

PREMIER MINISTRE

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

5.0

METHODES D'ETUDE DES FORAGES  
REALISES AUTOUR DES EXPLOSIONS  
NUCLEAIRES SOUTERRAINES  
AU SAHARA

Première partie :  
ETUDE DES ECHANTILLONS DE ROCHE

*par*

*Serge DERLICH*

SOUS-DIRECTION DES ESSAIS

Centre d'Etudes de Bruyères-le-Chatel

Rapport CEA - R - 3762 (1)

1969

Ba

SERVICE CENTRAL DE DOCUMENTATION DU C.E.A

CEA-R-3762(1) - DERLICH Serge

METHODES D'ETUDE DES FORAGES REALISES AROUND  
DES EXPLOSIONS NUCLEAIRES SOUTERRAINES AU SAHARA  
1ère partie : ETUDE DES ECHANTILLONS DE ROCHE

Sommaire. - L'examen des effets mécaniques provoqués par une explosion nucléaire souterraine sur la roche nécessite la mise en oeuvre de moyens d'exploration particuliers dont l'exposé fait l'objet de ce rapport, essentiellement pour les moyens utilisés autour des essais nucléaires français au Sahara.

Les méthodes de forage (rotary et turboforage) sont adaptées aux conditions particulières dues au programme d'échantillonnage, à la radioactivité et à la température régnant à proximité du point de tir.

L'étude des échantillons permet la détermination des

./.

---

CEA-R-3762(1) - DERLICH Serge

STUDY METHODS FOR THE DRILLINGS AROUND THE  
UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS IN THE SAHARA.  
Part I : STUDY OF ROCK SAMPLES

Summary. - An examination of the mechanical effects produced on rocks by an underground nuclear explosion calls for the use of particular means of exploration which are described in this report, special attention being paid to the equipment used in connection with the French nuclear tests in the Sahara.

The drilling methods used (rotary and turbodrilling) are adapted to the particular conditions of the sampling programme, to the radioactivity and to the temperature in the region of the explosion.

./.

nouveaux caractères de la roche et de ses transformations chimique et mécanique. L'examen des carottes et l'utilisation des paramètres de forage (cotes sondeurs, récupération des échantillons, etc...) permettent d'étudier l'extension et les caractéristiques des zones ayant subi des dégâts différents suivant leur distance au point zéro : cavité, zone intensément broyée, zone fracturée, cheminée, zone dans laquelle règnent des contraintes élevées provoquant une fracturation particulière des carottes.

Les problèmes liés à l'interprétation des résultats ont été également exposés.

1969

19 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

---

A study of the samples makes it possible to obtain the new characteristics of the rock and to assess the chemical and mechanical transformations which it has undergone. An examination of the core obtained from the drilling, together with a knowledge of the drilling parameters (depth of the probe, sample recovery, etc...), makes it possible to study the extent and the characteristics of the zones which have been damaged to different degrees according to their distance from the zero point : cavity, strongly powdered zone, fractured zone, chimney, zones containing high stresses leading to a particular type of fracture of the cores.

The problems connected with the interpretation of the results are also presented.

1969

19 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

Centre d'Etudes de Bruyères-le-Châtel  
Sous-Direction des Essais

METHODES D'ETUDE DES FORAGES  
REALISES AUTOUR DES EXPLOSIONS NUCLEAIRES SOUTERRAINES  
AU SAHARA

Première partie : ETUDE DES ECHANTILLONS DE ROCHE

par

Serge DERLICH

- Août 1969 -

TABLE DES MATIERES

	Pages
I - INTRODUCTION - GENERALITES	1
1° - Objet de l'étude	1
2° - Réalisations françaises	1
3° - Difficultés rencontrées	1
4° - Méthode employée	2
II - ADAPTATION DES PROCEDES DE FORAGE	3
1° - Principe du forage rotary	3
2° - Principe du turboforage	3
3° - Choix de l'implantation de l'appareil	3
a) Obtention rapide des échantillons	3
b) Impératifs techniques	4
4° - Méthodes particulières utilisées au champs de tir du Sahara	4
a) Influence de la longueur des forages	4
b) Influence de la température résiduelle dans la cavité	5
III - ETUDE DES ECHANTILLONS	5
1° - Examen des carottes non radioactives	6
a) Nature de la roche	6
b) Fracturation	6
a) Fractures espacées	7
b) 1 - Fractures naturelles	7
2 - Fractures dues au tir	8
3 - Fractures dues au forage	9
b) Fracturation en cailloux	10
γ) Zone broyée	11
2° - Examen des carottes radioactives	11
IV - INTERPRETATION DES RESULTATS	11
1° - Résultats donnés par l'étude des carottes	11
2° - Résultats donnés par l'étude des paramètres de forage	12
a) Etude des boues	12

b) Etude des vitesses et pressions	12
c) Etude des récupérations de carottes	12
CONCLUSION	14
BIBLIOGRAPHIE	15

**METHODES D'ETUDE DES FORAGES  
REALISES AUTOUR DES EXPLOSIONS NUCLEAIRES SOUTERRAINES  
AU SAHARA**

Première partie :  
**ETUDE DES ECHANTILLONS DE ROCHE**

I - INTRODUCTION - GENERALITES :

1° - Objet de l'étude :

Les explosions nucléaires souterraines provoquent sur le milieu des transformations considérables. L'énergie dégagée par un faible volume de matière est équivalent à des milliers de tonnes d'un explosif chimique conventionnel comme le T. N. T.

Les modifications apportées sont de plusieurs natures. A proximité immédiate de la charge nucléaire, il y a vaporisation et fusion de la roche. Puis l'énergie dégagée se transmet au milieu sous forme d'onde de choc pendant que les gaz de la cavité, portés à très haute température, font régner une forte pression sur les parois. Au delà de la zone fondue, il se forme une zone broyée, puis une zone fracturée et ensuite la roche ne subit que des déplacements transitoires ou permanents (1).

La connaissance de toutes ces transformations est nécessaire à l'étude des phénomènes, tant pour parfaire le mode d'emploi de cet explosif que pour déterminer ses effets.

2° - Réalisations françaises :

Les essais nucléaires souterrains ont été entrepris au Sahara à l'intérieur d'un batholite de granite très sain bien que présentant une fissuration importante.

A l'époque où les expérimentations françaises ont commencé, il n'y avait pas eu (d'après les données bibliographiques disponibles) d'explosions nucléaires souterraines dans un milieu granitique.

Il fallait donc entreprendre une étude géologique et géotechnique détaillée des zones proches d'un point d'explosion nucléaire. Pour les techniciens familiarisés avec l'exploration minière et pétrolière, ou l'étude de fondations d'ouvrages, ce programme bien qu'important, paraît facilement réalisable. Il a pourtant été compliqué par les difficultés dues aux particularités des effets des explosions nucléaires.

3° - Difficultés rencontrées :

Elles sont de deux sortes : l'application des règles de sécurité et les températures élevées qui règnent dans une cavité peu de temps après le tir.

a) Règles de sécurité :

Elles doivent remédier aux faits suivants :

- forte radioactivité de la roche fondue, et par conséquent des échantillons extraits sous forme de carottes, contamination du matériel de prélèvement, des cuttings (sédiments formés par la couronne de forage).
- présence possible de gaz radioactifs emprisonnés sous pression dans les vides de la cavité,
- existence possible de gaz explosifs (hydrogène, méthane ....)

b) Températures élevées :

La faible teneur en eau du massif granitique laissait prévoir une température résiduelle très élevée dans la cavité.

Des précautions spéciales ont dû être prises pour tenir compte des quantités de roche vaporisée et fondue produites au moment de l'explosion nucléaire, de la température de solidification de la lave et de la très faible conductibilité thermique du granite. Il était prévu de rencontrer, dans un noyau au coeur de la cavité, des températures de plusieurs centaines de degrés. Des prévisions avaient donc été faites sur la possibilité d'utiliser les méthodes de forage, sur le refroidissement des outils en acier ou en diamant, et sur le comportement de la boue de forage dans les conditions du fond. (2)

4° - Méthode employée :

La méthode fondamentale utilisée depuis longtemps aussi bien dans les mines que dans la recherche pétrolière et dans les reconnaissances de génie civil est le forage, c'est-à-dire le creusement d'un trou de faible diamètre (entre 4 et 50 cm).

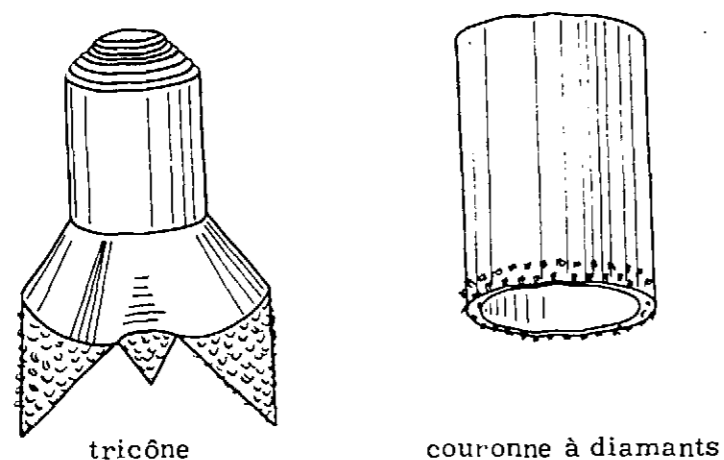


Figure 1 - Outils de forage

Suivant la forme de l'outil de forage (voir figure 1), on peut récupérer, soit des déblais de faibles dimensions (cuttings de taille inférieure à 1 cm) si on utilise un tricône à molettes, ou des outils à percussion, soit des carottes qui sont des cylindres de roche obtenus par creusement du trou à l'aide d'une couronne (la carotte étant la partie intérieure concentrique au trou de forage et dont le diamètre est égal au diamètre intérieur de la couronne).

Moyennant quelques précautions, ce procédé de forage peut être parfaitement adapté aux conditions de travail imposées par les impératifs cités précédemment. Les échantillons recueillis sont examinés par les géologues qui obtiennent ainsi une bonne connaissance du milieu, compte tenu des paramètres techniques de forage tels que vitesses d'avancement etc . . . , et des renseignements pouvant être recueillis par observation du trou, par télévision ou par des mesures électriques, soniques ou de perméabilité.

II - ADAPTATION DES PROCÉDES DE FORAGE AUX CONDITIONS DE TRAVAIL :

Deux procédés ont été utilisés au Sahara : le forage rotary et le turboforage. Il existe d'autres méthodes (par percussion, à l'air . . . ) moins importantes et dans cet examen d'ensemble nous ne retiendrons que les deux méthodes citées.

1° - Rappel du principe du forage rotary :

A l'aide d'un dispositif de surface, on fait tourner un train de tiges (d'une longueur variable et composé de tiges filetées et vissées bout à bout) qui porte à l'extrémité dirigée vers le fond du trou un outil permettant la perforation de la roche par rotation. Suivant l'orientation du forage (vertical, horizontal, oblique) le dispositif de rotation est complété par un engin de retrait et d'introduction des tiges (vérins, palan, derrick . . . ). Les déblais produits par l'outil sont entraînés vers la surface libre par un courant d'eau ou de boue entretenu par des pompes.

La portée des appareils est limitée par la puissance nécessaire à manoeuvrer la masse des tiges et à vaincre la résistance provoquée par les coincements. Naturellement, plus le diamètre du forage et par conséquent de l'outil et du train de tiges est important, plus il faut de puissance.

2° - Rappel du principe du turboforage :

L'outil introduit dans le forage est à peu près identique à celui que l'on utilise dans la méthode précédente. Il est placé à l'extrémité du rotor d'une turbine dont le stator est solidaire du train de tiges qui ne tourne pas et se déplace uniquement le long du forage. La turbine est actionnée par la boue sous pression envoyée de la surface par l'intérieur du train de tiges, à l'aide de pompes puissantes : c'est le turboforage hydraulique, procédé communément utilisé en France pour les forages pétroliers.

3° - Choix de l'implantation de l'appareil de forage :

Il est fonction de la nécessité d'obtenir rapidement des échantillons, mais il doit tenir compte d'impératifs techniques et de sécurité.

a) Obtention rapide des échantillons :

Pour cela il faut choisir un point de départ situé de telle façon que la remise en place de l'appareil de forage soit rapide donc que les accès soient faciles et non altérés par le tir, et que la durée du forage soit brève, c'est-à-dire que la distance à forer soit courte ou que l'on puisse obtenir, suivant un trajet plus long, une grande vitesse d'avancement. Il faut aussi placer la sondeuse et orienter le forage de façon à obtenir une déviation minimale du trou et une bonne précision sur la situation des points de prélèvements.

Les déviations sont parfois importantes (plusieurs mètres) et leur mesure n'est possible que jusqu'à l'entrée dans la cavité car ensuite la chaleur et la radioactivité risquent de détruire les appareils de mesure. Cette difficulté à contrôler la déviation en cours de forage limite l'emploi du rotary car à grande distance, il est pratiquement impossible d'atteindre un objectif déterminé.

b) Impératifs techniques :

L'emplacement de la sondeuse dépend de la position de la chambre par rapport à la surface topographique. Pour un tir en puits, un derrick est installé à la verticale du point zéro, mais pour un tir en galerie, il est souvent plus intéressant de commencer le forage à partir d'une recoupe de cette galerie. D'après ce choix, les délais d'installation sont différents.

A l'air libre, la protection contre les venues de gaz explosifs et radioactifs se fait avec les moyens classiques utilisés en forages pétroliers, c'est-à-dire l'appareil de protection contre les éruptions (BOP). En galerie, il est plus difficile de se protéger car la dilution des gaz et leur dissipation sont plus lentes et risquent de mettre le personnel en danger. La sondeuse est installée dans une cellule étanche et le forage se fait en télécommande à partir d'une recoupe éloignée. Le personnel rentre en cellule pour les manoeuvres après ventilation et contrôle des gaz de l'atmosphère.

4° - Méthodes particulières utilisées au Sahara :

a) Influence de la longueur des forages :

Quand la distance de l'appareil de forage au point visé ne dépassait pas 150 à 160 m, on a utilisé la méthode rotary et le sondage a été carotté de bout en bout. Pour la traversée des zones de la cavité, le forage a été exécuté en télécommande. La récupération a été généralement bonne, sauf dans certaines zones fracturées.

Pour pallier l'inconvénient des déviations importantes sur les forages dépassant 200 m, on a essayé le turboforage et le turbocarottage sur des longueurs dépassant 400 m. Le forage à la turbine grâce à un contrôle permanent de la direction permet d'obtenir des précisions remarquables (de l'ordre de 1 à 2 m à 400 m). En carottage il est plus difficile de maîtriser la marche de la turbine. Les inconvénients sont l'absence de carottes dans la partie saine et fracturée entourant la cavité et les très mauvaises récupérations en carottage dans la cavité. Pour remédier à ces difficultés on a combiné rotary et turbine. L'approche précise est faite alors en forage au tricône à la turbine puis à proximité des zones intéressantes on passe en carottage rotary.

L'utilisation de ces méthodes permet d'obtenir un échantillonnage suffisant des principales zones entourant un tir nucléaire et donne la possibilité de développer les connaissances des effets sur le milieu.

b) Influence de la température résiduelle dans la cavité :

La température attendue au sein de la cavité a été confirmée par les mesures effectuées. Des valeurs allant jusqu'à 630° ont été enregistrées. Cependant les opérations de forage n'ont pas été perturbées malgré les très faibles débits d'eau utilisés pendant le forage dans la cavité (afin d'améliorer les récupérations de carottes). A l'arrêt de la circulation d'eau on enregistrait souvent des émanations de vapeurs et même, dans le cas d'un sondage incliné vers le bas de la cavité la projection violente de l'eau restant dans la partie inférieure du forage.

III - ETUDE DES ECHANTILLONS

Suivant les méthodes de sondage, forage au tricône ou avec un carottier, les échantillons recueillis sont soit des déblais soit des carottes.

L'examen des déblais permet de déterminer la nature du milieu traversé.

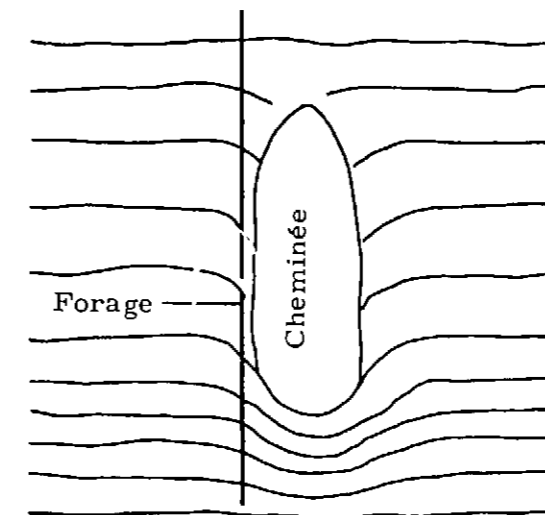


Figure 2

Coupe d'une cheminée en terrain stratifié. On remarque la déformation des couches autour de la cavité. L'examen des carottes de forage permet de déterminer le déplacement.

Dans un terrain stratifié (figure 2), on détermine ainsi les déplacements subis par les couches et les transformations des constituants de la roche. Cependant leur taille réduite (quelques millimètres) ne donne aucun renseignement sur la fracturation du milieu.

L'examen des carottes est plus intéressant. Dans les meilleures conditions, il permet de reconstituer la nature exacte du milieu en profondeur, son état de fracturation, cassures, cavernes, contact entre couches de même nature etc...

Au Sahara, les carottes prélevées ont fait l'objet d'études et nous exposons ci-après les procédés d'analyse utilisés ainsi que les renseignements que l'on a obtenus. Compte tenu des différents moyens mis en oeuvre, nous examinerons successivement les carottes non radioactives puis les carottes radioactives.

1° - Examen des carottes non radioactives :

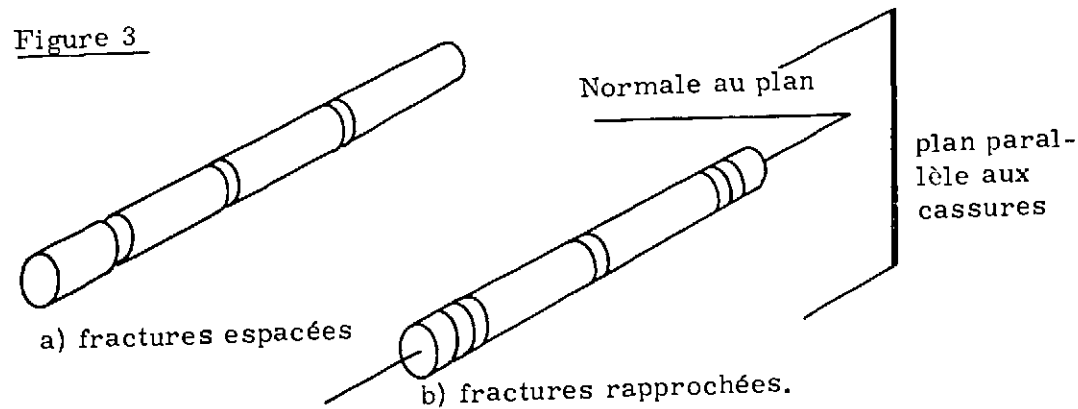
a) Nature de la roche :

Elle a été déterminée sur le chantier, à l'oeil nu ou à la loupe binoculaire de la même façon que pour les déblais. La taille importante des échantillons a permis entre autre de faire des prélèvements à des fins d'analyse en laboratoire : détermination des caractéristiques mécaniques, de la densité, de la teneur en eau, de la porosité. Il a été également façonné des lames minces pour étudier les caractères minéralogiques des constituants et leur variation éventuelle.

b) Fracturation

Dans le domaine géotechnique la fracturation est le plus important des paramètres permettant de caractériser les transformations mécaniques d'un milieu ayant subi des effets d'un tir (nucléaire ou chimique). Suivant la densité de fracturation ou fréquence des fractures, 3 cas peuvent être distingués. Dans le premier cas, les fractures sont espacées d'un intervalle supérieur au diamètre de la carotte (figure 3)

Figure 3



Dans le deuxième cas, les fractures sont très rapprochées, et la roche est divisée en cailloux plus ou moins angulaires, de dimensions moyennes variant de 2 à 10 cm sans qu'on puisse distinguer une orientation particulière des fractures (figure 4).

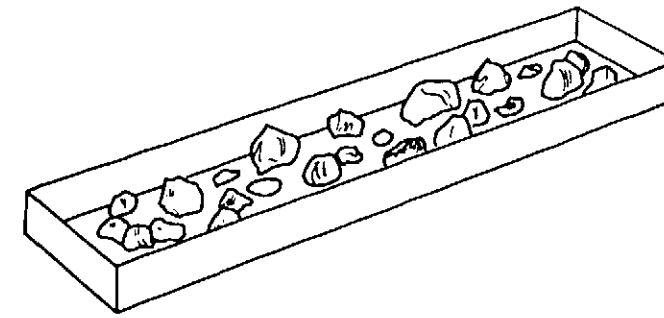


Figure 4

La carotte ne présente plus de forme cylindrique.

Le troisième cas est celui où la roche est intimement broyée et présente l'aspect d'une poudre compacte et cohérente. Suivant les conditions de carottage on peut récupérer des carottes régulières ressemblant à une craie friable.

L'identification et le classement des fractures se font d'après plusieurs critères tels que l'orientation par rapport à l'axe de la carotte, le remplissage de la cassure, l'aspect des lèvres etc. . . . Le plus important est l'orientation. Malheureusement seule est connue l'orientation par rapport à l'axe du forage, c'est-à-dire que la carotte pouvant tourner en cours de manoeuvre, on ne connaît pas la direction du plan de fracture. On peut avoir une infinité de plans possédant cette orientation ; ils sont tangents au cône de révolution ayant pour axe, l'axe du forage et pour demi angle au sommet l'angle  $\alpha$  formé par le plan de cassure et l'axe de la carotte (figure 5).

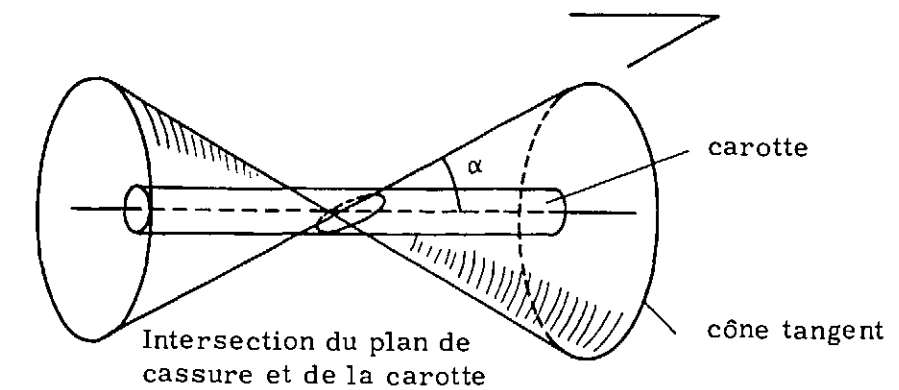


Figure 5

a) Fractures espacées :

1 - Fractures naturelles :

Dans les milieux compacts comme le granite, elles sont dues aux efforts de mise en place du massif ou aux mouvements tectoniques postérieurs. Elles peuvent être connues par étude de carottes faites avant tir, ou par des études des cassures par photogéologie et relevés statistiques. Connaissant les directions principales de fracturation (généralement 2 à 3) il est possible d'établir un parallèle entre ces directions et les cônes d'orientation déterminés



expérimentalement par des méthodes statistiques sur carottes. D'autre part les fractures naturelles, même isolées, ont un aspect caractéristique dû à la striation (miroir de faille) et parfois au plaquage des faces par des couches très minces d'argiles (chlorites, kaolin etc...) ou de sels métalliques (dendrites de pyrolusite, oxydes de fer). On rencontre même des fractures dont les lèvres sont écartées de quelques millimètres à plusieurs centimètres et remplies d'argile, de fluorine ou de quartz.

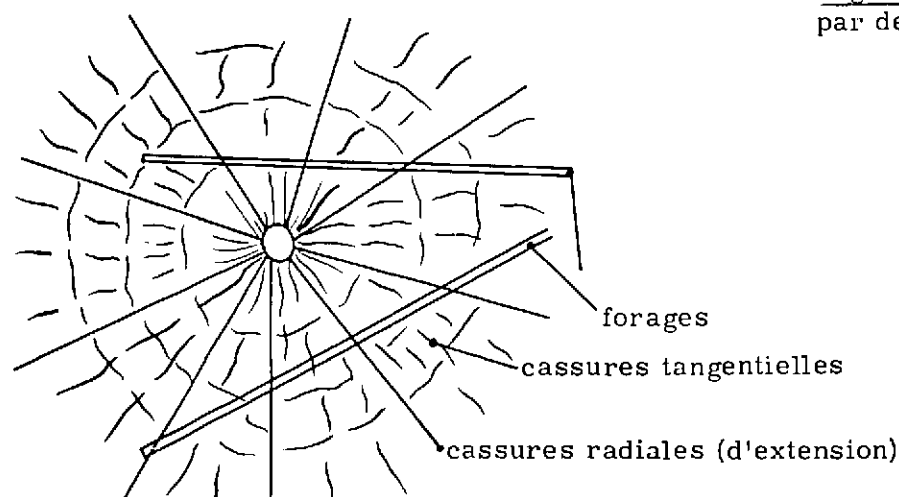
Quand on a affaire à de telles cassures, les angles de section sont constants tout le long de la carotte.

Par ces moyens d'observation, il n'est pas possible de savoir si les fractures naturelles ont été ouvertes de façon permanente dans le milieu au moment du tir. Il faut pour cela faire appel à des méthodes d'études du forage lui-même telles que mesures de perméabilité, observation par télévision etc ... (3).

Dans les milieux stratifiés (roches sédimentaires) ou feuilletés (schistes métamorphiques), il est facile de distinguer le découpage dû à la structure. Dans ces cas, on conserve la même incertitude sur l'ouverture des fractures que dans celui des milieux granitiques ou en roche dure.

2 - Fractures dues aux effets du tir :

Figure 6 : coupe verticale passant par deux forages et le point de tir.



Elles peuvent être de deux types, fractures d'extension provoquées sous l'action de tractions, et fractures par cisaillement produites par des efforts de compression ou de cisaillement pur (figure 6). A l'observation, on les sépare mal car les parties adjacentes ont subi des déplacements relatifs et les surfaces de contact présentent un aspect pulvérulent. Les parties saines sont recouvertes d'une fine pellicule de roche pulvérisée témoignant de frictions intenses. Ce type de cassure est d'ailleurs assez rare tant dans les forages radiaux qui ont peu de chances de couper des plans de cassures radiales que dans les forages inclinés qui devraient obligatoirement en rencontrer.

L'élément essentiel de la détermination est l'orientation de la cassure sur l'axe de la carotte. Considérons le forage oblique de la figure 7. Il coupe successivement les cassures désignées 1-2-3-4.

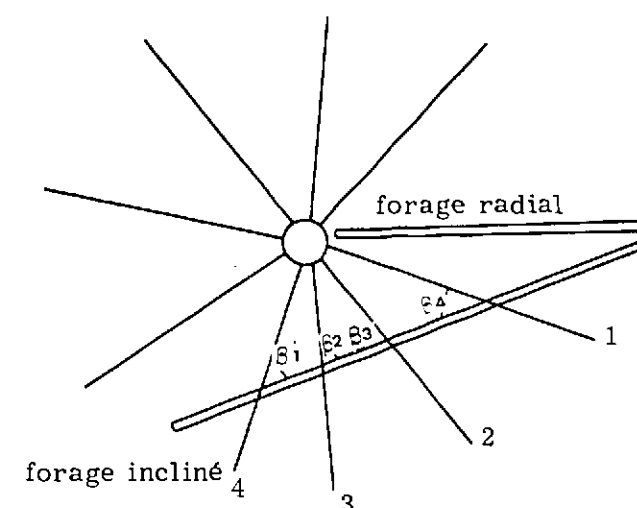


Figure 7 : coupe verticale montrant l'intersection des forages radiaux et inclinés avec la trace des plans de fractures radiales.

A l'examen de la carotte, nous constatons que l'angle d'ouverture du cône tangent défini précédemment augmente jusqu'à  $\pi$  quand le forage passe à la distance minimale du point de tir et recoupe un plan radial orthogonal au plan de figure. Les angles  $\alpha_1, \alpha_2, \dots$  (angles du plan de cassure et de l'axe de la carotte) varient de  $\beta_1, \beta_2, \dots$  quand les plans radiaux passant par les directions 1, 2 ... de la figure 7 sont orthogonaux au plan de figure, à  $0^\circ$  quand ces plans sont confondus avec le plan de figure. L'intersection de la cassure et de la carotte se fait suivant deux génératrices diamétrales (dans ce cas idéal, la carotte est coupée en deux dans le sens de la longueur).

Nous voyons donc que d'après la seule mesure de l'angle  $\alpha$ , il est impossible de déduire la direction réelle de la cassure, mais par contre, on peut arriver à découvrir son origine. L'orientation absolue de la cassure ne peut être donnée que par des mesures de pendagemétrie, quand c'est possible, ou par des mesures de télévision avec un appareil permettant de déterminer avec précision les directions des axes des ellipses intersection de la cassure plane et du trou de forage.

Pour évaluer l'écartement des cassures, le même procédé que pour les fractures naturelles ouvertes peut être utilisé.

3 - Fractures dues au forage :

Les fractures provoquées par les sondeurs peuvent être identifiées simplement. Elles se produisent à la sortie de la carotte du carottier, soit accidentellement en tombant sur le sol, soit volontairement à coups de marteau pour briser les morceaux en fragments pouvant entrer dans les caisses prévues pour le stockage. La cassure est généralement perpendiculaire à la carotte, les surfaces fraîches et grenues et les morceaux s'adaptent parfaitement les uns aux autres.

Plus complexes et intéressantes sont les fractures dues à la libération de contraintes par le forage. On rencontre d'abord des fractures produites par les manoeuvres et rotation du carottier. Elles diffèrent peu des cassures faites par les sondeurs et sont par conséquent différentes des cassures naturelles et des cassures dues au tir. Les plus intéressantes sont les fractures qui affectent la carotte en la tronçonnant en rondelles dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à une fraction de millimètre. Ces rondelles, qui se forment pendant le forage, ont été rencontrées par ailleurs dans les roches dures à grande profondeur ou dans les houillères et les mines de sel. Elles indiquent la présence de contraintes élevées. Une loi expérimentale a été donnée par OBERT et STEPHENSON dans le cas du forage vertical à contraintes radiales cylindriques. (4)

Dans les zones rencontrées au Sahara, on ne se trouve pas dans un régime à contraintes radiales de révolution. Outre les contraintes naturelles existant après le tir (pression lithostatique verticale, pressions latérales fonction

1 - de la pression verticale

2 - du coefficient de Poisson

3 - des conditions de mobilité latérale dépendant de l'orientation des bancs etc ...), il existe des contraintes dues au tir, mal connues mais dont les effets se manifestent également par écaillage dans certaines recoups longtemps après le tir.

L'examen détaillé des rondelles montre une variation d'épaisseur et une certaine forme de cassure (surface hyperbolique) dépendant de l'état des contraintes. Il semble également que le diamètre du trou de forage ait une influence sur l'apparition des rondelles. Des explications ont été recherchées par divers laboratoires (5).

f) Fracturation en cailloux :

C'est un stade très poussé de fracturation de la roche. On peut le considérer comme un concassage grossier. L'étude simultanée des conditions de forage et de l'aspect des carottes conduit, à priori, à une contradiction. Dans une zone aussi fracturée le forage horizontal ou incliné vers le bas est assez facile et dans la mesure où il est possible d'estimer les pertes en fluide de forage, on constate qu'elles sont très faibles. Quand on introduit le carottier on rencontre quelques difficultés mais relativement faciles à surmonter. Il faut donc conclure que malgré la fragmentation intense du milieu (galets de 3 à 10 cm de dimensions moyennes), il existe une bonne cohésion, due vraisemblablement à une compression permanente du milieu.

Par contre dans les forages dirigés vers la partie supérieure de la cheminée donc dans les éboulis formés pendant l'effondrement, les conditions de tenue du trou sont très mauvaises. Entre chaque retrait du carottier, il se produit des éboulements et dans presque tous les cas le forage doit être abandonné car il n'y a plus de progression.

A ce stade il n'est pratiquement plus possible de faire de différence entre cassures naturelles et cassures dues au tir.

γ) Zone broyée :

A proximité de la cavité, (entre la paroi de la cavité et la distance  $R = 10 W^{1/3}$ ) (1) (distance en m, W énergie en kt) pour un tir nucléaire dans le granite du champ d'essai du Sahara, la fracturation est si intense que la roche prend un aspect de sable et perd ses propriétés mécaniques.

A la distance de  $10 W^{1/3}$ , les carottes donnent de très mauvaises récupérations d'un gravier grossier (grains de plusieurs mm) formé de cristaux constitutifs du granite désagrégé. L'extension de ces faciès peut être déterminée très approximativement d'après les cotes de forage.

En approchant de la paroi de la cavité, le gravier recueilli devient de plus en plus fin, se présente comme un sable mais acquiert une cohésion lui donnant l'aspect et la consistance d'une craie grossière et friable. On obtient alors dans les cas les plus favorables des carottes parfaitement conservées et cohérentes, montrant l'existence d'une zone massive (plusieurs mètres suivant l'énergie du tir) à caractéristiques mécaniques particulières.

Au-delà, on entre sans transition notable dans la cavité et dans les matériaux radioactifs.

2° - Examen des carottes radioactives :

Il diffère de celui des carottes normales par l'obligation pour les observateurs d'employer des méthodes d'études satisfaisant aux conditions de sécurité radiobiologique. Suivant le mode de forage, à l'air libre ou en galerie, les méthodes d'évacuation peuvent être différentes. Il en est de même du traitement des carottes pour les préparer à l'observation.

Au détubage, certains verres, apparemment compacts dans le tube, s'effritent comme du verre "sécurité" au fur et à mesure de leur sortie. On observe même sur des échantillons placés sur la platine de la binoculaire aussitôt après l'extraction, la naissance spontanée de fissures et leur croissance jusqu'à projection d'un éclat avec cassure conchoïdale.

Cette étude des carottes radioactives permet de déterminer la nature des matériaux occupant la cavité, et par là d'expliquer une partie des phénomènes se produisant pendant ou après le tir.

Des mesures systématiques de températures ont été réalisées dans cette zone. Elles ont permis d'étudier la répartition de l'énergie thermique et son évolution dans le temps.

IV - INTERPRETATION DES RESULTATS :

1° - Résultats donnés par l'étude des carottes :

L'exploitation de ces renseignements nécessite la connaissance de leur situation précise par rapport au point de tir, parfaitement connu en coordonnées topographiques.

Un point d'une carotte est déterminé par la position du sondage et par la cote sondeur. La précision dépend de celle sur la position du sondage et de l'incertitude sur la cote exacte du point considéré.

Précision sur la position du sondage :

Elle est généralement bonne. Les mesures de déviation sont faites avec une précision maximale du  $\frac{1}{1000}$  de degré en azimut et en inclinaison.

Suivant la longueur des sondages on peut augmenter la précision de la mesure en faisant varier la sensibilité de l'appareil. L'incertitude totale sur la distance au point zéro d'un point du sondage est égale à 0,65 m pour un sondage de 300 m, soit 12/100 de degré pour la composante totale.

Précision sur la position de l'échantillon :

On a vu précédemment que les échantillons étaient prélevés à l'aide d'un carottier. Quand on interrompt le carottage la cote de l'extrémité du carottier (côté outil) est parfaitement connue (à moins du centimètre). Si l'avancement réalisé est de 3 m par exemple et si l'échantillon recueilli mesure 3 m, sauf cas exceptionnel (forage ascendant dans la cheminée) il n'y a aucune incertitude sur les points de la carotte. Par contre, et c'est souvent le cas à l'approche de la zone de tir, si la carotte a pour longueur  $l < 3$  m, c'est que ses éléments proviennent d'une partie de la zone des 3 m. L'incertitude est égale à 3 m (longueur carottée) - l (longueur de l'échantillon) sur tout point de la carotte.

L'erreur sur la position d'un échantillon du forage est donc fonction de la longueur des passées de carottier et de la récupération de carotte. Elle peut varier de 1,5 - à 3 m -

2° - Résultats donnés par l'étude des paramètres de forage :

Ils ont pour objet d'apporter des connaissances complémentaires sur les terrains traversés. C'est le cas de la vitesse d'avancement du forage compte tenu des pressions sur l'outil, de la récupération des carottes, de la variation de composition chimique de la boue etc. . .

L'étude des forages exécutés dans un secteur soumis à un tir nucléaire doit tenir compte de tous les paramètres susceptibles de faciliter l'interprétation des phénomènes.

a) Etude des boues :

Dans un milieu comme le granite du Sahara, les pertes de boue peuvent être mesurées, mais il est parfois difficile d'en tirer des conclusions sur la porosité du milieu car il arrive que dans des cas particuliers de fracturation l'eau perdue en cours de forage revienne aux bacs à décantation par les fissures.

b) Etude des vitesses de forage et des pressions sur l'outil :

La nécessité de la télécommande introduit entre les appareils de mesure du poste de commande et les machines, une série de conduites pour la transmission hydraulique, et les pertes de charge importantes, mais inconnues, ne permettent pas d'enregistrer les variations de vitesse ou de pression provoquées par le changement de qualité de la roche.

c) Etude des récupérations de carottes :

Le taux de récupération des carottes est un des premiers soucis du géologue car il conditionne l'efficacité de l'étude, et il permet d'estimer la précision sur la situation des carottes recueillies.

Des zones, qui dans certains forages donnent une bonne récupération, ne permettent de recueillir aucun échantillon dans d'autres cas. C'est ainsi qu'en carottage rotary dans la zone broyée, une poignée de sable a été recueillie alors que d'autres sondages ont donné des carottes massives sur plusieurs mètres. Un incident local comme la présence d'une cassure en sifflet ou d'un nodule un peu plus résistant a des conséquences décisives sur la récupération qui n'est plus représentative de la zone traversée.

Le mode de forage a également une influence essentielle. Alors que le carottage en rotary fournit une abondante moisson d'échantillons dans la cavité, le turbocarottage donne des récupérations nulles ou presque dans la majorité des cas et une vitesse d'avancement telle, que l'on pourrait supposer, en l'absence des carottes données par la méthode rotary, que l'on traverse une cavité effective. L'étude de nouveaux profils de couronnes diamant, et une manipulation délicate des paramètres de forage, permettent d'obtenir quelques échantillons, mais il est possible que le principe même de la turbine joue un rôle important. A l'extrémité du carottier jaillit un jet de boue à température voisine de la température ambiante (ou au plus égale à 100°C) qui, à travers les événements de la couronne, frappe le terrain avec une certaine pression. Dans l'intérieur de la cavité règne une température de 500 à 600 °C.

Un verre porté à cette température et "arrosé" par un liquide froid (entre 30 et 90 °C) éclate en écailles qui peuvent être entraînées par les cuttings.

De même, des zones pulvérulentes sont désagrégées par le jet et également entraînées par les cuttings.

C'est pour cette raison que des événements ont été percés spécialement entre le carottier et la turbine apportant une amélioration partielle à la récupération.

## CONCLUSION

On a exposé dans ce rapport les méthodes de forage et les techniques d'étude des échantillons utilisées au cours des essais nucléaires souterrains du champ de tir du Sahara.

Les travaux ont été effectués par forage rotary et par turboforage de grande longueur. Compte tenu des conditions de sécurité, les dispositifs de forage en télécommande avec poste de sondeurs éloigné de la sondeuse placée dans une cellule étanche, ont permis une protection efficace du personnel contre les éventuelles échappées de gaz explosifs ou radioactifs.

L'examen des carottes non radioactives et radioactives a permis de distinguer dans de nombreux cas entre les fractures naturelles et artificielles, c'est-à-dire dues au tir ou au forage. Des zones d'effets distinctes ont ainsi pu être mises en évidence.

L'interprétation des vitesses de forage, l'étude des boues et des récupérations de carottes ont fourni également des éléments d'études des effets des tirs.

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) S. DERLICH - F. SUPIOT  
Phénoménologie générale des explosions nucléaires souterraines  
Rapport CEA n° 3750
- (2) P. PERROUD  
Problèmes de transfert de chaleur associés aux explosions nucléaires souterraines  
Etude théorique  
CEA/CENG - Septembre 1961
- (3) J. FAURE  
Etude de la paroi des forages autour des explosions souterraines (Rapport CEA  
en cours de publication)
- (4) L. OBERT et D. E. STEPHENSON  
Stress conditions Under Which Core Discing Occurs  
Trans SME AIME 232 (3) 1965
- (5) P. HABIB  
Etude théorique - Contrat CEA/DAM Ecole Polytechnique 1965.

**FIN**