

Al *ELECTRICITE DE FRANCE*  
*Direction EDF Production Transport*

## **GROUPE DES LABORATOIRES**

Service Contrôle des Matériaux Irradiés

B.P. 23 - 37420 AVOINE

**Les examens non destructifs de combustible  
en piscine de désactivation mis en oeuvre  
par le laboratoire EDF de Chinon**

Etienne VRIGNAUD

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

AVOINE (F) 15-16 JUIN 1993

## 1 - OBJET

Depuis la mise en exploitation des premiers réacteurs REP français, le laboratoire chaud EDF de Chinon réalise des contrôles du combustible irradié sur site (réf [1] et [2]). Depuis 1986, il réalise ces contrôles à l'aide du Poste Amovible D'Examen du Combustible (PADEC). Cet appareil, transféré de site en site en fonction des besoins, cumule aujourd'hui plus de 120 examens d'assemblages, pour la plupart de fabrication Fragéma. Les examens sont des contrôles visuels, des mesures dimensionnelles sur squelette et crayons périphériques et des mesures d'épaisseurs d'oxyde à la surface du gainage des crayons périphériques.

Depuis 1993, le Dispositif Immergeable de Visualisation d'Assemblage (DIVA) est utilisé pour le contrôle de l'état des filtres anti-débris des assemblages AFA-2G. Il peut également réaliser des examens visuels et, associé à un outil d'analyse d'images, des mesures dimensionnelles.

## 2 - ASSEMBLAGES EXAMINES, CONTEXTE DES EXAMENS

EDF réalise des examens sur le combustible irradié pour plusieurs raisons :

- vérifier que les modes d'exploitation des réacteurs n'entraînent pas de dérive dans le comportement du combustible,
- vérifier l'absence de dérive dans la fabrication des combustibles,
- répondre à des demandes spécifiques de l'Autorité de Sûreté,
- vérifier le comportement des nouveaux produits proposés par les fournisseurs,
- tester, en exploitation et en collaboration avec les constructeurs, les solutions technologiques développées pour les futurs produits.

La plupart des examens sont réalisés pendant les arrêts de tranche, seuls les assemblages en fin de vie sont traités après le redémarrage du réacteur. La minimisation de l'impact sur l'arrêt de tranche exige :

- la fiabilité et l'efficacité du matériel,
- le fonctionnement en temps masqué pendant les opérations de déchargement ou de rechargement du combustible. Ceci explique l'autonomie du PADEC vis à vis des moyens de manutention en piscine de désactivation, en particulier vis-à-vis du pont passerelle (planche 1).

## 3 - EXAMENS REALISES PAR LE PADEC

### 3.1 Examens visuels

L'examen visuel revêt une importance particulière. L'opérateur expérimenté peut détecter des anomalies ou des indices de comportement suspect qui ne sont pas mis en évidence par les métrologies ou techniques à courants de Foucault. On peut citer :

- la détection d'un corps migrant immobilisé dans l'assemblage, ou la mise en évidence de ses effets sur le gainage du combustible,
- des comportements anormaux du squelette, en particulier des ressorts de tête ou de leur talon de fixation,
- des dégradations provoquées par des incidents de manutention,
- des colorations, états de surface, dépôts, etc... qui peuvent affecter le gainage.

Plusieurs exemples sont présentés par les planches 2 à 5.

La qualité de réalisation de l'examen visuel est conditionnée par deux éléments :

- la qualité de l'image de la caméra utilisée pour les examens. Compte-tenu de la sévérité de l'ambiance à laquelle elle est soumise (débit de dose  $> 10^4$  Sv/h, température voisine de  $50^\circ\text{C}$ ), celle-ci est entretenue et requalifiée annuellement. L'éclairage est optimisé pour limiter les zones d'ombre ou les reflets inopportuns ;
- l'expérience de l'opérateur. Celui-ci doit simultanément être vigilant à tous les indices qu'il repère et ne pas être abusé par des effets de surface sans importance ou habituels (traces de manutention, marques provenant de la construction de l'assemblage, dépôts, ...)

## 3.2 Mesures dimensionnelles

### 3.2.1 Précision des mesures

Les mesures sont réalisées par déplacement de la caméra à l'aide de motorisations codées. La précision des mesures est de 0.1 mm pour les mesures de faible distances ( $< 300$  mm) et de 0.3 mm pour les mesures de plus grandes distances. Cette précision est obtenue par l'utilisation d'une règle étalonnée permettant la correction des non-linéarités des chaînes de déplacement.

### 3.2.2 Mesures dimensionnelles sur squelettes

Ce sont des mesures de distance entre embouts, de hauteur de ressorts, de flèche, de torsion et de déport de l'assemblage posé ou suspendu. Les résultats les plus significatifs sont l'allongement des squelettes au cours de leur irradiation ; ils sont illustrés par le graphique de l'annexe I. On note des allongements différenciés avec les types de squelettes, ainsi qu'une accélération de l'allongement lorsque le taux de combustion dépasse  $30\,000$  MW/tU (fluence supérieure à  $5.5 \cdot 10^{21}$  n/cm<sup>2</sup>). Les flèches d'assemblages sont généralement un peu plus élevées en fin de premier cycle, en raison du gradient de flux qu'ils subissent en périphérie de réacteur. Les autres mesures sur squelettes sont peu significatives, et les spécificités concernent surtout des assemblages affectés par des accidents de manutention.

### 3.2.3 Mesures dimensionnelles sur crayons

Ce sont des mesures de longueur et d'espacements entre crayons. Les mesures d'espacements sont synthétisées par le calcul du taux de fermeture (taux à 95%), qui représente le pourcentage de fermeture du jeu entre crayons qui n'est statistiquement dépassé que par 5% des inter-crayons. Lors des premiers cycles, le taux de fermeture est un peu plus important en partie basse des assemblages en raison de la distance plus grande entre les grilles 1 et 2. A taux d'épuisement élevé, le taux de fermeture augmente dans les niveaux supérieurs. Les valeurs maximales atteintes sont voisines de 40%.

La mesure de l'accroissement de la longueur des crayons combustibles constitue l'un des points les plus importants des mesures dimensionnelles car la conservation d'un jeu entre les crayons et les embouts est une condition essentielle pour la sûreté de l'exploitation du combustible. Les résultats sont illustrés par le graphique de l'annexe II. Le gainage en zircaloy 4 détendu ou semi-recristallisé actuellement utilisé pour le gainage du combustible des réacteurs français présente un allongement suffisamment faible pour être compatible avec des taux d'épuisement élevés ( $> 50\,000$  Mwj/tU).

### 3.3 Mesures d'épaisseur d'oxyde sur crayons

La mesure de l'épaisseur de la couche d'oxyde est réalisée à l'aide d'une sonde ponctuelle à courants de Foucault fonctionnant en mode absolu. Elle détecte la couche d'oxyde grâce à ses caractéristiques électriques notablement différentes de celles du matériau de gainage. Une série d'étalons est disposée sur le PADEC au voisinage de l'assemblage et permet la calibration des mesures. Un chariot porte-sonde s'adapte sur le PADEC pour faire défiler la sonde tout le long de la génératrice extérieure des crayons périphériques. Le chariot est muni de plusieurs dispositifs de sécurité permettant de ne pas solliciter excessivement les crayons et d'escamoter les grilles de maintien de l'assemblage.

Les mesures d'épaisseur de couche d'oxyde présentent une importance particulière car l'oxydation du gainage constitue actuellement la limitation principale à l'accroissement du taux de combustion du combustible. Les mesures de ce type réalisées sur les gainages prototypes actuellement en essai (nouvelles spécifications sur le zircaloy 4, nouveaux alliages) permettent donc de juger des prochaines évolutions envisagées sur la conception du combustible.

Les résultats sont illustrés par le graphique de l'annexe III. On note toujours une accélération de la vitesse d'oxydation au fur et à mesure de l'élévation du taux de combustion. La dispersion, à même taux de combustion, de l'épaisseur de la couche d'oxyde est caractéristique du phénomène d'oxydation, malgré la sévérité des spécifications de fabrication du gainage.

## 4 - EXAMENS REALISES PAR DIVA

Les examens de pieds d'assemblages munis de filtres anti-débris sont réalisés en temps masqué pendant le déchargement, lors du transfert des assemblages en piscine de désactivation vers leur cellule de stockage (planche 6). Les images obtenues par cette caméra immergée ont permis de vérifier la bonne tenue et l'efficacité des filtres.

## 5 - CONCLUSION

Les conditions sévères d'exploitation des moyens d'examens du combustible en piscine de désactivation ainsi que l'insertion des examens dans les plannings d'arrêt constituent des contraintes fortes pour l'exploitation de matériels comme le PADEC. Ces examens permettent à EDF d'avoir une autonomie de jugement sur le comportement du combustible et d'assurer ses obligations vis-à-vis des Autorités de Sécurité.

La qualité des mesures et observations effectuées permettent d'une part de crédibiliser le jugement de l'exploitant vis-à-vis de ses partenaires et des Autorités de Sécurité, et d'autre part d'exiger des autres intervenants (fournisseurs) des performances équivalentes.

### REFERENCES :

- [1] Examens sur site et en cellule des assemblages combustibles français.  
P. Bordes, P. Dumont et J.C. Van Craeynest  
Colloque International de Fontevraud - SFEN - 2-6 septembre 1985
- [2] Behaviour on Framema fuel in power reactors.  
P. Melin, b. Gautier et P. Combette  
International Topical Meeting on LWR Fuel Performance - Avignon - France - 21-24 avril 1991

# ALLONGEMENT DES ASSEMBLAGES

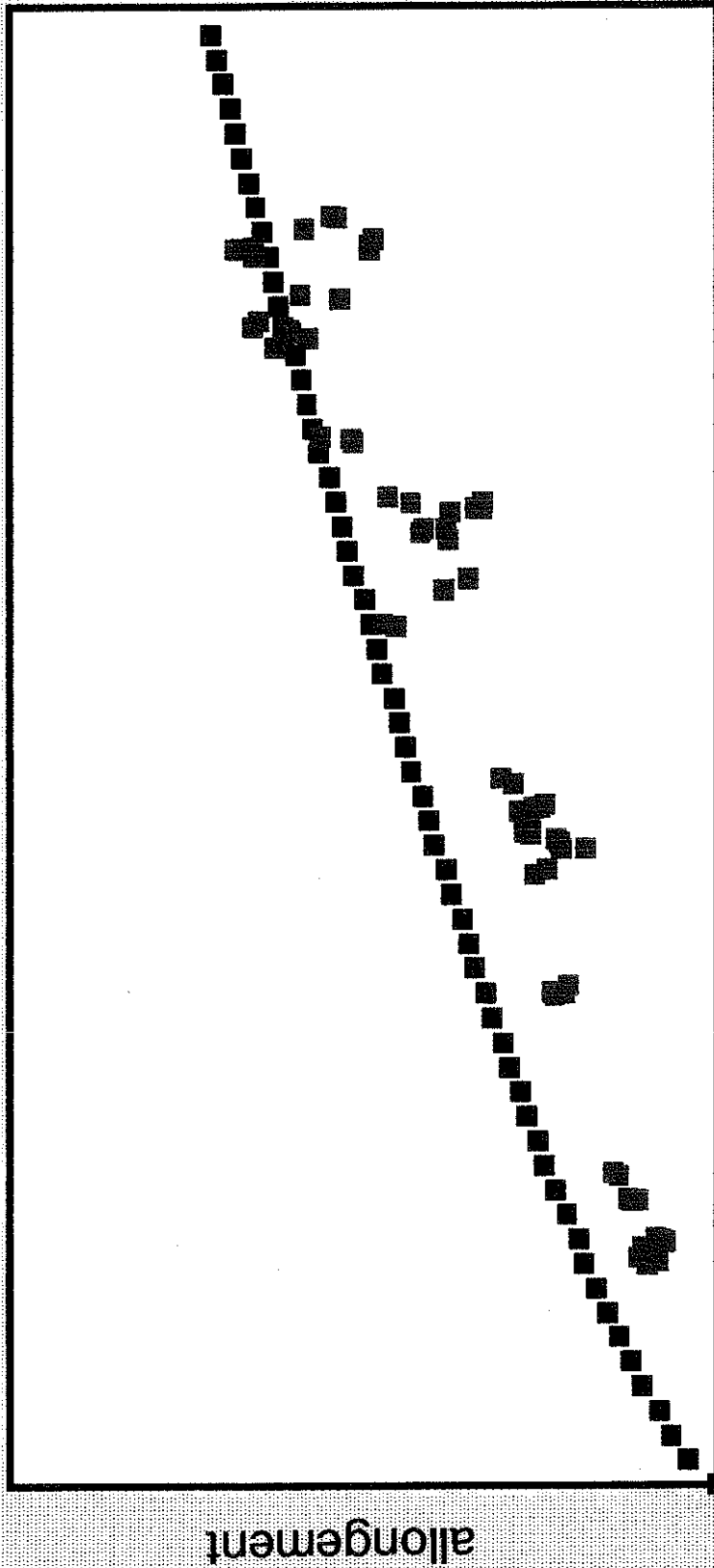


est en volving sur 14 cycles

épuisement

■ Estimation de référence      ■ Résultats PADEC

# ALLONGEMENT MOYEN DES CRAYONS



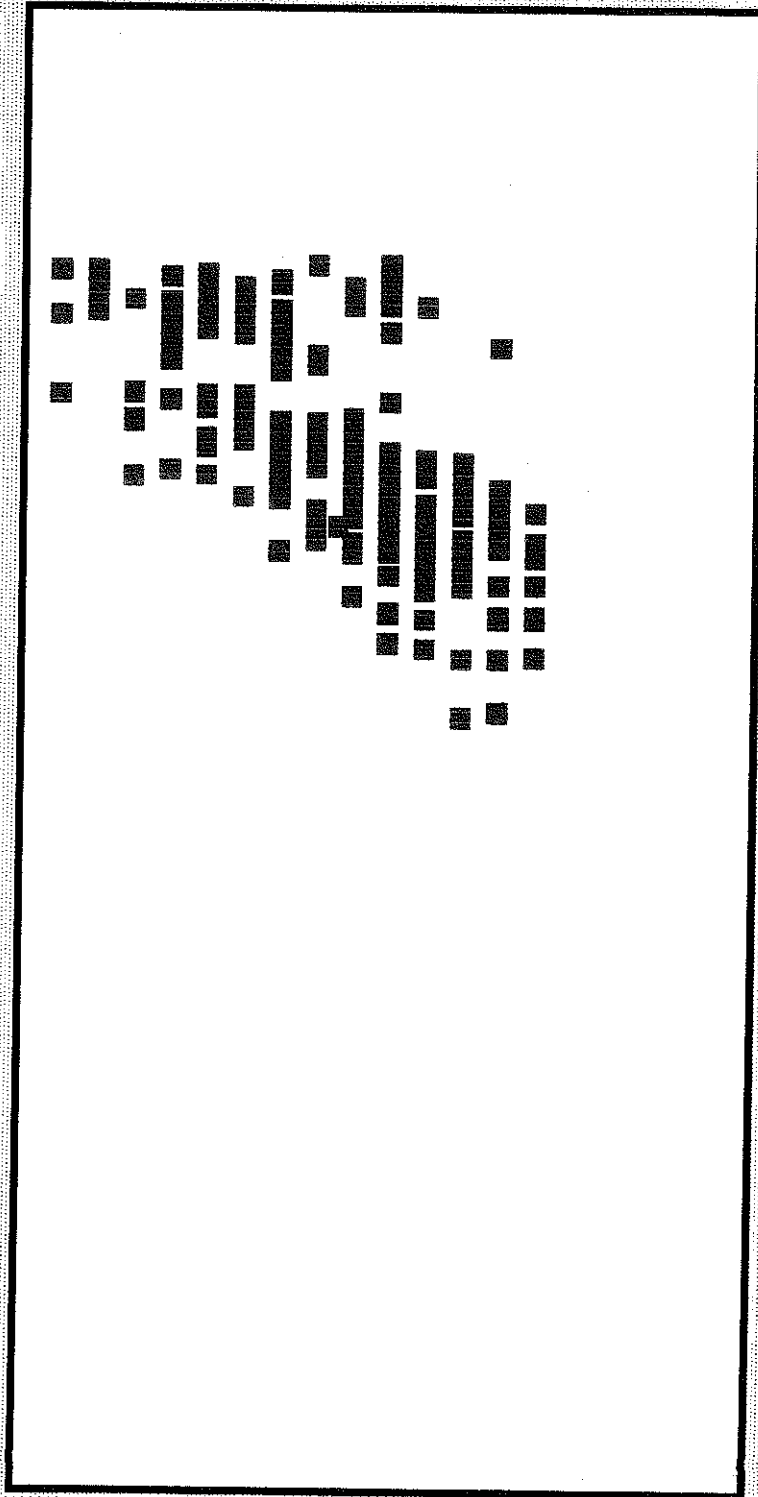
épuisement

■ Estimation de référence

■ Résultats PADEC

# OXYDATION DES GRAYONS PERIPHERIQUES

épaisseur de zircone



## épaissement

See divergence rend l'essai (diff. max = max/min)

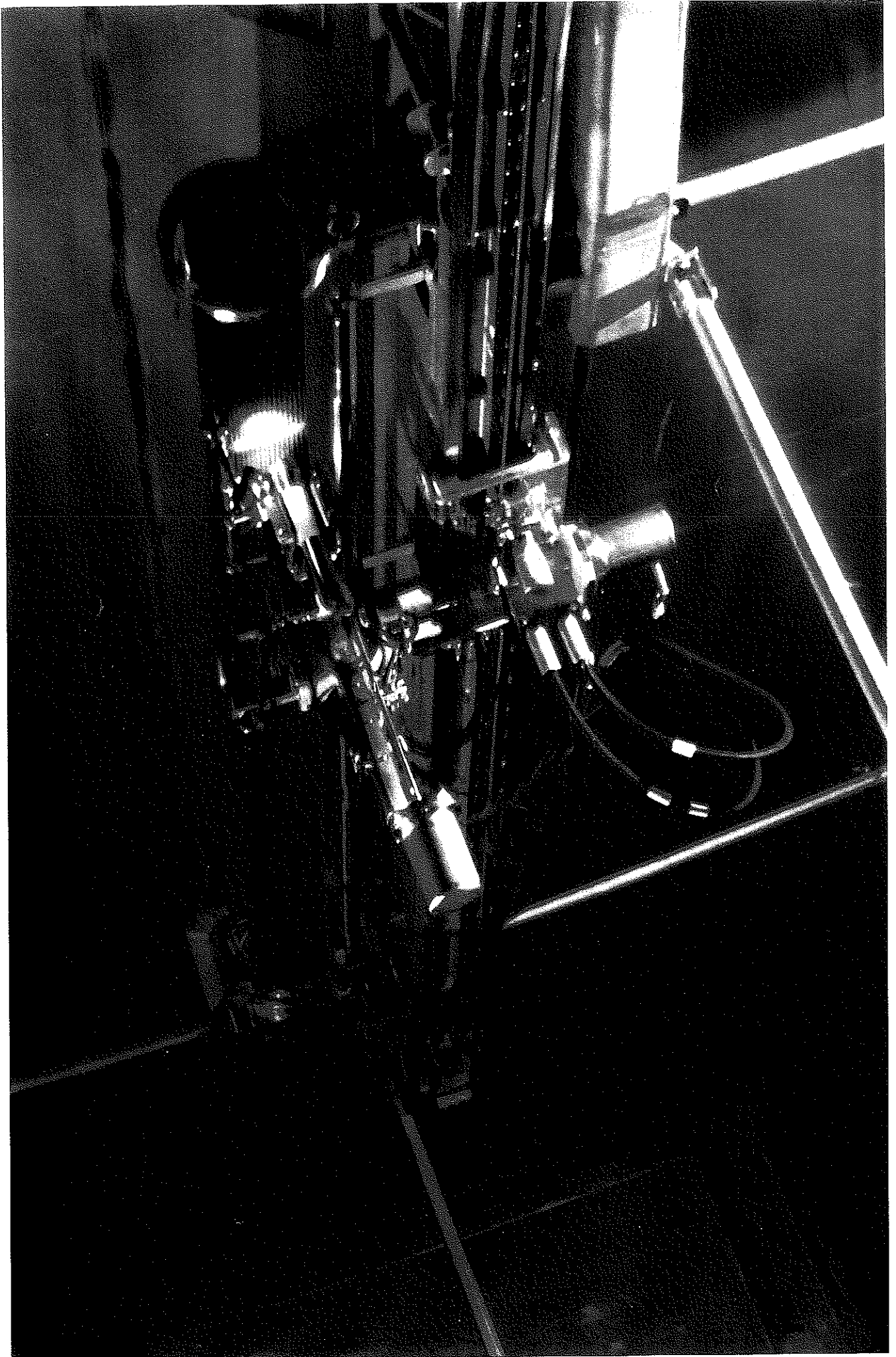
épaisseur de zircone en fonction de la longueur de la mine

Max. 17% de l'épaisseur de la gaine.

In moyenne 10-15% de l'épaisseur de la gaine.

- 2 ~ 10-15%
- 3 ~ 10-15% (2, 20%)
- 4 ~ 60% (2, 20%)
- 5 (0, 1) ~ 100% (2, 20%)

→ le zirconium est en Ti, l'oxygène est en O<sub>2</sub> donc avec H<sub>2</sub>O oxygène = dit minérale log. factor



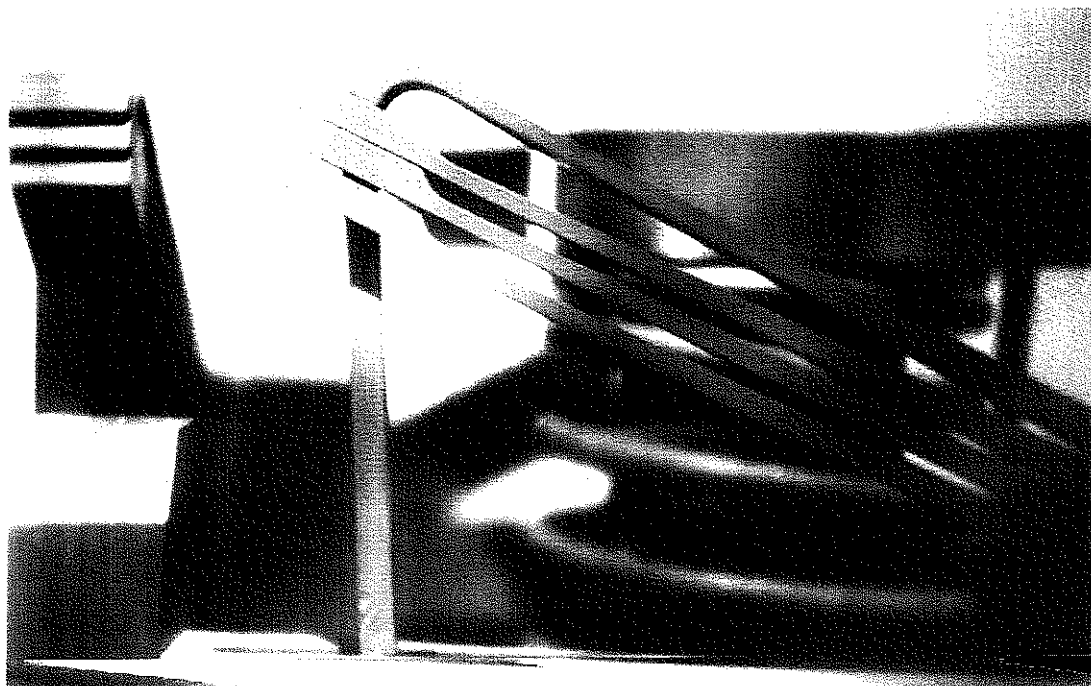




**Corps migrant coincé entre deux crayons**



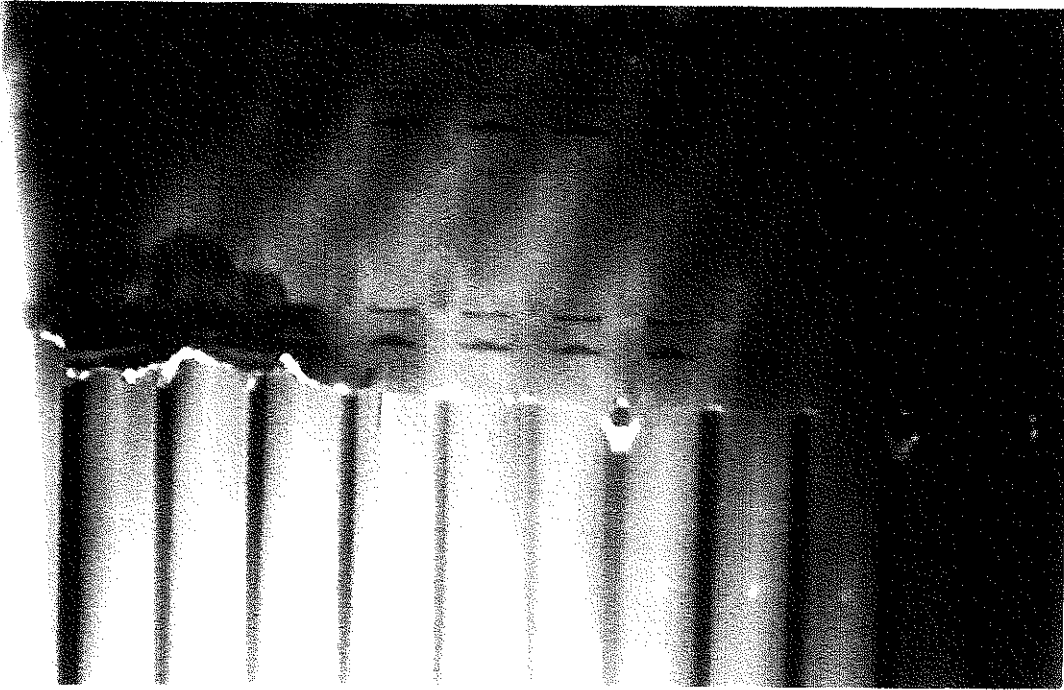
**Effets d'un corps migrant sur 1 crayon**



**Décollement d'une lime du ressort de tête d'assemblage**



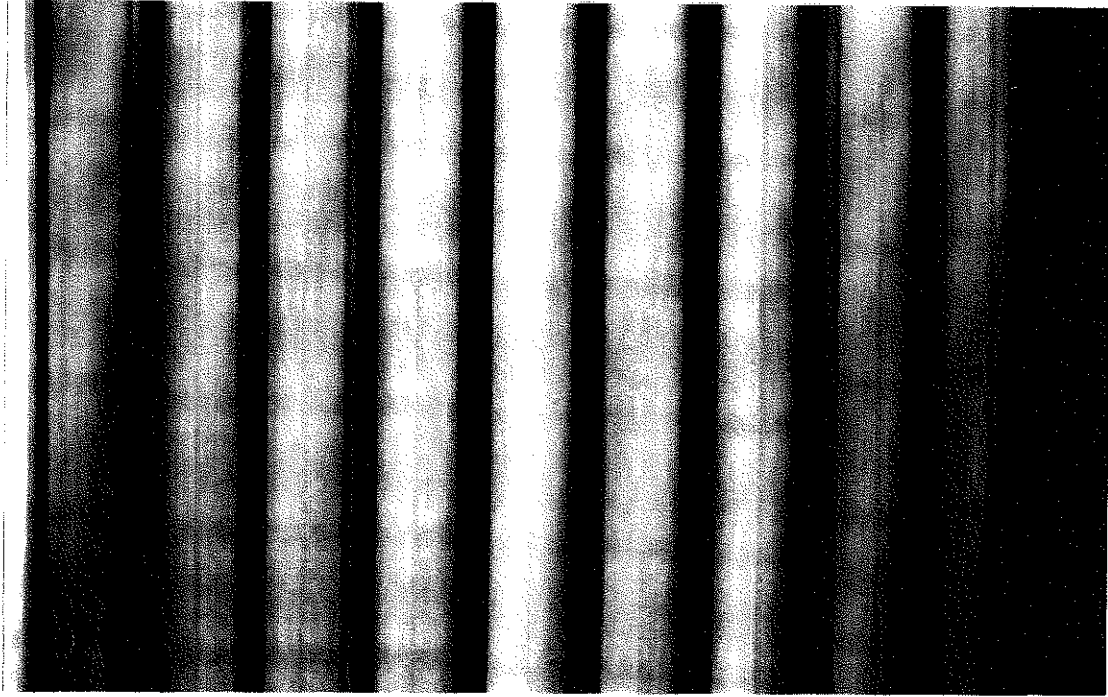
**Décollement du talon de matière d'un ressort de tube d'assemblage**



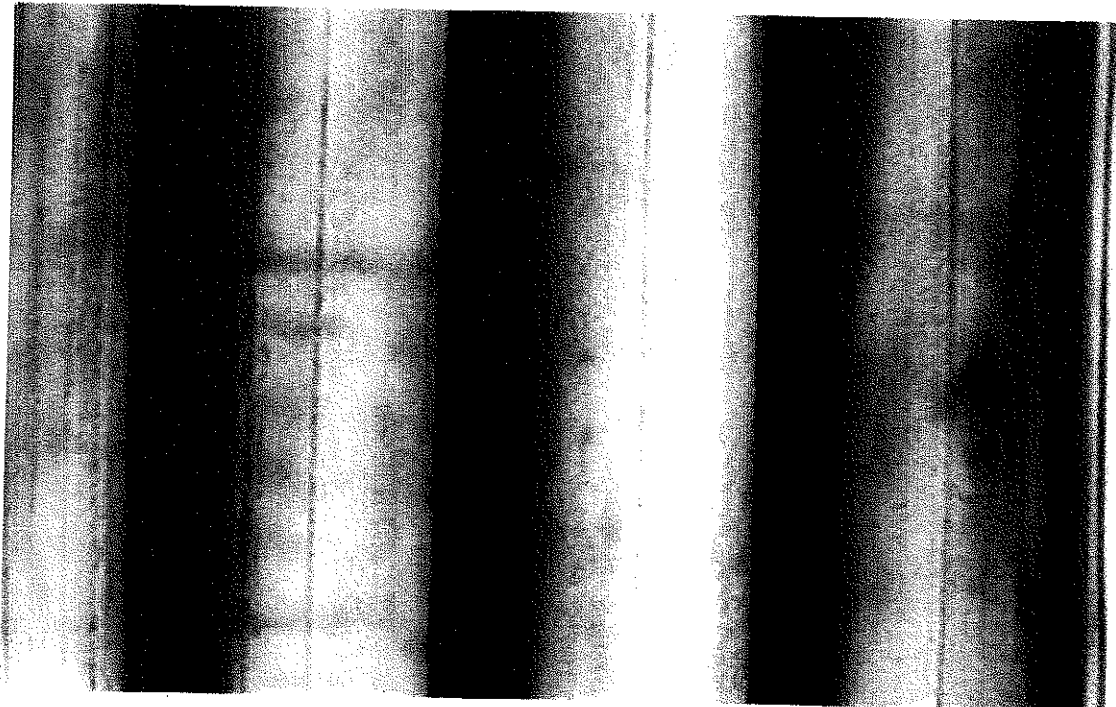
**Grille détériorée lors des manutentions**



**Grille détériorée lors des manutentions**



**Colorations particulières du gainage**



**Colorations particulières du gainage**

