

ÉTUDE MICRO-GÉODÉSIQUE DE STRUCTURES SOUTERRAINES DANS L'ARGILE À GRANDE PROFONDEUR

*J.J. Derwael, Géomètre, Studiegroep Omgeving, Mortselt et
B. Neerdael, Ir. Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire (CEN), Mol.*



1 - LE PROJET HADES

1.1 Introduction

Le Centre d'étude de l'Energie Nucléaire (CEN/SCK) a entrepris dès le milieu des années 70 la réalisation d'un programme de Recherche et Développement sur l'enfouissement, en formation géologique profonde, des déchets radioactifs conditionnés.

Le projet dans son ensemble est soutenu financièrement par plusieurs organismes, entre autres la Commission des Communautés Européennes et ONDRAF/NIRAS, l'organisme national pour la gestion des déchets radioactifs et des matières fissiles.

Le choix de la formation géologique adéquate s'est porté sur une couche d'argile tertiaire, l'argile de Boom, présente sous le site nucléaire de Mol - Dessel à une profondeur moyenne de 230 m et présentant une épaisseur de l'ordre de 100 m.

Après plusieurs années d'études tant en laboratoire que sur le terrain à faible profondeur (région de Boom/Terhaegen), la construction d'un

Résumé

Le programme d'investigations développé par le CEN/SCK dans le cadre du projet HADES (High Activity Disposal Experimental Site) est en grande partie réalisé à partir d'une installation souterraine totalisant actuellement 100 m de galeries et située à 223 m de profondeur dans la formation argileuse de Boom à Mol.

Il a été conçu pour acquérir les données nécessaires à l'évaluation de la faisabilité technico-économique et de la sécurité à long terme d'un dépôt de déchets radioactifs conditionnés dans une formation argileuse profonde.

Cette communication fait une synthèse des mesures micro-géodésiques réalisés dans le cadre de la construction et du comportement à long terme d'une galerie de démonstration pourvue de différents types de revêtement à caractère plus ou moins expérimental.

laboratoire souterrain a été entreprise pour permettre :

- d'une part la réalisation d'essais in situ devant lever les incertitudes ou objections provenant des conditions expérimentales considérées jusqu'alors pour les domaines déjà investigués expérimentalement (transfert thermique, corrosion, migration, ...),

- d'autre part le développement d'autres aspects qui n'avaient pu être qu'initiés (tunnelling, (thermo)-mécanique, colmatage, rayonnement, ...) et cela jusqu'à la démonstration à échelle réelle qui a dans certains cas déjà démarrée et qui sera à la base de la construction d'une installation pilote future.

L'ensemble des installations souterraines HADES, opérationnel depuis fin 1987, est illustré à la figure 1; on y trouve :

- le puits d'accès de 215 m de profondeur et de 2,65 m de section utile (1980/1982), revêtu de béton ainsi qu'une chambre d'accrochage à sa base, de 15 m de haut et de 4 m de section utile,

- une galerie laboratoire (URL) de 35 m de long

(1983) construite, tout comme le puits et la chambre, par congélation du massif argileux. Elle est revêtue de fonte sur les 26 m «utiles» en section 3,5 m. Des ouvrages expérimentaux (puits/ galerie) y sont connectés ; ils ont été réalisés (1984) en petite section (1,4 m utile) pour étudier le comportement du massif «vierge»,

- une galerie de démonstration en 3,5 m de section utile mais construite sans congélation ni autre traitement préalable du massif et revêtue de béton (64 claveaux de 60 cm d'épaisseur par anneau, 3 anneaux par mètre) sur une longueur de 42 m. Elle se termine encore par des tronçons de même diamètre dits «expérimentaux» pour ce qui concerne le comportement des revêtements testés (12 m en cintres métalliques coulissants suivi, après une zone «tampon» en claveaux de béton, d'un front hémisphérique gunité sur une épaisseur de 15 cm seulement).

parer les deux types de mesures ainsi effectuées. Nous passons dans les paragraphes suivants successivement en revue ces différentes mesures géotechniques, et cela tronçon par tronçon.

1.2 Caractéristiques de l'argile de Boom

L'argile de Boom sous le site de Mol se comporte comme une argile surconsolidée (OCR= 2.4). Sa teneur en eau varie de 23 à 26 % ; le poids volumétrique humide est en moyenne de 20 kN/m³. Les pressions de gonflement peuvent atteindre 0.9 MPa. Les limites d'Atterberg sont de 65 à 70 % pour la liquidité et de 20 à 25 % pour la plasticité, conduisant à un indice de plasticité voisin de 50 %.

Cette argile «fortement plastique» a une cohésion de 0.8 à 1 MPa et un angle de frottement de 4° ; le module d'élasticité peut être estimé in situ à des valeurs de l'ordre de 300 à 350 MPa. La perméabilité indiquée par différents test en laboratoire et in situ sur échantillons reconsolidés est en moyenne de 3 10-12 m/s.

1.3 Galerie «Béton»

La galerie dite de démonstration, d'un diamètre utile de 3,5 m, est revêtue de claveaux de béton de 60 cm d'épaisseur, calculés pour reprendre l'entièreté des pressions de terrain à cette profondeur (223 m).

Parmi le programme intensif de mesures qui a été associé à sa construction et qui fait toujours l'objet de

suivi à long terme pour quantifier la zone perturbée autour de la galerie, on retiendra ici en particulier les mesures de convergence du revêtement et les contraintes exercées sur celui-ci.

Celles-ci permettent d'estimer la rigidité du revêtement, paramètre important pour la modélisation du comportement des structures souterraines dans un tel matériau.

La mise en pression (par convergence du massif et après colmatage des vides éventuels) des claveaux de béton posés manuellement contre la paroi, non boulonnés et séparés par des intercalaires de bois compressible amène des modifications (mise en place des blocs, comportement du matériau de colmatage, ovalisation, ...) qu'il

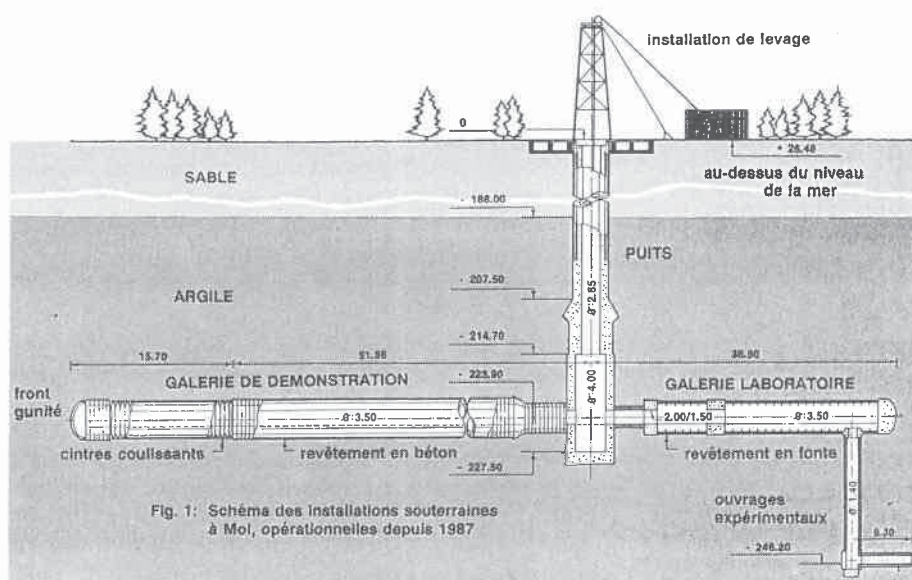


Fig. 1

La zone en cintres a été réalisée à Mol pour l'ANDRA (Agence Nationale pour la gestion des Déchets RADIOactifs), agence établie à Paris.

Le suivi du comportement des différentes sections composant la galerie de démonstration fait essentiellement l'objet des mesures qui sont à la base de cette communication. En complément, il sera fait référence à des mesures de verticalité en forage.

Chacun des tronçons concernés a été équipé, outre des repères de nivellement, profils et autres points de référence nécessaires aux mesures de déformations, de capteurs de mesure divers à caractère géotechnique qui permettent dans la plupart des cas (convergence, déplacement) de com-

est intéressant de suivre afin d'en déduire des informations notamment sur le champ de contraintes en argile. Les mesures de pressions sont réalisées par cellules hydrauliques placées radialement à l'extrados des claveaux et par des cellules de charge, aussi hydrauliques, à l'intérieur du revêtement.

1.4 Galerie «Cintres»

Une galerie expérimentale de 12 m revêtue de cintres miniers mais coulissants (3 par mètre) a été réalisée pour l'ANDRA en application, de la théorie convergence/confinement.

La convergence n'a atteint à ce jour que 2.5% en moyenne et aucun risque d'instabilité (flambage par exemple) ne s'est concrétisé en 4 ans, ce qui, pour les conditions expérimentales ici considérées, est tout à fait encourageant pour le développement ultérieur d'un tel système dont le grand intérêt est de faire participer le massif au revêtement, revêtement dont le dimensionnement peut ainsi se faire pour une fraction seulement de la pression au sein du massif.

Plus de 400 points de mesure ont été placés ; la fréquence des mesures est passée en 4 ans de journalière à trimestrielle apportant un ensemble considérable de données.

1.5 Zone Tampon Béton

Le revêtement en cintres dont il vient d'être question a l'inconvénient dans sa conception actuelle de ne pas pouvoir reprendre d'efforts longitudinaux, les cintres étant simplement reliés par des entretoises métalliques.

Une zone tampon s'avérerait dès lors nécessaire pour reprendre par frottement à la paroi extérieure, la poussée venant du front, et cela en dépit d'un «joint» d'une vingtaine de centimètres aussi prévu entre le front et ce tronçon autorisant un déplacement non négligeable avant poussée axiale sur la zone «tampon» et donc in fine sur la galerie en cintres. Cette zone de 2 mètres de long a été revêtue en claveaux de béton similaires à ceux de la galerie «béton» décrite en 1.3.

1.6 Front terminal

Le front hémisphérique a été stabilisé temporairement, à titre expérimental, par de la gunite ou béton projeté sur une relativement faible épaisseur (15 cm environ). Le comportement et en particulier le mouvement du front a été régulièrement contrôlé par mesures de distances (EDM) et les déplacements dans le terrain suivis par mesures extensométriques.

Quinze réflecteurs optiques, dont un en tête d'extensomètre, ont été placés sur des supports ancrés à la paroi sur 30 cm (soit 15 cm dans l'argile) pour suivre le déplacement d'ensemble à partir d'une station fixe quelque 17 mètres en amont.

Un extensomètre multi-points en fibre de verre (GLOETZL) permet de mesurer les déplacements au sein du massif, à des distances de 2, 4, 7 et 10 m de la coque de gunite.

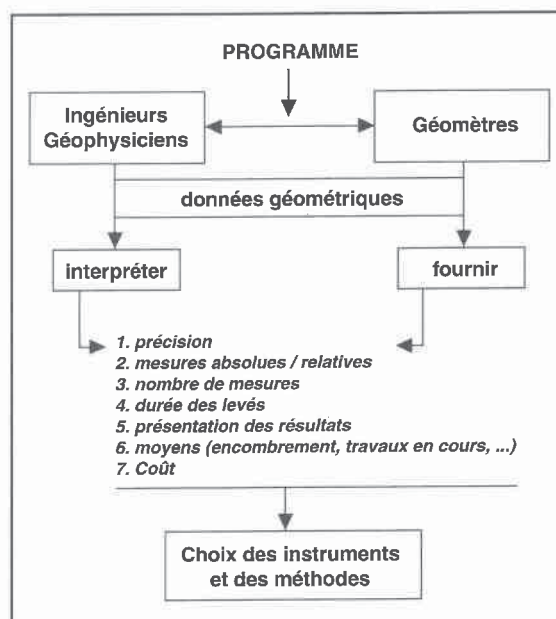
Les points à 7 et 10 m dans le massif pouvant être considérés comme fixes, la mesure de leur déplacement correspond au mouvement de la «tête» d'extensomètre et donc du réflecteur correspondant ou encore à la moyenne des déplacements des réflecteurs optiques du front.

2 - MESURES MICRO-GÉODÉSQUES

2.1 Introduction

Il est indispensable d'établir, au préalable, le programme des levés. Le dialogue entre les géophysiciens (qui doivent interpréter les résultats) et les géomètres (qui fournissent les données géométriques) est fondamental.

Le choix des instruments et des méthodes est fonction de nombreux éléments tel que précision, type de mesures, moyens mis en œuvre ...



Il est également important que, durant les opérations, les différents intéressés comparent et évaluent les résultats, en tirent les conclusions afin de modifier et d'améliorer les travaux en cours.

2.2 Etablissement du programme

Suite aux discussions préalables le programme fut établi comme suit.

1. Mesures "topométrie"

1.1 Réseau de "surface"

1.2 Réseau "galerie"

1.3 Raccord surface - galerie

2. Mesures "déformation"

2.1 Galerie "béton"

- mesure de profils

2.2 Galerie "cintres"

- déformation longitudinale
- nivellement

2.3 Front terminal

- déformation du front hémisphérique

2.4 Mesures de verticalité en forage

2.3 Exécution du programme

2.3.1 Mesures «topométrie» (fig. 2)

L'appui topographique aux travaux de génie civil, lors de la construction de la galerie de démonstration, peut se résumer comme suit :

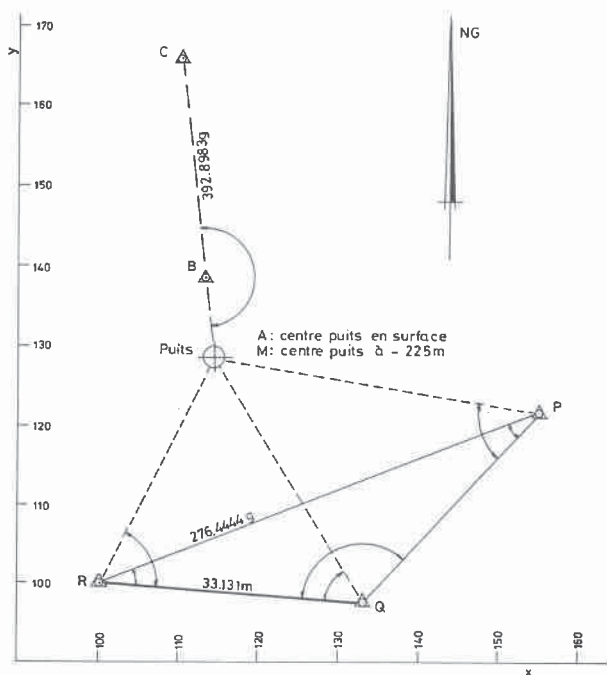


Fig. 2

● Réseau de «surface»

Celui-ci se compose de trois repères situés autour du puits. (points P, Q et R). Les coordon-

nées des points de repères ont été déterminées dans un système local.

● Réseau «galerie»

Les repères B et C situés dans la galerie laboratoire constituent la base de départ pour la construction de la galerie de démonstration.

● Raccord «surface» - «galerie»

Le point A (centre du puits) dont les coordonnées furent déterminées à partir des points P, Q, R a été rabattu à l'aide d'un théodolite WILD T2 équipé d'un oculaire coudé. Cette opération délicate, vu les problèmes de visibilité et de réfraction dans un puits d'une profondeur de 225 m et d'un diamètre de 2.65 m, fut réalisée avec une précision de 10 mm.

Les direction R - P (surface) et B - C (galerie) ont été déterminées au Gyroscope Wild GAK1 monté sur théodolite Wild T2.

2.3.2 Mesures de déformation

Lors de la construction des galeries les techniciens des différents laboratoires et entreprises effectuèrent des mesures de «déformations relatives» le but des mesures «micro-géodésiques» est de déterminer les «déformations absolues» et ce afin de pouvoir comparer, voire adapter, les résultats obtenus ; dans ce but les mêmes repères ont été employés par les différents utilisateurs.

2.3.2.1 Galerie «béton»

Répartis sur une longueur totale de 40 m la déformation absolue de 7 profils a été mesurée en x, y et z. Les mesures ont été exécutées durant une période de 6 mois, chaque profil a été contrôlé 8 fois.

● base de départ

C'est depuis la galerie laboratoire (1983), considérée comme stabilisée, que toutes les mesures de contrôle ont été faites (point de départ B, direction B - C).

● polygonale de référence

Ligne polygonale formée par les points B, J, K et L. (Fig. 3).

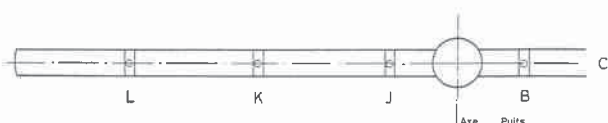


Fig. 3

- matérialisation, poutre en acier pourvue d'une plaque en laiton avec alésage 30 mm. (Fig. 4).
- les distances entre les points sont égales afin de pouvoir employer un seul et même fil d'invar.

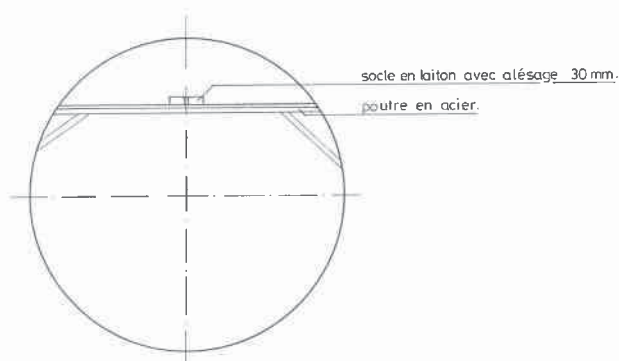


Fig. 4

- mesures d'angles théodolite Wild T2.
- mesures de distances Distinvar.

● potences murales

Les potences se composent de deux parties : (Fig. 5).

- plaque murale à fixer contre la paroi de la galerie en fonction de l'avancement des travaux
- potence amovible fixation à la plaque murale par queue d'aronde et vis de serrage. La potence est pourvue d'une base de référence avec sphère.

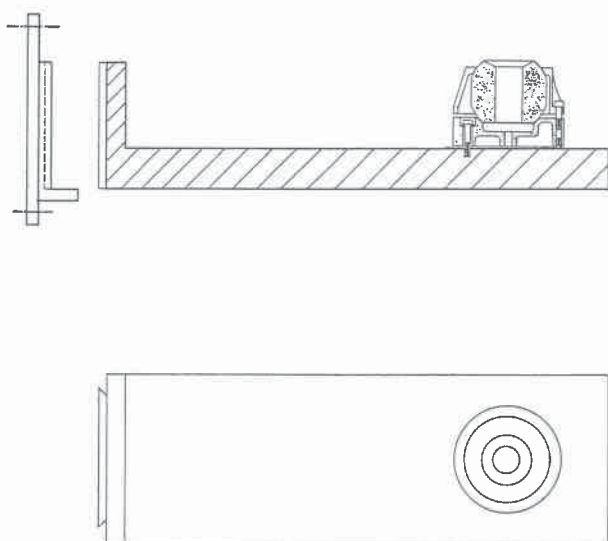


Fig. 5

Les potences sont remesurées lors de chaque mesure de profils avec rattachement à la galerie laboratoire. La localisation des potences est tel que 3 fils d'invar (longueur 2,80 m, 4,50 m et 5,30 m) permettent d'exécuter les levés par trilatération.

Depuis les potences, les profils furent mesurés par intersection. (Fig. 6).

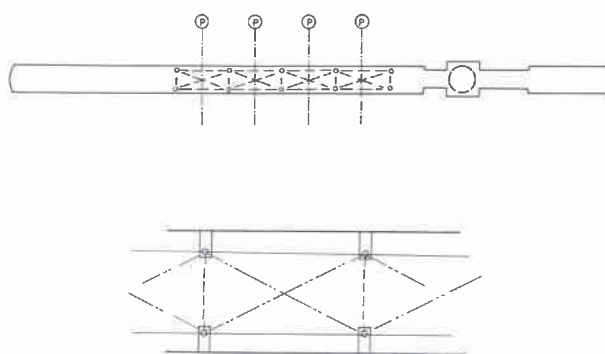


Fig. 6

● Résultats

Le déplacement de 5 repères par profil a été calculé en x, y et z.

A partir des différences en x et z nous avons déterminé un vecteur de déplacement dans le plan du profil, les différences en y donnent le mouvement des points par rapport à l'axe de la galerie. (Fig. 7 et 8).

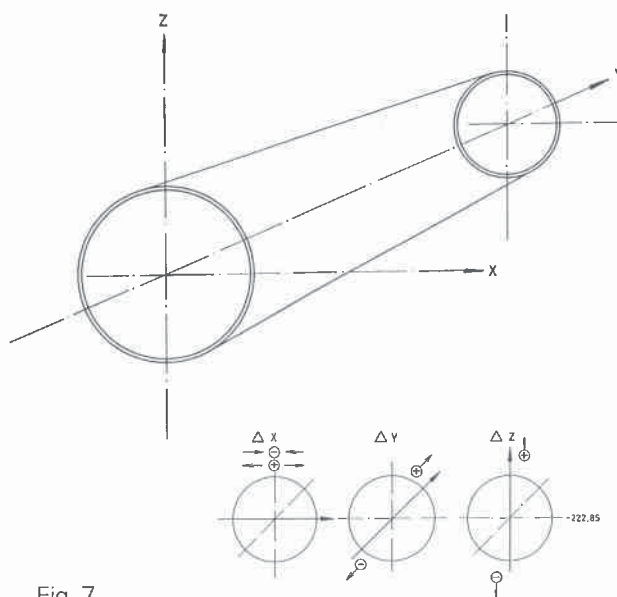


Fig. 7

2.3.2.2 Galerie «cintres»

● Déformation longitudinale

Sur une longueur d'environ 12,50 m la galerie se compose de cintres coulissants, afin d'en déterminer la déformation des mesures de distances ont été effectuées.

De part et d'autre de cette galerie des repères (3 x 2 repères) furent fixés dans les blocs de béton. Les repères sont des potences fixes avec alésage 30 mm, celle-ci permettent de mesurer les changements de longueur avec le Distinvar. (Fig. 9).

● Nivellement

Afin d'obtenir des données absolues nous avons nivelé régulièrement les mêmes repères (plots en laiton) fixés sur les cintres. Le nivellement fut exécuté au niveau Wild N3, avec lecture sur mire industrielle invar, par rapport à un repère situé dans le puits.

2.3.2.3 Front terminal

Le contrôle de la déformation du front terminal se fait sur 15 repères répartis sur la surface du front. Les mesures se font depuis le dernier point de la polygonale par levé polaire (théodolite Wild T16 et distancemètre Wild Di 1000). (Fig. 10).

Avant et après chaque série de mesures nous avons étalonné le distancemètre entre les points. L - K - J. (Fig. 11).

2.3.2.4 Mesures de verticalité en forage

Pour la mesure de verticalité de forages nous avons employé le prisme objectif monté sur un théodolite Wild T2. Une cible éclairée est introduite dans le forage et suivie au théodolite.

Ces mesures, effectuées depuis 2 ou 3 stations situées autour du forage, permettent de calculer le centre du forage à différentes profondeurs.

PRISES DE VUES AERIENNES



AVIONS RAPIDES
COUVERTURE
EUROPÉENNE
2 EQUIPAGES :
365 JOURS SUR 365
MATÉRIEL FMC

A D R E S S E

APEI
Aérodrome de Moulins
03400 YZEURE
Tél. 70 20 63 67
Téléc. : 980 862 - Fax : 70 20 84 87

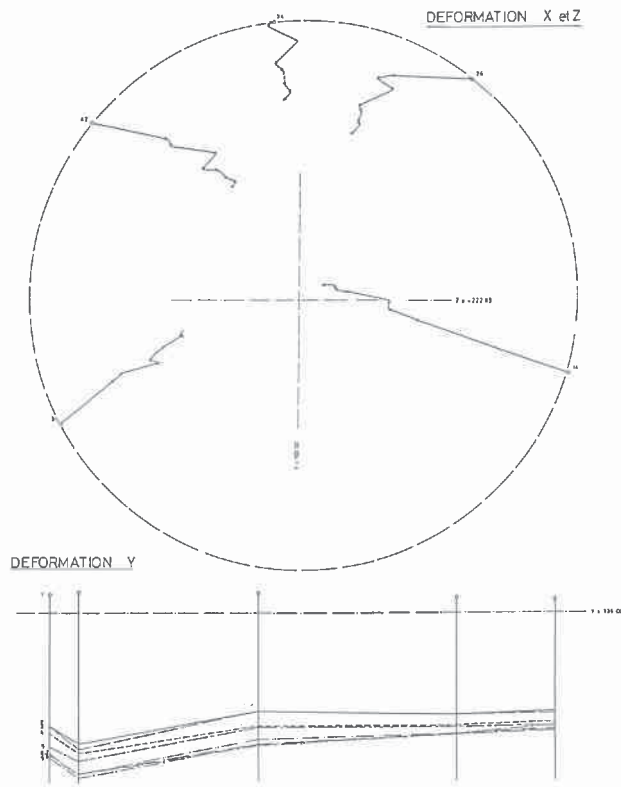
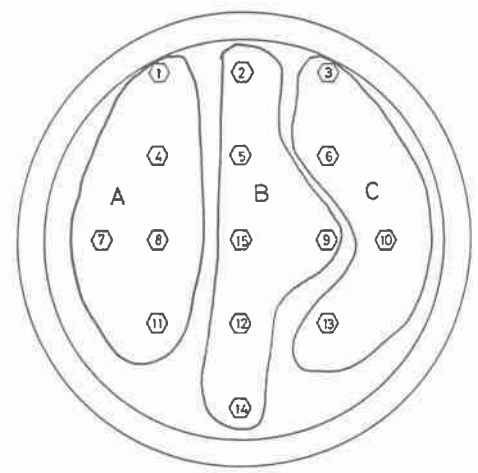


Fig. 8



Deformation du front
entre le 16.12.87 et le 13.11.91

Zone A	178 mm
Zone B	217 mm
Zone C	229 mm

Fig. 10

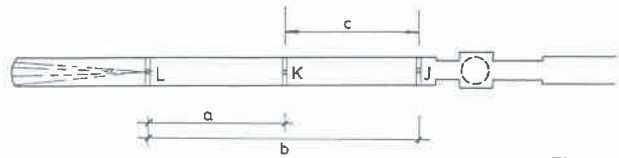


Fig. 11

Fig. 9

