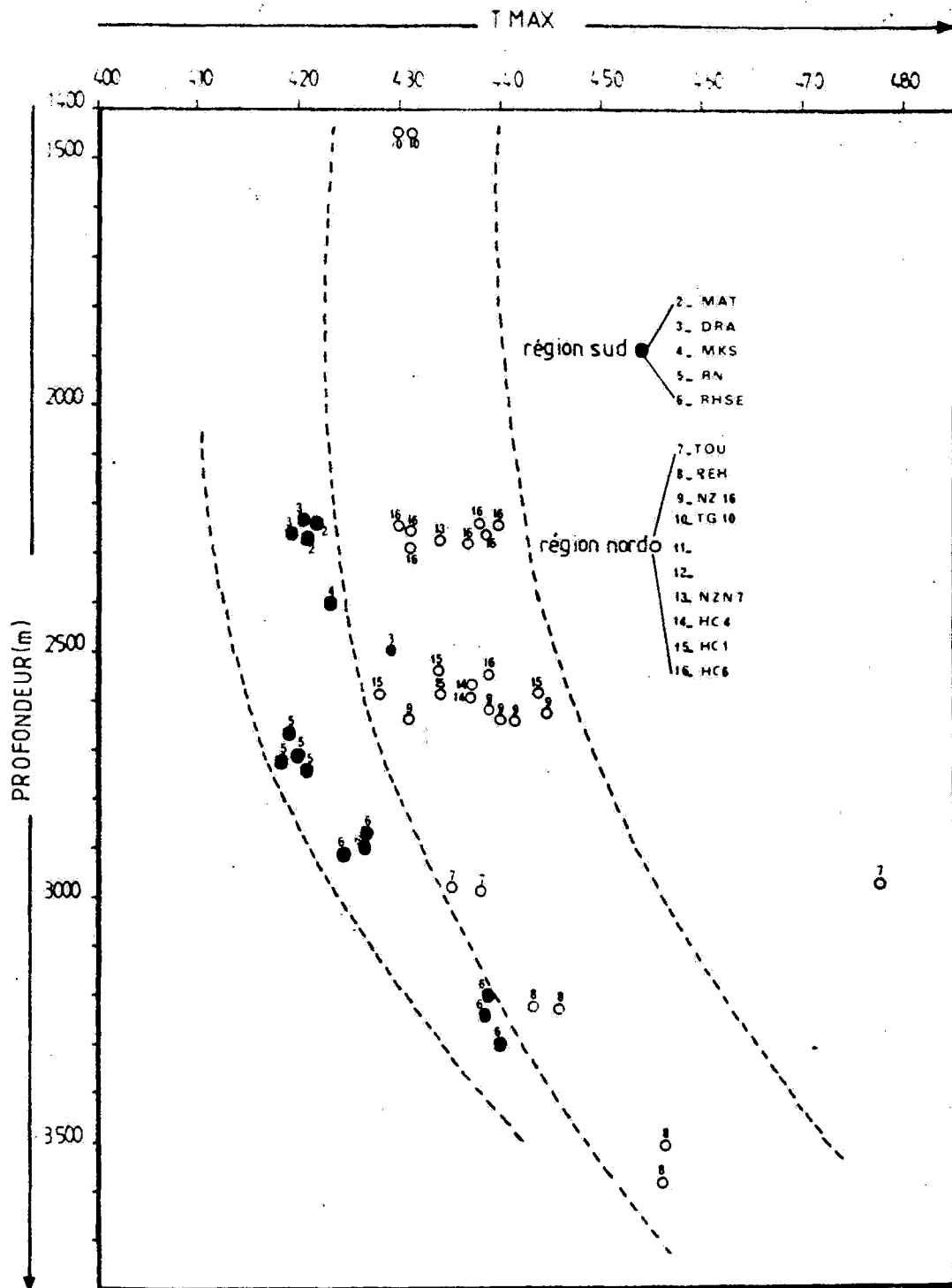


Fig. 12 - Evolution de la température maximale (T_{max}) en fonction de la profondeur dans l'ensemble des régions étudiées
Evolution of the maximal temperature (T_{max}) versus the depth in the studied area

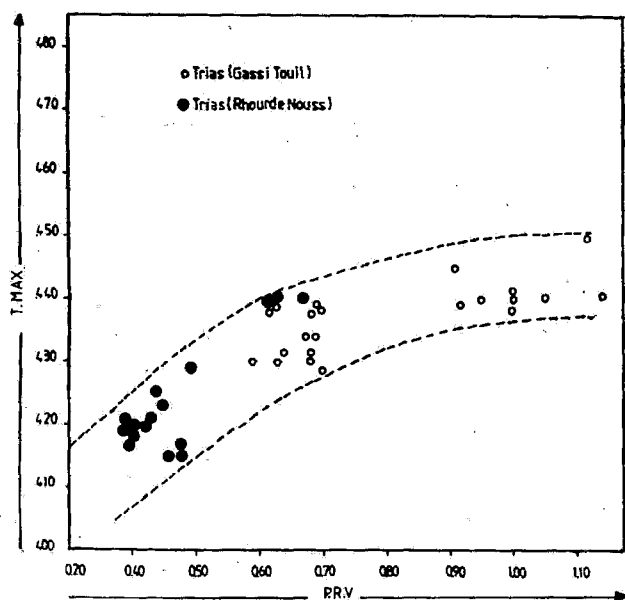


Fig. 13 - Corrélation entre Tmax et PRV pour les roches brutes du Trias dans l'ensemble des régions étudiées

Correlation between Tmax and vitrinite reflectance of Triassic samples in the studied area

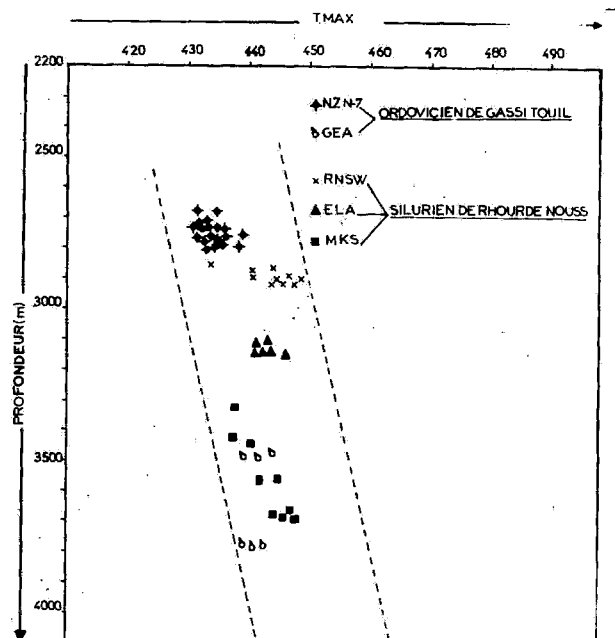


Fig. 14 - Evolution de la Tmax en fonction de la profondeur dans l'Ordovicien de Gassi-Touil (REH) et le Silurien de Rhourde-Nouss

Evolution of the T.max versus the depth of the Ordovician samples of the Gassi-Touil and Silurian samples of the Rhourde-Nouss area

(Dunoyer, 1966; 1969; Esquevin, 1969; Kubler, 1966).

L'indice de cristallinité ainsi défini est d'autant plus fort que la cristallinité est plus faible.

Cette largeur du pic est tributaire des caractéristiques du diffractomètre et de l'enregistreur. Nous l'avons mesuré dans les conditions standard permettant de comparer les résultats à ceux d'autres auteurs: vitesse goniométrique de 2 degrés/mm et une vitesse d'enregistrement 800 mm/h.

Ces valeurs ont été choisies par Dunoyer (1966). Nous avons mesuré les indices de cristallinité de l'illite dans l'Ordovicien et vérifié que nous obtenions les mêmes valeurs que celles publiées par Dunoyer pour des échantillons provenant de cette série (Dunoyer, 1966).

4.3.2 - Résultats

L'analyse par diffraction des rayons X a porté sur un grand nombre d'échantillons de l'Ordovicien, du Silurien, du Dévonien et du Trias.

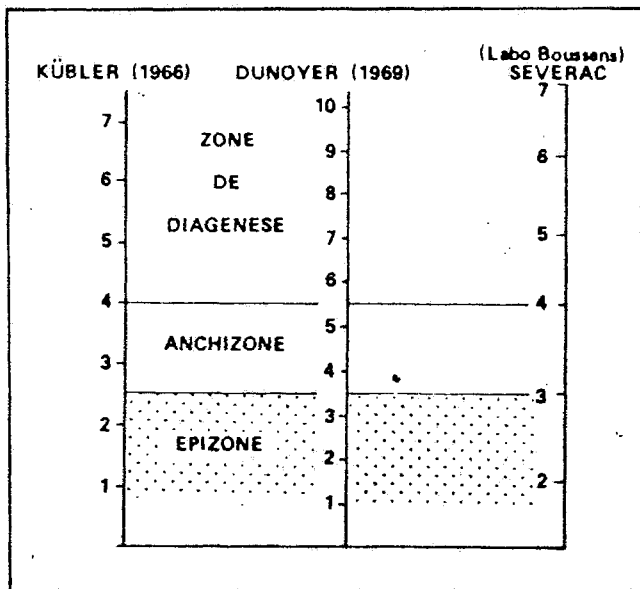


Fig. 15 - Correspondance des indices de cristallinité définis par divers auteurs et définition des limites de l'anchizone (Dunoyer, 1969; modifié)

Correlation between illit crystallinity indexes as determined by several authors and definition of the anchizone boundaries

Nous avons constaté la présence d'illite de cristallinité variée associée à la kaolinite dans tous les étages. Les indices de cristallinité de l'illite de l'Ordovicien sont faibles pour l'ensemble des régions (Gassi-Touil, Rhourde-Nouss, Illizi), témoignant donc d'une forte cristallinité qui caractérise un domaine proche de celui de l'anchizone (fig. 15 et 16).

Cette forte cristallinité n'est probablement pas due dans tous les cas à un phénomène thermique. Une forte cristallinité peut, en effet, trouver son origine, selon Dunoyer (1966), dans la très faible intensité des altérations continentales à l'époque de la sédimentation.

L'Ordovicien du Sahara est marqué par une glaciation (Beuf *et al.*, 1966) au cours de laquelle

l'érosion a livré à la sédimentation des minéraux peu altérés, notamment des illites arrachées aux vieilles séries métamorphiques émergées à l'époque. Ces illites ont conservé intacte la cristallinité élevée des micas des schistes cristallins. Les cristallinités de l'illite du Trias, du Dévonien et du Silurien se placent dans le domaine de la diagenèse.

C'est seulement pour les illites du Trias que nous distinguons une différence entre les indices de cristallinité de l'illite dans la région de Gassi-Touil et de Rhourde-Nouss (fig. 16). Il ressort des courbes de cette figure que les argiles du Trias de Gassi-Touil paraissent avoir subi des effets thermiques plus importants que celles de la région de Rhourde-Nouss.

La cristallinité des illites étudiées dans les séries triasiques des régions de Gassi-Touil et Rhourde-Nouss témoigne elle aussi d'une histoire thermique différente pour des séries de même âge et confirme l'intensité plus élevée des flux thermiques reçus dans la partie nord de la région (Gassi-Touil).

5 - CONCLUSION

Les méthodes utilisées dans ce travail, telles que la pétrographie (réflectométrie), la géochimie (pyrolyse rock eval) et la minéralogie des argiles (diffractométrie), convergent donc toutes vers le même résultat à savoir que les matières carbonées déposées depuis l'Ordovicien jusqu'au Trias ont subi des évolutions thermiques sous des gradients différents, plus élevé au Nord (Gassi-Touil), plus faible au Sud (Rhourde-Nouss). L'épisode tectonique hercynien n'a affecté le cours de l'évolution thermique des séries que d'une façon limitée. La comparaison de plusieurs cas de

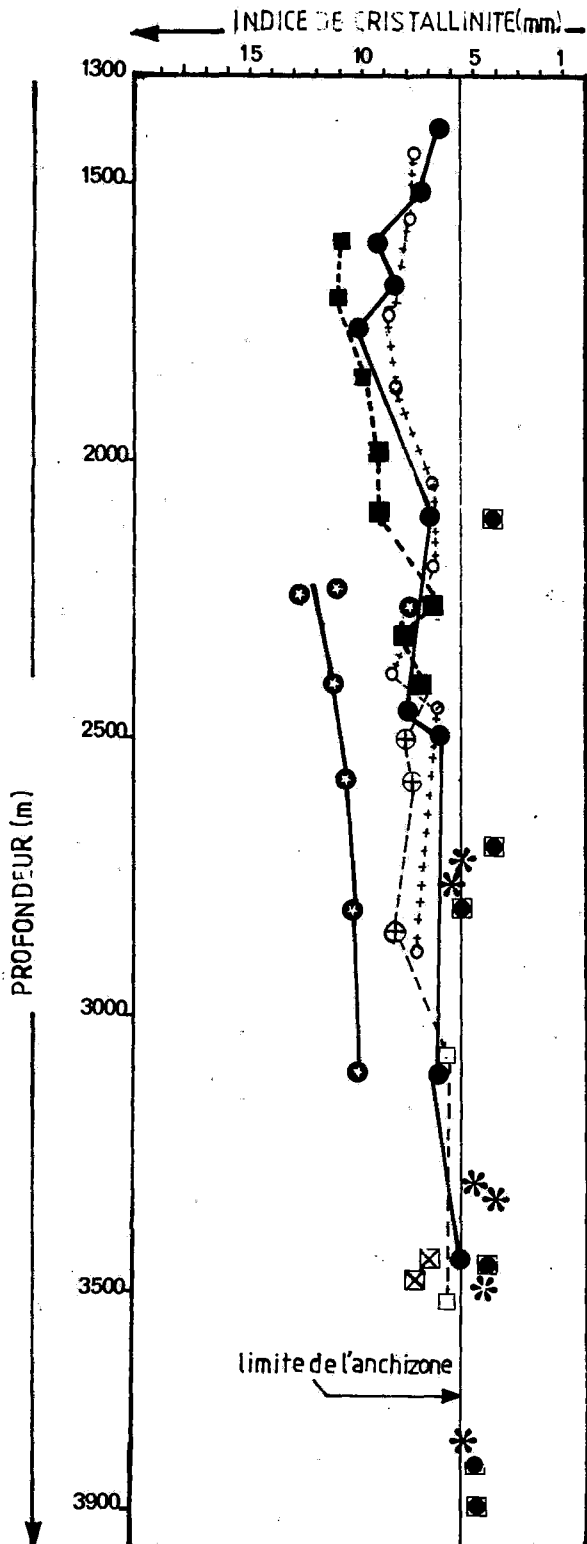


Fig. 16 - Comparaison de l'évolution des indices de cristallinité de l'illite du Trias de la région étudiée et du Paléozoïque du Bassin d'Illizi
Comparison of the evolution indexes of the illite crystallinity of triassic studied area and the Illizi Paleozoic basin

bassins, présentant des anomalies géothermiques, montre que celles-ci paraissent être localisées dans des zones structurales particulières, subsidentes en distension. Ces fortes activités géothermiques sont en relation avec des phénomènes profonds, liées aux périodes d'intense activité tectonique dans le bassin, et sont normalement absentes dans les dorsales stables et les horsts inactifs.

L'anomalie thermique dans la région de Gassi-Touil peut s'expliquer par le fait que cette région a été une zone d'amortissement du coulisage, favorisant la mise en place d'un flux thermique se manifestant parfois par la mise en place de dykes dans les séries paléozoïques, et ceci pendant la phase tectonique active du Crétacé inférieur. Les flux thermiques engendrés se sont concentrés uniquement dans cette région, mais leur répartition est très anarchique comme le montrent les différents diagrammes.

BIBLIOGRAPHIE

- Beuf, S., Biju-Duval, B., Stevau, J. et Kulbicki., 1966.** Ampleur des glaciations «Ordoviciennes» au Sahara. Leurs influences et leurs conséquences sur la sédimentation. *Rev. IFP*, 21,3, PP.363.38.
- Boudjemâa, A., 1987.** Evolution structurale du bassin pétrolier «triasique» du Sahara nord oriental (Algérie). *Thèse présentée à l'Université de Paris Sud, Centre d'Orsay*, pp. 290.
- Busson, G., 1971.** Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. *Thèse de Doctorat es-sciences, Université Paris VI*.
- Dunoyer de Segonzac, 1966.** Etude des minéraux argileux dans quelques forages du Tinrhert (Sahara oriental, Algérie). *Rapport ERAP*. Faculté des sciences de Strasbourg, 1966.
- Dunoyer de Segonzac, 1969.** Les minéraux argileux dans la diagenèse/passage au métamorphisme. *Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 29, 320p. Strasbourg.
- Esquevin, J., 1969.** Influence de la composition chimique des illites sur leur cristallinité. *Bull. Centre Rech. Pau-SNPA*, 3, pp. 147-154.
- Guiraud, R. et Maurin, J.C., 1990.** Le rifting en Afrique au Crétacé inférieur. Relations avec l'ouverture de l'Atlantique Sud. *15^e Colloque de Géologie Africaine*. Sept. 1990, Nancy (France).
- Helling, D. and Teichmuller, M., 1974.** Die Grenze Montmorillonit/Mixed Layer-Mineral und ihre Beziehung zur Inkohlung Zurder Grauen Schichtenfolge des Oligozans in Oberrheingraben-Fortsch. *Géol. Rheil. Westphal*, 24, pp. 113.128.
- Klitzsch, E., 1978.** Die strukturgeschichte der zentralsahara Neue Erkenntnisse zum Bau und zur Palaogeographie eines Tafellandes. *Geol. Rundsch*, 59, 2,p.
- Kubler, 1966.** La cristallinité de l'illite et les zones tout à fait supérieures du métamorphisme. In *Colloque sur les Etages tectoniques. A la Baconnière, Neuchated*, pp. 105-122.
- Pollastro, R.M. and Balkar, C.E., 1984.** Comparative mesures of paleotemperature. An example from clay-mineral, Vitrinite reflectance, and fluid inclusion studies, Pinedale anticline, not their green river basin, Wyoming (ads), *S.E.P.M. Midyear Meeting, San Jose. California*, p. 65-66.
- Robert, R., 1976.** Approche de la géothermie des séries sédimentaires par l'étude de la diagenèse organique. Relations avec la tectonique profonde de l'écorce. *Bull. Centre Rech. Pau, SNPA*, 101, pp. 271-285.
- Robert, P., 1983a.** L'histoire géothermique des bassins sédimentaires par la diagenèse organique. *Thèse de Doctorat es Sciences Univ. de Bordeaux*.
- Robert, P., 1983b.** La durée des phénomènes géothermiques, son incidence sur les transformations organiques et sur la genèse des hydrocarbures. *A.F.T.P.* pp. 99-115.
- Sonatrach - Beicip, 1975.** Etude structurale et cartographique : Bassin d'Illizi. Môle d'Amguid El-Biod Beicip, Etudes pour *Sonatrach*, non publ.
- Tissot, B., Debysser, Y., Deroo, G. and Oudin, J.L., 1971.** Origin and evolution of hydrocarbon in early Toarcian Shales, Paris basin, France. *Bull. A.A.P.G.*, vol. 58, n° 3, pp. 2177-2193.
- Tissot, B. and Welte, D.H., 1978.** Petroleum Formation and Occurrence. Springer Verlag, Berlin - Heidelberg - New Yourk, 538 p.
- Wolf, M., 1975.** Über die Beziehungen zwischen Illit - Kristallinität und inkohlung. *N. Jb. Geol. Falaont. Mh.* pp. 437-447.