

## Géométrie des Trous de Forages - Interprétation de l'Ovalisation

Contribution de SONATRACH Division Exploration

## Wellbore Geometry - Interpreting Ovalisation

Contribution from SONATRACH Exploration Division

M. S. Beghoul

### الشكل الهندسي لتجويف البئر - تفسير المقطع البيضاوي الشكل

من خلال دراسة هامة لمسار 40,000 متر من سجلات قطر البئر المسجلة بواسطة أداة "BGT" (أداة قياس الشكل الهندسي لتجويف الابار) أو HDT (أداة قياس ديممتر واضحة التفاصيل) في الآبار العمودية بحوض تميمون مكنت التفريق بين الشكل البيضاوي التكتوني من ذلك المستحث بفعل أحوال البئر. ولقد تم اعداد الخرائط للإجهاد الأفقي خلال الحوض وتم مناقشة آليات التبييض (مقطع بشكل قطع ناقص) ولتحقيق هذا النوع من التحليل في الآبار المنحرفة سوف تستلزم الضرورة اعداد صور بالأمواج فوق صوتية لتجويف البئر.

### INTRODUCTION

Le cavage des puits pose dans certains bassins du Sahara algérien de sérieux problèmes de forage et d'évaluation des formations. L'examen des diamètres 4 patins de type HDT\* (High-Resolution Dipmeter Tool), SHDT (Stratigraphic High-Resolution Dipmeter Tool), BGT (Borehole Geometry Tool) ou, mieux, les images des outils ultrasoniques tels que l'UBI\* (Ultrasonic Borehole Imager), montrent que très souvent la section du trou prend une forme ovalisée.

Une section est supposée ovalisée quand l'écart entre les diamètres est supérieur à 1 pouce (2.54 cm).

Ces ovalisations posent différentes questions:

- quelles en sont les causes ?
- comment apparaissent-elles ?
- quelles informations géologiques peut-on en tirer?

Les très nombreuses observations que nous avons effectuées dans les bassins algériens apportent des réponses, au moins partielles, à ces questions.

### PRINCIPE ET HISTORIQUE

#### Ovalisation et contraintes

L'exécution d'un forage crée un effet de voûte concentrant les contraintes le long des parois. Cette concentration peut attein-

### INTRODUCTION

Caving in wells causes serious problems for drilling and formation evaluation in some of the basins of the Algerian Sahara. The examination of data from four pad caliper devices HDT\* (High-Resolution Dipmeter Tool), SHDT (Stratigraphic High Resolution Dipmeter Tool) and BGT (Borehole Geometry Tool) or better ultrasonic images from tools such as the UBI\* (Ultrasonic Borehole Imager), show that holes in this region frequently take on an ovalised form.

A borehole cross-section is ovalised if the difference between the calipers is greater than one inch. These ovalisations pose several questions:

- what are the causes of ovalisation?
- how did they develop?
- what geological information can be obtained from them?

The numerous observations made in Algerian basins provide partial answers to all of these questions.

### PRINCIPLE AND HISTORY OF OVALISATION

#### Ovalisation and stress

The drilling process creates an arch effect along the walls, thereby concentrating the local stresses. This stress concentra-

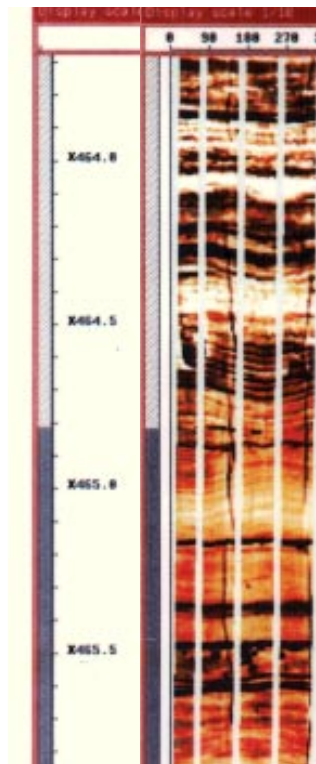


Fig.1

Fractures induites par le forage et reconnaissables à leur disposition symétrique par rapport au puits, (images du Formation MicroScanner\*)

Drilling induced fractures are arranged symmetrically around the well, as shown in this Formation MicroScanner\* image

dre certains seuils rhéologiques de la roche conduisant à des endommagements caractéristiques dont l'orientation est liée à celle des contraintes actuelles.

Si la contrainte passe sous le seuil de rupture en traction, des fentes d'extension parallèles à la contrainte horizontale majeure apparaissent. Ce type de fentes est particulièrement bien visible sur les images électriques des outils de type Formation MicroScanner\* (FMS) et FMI\* (Fullbore Formation MicroImager) (Fig. 1). Si, à l'inverse, l'effet de voûte accroît les contraintes au point de dépasser le seuil de rupture en cisaillement, un écaillage se produit de part et d'autre du puits dans la direction de la contrainte mineure horizontale; La section du puits prend une forme elliptique: c'est l'ovalisation par expulsion d'écaillés (Fig. 2) ou "break-out".

L'ovalisation des trous de forage a été mise en évidence par J.W.Cox (1970) d'après les indications des diamètres à 4 patins dans l'Alberta (ouest Canada). Ce n'est que plus tard que le phénomène a été interprété géologiquement à partir d'essais de laboratoire sur des grès, mais aussi dans les puits à l'aide de caméra et diamètre à laser. Récemment, des études expérimentales semblent indiquer que même lorsque les conditions de rupture ne sont pas atteintes, le trou pourrait s'ovaliser de manière plastique. Ce type de déformation en est encore au stade de reconnaissance dans les forages.

tion can cross rheological thresholds of the rock leading to characteristic damage, with an orientation which is linked to that of the stresses.

If the stress drops below the threshold of tensile failure, tension cracks appear parallel to the major horizontal stress. This type of fracture is particularly visible on the electric images of the Formation MicroScanner\* tool (FMS) or FMI\* (Fullbore Formation MicroImager) tool (Fig.1). If, alternatively, the arch effect increases the stresses above the threshold for shear failure, spalling occurs on both sides in the direction of minimum horizontal stress. The cross section of the well takes an elliptical form. This ovalisation (Fig 2) is caused by the expulsion of flakes (break-out).

JW Cox (1970) used four pad calipers to study wellbore ovalisation in Alberta (western Canada). The phenomenon was later interpreted geologically from tests on sandstones and also in the field using cameras and laser calipers. Recent experimental studies indicate that even if failure conditions have not been reached, a well may become ovalised as a result of plastic deformation. This deformation process is still being studied.

**Autres causes de l'ovalisation d'un trou de forage**

Malheureusement il existe des causes non tectoniques de l'ovalisation. Ces explications tiennent, soit aux conditions du trou (puits dévié, type de boue, gâteau de boue, excentrage de la sonde, patin flottant...); soit aux conditions géologiques (obliquité des couches par rapport au puits provoquant la déviation de celui-ci, orientation d'un réseau de fractures préexistant.). Les cas les plus courants sont:

- usure des parois consécutive au flambage ou aux vacillations du train de tige (Fig. 3);

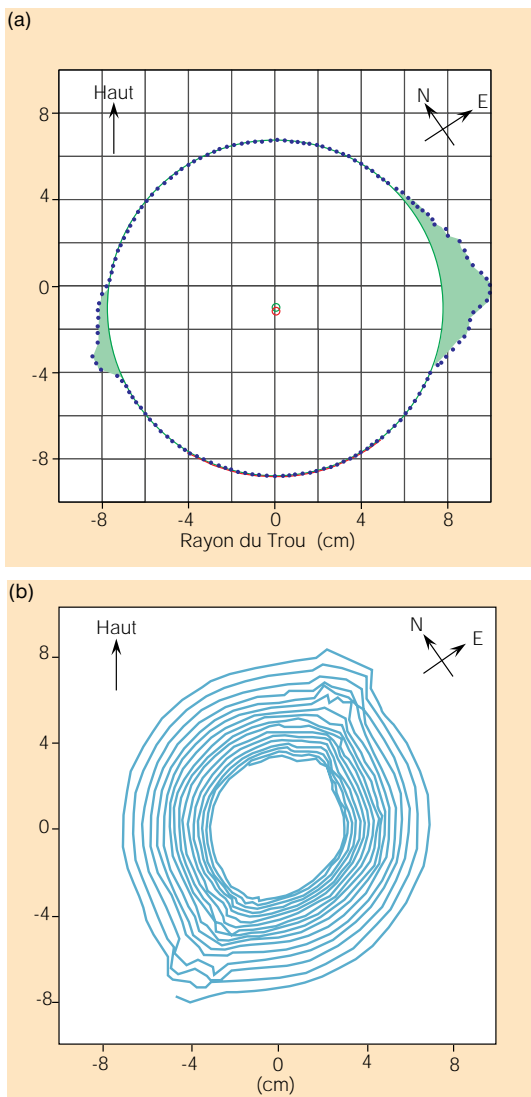


Fig.2

Ecaillage de la paroi par rupture en cisaillement symétriquement par rapport au puits (break-out). (a) Coupe d'un puits (mesures UBI). (b) Perspective descendante (mesures UBI).

The cross section of the well is symmetrical; this ovalisation occurs by the expulsion of flakes (break-out). (a) Cross section of the well (UBI data). (b) Downwards perspective (UBI data).

**Other causes of ovalisation**

Unfortunately, in addition to the stress-related effects described above, a number of non-tectonic factors can cause ovalisation. These include well conditions (deviated well, type of mud, eccentricity of the drill string, floating pad); or geological conditions (angle of beds with respect to the well causing deviation, wear of the borehole wall and orientation of an existing fracture network). The most common causes of ovalisation are:

- wear of the walls by buckling and jitter in the drill string (Fig.3);

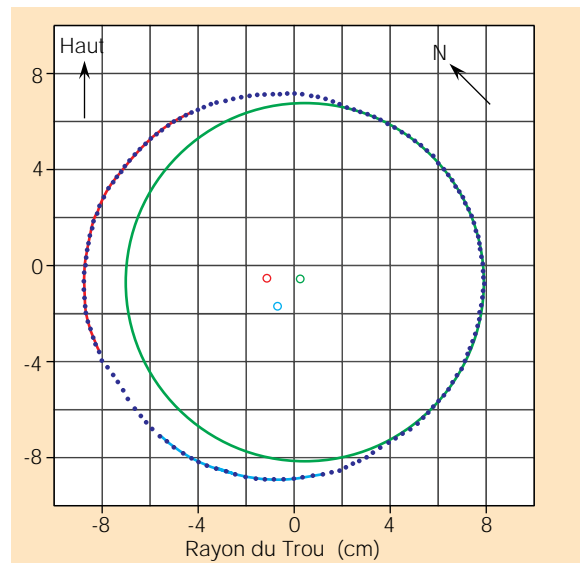


Fig.3

Section de puits "usinée" par les oscillations des tiges (mesures UBI).

Cross section of the well showing wear of the walls by oscillations of the drill string (UBI data).

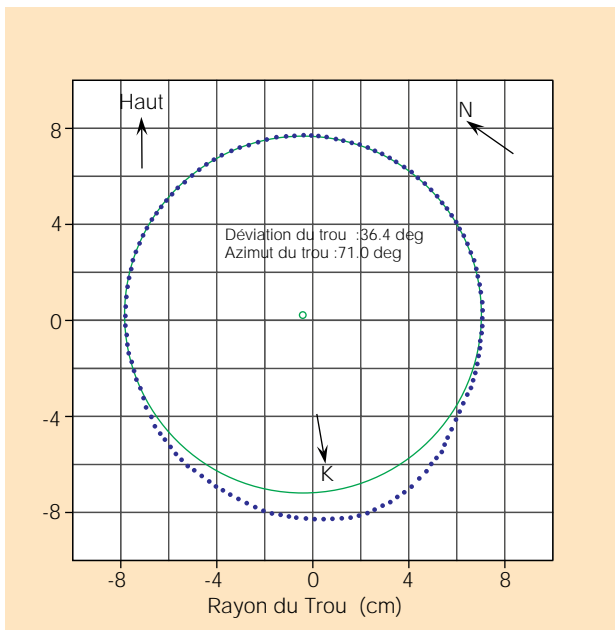


Fig.4

Effet de "trou de serrure" dans un puits dévié (mesures UBI).

Keyhole effect in deviated wells (UBI data).

- trou de serrure à la déviation importante du sondage (Fig. 4);
- action érosive et physico-chimique de la boue (cavage circulaire) (Fig. 5);
- fracturation préexistante (Fig. 6).

Dans chacun de ces cas apparaît une élongation de la section du trou qui n'est pas tectoniquement significative. Il est donc fondamental d'examiner l'ovalisation d'un point de vue géologique afin de faire ressortir celle réellement en rapport avec l'état de contrainte actuel.

### APPLICATION AU BASSIN DE TIMIMOUN

Notre étude est essentiellement fondée sur les enregistrements acquis avec les outils HDT, BGT, et SHDT (Fig. 7). Ces diagrammes permettent de connaître en continu:

- les grand et petit axes du trou selon les indications des diamètres (D1-3 et D2-4);
- l'azimut du patin de référence (P1AZ);
- la déviation du sondage par rapport à la verticale (DEVI);
- l'azimut de déviation du sondage (HAZI);
- la position de l'électrode de référence P1 par rapport à la ligne de plus grande pente ("Relative Bearing" - RB), ou par rapport au Nord.

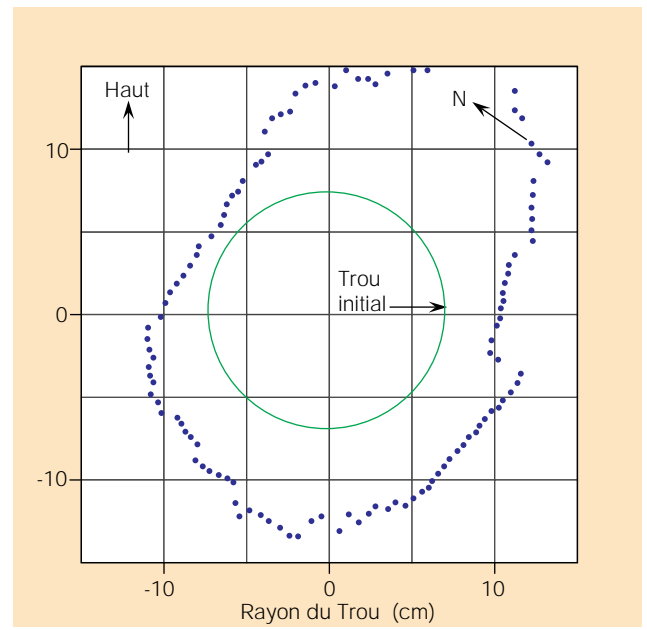


Fig.5

"Cavage" du puits par érosion physico-chimique de la boue.

Caving caused by physico-chemical reaction of the mud.

- high deviation of the well inducing keyhole (Fig. 4);
- erosive and physico-chemical reaction of the mud, circular caving (Fig.5);
- existing fractures (Fig. 6).

In each case, the elongation which develops borehole cross-section is not tectonically significant. As result of this, we must examine ovalisation from a geological point of view, to identify which effects were actually caused by current tectonic stresses.

### APPLICATION IN THE TIMIMOUN BASIN

This study is mainly based on logs acquired with the HDT, BGT, and the SHDT (Fig. 7). These tools continuously measure:

- the large and small axes of the well from the calipers (D1-3 and D2-4);
- the azimuth of the reference pad (P1AZ);
- the deviation of the well with respect to the vertical (DEVI);
- the azimuth of the well deviation (HAZI);
- the position of the reference electrode with respect to the greatest dip or to north (Relative Bearing - RB).

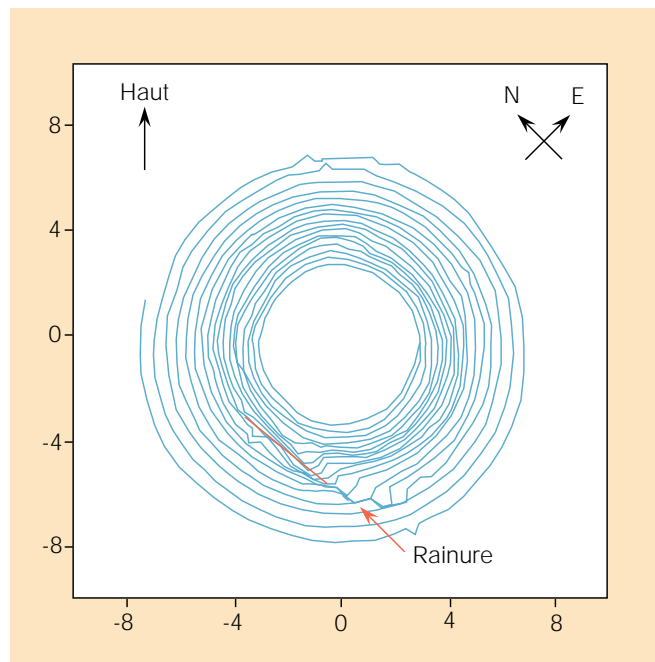


Fig.6

Rainure liée à une fracture préexistante (mesures UBI dans un puits en perspective descendante).

Groove linked to existing fractures (UBI data in downwards perspective).

#### Critères de reconnaissance des ovalisations d'origine tectonique en l'absence d'image

L'observation d'environ 40 000 m de mesures HDT ou BGT au travers des lithologies très différentes de l'ensemble du paléozoïque, nous a conduit à proposer des critères permettant de distinguer les ovalisations tectoniquement significatives des autres.

##### Elimination des ovalisations occasionnelles du trou

L'excentrage de l'outil dans le trou se traduit parfois par un patin flottant. Le diamètre mesuré apparaît alors faible et inférieur à celui du trépan. Il se révèle par une courbe de résistivité sans relief (résistivité de la boue). Il est donc aisé de reconnaître ces "fausses" ovalisations et de ne pas en tenir compte. Ce phénomène, courant dans les sondages déviés, n'a été rencontré que rarement dans le bassin où la plupart des puits sont verticaux. Les ovalisations causées par les conditions du trou (Figs. 3 et 5), affectent des tranches verticales très limitées, montrent des élongations d'azimut variable et une faible ellipticité. Il y a deux causes possibles:

#### Criteria for recognizing tectonic ovalisation without borehole images

An examination of approximately 40,000 m of HDT and BGT measurements over very different lithologies through the entire Palaeozoic provides an extensive 'database'. This has allowed us to develop criteria for differentiation of significant tectonic ovalisations from other types.

##### Elimination of non-tectonic ovalisations

Eccentering of the logging tool in the well can cause a 'floating' pad, which gives a measured diameter less than the bit size. This phenomenon is easily recognized by a flat resistivity curve, which effectively corresponds to the mud resistivity. These false ovalisations can be left out of the calculations. This phenomenon is common in deviated wells. Fortunately, most of the wells in this basin are vertical, so tool eccentricity is rare. Ovalisation caused by well conditions (Figs. 3 and 5), affects limited vertical sections, showing variable azimuth and a small ellipticity. There are two possible causes:

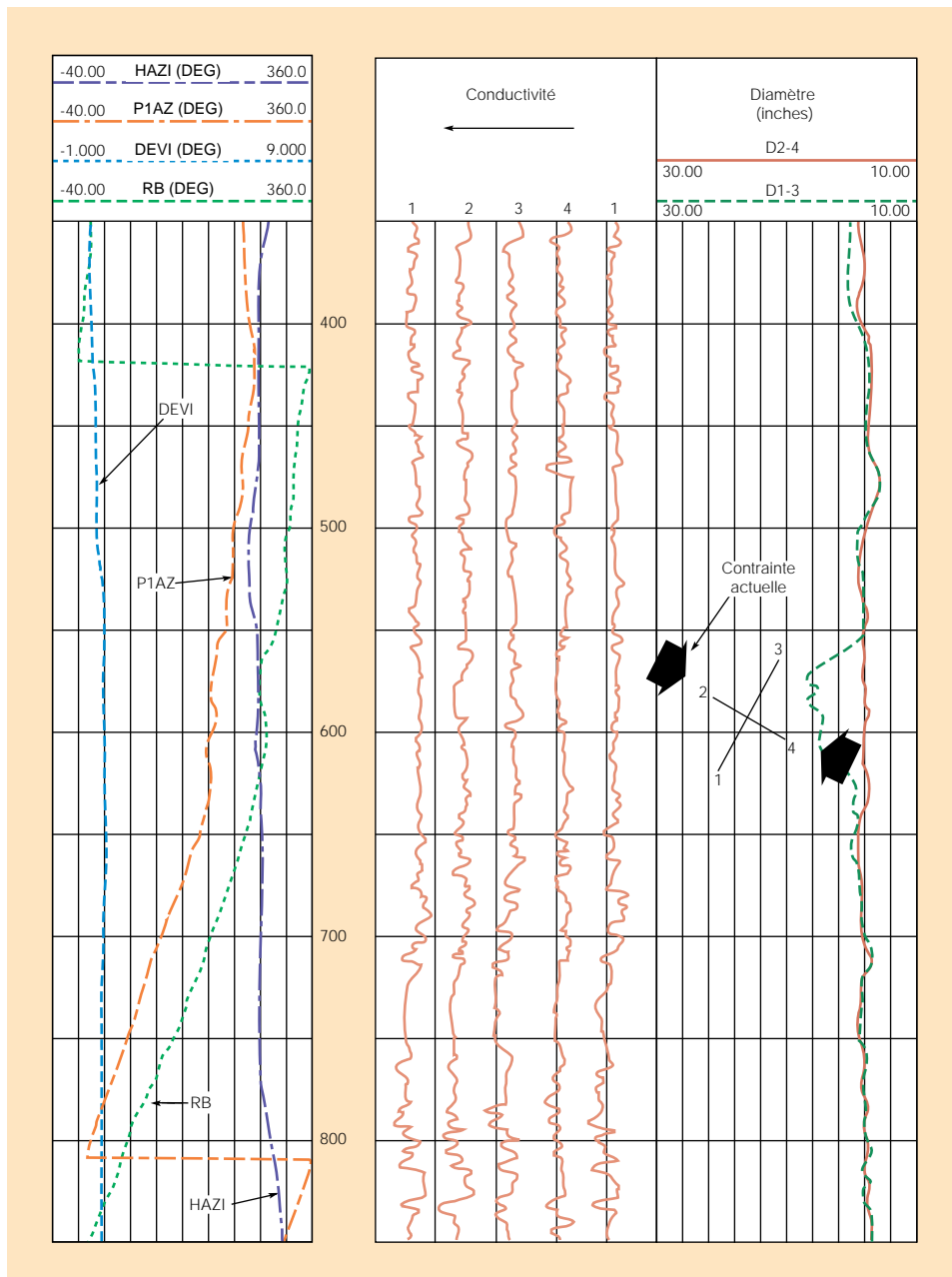


Fig.7

Enregistrements pendagemétriques permettant l'analyse de la géométrie du forage.

Dipmeter measurements allow the analysis of the well geometry.

• La boue

Dans tous les forages la boue est bentonitique. Les paramètres moyens sont:

- densité = 1.13 - 1.40 g/cm<sup>3</sup>;
- viscosité = 50 - 70 secondes;

• Mud

In all of the study wells the mud is bentonite. The average parameters are as follows:

- density 1.13 - 1.40 g/cc
- viscosity 50 - 70 seconds
- water loss 2- 3 ml
- pH 9 - 10

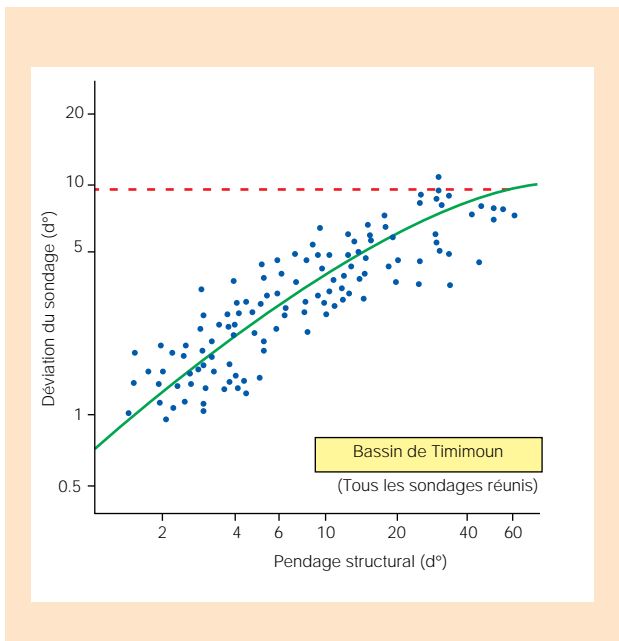


Fig.8

Relation (lissée) montrant l'influence du pendage structural sur la déviation des sondages

The relationship between the structural dip and the well deviation

- eau libre = 2 - 3 ml;
- pH = 9 - 10.

Les valeurs du pH sont celles d'une boue très peu contaminée. L'action érosive de la boue ne devient importante que lorsque le pH est supérieur à 10.

•Le gâteau de boue

A cause du faible filtrat (eau libre), le dépôt de boue sur les parois du trou est insignifiant. Le "mud-cake" est extrêmement rare, voire absent dans les forages du bassin de Timimoun. Dans les formations argileuses, l'absorption de l'eau libre reste insuffisante pour engendrer la désagrégation des parois. Il y a donc peu de réduction du diamètre du trou et peu de risques d'éboulement (cavages) liés au gâteau de boue.

•Pendage structural, déviation et "trou de serrure"

Le pendage structural induit une déviation du sondage, l'outil ayant tendance à s'orienter normalement aux plans de stratification. La figure 8 montre la relation entre déviation et pendage structural dans les puits étudiés. La déviation atteint un maximum de 10° à 15° pour un pendage structural de 40°.

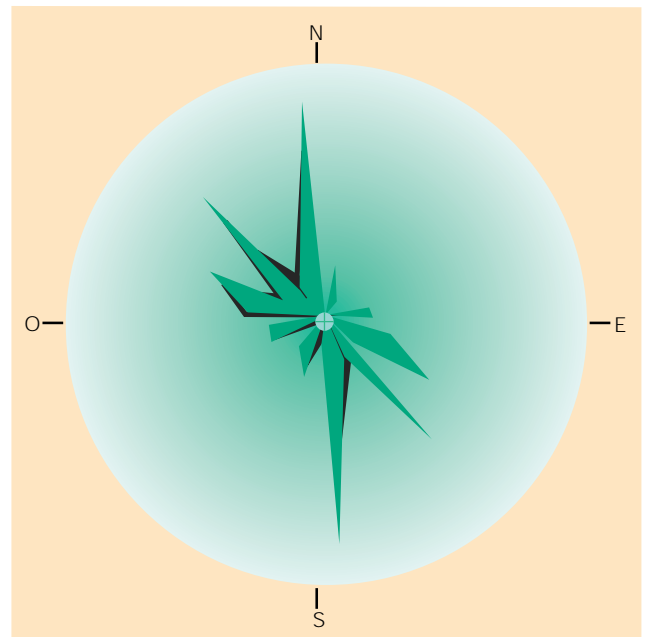


Fig.9

Rosace d'ovalisation d'un forage dans une zone fracturée

Fracture zone ovalisation diagram

The values of pH are those of a relatively uncontaminated mud. The erosive action of mud does not become important until the pH exceeds 10.

•Mud cake

Because of the low filtrate volume (water loss) the mud cake deposit on the borehole walls is insignificant. Mud cake is virtually absent from wells in the Timimoun Basin. In shaly formations, water absorption is insufficient to start breakdown of the walls. Consequently, there are few reductions in wellbore diameter and little risk of caving linked to mud cake.

•Structural dip, deviations and keyholes

Structural dip can induce well deviation. The drill bit tends to change alignment until it is oriented normal to the dipping strata. Figure 8 shows the relationship between structural dip and deviation in the study wells. Deviation reaches a maximum of 10° - 15° for a structural dip of 40°. The azimuth of the deviation is in the opposite direction to the structure. Ovalisations linked to these are in the same direction, but only occur in deviations greater than 3°.

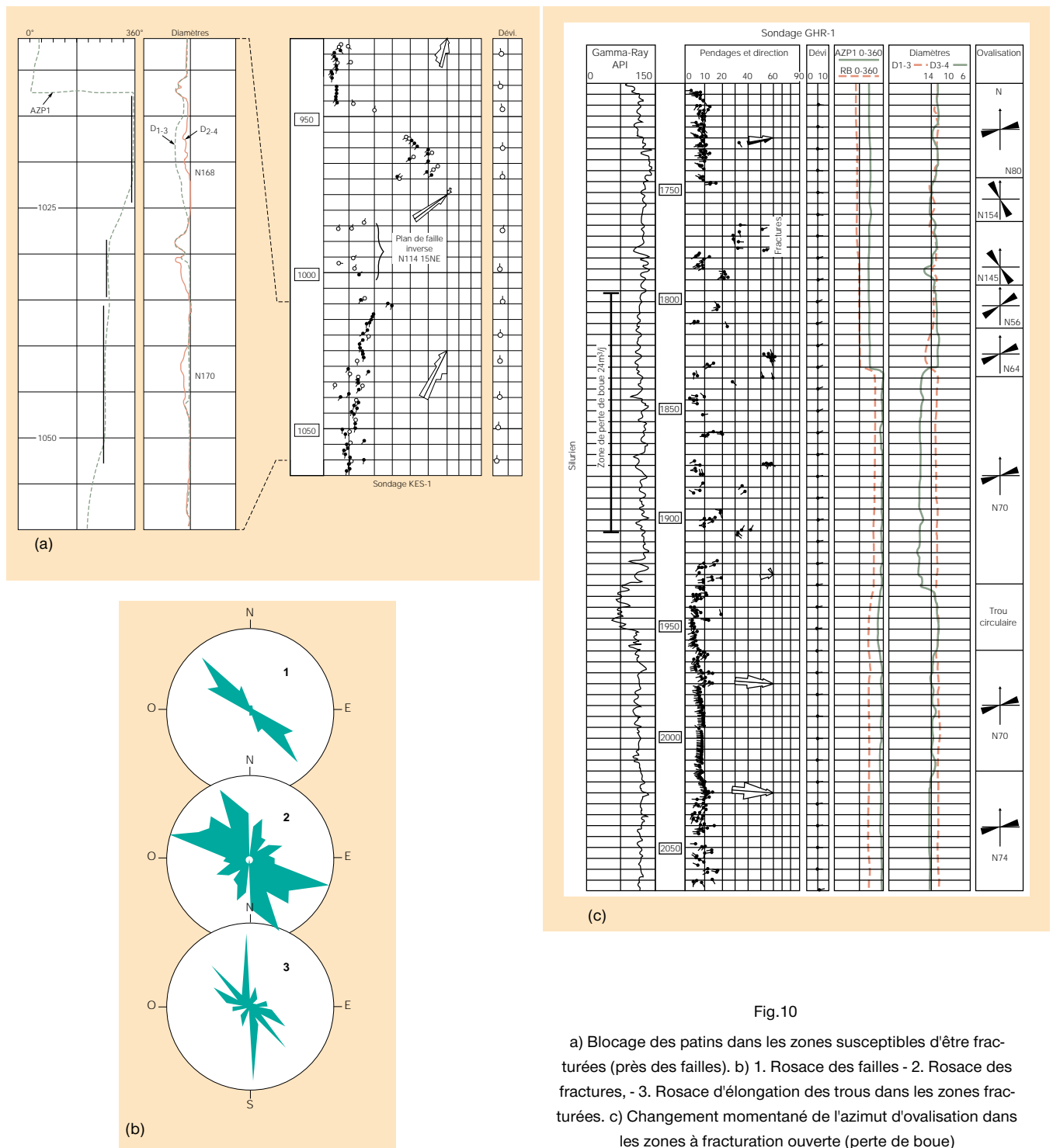


Fig.10

a) Blocage des patins dans les zones susceptibles d'être fracturées (près des failles). b) 1. Rosace des failles - 2. Rosace des fractures, - 3. Rosace d'élongation des trous dans les zones fracturées. c) Changement momentané de l'azimut d'ovalisation dans les zones à fracturation ouverte (perte de boue)

a) The pads are stuck in fracture zones (near faults). b) 1 - Rose diagram for faults. 2 - Rose diagram for fractures. 3 - Rose diagram of borehole elongation in fractured zones. c) Momentary change of the azimuth of ovalisation in zones with open fractures (mud loss)



L'azimut de la déviation est de sens opposé à celui du pendage structural. Les ovalisations liées à ces déviations sont de même direction que celles-ci, mais n'existent que pour des déviations supérieures à 3°.

Les "trous de serrures" se reconnaissent par leur orientation relativement à la déviation du puits (Fig. 4)

**Réseau de fracturation préexistant**

Les élongations liées aux rainures de fracturation (Fig. 6) peuvent être détectées par la connaissance régionale des réseaux de fractures et de la lithologie. L'arrêt brusque et momentané de la rotation de la sonde sur certains intervalles ovalisés suggère un blocage des patins dans les rainures de fractures. Ceci se produit très souvent dans des zones accidentées, pour des intervalles de faible épaisseur (quelques mètres à 10 m). De plus l'orientation

Keyholes are recognized by their orientation relative to the well deviation (Fig. 4).

**Pre-existing fractures**

Ovalisations liées à fracture tracks (Fig.6) can be detected if we understand regional fracture networks and the lithology. The sharp and momentary halt of sonde rotation in some ovalised intervals, suggests the pads have stuck in fracture tracks. This happens frequently in damaged zones, for small (less than 10 m) intervals. The orientation, N120° -175°, of these elongations (Fig. 9), corresponds approximately to the general direction of fractures from core data (Fig. 10). This agrees with the fault directions seen on the dipmeter.

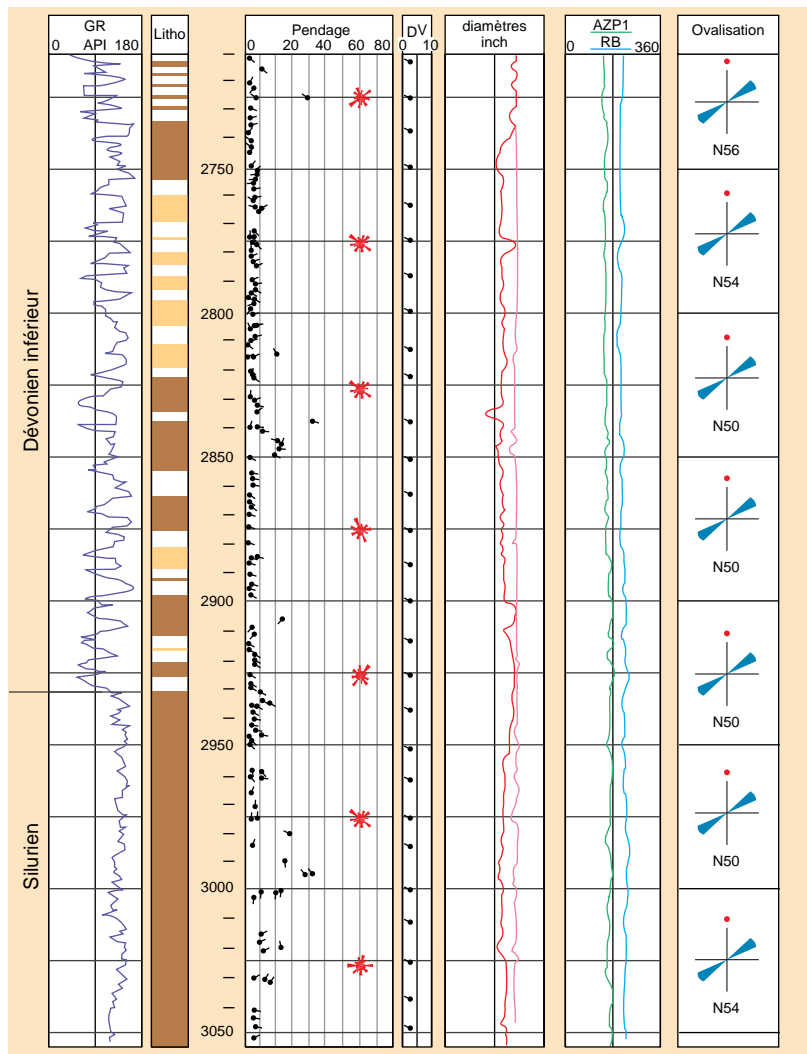


Fig.11

Ovalisation uniforme du trou sur plus de 350m, forage TEG-2bis.

Uniform hole ovalisation over more than 350m, well TEG 2b.

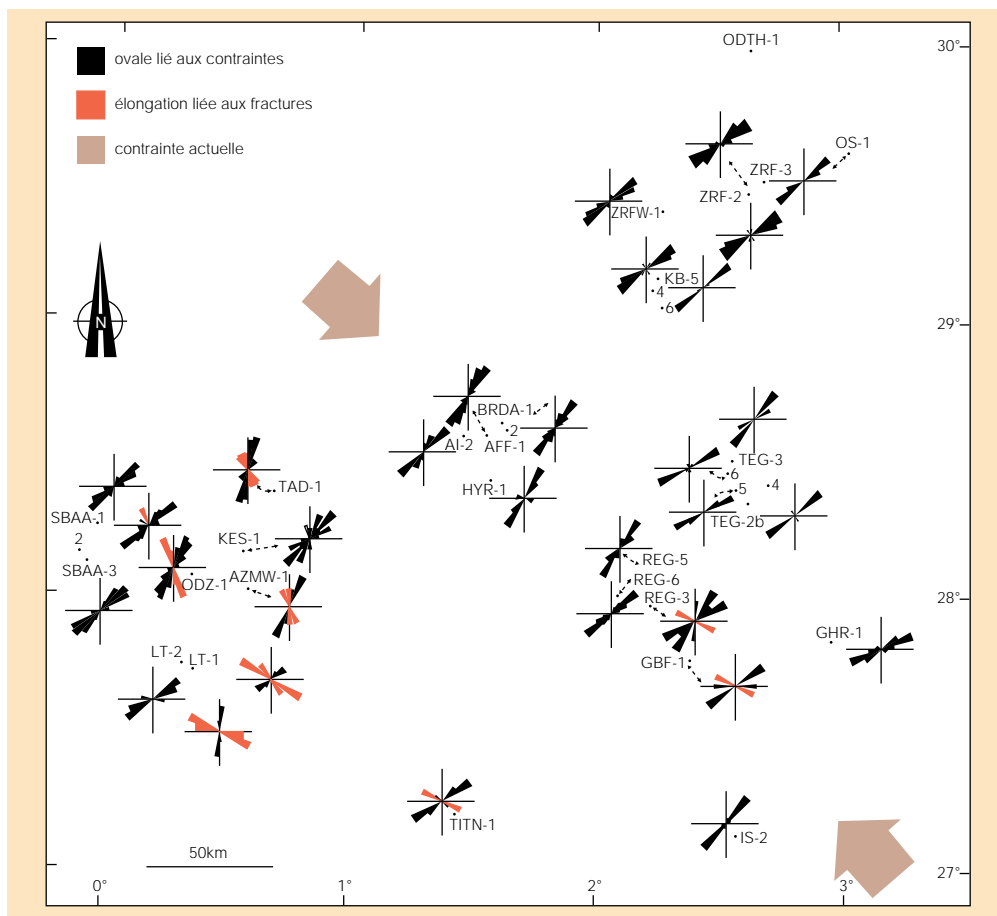


Fig.12

Rosaces d'ovalisation d'origine tectonique des principaux sondages du bassin de Timimoun.

Diagrams of tectonic ovalisation in wells in the Timimoun basin.

N120-N175 de ces élongations (Fig. 9) cor-respond approximativement à la direction générale des fractures relevées sur carottes et orientées par la pendagemétrie (Fig. 10). Cette direction est aussi celle des failles sur la pendagemétrie.

**Ovalisations d'origine tectonique "break-outs"**

Caractères significatifs:

Aucun des critères, pris individuellement, n'est spécifique d'une origine tectonique. La reconnaissance de l'ovalisation tectonique se fera dans des zones présentant certains critères:

- zones sensibles au cavage (sous le sabot en particulier);
- lithologie homogène;
- importante hauteur d'ovalisation (pas de rotation de la sonde);
- tectonique calme du terrain foré;
- faible déviation du sondage;
- grande ellipticité du trou (rapport petit axe Pa/grand axe Ga);
- direction préférentielle du grand axe de l'ellipse.

**Tectonic ovalisation: break-outs**

Important characteristics;

No single observation from the following list proves that ovalisation has occurred. The recognition of tectonic ovalisation is based on the combination of a number of these criteria:

- zones susceptible to caving (below the shoe in particular);
- homogeneous lithology;
- large interval of ovalisation (no sonde rotation);
- a tectonically calm area;
- low well deviation;
- large ellipticity (ratio of the small axis to the large axis);
- preferential direction for the large axis.

Tectonic ovalisation is primarily sought in lithologically homogeneous zones with tensile behaviour (notably over-pressured shales). Many ovalisations fit these criteria (about 78% of all

Les ovalisations dans les zones répondant à ces critères sont très nombreuses (environ 78% des mesures effectuées) et sont orientées N45-N55 (Fig. 12). Ceci correspondrait à une contrainte horizontale actuelle majeure de direction N135-N145.

Remarque: la direction de ces ovalisations coïncide sensiblement avec celle de certaines déviations des sondages. Étant donné que les plis forés sont orientés NW-SE, les déviations ne peuvent se faire que vers le SW ou le NE. Cette coïncidence des orientations est fortuite; en effet cette ovalisation N45-N55 persiste même dans les sondages non déviés ou quand l'azimut de la déviation est autre.

### **Influence de la lithologie**

Cette direction des ovalisations domine aussi bien dans les grès que dans les argiles (Fig. 13). Néanmoins, on constate aisément sur les histogrammes que dans les argiles:

- l'ovalisation est plus fréquente;
- l'ellipticité (Pa/Ga) est plus prononcée.

C'est dans les argiles que les ovalisations sont les plus fortes (Fig. 13c). Le grand axe (Ga) peut atteindre 2 à 3,5 fois le diamètre initial du forage contre un maximum de 1,5 dans les grès. Ces valeurs, bien que peu fréquentes, n'en sont pas moins intéressantes, car elles affectent d'importantes tranches verticales très homogènes d'un point de vue lithologique.

Dans les grès, le petit axe du trou (Pa) dépasse toujours le diamètre de forage (Df), alors qu'il peut lui être inférieur dans les argiles sous-compactées (Fig. 14).

### **Ampleur de l'ovalisation et de l'intervalle affecté**

L'ampleur de l'ovalisation est appréciée par les taux d'élongation et de rétrécissement de la section du trou par rapport au diamètre initial du forage (Df).

Les ovalisations significatives du forage se développent de manière uniforme et continue sur des intervalles ayant jusqu'à plusieurs centaines de mètres de hauteur (Fig. 15), voire près de 1000 m dans certains sondages (TEG-6). C'est dans les

the logs) and are oriented N45°- 55° (Fig 12). This corresponds to a current major horizontal stress direction of N135°-145°.

Note: the direction of ovalisations coincides with some well deviations. Given that the folds which are being drilled are oriented NW-SE, the deviations can only go SW or NE. This agreement between deviation and ovalisation is coincidental. The ovalisation N45° - 55° persists even in non-deviated wells or when the deviation azimuth is a different value.

### **The influence of lithology**

The direction of ovalisation is the same in both the sandstones and the shales (Fig 13). However the histograms show that in the shales:

- ovalisation is more common;
- the ellipticity is more pronounced.

Ovalisation reaches a maximum in shales. The large axis can be 2 - 3.5 times larger than the small axis, whereas the maximum in the sands is 1.5 times larger (Fig 13c). These large values, although infrequent, are interesting as they affect long intervals which are lithologically homogeneous.

In the sands, the small axis of the well is always larger than the bit size, but in the over-pressured shales bit size can be less than the small axis (Fig 14).

### **Range of ovalisation and interval affected**

The range of ovalisation is calculated by comparing the rate of elongation and contraction of the cross-section of the well-bore to the bit size.

Significant well ovalisations develop in a uniform manner and continue over long intervals (Fig 15), which can reach almost 1000 m in some wells (TEG 6). Shales have the longest ovalised intervals. This is because they are thicker and more homogeneous than the sands.

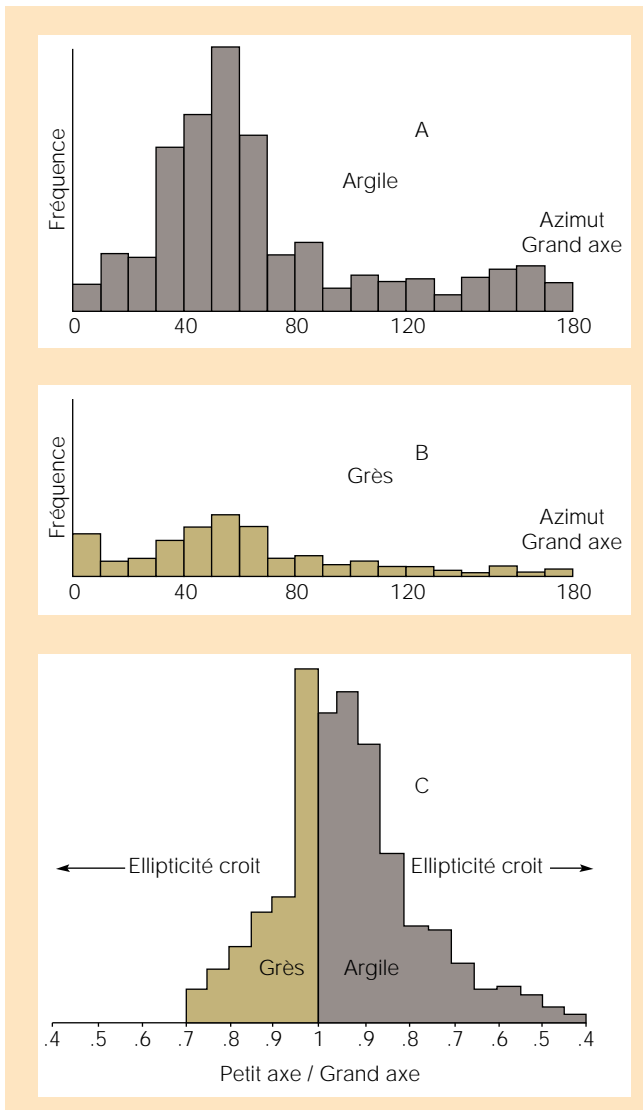


Fig.13

Azimuts d'ovalisation dans les argiles (a), dans les grès (b) et rapport d'ellipticité (c).

Ovalisation azimuths in shales (a), sands (b) and with respect to the ellipticity (c).

argiles que les hauteurs ovalisées sont les plus importantes, mais ceci semble être dû au fait que les épisodes gréseux sont moins épais et moins homogènes.

**ORIENTATION DES OVALISATIONS**

**Constance verticale dans un même puits**

On rencontre très peu de changements dans l'orientation des ovales "tectoniques" en fonction de la profondeur. De légères modifications sont toutefois enregistrées à l'approche des failles recoupant le forage: l'ovalisation prend momentanément

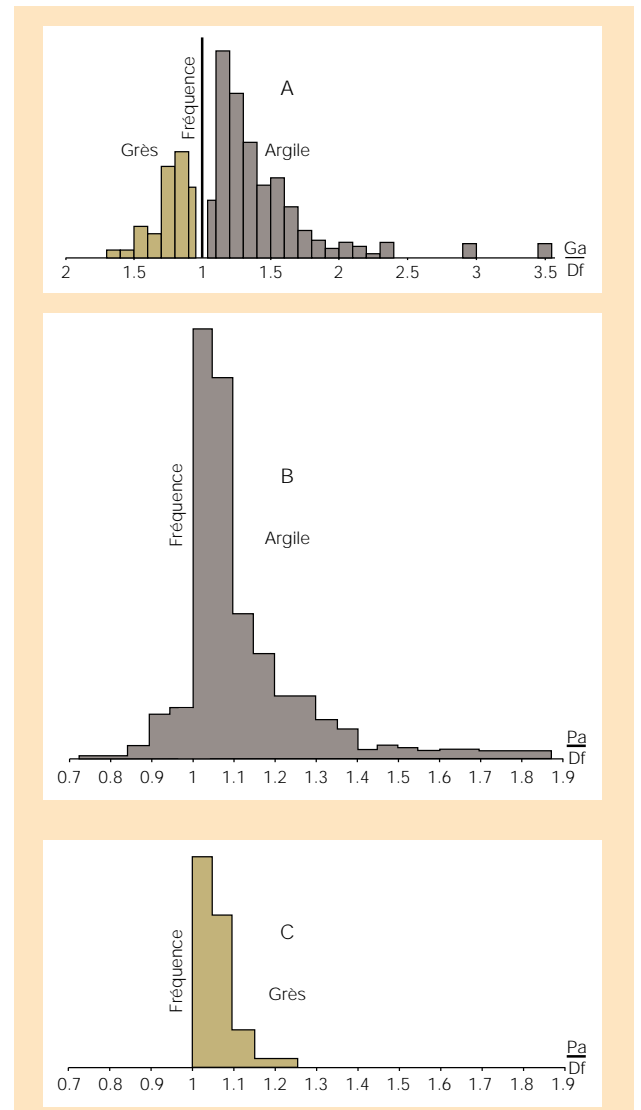


Fig.14

Dimensions de l'ovalisation. (A) - grand axe / diamètre initial. (B) et (C) - petit axe / diamètre initial (à noter le rétrécissement dans les argiles).

Ovalisation sizes (A) large axis / initial diameter. (B) and (C) - small axis / initial diameter (note the contractions in the shales).

**ORIENTATION OF THE OVALISATIONS**

**Vertical consistency in the same well**

There are very few changes in tectonic ovalisations with depth. Small differences are sometimes recorded as we approach faults which cross the wellbore. In these cases the ovalisation momentarily changes direction to match the orientation of open fractures affecting that zone (figure 10d). Tectonic ovalisation dominates in these circumstances and tends to mask ovalisation effects induced by the fractures, particularly if they are plugged.

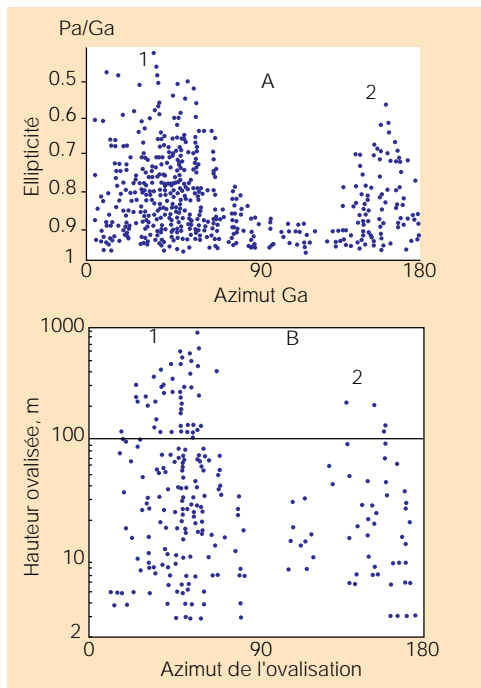


Fig.15

Rapport d'ellipticité (A) et hauteurs affectées en fonction de l'azimut du grand axe. 1 - Ovalisation tectonique. 2 - Ovalisation due aux fractures ou aux réorientations locales des contraintes.

Orientation of the large diameter of the well following the ellipticity and the affected length. 1 - Tectonic ovalisation. 2 - Ovalisation linked to fractures and/or local reorientation near major faults at an angle to the current tectonic stress.

ment une direction qui pourrait être celle des fractures ouvertes affectant cette zone (fig. 10d). L'ovalisation tectonique domine et tend à masquer celle induite par les fractures, particulièrement lorsque celles-ci sont colmatées.

### Constance dans le temps

L'enregistrement de deux HDT à 12 jours d'intervalle sur le même sondage (GHR-1) (Fig. 17), permet de constater que le petit axe du trou varie très peu dans le temps. Il passe de 13 à 14 pouces tandis que le grand axe passe de 14 à 17 pouces (le diamètre du trépan étant de 12 pouces 1/4). Cependant la direction d'ovalisation est constante.

Si l'analyse de l'ovalisation avait été faite à partir du premier enregistrement, l'ellipticité du trou aurait été sous-estimée (0.95 contre 0.80 dans le second enregistrement). Ceci laisse supposer qu'une ovalisation donnée d'un forage est un paramètre temporaire, elle ne reflète qu'une séquence du film de la déformation du trou.

### Variations cartographiques

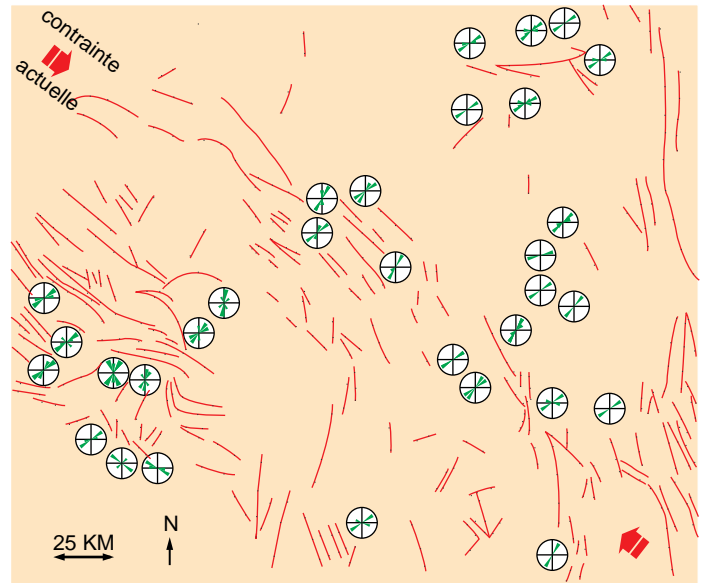


Fig.16

Confrontation des rosaces d'ovalisation des forages au réseau de failles affectant le bassin de Timimoun.

Comparison of the ovalisation diagrams with the fracture networks affecting Timimoun Basin.

### Consistency with time

The results from two HDT logs, recorded in the same well (GHR-1), but with the second recorded 12 days after the first (Fig 17), shows that the small axis varies little with time - changing from 13" to 14". The large axis, however, went from 14" to 17" over the same period (the bit size was 12.25"). However, the axis orientation remains the same.

If analysis was carried out from the first log, the ellipticity would have been underestimated at 0.95", in comparison to 0.80" for the second log. This suggests that the well ovalisation value being recorded is a temporary parameter, representing only one 'frame' in the 'film' of a well's deformation history.

### Field wide variations

On a larger scale, the orientation of ovalisation is consistent from one well to another. However it appears that the azimuth of ovalisation may be slightly influenced by large features. For example, when faults have an orientation oblique to the maximum regional stress (as seen in the west

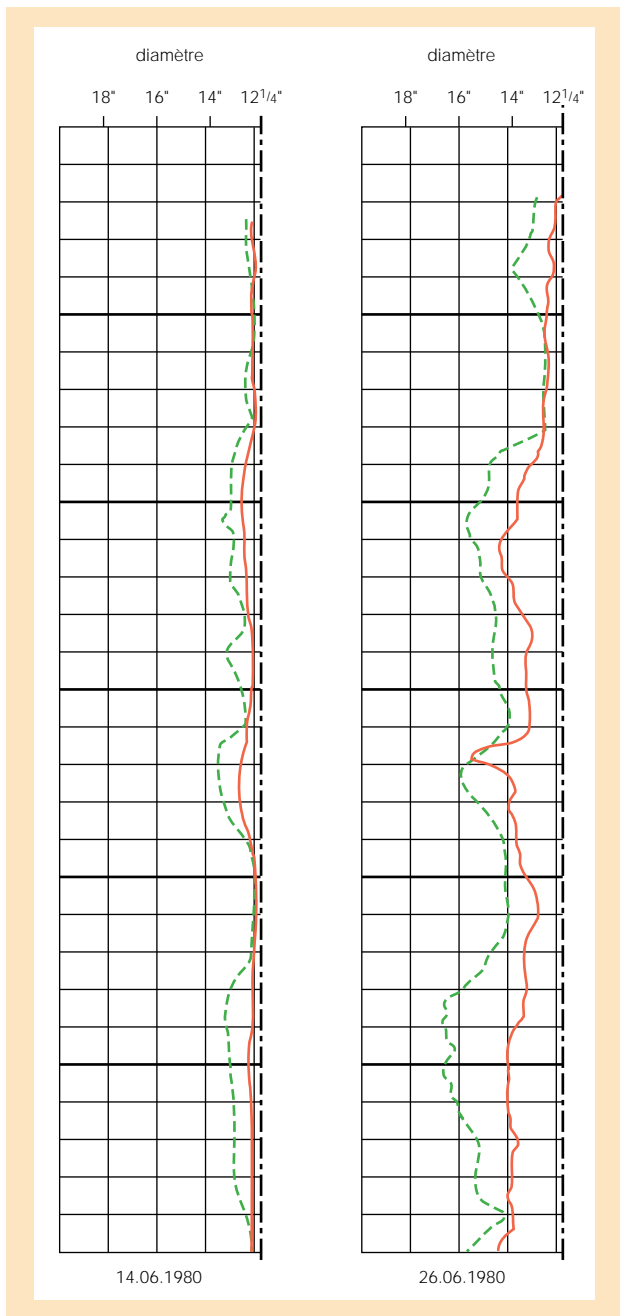


Fig.17

Evolution de l'ellipticité du trou au cours du temps. Enregistrement de deux HDT à 12 jours d'intervalle.

Evolution of the ellipticity with time. Measurements of two HDT logs separated by a 12 day interval.

of the Timimoun Basin), ovalisation tends to occur perpendicular to the feature (Fig 16). Support for this hypothesis is restricted to two wells (TDA-1 and ODZ-1) which are situated near E-W faults and ovalised N-S. It is, therefore, too early to make a definite decision on these reorientations. If the fault is parallel to the major stress direction no reorientation is observed. These cases have the same N45° - 55° ovalisations as the rest of central Timimoun.

**CONCLUSIONS**

**Tectonic implications from this study**

The N134° -145° orientation for the major horizontal stress of the Timimoun basin, determined by ovalisation, coincides with the NW-SE directions measured in Tertiary formations throughout the Mediterranean basin. Examples include:

- south east France, where several phases of Tertiary deformation have been recorded;
- southern Oran Tell, Algeria, where a compressive stage (producing folds oriented N30°) has been discovered at the end of the Tortonian (9), a phase of deformation which also affected the Plio-Quaternary in north west Algeria.

This stress direction corresponds exactly to that shown by the seismic study of El Asnam; based on results from after-shocks or surface deformations.

This orientation, which is consistent from the Alps to the Algerian Sahara, suggests that the stress was caused by the convergence of African and European tectonic plates.

The direction is parallel to the existing fracture network in the basin and corresponds to the axial direction of the folded structures. Thus it is favourable for reactivation of the longitudinal fractures associated with folding. These are parallel to the current tension fissures and can improve field draining in a NW-SE direction.

L'orientation de l'ovalisation est très cohérente d'un puits à l'autre. Cependant il apparaît que l'azimut d'ovalisation est plus ou moins influencé par la proximité des grands accidents. Au voisinage d'une faille oblique à la contrainte maximale régionale (cas de quelques failles sublatitudinales dans l'ouest), l'ovalisation tend à s'orienter perpendiculairement à la trace de l'accident (Fig. 16). Cependant, deux sondages seulement (TAD-1 et ODZ-1), situés près des failles E-O et ovalisés N-S, paraissent vérifier cette hypothèse. Il est de ce fait prématuré de porter un jugement définitif sur ces réorientations. On note cependant que lorsque une faille est parallèle à la contrainte régionale majeure, celle-ci ne subit aucune réorientation. C'est ce que montre la persistance des ovalisations N45-N55 dans le Timimoun central.

### CONCLUSIONS

#### Implications tectoniques de cette étude

Au point de vue tectonique, la direction N135-N145 de la contrainte horizontale majeure du bassin de Timimoun, correspond aux directions NW-SE déterminées dans les formations tertiaires par les mesures in-situ un peu partout autour du bassin méditerranéen:

- Sud-Est de la France - plusieurs phases d'âge tertiaire ont été mises en évidence
- Tell méridional oranais (Algérie) - une phase compressive (plis N30) fini-tortonienne a été décrite. Cette phase affecte aussi les termes du Plio-Quaternaire du nord ouest de l'Algérie.

Cette direction de contrainte correspond très exactement à celle mise en évidence par l'étude du séisme d'El Asnam; que ce soit par l'étude des répliques, ou par l'étude des déformations de surface.

Cette constance des orientations au delà de l'espace alpin, jusqu'au Sahara algérien suggère que cet état de contrainte résulte de la convergence des plaques Africaine et Européenne.

Cette direction parallèle au réseau de fracturation préexistant du bassin correspond également à la direction axiale des

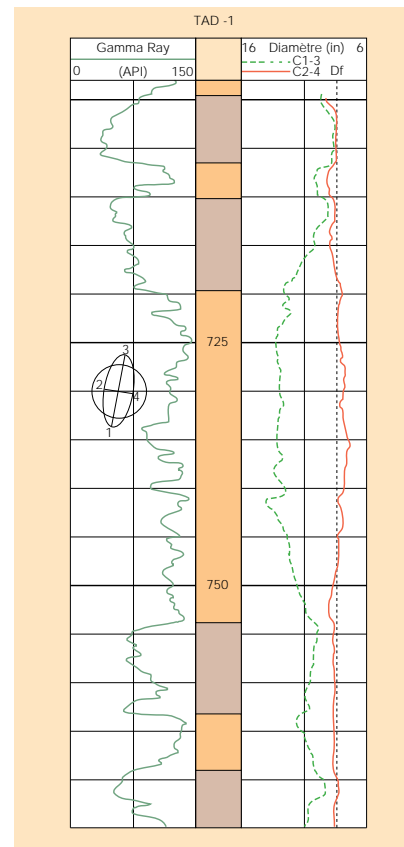


Fig.18

Réduction du diamètre du trou dans la direction de la contrainte horizontale majeure au droit des argiles sous-compactées seulement. Forage TAD-1.

Reduction of the well diameter in the direction of the major horizontal stress only in over-pressured shales. Well TAD-1.

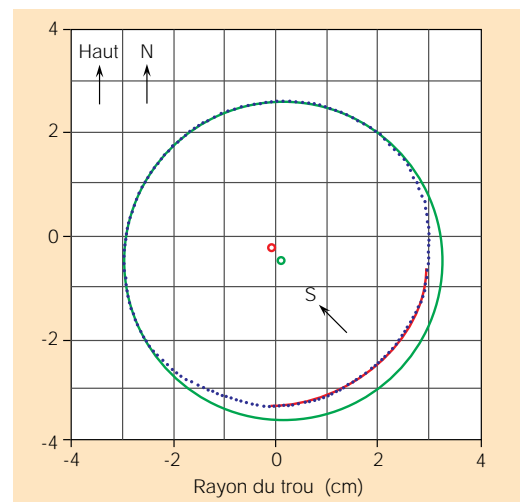


Fig.19

Déformation du trou, probablement plastique, entraînant une réduction de diamètre dans la direction de la contrainte majeure.

Probable plastic deformation of the well leading to a reduction of diameter in the major stress direction.

structures plicatives. Cette orientation est donc favorable à la réactivation des fractures longitudinales liées au plissement. Ces dernières, parallèles aux fentes de tension actuelles, peuvent améliorer le drainage dans la direction NW-SE.

Les charnières de plis, caractérisées généralement par une plus grande densité de fractures ou fentes longitudinales d'extrados formeraient des couloirs de perméabilité élevée. Ce réseau de fracturation est à l'origine de 12% de cas d'ovalisation dans la direction NW-SE.

### Effets probables de ce régime sur la structure actuelle du bassin

Nous avons déjà montré que le bassin de Timimoun est affecté par trois principaux systèmes de failles:

- système N-S à l'Est et au Sud (tectonique hogarienne);
- système NO-SE au centre (hercynien);
- système composite à l'Ouest.

Le long des failles N-S, au pied du flanc ouest du Mont de l'Idjérane, cette contrainte pourrait activer des décrochements senestres. Nous n'avons pas d'évidence de tels mouvements, mais les plis en échelons obliques aux grands accidents de cette région confortent cette hypothèse. Les failles NO-SE au centre du bassin de Timimoun, parallèles à la direction du serrage, restent, quant à elles, pratiquement inertes.

À l'Ouest, le système des failles est polydirectionnel mais les tracés les plus longs correspondent aux failles NO-SE et E-O. Les jeux possibles seraient donc des décrochements dextres.

Au Sud de ce canton, quelques accidents N-S à NE-SO pourraient subir des mouvements senestres et faiblement inverses du fait de leur pendage subvertical. Dans cette zone (OTLA-1, OTRA-1, HRA-1, etc.) des failles ou flexures NE-SO ont été cartées. Cependant, rien ne prouve que ces structures aient un lien quelconque avec le serrage actuel (absence de terrains tertiaires).

Le fait le plus évident reste l'ovalisation des trous de forage grossièrement N-S (10% des mesures) le long des failles E-O dans la partie ouest du bassin. La réorientation locale des contraintes à proximité des grands accidents est un phénomène qui a été observé à toutes les échelles. Cependant, dans le cas qui nous occupe, il est difficile de mettre en évidence des mouvements conformes à cette déviation.

### L'ovalisation ductile des trous de forage

The fold hinges are generally characterized by a greater fracture density where longitudinal fissures form high-permeability 'corridors'. This fracture network accounts for 12% of the ovalisation in the NW-SE direction.

### Probable effects on the current basin structure

The Timimoun Basin is affected by three principle fault systems:

- N-S in the eastern and southern parts of the basin (Hogarian tectonics);
- NW-SE in the middle (Hercynian);
- a composite system in the west.

Along the N-S faults on the west flank of Mount de l'Iderane, this stress can activate left lateral strike slip faults. There is no evidence of such movements, but the oblique en-echelon folds in this region reinforce this hypothesis. The NW-SE faults at the centre of the Timimoun Basin, parallel to the closure direction, remain practically inert.

In the west, the fault systems are multidirectional, but the longest traces correspond to NW-SE and E-W. The possible reworkings in the west are right-lateral strike-slip faults.

In the southern part of the region, some N-S to NW-SE features could have undergone left strike slip movements and slight reversals, because of their sub-vertical dip. In this zone (OTLA-1 OTRA-1 HRA-1), NE-SW faults or flexures were mapped. However, in the absence of Tertiary formations, there is no evidence that these structures are linked with the current closure.

The most obvious fact is the mainly N-S ovalisation of the wells along the E-W faults in the west of the basin (10% of the measurements). Such local reorientation of the stress near large features is a phenomenon observed at all scales. However, in this case it is difficult to show any movements reinforcing this deviation from the usual direction.

### Ductile deformation of wellbores

The conditions for ductile deformation in some shales are:

- a pronounced over-pressure causing a drop in resistance to plastic deformation;
- a high geothermal gradient which helps to soften the material.



Les conditions de la déformation ductile de certaines argiles sont:

- un état de sous-compaction très prononcé entraînant une chute de la résistance à la déformation plastique;
- un gradient géothermique élevé dans ces zones contribuant à rendre le matériau plus ductile.

La réduction du diamètre du puits dans la direction de la contrainte majeure déterminée est un indice suggérant une déformation plastique sous l'effet de la contrainte verticale liée à la charge. Dans les argiles très ductiles, cette déformation est souvent à l'origine des étranglements répétés du trou. C'est le cas des argiles sous-compactées dans les sondages TAD-1, SBAA-3, LT-1 et FCH-1 (Fig. 18). Notre expérience dans le forage de ce type d'argile montre qu'il faut nettoyer plusieurs fois le forage avant d'obtenir l'équilibre. Seule, l'analyse fine de la topographie des parois du trou permettra de savoir si une déformation plastique existe, mais pour cela il faudra utiliser les mesures de rayons des outils ultrasoniques (Fig. 19).

### Rapport d'ellipticité

L'extension de la section du trou est fonction de plusieurs facteurs:

- intensité de la contrainte;
- durée de la déformation;
- comportement rhéologique des argiles.

On est cependant dans l'impossibilité de faire la part de ce qui incombe à la seule élongation plastique du forage, à cause des divers facteurs incontrôlables pouvant affecter simultanément la profondeur d'ovalisation. Ainsi, l'ellipticité (Pa/Ga) mesurée n'est pas significative d'une ovalisation plastique. Dans les argiles sous-compactées, on peut toutefois estimer l'intensité de la déformation ductile en ne considérant que le taux d'aplatissement de la section du forage. dans les conditions suivantes:

- zones uniquement argileuses et ductiles;
- hauteurs importantes;
- absence de gâteau de boue (un gâteau de boue donne une réduction dans toutes les directions);
- sondages non déviés: pas de possibilité de "trou de serrure" et de décentrage de l'outil.

Les calculs dans quatre sondages choisis montrent que la

Reduced wellbore diameter in the direction of the major stress is a clear indication of plastic deformation under the effect of a vertical stress linked to the load. In very soft shales, this is usually the origin of repeated bridges in the well, for example, the over-pressured shales in wells TAD-1, SBAA-3, LT-1 and FCH-1 (Fig. 18). Experience in drilling this type of shale shows that the well has to be washed down several times before an equilibrium is obtained. Only a detailed analysis of the wall topography can indicate plastic deformation, but for this an ultrasonic tool is required (Fig. 19).

### Factors affecting ellipticity

An increase in the cross-section of the well is a function of several factors:

- the intensity of the stress;
- the duration of the deformation;
- the rheological behaviour of the shales.

It is impossible to determine the contribution which each of these makes to plastic elongation, because different, uncontrollable factors can simultaneously affect the ovalisation process. Also, measured ellipticity is not indicative of plastic ovalisation. In over-pressured shales, however, the intensity of tensile deformation can be estimated using only rate of flattening of the cross-section, provided that:

- zones are in soft shales;
- intervals are large;
- there is no mud cake (mud cake gives a reduction in all directions);
- the wells are vertical - no possibility of keyholes or eccentricity of the drill string.

Calculations on the four selected wells show that wellbore reduction varies between 6% and 10%. These wells, with the exception of FCH-1, are situated in the western sector of the basin, where the local reorientation of the stresses can increase deformation intensity.

réduction du trou de forage varie entre 6 et 10%. Ces sondages, à l'exception de FCH-1, sont situés dans le secteur ouest du bassin, là où la réorientation locale des contraintes est susceptible d'engendrer un accroissement de l'intensité de déformation.

### Déformation Plastique

De nombreuses observations viennent étayer l'hypothèse d'un comportement plastique des argiles. Les zones argileuses sous-compactées ou plus de la moitié des mesures a été faite montrent, comme dans les grès, des élongations significatives dans la direction NE-SO mais une ellipticité bien supérieure. Par contre les réductions du diamètre du trou n'existent que dans ces argiles ductiles où elles engendrent des étranglements de la section du forage, particulièrement dans les zones de concentration probable de contraintes.

### BIBLIOGRAPHIE

- Badgley, P. C. (1965) - Structural and tectonic principles.
- Beghoul, M.S. (1987) - Mode d'ovalisation des trous de forage. Aspect tectonique (Bassin de Timimoun, Algérie : "Diagraphies et mécanique des terrains". *Journées d'étude des 13 et 14 Nov. Bordeaux (France)*.
- Beghoul, M.S. (1991) - Apport et contribution de l'analyse de diagraphies à la connaissance d'un bassin sédimentaire. Application au bassin de Timimoun.(Algérie). *Thèse de Doc. Université Louis Pasteur Strasbourg I (France)*.
- Belousov, V. (1978) - Géologie structural, édit. Mir.
- Billings, M.P. (1964) - Structural geology
- Blumberg, J. (1968) - Oval Moles and how they affect our operations. *Schlumberger Technical Review*; (16)/2; pp. 18-23 Oct.
- Boydieu, C. (1970) - The Borehole Televiwer in Libya - *Schlumberger Technical Review*; (18)/2; pp. 24-27 May.
- Cambefort, M. (1955) - Forages et sondages, leur emploi dans les travaux publics ; édit. Eyrolles, Paris.
- Cox, J.W. (1965) - The high resolution Dipmeter reveals dip related borehole and formation characteristics. *SPWLA eleventh annual Symposium*; Calgary; Alberta,

### Plastic deformation

Numerous observations support the hypothesis that the shales exhibit a plastic behaviour. The over-pressured shale zones, where more than half the measurements were made, show significant elongations in the NE-SW direction but with a much larger ellipticity than in the sands. Reduction of wellbore diameter only occurs in the soft shales, where it causes wellbore bridging.

Canada.

Hickman, S.M. *et al.* (1985) - In situ stress. Natural fracture distribution and Borehole Elongation in the Auburn Geothermal well. Auburn, New York. *Journal of Geoph.Research* (90) no. B7, p.5497-5512, June 10.

Mastin, L. (1988) - Effect of Borehole deviation on breakout orientations. *Journal of Geoph.Research* (93) No. B8, P 9187 - 9195, Aug.10.

Nicolas, A. (1984) - Principes de tectonique ; Edit. Masson

Ouyed, M., Meghraoui, M., Cisternas, A., Deschamps, A., Dorel, J., Frechet, J., Gaulon, R., Hatzfeld, D., and Philip, H., (1981) - Seismotectonics of the El Asnam earthquake. *Nature*, (292) 26-31.

Philip, H., and Meghraoui, M., (1983) - Structural analysis and interpretation of the surface deformations of the El Asnam earthquake of October 10, 1980, *Tectonics*, (1), 17-49.

Plumb, R.A., and Cox, J.W. (1987) - Stress directions in Eastern North America determined to 4.5 km from Borehole elongation measurements - *Journal of Geoph. Research* . (92), no. B6, p.4805-4816, May 10.

Thomas, G. (1979) - Recherche des grands traits structuraux liés à la compression finie - tortorieenne dans le tell méridional oranais (Algérie). *7ème réunion annuelle des Sci. de la terre, Lyon*, Sté Géol.Fr.Edit.

Trémolières, P. (1981) - Mécanismes de déformation en zone de plateforme.