

ESSAIS A LA RUINE DE DEUX PARABOLOIDES HYPERBOLIQUES EN BETON ARME

Par :

Mohamed LERARI

Ingénieur E.N.P. - Magister Génie Civil
Enseignant à l'E.N.T.P. (Alger).

1 INTRODUCTION

Dans un précédent article, paru dans le numéro zéro de la même publication, nous avons décrit une étude expérimentale portant sur le comportement des Voiles Minces (VM) en béton armé en forme de Paraboloïdes Hyperboliques (PH).

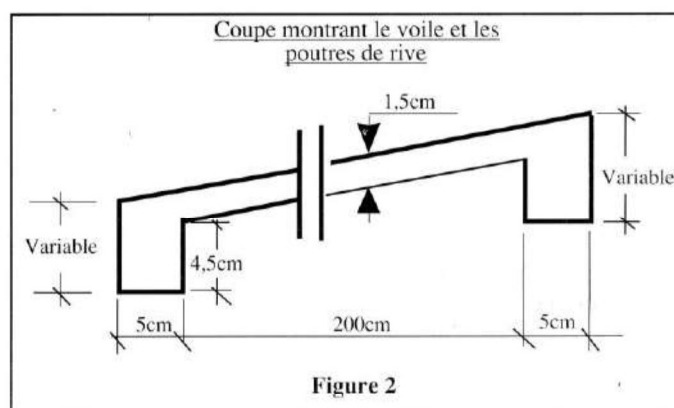
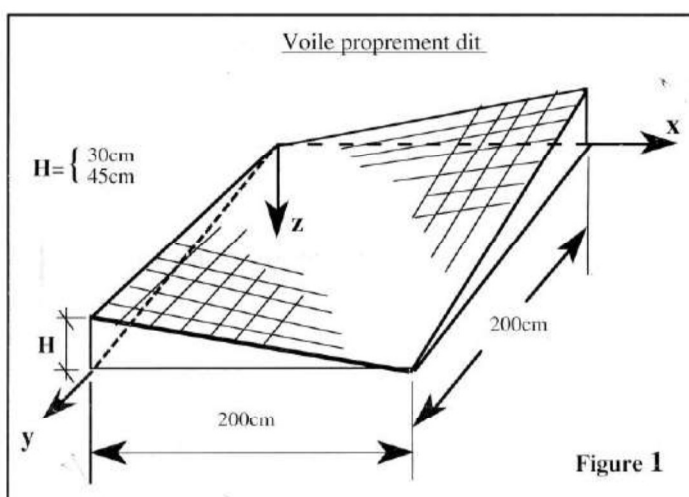
L'expérimentation a été menée sur deux modèles réduits en micro-béton armé, désignés par modèle "M30" et modèle "M45", où les nombres 30 et 40 désignent le surbaissement H , en cm, de chaque modèle.

Dans le présent article, nous donnons la description des essais à la ruine et une interprétation des résultats.

2 DESCRIPTION DES MODELES

Les figures 1 et 2 décrivent la géométrie des modèles testés. Pour de plus amples détails concernant la géométrie des voiles, leurs appuis, les caractéristiques des matériaux ou le dispositif expérimental, nous recommandons au lecteur intéressé de lire d'abord l'article mentionné dans l'introduction. Ici, nous nous bornerons à préciser les quelques modifications apportées aux structures, au niveau des appuis notamment, lors des essais à la rupture.

Il faut rappeler que chaque modèle reposait sur un bâti métallique par l'intermédiaire de ses quatre sommets qui constituent ses appuis. Dans les essais décrits dans notre premier article, les appuis étaient constitués



d'"articulations sphériques" (rotation permise) aux sommets bas (Photo 1) et de "billes" (rotation et translation horizontale permises) aux sommets hauts.

Au moment des essais à la ruine, les modèles présentaient les modifications suivantes :

Modèle "M30" :

- * les quatre appuis transformés en encastrement.
- * chaque poutre de rive renforcée par un plat métallique (1cmx5cmx210cm) collé sur la face verticale extérieure.

Modèle "M45" :

- * le modèle ayant une articulation constituée par une glissière (Photo 2) qu'on pouvait bloquer ou libérer, l'essai à la ruine a été mené avec la glissière libre ; donc, outre la rotation, la translation horizontale dans la direction de la glissière était également permise.

Nous pouvons passer maintenant à la description des essais à la ruine. Une étude détaillée sera consacrée au premier modèle car, dans ce cas, les flèches sont faibles et nous avons pu effectuer des mesures sous des charges proches de la charge de rupture, ce qui nous a permis de tracer un diagramme charges-flèches précis.

Par contre, pour le deuxième modèle (M45), qui était librement dilatable, les flèches mesurées deviennent très vite, c'est-à-dire pour des charges encore faibles, importantes et dépassent la "course" maximale des transducteurs. Aussi, les mesures dans ce cas sont moins nombreuses.

3 ESSAI A LA RUINE DU MODELE M30

La charge, croissant de 10 en 10 kg (vers la fin les incréments sont plus faibles, de 1 à 5 Kg), est appliquée au centre du voile, par l'intermédiaire d'un tripode circulaire, jusqu'à la ruine. Signalons que les pieds du tripode sont en néoprène, ayant chacun une aire de 3,5 cm² environ.

3.1 Fissuration du voile

Les premières fissures (il s'agit de fissures visibles à l'oeil nu) apparaissent sous des charges relativement importantes. Sous une charge de 403 kg, on voit trois fissures nettes à la face inférieure du voile qui partent du centre du PH, dans des directions voisines des médianes (Figure 3a).

Sous des charges plus importantes, les premières fissures se développent encore pendant que de nouvelles fissures apparaissent, toujours à partir du centre (Figure 3b).

A la face supérieure, les fissures apparaissent beaucoup plus tardivement ; en fait, on voit des fissures importantes seulement au voisinage de la charge de rupture (493 kg). Dès l'application de cette charge de 493 kg, le centre du voile commence à s'enfoncer, lentement d'abord puis plus rapidement.

Toujours à la face supérieure, on remarque des fis-

sures qui courent le long des rives dont elles ne s'écartent qu'à l'approche des appuis (Photo 3).

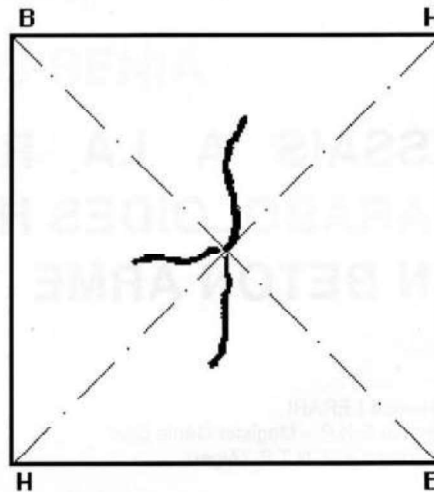


Figure 3a

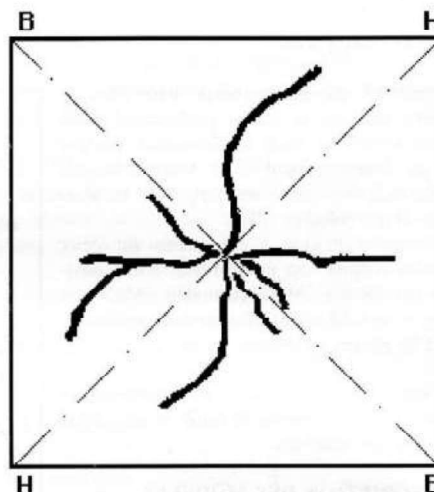


Figure 3b

A la face inférieure, sous la charge de rupture, une fissure proche de la diagonale reliant les sommets hauts traverse le voile de bout en bout. Suivant la diagonale reliant les sommets bas, les fissures s'arrêtent à peu près à mi-distance du centre du PH et des appuis bas. Deux grandes fissures longent grossièrement les médianes (Photo 4).

3.2 Mécanisme de fissuration

Sur la face inférieure, la fissuration se concentre autour des diagonales. Les fissures autour de la diagonale reliant les appuis bas s'arrêtent approximativement à mi-distance entre le centre du voile et les appuis.

A la face supérieure, on remarque en trois coins des fissures perpendiculaires aux diagonales qui les coupent. Les deux fissures proches des sommets hauts sont les plus importantes. Ces fissures sont probablement dues à la torsion qui serait donc plus importante du côté des appuis hauts ; n'oublions pas que les quatre sommets sont encastrés.

Les fissures le long des rives sont dues à l'encastrement des bords du voile dans les poutres. La liaison voile-poutres est manifestement le siège d'une torsion significative.

Au milieu du voile, les fissures provoquées par la flexion ont des formes circulaires.

La fissuration du PH présente encore beaucoup de similitudes avec celle d'une dalle carrée simplement appuyée sur quatre poutres de rive comme le montre la figure 4 tirée de la thèse de Doctorat de J.C. Dotreppe ("Etude par éléments finis des dalles en BA jusqu'à la ruine" - Université de Liège - Faculté des Sc. Appliquées - 1973).

3.4 Rupture du voile

Sous la charge de 493 kg, le fluage devient visible et va en s'accroissant jusqu'à la rupture proprement dite qui se produit par poinçonnement.

Il convient de remarquer que la destruction du voile est très localisée (centre) puisque la zone concernée compte approximativement 20 cm de long sur 15 cm de large.

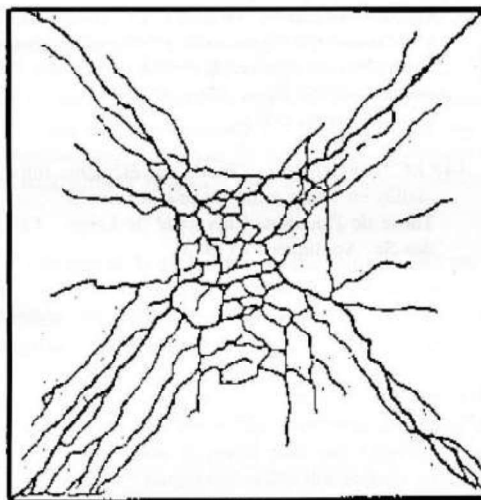
3.5 Analyse du diagramme charges-flèches au centre

Nous avons pu mesurer les flèches au centre du voile jusqu'au chargement de 453 kg. En effectuant des mesures tous les 10 kg, nous avons recueillis au total 40 points expérimentaux.

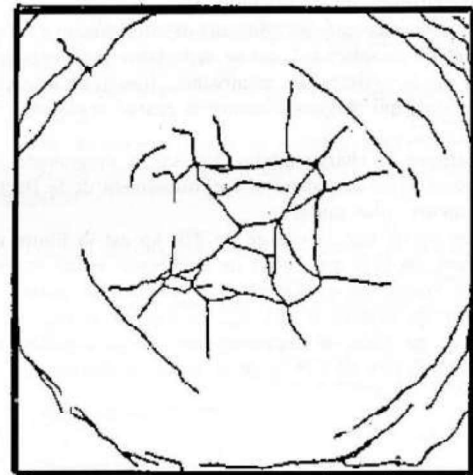
La dernière flèche mesurée, sous 453 kg, était de 16,1 mm, c'est-à-dire un peu plus que l'épaisseur moyenne du voile ($h = 15$ mm).

Le diagramme expérimental donnant la flèche au centre du voile en fonction de la charge appliquée est

Figure 4 : Fissuration observée sur les faces d'une dalle simplement appuyée sur quatre poutres



a) Face inférieure



b) Face supérieure

3.3 Fissuration des poutres de rive

Les poutres ont été très faiblement fissurées ; les fissures importantes, très superficielles et de 3 à 5 cm de long, apparaissent au voisinage des sommets bas.

Sur les faces latérales, on a relevé la présence de fissures très fines quasiment verticales ; elles étaient

représenté à la figure 5. Les points expérimentaux sont visibles sur la figure et permettent d'avoir une idée précise sur l'approximation donnée par la courbe en trait plein.

On peut distinguer sur le diagramme les parties suivantes :

- Le premier segment représente le domaine élastique linéaire. La proportionnalité entre charges et flèches est bien vérifiée. L'extrémité de cette première partie correspond à une charge de 140 kg. Sous cette charge, la flèche au centre du voile vaut 2,2 mm c'est-à-dire 14,6% de l'épaisseur moyenne du voile.

Les contraintes principales au milieu du PH (sous 140 kg) valent :

- 51.4 kg/cm² et - 42.7 kg/cm² à la face supérieure et 51.7 kg/cm² et 39.9 kg/cm² à la face inférieure.

- A 140 kg on voit apparaître le premier coude du diagramme mais l'inclinaison de ce deuxième tronçon par rapport au premier est assez faible.

Cette partie marque vraisemblablement l'apparition des premières fissures. En effet, on vient de voir que sous 140 kg la traction maximale vaut 51.7 kg/cm² c'est-à-dire le douzième de la résistance à la compression à 66 j du micro-béton qui représente approximativement la résistance à la traction du mortier. Cette deuxième phase du diagramme est linéaire tout comme la première.

- A partir de 220 kg le diagramme devient courbe et l'accroissement de la flèche devient plus rapide. Pour la charge de 220 kg, la flèche vaut environ 4 mm ce qui correspond à 26.7 % de l'épaisseur.

La charge de 220 kg est probablement la "**charge limite de flexion**" de ce paraboloïde hyperbolique. S'il en est ainsi, cela signifierait que le troisième tronçon et tous les suivants représentent le "**comportement post-critique**" de la structure.

Ce comportement est dû au développement d'un "**effet de membrane**" qui se matérialise par l'apparition de contraintes de membrane (tractions et compressions) qui réagissent contre la charge appliquée.

- Lorsque la charge atteint 350 kg le diagramme se redresse assez nettement et l'accroissement de la flèche est encore plus rapide.

Si on admet que la charge de 220 kg est la limite de flexion, on voit que l'effet de membrane a une importance considérable. En effet, il permet de porter la charge de rupture à 493 kg, en d'autres termes, il a permis au voile de supporter une charge supplémentaire de l'ordre de 124 % de sa limite de flexion.

4 ESSAI A LA RUINE DU MODELE M45

Les essais menés sur ce modèle, librement dilatable, confirment les résultats qualitatifs obtenus précédemment.

Les mesures ont montré que jusqu'à 100 kg la réponse du voile restait parfaitement linéaire et que sous 200 kg la flèche est égale à l'épaisseur présumée du PH. Après destruction du voile on s'est aperçu que l'épaisseur réelle du voile variait de 11,1 mm à 22,5 mm. Au centre par exemple, on a mesuré une épaisseur de 22,5 mm et on a obtenu une flèche sensiblement égale (22,6 mm) sous une charge de 250 kg.

La rupture s'est produite par poinçonnement (comme dans le cas précédent) sous une charge de 460 kg.

La fissuration de ce modèle est pratiquement semblable à celle du premier modèle comme le prouvent les photos 5 et 6.

5 BIBLIOGRAPHIE

- (1) M. LERARI - "Etude du comportement des voiles minces en béton armé en forme de paraboloïdes hyperboliques".
Thèse de Magister - ENP (Alger) - Avril 1988.
- (2) M. LERARI - "Etude du comportement des voiles minces en béton armé en forme de paraboloïdes hyperboliques".
Revue "Algerie EQUIPEMENT" - N°0 Mars 1991.
- (3) A. PADUART and P. HALLEUX - "Test to failure of a micro-concrete Hypar shell under concentrated load".
IASS Conf. on lightweight shell & space struc. for normal and seismic zones, Alma-Alta.
Section I (sept. 1981).
- (4) J.C. DOTREPPE - "Etude par éléments finis des dalles en béton armé jusqu'à la ruine".
Thèse de Doctorat, Université de Liège - Faculté des Sc. Appliquées - (1973).

Figure 5 : Diagramme charges-flèches
au centre du voile

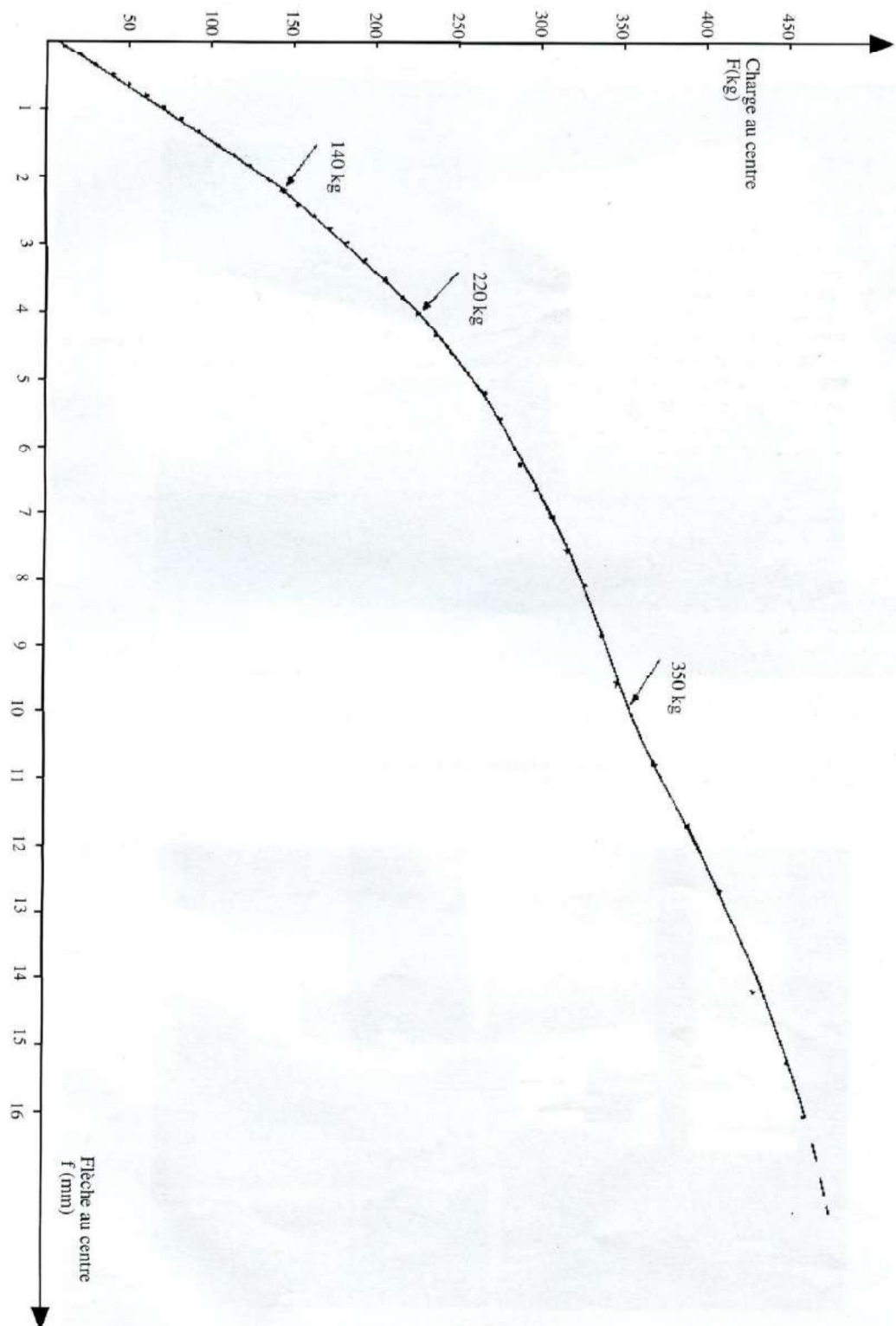


Photo 1 : Articulation (somet bas)

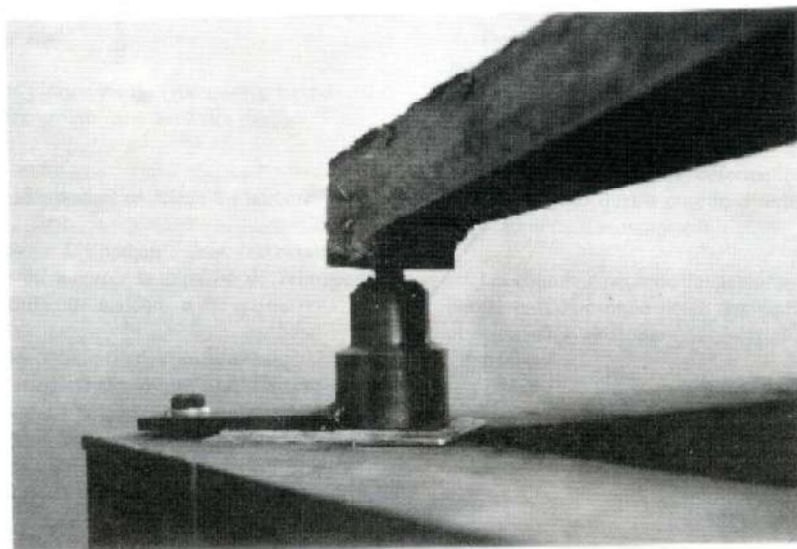


Photo 2 : Glissière (Modèle M45)

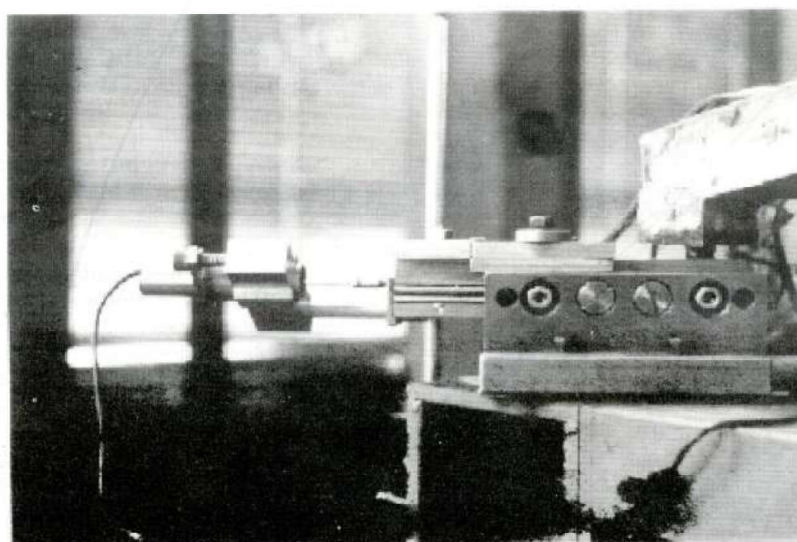


Photo 3 : Fissuration - face supérieure, Modèle M30

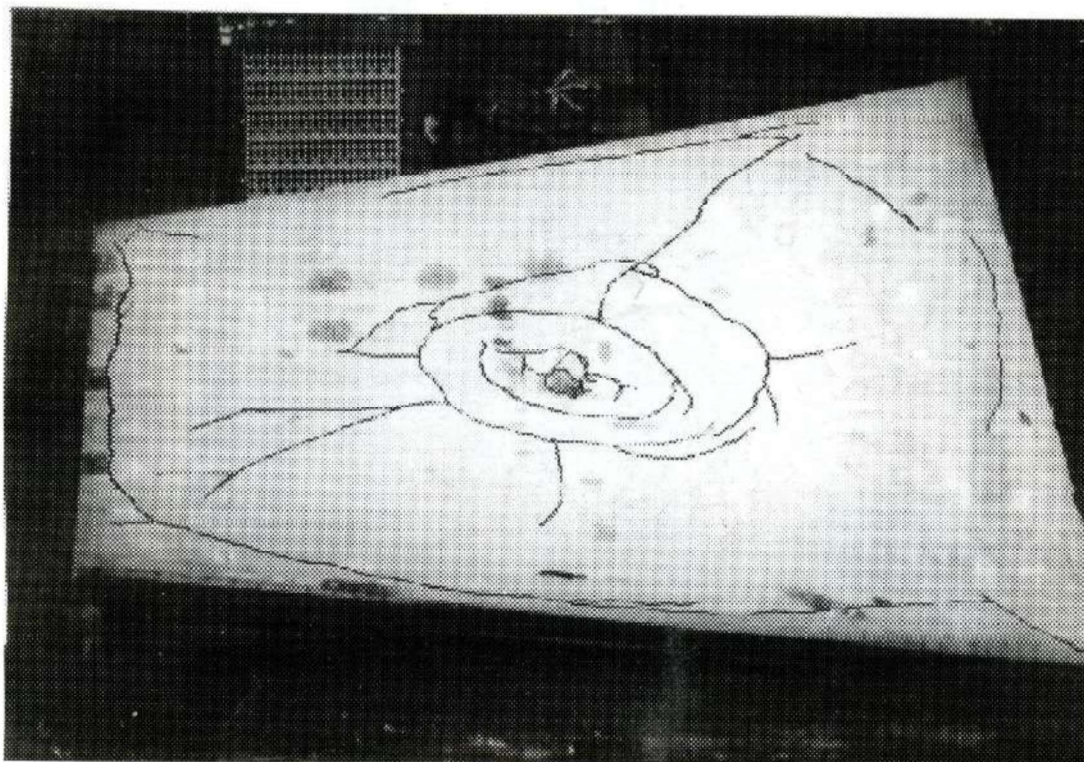


Photo 4 : Fissuration - face inférieure, Modèle M30

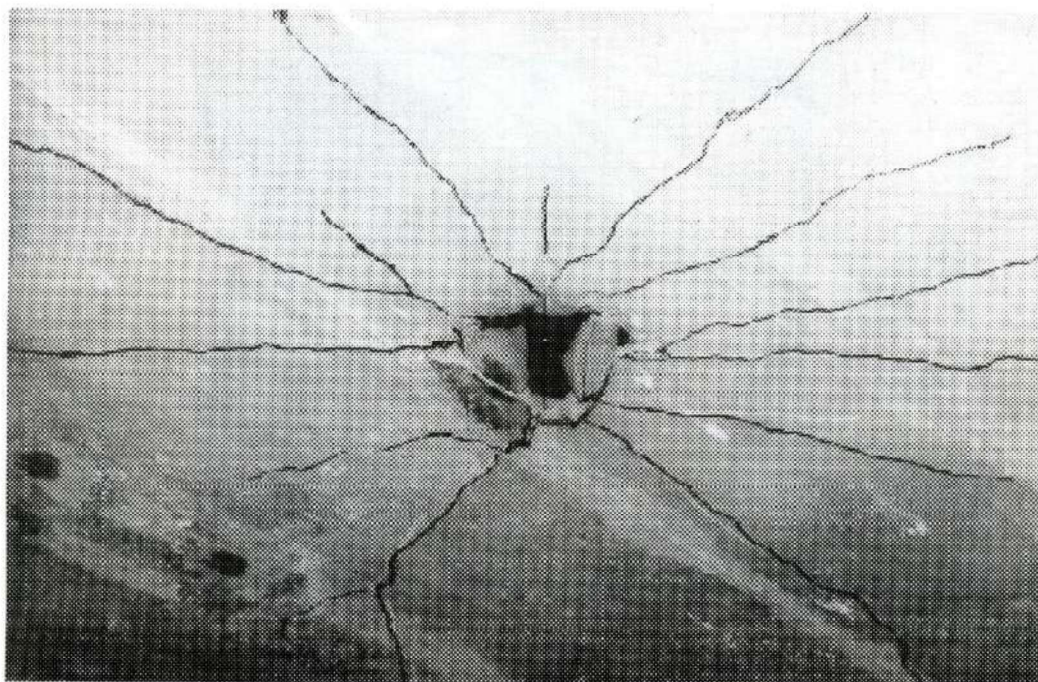


Photo 5 : Fissuration - face supérieure, Modèle M45

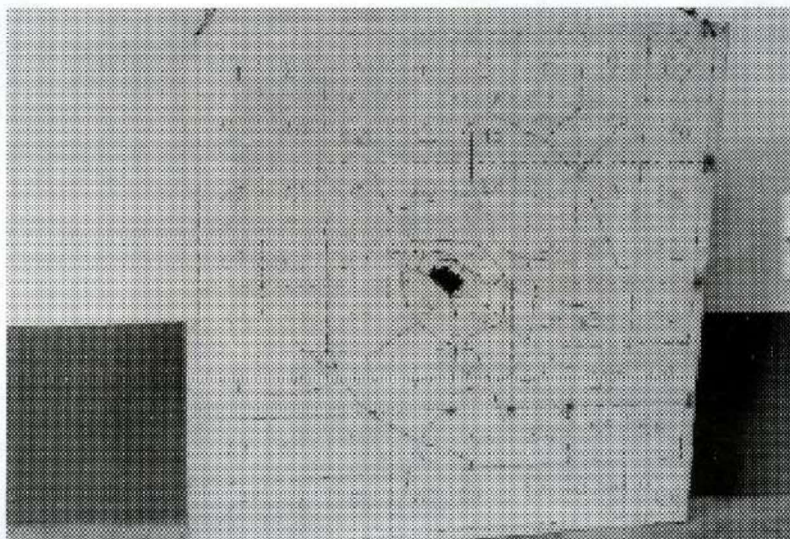


Photo 6 : Fissuration - face inférieure, Modèle M45

