

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

5.0

**ETUDE DE LA CHEMINEE CREEE  
PAR UNE EXPLOSION  
NUCLEAIRE SOUTERRAINE**

*par*

*Serge DERLICH*

SOUS-DIRECTION DES ESSAIS

Centre d'Etudes de Bruyères-le-Chatel

**Rapport CEA - R - 3851**

**1969**

Ba

**SERVICE CENTRAL DE DOCUMENTATION DU C.E.A**

C.E.N - SACLAY B.P. n°2, 91 - GIF-sur-YVETTE - France

CEA-R-3851 - DERLICH Serge

ETUDE DE LA CHEMINEE CREEE PAR UNE EXPLOSION  
NUCLEAIRE SOUTERRAINE

Sommaire. - Les explosions nucléaires souterraines créent une cavité de forme grossièrement sphérique. La voûte de cette cavité est instable et s'effondre dans la plupart des cas, donnant lieu à la formation d'une cheminée.

La hauteur et le diamètre sont fonction de l'énergie du tir et de la nature du milieu.

La chronologie des événements peut être déterminée par des observations sismiques.

L'intérieur des cheminées est occupé, en partie ou en totalité, par des éboulis.

./.

---

CEA-R-3851 - DERLICH Serge

STUDY OF THE CHIMNEY PRODUCED BY AN UNDER-  
GROUND NUCLEAR EXPLOSION

Summary. - Underground nuclear explosions lead to the formation of a cavity which is roughly of spherical shape. The roof of this cavity is unstable and collapses in most cases, leading to the formation of a chimney.

The height and the diameter depend on the energy of the charge and on the nature of the surroundings.

The chronology of the various stages can be determined by seismic observations.

The interior of the chimney is filled, either partially or completely, with rubble earth.

./.

Ce phénomène présente un grand intérêt pour l'utilisation des explosions nucléaires à des fins industrielles.

1969

20 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

---

This phenomenon is of great importance as far as the use of nuclear explosions for industrial applications is concerned.

1969

20 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

- Rapport CEA-R-3851 -

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

ETUDE DE LA CHEMINEE CREEE  
PAR UNE EXPLOSION NUCLEAIRE SOUTERRAINE

par

Serge DERLICH

- Octobre 1969 -

## TABLE DES MATIERES

## RESUME

- 1 - INTRODUCTION
- 2 - METHODES D'ETUDE DE LA CHEMINEE
  - 2-1 - Limites de la cheminée au moyen des sondages
  - 2-2 - Volume de la cheminée
  - 2-3 - Eboulis
  - 2-4 - Formation de la cheminée
- 3 - DESCRIPTION DE LA CHEMINEE
  - 3-1 - Généralités
  - 3-2 - Exploration de la cheminée d'un tir effectué dans le granite du Sahara
    - 3-2-1 - Travaux effectués
    - 3-2-2 - Premier cas - Résultats
      - Forme de la cheminée - Justification
    - 3-2-3 - Deuxième cas - Résultats
      - Précision des limites
    - 3-2-4 - Remplissage de la cheminée
      - Dimensions
      - Etude morphologique
  - 3-3 - Cheminées dans des milieux différents
- 4 - PROPRIETES PHYSIQUES DE LA CHEMINEE
  - 4-1 - Perméabilité
  - 4-2 - Porosité
  - 4-3 - Température
  - 4-4 - Stabilité de la voûte
    - 4-4-1 - Etudes séismiques et formation
    - 4-4-2 - Equilibre et tectonique
    - 4-4-3 - Evolution postérieure de la cheminée
- 5 - CONCLUSIONS
- 6 - BIBLIOGRAPHIE

# ETUDE DE LA CHEMINEE CREEE PAR UNE EXPLOSION NUCLEAIRE SOUTERRAINE

## 1 - INTRODUCTION

L'objet de ce rapport est l'étude de la "cheminée" formée lors des tirs nucléaires souterrains par l'effondrement de la voûte de la cavité [ 1 ]. L'explosion d'un engin nucléaire profondément enfoui crée une cavité dont le rayon est fonction de l'énergie émise. L'existence de cette cavité est éphémère. Les roches qui l'entourent ont été écrasées et fracturées. Elles ont perdu leur résistance initiale. La voûte, de forme grossièrement sphérique, s'effondre en donnant naissance à un vide qui, compte tenu de la cohésion des terrains situés au-dessus, progresse jusqu'à l'établissement d'un profil d'équilibre. Parfois, quand la roche est inconsistante, l'effondrement atteint la surface.

La partie effondrée, comprise entre la cavité (ou plus généralement le point de tir) et le sommet de la voûte de roche en place, constitue la cheminée.

Les tirs ont eu lieu dans différents milieux : granite pour les tirs français, et tuf, alluvion, granite, sel et dolomie pour les tirs américains. Les résultats français ont été particulièrement exposés dans ce rapport mais les tirs américains, de par la diversité des milieux et des résultats, sont également examinés.

## 2 - METHODES D'ETUDE DE LA CHEMINEE

Outre les méthodes utilisées à l'occasion des tirs nucléaires français, on a exposé rapidement des méthodes\* différentes mises en oeuvre aux Etats-Unis. Elles permettent d'apprécier la valeur des résultats obtenus et elles peuvent être intégrées à un programme de reconnaissance et d'étude de cheminée, établi dans le cadre d'éventuelles applications industrielles.

Les procédés vont de l'exploration par sondage à l'étude directe par creusement de galeries et enfin aux essais d'extraction industrielle des roches concassées.

### 2-1 - Limites de la cheminée au moyen des sondages

Les sondages (fig. 1) sont exécutés, à partir de la surface [ a ] ou d'une galerie située à proximité du point de tir [ a, f ]. Les forages verticaux peuvent donner la hauteur de

\* Les méthodes utilisées sur le champ de tir saharien seront suivies du signe [ f ] et celles qui ont été employées par les expérimentateurs américains, du signe [ a ].

la voûte de la cheminée, et le niveau atteint par les éboulis. Les forages verticaux peuvent être déviés à une profondeur quelconque et dirigés vers la paroi de la cheminée permettant ainsi d'en déterminer le rayon. Dans le cas de forages menés à partir de l'extrémité d'une galerie, leur orientation dépend de l'altitude relative de la galerie et du point de tir.

#### 1. Examen des échantillons et des paramètres de sondages

Les cotes d'entrée et de sortie de la cheminée, des vides, des éboulis, des laves situées à la base de la cavité, sont données par l'examen des échantillons et par les variations des paramètres de forages [ 2 ].

#### 2. Examen des parois des forages [ a et f ]

L'observation des parois est réalisée par l'intermédiaire de photographies [ a ] [ 3 ] ou de la télévision [ a, f ] [ 4-5 ]. On obtient des vues prises soit dans l'axe du forage (visée axiale) soit perpendiculairement à l'axe (visée radiale).

#### 3. Carottages latéraux en sondages [ a ] [ 3 ]

En cas d'incertitude sur la position de limites de zones ou sur la nature d'échantillons à faible récupération, des carottages latéraux peuvent être réalisés.

#### 4. Mesures de radioactivité [ a, f ]

Elles sont exécutées, soit sur les échantillons à leur sortie du forage, soit directement dans le sondage. Elles enregistrent la radioactivité existant après l'explosion.

#### 5. Mesures de densité et de porosité [ a ] [ 3 ]

Elles donnent les densités de la roche in-situ. On peut en déduire les changements de structure par la variation de la porosité. C'est un moyen de déterminer les limites de la cheminée.

#### 6. Mesures de températures

Elles montrent une élévation nette de la température à l'approche de la cheminée [ a, f ].

#### 7. Mesures de perméabilité

Suivant la dimension de la zone considérée pour la mesure, on distingue les mesures partielles et les mesures globales.

1/ Mesures partielles [ f ]. Elles ont été utilisées uniquement dans la zone précédant la cheminée. [ 5 ].

2/ Mesures globales [ a ] [ 3 ]. Elles donnent des valeurs de la perméabilité par étude de la décroissance de la pression d'un gaz après injection dans le terrain par l'intermédiaire d'un forage.

## 2.2 - Volume de la cheminée

Connaissant les limites verticale et latérale, il est possible de calculer le volume intérieur total. Cependant les sondages ont révélé la présence de vides très importants [ 3, 4, 6, 7 ]. Alors que les forages ne permettaient de connaître qu'un ou deux points de la limite de la cheminée, l'examen de ces vides permet, par une méthode optique [ a ] [ 4 ], d'en faire une véritable carte en courbes de niveau. On peut également par la méthode d'injection de gaz [ a ], faire une mesure du volume de vide disponible dans la cheminée.

### 1. Méthode optique

Elle donne la position des parois de la caverne dans un plan horizontal déterminé. Il suffit de choisir une succession de plans équidistants pour reconstituer avec exactitude la forme du vide.

### 2. Mesure hydrodynamique du volume de vide

Elle s'effectue, par l'étude de la décroissance de pression, en calculant le volume occupé par un gaz injecté dans la cavité au moyen d'un forage (méthode utilisée pour la mesure des perméabilités).

## 2-3 - Eboulis

Les reconnaissances par sondages ayant montré l'absence de radioactivité et de températures trop élevées dans les cheminées, l'exploration peut être poursuivie par le creusement de galeries [ a ] [ 6 ] traversant la cavité ou la cheminée dans sa partie moyenne. Les résultats sont importants car l'observation directe des parois des galeries est plus fructueuse que l'étude des sondages.

On a réalisé des essais d'extraction des éboulis [ a ] afin d'estimer un rendement de production et étudier [ 8 ] le comportement de la cheminée et de son contenu.

## 2-4 - Formation de la cheminée

Pour étudier la formation de la cheminée on utilise une méthode sismique [ f ] qui permet de déterminer l'instant de chute de la cheminée et les phénomènes qui l'accompagnent : ouverture de fissures, chutes de blocs ...

## 3 - DESCRIPTION DE LA CHEMINEE

### 3.1 - Généralités

#### 1. Formation et équilibre

A la fin de la phase d'expansion [ 1 ] de la cavité, il est admis que la pression des gaz sur les parois est en équilibre avec la pression lithostatique (fig. 2).

Les fuites de gaz à travers les parois de la cavité font qu'au bout d'un certain temps, la pression intérieure devient inférieure à la pression lithostatique. La répartition des contraintes autour de la cavité est telle que les zones du sommet et de la base sont en tension alors que les zones latérales sont en compression. (fig. 3).



Figure 1  
Forages d'exploration d'une  
cheminée.

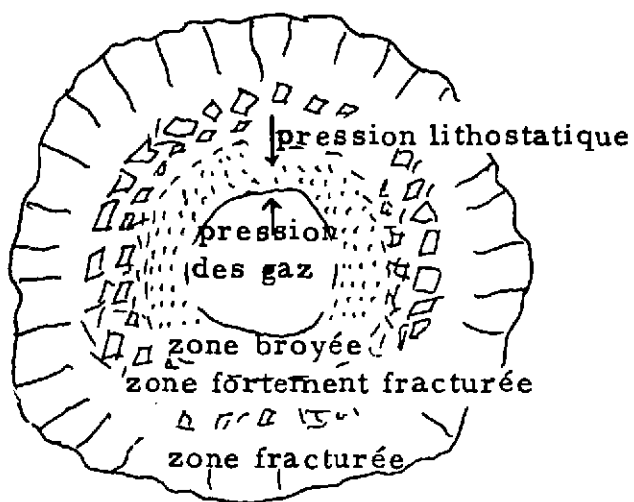
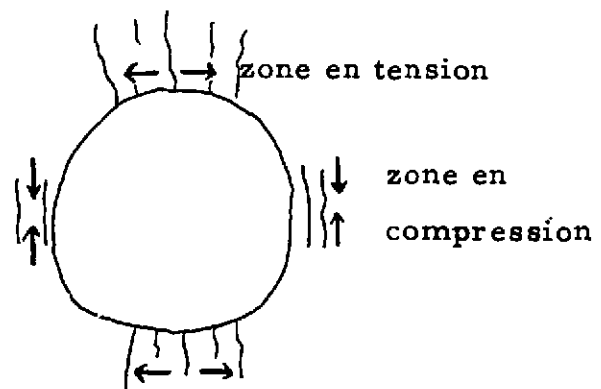


Figure 3  
Répartition des contraintes  
autour d'une cavité.



## 2. Cas du milieu homogène consolidé

Quand les tensions dépassent la limite de résistance à la rupture du matériau qui est faible dans la zone broyée et nulle dans la zone fracturée, il y a chute du toit de la cavité et éboulement ascendant de proche en proche jusqu'au moment où la roche, bien que fracturée (radialement en principe) présente une cohésion suffisante pour former une voûte naturelle (fig. 4).

De leur côté, les compressions latérales peuvent être assez fortes pour provoquer une rupture de la paroi par écaillage grossier.

3. Dans le cas d'un milieu peu consolidé, il n'y a pas de profil d'équilibre et l'effondrement peut s'y propager jusqu'à la surface provoquant un affaissement (fig. 5) (cratère de subsidence).

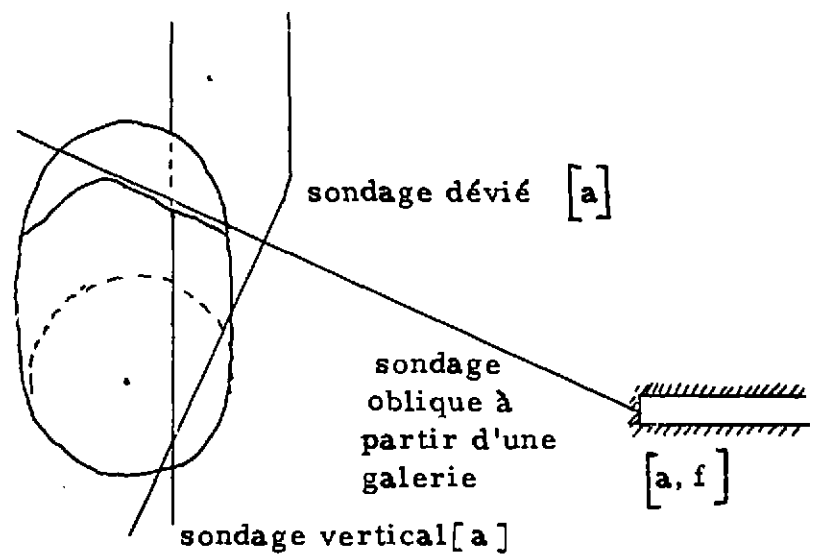


Figure 2  
Répartition des zones d'altération  
avant la chute de la cheminée.

4. Si le milieu présente une certaine cohésion, il se brise et forme des éboulis qui vont foisonner, c'est-à-dire que le volume final sera supérieur au volume initial de roche en place. Peu à peu, le volume vide disponible au début de l'effondrement, diminue et s'annule. Les éboulis contenus à l'intérieur de la cavité forment alors un ensemble suffisamment rigide pour empêcher les déformations des parois et rétablir un état de contrainte homogène (fig. 6).

5. Dans le cas d'un milieu plastique comme le sel, la roche sur le pourtour de la cavité n'est pas broyée mais déformée plastiquement. Les cristaux constitutifs sont étirés et aplatis parallèlement aux parois de la cavité. Ils ont tendance à se briser suivant le feuilletage. Bien que leurs qualités mécaniques soient diminuées par le tir, ils forment une masse suffisamment résistante pour empêcher tout éboulement de la voûte de la cavité qui reste grossièrement sphérique (fig. 7).

### 3-2 - Exploration de la cheminée d'un tir effectué dans le granite du Sahara

#### 3-2-1 - Travaux effectués

Quatre sondages d'exploration ont été forés dans la partie supérieure de la cheminée (fig. 8).

Ces forages exécutés à l'occasion de plusieurs tirs présentent des différences notables. Nous étudierons donc le forage 1 et ensuite les forages 2 et 3 qui donnent des résultats assez semblables.

Le forage 4 n'a pas traversé la cheminée, mais en absence de sondages verticaux, il marque la limite supérieure de son extension.

#### 3-2-2 - Premier cas (fig. 9)

##### 1. Résultats

Les dimensions de la cavité sont connues par l'examen de plusieurs forages. Les zones environnantes présentent les caractéristiques suivantes,  $R_c$  étant le rayon de la cavité :

zone broyée (dite aussi zone pulvérisée) jusqu'à une distance de  $1,4 R_c$

zone fracturée jusqu'à  $3,6 R_c$  ; entre  $1,4 R_c$  et  $1,80 R_c$ , présence d'une zone partiellement broyée.

Le sondage 1 a traversé la cheminée à  $2 R_c$  au-dessus du point de tir. A la normale au point de tir, l'examen de carotte a montré une passée de 1,50 à 2 m de granite pulvérisé avec des filonnets vitrifiés de 2 à 3 mm d'épaisseur [ 10 ]. On se trouve donc apparemment dans la zone pulvérisée qui présente une extension particulière dans cette direction. Des échantillons de cette nature ne pouvant pas venir d'une région supérieure il faut en déduire que la roche est en place. Il lui succède immédiatement des éboulis montrant que le forage a pénétré dans la cheminée à une hauteur de  $1,86 R_c$ , et que dans cette direction la paroi de la cheminée n'est qu'à  $0,45 R_c$  de l'axe vertical passant par le point de tir (fig. 9).

##### 2. Forme de la cheminée

L'aspect des échantillons de la fin du sondage semble prouver que l'on se trouve dans des éboulis venant de la partie supérieure. En admettant une symétrie de révolution de la cheminée, on serait presque au sommet et le volume de roche écroulée ne suffirait pas

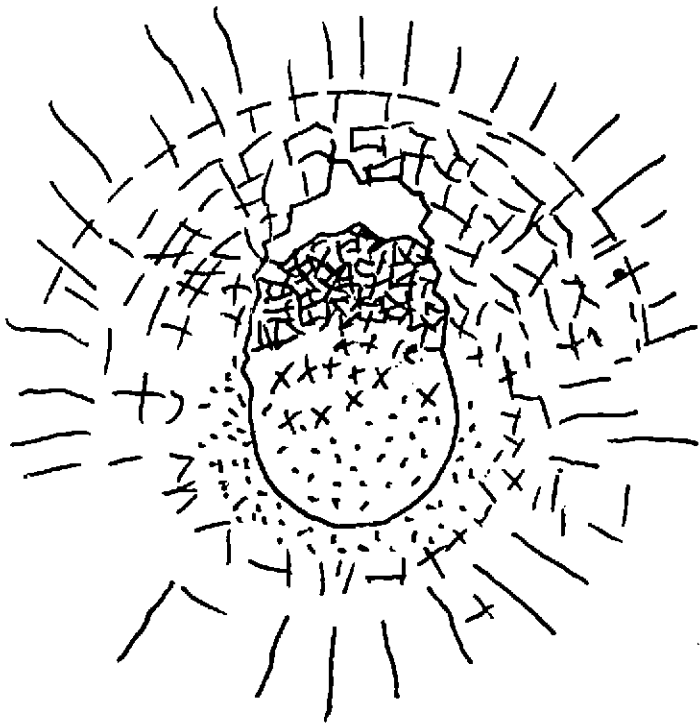


Figure 4

Formation d'une voûte arrêtant la chute de la zone fracturée.

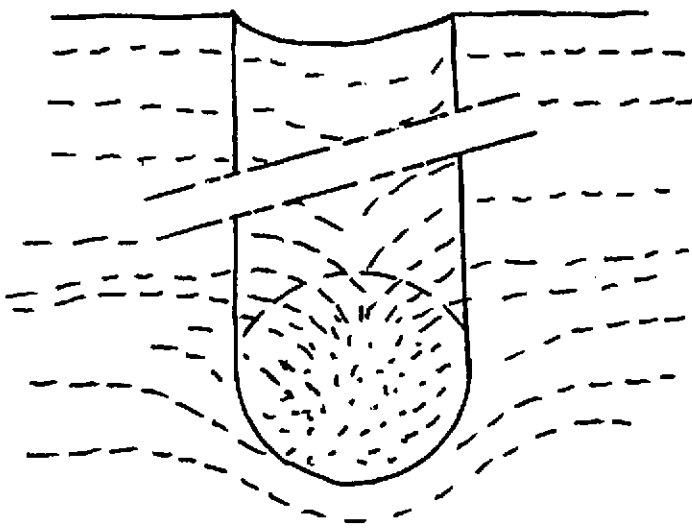


Figure 5

Effondrement de la cheminée arrêté par la surface dans le cas d'une roche friable (alluvions).

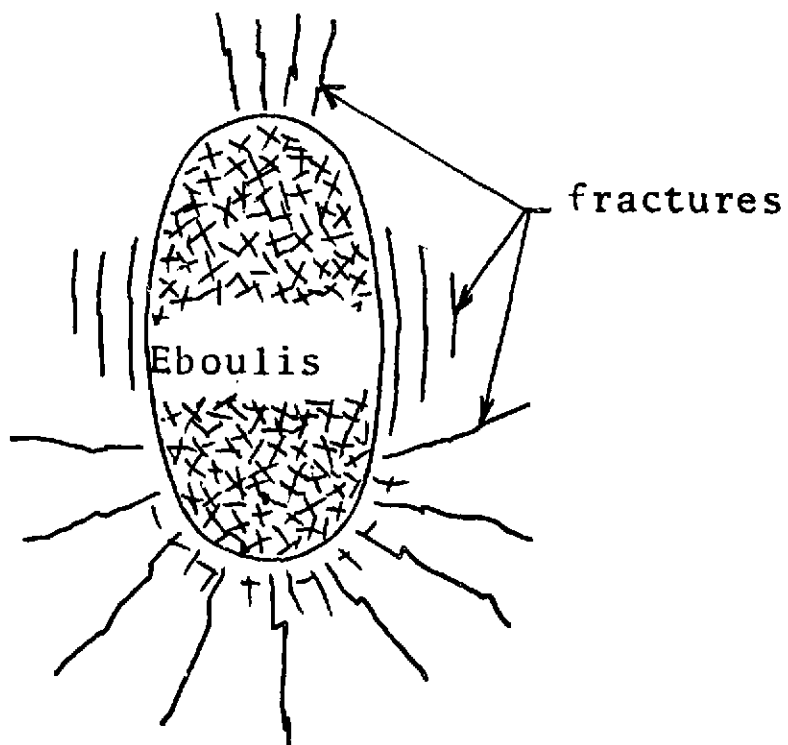


Figure 6

Cheminée stabilisée par remplissage dû au foisonnement.



Figure 7 - Cavité stable dans le sel.  
Pas d'effondrement de la voûte.

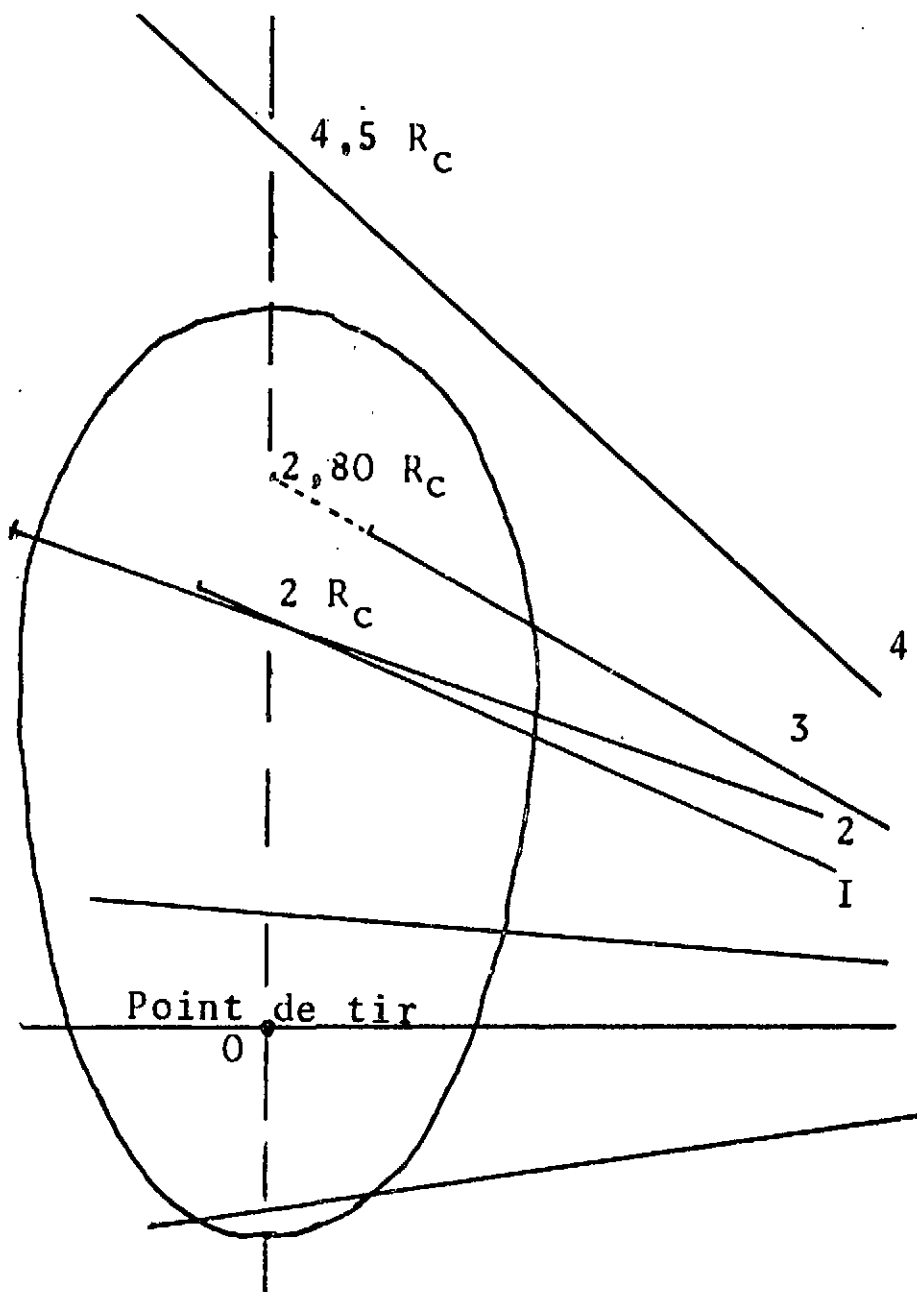


Figure 8  
Exploration de la cheminée  
par les sondages.

à remplir la cavité formée. On peut donc penser que, par suite de la fracturation préexistante, le tir a eu des effets mécaniques dissymétriques et que l'effondrement a évolué en suivant la direction de moindre résistance de la roche qui, dans ce cas, est perpendiculaire au pendage des couches. Il est probable que la voûte s'est écroulée tant qu'elle n'a pas rencontré un granite sain c'est-à-dire jusqu'à la fin de la zone fracturée.

### 3-2-3 - Deuxième cas

#### 1. Résultats

Le sondage 2 et le prolongement du sondage 3 (qui n'a pas atteint le plan médian) passent respectivement à 2 et  $2,80 R_c$  au-dessus du point de tir.

Leur examen a conduit aux résultats de la figure 10. Le sondage 2 traverse complètement la cheminée et donne donc l'entrée et la sortie [11]. Ces valeurs concordent assez bien avec celles que l'on obtient par l'étude du sondage 3 [12]. On peut donc en

déduire une forme approximative des parois de la cheminée. La forme simplifiée (c'est-à-dire sans tenir compte de la stratification des bancs qui donne un profil particulier aux parois) est celle d'un ellipsoïde légèrement décalé vers la gauche dans le cas étudié et dont les caractéristiques sont les suivantes : base de la cavité à  $0,9 R_c$  sous le point de tir [ 9, 13 ], diamètre de la cheminée à  $2 R_c$  au-dessus du point de tir :  $2,7$  à  $2,8 R_c$ . La hauteur supposée est de l'ordre de  $3,6 R_c$ .

Le sondage 4 est passé à  $4,7 R_c$  et n'a pas recoupé la cheminée mais seulement une zone fracturée.

On peut calculer le volume de la cheminée en admettant que la forme est celle d'un ellipsoïde de révolution de demi axe  $2,3 R_c$  et  $1,4 R_c$ . On trouve  $4,5 V_c$ ,  $V_c$  étant le volume de la cavité finale avant effondrement [ 5 ].

## 2. Précision des limites

La lithologie des deux sondages est bien connue car les récupérations étaient assez bonnes malgré la présence d'éboulis qui provoquaient des récupérations supérieures à la longueur carottée. Il est cependant délicat de définir avec précision les cotes d'entrée et de sortie de la cheminée car les sondages sont passés d'une zone très fracturée dans le granite à une zone d'éboulis formés par le même granite. Les distinctions ont donc été faites d'après la morphologie des éboulis, l'orientation et l'aspect des cassures. La radioactivité qui a été mesurée, a pu diffuser de la zone éboulee à la zone fracturée et ne donne donc qu'une valeur assez grossière de la limite. Il existe donc une incertitude non chiffrable sur les limites latérales.

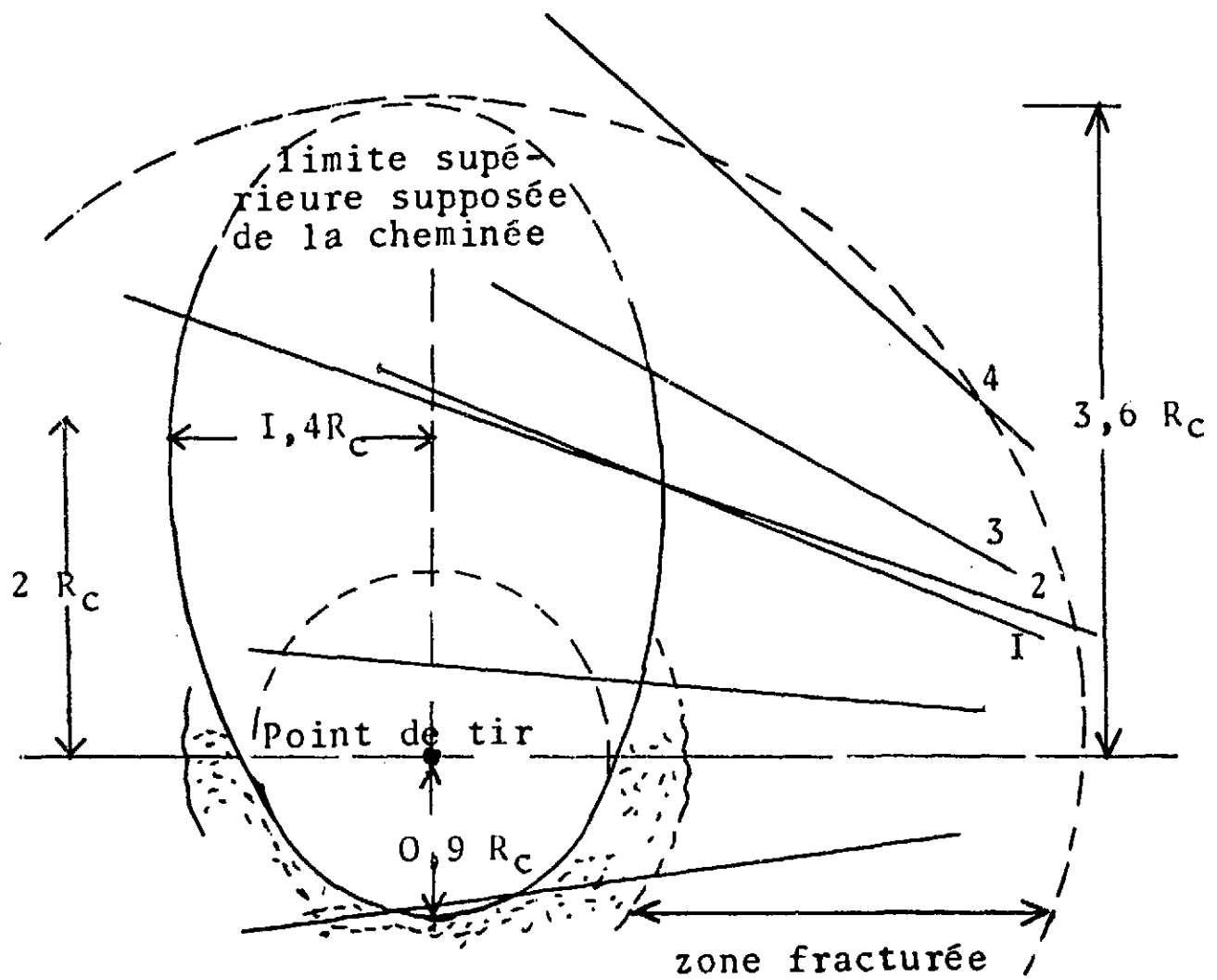
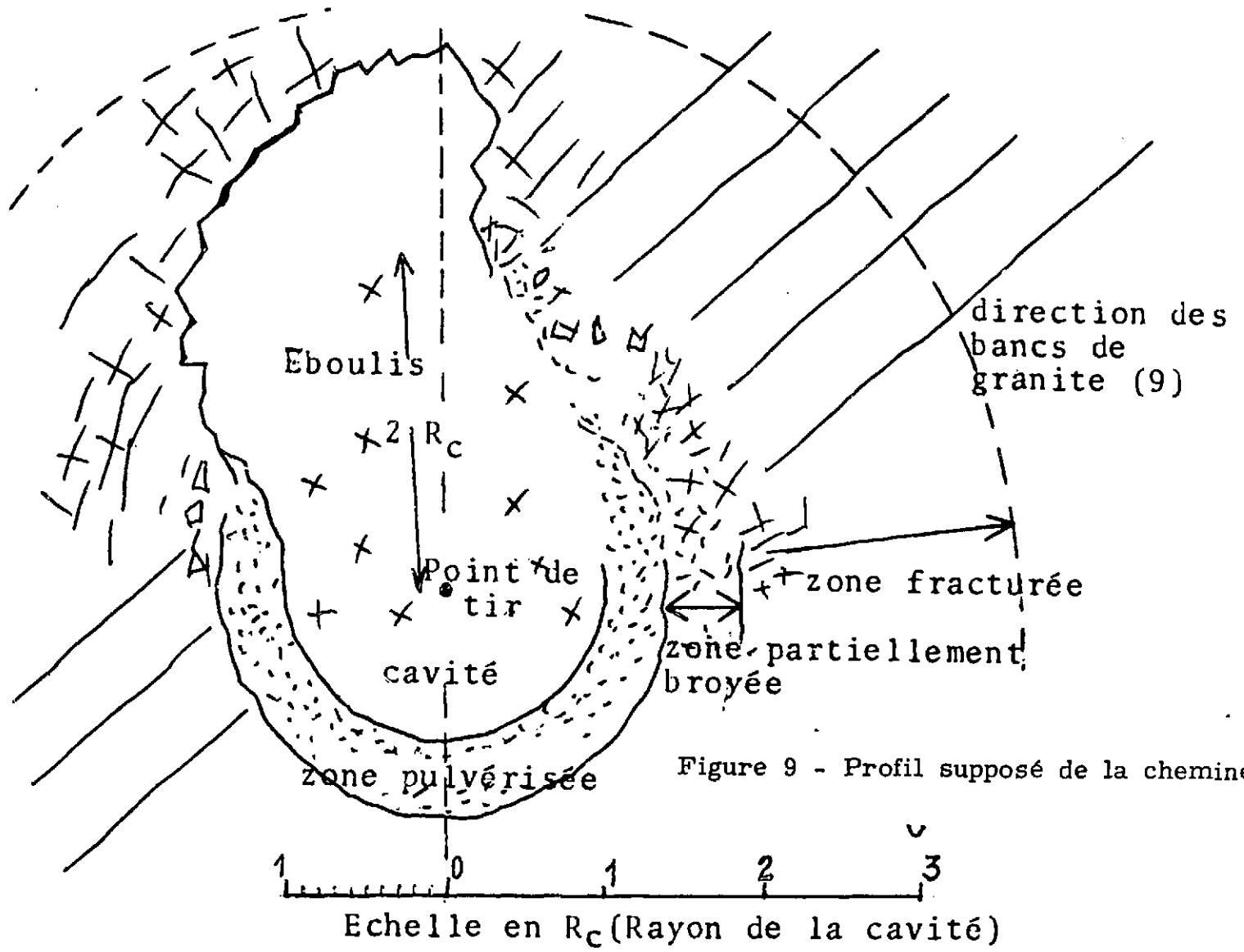
Par contre le sondage 4 (fig. 10) est indiscutablement sorti de la zone éboulee. La densité de fracturation, supérieure à celle que l'on rencontre à la même distance dans le plan horizontal du point de tir, prouve qu'il existe une fracturation plus intense provoquée par l'équilibre du milieu après la stabilisation de la cheminée. La grande analogie existant entre les éléments rencontrés dans la cheminée par les sondages 2 et 3, permet d'affirmer la similitude entre les 2 zones traversées bien qu'elles soient distantes de  $0,7 R_c$ . Il existe une identité d'aspect entre les échantillons des sondages 2 et 3 et ceux du sondage 1 dans la partie traversant la cheminée. D'après ces 3 sondages on a une représentation assez exacte de l'intérieur de la cheminée. La seule différence qui existe entre eux est la répartition des éboulis qui conditionne la position et la taille de la cheminée.

### 3-2-4 - Remplissage de la cheminée

Dans la traversée de la cheminée, les forages 1, 2 et 3 ont rencontré des éboulis. Aucun vide n'a été traversé. On peut donc représenter le contenu de la cheminée de la façon suivante : à la base et jusqu'à une distance de  $0,5 R_c$  au-dessus du point de tir, un mélange de roche vitrifiée consolidée et de débris de granite en blocs "pulvérisés" (débris dont la taille varie de quelques centimètres à plusieurs mètres) [ 13 ] ; au-dessus et probablement jusqu'au sommet de la cheminée des éboulis que nous allons décrire de façon détaillée.

#### 1. Dimensions

Notre source d'information est l'étude des carottes. La faible quantité de roche récupérée n'a pas permis de faire l'étude de répartition statistique globale par tamisage d'un certain volume d'éboulis. On peut admettre que 60 % sont inférieurs à 5 cm et 85 % inférieurs à 10 cm.



## 2. Etude morphologique

Elle permet d'avoir une idée sur la façon dont se sont formés les éboulis et également sur leur comportement éventuel lors d'essais d'extraction par gravité.

Les fragments de roche, bien que de petite taille, montrent peu de traces de pulvérisation par choc alors qu'on en rencontre assez fréquemment dans la zone fracturée. Par contre, avant la chute de la cheminée, le granite a été soumis à des contraintes vraisemblablement de traction qui ont provoqué soit la naissance soit l'amorce de rondelles ou de baguettes de 1 à 2 mm de section. Il ne semble pas que ces rondelles se soient formées au moment du forage mais cette hypothèse ne doit tout de même pas être exclue.

Seul le sondage 2 a traversé la cheminée. Les sondages 1 et 3 ont été abandonnés par suite d'éboulements importants à chaque retrait du train de tiges. Ceci montre l'instabilité des éboulis même autour d'un trou de faible diamètre (6 à 8 cm). On peut donc penser que dans le cas du creusement d'un conduit vertical ou fortement incliné pour extraire les éboulis à des fins industrielles il n'y aura pas coincement et interruption du débit de chute.

### 3-3 - Cheminées dans des milieux différents

Les tirs américains dans différents milieux ont permis d'obtenir un certain nombre de résultats sur la hauteur de la cheminée dans du granite [ 6 ], dans de la dolomie [ 3 ], dans du sel, [ 4, 7 ], dans du tuf, des alluvions et des grès.

## 4 - PROPRIETES PHYSIQUES DE LA CHEMINEE

### 4-1 - Perméabilité

Dans la plupart des cas elle est très grande et peut être considérée comme infinie sauf à la base de la cavité où il est alors très difficile de faire des évaluations [ 5 ].

### 4-2 - Porosité

Par définition, la porosité est le rapport entre les vides et le volume total. Dans le cas de la cheminée c'est donc le rapport entre le volume  $V_c$  de la cavité avant effondrement et le volume final  $V_{ch}$  de la cheminée. Cette porosité est la porosité totale. Il faut distinguer (fig.11) entre la porosité libre ou ouverte qui est une porosité interstitielle que l'on rencontre dans les éboulis au-dessus du niveau de la lave et une porosité fermée, non utilisable, qui est celle des pores de la lave (elle peut être localement très importante (> 95 %)) et des blocs de roche plus ou moins écrasés pris dans une gangue vitrifiée et imperméable.

Cette notion de porosité est liée à celle du foisonnement qui est l'augmentation de volume d'une roche passant de l'état compact à l'état d'éboulis.

Il arrive souvent que grâce au foisonnement les cheminées se stabilisent par remplissage avec les éboulis. On peut donc, connaissant ce foisonnement et la forme probable de la cheminée, en déduire son volume et donc sa hauteur, quand on connaît le volume de la cavité avant éboulement.

Si  $V_c$  est le volume de la cavité sphérique avant effondrement

et  $V_{ch}$  le volume de la cheminée après, la porosité en pourcentage

s'exprime par  $\phi = 100 \frac{V_c}{V_{ch}}$  ou  $\frac{V_c}{V_{ch}} = \phi$

Si  $F$  est le foisonnement on a :

$$f = \frac{V_{ch}}{V_{ch} - V_c} \quad \begin{array}{l} \text{(volume de la cheminée)} \\ \text{(volume de roche intacte avant effondrement)} \end{array}$$

$$\text{d'où } f = \frac{1}{1 - \rho}$$

Inversement, connaissant les volumes  $V_c$  et  $V_{ch}$ , on peut en déduire la porosité totale dans la cheminée et la porosité libre si l'on connaît la porosité moyenne du magma dans le fond de la cavité et le niveau atteint.

Dans le granite du Sahara, pour 1 kt on a une cavité de  $1625 \text{ m}^3$ . La masse de roche fondue instantanément est de l'ordre de 650 tonnes [13] soit un volume de  $300 \text{ m}^3$  pour une lave liquide de densité 2,2 [1]. En réalité, le volume de lave solidifiée est supérieur car il existe à l'intérieur de nombreux pores fermés qui diminuent la densité et le volume de vide utilisable. On peut admettre que ce volume de lave est égal à  $75 \text{ m}^3$ .

La porosité moyenne dans la cheminée est 22 % et le volume utilisable  $1250 \text{ m}^3/\text{kt}$  pour un tir à 400 m de profondeur.

#### 4-3 - Températures

Les travaux miniers, effectués à l'occasion de certains tirs aux Etats-Unis, ont apporté des connaissances sur les températures régnant dans les cheminées dans le granite [6], dans le sel [4] et dans le tuf [14].

#### 4-4 - Stabilité de la voûte

##### 4-4-1 - Etudes sismiques et formation

Les études sismiques réalisées au Sahara ont permis d'acquérir une connaissance précise de la chronologie des événements participant à la formation de la cheminée [15]. On a précisé l'instant de la chute de la voûte qui est fonction de l'énergie pour un même milieu [16] suivant la loi  $t_{mn} = 1,25 W_{kt}^{1/3} - 0,52$ .

L'étude des enregistrements a conduit à définir des modes d'effondrement différents : chute massive unique, chutes successives, chutes massives en deux reprises, etc... Il est vraisemblable que le mécanisme de la rupture et de la chute est lié aux conditions de fracturation initiale du massif qui créent des dissymétries de contraintes à la voûte et provoquent ainsi des variations dans le déclenchement et l'évolution du phénomène.

Il a même été possible [15] de mettre en évidence la formation des fractures précédant ou accompagnant le mouvement des blocs de roche.

##### 4-4-2 - Equilibre et tectonique

Au cours de cette étude on a rencontré 2 cas de cheminée dissymétrique, au Sahara (cas 1) et dans la dolomie pour le tir américain Handcar. Dans le cas du forage 1 le schéma proposé n'a pas été vérifié par sondage mais s'impose pour des raisons de distribution des éboulis.

On constate que le sens de propagation préférentielle est perpendiculaire à l'inclinaison des bancs de roches.

Il est admis généralement et vérifié dans le cas de nombreux travaux miniers que la stabilité des excavations enterrées s'obtient souvent par effet de poutre c'est-à-dire que les bancs arrêtent la chute. Dans le granite du Sahara un exemple de l'effet de stabili-



sation par les couches est donné par l'effondrement d'une galerie située à proximité d'un point de tir [ 17 ]. Le phénomène observé pour le tir nucléaire (fig. 9) est donc en contradiction avec l'observation de la galerie (fig. 12).

On peut cependant noter qu'à la fin de l'expansion de la cavité les conditions de fracturation sont différentes de celles que l'on observait avant le tir (fig. 13).

Dans le sens des couches il n'y a pas de fractures radiales importantes car une grande partie de la déformation se fait par les cassures naturelles. Par contre dans la direction perpendiculaire il y a fragmentation des bancs durs qui vont s'effriter au moment de la chute. La stabilité finale sera donc plus grande dans le sens des bancs que suivant la normale aux plans de séparation.

#### 4-4-3 - Evolution postérieure de la cheminée

Dans le cadre d'une étude destinée à l'utilisation industrielle de l'énergie d'explosions nucléaires, il est capital de connaître l'évolution de la cheminée après sa formation. Si l'on envisage l'exploitation de la cheminée pour l'extraction des éboulis, il est indispensable de connaître la quantité de roche disponible. La présence de vides apicaux dans les cheminées dans le granite prouve que la voûte s'est stabilisée d'elle-même.

Il est cependant certain que l'on peut améliorer le rendement du tir nucléaire en provoquant à l'aide de tirs chimiques de faible énergie l'effondrement de la voûte existante [ 3, 18 ]. La stabilité est en effet précaire et des énergies relativement faibles suffisent à provoquer de nouveaux effondrements.

Ce phénomène a été observé au Sahara à l'occasion de tirs nucléaires voisins d'une cheminée déjà créée.

## 5 - CONCLUSION

L'étude des cheminées créées par des tirs nucléaires souterrains a permis de recueillir un grand nombre de renseignements tant sur leurs dimensions et leur forme que sur leurs propriétés physiques et leur évolution possible.

La hauteur atteinte par la cheminée est fonction de l'énergie du tir et du milieu rocheux.

Le contenu de la cheminée a une granulométrie assez régulière quel que soit le milieu. En moyenne 40 % des éboulis ont une taille inférieure à 30 cm.

La porosité est importante, elle varie de 13 à 27 %.

On constate que la nature du milieu a une grande importance. La résistance mécanique n'est pas le seul facteur agissant. Il faut tenir compte également de la composition chimique et des caractères géologiques in situ de la roche.

Le caractère très particulier de la cheminée lui confère des propriétés physiques différentes de celles du milieu initial et également différentes de celles des autres zones d'effets (zones broyée et fracturée). La faible dimension des éboulis et l'importance de la surface de roche créée, permettent d'envisager leur extraction ou leur lixiviation par des solutions chimiques, le volume total de matière exploitable étant un des facteurs essentiels de la rentabilité. Le volume de vides ou de zones à très forte porosité peut être utilisé comme réservoir (déchets radioactifs, stockage de gaz ou de pétrole, etc...). Si la cheminée se trouve à la base d'un forage dans un gisement d'hydrocarbures, la perméabilité pratiquement infinie des éboulis ainsi que la surface considérable de drainage conduisent à une amélioration importante du rendement de chaque puit et à la valorisation de gisements jugés inexploitable

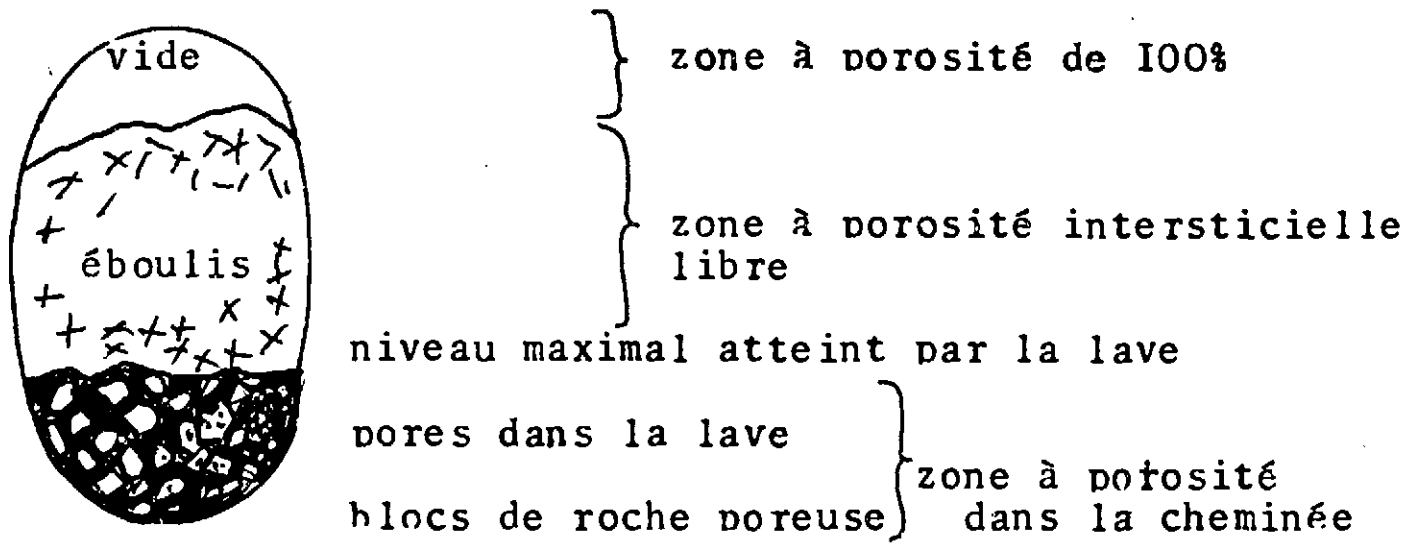
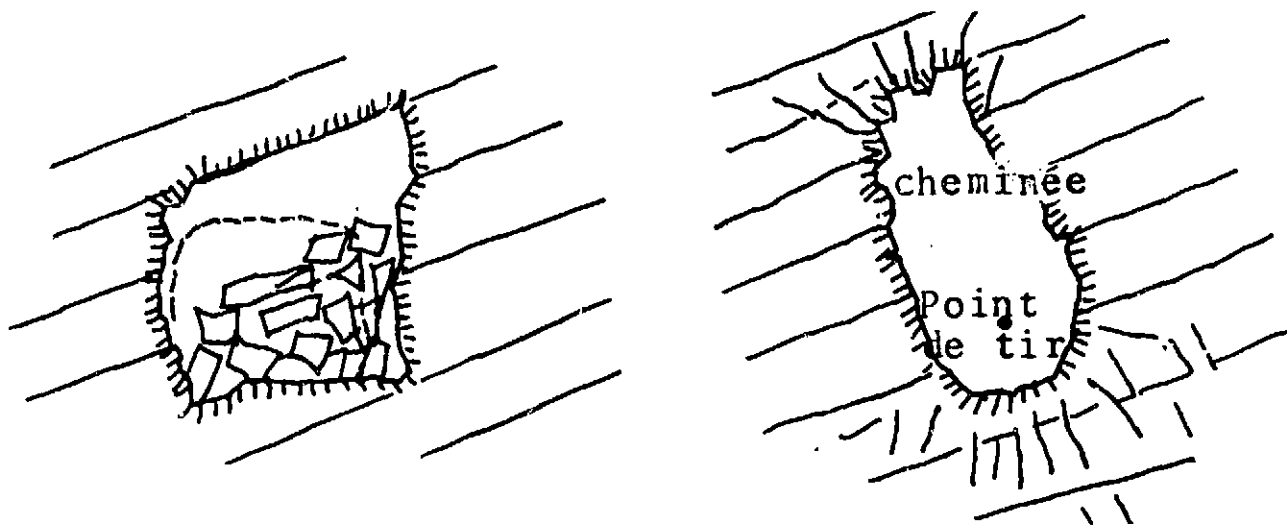


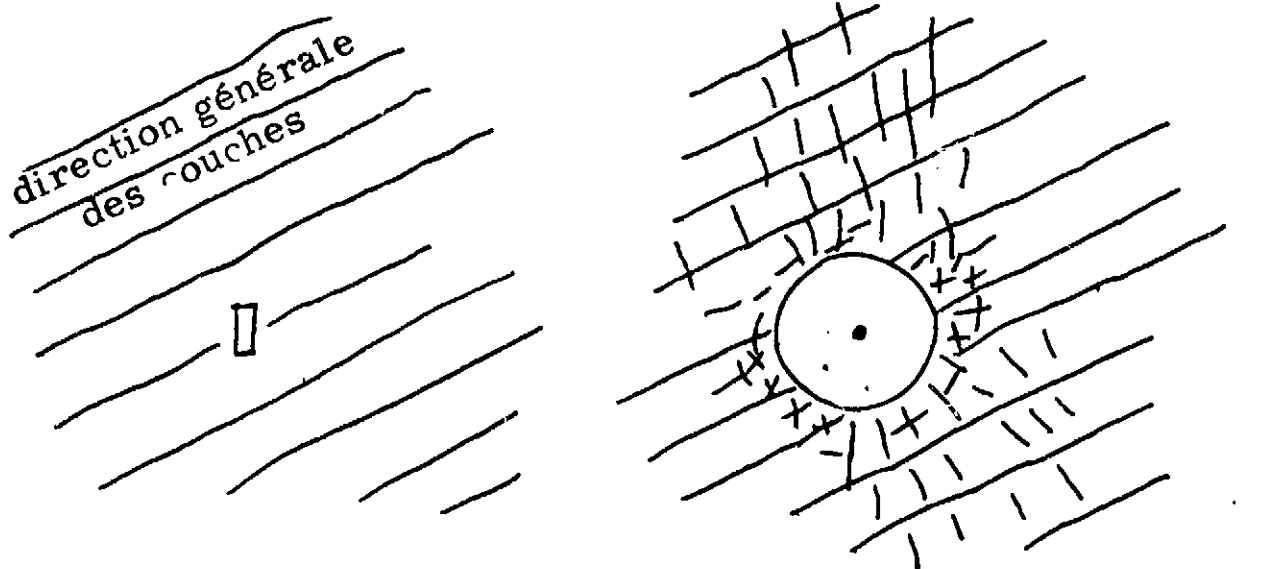
Figure 11 - Répartition de la porosité dans la cheminée.



Coupe d'une galerie éboulée : en pointillés, profil initial.

Schéma de la figure 9

Figure 12



Emplacement initial d'un tir

Cavité en fin d'expansion et fracturation créée par le tir.

Figure 13

par des méthodes conventionnelles d'amélioration de la production.

Ces divers exemples montrent l'intérêt de la connaissance des caractéristiques de la cheminée pour tout projet d'application industrielle des explosions souterraines.

## BIBLIOGRAPHIE

- [ 1 ] S. DERLICH - F. SUPIOT  
Phénoménologie générale des explosions nucléaires souterraines.  
Rapport CEA - R. 3750
- [ 2 ] S. DERLICH  
Méthodes d'étude des forages réalisés autour des explosions nucléaires  
souterraines au Sahara. Etude des échantillons de roches.  
Rapport CEA - R. 3762 (1)
- [ 3 ] C.R. BOARDMAN - G.L. MEYER - D.D. RABB  
Macrodeformation resulting from the Handcar Event.  
December 1, 1966 - UCRL 50149
- [ 4 ] D. RAWSON - P. RANDOLPH - C. BOARDMAN - V. WHEELER  
Post explosion environment resulting from the Salmon Event.  
JGR. Vol. 71, n° 14, July 15, 1966
- [ 5 ] J. FAURE  
Explosions nucléaires souterraines. Effets sur la roche d'un massif de granite.  
Transformations d'ordre mécanique.  
Rapport CEA - En cours de publication
- [ 6 ] C.R. BOARDMAN  
Some characteristics of the Hardhat chimney and surrounding wall rock -  
October, 1966 - UCRL 50 177
- [ 7 ] C.R. BOARDMAN - D.D. RABB - R.D. Mc ARTHUR  
Responses of four rock mediums to contained nuclear explosions.  
J.G.R. vol. 69, n° 16, August 15, 1964, pp. 3457 - 3468
- [ 8 ] D.D. RABB  
A mining experiment in granite.  
December 2, 1963 - UCRL 7608
- [ 9 ] A. SARCIA - S. DERLICH  
Etude de sondages. Communication privée - 1962.

- [ 10 ] S. DERLICH  
Communication privée - 1963
- [ 11 ] S. DERLICH  
Communication privée - 1965
- [ 12 ] J. FAURE  
Communication privée - 1966
- [ 13 ] J. FAURE  
Explosions nucléaires souterraines. Etude géologique des cavités.  
Rapport CEA-R-3779
- [ 14 ] T.L. THOMPSON - J.B. MISZ  
Geologic studies of underground nuclear explosions Rainier and Neptune.  
Final report October 28, 1959 - UCRL 5757
- [ 15 ] M. PERRIER  
Activité mécanique au sein d'un massif granitique ébranlé par une explosion  
nucléaire.  
Rapport CEA - En cours de publication
- [ 16 ] F. DUCLAUX - S. DERLICH - J. FAURE - H. FERRIEUX - M. PERRIER  
Liaison entre le rayon et la durée d'existence des cavités créées par les tirs  
nucléaires souterrains.  
C.R. Acad. Sc. Paris, t. 264, p. 496-497 (6 février 1967) Série B
- [ 17 ] S. DERLICH  
Effets d'une explosion nucléaire souterraine sur des ouvrages dans du granite.  
Communication privée - 1967
- [ 18 ] F. DELORT  
Thèse (M.S.) Université de Californie Berkeley 1965.

**FIN**