

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



**UNIVERSITE D'ORAN  
FACULTE DE DROIT ET DES SCIENCES POLITIQUES**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE POST  
GRADUATION SPECIALISEE(DPGS)

SPECIALITE « DROIT DE L'ENVIRONNEMENT »

**THEME :**

***LA PROTECTION JURIDIQUE DES NAPPES AQUIFERES  
DANS LE CAS DES PUIITS ABANDONNES***

Présenté par :

Mr. NAMOUNE Baghdad

Sous la Direction

Mr. MEHNANE Driss

Jury de Soutenance

: Président

: Rapporteur

: Examineur

## PLAN

### 1- INTRODUCTION.

#### **CHAPITRE I** : RISQUE DE POLLUTION DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINES PAR LES FORAGES PETROLIERS.

- ❖ **Section1** : Présentation de l'activité pétrolière
- **Paragraphe1** : Notions Fondamentales
  - a) Gisement de pétrole et Gaz.
  - b) Roche mère.
  - c) La sédimentation.
  - d) La roche réservoir.
  - e) La roche couverture.
  - f) Le piège.
  - g) La préservation du pétrole et du gaz.
  - h) L'exploitation des gisements.
- **Paragraphe2** : Activité pétrolière
  - ✓ Groupe Sonatrach
  - ✓ Chaîne pétrolière
  - a) L'amont.
  - b) Le transport.
  - c) L'aval.
  - d) La commercialisation.
  - e) L'aspect environnement (Mission et Objectif).
- ❖ **Section2** : Technique d'abandon de puits
- **Paragraphe1** : Les types de forage
- **Paragraphe2** : Le bouchage des puits et des ouvrages d'accès.
  - a) Evaluation des aléas liés aux fuites par les puits.
  - b) Exemple type d'un puits (LA 2) abandonné en 2005 suivant les aspects réglementaires type abandon des puits
- **Paragraphe3** : Les aspects techniques cas de berkaoui.

#### **CHAPITRE II** : LES ASPECTS REGLEMENTAIRES LIES A L'ABANDON DE PUIITS.

- ❖ **Section1** : La réglementation générale :  
Le décret Exécutif du Décret exécutif n° 94-43 du 18 Chaâbane 1414 correspondant au 30 janvier 1994 fixant les règles de conservation des gisements d'hydrocarbures et de protection des aquifères associés.
  - **Paragraphe1** : Abandon des puits Art 161 à 166.
  - **Paragraphe2** : Fermeture temporaire Art 158 à 160.
  - **Paragraphe3** : Tubage et cimentation Art 125 à 135.
- ❖ **Section2** : La réglementation élémentaire interne de l'entreprise.
  - **Paragraphe1** : Schéma d'un logigramme (englobant les différentes étapes de la procédure).

- **Paragraphe2** : Le programme d'abandon.

 CONCLUSION  
 BIBLIOGRAPHIES  
 FIGURES  
 REMERCIEMENTS

## **1) INTRODUCTION**

Depuis son apparition, l'homme transforme le monde qui l'entoure ne serait-ce qu'en prélevant des ressources pour assurer sa subsistance. Transformation discrète dans un premier temps, mais qui deviendra bientôt massive et conquérante jusqu'à générer une nouvelle forme de criminalité, la vie humaine dépendait exclusivement de la cueillette, de la chasse et de la pêche, de sorte que l'homme vivait en profonde harmonie avec la nature et sans lui porter réellement atteinte.

Avec les débuts de l'ère agricole, l'homme apprend peu à peu à apprivoiser la Terre et, en contrepartie, à peser sur les écosystèmes. Apparaissent les premiers comportements anti-écologiques sans pour autant que l'harmonie avec la nature soit rompue. L'avènement de l'ère industrielle bouleverse cependant définitivement cet équilibre. L'homme s'érige progressivement en possesseur de la nature et les changements qu'entraîne la révolution industrielle ont une influence décisive sur les relations qui unissent les êtres humains à leur environnement. Cette transformation liée à l'industrialisation des rapports entre l'homme et son environnement naturel aboutit, en définitive, à une augmentation et à une diversification des manifestations de la délinquance écologique, si bien que la protection de l'environnement est devenue aujourd'hui une préoccupation majeure de cette fin de siècle.

A cette prise de conscience écologique, le législateur n'est pas demeuré insensible. De nombreuses lois environnementales ont, en effet, été élaborées, notamment à partir des années 1980. Dès cette époque, le législateur multiplie les interventions d'abord en matière de pollution atmosphérique et aquatique, de déchets, et d'installations classées, puis progressivement à l'égard de l'ensemble des activités industrielles susceptibles d'être à l'origine de la délinquance écologique.

L'industrialisation a surtout permis le développement d'une nouvelle forme de délinquance écologique réalisée dans le cadre de l'entreprise. L'infraction écologique est alors accomplie soit par le chef d'entreprise qui ne respecte pas les prescriptions environnementales, soit par un employé qui, pendant le fonctionnement de l'entreprise, commet une faute à l'origine d'une atteinte à l'environnement.

Or toute la difficulté que suscite l'élaboration du droit de l'environnement réside dans le fait qu'elle oblige précisément le législateur à ne pas privilégier l'intérêt écologique au détriment de l'intérêt économique, mais à assurer un juste équilibre entre ces deux intérêts divergents.

En tant qu'entreprise économique en forme de société par action (SPA), la Sonatrach est concernée par les risques liés à la pollution et notamment dans le cadre de forage de puits d'hydrocarbures (pétrole et gaz), soit de recherche ou de production.

L'objet du présent rapport est d'établir, une synthèse des connaissances et des pratiques en matière d'abandon des puits d'hydrocarbures liquides ou liquéfiés. Ce document pourra éventuellement servir de base à l'élaboration ultérieure de règles de bonne pratique destinées à assurer dans les meilleures conditions, lors de

l'abandon d'un puits, la sécurité à long terme des personnes et des biens, ainsi que la préservation de l'environnement, autour du site concerné.

Le document traite de la problématique de l'abandon dans son ensemble, couvrant à la fois les aspects réglementaires (en Algérie), la description des opérations techniques d'abandon, l'analyse des cas d'accidents les plus intéressants du point de vue de l'abandon, l'identification des principaux aléas ou impacts liés à l'abandon des puits, le recensement de méthodes et éléments bibliographiques pouvant aider à l'évaluation des aléas et enfin, la présentation de techniques qui pourraient être envisagées pour la surveillance des puits pétroliers pendant et après l'abandon. Le document s'attache à couvrir les différents types de puits.

L'abandon, à moyen ou long terme, des puits d'hydrocarbures liquides ou liquéfiés et de produits chimiques à destination industrielle, va devenir un sujet de préoccupation croissante, à la fois en termes de sécurité publique et d'impact environnemental. La plupart de ces puits ne sont pas encore abandonnés, mais des cas concrets se présentent désormais, notamment l'abandon du puits de Haoud Berkaoui (**OKN 32**). Or, les pouvoirs publics ne disposent pas encore de retour d'expérience suffisant et d'une maîtrise complète dans ce domaine.

Le document qui va suivre dresse un inventaire des problèmes qui peuvent se poser dans le cadre de l'abandon d'un puits et par conséquent, se doivent d'être examinés avec attention afin d'assurer au mieux la sécurité des personnes et des biens et la protection de l'environnement au voisinage de ces anciens puits. Nous avons dressé un inventaire a priori exhaustif qui aborde à la fois les problèmes d'abandon des puits, de stabilité des cavités laissées en profondeur ou encore, de pollution et d'impacts environnementaux liés à l'ensemble de la structure des puits.

L'objectif de mon mémoire est de présenter une première revue des connaissances et des pratiques en matière d'abandon, basée sur le retour d'expérience étranger, à la fois pour les puits pétroliers en milieux poreux et les forages profonds qui recoupent ces aquifères.

Du point de vue de la protection des aquifères, et notamment ceux de l'Albien et du Mio-pliocène du bassin de Berkine, les forages profonds qui recoupent ces aquifères représentent un danger de pollution potentielle.

Le principal facteur favorisant la migration des fluides d'un niveau vers un autre est la différence de pression naturelle ou provoquée entre ces différents milieux.

Sur le bassin de Berkine les ouvrages concernés sont les forages d'eau profonds, les forages de recherches et d'exploitation d'hydrocarbures.

Les risques sont liés à la conception de l'ouvrage (tubage, cimentation) au mode d'exploitation (problèmes de corrosion en particulier) et aux procédures d'abandon (bouchon de ciment).

Sur le plan réglementaire, la protection des aquifères a fait l'objet d'évolutions législatives et réglementaires récentes et notables à travers le **Décret exécutif n° 94-43 du 18 Chaâbane 1414 correspondant au 30 janvier 1994 fixant les règles de conservation des gisements d'hydrocarbures et de protection des aquifères associés (Chapitre 6 « Abandon des puits »**.

Il existe par ailleurs des procédures pour la fermeture technique des ouvrages.

Un exemple concret de contamination d'aquifères par des forages profonds a été recherché au travers des incidents connus sur le bassin de berkine.

Il n'existe pas de méthodes permettant de contrôler un risque de pollution applicable directement sur un forage après son bouchage définitif.

Le suivi chimique des nappes d'eau souterraine apparait comme la méthode la mieux adaptée pour détecter une pollution et déterminer son origine.

Ces données de suivi sont par ailleurs très utiles pour modéliser les transferts de flux entre des réservoirs sources de pollution et les aquifères.

Il convient de traiter, les risques de pollution des nappes souterraines par les forages pétroliers d'une part(Chapitre I) et les règles applicables en cas d'abandon des puits, d'autres part (Chapitre II).

## **CHAPITRE I : RISQUE DE POLLUTION DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINES PAR LES FORAGES PETROLIERS.**

### ❖ **Section1** : Présentation de l'activité pétrolière

- **Paragraphe1** : Notions Fondamentales

- a) Les gisements de pétrole et de gaz

On va chercher le pétrole et le gaz sous terre. C'est donc là, sous nos pieds, qu'ils se forment et qu'ils attendent qu'on vienne les débusquer. Mais peut-on trouver du pétrole et du gaz n'importe où, sous la tour d'un immeuble ou dans son jardin ?

Il existe des accumulations de pétrole et de gaz – les gisements – dans le sous-sol un peu partout dans le monde. Mais il faut tout de même que certaines conditions soient réunies pour que ces accumulations puissent se former. Ce qu'on appelle la genèse pétrolière suit 7 étapes fondamentales, incontournables et surtout très, très lentes.

D'abord, il faut de la matière capable de se transformer en pétrole, et en quantité suffisante : c'est la roche mère.

Ensuite doivent être réunies les conditions propices à la transformation (maturation) de ce potentiel en pétrole et en gaz.

Puis ces tous nouveaux pétroles et gaz effectuent des déplacements (migrations) vers la surface.

Durant cette migration, il faut qu'ils rencontrent une roche capable d'en accumuler de grandes quantités : le réservoir.

Ce réservoir doit être étanche. Il faudra donc une barrière (couverture), une roche imperméable pour empêcher le pétrole et le gaz de poursuivre leur route. Cette roche, c'est la couverture.

Puis, pour accumuler des quantités de pétrole ou de gaz rentables pour l'exploitation, le sous-sol devra présenter une forme (une géométrie fermée) suffisamment grande : c'est le piège.

Enfin, une fois bien tranquillement nichés dans leur piège, notre pétrole et notre gaz ne devront pas être déstabilisés par des agressions venues de l'extérieur. Il faut de bonnes conditions de conservation.

Quand les équipes d'ingénieurs pétroliers étudient une zone, l'un de leurs objectifs principaux est de déterminer si ces 7 étapes ont bien le maximum de chances de s'être réalisées.

On appelle l'ensemble de ces 7 étapes un système pétrolier

#### b) La Roche mère

Le pétrole et le gaz sont constitués d'hydrocarbures, des molécules composées de carbone et d'hydrogène. On sait que ces hydrocarbures ne peuvent pas résister très longtemps à la surface de notre terre car ils sont attaqués par l'oxygène et dévorés par les bactéries qui vivent dans les milieux où il y a de l'air (bactéries aérobies). Ainsi, ils sont assez rapidement transformés en gaz carbonique (dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>) et en eau. Il n'existe pas par ailleurs d'hydrocarbures dans les couches profondes de la terre car au-delà d'une certaine profondeur (environ 10 km), ils seraient détruits car la température est trop élevée (plus on s'enfonce sous terre, plus ça chauffe !).

D'où viennent donc ces hydrocarbures ? Leur composition montre qu'il s'agit d'une transformation de la matière organique d'êtres vivants morts il y a très longtemps. Quand une plante ou un animal meurt à la surface de la terre, sa matière est généralement recyclée par d'autres êtres vivants. Ce qui n'est pas dévoré par les prédateurs, les charognards ou les bactéries, est oxydé en gaz carbonique et en eau, et ce gaz carbonique alimente la croissance de nouvelles plantes. Néanmoins, une toute petite partie, peut-être 0,1 %, de cette masse du vivant échappe à ce destin toujours renouvelé. Dans certains cas, la matière des êtres morts coule au fond des mers. Dans ce milieu très calme et peu oxygéné, elle se mélange à des matières minérales (particules d'argile, sables très fins...) pour former des boues sombres et puantes. Cette mauvaise odeur caractérise l'action de bactéries anaérobies (qui n'ont pas besoin d'air pour vivre), beaucoup moins gourmandes que leurs cousines de la surface terrestre.

#### c) La sédimentation

Les sédiments qui s'accumulent au fond de la mer finissent par s'épaissir peu à peu. C'est un phénomène très lent. De quelques mètres à une centaine de mètres par million d'années, la roche mère s'enfonce peu à peu sous l'accumulation des sédiments qui continuent à se déposer. Par chance, leur poids provoque un affaissement progressif qui laisse place libre aux sédiments qui continuent ainsi de s'accumuler. Ce phénomène dit de subsidence caractérise les bassins sédimentaires.

C'est un phénomène de grande ampleur. L'affaissement progressif atteint plusieurs milliers de mètres, parfois plus de 8 000 mètres (8 km !) au centre du bassin. Et la chaleur croît pour la roche mère qui s'enfonce s'enfouit peu à peu, la température du sous-sol augmentant en moyenne de 3 °C tous les 100 m. La matière organique est également de plus en plus écrasée par le poids des sédiments, la pression augmentant de 25 bars par 100 m. Du coup, à 1 km de profondeur, il fait déjà 50 °C et la pression est de 250 bars. La matière organique évolue très lentement, les atomes de carbone et d'hydrogène se réorganisent, s'associent. L'azote, le soufre et

le phosphore, autres éléments essentiels du vivant, sont peu à peu éliminés la matière organique se transforme en kérogène matière organique se transforme en érogène.

Il faut environ 100 °C pour que le kérogène commence à générer des hydrocarbures liquides, du pétrole et du gaz. Cela correspond en gros à un enfouissement de 2 200 m à 3 800 m. L'enfouissement se poursuit et la production d'hydrocarbures liquides atteint un maximum, un pic. Les liquides produits deviennent plus légers et tendent de plus en plus vers le gaz. Entre 3 800 m et 5 000 m, le kérogène commence à produire le plus léger des hydrocarbures, le gaz méthane. Peu à peu, la roche mère a ainsi produit des liquides pour terminer par du gaz et, finalement, l'épuisement de son potentiel. L'intervalle de profondeurs où elle produit des liquides s'appelle fenêtre à huile. Celui où elle produit du gaz s'appelle... fenêtre à gaz, bien sûr !

La proportion de liquides et de gaz produits dépend de la nature de la roche mère. Par exemple, si les débris organiques qui la composent sont principalement d'origine animale, elle produira proportionnellement beaucoup plus de liquides. A l'inverse, si les débris végétaux dominent, elle produit surtout du gaz et peu de liquides.

#### d) La roche réservoir, un réservoir de stockage

Le pétrole et le gaz se forment dans un bassin sédimentaire. Ils naissent puis migrent au sein de roches sédimentaires. Ces roches ont une caractéristique commune : elles se sont toutes déposées au final dans l'eau d'un océan, d'une mer, d'une lagune ou d'un lac, sous forme de grains. Ces grains peuvent être très grossiers (graviers, par exemple), plus fins (sables) ou de taille minuscule, formant des boues. Ils sont en contact les uns avec les autres, mais il reste du vide entre eux, espace qui définit la porosité d'une roche. On mesure celle-ci en pourcentage de volume total de la roche.

Pourquoi les pétroliers s'intéressent-ils tant à la porosité et à la perméabilité des roches ? Tout simplement parce que, pour qu'une roche contienne de grandes quantités de pétrole ou de gaz, il lui faut une bonne porosité (suffisamment de vide où les hydrocarbures vont à un moment remplacer l'eau) et une bonne perméabilité (pour que le pétrole et le gaz puissent se déplacer rapidement quand on va les pomper pour les exploiter). Une roche qui possède à la fois une bonne porosité et une bonne perméabilité est un réservoir. Plus ces deux caractéristiques pétrophysiques de la roche seront bonnes, meilleur sera le réservoir.

Si la roche est fracturée, ses qualités de réservoir sont améliorées.

Les roches bon réservoir sont, dans la plupart des cas, des grès ou des carbonates (calcaires et dolomies). Les argiles possèdent beaucoup de vides entre les particules qui les composent, mais ces particules ayant la forme de feuillets empilés serrés les uns contre les autres, leur perméabilité est quasi nulle.

#### e) La roche couverture : une barrière imperméable

Une fois que les hydrocarbures commencent à traverser un réservoir, toujours en remontant dans l'eau, il faut une barrière pour les arrêter. Sinon ils poursuivront leur

ascension et le réservoir ne servira que de zone de transit où ils ne pourront pas s'accumuler. Pour stopper les hydrocarbures, il faut une roche imperméable au-dessus du réservoir, qu'on appelle la couverture. Les roches couvertures sont souvent des argiles et parfois des couches de sels cristallisés. Mais n'importe quelle roche suffisamment imperméable peut faire l'affaire, certains carbonates très compacts par exemple.

#### f) Le piège à hydrocarbures

Le réservoir a la capacité d'accumuler de grandes quantités d'hydrocarbures.

La couverture stoppe leur remontée vers la surface. Mais c'est insuffisant pour que s'accumulent des hydrocarbures et que se forme un gisement de pétrole ou de gaz. En effet, arrivés sous la couverture, ces hydrocarbures se glissent dans les espaces où ils peuvent continuer leur remontée, dans tous les points de fuite. Il faut donc un volume fermé important afin que s'accumulent des hydrocarbures en quantité suffisante pour qu'ils soient exploitables de manière rentable.

Ce volume fermé s'appelle un piège. Il est créé par des déformations des couches rocheuses. Plus son point de fuite est bas par rapport à son sommet, plus vaste est le piège.

Un piège rempli d'hydrocarbures peut, suivant les cas, contenir du pétrole seulement, du gaz seulement ou les deux. S'il y a du pétrole et du gaz, le gaz, plus léger, se rassemble au sommet du piège et le pétrole se place en dessous. Il faut retenir que, pour une accumulation de pétrole seul, d'importantes quantités de gaz sont tout de même dissoutes. Et que les accumulations de gaz seul contiennent toujours une fraction de liquides légers, qu'on appelle le condensat.

De plus, il reste toujours un peu d'eau collée aux grains de la roche réservoir, qu'on appelle eau résiduelle.

Il existe différents types de pièges. On en distingue deux grandes familles : les pièges structuraux, de loin les plus nombreux, et les pièges stratigraphiques.

#### g) La préservation du pétrole et du gaz

Une fois installés bien au chaud dans leur piège, les hydrocarbures ne sont pas complètement à l'abri de changements. On sait qu'ils n'aiment pas l'oxygène et les bactéries. Or, lorsqu'une accumulation de pétrole se trouve trop près de la surface, des eaux de pluie finissent toujours par entrer en contact avec elle. Cette eau lui apporte de l'oxygène et des bactéries voraces qui commencent à l'attaquer provoquant une diminution très importante de la proportion des hydrocarbures liquides légers et moyens, ainsi qu'une libération de gaz. Au bout d'un certain temps, il ne restera plus que des hydrocarbures lourds et visqueux, difficiles à exploiter, et, s'il ne s'est pas échappé, du gaz moins intéressant pour nous que le pétrole initial. Ce dernier aura subi une dégradation profonde : quel gâchis ! Les bactéries qui sont responsables des altérations ne peuvent pas survivre à une température supérieure à 50/55° C. Le pétrole reste donc à l'abri tant que la température reste supérieure à cette valeur. En gros, on peut dire qu'il faut commencer à s'inquiéter pour des accumulations d'hydrocarbures situées à moins de 1 000 m de profondeur.

Les accumulations situées plus en profondeur ne sont pas pour autant à l'abri de bouleversements. La menace est cette fois celle de mouvements des roches. Ces mouvements tectoniques, s'ils se produisent, peuvent détruire le piège, en réduisant fortement sa fermeture, voire en l'annulant, soit le plus souvent, en brisant la couverture par des fractures ou des failles dans lesquelles les hydrocarbures piégés vont s'engouffrer et s'échapper : fini le piège, vidé !

### I) L'exploration des gisements

Le pétrole et le gaz se trouvent dans les profondeurs du sous-sol. Ils nous y attendent depuis des millions d'années. Il faut donc aller les chercher, et pour cela il n'existe qu'un seul moyen : creuser jusqu'aux gisements. Ces gisements sont profondément enfouis, souvent à plusieurs kilomètres sous terre. Un coup de pioche ne suffit pas pour faire jaillir le pétrole ! On emploie la technique du forage. De la surface, on peut essayer de deviner où se trouvent les gisements et émettre des hypothèses. Mais on n'est jamais sûr qu'ils existent tant qu'on ne les a pas atteints avec un forage, tant que les hypothèses n'ont pas été vérifiées.

Un forage d'exploration coûte très cher. Mieux vaut donc ne pas se tromper quand on se décide ! Il existe plusieurs façons de savoir où forer. Certaines techniques permettent même de voir le sous-sol . C'est en regroupant les idées et les travaux de toute une équipe qu'on peut mettre toutes les chances de son côté.

Après le forage d'exploration, on décide, selon les résultats obtenus, de continuer ou d'arrêter les travaux dans la zone.

Le pétrole et le gaz se forment dans des bassins sédimentaires. On va donc s'intéresser à ces zones où se sont accumulées pendant des dizaines de millions d'années des couches superposées de différentes roches. Les bassins sédimentaires sont nombreux à la surface de notre terre. On en trouve bien sûr en mer, mais aussi sur les continents, dans des zones autrefois recouvertes par la mer.

Aux débuts de l'aventure pétrolière, rien n'était foré : les bassins étaient vierges de toute exploration. Aujourd'hui, les bassins vierges sont très rares. Il ne reste plus que quelques zones au climat ou à la géographie très hostiles, ou encore protégées pour des considérations écologiques comme l'Antarctique. On sait donc quelles zones sont riches en pétrole ou en gaz (ou les deux), ce sont les bassins prolifiques.

D'autres sont moins riches et certains carrément stériles.

Les bassins sédimentaires sont par ailleurs plus ou moins explorés. Ceux connus depuis longtemps ont fait l'objet de nombreux forages et risquent peu de receler de nouveaux gisements super-géants ou même de grande taille : on dit que l'exploration est mûre. C'est le cas, par exemple, de la mer du Nord. Les compagnies pétrolières qui explorent vont chercher à se positionner bien sûr sur des régions encore peu mûres, pour pouvoir découvrir de gros volumes d'hydrocarbures.

Les compagnies intéressées envoient alors leurs propositions : un engagement de somme totale à dépenser et d'un volume de travaux à réaliser pour l'exploration sur une période donnée (en général de 2 à 5 ans). Elles agissent souvent en groupes associés de 2 à 3 compagnies, ce qui leur permet de partager les dépenses (énormes !) et les risques (élevés !) si leurs propositions sont retenues. A l'échéance

de l'opération, le pays examine toutes les offres et choisit la compagnie ou l'association de compagnies qui va s'occuper de l'exploration de la zone proposée. Une fois qu'une compagnie a obtenu la licence d'exploration (ou permis), les travaux peuvent commencer. Elle peut à tout moment négocier la vente d'une partie ou de la totalité de ses intérêts sur la zone qu'elle vient d'acquérir. De ce fait, il existe une sorte de marché permanent de zones à explorer. Pour certaines, l'exploration débute. Pour d'autres, un forage a déjà été réalisé et, selon que les résultats sont positifs ou négatifs, l'intérêt de la zone augmente ou diminue et celle-ci a plus ou moins de valeur marchande. Dans toutes les compagnies pétrolières, il existe des équipes de spécialistes qui suivent en permanence toutes les propositions de vente d'intérêts dans le monde.

Les ventes ou les échanges d'intérêts font l'objet de négociations très disputées.

- **Pragraphe2 : Activité pétrolière**

- ✓ **Groupe Sonatrach**

Sonatrach est la compagnie algérienne de recherche, d'exploitation, de transport par canalisation, de transformation et de commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. Elle intervient également dans d'autres secteurs tels que la génération électrique, les énergies nouvelles et renouvelables et le dessalement d'eau de mer. Elle exerce ses métiers en Algérie et partout dans le monde où des opportunités se présentent.

Sonatrach est la première entreprise du continent africain. Elle est classée 12ème parmi les compagnies pétrolières mondiales, 2ème exportateur de GNL et de GPL et 3ème exportateur de gaz naturel. Sa production globale (tous produits confondus) est de 230 millions de tep en 2006. Ses activités constituent environ 30% du PNB de l'Algérie.

Elle emploie 120 000 personnes dans l'ensemble du Groupe.

Sonatrach, entreprise citoyenne, œuvre à resserrer les liens sociaux, aider les populations dans le besoin, promouvoir la recherche et les activités scientifiques, aider la création artistique, promouvoir la pratique sportive, contribuer à la préservation de la nature et à la sauvegarde du patrimoine culturel et historique. Aujourd'hui Sonatrach ne conçoit pas de développement économique sans un développement durable.

- ✓ **Chaîne pétrolière**

- a) **L'AMONT**

A en charge la recherche, l'exploitation et la production des hydrocarbures. Ses missions sont principalement axées sur le développement des gisements découverts, l'amélioration du taux de récupération et la mise à jour des réserves.

L'activité AMONT intègre dans sa stratégie opérationnelle les filiales qui lui sont rattachées telles que : ENAGEO (ENTREPRISE NATIONALE DE GEOPHYSIQUE), GCB (SOCIETE NATIONALE DE GENIE CIVIL ET BATIMENT), ENSP (ENTREPRISE NATIONALE DES SERVICES AUX PUIITS), ENTP (ENTREPRISE NATIONALE DES TRAVAUX AUX PUIITS), ENAFOR (ENTREPRISE NATIONALE DE FORAGE) et ENGTP (ENTREPRISE NATIONALE DE GRANDS TRAVAUX AUX PUIITS). Ces filiales participent au développement et à l'exploitation des hydrocarbures.

La recherche, l'exploration et l'exploitation de gisements d'hydrocarbures constituent

le cœur de métier du Groupe Sonatrach. L'effort d'exploration (en propre ou en association), pour découvrir de nouveaux gisements et optimiser l'exploitation des anciens gisements, s'est poursuivi en 2007 non seulement en Algérie, mais aussi au Mali, en Mauritanie, au Niger, en Egypte et en Libye pour l'Afrique, ainsi qu'au Pérou, en Amérique latine.

En 2007, la production totale d'hydrocarbures a progressé sensiblement pour atteindre 233,3 millions de TEP, ce qui représente une évolution de 2 % par rapport à l'exercice précédent. Les partenaires y ont contribué pour 72,3 millions de TEP, soit 31 %. L'activité forage d'exploration s'est intensifiée en 2007, avec 114 puits forés dont 31 % en association. Ceci correspond à près de 326 000 mètres forés dont 54 % en association.

#### **b) Le Transport**

Des hydrocarbures liquides et gazeux par canalisations a en charge le développement, la gestion et l'exploitation du réseau de transport, de stockage, de livraison et de chargement des hydrocarbures. Sonatrach dispose d'un réseau de canalisation d'une longueur globale d'environ 15000 km dont deux gazoducs transcontinentaux, l'un va vers l'Espagne via le Maroc (Pedro Duran Farel) et l'autre vers l'Italie via la Sicile (Enrico Mattei).

Des moyens de modernisation et de gestion du réseau ont été mis en place afin d'assurer l'acheminement des hydrocarbures dans les conditions de l'économie, de la qualité, de la sécurité et de l'environnement qu'exigent les normes internationales. Avec la contribution de la filiale ENAC (ENTREPRISE NATIONALE DE CANALISATION), rattachée à cette activité, Sonatrach dispose aujourd'hui des moyens technologiques indispensables pour les opérations d'entretien et de maintenance des infrastructures de transport des hydrocarbures.

Sonatrach prévoit de porter les exportations de gaz à 85 milliards de m<sup>3</sup> en 2010.

Sonatrach a développé une expertise de renommée mondiale dans le transport du gaz par canalisations sur de longues distances on shore et offshore. Depuis près de vingt cinq ans, le Groupe exploite le transméditerranéen Pipe Line, un gazoduc transcontinental construit en partenariat avec le groupe italien ENI. Sonatrach poursuit la réalisation de grands ouvrages transcontinentaux de transport de gaz naturel, et en particulier, de canalisations destinées à l'alimentation de nouvelles capacités de liquéfaction et de raffinage et à celle des centrales électriques. Sonatrach a construit un réseau principal de plus de 16 200 km de canalisations de transport d'hydrocarbures.

De grands projets transcontinentaux sont toujours en cours de développement : les gazoducs GALSI reliant l'Algérie à l'Italie, MEDGAZ reliant l'Algérie à l'Espagne et TGSP reliant le Nigéria à l'Algérie, en passant par le Niger.

#### **c) L'Aval**

A en charge l'élaboration et la mise en œuvre des politiques de développement et d'exploitation de l'aval pétrolier et gazier.

Elle a pour missions essentielles l'exploitation des installations existantes de liquéfaction de gaz naturel et de séparation de GPL, de raffinage, de pétrochimie et de gaz industriels (Hélium et azote).

Sonatrach dispose à travers son activité Aval de quatre complexes de GNL, deux complexes de GPL, deux complexes pétrochimiques, une unité de PEHD appartenant à la filiale ENIP (ENTREPRISE NATIONALE DE L'INDUSTRIE PETROCHIMIQUE), cinq raffineries, une unité d'extraction d'hélium et deux filiales de maintenance et de gestion des zones industrielles SOM IZ et SOMIK.

Un nouvel essor a marqué les activités Aval du Groupe. Sonatrach va ainsi réaliser seule le nouveau train de liquéfaction de Skikda et les 3 nouveaux trains de GPL d'Arzew. Par ailleurs, Sonatrach, forte des partenariats conclus en 2007, a lancé de grands projets parmi lesquels le vapocraqueur d'éthane d'Arzew, les complexes d'Ammoniac d'Arzew et de Béni Saf et les oléfines de Skikda. Enfin, engagée dans une diversification stratégique de ces activités, Sonatrach s'est associée pour l'exploration et la mise en valeur de gisements de minerais, ainsi que pour la réalisation d'un complexe industriel de production d'Aluminium.

#### **d) La Commercialisation**

A en charge le management des opérations de vente et de shipping dont les actions sont menées en coopération avec les filiales telles que NAFTAL pour la distribution des produits pétroliers, SNTM HYPROC pour le transport maritime des hydrocarbures et COGIZ pour la commercialisation des gaz industriels.

2007 a été marquée par la hausse considérable du prix de vente du pétrole brut, sur lequel est indexé le prix du gaz. Ainsi, même si les volumes d'hydrocarbures exportés par Sonatrach ont légèrement baissé, le chiffre d'affaires réalisé à l'exportation atteint un record et enregistre une augmentation de 11 %. Par ailleurs, le renforcement de la présence de Sonatrach sur le marché italien et ibérique, de même que la perspective d'une entrée sur le marché brésilien illustrent le succès de la stratégie de partenariat adoptée par le Groupe

Sonatrach maintiendra l'option stratégique du partenariat comme levier de développement et renforcera sensiblement ses positions en international sur tous les segments de la chaîne des hydrocarbures et de l'énergie.

#### **e) L'ASPECT ENVIRONNEMENT**

La prise de conscience des menaces qui pèsent sur l'environnement nous a conduits à entreprendre diverses initiatives et fournir des efforts soutenus pour tenter d'enrayer la tendance à la dégradation de l'environnement mondial. Mais la situation est tellement complexe et les difficultés à surmonter tellement nombreuses que les résultats de ces efforts restent encore bien en deçà des attentes : persistance des pollutions et dégradations de l'environnement, non-régression des rejets dans l'atmosphère, menaces des changements climatiques, etc.

Le Groupe Sonatrach a intégré dans son organisation la fonction HSE au niveau central de décision et a adopté au début d'année 2004, la première politique HSE qui formalise, en faite, l'engagement du Top management dans un processus durable d'amélioration. En fait, notre but est de faire en sorte que les exigences de santé, de sécurité et de protection de l'environnement soient prises en compte dans

les processus de gestion et de décision comme dans les actions et opérations quotidiennes à tous les niveaux de responsabilité, et de parvenir ainsi à travers l'implication et la responsabilisation de tous les employés, au développement d'une véritable culture HSE au sein de l'ensemble du Groupe Sonatrach.

Nos objectifs sont simples : aucun accident, aucune atteinte aux personnes et aucun dommage à l'environnement. Nous confirmons nos engagements à la préservation de la sécurité des personnes et des biens, de la santé des employés et des populations riveraines, des installations industrielles et à la protection de l'environnement et des ressources naturelles.

Sur un autre plan, dans le cadre de sa responsabilité sociale, Sonatrach participe, à travers de nombreux projets et actions, aux efforts globaux de préservation de l'environnement pour un développement et ce, même en dehors de son secteur d'activité. C'est ainsi, par exemple, qu'elle a pris en charge ou a contribué financièrement à diverses actions publiques d'éradication de la pauvreté, de préservation de notre patrimoine culturel, de la promotion de l'agriculture, etc.

#### e.1) La Fonction HSE

Améliorer ses performances en matière de santé, sécurité et environnement étant un élément clé de sa stratégie, Sonatrach a créé une structure chargée de représenter la fonction HSE et de définir les règles générales applicables aux différentes unités dans ce domaine et garantir la prise en compte du HSE au plus haut niveau du groupe. La volonté de l'entreprise est, non seulement de respecter les dispositions réglementaires et les recommandations professionnelles et de mettre en œuvre les meilleures pratiques industrielles, mais également de chercher constamment à améliorer ses performances dans les domaines de la sécurité, de la protection de la santé et de l'environnement.

Cette approche a conduit à la mise en place d'un plan d'action HSE et à renforcer l'engagement du groupe dans ce domaine, notamment par l'édition de la politique HSE. La réussite en matière d'HSE, c'est également définir des moyens pour y parvenir: mettre en place des programmes et des objectifs spécifiques et s'intéresser aux nombreux aspects du management HSE.

La nouvelle direction centrale HSE, créée en janvier 2002, va donner un nouvel élan à nos actions et coordonner toutes les initiatives engagées aujourd'hui sur les axes de travail prioritaires que nous avons retenus à savoir:

- ✓ préserver la vie humaine, le patrimoine et protéger l'environnement;
- ✓ prévenir et réduire les risques d'incidents et d'accidents;
- ✓ améliorer les performances du Groupe Sonatrach en matière de HSE;
- ✓ assurer le reporting;
- ✓ sensibiliser les employés par l'information et la communication;
- ✓ contribuer à l'utilisation rationnelle de nos ressources;
- ✓ conduire l'entreprise à assoir une culture HSE ;
- ✓ contribuer à la protection des écosystèmes ;

- ✓ contribuer au développement durable;
- ✓ promouvoir l'investissement social.

e.1.2) Missions : Les missions essentielles en matière de HSE sont :

- ✓ Elaborer la politique du Groupe Sonatrach ;
- ✓ Mettre en place le système de management HSE ;
- ✓ Coordonner les actions HSE du Groupe au sein du Groupe Sonatrach ;
- ✓ Veiller à la conformité réglementaire ;
- ✓ veiller au respect des principes du Développement Durable ;
- ✓ Assurer la formation et le reporting ;
- ✓ Instaurer une culture HSE au sein du Groupe Sonatrach.

e.1.3) Objectifs : Le Groupe Sonatrach devra se différencier dans la recherche et la réalisation de la performance en matière de Santé, Sécurité et Environnement.

Les principes majeurs à respecter sont clairement résumés par la formule: « pas d'accident, aucune atteinte aux personnes, aucun dommage à l'environnement ».

e.1.4) Santé : La réduction des maladies professionnelles doit et devrait être un objectif prioritaire en raison des répercussions économiques et sociales importantes que ceux-ci engendrent pour le travailleur, l'entreprise et la société.

Les objectifs en matière de santé sont donc :

- ✓ Prévenir et réduire les maladies professionnelles;
- ✓ Prévenir l'apparition des maladies professionnelles;
- ✓ Promouvoir un milieu de travail sur et sain par l'amélioration des conditions de travail;
- ✓ Rechercher les meilleures adaptations physiques et psychologiques pour les employés;
- ✓ Créer un environnement de travail pour les employés;
- ✓ Promouvoir l'information, la formation et l'éducation dans le domaine de la santé et l'hygiène au travail.

Notre politique de prévention des risques professionnels repose sur l'implication de l'encadrement et l'engagement individuel, qui sont les conditions d'une amélioration continue.

e.1.4) Sécurité : La politique de Sonatrach privilégie la sécurité des personnes et des activités. La formation et la prévention sont les clés de l'amélioration des résultats de sécurité au sein du groupe. La réduction du nombre et de la gravité des accidents du travail concernant le personnel permanent, les salariés temporaires et les prestataires externes, est un objectif primordial pour Sonatrach.

En matière de sécurité, Sonatrach s'engage à :

- ✓ Réduire le nombre des accidents de travail;

- ✓ Promouvoir un niveau de sécurité élevé dans l'Entreprise
- ✓ Éliminer toute cause d'incidents et d'accidents;
- ✓ Éliminer et réduire par la prévention les risques pour la vie, la santé et la sécurité des installations;
- ✓ Assurer l'intégrité et la sécurité des installations;
- ✓ Former le personnel dans le domaine de la sécurité

Sa politique de prévention des risques professionnels repose aussi sur l'implication de l'encadrement et l'engagement individuel, qui sont les conditions d'une amélioration continue.

e.1.5) Environnement : Compte tenu des activités du groupe, la protection de l'environnement est un enjeu majeur. Cependant, Sonatrach consacre chaque année d'importants moyens humains et financiers pour améliorer ses performances dans la protection de l'environnement tout en agissant dans une perspective de Développement Durable, en privilégiant le principe de prévention de la pollution.

Les objectifs de réduction de l'impact de toutes les activités de Sonatrach sur l'environnement, se traduisent par :

- ✓ Prévenir et réduire la pollution par l'adoption de technologies moins polluantes et par une gestion rationnelle des déchets en favorisant le recyclage et traitement des eaux huileuses ;
- ✓ Réduire les émissions atmosphériques ;
- ✓ Préserver des ressources naturelles ;
- ✓ Préserver les écosystèmes et la biodiversité des espèces.
- ✓ Environnement et développement Durable

Sonatrach s'attache à apporter des améliorations continues et mesurables dans le domaine de l'environnement. Cet engagement qui s'inscrit dans le cadre du développement Durable est concrétisé par la réalisation de plusieurs projets d'envergure qui ont pour objectifs la protection de l'environnement et la préservation des ressources naturelles. La stratégie de Sonatrach en matière de Développement Durable repose essentiellement sur la maîtrise des impacts sur l'environnement induits par les activités du Groupe. Le traitement des rejets liquides domestiques ou industriels est presque systématique pour toutes les unités industrielles et bases de vie du Groupe. Le programme de réduction des gaz à effet de serre de Sonatrach est très important dans la mesure où des investissements de près de 220 millions US\$ ont été consentis pour la récupération des gaz torchés issus des activités de production et raffinage du pétrole ainsi que la liquéfaction du Gaz naturel. L'objectif affiché pour ce programme étant d'atteindre le strict minimum acceptable en 2010.

Toujours dans ce même contexte, le Groupe Sonatrach met en œuvre le programme sectoriel en matière de développement des carburants propres et ce à travers l'augmentation des capacités de production et de transports des carburants tel que le GPL/C ou l'essence sans plomb. Des actions de promotions du GPL/C ont été aussi réalisées à travers la conversion au GPL/C de 1000 taxis urbains avec le concours du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Le

---

Protection des nappes aquifères  
Dans le cas des puits Abandonnés

Développement Durable pour le Groupe Sonatrach implique aussi la préservation du patrimoine naturel (Marais d'El Mactaa), historique et culturel à travers la mise en place d'une base de données interne reprenant les sites naturels, historiques et culturels répartis sur le territoire national. La préservation de la biodiversité est aussi intégrée dans la stratégie de Sonatrach à travers un ambitieux programme de reboisement réalisé avec différentes structures internes et externes de l'entreprise, permettant le reboisement de plus de 250 000 plants répartis sur 34 wilayas du pays.

#### e.2.1) VISION DU GROUPE SONATRACH

Le programme de dessalement de l'eau de mer traduit la vision du Groupe Sonatrach en matière de préservation des ressources naturelles et notamment les ressources en eau. Pour ce faire, Le Groupe Sonatrach s'engage à conduire ses opérations avec le souci permanent d'améliorer les performances HSE, en appliquant les principes ci-après :

e.2.2) PROGRES. Le Groupe Sonatrach s'engage à faire de ses performances Santé, Sécurité et Environnement un facteur de progrès et de développement stratégique. Le Groupe Sonatrach considère que son engagement dans une démarche d'amélioration des performances HSE représente également un atout relationnel auprès des groupes financiers, des pouvoirs publics et les groupes pétroliers puisqu'il lui permet de confirmer, d'une part sa position de leader dans le marché national et international, et d'une autre part, mettre en avant un certain nombre d'atouts nécessaires dans les relations que la Groupe développe avec eux tels que : Le respect, la confiance, la crédibilité, la légitimité, ..

e.2.3) PRESERVATION : à mettre tout en œuvre pour assurer la sécurité de ses activités, la préservation de la santé au travail, la protection de l'Environnement et minimiser les risques éventuels liés à ses activités sur les populations riveraines.

e.2.4) DEVELOPPEMENT DURABLE : à adopter les principes de développement durable qui concilient le développement économique au développement social et à la préservation de l'Environnement et des ressources naturelles. Le Groupe Sonatrach, « Entreprise citoyenne », a également initié un projet qui concerne le Management de l'investissement social en vue d'améliorer les conditions de vie des populations les plus défavorisées.

e.2.5) REGLEMENTATION : à respecter les dispositions réglementaires et les recommandations professionnelles, et mettre en œuvre les meilleures pratiques qui couvrent des domaines aussi divers que la protection du patrimoine écologique, l'exploitation du milieu naturel, la lutte contre les nuisances, la protection de la santé au travail et les risques d'accidents.

e.2.6) PREVENTION ET GESTION PROACTIVE DU RISQUE : à mettre en place les procédures internes destinées à prévenir les accidents, les incidents, à préserver la santé des travailleurs et à protéger l'Environnement. La prévention des risques HSE implique d'agir sur toutes les fonctions et activités liées à la maîtrise des équipements, la maîtrise des procédés, la maîtrise des achats et de la sous-traitance.

e.2.7) AMELIORATION CONTINU : à s'inscrire dans un processus durable et dynamique d'amélioration aux performances Santé, Sécurité et Environnement. Cette action se traduit par la mise en place d'un système unique, intégré, cohérent, global qui couvre toutes les activités, toutes les structures et qui décrit des procédures dans un langage accessible et approprié à chaque niveau d'utilisation.

❖ **Section2** : Technique d'abandon de puits

- **Paragraphe1** : Les types de forage

Des forages d'eau pour l'exploitation d'eau potable et d'eau industrielle (Albien et Moi-pliocène), qui atteignent des profondeurs de l'ordre de 1200 m à 200 m.  
Des forages de recherches et d'exploitation d'hydrocarbures qui atteignent des profondeurs de l'ordre entre 2500 m à 5000 m  
Des forages pour l'injection de gaz qui atteignent des profondeurs de l'ordre 2500 à 3500 m.

- **Paragraphe2** : Le bouchage des puits et des ouvrages d'accès.

Les puits et les ouvrages d'accès sont des voies de communication privilégiées entre le réservoir et les niveaux sus-jacents (aquifères, surface). Le bon scellement de ces ouvrages est donc une étape essentielle de la procédure d'abandon. En effet, c'est le bon déroulement de ces opérations qui doit garantir l'étanchéité et la stabilité à long terme du stockage.

Quels que soient le type de stockage et le type d'ouvrage considéré (forage, puits, galerie), le bouchon mis en place est conçu pour assurer la stabilité de celui-ci et l'isoler hydrauliquement de son environnement de manière pérenne. Dans le cas d'un forage (ou d'un puits), le principe de réalisation d'un bouchon est le suivant : on commence par mettre en place un packer gonflable à la profondeur exigée. Un « pont » en ciment de plusieurs mètres d'épaisseur est alors réalisé au toit du packer. Ce pont forme la butée sur laquelle va s'appuyer le bouchon de ciment.

La réalisation de ce bouchon consiste en un remplissage du forage, en plusieurs étapes successives, de la butée jusqu'à la surface.

Notons que le Titre « Recherche par forage, exploitation de fluides par puits et traitement de ces fluides » du RGIE donne des consignes concernant le diamètre et la longueur des bouchons. Ceux-ci doivent occuper, à l'exception de l'épaisseur des cuvelages, la totalité de la section, initialement forée, du puits et constituer des tranches de 50 à 100 m de longueur (2 fois plus pour la tranche de surface) suivant l'état du puits et la position des niveaux perméables (voir détails en annexe C).

Il peut être également préconisé de retirer le cuvelage du puits sur une certaine hauteur. Cette solution, récemment étudiée, permettrait d'améliorer l'efficacité du bouchon.

Des mouvements de la surface du sol, qu'il s'agisse d'effondrements brutaux

Les effondrements proviennent, dans tous les cas recensé d'une dissolution incontrôlée d'une formation évaporitiques (sel en général), menant au

développement (ou à l'extension) instable d'une cavité, qui remonte ensuite jusqu'à la surface pour provoquer l'effondrement. La cavité à l'origine à l'effondrement peut soit être une cavité existante qui, par reprise de lessivage, devient instable, soit une cavité néoformée ayant pour origine une mise en communication accidentelle (bouchon ou cimentation de puits défaillante, cuvelage absent ou fortement corrodé, etc.) entre aux aquifères, soit des cavités néoformées par lessivage accidentel d'une couche de sel (Haoud Berkaoui, OKN 32).

- des pollutions d'eaux souterraines ou superficielles (2 cas), soit par du produit résiduel non retiré au déstockage, soit par de la saumure provenant de la dissolution accidentelle d'un niveau évaporitiques (cas de Berkaoui) ;
- une dégradation (voire une absence) du tubage et/ou de la cimentation des puits, que celles-ci soient liées à la corrosion ou à une malfaçon.

Il faut noter que la plupart de ces accidents ont conduit à une amélioration de la réglementation concernant l'abandon des puits suite aux accidents mettant en cause l'état des puits ou un manque de rigueur dans les opérations de contrôle et de surveillance. A titre d'exemple : Les accidents du puits de Haoud Berkaoui(OKN32)

#### c) Evaluation des aléas liés aux fuites par les puits.

Nous nous intéressons, dans cette première section, à l'évaluation des aléas liés à d'éventuelles fuites le long d'un puits abandonné.

Nous avons vu au chapitre précédent qu'un puits est typiquement constitué d'une succession de forages dont le diamètre va en diminuant. Chaque forage est recouvert d'un tubage en acier, lequel est cimenté au terrain pour assurer la stabilité des parois et contribuer à l'étanchéité. Lors de l'abandon, les éléments de complétion sont retirés et le puits est scellé (par la mise en place d'un bouchon de ciment) afin d'éviter toute circulation de fluide entre le réservoir et les niveaux sus-jacents.

Le risque de fuite le long d'un puits abandonné dépend de plusieurs facteurs :

- l'adéquation globale de l'architecture du puits à l'environnement géologique, c'est-à-dire son adaptation en terme de protection des horizons les plus " vulnérables " (nappes aquifères, niveaux évaporitiques) ;
- l'étanchéité à long terme de chaque élément constitutif du puits. Les différentes possibilités de fuites le long d'un puits abandonné, en distinguant celles qui apparaissent dans le ciment, dans le tubage (casing), dans le bouchon, dans la roche ainsi qu'aux interfaces entre ces éléments.

Dans la suite de cette section, on s'intéresse plus précisément à l'évaluation des risques de fuites à travers le tubage, la cimentation du puits et le bouchon de ciment mis en place au moment de l'abandon. On peut voir sur (Fig. 12 type d'abandon du puits LA 2 en 2005).

#### ❖ DEFAUT D'ETANCHEITE DU TUBAGE

Principes et méthodes d'évaluation :

Pour évaluer le risque de fuite liée à un défaut d'étanchéité (perçement) du tubage d'un puits abandonné (voir photos ), il est nécessaire de connaître, d'une part, l'état

initial du cuvelage avant abandon et d'autre part, la nature et la cinétique des processus de dégradation susceptibles d'agir sur l'acier du tubage après l'abandon du puits.

- a) Evaluation de l'état du tubage avant abandon
- b) Analyse des processus de dégradation du tubage et évaluation de leur cinétique

Données préalables nécessaires :

Les données typiquement nécessaires pour mener à bien l'évaluation de ce type d'aléa sont :

- données sur les caractéristiques des tubages (géométrie, âge, caractéristiques des aciers utilisés, traitements éventuels réalisés) ;
- données sur les conditions initiales THMCB (thermiques, hydriques, mécaniques, chimiques et biologiques) dans l'environnement du puits au moment de l'abandon ;
- évaluation des sollicitations THMCB à long terme auxquelles seront soumis les tubages après l'abandon

Mesures de prévention :

- remise en état et traitement préventif du puits au moment de l'abandon ;
- très en amont : amélioration des caractéristiques de résistance à long terme des tubages lors de la conception.

## ❖ DEFAUT D'ETANCHEITE DE LA CIMENTATION DU TUBAGE

### • Principes et méthodes d'évaluation :

De même que pour le tubage, l'évaluation du risque de fuite par la cimentation du tubage repose d'une part, sur la connaissance de l'état de la cimentation avant l'abandon et d'autre part, sur la connaissance de la nature et de la cinétique des processus susceptibles de mener à une dégradation de cette cimentation après la phase d'abandon.

Après que les conditions initiales et les processus de dégradations aient été caractérisés, des outils de type « modélisation numérique » peuvent être utilisés pour évaluer de manière globale le risque de fuite dans les conditions particulières du site étudié. Nous détaillons ci-après chacune de ces étapes.

### • Mesure de l'état de la cimentation avant abandon

Analyse des processus de dégradation du ciment et évaluation de leur cinétique

Modélisation numérique des fuites par la cimentation

Données préalables nécessaires :

Les données typiquement nécessaires pour l'évaluation de ce type d'aléa sont :

- données sur les caractéristiques des cimentations de puits (épaisseur, localisation, âge des différents anneaux de ciment mis en place, caractéristiques du ciment utilisé, traitements éventuels réalisés) ;
- données sur les conditions initiales THMCB (thermiques, hydriques, mécaniques, chimiques et biologiques) dans l'environnement du puits au moment de l'abandon ;
- évaluation des sollicitations THMCB à long terme auxquelles seront soumises les cimentations après l'abandon.

## **Mesures de prévention :**

- traitement préventif du puits au moment de l'abandon ;
- tests hydrauliques avant abandon ;
- très en amont : amélioration des caractéristiques des ciments à la conception

d) Exemple type d'un puits (LA 2) abandonné en 2005 suivant les aspects réglementaires type abandon des puits

**Paragraphe2** : Aspect technique cas du puits de Berkaoui.

Du point de vue de la protection des aquifères, et notamment ceux de l'Albien et du Moi-pliocène du Bassin de Berkine, les forages profonds qui recoupent ces aquifères représentent un danger de pollution potentielle. Quel que soit l'objectif de ces forages, la règle principale consiste à empêcher les fluides contenus dans les différents niveaux géologiques de se mélanger.

Un soin tout particulier doit donc être apporté aux différentes opérations de forage et principalement lors de la mise en place des cuvelages et de leurs cimentations, éléments pour l'isolation des aquifères et la protection des ressources en eau souterraine.

Le principal facteur favorisant la migration des fluides d'un niveau vers un autre reste la différence de pression naturelle ou provoquée entre ces différents milieux.

Lorsque des réservoirs (d'eau douce, de saumure d'hydrocarbures) se superposent et qu'ils sont à des pressions différentes il y'a toujours une possibilité d'interférence entre eux. Pour empêcher le transfert accidentel d'un fluide vers un autre horizon perméable il faut apporter la plus grande attention à la préparation puis à l'exécution des travaux de forage.

L'isolation des différentes couches géologiques est assurée après chaque phase de forage par la mise en place d'un tubage cimenté. La qualité de la cimentation de l'annulaire (tubage-terrain) peut être contrôlée par des mesures géophysiques (diagraphies) spécifiques : la thermométrie, CBL, VDL, USIT, CASTV.

Dés la conception de l'ouvrage le programme technique doit prendre en compte la traversée des horizons aquifère pour empêcher toute communication entre ces différents réservoirs en choisissant judicieusement les diamètres de forage successifs, les caractéristiques des tubages(diamètre, masse nominale, nuance d'acier, type de filetage) et les spécifications des laitiers de ciment utilisés pour fixer le tubage au terrain et interdire toutes migrations de fluides entre les réservoirs par l'intermédiaire des annulaires.

Pendant l'exploitation, les tubages en acier sont soumis aux effets de la corrosion qui peut se développer à l'intérieur comme à l'extérieur de tubes d'acier.

Les phénomènes de corrosion peuvent avoir plusieurs origines (géochimique, bactérienne, galvanique, électrochimique) et occasionner des perforations mettant en communication l'intérieur de l'ouvrage avec les formations géologiques environnantes.

Dans le bassin de Berkine la corrosion est favorisée par la présence d'eau salée dans les niveaux du trias 'exploités pour les hydrocarbures. Les processus de corrosion doivent donc être particulièrement surveillés et étudiés pour éviter que des ébauches de perforation ne deviennent des orifices permettant des écoulements accidentels vers des formations géologiques perméables.

Si l'expérience acquise montre que l'on peut prévoir la progression de la corrosion géochimique et la contrôler en utilisant des inhibiteurs appropriés (chimiques ou bactéricides) permettant de la freiner, il est impossible d'en supprimer complètement les effets.

### ASPECT TECHNIQUES

Ces mesures concernent essentiellement les procédures de fermeture définitive de puits par bouchage du réservoir et du tubage à l'aide de bouchons de ciment. Avant de procéder à cette opération il est indispensable de connaître parfaitement l'état du tubage.

#### ❖ L'ABANDON DES FORAGES PETROLIERS

Les mesures d'abandon, qui ont connu des évolutions notables dans le temps, sont actuellement définies par des textes réglementaires et techniques, la fermeture d'un puits représente une série d'opérations destinées à maintenir l'isolation des différents niveaux aquifères et pour faire des barrières doivent être disposées selon des règles précises, de façon à :

- ✓ Interdire toute possibilité de fuite des effluents vers la surface.
- ✓ Prévenir toute pollution et protéger l'utilisation future des aquifères
- ✓ Empêcher la circulation des fluides entre niveaux géologiques (ou ensembles de niveaux rapprochés) perméables.
- ✓ Ces barrières seront disposées pour contenir ou isoler les niveaux perméables.

L'efficacité des barrières devra être fiable dans le temps. Parmi ces barrières mis en place dans un « découvert » un tubage ou un annulaire par circulation et se consolidant rapidement après mise en œuvre.

#### ❖ DESCRIPTION DES OPERATIONS TECHNIQUES D'ABANDON DES PUIITS PETROLIERS.

Ce chapitre vise à donner un aperçu de la manière dont les opérations techniques d'abandon se déroulent pour les différents types de puits. Il s'agit ici de décrire les pratiques existantes et de proposer des recommandations.

Cette synthèse est basée notamment sur ce qui a été fait lors de l'abandon du puits de Haoud Berkaoui (OKN32).

Une connaissance précise de l'état initial du stockage avant abandon est un préalable indispensable à une prédiction réaliste de son évolution à long terme et par conséquent, à une évaluation convenable des risques associés. C'est aussi l'occasion d'établir « un point zéro » pour les paramètres susceptibles d'être soumis à une surveillance au cours ou après l'abandon.

Un diagnostic précis de l'état du puits avant l'abandon passe tout d'abord par une bonne connaissance de l'histoire de sa construction et de son exploitation.

Il peut être également nécessaire, pour affiner le diagnostic, de prévoir un complément de caractéristiques du puits (corrosion des tubages, les digraphies CBL, VDL, USIT).

Quel que soit le type de puits concerné, un point essentiel est l'évaluation de l'état des puits avant la fermeture. Il s'agit en particulier :

- ✓ De rassembler l'ensemble des données relatives à la description des différents cuvelages.
- ✓ D'évaluer l'état des cuvelages et de la cimentation des puits au moment de l'abandon.

### Les modalités et la démarche à suivre lors de l'abandon d'un puits

- a) Objet
- b) Domaine d'application
- c) Document de référence
- d) Définition

#### a) Objet

La présente procédure a pour objet de décrire la démarche et les étapes à suivre lors de l'abandon d'un puits par l'une des Division Production, Exploration ou Association du groupe Sonatrach.

#### b) Domaine d'application

Cette procédure s'applique à tous les puits du Groupe Sonatrach en effort propre, en Association ou en Groupement. Soit :

Les puits d'applications, les puits de développement, les puits de délinéation et les puits d'exploitation ou de recherche.

#### c) Document de référence

Réglementation de référence.

Décret exécutif n°94-43 du 18 Chaabane 1414 correspondant au 30 Janvier 1994 fixant les règles de conservation des gisements d'hydrocarbures et de protection des aquifères associés.

Nouveau projet de décret relatif à la protection à la conservation des gisements d'hydrocarbures et à la protection des aquifères associés.

#### d) Définition

Puits : trou vertical creusé dans le sous sol par forage et maçonné, pour atteindre la nappe aquifère souterraine, un gisement d'hydrocarbures ou les minerais de la roche.

- ✓ Puits d'exploration ou de recherche : un puits foré dans le but de déterminer l'emplacement d'hydrocarbures n'ayant pas encore été découvert.
- ✓ Puits de développement : un puits foré à l'intérieur des limites présumées d'un gisement dans le but d'en produire des hydrocarbures.
- ✓ Puits de délinéation : un puits foré dans le but de délimiter et d'éviter l'étendue, la capacité de production et le potentiel de réserves récupérables d'hydrocarbures découverts par un puits d'exploration

- ✓ Puits d'Appréciation : un puits foré avant la période de développement d'une découverte de Sonatrach dans le but de confirmer l'étendue, la capacité de production et le potentiel de réserves récupérables d'hydrocarbures à partir de la dite découverte de Sonatrach.

Abandon de Puits : C'est une opération de fermeture définitive du puits afin de cesser de l'utiliser ou de l'exploité pour différentes raisons.

Raison de sécurité

Venue de gaz

Venue d'eau

Eruption interne

Ou pour d'autres raisons sécuritaires pouvant survenir

### **Raison techniques**

La réglementation cite quatre catégories de puits pouvant être abandonnés pour des raisons techniques :

La première catégorie comprend :

Les puits d'exploration ou d'extension qui ont atteint leurs objectifs mais qui se sont avérés secs ou producteurs d'eau Les puits qui n'ont pas atteint leurs objectifs mais dont le forage est arrêté pour absence d'intérêt géologique.

Les puits qui ont atteint la profondeur prévue sans avoir ouvert l'ensemble du niveau à cause du programme de forage adopté.

La deuxième catégorie comprend :

Les puits de production, d'injection et d'observation ayant rencontré de mauvaises caractéristiques de réservoir.

La troisième catégorie comprend :

Les puits abandonnés pour des raisons imputables à la mauvaise qualité des forages notamment, lorsque l'état du trou ne permet pas la poursuite du forage.

La quatrième catégorie comprend les puits devant être abandonnés pour des raisons de:

Invasion par l'eau du réservoir ou par l'eau injectée.

Etat de déplétion très avancé pour lequel le débit est inférieur au seuil de rentabilité.

Absence d'intérêt d'utilisation ultérieure pour l'injection ou l'observation, pour, des raisons techniques et géologiques.

**Fermeture temporaire** : fermeture provisoire ne devant pas dépasser douze mois (12) elle se fait conformément aux dispositions du Décret fixant « les règles de conservation des gisements d'hydrocarbures et de protection des aquifères associés » dans les cas suivant :

Puits d'exploitation et d'extension, qui ont produit l'huile commerciale, en attendant la mise en place des installations de surface.

Puits d'exploration et d'extension, extérieurs à la zone à l'huile, s'ils peuvent être comme injecteurs lors de l'exploitation industrielle du gisement.

Puits qui produisent une huile de qualité médiocre, au cas où leur production n'est pas possible ou souhaitée.

Puits fermés pour éviter l'invasion du réservoir par le gaz ou par de l'eau.

Puits complètement noyés s'ils peuvent être utilisés comme injecteurs dans le cadre du plan global de développement.

Puits produisant avec un fort pourcentage d'eau dont l'exploitation n'est plus rentable à moins que leur fermeture ne soit nuisible aux conditions d'exploitation.

Puits fermés pour des raisons de sécurité ou de pollution.

### ❖ **CAS DU Puits OKN 32(BERKAOUI)**

S'il est un pays où la pénurie d'eau commence à menacer, c'est bien l'Algérie où les zones arides constituent plus de 90 % du territoire. Avec des ressources en eau renouvelable de moins de 1 000 m<sup>3</sup> d'eau douce par habitant soit le seuil minimum calculé par l'Unesco, l'Algérie fait partie des terres du globe les plus sèches dans les prochaines années. Or, depuis plus de 12 ans, une pollution d'eau sans précédent fait planer des risques de disparition sur Ouargla, l'un des plus grands oasis sahariens, mais aussi sur la nappe d'eau profonde dite du "l'Albien du Bassin de Berkine".

Cet aquifère de 800 000 à 900 000 km<sup>2</sup> (près de 2 fois la surface de la France), partagé entre l'Algérie, la Libye et la Tunisie, se trouve à une profondeur de 1 000 à 2 000 mètres environ et est constitué d'une "eau fossile" car son temps de renouvellement est si long que les experts considèrent qu'il s'agit d'une eau non renouvelable. La cause de cette pollution est limpide : un forage pétrolier qui a mal tourné.

L'histoire commence en 1978 à Haoud Berkaoui, en plein Sahara où le soleil darde sur la terre ocre, on ne s'installe que pour deux raisons : l'eau des oasis et le pétrole des sous-sols. L'oasis c'est la palmeraie d'Ouargla, à 30 km d'Haoud Berkaoui, une petite ville connue pour la qualité de ses dattes. L'agriculture a pu s'y développer grâce à la présence d'une nappe d'eau peu profonde dans laquelle toute la ville puise. Pour le pétrole, route vers Hassi Messaoud, ainsi nommé parce qu'un beau jour, en 1910, un nomade du nom de Messaoud décida d'y creuser un puits (Hassi). Mais si le nom est resté, la fortune d'Hassi Messaoud provient d'autres puits : les forages pétroliers réalisés depuis 1956, date à laquelle on y découvrit de l'or noir. Depuis, Hassi Messaoud est devenue une ville aux allures frustes, constituée de bungalows préfabriqués ou de petits immeubles en dur où vivent les salariés de la Sonatrach (la compagnie de pétrole nationale algérienne).

### ❖ **SITUATION du puits OKN 32**

Le champ de Haoud Berkaoui est situé à l'ouest d'Ouargla (Fig. 1). Le puits OKN 32 découvert en 1964, a produit de l'huile dans les grès Ordovicien se trouvant à 3200 m de profondeur.

Le forage du puits OKN 32, en Février 1978, a mis accidentellement en contact l'aquifère éruptif du Continental Intercalaire (Albo-Barrémien) et celle du complexe

terminal (Sénonien carbonate –Fig.2). La différence de charge de ces deux nappes de l'ordre de 250 m, a provoqué une circulation ascendante de l'eau Albienne à travers le sel Sénonien épais de 150 m (Fig. 2), dont le débit est évalué en 1990 entre 2500 et 2800 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. L'écoulement se faisant à travers le sel du Sénonien salifère, a créé une cavité de dissolution située entre 450 et 600 m de profondeur. Cette dernière en s'agrandissant, a engendré l'effondrement de la couche sénonienne en Octobre 1986 créant ainsi en surface un cratère de 200 m de diamètre (Fig. 5 et 6).

L'injection massive de sel dans le Sénonien carbonate, a entraîné la pollution de cet aquifère qui constitue une ressource essentielle aussi bien pour l'agriculture que pour l'approvisionnement de la ville de Ouargla, située à 32 km au nord-est du puits OKN 32. Aussi, SONATRACH a confié à une société étrangère spécialisée, en Août 1988, une première étude de 18 mois visant à mettre en place les suivis d'urgence basés sur le cratère (subsidence et sismique) et sur le Carbonate (interprétation des sondages électriques).

#### ❖ **FORMATION DU CRATERE**

Le cratère d'OKN 32 s'est formé brutalement au moment où le fontis engendré par lessivage de la cave s'est développé par effondrement progressif des terrains situés au dessus du sel, au fur et à mesure de sa dissolution(Fig.3).

La cave s'agrandissant, les matériaux sus-jacents s'effondrent progressivement jusqu'au dégagement de la dalle d'anhydrite terminale. Cette dernière retenait les terrains du Sénonien carbonate et s'est rompu, le 26 Octobre 1986, entraînant la formation d'un cratère d'environ 600 m de diamètre. Il s'ensuit un découpage quasi vertical du Sénonien carbonate dont la stabilité provisoire revient à l'accumulation de débris d'éboulement dans la cheminée. Toutefois, il reste du vide qui en l'agrandissant, probablement par lessivage, peut créer de nouveaux effondrements.

#### ❖ **ESTIMATION DU DEBIT DE L'ALBIEN**

Le forage d'un sondage de reconnaissance a fourni par des mesures de RFT (Repeat Formation Tester) le profil de pressions dans l'Albo-Barrémien et par des tests de production, la perméabilité des différentes formations rencontrées. Le profil de débit calculé, présente une augmentation depuis la base du Barrémien jusqu'au top de l'Albien où il atteint 2000 et 2800 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> selon le potentiel de référence retenu pour l'Albien.

Ce même profil montre que deux tiers de la production du puits OKN 32 reviennent à l'Albien et un tiers au Barrémien.

#### ❖ **PROFONDEUR DU CRATERE (Fig.7).**

Le cratère a été exploré à l'aide d'un dispositif à ballon captif dirigé par trois treuils. Cette exploration a permis de sonder le cratère dont la profondeur est comprise entre 9 et 14 m. La cheminée entre le lac de surface et la cave, est complètement obstruée par les éboulis qui continuent de s'accumuler dans le cratère

## ❖ **FORME DU CRATERE**

### • **Etude par la méthode de sismique**

En l'absence actuelle de conclusions de la sismique 3D, qui est en fait la méthode d'estimation la plus précise, on se basera sur les résultats de la campagne de sismique réfraction.

L'interprétation des profils sismiques traversant le cratère a permis d'estimer la taille de la cave (existante dans le Sénonien salifère entre les côtes 450 et 600 m). Celle-ci s'étend sur un diamètre minimal de 480 m et maximal de 740 m environ dans la direction nord-ouest/sud-est et un diamètre minimal de 360 m et maximal de 620 m environ dans la direction nord-est/sud-ouest. Sa forme évasée en son sommet est une à la migration de l'eau douce vers le haut (Fig. 6). Toutefois, il est utile de mentionner que le diamètre du cratère en surface a augmenté de 230 à 350 m durant la période s'étalant entre Décembre 1987 et Décembre 1994, soit une moyenne de 20 m (Fig. 8).

### • **Etude par la méthode gravimétrique**

L'étude gravimétrique réalisée par l'entreprise Algérienne ENAGEO en 1991, a mis en évidence:

- Une extension de la cavité plus prononcée vers le nord-ouest, réduite vers le sud-est et de même ampleur vers le nord-ouest/sud-est.
- Des extensions maximales d'environ 740 m dans la direction sud-ouest/nord-est.
- Une surface maximale de l'anomalie estimée à 4 000 000 m<sup>3</sup>.

## ❖ **EVOLUTION DU PHENOMENE DE BERKAOUJ**

Afin de suivre l'évolution du phénomène d'éboulement et de subsidence, il a été procédé à:

- suivi de topographie,
- un suivi par écoute sismique,
- un suivi de résistivité.

ANNEE	Densité Saumure Kg /l	Volume Cavite M3 10-6	Sel produit T 10 -6	Rayon Profondeur (m)				
				485 m	515 m	545 m	575 m	605 m
1979	1.1027	1.39	2.76					
1980	1.1203	3.47	6.86	93	90	86	83	78
1981	1.1296	5.84	11.45					
1982	1.1357	8.34	16.32	146	140	134	128	119
1983	1.1400	11.00	21.40					
1984	1.1434	13.73	26.63	189	181	173	164	153
1985	1.1461	16.53	31.398					
1986	1.1483	19.37	37.43	223	214	204	193	180
1987	1.1502	22.27	42.95					
1988	1.1516	25.19	48.53	255	244	233	219	204
1989	1.1532	28.16	54.19					
1990	1.1544	31.16	59.69	285	272	259	243	225
1991	1.1555	34.16	65.61					
1992	1.1564	37.22	71.41	312	298	283	265	246

Protection des nappes aquifères  
Dans le cas des puits Abandonnés

- **Suivi topographique**

L'entreprise algérienne ENAGEO a régulièrement entrepris des campagnes de mesures de nivellement sur un réseau permanent de bases géodésiques qui permettent de suivre l'affaissement des terrains environnants. Ce réseau a été complété par des mesures extenso métriques sur les fissures existantes. Celles-ci, font apparaître un affaissement variable des bases qui atteint pour certaines, placées à 20 m d'OKN 32, 60 cm en trois ans (Fig. 10 et 11). L'axe principal de cette subsidence est orienté nord-ouest/sud-est. Ce phénomène est probablement lié au tassement des déblais qui soutiennent les abords de la cave. Par ailleurs, les mesures extenso métriques montrent que:

- Les grandes fissures observées en surface autour du cratère, sont comprises dans une couronne d'épaisseur de 40 m.
- La fissure apparue en Octobre 1991, du côté nord-ouest à 520 m d'OKN 32, ne cesse de s'élargir et de s'étendre couvrant actuellement un angle de 120° soit une longueur de 1000 m.
- Le grand pan de 250 m de longueur dérivant de la fissure située à 25 m au nord-ouest du cratère, continue à s'affaisser. En effet, il était à 0 cm en Juin 1990, 70 cm en Juin 1991, 135 cm en Juin 1993 et 250 cm en Décembre 1994.

- **Suivi par écoute sismique**

Le réseau de surveillance sismique a été installé autour du cratère en Août 1989. L'auscultation du cratère a permis de mettre en évidence l'existence d'une forte activité macrosismique due, principalement à de simples réajustements des fissures de surface dans le Mio-Pliocène et le Carbonate supérieur, essentiellement dans la partie nord-ouest ainsi qu'à quelques décollements au niveau de la dalle d'anhydrite terminale et enfin à un petit nombre d'événements profonds en relation avec le toit du sel qui semble encore en mouvement.

- **Suivi de résistivité**

Depuis l'effondrement en Octobre 1986, cinq campagnes de résistivité ont été réalisées:

- La première effectuée en 1987, a décelé la propagation de la contamination par les eaux salées suivant les quatre directions à partir d'OKN 32 et dont les limites se situent:
  - vers l'est, à environ 3 km;
  - vers le sud, à environ 2.5 km;
  - vers le nord, à environ 1.5 km;
  - vers l'ouest à environ 1 km.
- La deuxième campagne réalisée en Mars 1988, a montré l'extension de la zone contaminée.
- La troisième campagne effectuée en 1989, a mis en évidence l'arrêt du front de contamination sur les profils et son extension sur le reste des autres profils.
- La quatrième réalisée en Mars 1990, a montré qu'il existe un avancement du front dans toutes les directions sauf la partie ouest.
- La dernière datant de Mars 1992, a déterminé une diminution des résistivités dans la zone faiblement saturée par rapport à la quatrième campagne assimilée à la propagation de la contamination due aussi bien à l'envahissement du Sénonien

lagunaire ainsi que la partie basse du Sénonien carbonaté par les eaux salées, qu'à un passage latéral de faciès.

La situation a même empiré. Les dernières études sont plus qu'inquiétantes : le cratère a doublé de taille, il fait désormais 600 mètres par 260 et sa progression est estimée à près d'un mètre par an. Les failles alentours se sont agrandies et selon Jean Margat, hydrologue de renom, chargé par l'Algérie d'étudier le problème à la fin des années 1980 : "La Sonatrach craint fortement que la cavité ne se propage très loin". Des tassements de terrains conséquents ont été observés sur plusieurs kilomètres dans les environs et de nouvelles failles menacent de se créer.

Mais le pire, c'est la pollution des eaux : en 1993, la nappe profonde, ressource vitale pour le Sahara s'écoulait vers la surface à un débit de 2 500 à 3 000 m<sup>3</sup> par heure. C'est le débit d'une grosse rivière souterraine ou le débit moyen du fleuve Le Var. Et cette eau qui remonte rapidement vers la surface en passant par le sel présente à son affleurement au milieu du cratère un taux de sel de 275 g par litre, l'équivalent de la Mer Morte. Or cette eau saumâtre en contact avec l'aquifère de surface progresse lentement mais sûrement vers l'est. Les projections les plus timorées de la Sonatrach font état d'une salinisation des eaux de surface d'Ouargla de 20 g/l d'ici 100 ans si rien ne bouge. Cela en fait tout simplement une eau inutilisable. Pire, la nappe profonde (dont les hydrologues de l'UNESCO reconnaissent qu'elle constitue une réserve unique pour l'Algérie et les pays environnants) s'épuise de plus en plus rapidement. OKN 32 compte pour environ 16 % de l'épuisement total de l'aquifère albo-barrémien (nappe profonde). Jean Margat s'émeut de ces chiffres : "Si l'aquifère profond ne risque pas grand chose parce qu'il est d'une superficie énorme, cette déperdition d'eau est un vrai problème localement et associée à la salinisation énorme de l'aquifère de surface, elle peut avoir des conséquences extrêmement graves pour la région." Le ton est donné et pourtant le problème demeure, le cratère s'agrandit et l'eau de la région est menacée...

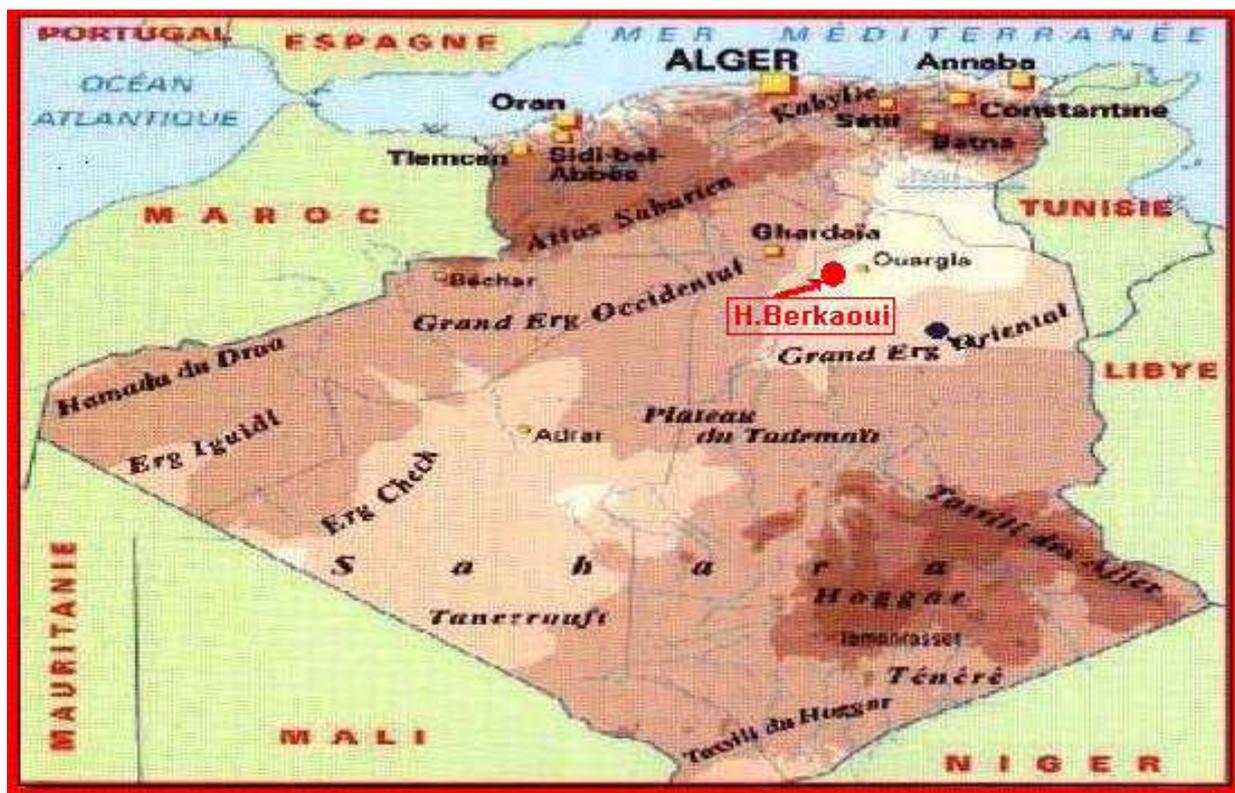
Cependant la Sonatrach a fait appel à des compagnies étrangères pour trouver une solution au problème... mais sur la base de données ancienne. Ainsi Peter Goode, vice-président d'IPM, un des derniers prestataires de services à avoir été contactés, explique "Je me suis rendu à Haoud Berkaoui en octobre 1998 afin de connaître les dernières mesures concernant le débit de la nappe profonde et le taux de sel dans l'eau mais je n'ai rien obtenu, c'était trop compliqué." Dans ses observations, il émet néanmoins de sérieux doutes : "Le long de la route qui mène à Haoud Berkaoui, il y avait des traînées blanches de sel et des plantations, des arbres pourris et asséchés. Je ne suis pas tout à fait en mesure de dire si c'était l'effet de la salinisation des eaux ou de la sécheresse." Peut-on penser que toutes les données concernant OKN 32 sont faussées ? IPM fait partie des trois cabinets de prestataires de service qui ont été contactés à ce jour pour trouver des solutions au problème de l'écoulement des eaux et des effondrements de terrain qui menacent les autres puits. "Les travaux

D'autres propositions plus sérieuses viseraient à injecter une substance chimique liquide à prise rapide qui résisterait à la pression et permettrait de boucher l'écoulement d'eau de la nappe profonde vers la surface. Une autre prévoirait de créer une énorme coulée de boue pour stopper le débit souterrain. Aucune de ces

propositions, formulées courant 1998, n'a pour l'instant été retenue. La pollution continue son chemin. Total, dont la responsabilité est en partie engagée dans la formation du cratère.

**Fig. 1 : LE CRATERE D'EFFONDREMENT DU PUIS OKN 32**





## POSITION DU Puits OKN 32

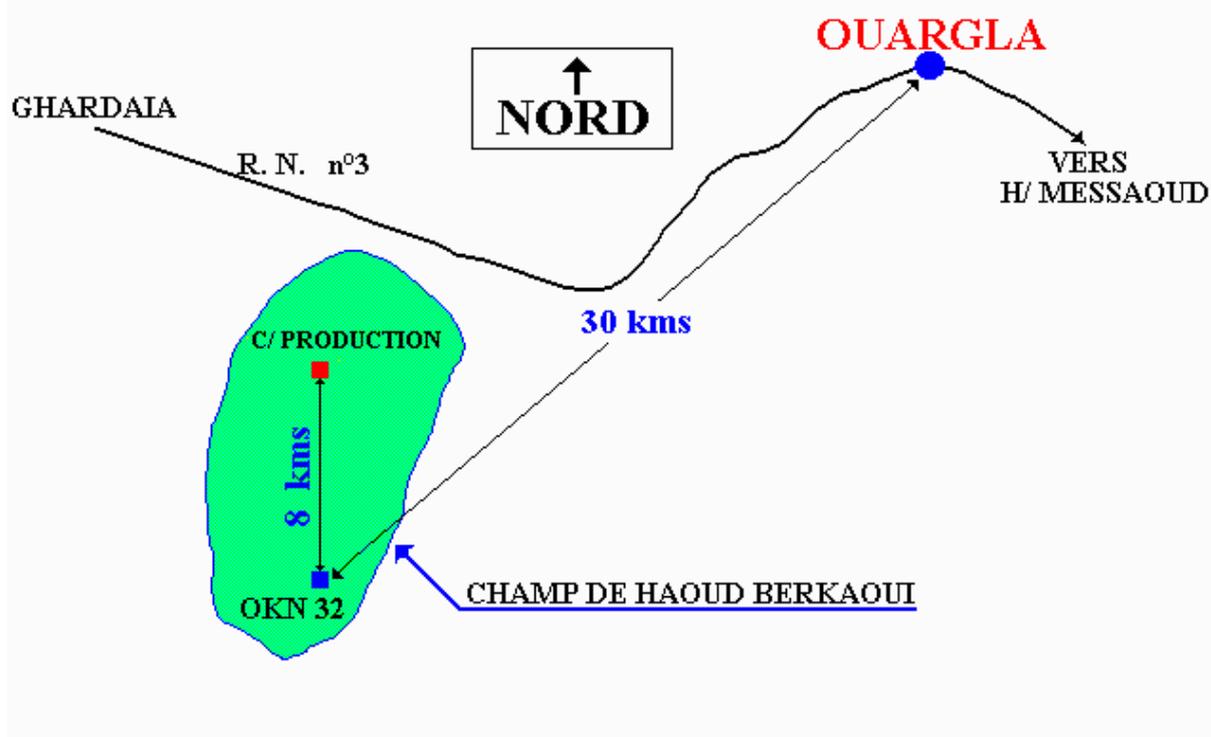
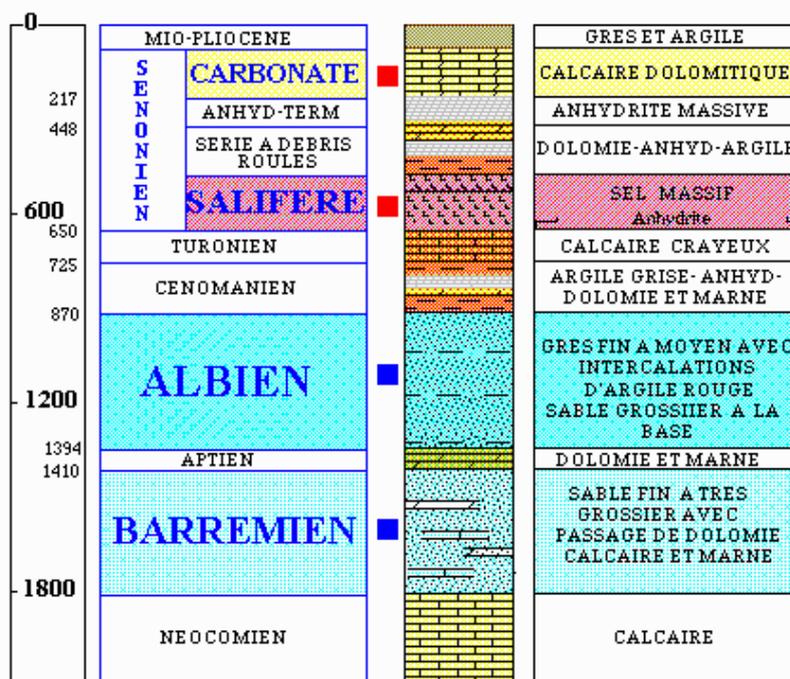


Fig. 2 : Situation géographique

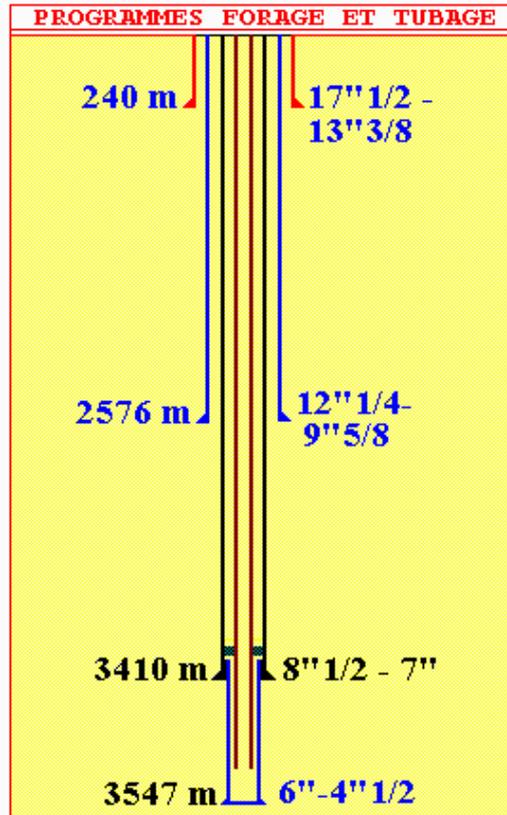
Fig.3 : Fiche technique du puits OKN 32

## LOG LITHOSTRATIGRAPHIQUE DU PUIT



## PROGRAMME DU FORAGE DU Puits

AGE	PROF	ETAGE
	80	MIO-PLIOCENE
C R E T A C E	217	<b>SE</b> CARBONATE
	448	<b>NO</b> ANHYDRITE TERMINALE
		<b>NI</b> SERIE A DEBRIS ROULES
		<b>EN</b> SALIFERE
	725	TURONIEN
	870	CENOMANIEN
J U R A S S I Q U E	1384	<b>ALBIEN</b>
	1410	APTIEN
	1799	BARREMIEN
	1980	NEOCOMIEN
	2207	MALM
	2357	<b>DO</b> ARGILEUX
	2465	<b>GG</b> LAGUNAIRE
	2731	LIAS ANHYDRITE MASSIF
	2793	SEL MASSIF
	2814	HORISON B
T R I A S	3054	SEL + ANHYDRITE
	3285	SEL MASSIF II
	3348	ARGIL SUPER
	3396	ARGILO SALIFER
	3406	ARGILE INFER
	3425	GRES B - T2
	3448	GRES B - T1
	3466	ANDESITE
	3517	SERIE INFERIEURE
		3517



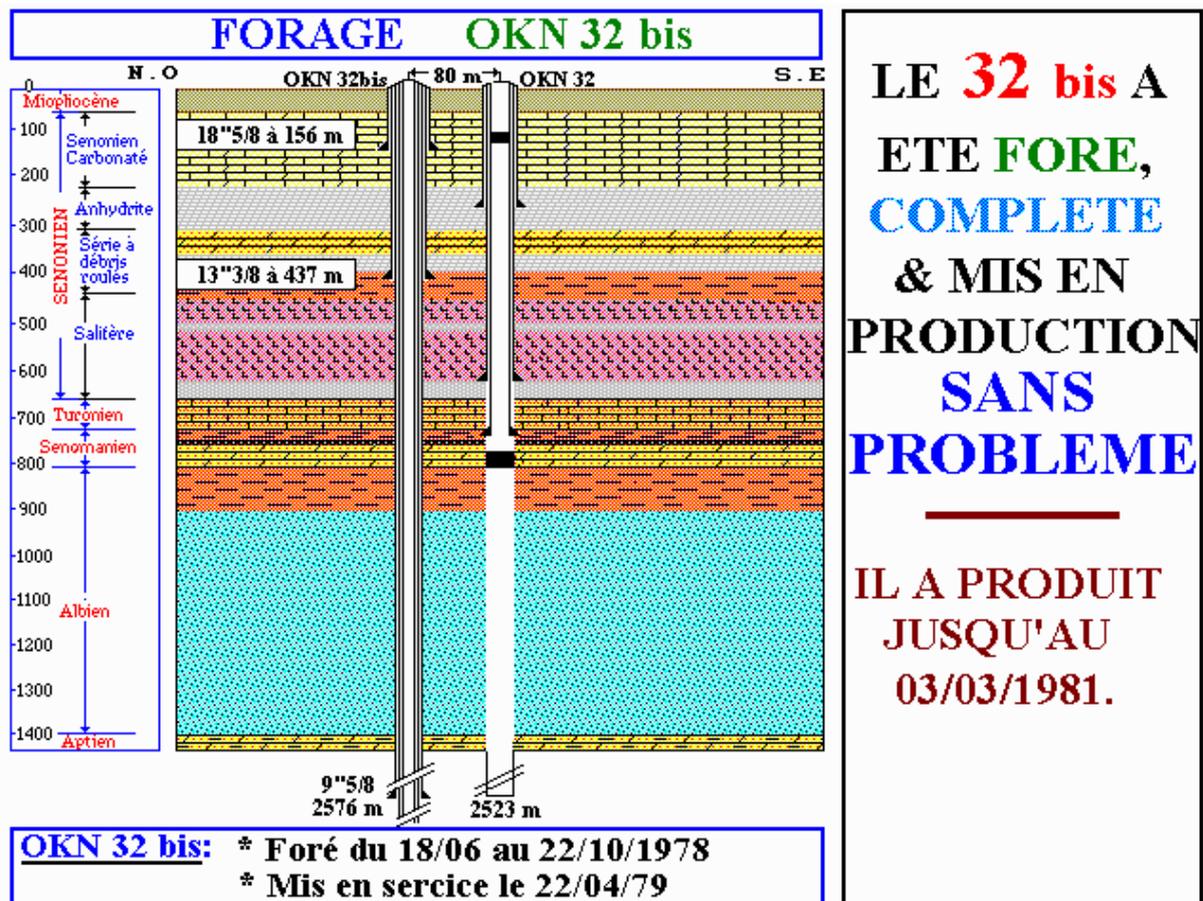


Fig. 4 : Evolution du phénomène Berkaoui, Effondrement des terrains pst-salifères

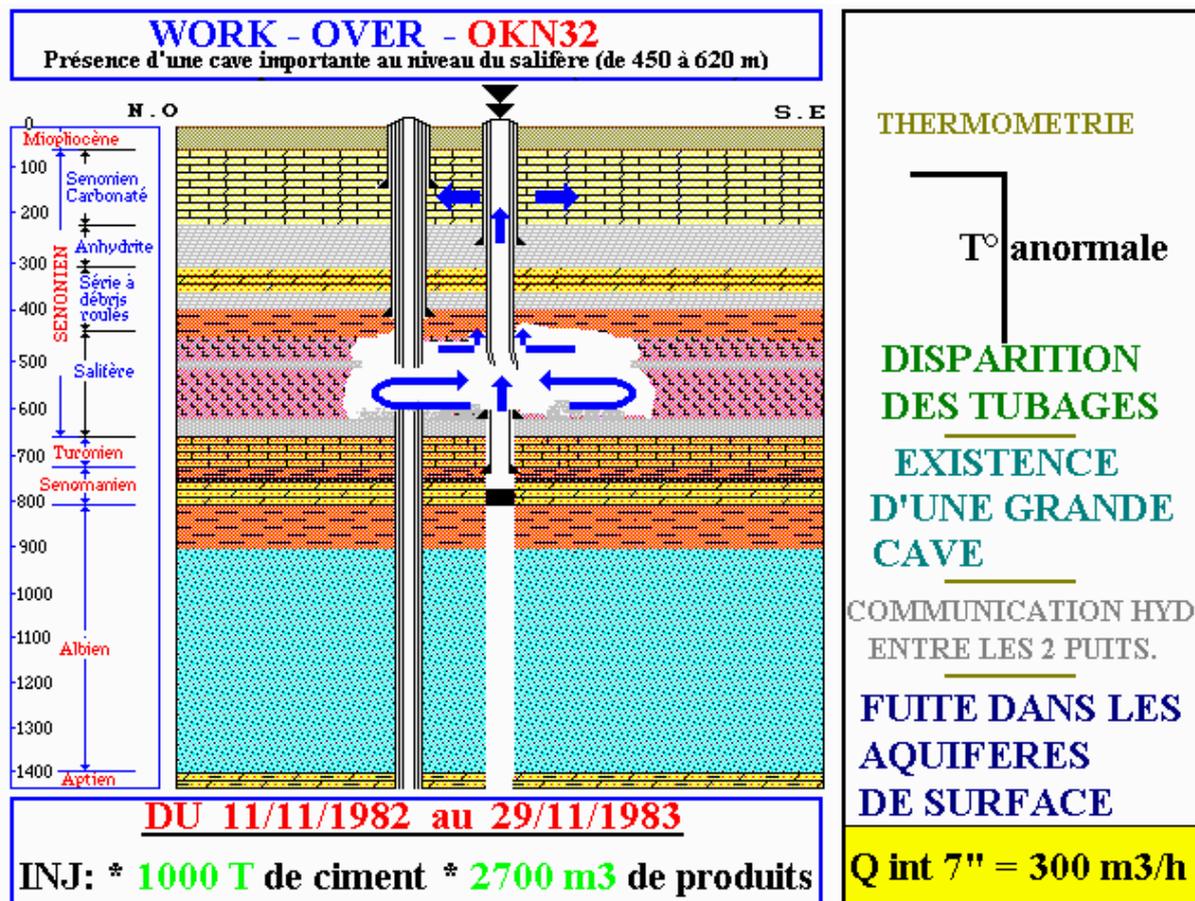


Fig. 5 : Reprise du puits OKN 32

Fig. 6 : **Genèse de la cave**

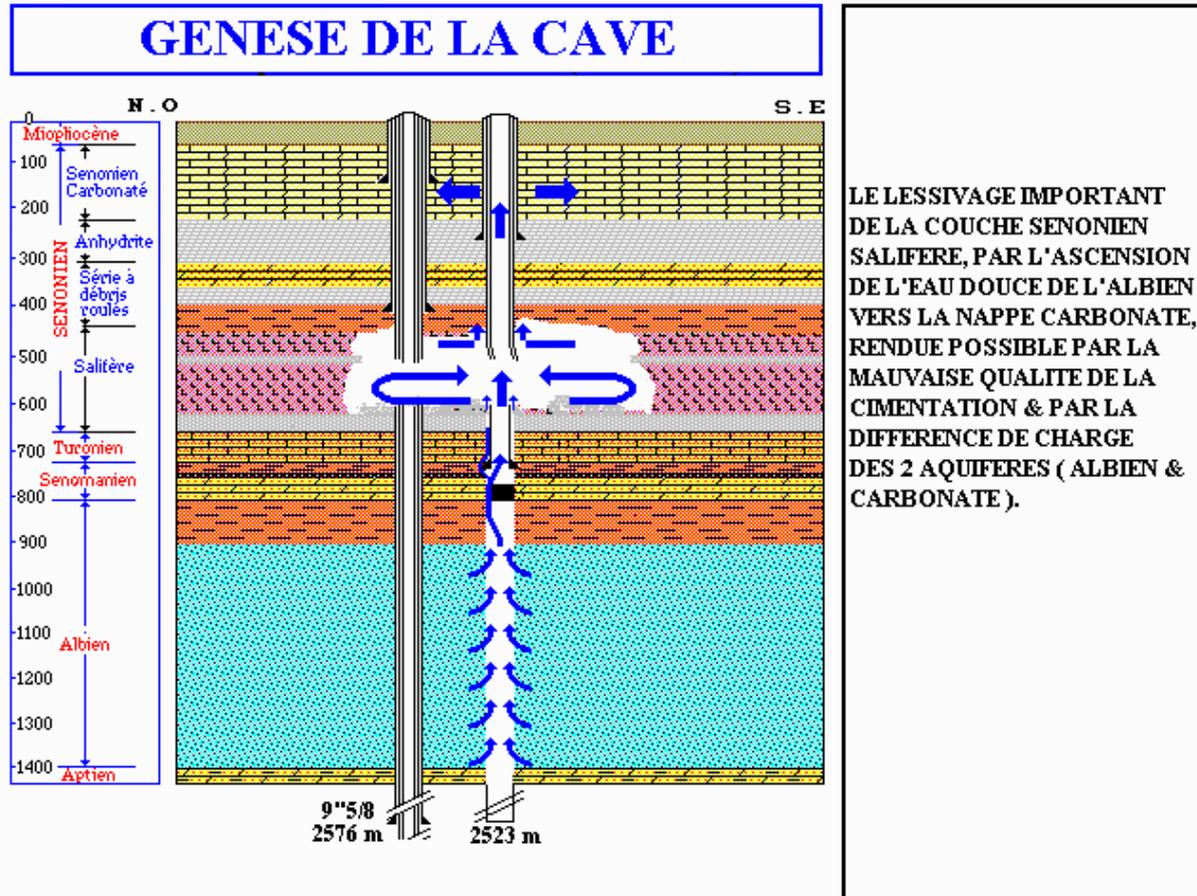


Fig.7 : **Le Cratère du puits OKN 32**

Fig. 8 : Evolution du phénomène Berkaoui, Effondrement Le 26 Octobre 1986

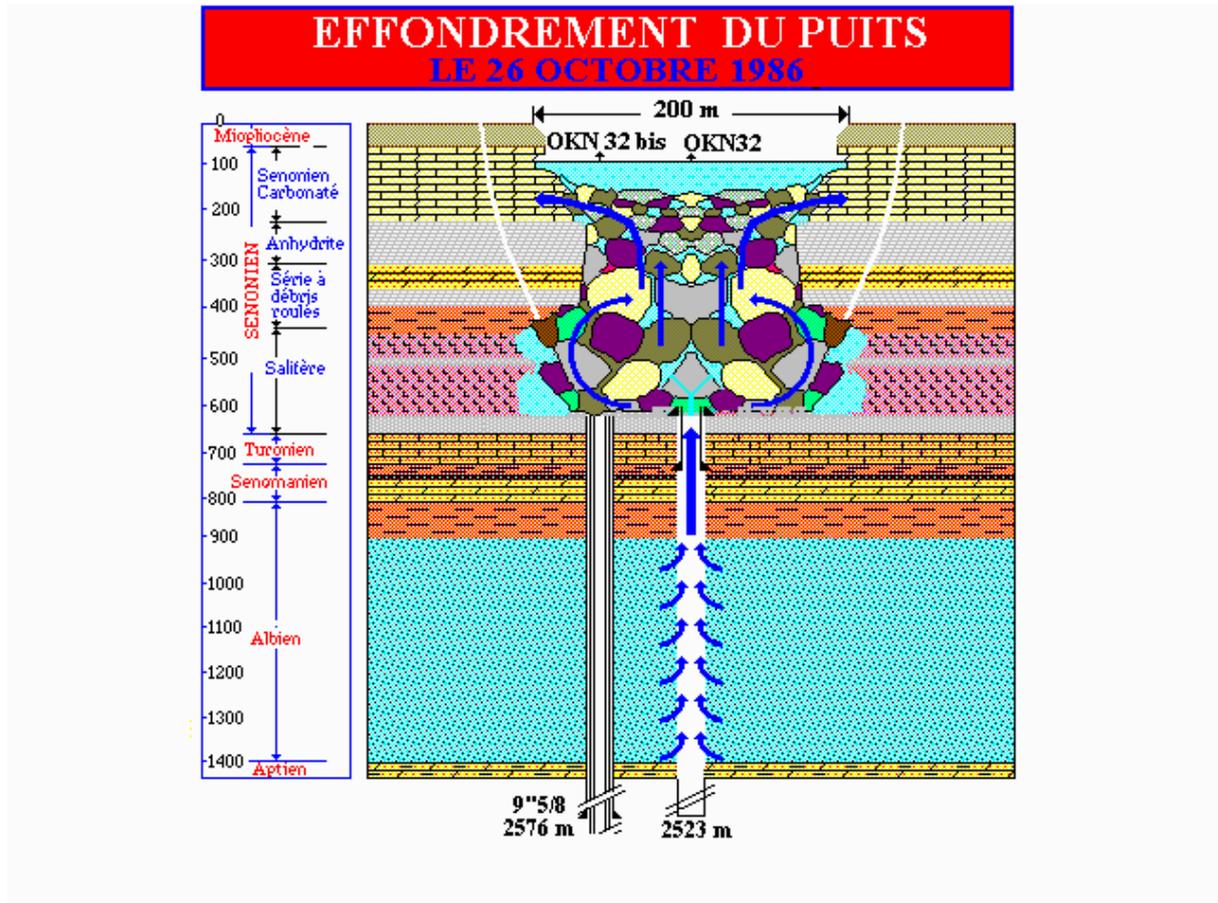




Fig.9 : **Fissures en surface du puits OKN 32**

## PLAN D'IMPLANTATION DES STATIONS TOPO

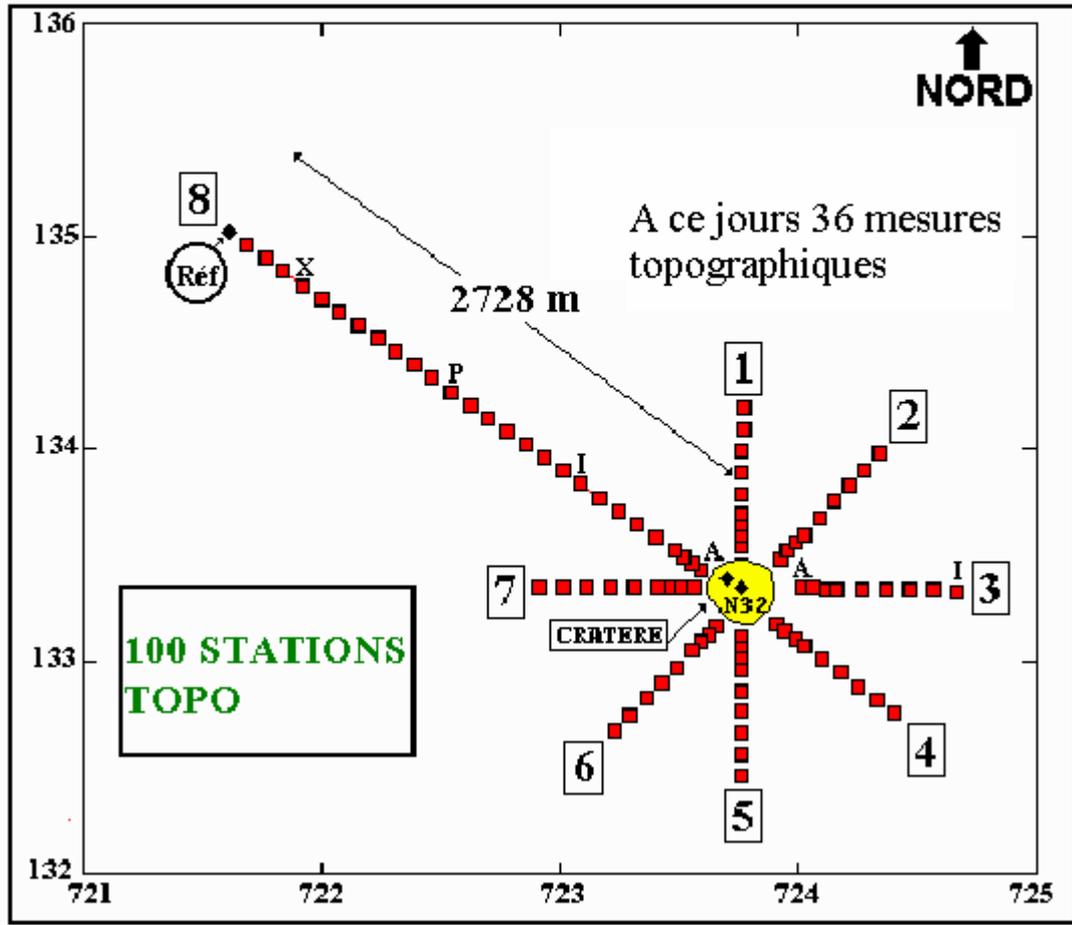


Fig.10 : Surveillance sismique du puits OKN 32

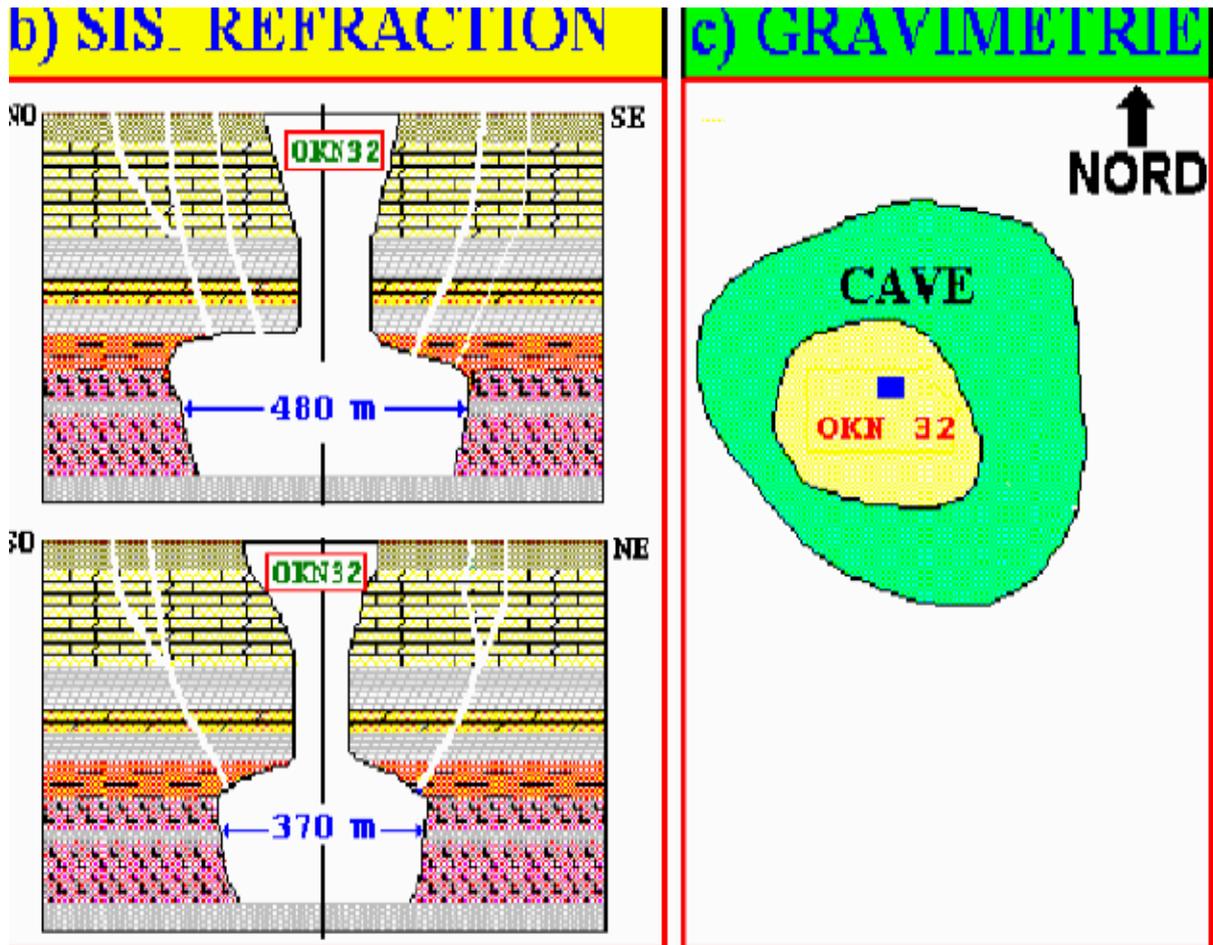


Fig.11 les mesures de la cave du puits OKN 32

## RESULTATS DES ETUDES & ANALYSES

L'Albien produit toujours environ 2500 m<sup>3</sup>/h.

La salinité résultante ne cesse de chuter

La contamination de l'aquifère en surface s'étend à 6 km dans la direction Sud-est.

La cavité est stationnaire 600 m de diamètre.

Le diamètre du cratère en surface est de 400 m, il est appelé à augmenter.

La distance de sécurité pour les puits de maîtrise est de 700 m.

Le domaine d'incertitude sur la position du puits OKN 32 est d'environ 13 m.

La ville d'Ouargla ainsi que, les installations pétroliers pourront être menacées par le phénomène du puits dans l'avenir.

### **Pour la neutralisation du puits OKN 32 :**

La localisation d'OKN 32 en réduisant au maximum le rayon d'incertitude autour du puits en prenant comme repère le 2<sup>ème</sup> puits OKN32 bis.

Le choix du pattern d'injection (observation, disposition, point d'injection

Le choix du type de colmatant.

Mesures de la salinité sur le puits.

Mesures hebdomadaire de la topographique de surface

Ecoute sismique permanente.

## CHAPITRE II : LES ASPECTS REGLEMENTAIRES LIES A L'ABANDON DE PUIITS.

### ❖ **Section1** : La réglementation générale :

Les mesures d'abandon, qui ont connu des évolutions notables dans le temps, sont actuellement définies par des textes réglementaires et techniques, notamment par le Décret exécutif n° 94-43 du 18 Chaâbane 1414 correspondant au 30 janvier 1994 fixant les règles de conservation des gisements d'hydrocarbures et de protection des aquifères associés.

Article 1er : Le présent décret a pour objet de fixer les règles de conservation des gisements d'hydrocarbures et de protection des aquifères associés, conformément à la législation et à la réglementation en vigueur dont notamment les dispositions de l'article 14 de la loi n°86-14 du 19 Aout 1986, susvisée, modifiée et complétée par la loi n° 91-214 du 4 décembre 1991.

Article 2 : Les dispositions du présent décret sont applicables à l'entreprise nationale titulaire des titres miniers, ainsi qu'à toute entreprise qui lui est associée et tout opérateur, lors de l'exercice de leurs activités de prospection, de recherche ou d'exploitation d'hydrocarbures.

Article 3 : Par « titre minier » au sens du présent décret, il faut entendre tout titre, autorisation ou permis de prospection, de recherche ou d'exploitation d'hydrocarbures liquides ou gazeux délivré par l'Etat à l'entreprise nationale conformément à la législation et à la réglementation en vigueur.

Article 4 : Par « entreprise associée » au sens du présent décret, il faut entendre toute personne physique ou morale étrangère ayant conclu avec l'entreprise nationale, un accord d'association pour la prospection, la recherche ou l'exploitation des hydrocarbures liquides ou gazeux, approuvé conformément à la législation et à la réglementation en vigueur.

Article 5 : Par « opérateur » au sens du présent décret, il faut entendre la personne physique ou morale assurant la conduite des opérations et travaux de prospection, de recherche ou d'exploitation d'hydrocarbures liquides ou gazeux, conformément à la législation et à la réglementation en vigueur.

Article 6 : Sans préjudice des dispositions de l'article 2 ci-dessus, lorsque le rôle d'opérateur n'est pas l'entreprise nationale, celle-ci est tenue de communiquer à l'opérateur les textes législatifs et réglementaires en vigueur dont notamment le présent décret et les textes pris pour son application, au cours de l'exécution des travaux de prospection, de recherche ou d'exploitation d'hydrocarbures liquides ou gazeux.

• **Paragraphe1** : Abandon des puits Art 161 à 166.

Article.161-Les puits d'exploitation ou de production susceptible d'être abandonnés peuvent être classés en quatre catégories.

1 – La première catégorie comprend :

Les puits d'exploration ou d'extension qui atteignent leur objectif mais qui se sont avérés secs ou producteurs d'eau ;

Les puits qui n'ont pas atteint leur objectif mais dont le forage est arrêté pour absence d'intérêt géologique ;

Les puits qui ont atteint la profondeur prévue en cas d'impossibilité de la poursuite du forage avec le programme de forage adopté.

2– La deuxième catégorie comprend les puits de production, d'injection et d'observation ayant rencontré de mauvaises caractéristiques de réservoir.

3– La troisième catégorie comprend les puits abandonnés pour des raisons techniques imputables à la mauvaise qualité des forages notamment, lorsque l'état du trou ne permet pas la poursuite du forage.

4– La quatrième catégorie comprend les puits devant être abandonnés pour :  
Invasion par l'eau du réservoir ou par l'eau injectée ;  
Etat de déplétion très avancée pour lequel le débit est inférieur au seuil de rentabilité visé à l'article 157, alinéa 1<sup>er</sup> ci-dessus ;  
Absence d'intérêt d'utilisation ultérieure ou l'injection ou l'observation, pour des raisons techniques et géologiques.

Article.162- Les puits des premières, deuxièmes et quatrièmes catégories ne sont abandonnés que s'ils ne peuvent être utilisés en tant que puits injecteur ou d'observation ou reconstitués sur d'autre niveau et après approbation du ministère chargé des hydrocarbures, au vu d'un dossier technique détaillé présenté par l'opérateur

Article.163- Le dossier technique concernant les formalités d'abandon des puits récrément forés, est préparé et présenté conjointement par l'opérateur forage et le titulaire du titre minier au ministre chargé des hydrocarbures.

Article.164- La réalisation des travaux d'abandon doit être conforme aux règles de la conservation telles que fixées par les dispositions du présent décret et au programme conçu par le titulaire du titre minier et l'opérateur et approuvé par le ministre chargé des hydrocarbures. La cimentation de la tête de puits est obligatoire.

Article.165- Lors de l'abandon des travaux ou des installations, quelle qu'en soit la cause, les personnes visées à l'article 2 du présent décret, doivent exécuter tous travaux qui leur seraient éventuellement prescrits par le ministre chargé des hydrocarbures, notamment dans l'intérêt de la sécurité, de la conservation des gisements et des nappes aquifères.

A défaut d'exécution des travaux prescrits et après mise en demeure restée sans effets dans un délai fixé en fonction de la nature et du degré de gravité de la situation, il y sera pourvu d'office à la diligence des ministères chargés des hydrocarbures aux frais des personnes concernées.

Article.166- A l'exception totale ou partielle d'un titre minier quelle qu'en soit la cause, les sondages, tubages, tête de puits et autres ouvrages et installations, doivent être laissés en place.

Les matériels précités sont attribués sans indemnité à l'Etat.

Sous l'autorité et le contrôle du ministre chargé des hydrocarbures, l'entreprise nationale est chargée de la surveillance et de la sauvegarde de ces matériels dans des conditions à même de permettre leur remise éventuelle en service et d'éviter toute détérioration susceptible de causer des dommages à l'environnement (éruption de puits d'eau, fuite de gaz, etc...) ou de générer des problèmes affectant la sécurité

• **Paragraphe2** : Fermeture temporaire Art 158 à 160.

Article.158- Sous réserve des dispositions de l'article 157, alinéa 1<sup>er</sup> ci-dessus, la fermeture temporaire des puits doit se faire conformément aux dispositions du présent décret.

Les puits suivants peuvent être fermés temporairement :

- 1- Puits d'exploitation et d'extension, qui produisent de l'huile commerciale, jusqu'à la mise en place des installations de surface ;
- 2- Puits d'exploration et d'extension, extérieur à la zone à l'huile, s'ils peuvent être utilisés comme injecteurs lors de l'exploitation industrielle du gisement ;
- 3- Puits qui produisent une huile de qualité médiocre, au cas où leur production n'est pas possible ou souhaitée ;
- 4- Puits fermés pour éviter l'invasion du réservoir par le gaz ou par l'eau ;
- 5- Puits complètement ennoyés s'ils peuvent être utilisés comme injecteurs dans le cadre du projet de développement ;
- 6- Puits produisant avec un fort pourcentage d'eau dont l'exploitation n'est pas rentable actuellement, à moins que leur fermeture ne soit nuisible aux conditions d'exploitation ;
- 7- Puits fermés pour des raisons de sécurité ou de pollution

Article.159- Toute fermeture temporaire supérieure à trois mois doit faire l'objet d'une demande d'autorisation accompagnée d'un dossier technique détaillé, adressé au Ministre chargé des hydrocarbures.

Article.160- Les puits fermés temporairement doivent être entretenus régulièrement (étanchéité en tête de puits, notamment)

- **Paragraphe3** : Tubage et cimentation Art 125 à 135.
- **Article.125**-Les tubages doivent être placés de telle sorte qu'ils permettent :
  - La couverture des terrains de mauvaise tenue ;
  - l'isolement entre les couches qui le nécessitent ;
  - L'approfondissement dans des conditions telles que l'on puisse contrôler une venue éventuelle ;
  - le bon déroulement des essais de production éventuels ;
  - Les tubages doivent être constitués d'éléments neufs.
  - Les tubages destinés au chantier de forage doivent être conformes aux spécifications standards.
- **Article.128**-Le but d'une cimentation est de réaliser essentiellement l'étanchéité et accessoirement une résistance mécanique. L'anneau de ciment entre tubage et formation doit être imperméable et, en conséquence, adhérant au tubage et à la cimentation. Pour ce faire, il y'a lieu d'utiliser un laitier approprié, de remplacer toute la boue de l'espace annulaire par ce laitier, d'éviter la contamination de la boue, de supprimer le mud-cake et d'effectuer la cimentation sans perte.
- **Article.130**-Le top ciment derrière la colonne est fixé dans chaque cas en fonction des conditions du puits et, en général, il doit se situer cinquante(50) mètres au minimum du toit de la couche à isoler
- **Article.134**-le test d'étanchéité des colonnes doit se faire après la prise du ciment et son reforage éventuel mais, dans certains cas ou l'on craint de craquer le ciment, il est recommandé de faire le test immédiatement après la mise en place du ciment la pression imposée doit être conforme aux normes en vigueur. La colonne est considérée étanche si, au bout de quinze(15) minutes, la diminution de la pression mesurée en tête de colonne ne dépasse pas dix pour cent (10%).
- **Article.135**- La qualité de la cimentation doit être contrôlée par un enregistrement du type CBL pour les colonnes de production, et du type CBL ou thermométrie pour les autres.
- L'enregistrement du type CBL doit être effectué après séchage dix jours(10) complets du ciment et chaque fois que cela est possible au moins dix jours après la cimentation.

❖ **Section2** : La réglementation élémentaire interne de l'entreprise.

- **Paragraphe1** : Le programme d'abandon(les intervenants)

Tous les travaux devant être réalisés pour l'abandon du puits et cela conformément aux dispositifs du décret exécutif fixant les règles de conservation des gisements d'hydrocarbures et de protection des aquifères associés.

- **Demandeur** : le demandeur est l'une des divisions de l'Activité Amont, Exploration, Production, Association responsable d'un puits, à savoir :  
La Division Exploration pour des puits d'exploration.  
La Division production pour des puits d'exploitation ou de développement.  
La Division Association pour les puits exploités par Sonatrach en association ou en groupement.

- **Approbation** : accord donné par la division PED sur la demande d'abandon du puits d'une part et sur le programme d'abandon d'autre part  
Demande d'autorisation : demande adressée par la Division PED à l'agence ALNAFT afin d'approuver le programme d'abandon du puits.

Fiches de données techniques du puits : elle contient les paramètres techniques permettant d'identifier parfaitement l'ouvrage, à savoir la pression du puits, la porosité, la perméabilité ou toutes autres caractéristiques pouvant déterminer le programme d'abandon adéquat.

- **Procédures**

#### A. **Rôles et responsabilités**

Le demandeur (la Division production, l'Exploration et l'Association) :

Le demandeur (Directeurs Régionaux et Groupement) est chargé après décision de demande d'abandon et l'établissement du dossier technique du puits de le transmettre à la Division Forage pour l'établissement du programme d'abandon. Par la suite il est chargé, de transmettre le programme d'abandon à la Division PED.

- **La Division Forage** : la Division Forage est chargée de l'établissement du programme d'abandon du puits selon ses caractéristiques techniques et conformément à la procédure d'abandon et à la réglementation en vigueur.

- **La Division PED** : est chargée

Si abandon pour des raisons de sécurité :

D'approuver le programme d'abandon et de transmettre la demande à l'agence ALNAFT.

Si abandon pour des raisons techniques :

D'examiner la demande d'abandon des puits et cela selon le plan de développement et les projets attribués à ce puits.

De donner son accord sur le programme d'abandon du puits établi par la Division forage, ou d'émettre d'éventuelles réserves.

De demander l'autorisation d'abandon à l'agence ALNAFT.

Si le puits à abandonner est un puits d'exploration la division Exploration transmettra sa demande directement à l'agence ALNAFT et en informera la Division PED.

- **ALNAFT**

L'agence ALNAFT est chargée d'étudier le programme d'abandon affilié aux puits. Le cas échéant elle émet des réserves sur le programme qui sera retransmis au demandeur par le biais du PED.

L'agence est également chargée de donner son accord pour toute fermeture supérieure à trois (3) mois.

**B. Exigences de la procédure :**

- **Décision d'abandon :**

A la rencontre d'un problème technique ou sécuritaire sur un puits nécessitant l'abandon le responsable du puits (Division Exploration, Production, Association) fournira les documents techniques concernant le puits à la Division Forage pour l'élaboration du programme d'abandon.

- **Programme d'abandon**

Le programme d'abandon est établi par la Division Forage conformément à la loi et à la procédure d'abandon.

- **Approbation par PED**

Après élaboration du programme d'abandon celui-ci transmettra à la Division PED qui devra l'examiner.

Quand il s'agit d'un abandon pour des raisons techniques, la Division PED étudiera les autres éventualités et en référera au demandeur.

En effet, elle peut décider de l'abandon, de la reprise du puits, ou de sa fermeture temporaire.

Dans le cas d'un abandon, elle soumet une demande d'autorisation à l'agence ALNAFT.

S'il est décidé d'une fermeture temporaire supérieure à trois mois le PED doit également transmettre une demande d'autorisation accompagnée d'un dossier technique détaillé à l'agence ALNAFT.

Si le puits est abandonné pour des raisons de sécurité le PED approuvera impérativement la demande d'abandon.

- **Accord de l'Agence ALNAFT**

A la demande du PED l'Agence ALNAFT devra examiner le programme d'abandon du puits ou le cas échéant émettre des réserves qui seront prises en charge lors de l'abandon. La décision de l'Agence sera transmise à PED qui se chargera de la transmettre au demandeur.

- **ALNAFT**

.Art. 12. Il est créé deux agences nationales dotées de la personnalité juridique et de l'autonomie financière dénommées .agences hydrocarbures. :

. Une agence nationale de contrôle et de régulation des activités dans le domaine des hydrocarbures ci-après désignée " autorité de régulation des hydrocarbures " ;

. Une agence nationale pour la valorisation des ressources en hydrocarbures ci-après désignée "ALNAFT".

Les agences hydrocarbures ne sont pas soumises aux règles applicables à l'administration notamment en ce qui concerne leur organisation, leur fonctionnement et le statut du personnel qui y exerce.

Les agences hydrocarbures tirent leurs ressources conformément à l'article 15 de la présente loi.

Elles disposent d'un patrimoine propre.

La comptabilité des agences hydrocarbures est tenue en la forme commerciale. Elles doivent dresser un bilan propre. Elles sont soumises au contrôle de l'Etat conformément à la réglementation en vigueur.

Elles sont régies par les règles commerciales dans leurs relations avec les tiers.

Chaque agence hydrocarbures est dirigée par un comité de direction.

Pour mener à bien sa mission, le comité de direction s'appuie sur des directions spécialisées.

L'agence est dotée de commissaires aux comptes pour le contrôle et l'approbation des comptes de l'agence, désignés conformément à la réglementation en vigueur.

Le comité de direction est composé d'un président et de cinq (5) membres, dénommés directeurs, nommés par décret présidentiel, sur proposition du ministre chargé des hydrocarbures

Autorité de Régulation des Hydrocarbures : L'Agence Nationale de Contrôle et de Régulation des Activités dans le Domaine des Hydrocarbures, appelée « Autorité de Régulation des Hydrocarbures » ARH, a été créée en application de l'article 12 de la Loi 05-07 relative aux Hydrocarbures. L'ARH est une agence indépendante placée sous l'autorité du Ministre de l'Énergie et des Mines.

Conformément à l'article 13 de la loi 05-07 relative aux hydrocarbures les principales missions de l'ARH s'énumèrent comme suit :

- ✓ Régulation du marché national des produits pétroliers dont les prix sont administrés;
- ✓ Réglementation technique appliquée dans le domaine des hydrocarbures ;
- ✓ Réglementation relative à la tarification et au principe de libre accès des tiers aux infrastructures de transport par canalisation et de stockage moyennant un tarif non discriminatoire,
- ✓ Réglementation en matière d'hygiène sécurité et environnement (HSE) et de gestion des risques majeurs;
- ✓ Cahier des charges de la réalisation des infrastructures de transport par canalisation et de stockage ;
- ✓ Application des normes standards établis sur la base des meilleures pratiques internationales ;

- ✓ Examen des demandes d'attribution de concession de transport par canalisation et soumission des recommandations au ministère en charge des hydrocarbures ainsi que du contrôle de leur application ;
- ✓ Gestion de la caisse de péréquation et de compensation des tarifs de transport des hydrocarbures.

Organisation : Outre le Secrétariat Général, l'ARH est structuré en cinq divisions d'activité, à savoir :

- ✓ Division activité contrôle technique
- ✓ Division activité HSE
- ✓ Division activité transport par canalisation
- ✓ Division activité réglementation
- ✓ Division activité régulation économique et affaires juridiques

- **Paragraphe2** : Schéma d'un logigramme (englobant les différentes étapes de la procédure).  
Les différentes étapes et le cheminement de la procédure

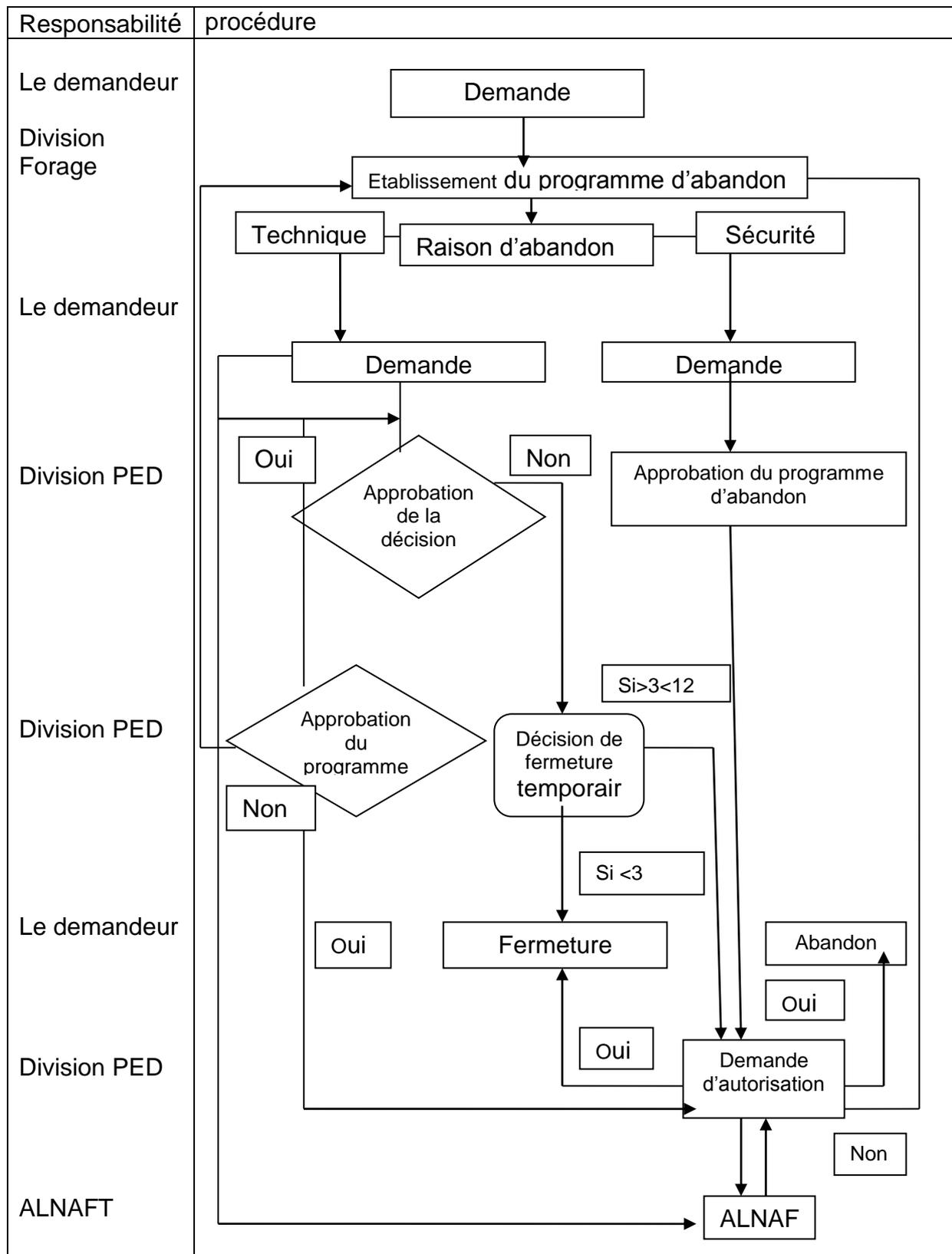
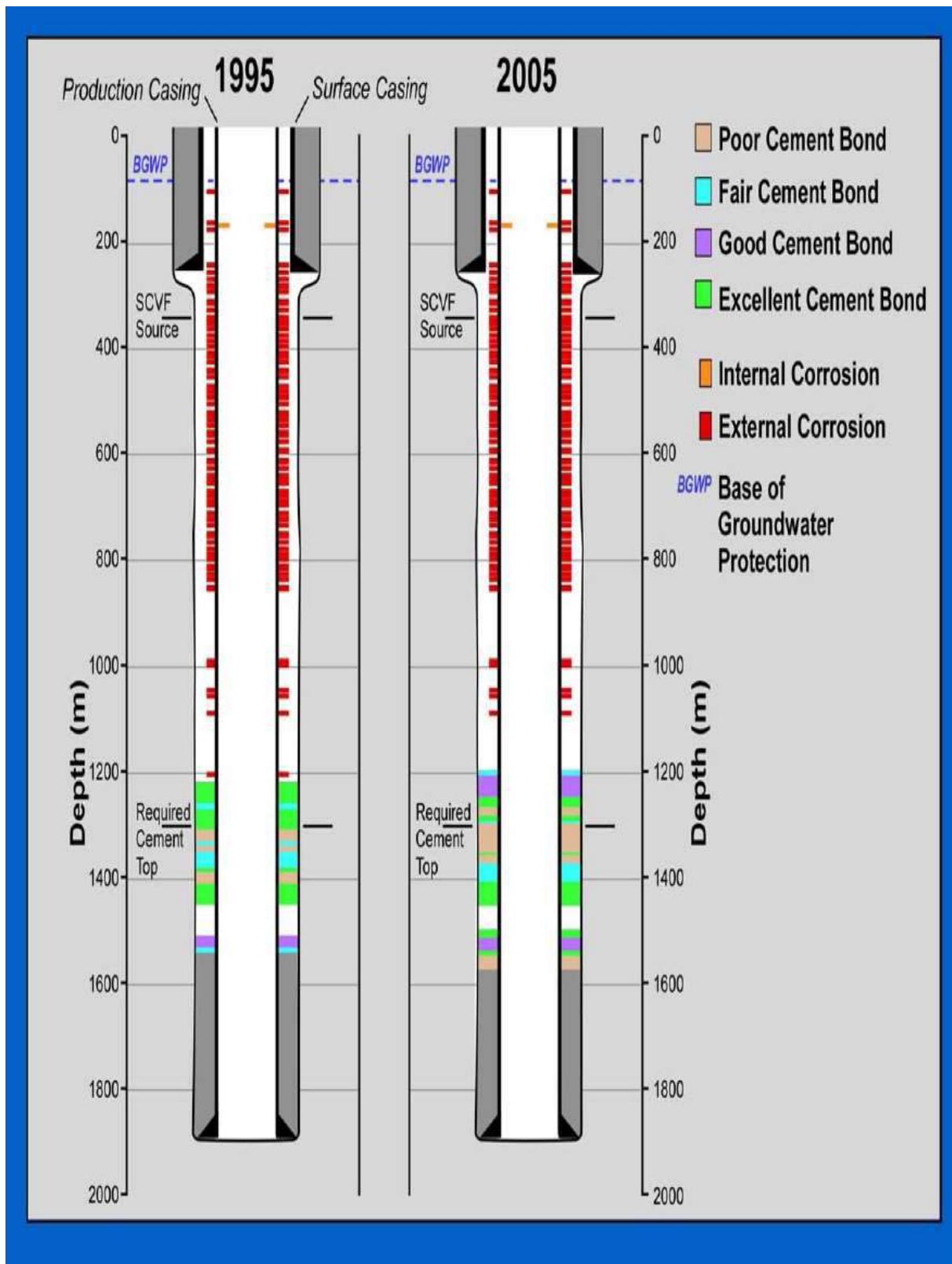


Figure 11. Sur cette figure, l'état de la cimentation est qualifié de « mauvais » (beige) à « excellent » (vert).



## ❖ **CONCLUSION**

L'éruption de l'Albien à OKN 32 est devenue un phénomène très complexe à étudier surtout, en termes d'évolution de ses conséquences. Les résultats actuels montrent que le phénomène est en régression sur le plan de lessivage du sel et que la cave souterraine est en cours de stabilisation. Néanmoins, la stabilisation géo mécanique des terrains de surface va probablement entraîner un agrandissement important du cratère. Aussi, le réseau de surveillance hydrogéologique, géotechnique et sismique permettant de suivre l'évolution de l'impact de ce phénomène sur l'environnement doit être nécessairement entretenu et complété en entreprenant certaines actions à savoir:

- ✓ La condamnation de l'accès à la zone du cratère surplombant la cave et l'adaptation du système de surveillance sismique au nouveau danger que représente une possible rupture du surplomb de la cave.
- ✓ L'amélioration de la surveillance de l'exutoire du carbonate par la reprise partielle des piézomètres existant et par le forage de piézomètres complémentaires.
- ✓ La poursuite des modèles de transport de sel dans le carbonate afin d'introduire les nouvelles données de suivi et d'affirmer notre prédiction de comportement. La faisabilité de la maîtrise ne sera validée que par l'exécution d'un forage qui intercepte le trajet du puits OKN 32 ainsi que des fluides de maîtrise.

La mise en application du principe de maîtrise d'OKN 32 doit se faire en phases, après la réalisation d'un puits de reconnaissance qui conclut la phase de faisabilité et participe à l'opération de réparation:

- ✓ forage d'un ou plusieurs puits de maîtrise;
- ✓ mise en communication du ou des puits de maîtrise avec OKN 32;
- ✓ forage de puits d'observation;
- ✓ maîtrise par injection d'un fluide lourd. A ce stade, l'équilibre nécessite un pompage;
- ✓ colmatage définitif sur toute la hauteur de l'Albien et jusqu'au conduit Cénomaniens-Turonien par l'injection d'un ciment qui bouchera définitivement OKN 32.

Le passage entre la phase maîtrise de débit et le colmatage doit être quasiment instantané car tout arrêt prolongé favoriserait la production de l'Albien et ainsi la réduction à néant des effets de la phase préparatoire de blocage des écoulements. Il est cependant nécessaire de rappeler l'importance des fluides qui peuvent traiter ce problème. Ces derniers dépendront évidemment de l'objectif à atteindre.

L'objet du présent rapport est d'établir, à destination de l'Administration centrale et des services instructeurs concernés par la problématique, une synthèse des connaissances et des pratiques en matière d'abandon des puits de gaz naturel, d'hydrocarbures liquides ou liquéfiés et de produits chimiques à destination industrielle. Ce document pourra éventuellement servir de base à l'élaboration ultérieure de règles de bonne pratique destinées à assurer dans les meilleures

conditions, lors de l'abandon d'un puits, la sécurité à long terme des personnes et des biens, ainsi que la préservation de l'environnement, autour du site concerné. Le document traite de la problématique de l'abandon dans son ensemble, couvrant à la fois les aspects réglementaires, la description des opérations techniques d'abandon, l'analyse des cas d'accidents les plus intéressants du point de vue de l'abandon, l'identification des principaux aléas ou impacts liés à l'abandon d'un puits, le recensement de méthodes et éléments bibliographiques pouvant aider à l'évaluation des aléas et enfin, la présentation de techniques qui pourraient être envisagées pour la surveillance des puits après ou au cours de leur abandon. Le document s'attache à couvrir les différents types de puits. Il en ressort principalement les points suivants :

D'un point de vue réglementaire, si le cadre réglementaire est globalement bien posé, il apparaîtrait nettement utile de disposer d'un guide de bonnes pratiques déclinant de façon plus précise les règles à respecter lors des opérations d'abandon, les principes à d'opter pour la fermeture ou abandon des puits, ou encore les règles de surveillance à appliquer dans tel ou tel contexte d'abandon. Le présent document pourra, nous l'espérons, servir de base à l'élaboration d'un tel guide, par les acteurs de la profession.

Ainsi qu'une analyse précise des accidents recensés dans le domaine d'abandon des puits et de leurs circonstances ont permis d'identifier les principaux phénomènes redoutés susceptibles de survenir à plus ou moins long terme sur un puits abandonné.

Cette identification des phénomènes redoutés, et de leurs mécanismes initiateurs, a abouti à la construction d'arbres de causes, les principaux phénomènes susceptibles de survenir sont : une pollution des nappes d'eau souterraines, une émanation de gaz résiduel en surface ou des mouvements de la surface du sol.

Le puits peut alors servir de chemin d'écoulement préférentiel et mener à des transferts de fluides incontrôlés à travers le recouvrement (fuite de saumure à partir d'une cavité saline, fuite de gaz résiduel à partir d'un réservoir en milieu poreux, lessivage accidentel d'un niveau évaporitique du recouvrement par de l'eau douce) dont les conséquences peuvent être préjudiciables pour les personnes, les biens ou l'environnement.

Une attention particulière doit donc être portée, dans le cadre d'une procédure d'abandon, sur les opérations de fermeture des puits.

Les phénomènes ci-dessus peuvent également résulter, non pas de la défaillance d'un puits abandonné mais de la réalisation d'un forage tiers, quelques dizaines ou quelques centaines d'années après l'abandon, qui viendrait accidentellement percer la couverture (d'un stockage en milieu poreux) ou le toit (d'une cavité saline) ou mettre en communication, au sein du recouvrement, si l'on excepte le contexte salin où le SMRI a contribué de manière active aux recherches sur l'abandon depuis une dizaine d'années, il apparaît clairement que l'abandon des puits reste une thématique encore jeune, globalement peu développée, sur laquelle on ne dispose guère de données et de retours d'expérience à l'heure actuelle.

Dans ce sens, même si des recommandations et règles de bonnes pratiques doivent être rapidement fixées par l'Administration du fait du dépôt actuel des premiers

dossiers d'arrêt, il semble dans le même temps nécessaire de poursuivre les efforts de recherche et de conduire de nouvelles études (non seulement dans le contexte salin mais aussi dans celui des puits abandonnés permettant de renforcer notre capacité d'évaluation des risques liés à l'abandon des puits.

En particulier, il semblerait utile de mener des expérimentations d'abandon in situ (effort déjà entrepris au sein de la Sonatrach) mais qui mériterait d'être poursuivi et étendu à d'autres contextes, permettant aux exploitants et aux experts de disposer davantage de données auprès desquelles ils pourraient confronter leurs modèles, outils et méthodes. Ces expérimentations seraient également l'occasion, pour l'Administration Algérienne d'évaluer la pertinence des règles de bonnes pratiques qu'elle serait susceptible d'émettre dans les prochaines années.

## ❖ Bibliographies

- ✚ Agence de l'eau Seine Normandie "Etude et suivi des règles engendrés pour les forages profonds sur les nappes d'eau souterraines.
- ✚ Bennani M., Josien J.P., Bigarre P., 2004 : « Surveillance des risques d'effondrement dans l'après mine, besoin, méthode ; apport de la macrosismique », Revue française de Géotechnique, N°106-107, 1<sup>er</sup> et 2<sup>eme</sup> trimestre 2004.
- ✚ Synthèse de l'état des connaissances et profondeur en matière d'abandon. (Laboratoire de mécanique des solides de l'école polytechnique-France).
- ✚ Bérest P, Ledoux E, Tillie B, 1982 : »Etanchéité des stockages d'hydrocarbures liquéfiés en galeries non revêtues dans un milieu aquifères » Rev IFP, vol 37 n°03 ; Mai-juin 1982.
- ✚ Brouard B,P Bérest,C.Caligaris,A Frangi,G Hévin,Thierry Pichery,2006 « Numerical Copulations of the Mechanical Behavior of Cementing Casing Submitted to large and fast Pressure variations » Fall 2006 conference 1-4October,berlin ,Germany.
- ✚ Fredrich J.T, A.F fossum, 2002 « Modélisation géo mécanique 3d à grande échelle de réservoirs : exemple en Californie », vol, 57, n°05 p423-431.
- ✚ L'eau et l'environnement en Algérie Dar SALAH, Marsa Ben Mhidi, Octobre 2002.
- ✚ La politique de l'environnement par Michel PRIEUR. édition Dalloz (4eme Editions)-Paris 2001 pp.25-46.
- ✚ Divers site internet « sonatrach.dz, IFP de Paris ; institut français de recherche pour le développement ;
- ✚ Procédure générale mise en sécurité du puits Division Forage Sonatrach.
- ✚ Suivi de l'évolution de l'effondrement d'OKN 32 ; Rapports internes Sonatrach, Division Production 1990, 1992,1994 et 1995.
- ✚ Rapport sur l'historique de l'incident d'OKN 32, à la partie du nord du Sahara Algérien.
- ✚ Journal officiel de la république algérienne n°08 du 3 Ramadhan 1414 du 13 Février 1994.
- ✚ Rapport de procédure d'abandon de puits (Task force-Sonatrach).

- ✚ Fiche technique du puits LA2, juin 2005 (exemple d'abandon suite aux procédures), rapports internes Sonatrach/Division production région de Gassi Touil.

❖ **FIGURES**

- ✚ **Fig.1:** Situation géographique du puits OKN 32.
- ✚ **Fig.2 :** Fiche Technique du puits OKN 32.
- ✚ **Fig.3 :** Le cratère d'effondrement du puits OKN 32.
- ✚ **Fig.4 :** Evolution du phénomène Berkaoui, Effondrement des terrains post-salifères.
- ✚ **Fig.5 :** Reprise du puits OKN 32.
- ✚ **Fig.6 :** Genèse de la cave du puits OKN 32
- ✚ **Fig.7 :** photos du cratère
- ✚ **Fig.8 :** Effondrement du puits OKN 32.
- ✚ **Fig.9 :** Fissures en surface du puits OKN 32.
- ✚ **Fig.10 :** Surveillance sismique du puits OKN 32
- ✚ **Fig.11 :** Mesure de la cave du puits OKN 32
- ✚ **Fig.12 :** Schéma d'un logigramme englobant les différentes étapes et le cheminement de la procédure Sonatrach.
- ✚ **Fig.13 :** Etat d'abandon type du puits d'exploration en 2005(suivant la procédure réglementaire).
- ✚ Tableau montrant la propagation de la contamination par les eaux salées du puits OKN 32

**6) REMERCIEMENTS**

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce travail et permis d'aboutir à bien cette étude de fin de mémoire pour l'obtention de mon diplôme « DPGS Droit de l'environnement ».

Mes responsables,

- ❖ Mr. MEHNENE Driss : Mon encadreur (CPE Ain El bia Arzew).
- ❖ Mr. BENACER Yousef : Responsable de la Formation "DPGS Droit de l'environnement "Université d'Oran-Faculté de Droit et des Sciences Politiques
- ❖ Mr. MOUNA Yahia : Chef de Division EP/SH/DP- Gassi Touil.
- ❖ Mr. SEBA Hadj Brahim : Chef de Service Géologie SH/DP-Gassi Touil