

A7

## **GROUPE DES LABORATOIRES**

Service Contrôle des Matériaux Irradiés

B.P. 23 - 37420 AVOINE

**Contrôle dimensionnel par nappe laser**  
**Application aux empreintes élastomères**  
**et crayons combustible**

Etienne VRIGNAUD

**GROUPE DE TRAVAIL "LABORATOIRES CHAUDS ET TELEMANIPULATIONS"**  
**DES COMMUNAUTES ECONOMIQUES ET EUROPEENNES**

AVOINE (F) 15-16 JUIN 1993

## 1 - OBJET

La mesure dimensionnelle constitue une opération essentielle pour l'expertise de composants, car elle reflète le comportement d'une pièce sous l'effet des sollicitations dont elle est l'objet. Parfois, l'anomalie dimensionnelle résulte de l'élaboration du produit et est à l'origine d'une dégradation. Les techniques de métrologie ont largement progressé ces dernières années, mais les méthodes sans contact, bien que prometteuses, se sont peu répandues dans l'industrie ou le laboratoire où on leur préfère encore le contrôle tridimensionnel par palpage (déplacements indexés et contact à coupure) ou les mesures analogiques électromécaniques (LVDT par exemple).

Travailler en milieu hostile se prête, a priori, mal à l'utilisation d'outillages élaborés de métrologie car ils présentent généralement une fragilité importante et une durée de vie réduite sous irradiation (électronique, informatique, optique, ...). Le laboratoire chaud EDF de Chinon a pourtant développé avec succès de telles techniques dans le cadre de deux applications particulières :

- l'analyse dimensionnelle d'empreintes élastomères moulées dans des composants des circuits des centrales,
- la métrologie de crayons combustibles ou de crayons de grappes de commande en cellule de haute activité.

## 2 - ANALYSE DIMENSIONNELLE D'EMPREINTES ELASTOMERES

Le moulage d'empreintes élastomères permet de réaliser, de façon non-destructive, des métrologies fines destinées à mettre en évidence des déformations ou des anomalies dimensionnelles de faible importance (quelques microns). La mise en oeuvre est aisée (simple injection du produit), rapide (temps de réticulation d'environ 2 heures) et l'extraction est facilitée par l'élasticité de l'élastomère. Le traitement de ces empreintes ne peut pas être fait par des méthodes traditionnelles par contact. La mise en oeuvre de la métrologie par nappe laser associe dans ce cas la précision intrinsèque et les avantages de la mesure sans contact. Le dispositif est décrit en annexe I, page 1/2 dans le cas d'empreintes de diamètre inférieur à 40 mm et page 2/2 dans le cas d'empreintes de diamètre supérieur. La finesse des mesures est ajustée en fonction de la dimension des anomalies recherchées. L'automatisation du dispositif permet de réaliser un grand nombre de mesures sans interventions humaines (nuit, week-end,...).

La mesure par nappe laser utilise la technique de l'ombroscopie. La reconstitution de la forme de chaque section est réalisée selon les étapes décrites en annexe II : chaque section est assimilée au polygone enveloppe défini par l'intersection des tangentes déterminées par l'ombroscopie laser.

La souplesse des empreintes nous oblige à choisir un axe longitudinal arbitraire, mais judicieusement choisi pour mettre en évidence les déformations recherchées et éliminer les courbures dues à la flexibilité de l'empreinte et induites généralement par les conditions de stockage. Ce choix est généralement réalisé par le cumul des trois règles suivantes :

- l'axe est choisi parabolique pour compenser les flèches de l'empreinte,
- on impose à l'axe de passer par le centre de la première et de la dernière section,
- on impose à l'axe de passer au plus près du centre de sections intermédiaires par la technique des moindres carrés.

Cette technique est illustrée par les graphiques de l'annexe III.

La représentation graphique est effectuée avec un effet d'échelle permettant la mise en évidence de déformations invisibles à l'oeil nu. Quelques exemples obtenus sur des empreintes élastomères moulées dans des tubes de générateur de vapeur sont présentés en annexe 4 :

- page 1/4 : zone de fin de dudgeonnage d'un tube sain,
- page 2/4 : zone de fin de dudgeonnage d'un tube présentant une striction dans la zone de fin de dudgeonnage,
- page 3/4 : zone de fin de dudgeonnage d'un tube présentant une striction et une ovalisation dans la zone de fin de dudgeonnage,
- page 4/4 : profil interne d'un tube présentant une déformation à la traversée d'une plaque entretoise.

Le traitement des empreintes de grand diamètre est illustré par les résultats obtenus sur des empreintes moulées dans des traversées de couvercle de cuve REP (annexe 5). Dans ce cas la profilométrie par nappes laser a permis de mettre en évidence, très rapidement, les ovalisations qui ont causé la fissuration de ces traversées.

### **3 - METROLOGIE DE CRAYONS COMBUSTIBLE OU DE CRAYONS DE GRAPPE EN CELLULE DE HAUTE ACTIVITE**

Le laser à nappe offre des avantages incontestables pour la métrologie de crayons en cellule de haute activité. On peut citer, entre autres, la précision et la rapidité des mesures, la facilité d'étalonnage, l'absence de réglages électriques ou mécaniques.

Par contre, l'irradiation gamma provoque des dommages qui limitent la durée de vie de l'appareil à environ  $10^4$  Sv. Les dégradations affectent essentiellement l'optique qui s'opacifie, atténuant le signal délivré jusqu'à un seuil où le processeur n'est plus en mesure de le numériser. Cette atténuation n'affecte pas la précision des mesures et n'entraîne pas de dérive. On y pallie en prévoyant une mise en place et une extraction aisée du laser. Après une décontamination légère, son optique est déposée, restaurée, remontée et réglée. L'ensemble de ces opérations prend environ 6 heures. On utilise alternativement deux lasers, de façon à disposer en permanence du moyen de métrologie en cellule de haute activité.

Plusieurs modes opératoires peuvent être exploités :

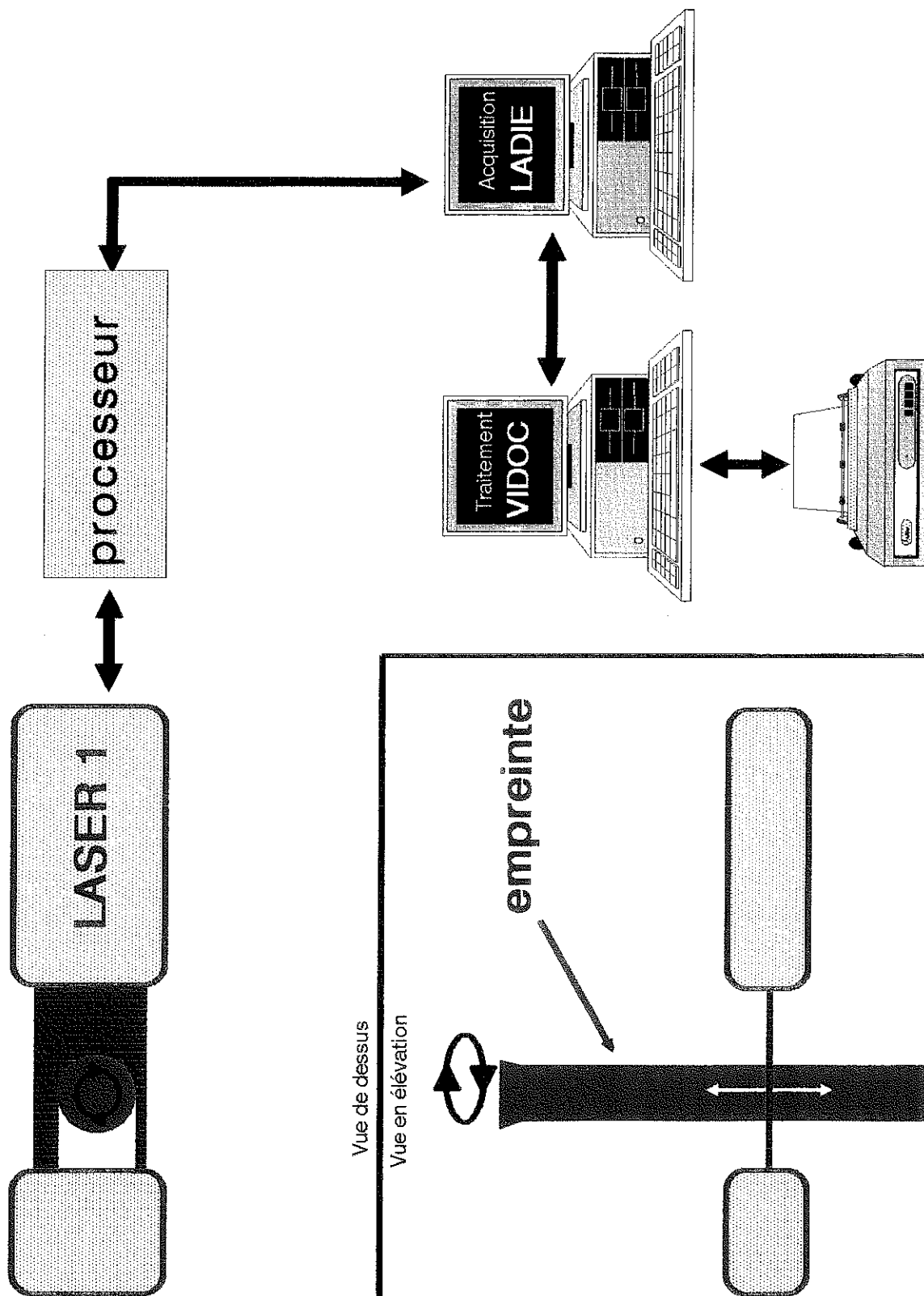
- mesures "pas à pas" où l'on effectue successivement les opérations de déplacement (rotation ou translation) et mesure. Chaque mesure de diamètre est ainsi affectée à une position relative du crayon et du laser, donc à une génératrice et à une position axiale du crayon. Ce mode permet de réaliser, de façon automatique, la profilométrie complète et détaillée d'un crayon combustible REP en 10 heures (mesure du diamètre tous les 15° et tous les 0.5 mm, soit environ 100 000 mesures),
- mesures "dynamiques", où l'on effectue simultanément les opérations de déplacement et de mesure. L'ordinateur interpole et répartit les mesures le long de la génératrice explorée. Ce mode d'exploitation permet de traiter des crayons dont l'irradiation est très importante car le temps de mesure est considérablement réduit par rapport au mode précédent.

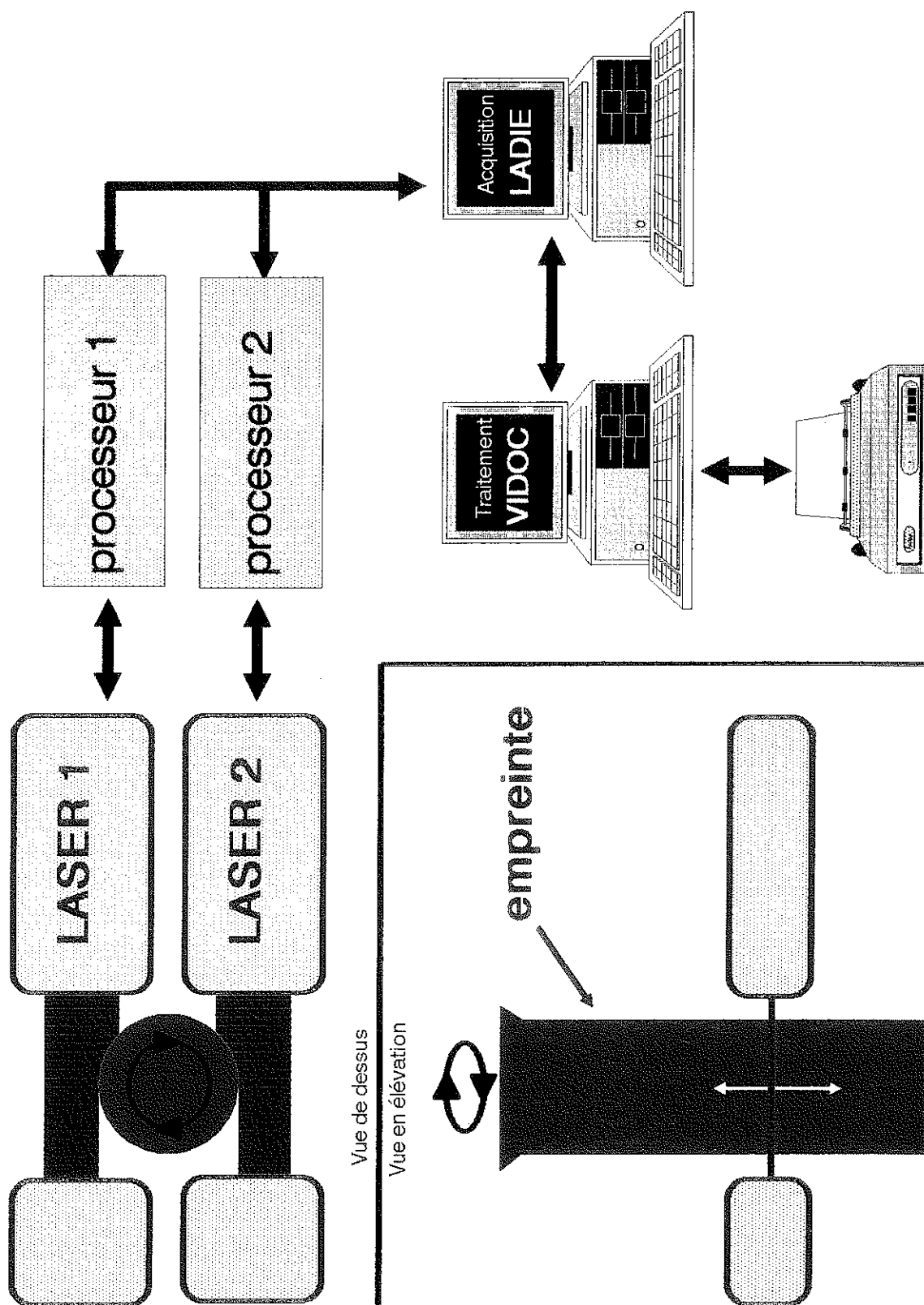
Les résultats obtenus sur un crayon combustible REP 900 MW sont présentés en annexe 6. La précision et le nombre de mesures permettent de mettre en évidence l'interaction pastilles-gaine.

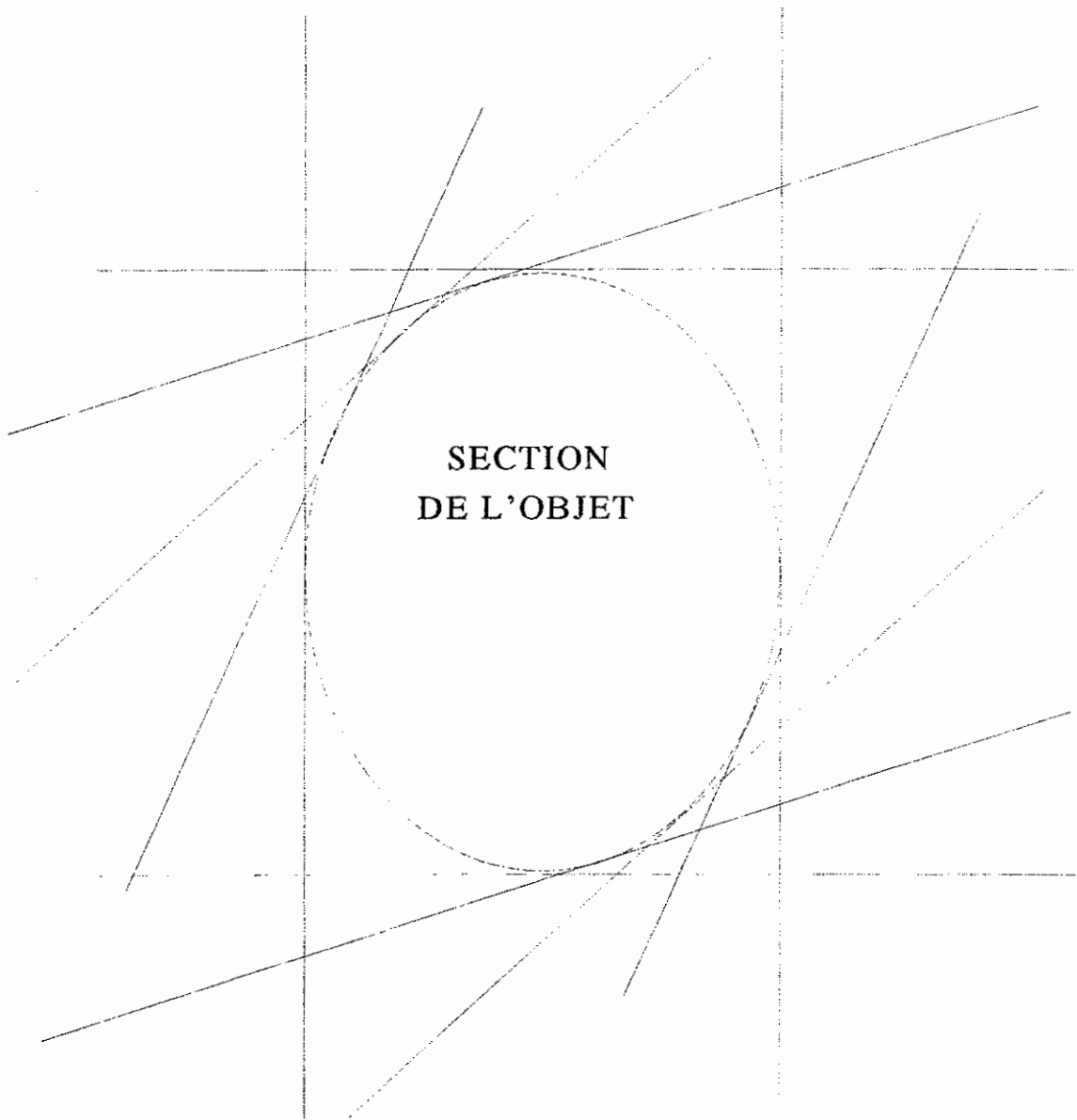
#### 4 - CONCLUSION

L'utilisation de techniques laser pour effectuer les mesures dimensionnelles présente plusieurs intérêts majeurs :

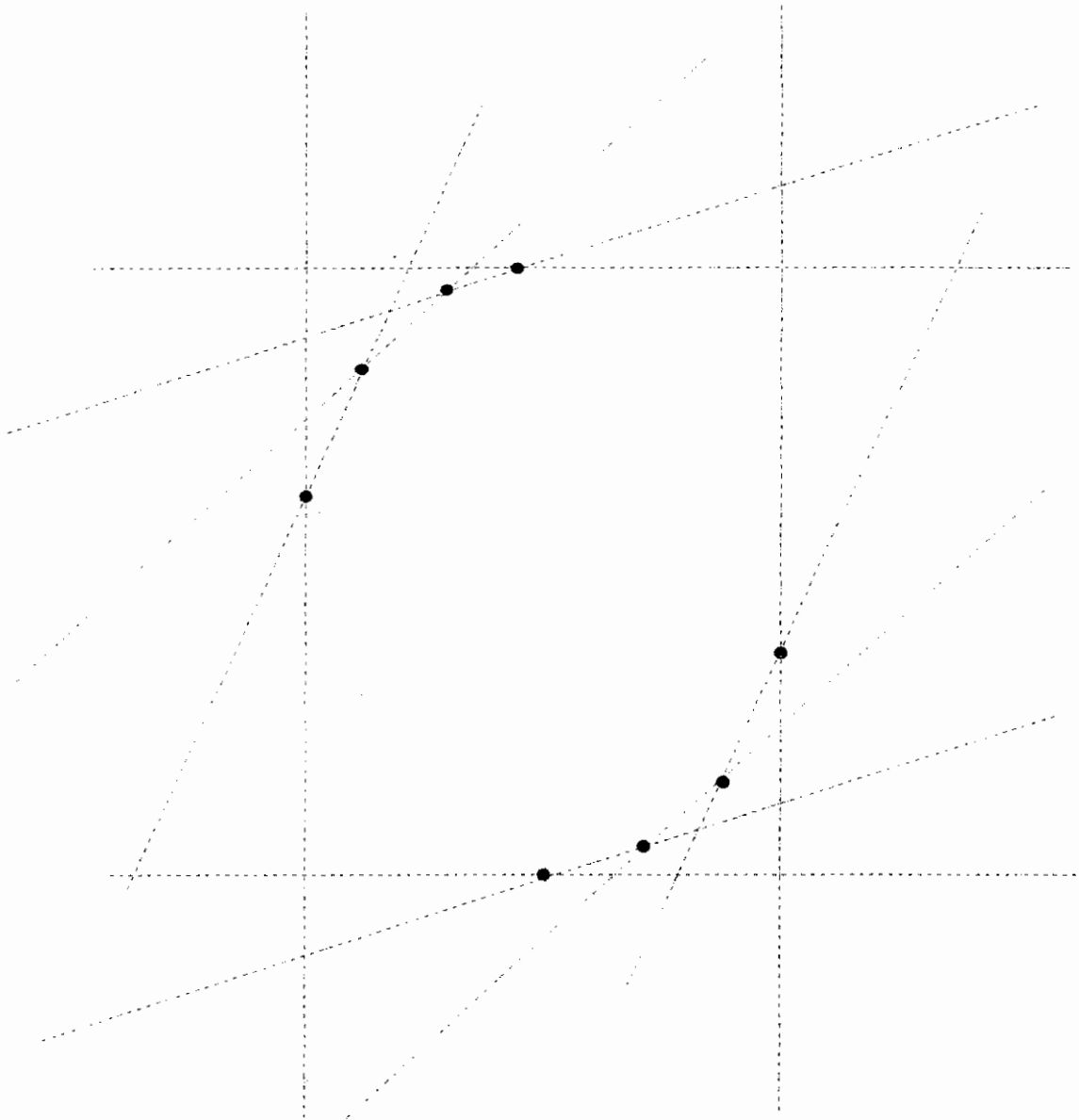
- les mesures sont réalisées sans contact, ce qui est particulièrement intéressant dans le cas des empreintes élastomères couramment utilisées en centrales nucléaires pour reproduire des géométries,
- malgré les difficultés induites par l'irradiation ambiante, la simplicité de mise en oeuvre, la rapidité des mesures et la précision obtenue en font un outil avantageux en cellule de haute activité.





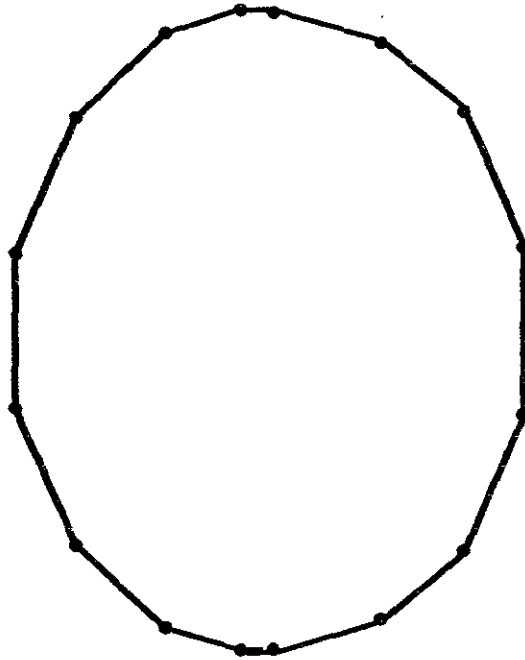


**ETAPE 1 : calcul de l'équation des droites tangentes à une section de l'objet, fournies par l'ombroscopie laser**

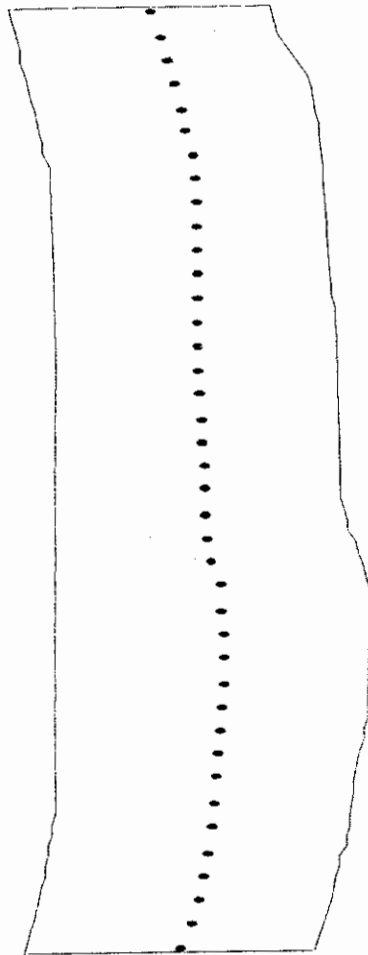


ETAPE 2 : calcul des coordonnées des points d'intersection  
des tangentes consécutives

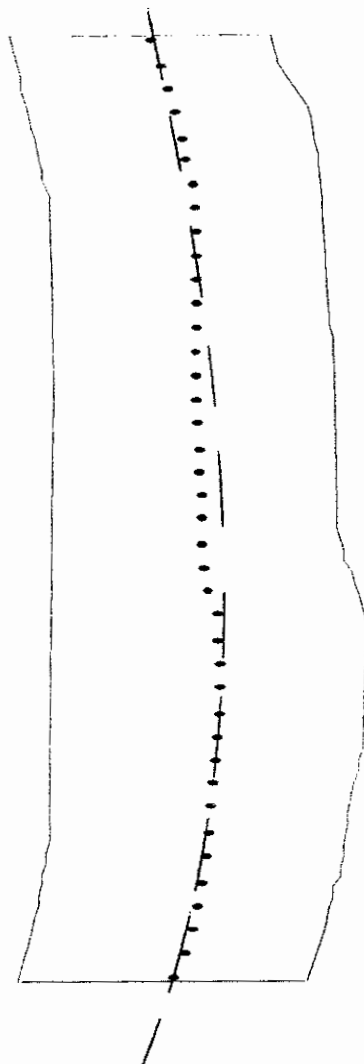




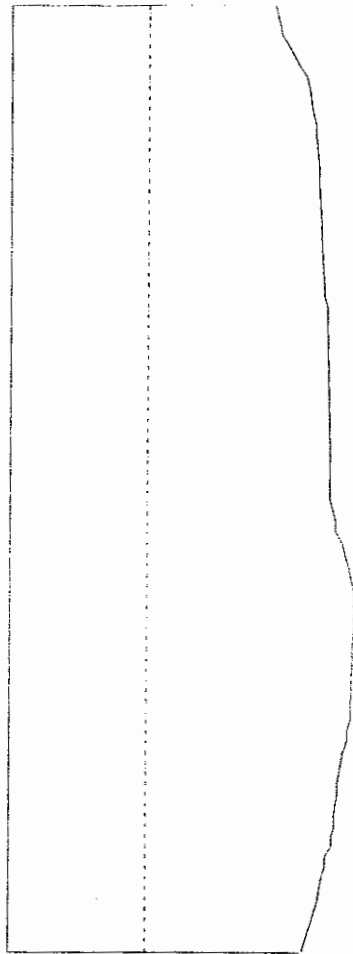
ETAPE 3 : calcul du polygone enveloppant par jonction des points d'intersection des tangentes consécutives



ETAPE 4 : calcul du barycentre de chaque section



ETAPE 5 : calcul de l'axe de représentation  
(parabole passant par le barycentre de la première et de la  
dernière section et par le moindre carré des barycentres des  
sections intermédiaires)



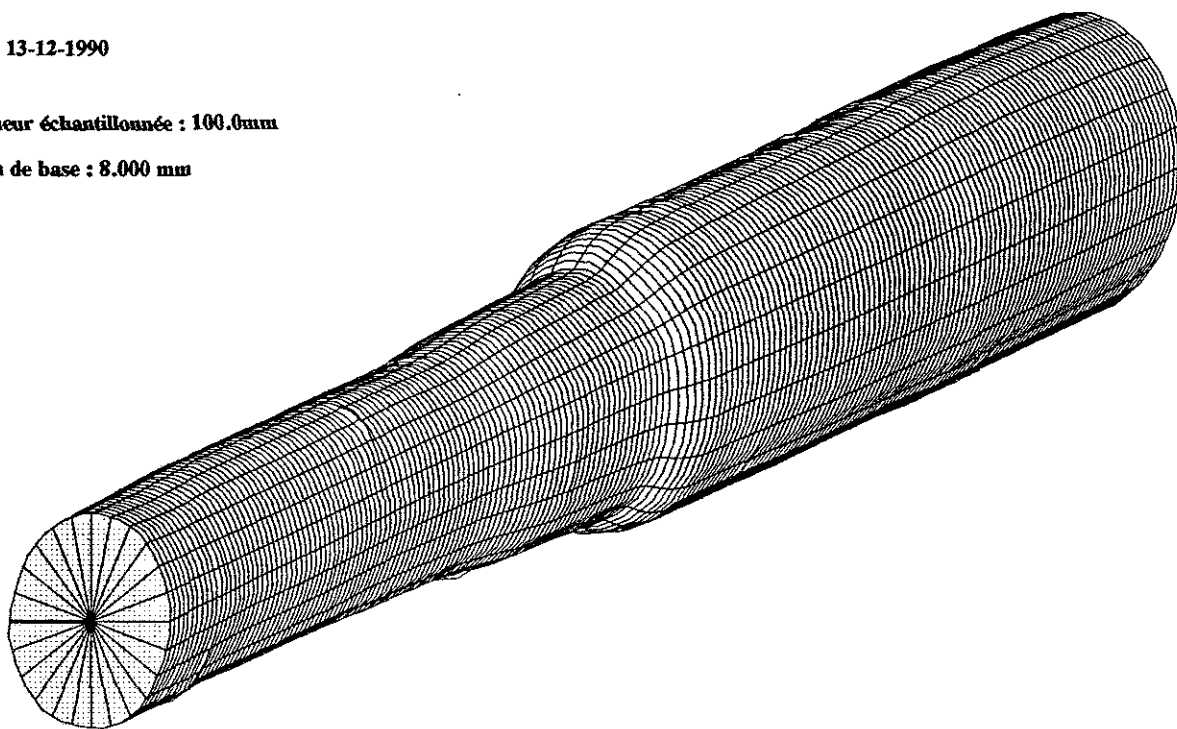
ETAPE 6 : représentation graphique du résultat

## REPRESENTATION 3D A PARTIR DES ECARTS DE RAYONS

Date : 13-12-1990

Longueur échantillonnée : 100.0mm

Rayon de base : 8.000 mm



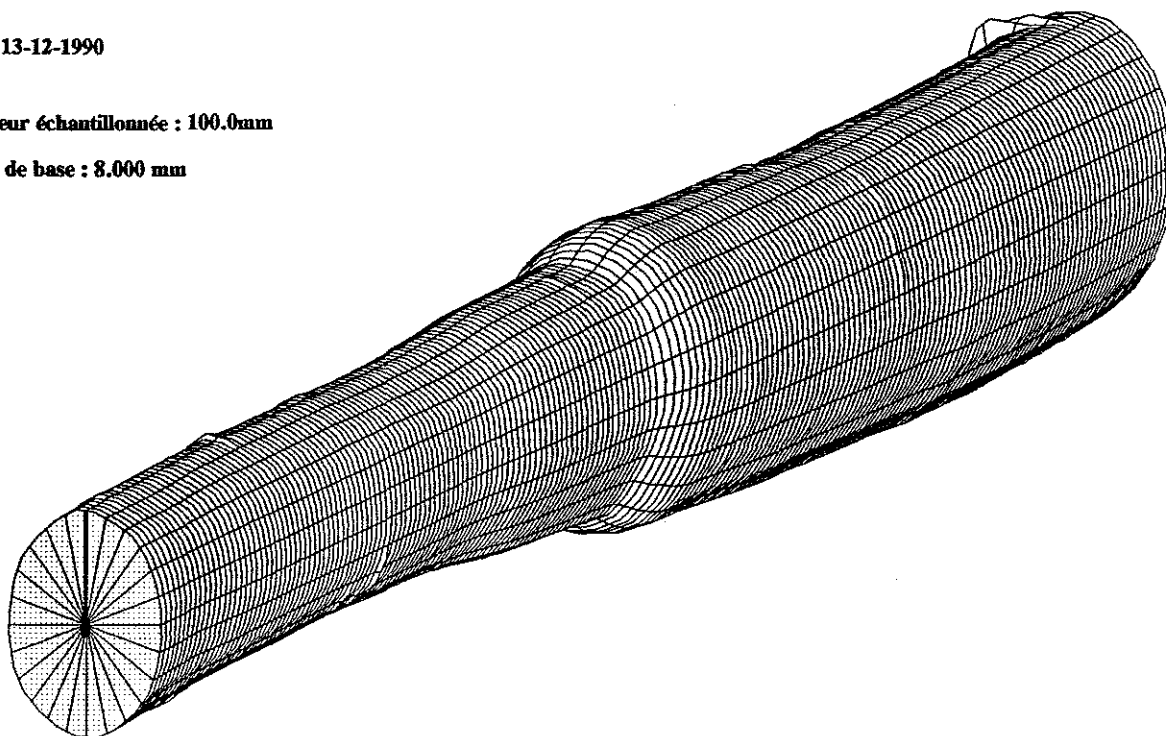
EDF GDL SCMI Mesures Physiques & Informatique

## REPRESENTATION 3D A PARTIR DES ECARTS DE RAYONS

Date : 13-12-1990

Longueur échantillonnée : 100.0mm

Rayon de base : 8.000 mm



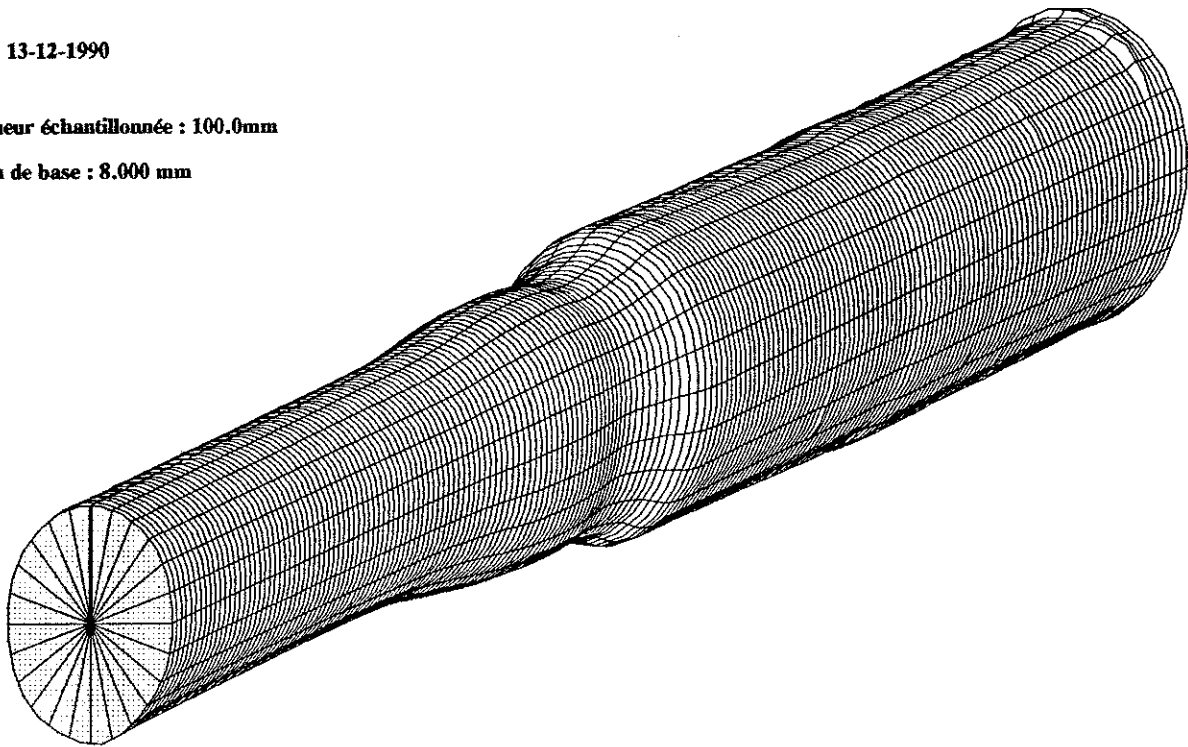
EDF GDL SCMI Mesures Physiques & Informatique

REPRESENTATION 3D A PARTIR DES ECARTS DE RAYONS

Date : 13-12-1990

Longueur échantillonnée : 100.0mm

Rayon de base : 8.000 mm



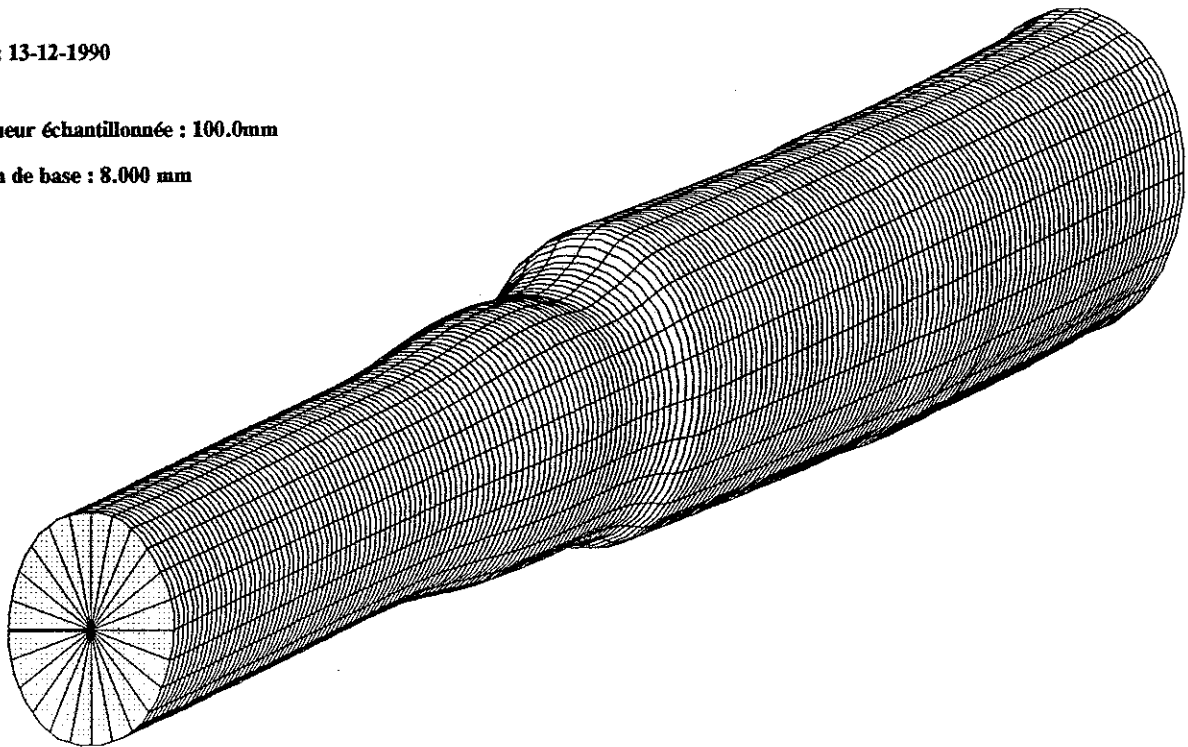
EDF GDL SCMI Mesures Physiques & Informatique

REPRESENTATION 3D A PARTIR DES ECARTS DE RAYONS

Date : 13-12-1990

Longueur échantillonnée : 100.0mm

Rayon de base : 8.000 mm



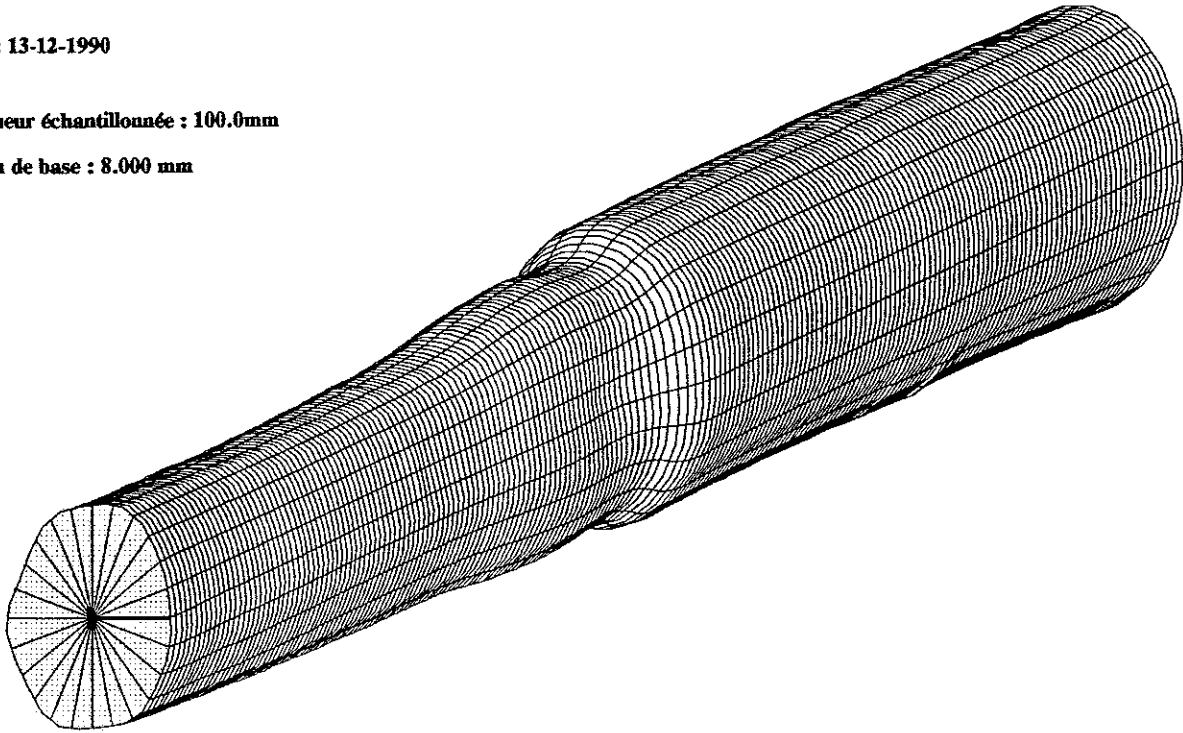
EDF GDL SCMI Mesures Physiques & Informatique

REPRESENTATION 3D A PARTIR DES ECARTS DE RAYONS

Date : 13-12-1990

Longueur échantillonnée : 100.0mm

Rayon de base : 8.000 mm



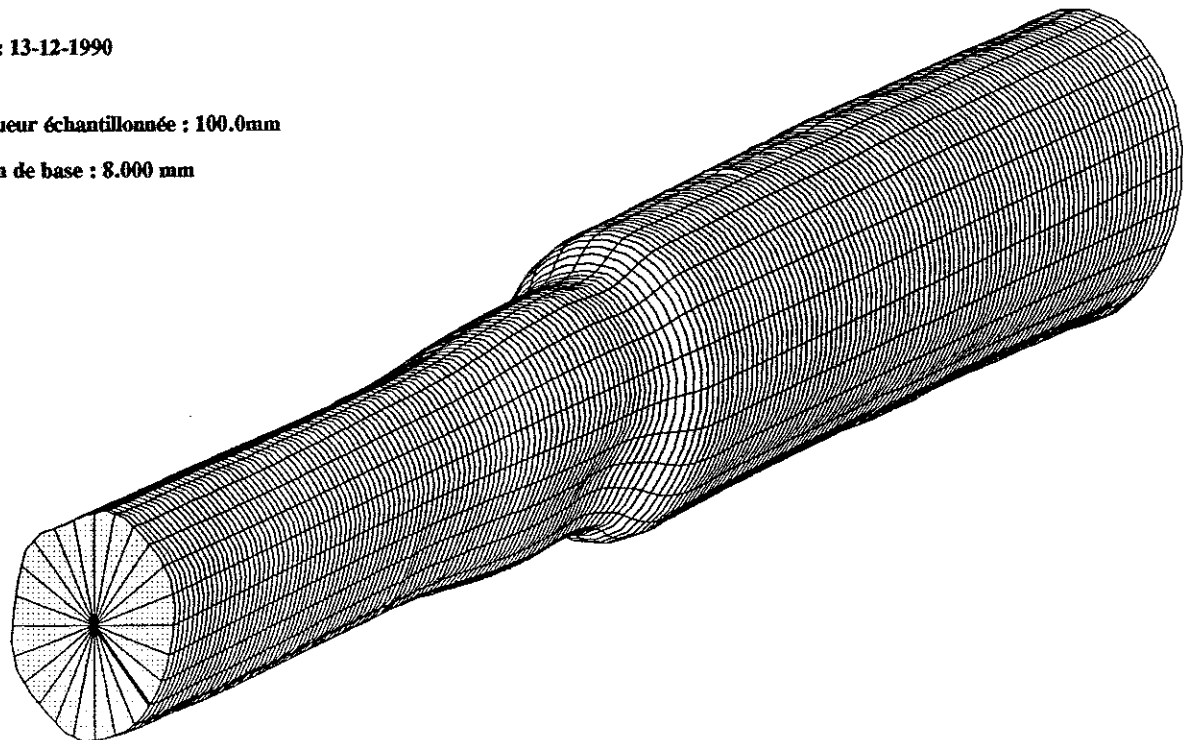
EDF GDL SCMI Mesures Physiques & Informatique

REPRESENTATION 3D A PARTIR DES ECARTS DE RAYONS

Date : 13-12-1990

Longueur échantillonnée : 100.0mm

Rayon de base : 8.000 mm



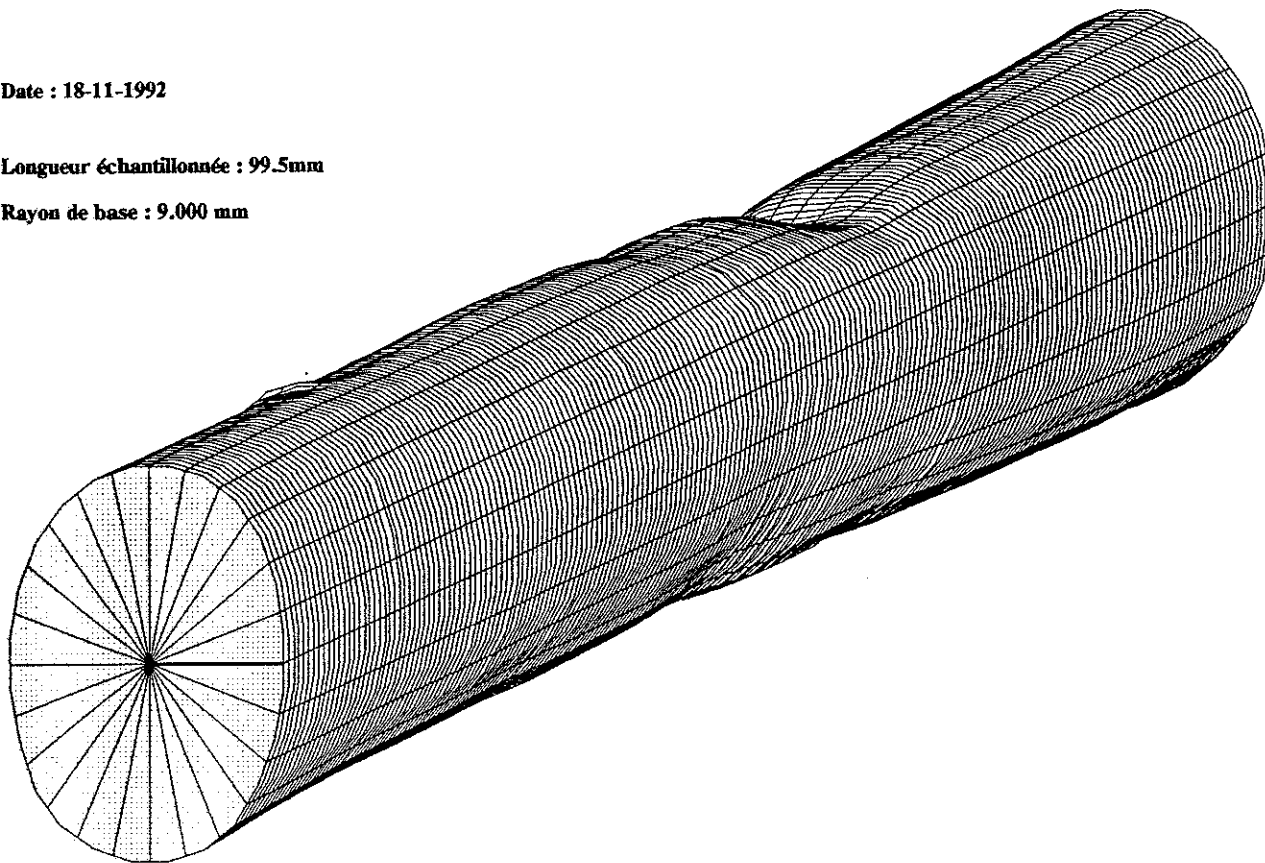
EDF GDL SCMI Mesures Physiques & Informatique

REPRESENTATION 3D A PARTIR DES ECARTS DE RAYONS

Date : 18-11-1992

Longueur échantillonnée : 99.5mm

Rayon de base : 9.000 mm



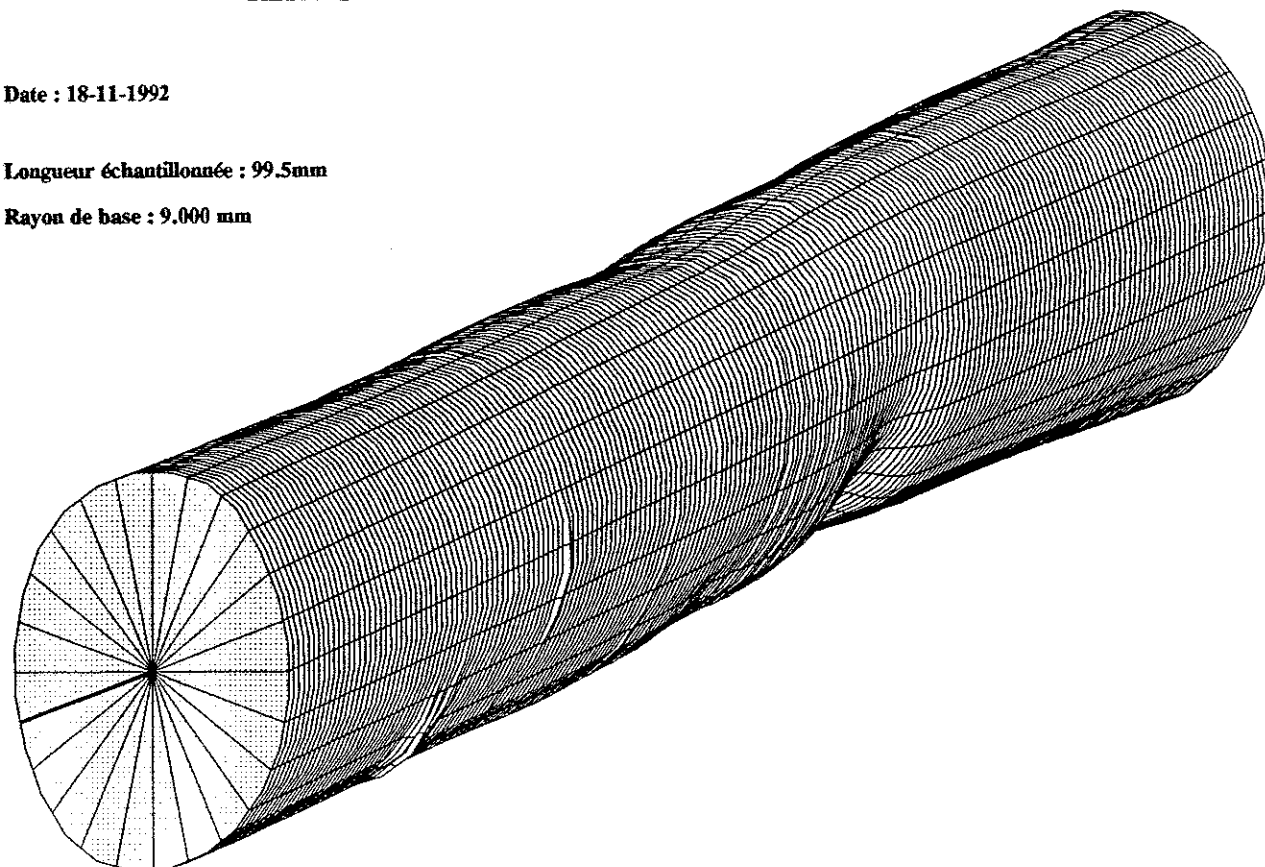
EDF GDL SCMI Mesures Physiques & Informatique

REPRESENTATION 3D A PARTIR DES ECARTS DE RAYONS

Date : 18-11-1992

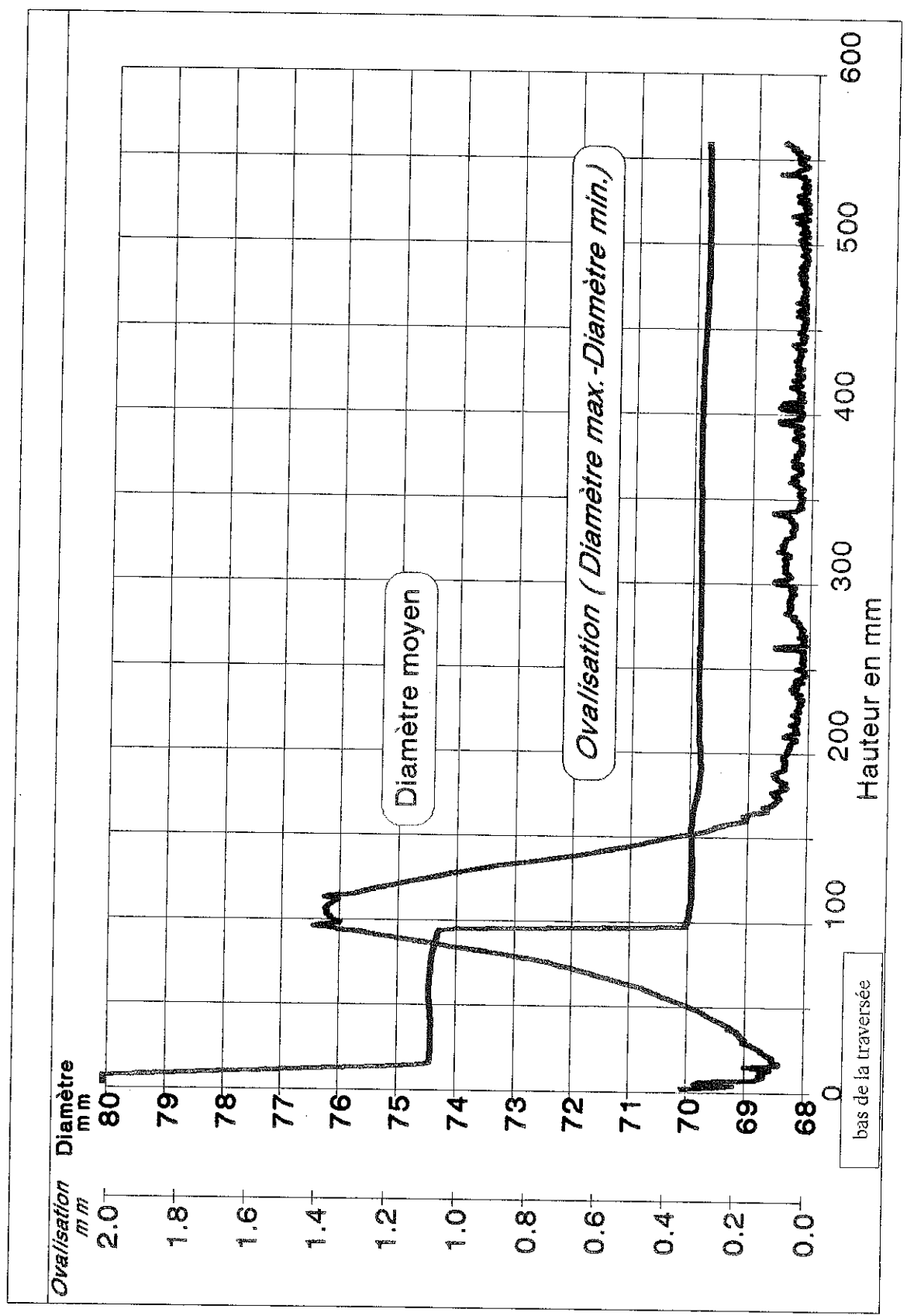
Longueur échantillonnée : 99.5mm

Rayon de base : 9.000 mm

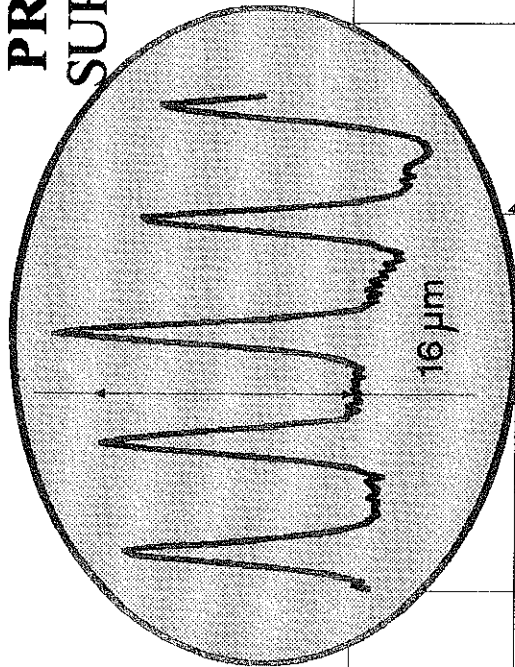


EDF GDL SCMI Mesures Physiques & Informatique

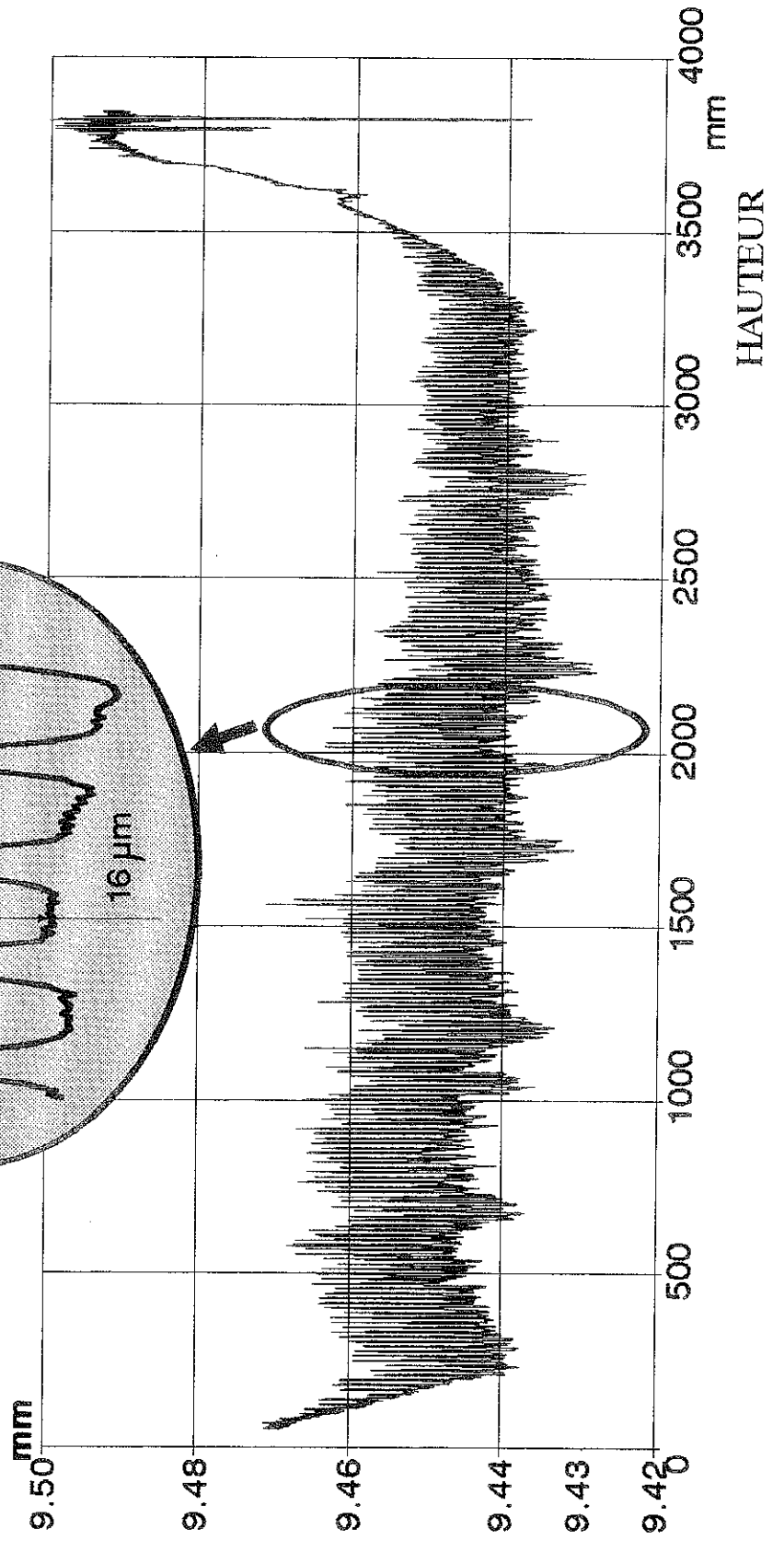




# PROFILOMETRIE LASER SUR CRAYON COMBUSTIBLE



DIAMETRE MOYEN

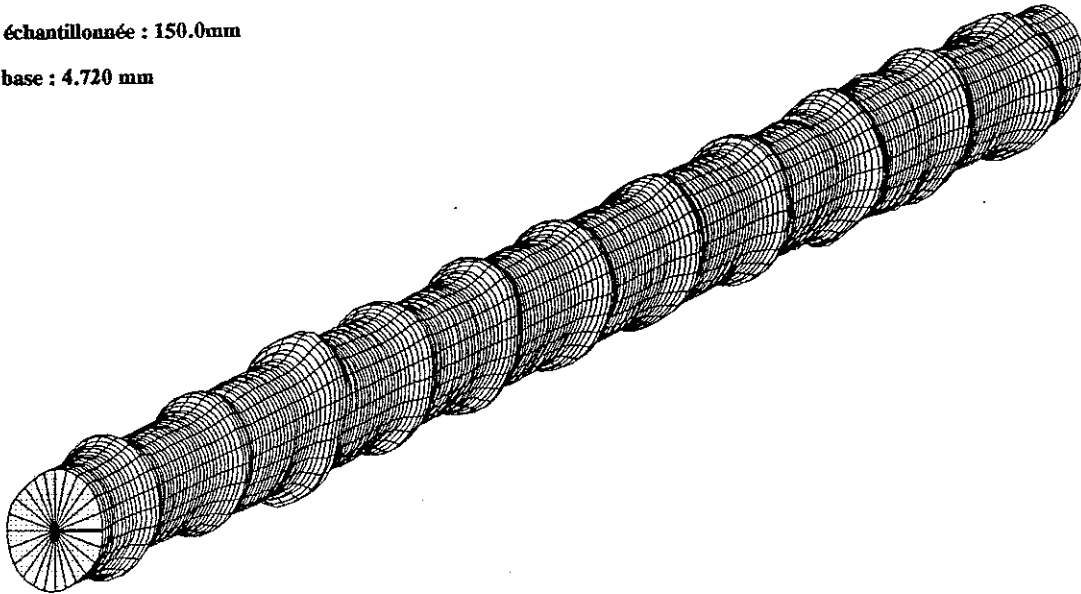


REPRESENTATION 3D A PARTIR DES ECARTS DE RAYONS

Date : 31-10-1991

Longueur échantillonnée : 150.0mm

Rayon de base : 4.720 mm



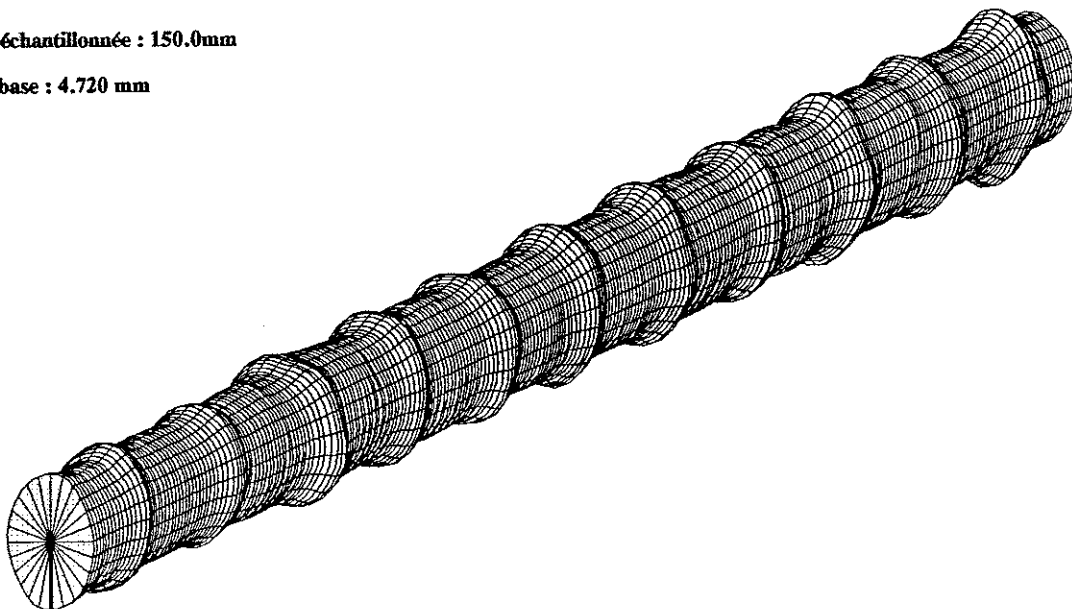
EDF GDL SCMI Mesures Physiques & Informatique

REPRESENTATION 3D A PARTIR DES ECARTS DE RAYONS

Date : 31-10-1991

Longueur échantillonnée : 150.0mm

Rayon de base : 4.720 mm



EDF GDL SCMI Mesures Physiques & Informatique