



USURE DES GRAPPES DE COMMANDE ET DES DOIGTS DE
GANT DU Cœur : PREMIERS RESULTATS D'ESSAIS
OBTENUS SUR LE SIMULATEUR D'USURE VIBRATEAU

*WEAR OF CONTROL ROD CLUSTER ASSEMBLIES AND OF
INSTRUMENTATION THIMBLES : FIRST RESULTS
OBTAINED WITH THE VIBRATEAU WEAR SIMULATOR*

Dé

d

Référe
Origin

Numér

Titre

Auteur

Source
Serial :

Référe

Nombr





*Direction des Etudes
et Recherches*

*Service Information
Prospective et Normalisation*

CLAMART

Le 04/10/94

*Département Systèmes d'information
et de documentation*

*Groupe Exploitation
de la Documentation Automatisée*

1, avenue du Général de Gaulle
92141 CLAMART Cedex
tel : 47 65 56 33

BAT 526
CEN SACLAY
MIST/SBDS/SPRI
MIST-SDEM-SBI

91191 GIF SUR YVETTE CEDEX

à l'attention de :

MEMOIRE TECHNIQUE ELECTRONIQUE

Cette feuille est détachable grâce à la microperforation sur le côté droit.

Référence de la demande : **F486716**
Origine : **AVIS DE PARUTION NORMES E**

Votre commande :

Numéro du document : **94NB00049**

**Titre : USURE DES GRAPPES DE COMMANDE ET DES DOIGTS DE GANT DU COEUR : P
REMIERS RESULTATS D'ESSAIS OBTENUS SUR LE SIMULATEUR D'USURE VIB
RATEAU**

Auteurs : ZBINDEN M./HERSANT D.

**Source : COLL. NOTES INTERNES DER. PRODUCTION D'ENERGIE (HYDRAULIQUE, THE
Serial :**

Référence du document : SANS

Nombre de pages: 0025

Nombre d'exemplaires : 001

Support : P

EDF

Direction des Etudes et Recherches

**Electricité
de France**

**SERVICE RÉACTEURS NUCLÉAIRES ET ECHANGEURS
Département Mécanique et Technologie des Composants**

Juillet 1993

ZBINDEN M.
HERSANT D.

**USURE DES GRAPPES DE COMMANDE ET DES
DOIGTS DE GANT DU CŒUR : PREMIERS
RESULTATS D'ESSAIS OBTENUS SUR LE
SIMULATEUR D'USURE VIBRATEAU**

***WEAR OF CONTROL ROD CLUSTER
ASSEMBLIES AND OF INSTRUMENTATION
THIMBLES : FIRST RESULTS OBTAINED WITH
THE VIBRATEAU WEAR SIMULATOR***

Pages : 24

94NB00049

Diffusion : J.-M. Lecœuvre
EDF-DER
Service IPN. Département SID
1, avenue du Général-de-Gaulle
92141 Clamart Cedex

© Copyright EDF 1994

ISSN 1161-0611

SYNTHÈSE :

Plusieurs composants des réacteurs à eau pressurisée subissent un mode d'endommagement particulier appelé usure par impacts/glissements. Ce type d'usure affecte des structures tubulaires maintenues par des supports à jeux et qui vibrent sous l'action des écoulements.

Les principaux composants concernés sont :

- les gaines des crayons des grappes de commande et leurs dispositifs de guidage,
- les doigts de gant du réseau d'instrumentation du cœur,
- les gaines des crayons combustibles,
- les tubes des générateurs de vapeur.

La DER est impliquée dans les travaux visant à comprendre et à maîtriser les phénomènes qui produisent ces usures. Le Département MTC est chargé de l'étude de l'usure proprement dite. Des essais sur simulateur sont réalisés afin de comprendre et modéliser les mécanismes de l'usure.

Le travail présenté concerne les deux premières campagnes d'essais menées sur le simulateur VIBRATEAU :

- une campagne d'essais de reproductibilité afin d'apprécier la dispersion présentée par les résultats expérimentaux,
- une campagne d'essais comparatifs de revêtements destinés à améliorer la tenue à l'usure des composants.

EXECUTIVE SUMMARY :

Several REP components are affected by a particular sort of damage called impact/sliding wear. This kind of wear, originating from flow induced vibrations, affects loosely supported tubular structures.

The main involved components are :

- the RCCAs claddings and the guides tubes,
- the instrumentation thimbles,
- the fuel rods claddings,
- the SG tubes.

The R&D Division is concerned with studies aiming to understand and to master the phenomena leading to this wear. The MTC Branch is charged of the study of the wear itself. Tests are carried out on wear rigs to understand and to model wear mechanisms.

The following work is related to the two first wear tests campaigns on the VIBRATEAU wear simulator :

- a reproducibility test series in order to assess the spreading of the experimental results,
- a comparative test series on surface treatments used to improve the components war resistance.

SOMMAIRE**1 - L'USURE PAR IMPACTS/GLISSEMENTS DANS LES REACTEURS A EAU PRESSURISEE****2 - CONTRIBUTION DU DEPARTEMENT MTC A L'ETUDE DE L'USURE PAR IMPACTS/
GLISSEMENTS : LES OUTILS**

- 2.1 - Démarche pour l'étude de l'usure
- 2.2 - Le simulateur VIBRATEAU
- 2.3 - Acquisition et traitement des mesures dynamiques
- 2.4 - Mesure et caractérisation de l'usure
- 2.5 - Modélisation de l'usure

3 - LES ESSAIS DE REPRODUCTIBILITE

- 3.1 - Objectifs
- 3.2 - Programme d'essais
- 3.3 - Résultats

4 - LES ESSAIS DE TRAITEMENTS ET REVETEMENTS DE SURFACE

- 4.1 - Objectifs
- 4.2 - Programme d'essais
- 4.3 - Résultats

5 - PERSPECTIVES**6 - CONCLUSION****REFERENCES****TABLEAUX****FIGURES**

1 - L'USURE PAR IMPACTS/GLISSEMENTS DANS LES REACTEURS A EAU PRESSURISEE

Plusieurs composants des REP subissent un mode d'endommagement particulier appelé usure par impacts/glissements (UIG) : sous l'action des vibrations induites par les écoulements, certaines structures tubulaires, qui présentent des jeux fonctionnels, viennent battre contre leurs supports. Les sollicitations engendrées provoquent des dégradations des éléments vibrants et de leurs guidages antagonistes [1].

Dans le circuit primaire, à l'intérieur de la cuve du réacteur, différentes familles de composants sont affectées par ce type d'usure :

- les gaines de crayons de grappes de commande et leurs dispositifs de guidage,
- les doigts de gant du réseau d'instrumentation du coeur (RIC),
- les gaines des crayons combustibles qui s'usent contre les grilles supports.

Dans le circuit secondaire ce sont essentiellement les tubes de générateurs de vapeur qui subissent ce mode d'endommagement.

Les contrôles sur site et les stratégies de maintenance permettent de minimiser les risques, mais les coûts de remplacement ou de réparation des composants qui s'usent sont élevés : il importe de réduire la vitesse d'usure et d'augmenter ainsi les durées de vie, ce qui peut être obtenu par différentes voies :

- diminuer les forces d'impact et de glissement aux appuis : des modifications géométriques peuvent abaisser le niveau des sollicitations vibratoires produites par les écoulements et des forces de contact qui en résultent,
- améliorer la tenue à l'usure des composants par des choix de matériaux ou de traitements et revêtements de surface (TRS) appropriés,

et d'une manière générale :

- comprendre et modéliser les phénomènes d'usure mis en jeu afin de mieux connaître les paramètres sur lesquels il convient d'agir pour réduire l'usure.

La démarche correspondante est pluridisciplinaire et fait appel aux compétences de nombreux spécialistes : dans le cas des grappes de commande un Projet Pluriannuel de Recherche et de Développement (PPRD) définit les travaux d'équipes qui appartiennent à six Départements de la Direction des Etudes et Recherches.

Les principaux domaines concernés sont :

- la thermohydraulique pour la détermination des forces excitatrices,
- la dynamique non linéaire des structures pour le calcul des forces de contact,
- la tribologie qui s'appuie sur la mécanique et la science des matériaux pour estimer les volumes et les profondeurs d'usure et caractériser les surfaces usées,
- l'exploitation des données du retour d'expérience afin de bien connaître les endommagements par usure observés sur les réacteurs et de confronter au réel les résultats des essais sur simulateur et ceux des modélisations.

2 - CONTRIBUTION DU DEPARTEMENT MTC A L'ETUDE DE L'USURE PAR IMPACTS/ GLISSEMENTS : LES OUTILS

2.1 - Démarche pour l'étude de l'usure

Le Département MTC est chargé de l'étude de l'usure proprement dite : compréhension des mécanismes d'endommagement des surfaces et de détachement de particules, modélisation de l'usure.

La démarche retenue pour faire progresser les connaissances dans ce domaine s'appuie sur des essais sur simulateurs d'usure qui tentent de reproduire l'ensemble des paramètres du système tribologique réel.

Les outils utilisés sont les suivants :

- des machines d'usure instrumentées pour la mesure des déplacements et des forces de contact dans la zone d'usure : le simulateur VIBRATEAU est la première machine du Département MTC capable de fonctionner en conditions REP,
- des moyens de mesure et de caractérisation de l'usure : pesée, profilométrie tridimensionnelle, examens métallurgiques.

2.2 - Le simulateur VIBRATEAU

Cette machine a été construite dans le cadre d'une action tripartite avec le CEA et s'inspire de la machine VIBREAU 1 installée à SACLAY.

Le simulateur VIBRATEAU a été mis en service en 1992 ; au cours de l'année 1992 ont eu lieu les deux premières campagnes d'essais décrites ci-après aux chapitres 3 et 4.

La machine est constituée des éléments suivants :

- un bâti mécano-soudé massif reposant sur des supports amortisseurs,
- un moteur à vitesse variable qui commande un arbre horizontal par l'intermédiaire d'une excentrique. L'excitation produite est harmonique avec des fréquences possibles de 3 à 50 Hz et des amplitudes de $\pm 0,25$ à ± 1 mm. Un dispositif de compensation de l'effet de fond est constitué d'un puissant ressort dont la compression est ajustée en fonction de la pression qui règne sous la cellule d'essais,
- la cellule d'essais est construite à partir d'éléments de tuyauterie standard soudés, munis de raccords démontables qui permettent l'accès aux structures internes. Un fourreau sert de support à une tige verticale qui porte l'éprouvette mobile ; cette tige est encastrée à sa partie inférieure, elle est excitée, environ en son milieu, par l'arbre horizontal qui pénètre dans la cellule par une traversée étanche refroidie. La zone d'usure est en partie supérieure, le fourreau sert de support à un ensemble qui porte à la fois l'éprouvette d'usure fixe et les capteurs de déplacements et de forces placés au voisinage du contact.

Le simulateur VIBRATEAU est raccordé à la boucle PB qui assure son alimentation en eau pressurisée à des conditions proches de celles du circuit primaire des REP.

Les conditions de fonctionnement sont les suivantes :

- pression maximale : 155 bar
- température maximale : 320°C
- débit dans la cellule d'essais : 1 kg/s.

Les capteurs de forces disponibles au moment des campagnes d'essais présentées étaient limités en température : les essais de reproductibilité ont été effectués à 150°C avec mesure des déplacements et des forces de contact, les essais de revêtements ont eu lieu à 285°C après démontage du capteur de forces. La machine VIBRATEAU est maintenant équipée de capteurs de forces aptes à fonctionner en eau pressurisée jusqu'à 350°C.

2.3 - Acquisition et traitement des mesures dynamiques

Les mesures dynamiques issues de la cellule d'essais comportent essentiellement deux déplacements et deux forces mesurés dans deux directions perpendiculaires, au niveau de la zone d'usure.

L'acquisition est effectuée à l'aide d'un système NICOLET 500 qui permet l'acquisition simultanée (sans multiplexage) des quatre signaux.

En raison de la présence de chocs, les signaux de forces présentent un contenu fréquentiel qui s'étend jusqu'à 7 kHz : la fréquence d'échantillonnage choisie est de 20 kHz.

Une étude de stationnarité portant sur la "puissance d'usure" (produit de la force normale de contact par la vitesse tangentielle de glissement) conduit à acquérir et traiter des fenêtres temporelles de 6,4 s. Au cours d'un essai de 100 heures, on procède à l'acquisition d'une cinquantaine de fenêtres régulièrement réparties sur la durée de l'essai.

Un enregistreur magnétique analogique stocke simultanément les signaux, à titre de sécurité.

Le programme de traitement des mesures est développé à l'aide du logiciel LAB-WINDOWS. A partir des valeurs numérisées des déplacements et des forces, les grandeurs suivantes sont calculées :

- coordonnées polaires du centre du tube (éprouvette mobile) par rapport au cercle qui a pour rayon le jeu radial,
- composantes normales et tangentielles des vitesses et des forces de contact,
- puissance d'usure et travail d'usure,
- il est possible de mettre en oeuvre un critère de contact fondé sur la position du centre du tube par rapport au cercle de jeu : on peut en déduire un pourcentage de temps de contact conventionnel ainsi que des résultats statistiques sur la fréquence et la durée des contacts,
- des traitements statistiques sont effectués pour chaque fenêtre de 6,4 s pour obtenir les valeurs maximales, minimales, moyennes, moyennes quadratiques, de chacune des grandeurs.

Un traitement global portant sur les 50 fenêtres fournit les résultats pour l'ensemble de l'essai et calcule le travail d'usure pris en compte dans la modélisation.

Des fiches de synthèse sont éditées par le système de traitement ainsi que des restitutions des trajectoires de l'éprouvette mobile observées tout au long de l'essai (figure 2).

2.4 - Mesure et caractérisation de l'usure

• Pesée

La pesée est le moyen le plus simple pour connaître la quantité de matière enlevée par usure, mais de nombreuses précautions sont à prendre pour garantir la qualité de ces mesures :

- la balance utilisée a une portée de 200 g et une résolution de 10^{-5} g. Elle est placée dans un local climatisé,
- les éprouvettes mobile et fixe sont pesées avant et après l'essai. Avant chaque pesée elles sont nettoyées à l'alcool dans un bac à ultrasons puis séchées selon une procédure établie,
- des éprouvettes témoins non soumises à usure sont placées dans l'enceinte de la cellule d'essais : elles permettent d'effectuer les corrections nécessitées par les variations de masse produites par les phénomènes de surface.

La détermination d'une masse usée s'effectue à partir des résultats de 4 séries de pesées et l'incertitude finale sur la masse perdue par usure est estimée à $\pm 0,12$ mg.

Dans le cas où la masse volumique du matériau est connue (avec également une incertitude) le volume usé peut être déduit. Pour l'acier inoxydable austénitique AISI 304L dont la masse volumique est de $7,9 \text{ mg/mm}^3$, l'incertitude sur la détermination du volume usé est estimée à $\pm 0,02 \text{ mm}^3$.

• Profilométrie

L'appareil utilisé pour examiner les surfaces usées est un profilomètre tridimensionnel développé au Laboratoire de Microanalyse des Surfaces de BESANCON sous le nom de Microscope Mécanique à Balayage (MMB).

L'élément transducteur est un capteur PERTHEN équipé d'un palpeur à pointe diamant.

Pour la scrutation des surfaces cylindriques, il utilise un moteur rotatif pas à pas et une table micrométrique linéaire qui porte le palpeur. Cette disposition permet d'obtenir des images développées des surfaces cylindriques qui peuvent se représenter notamment sous forme de courbes de niveau en fausses couleurs (figures 4 et 7).

Le logiciel associé au MMB est implanté sur un ordinateur HP 9000-750 ; à partir des fichiers 3D acquis par le profilomètre le logiciel calcule l'ensemble des paramètres normalisés qui définissent les états de surfaces, il permet des représentations tridimensionnelles en perspective ainsi que de visualiser les profils suivant un curseur positionné à volonté. Il est également possible de faire des coupes par niveau (seuillages) et de calculer les volumes usés situés sous un niveau de référence défini par l'opérateur.

Dans le cas des surfaces cylindriques, un logiciel spécialisé fondé sur une méthode des moindres carrés a été développé par le Département MTC pour améliorer la qualité des résultats qui peut se trouver affectée par les défauts inévitables de centrage de l'axe de l'éprouvette par rapport à celui du moteur rotatif.

La profilométrie est un outil irremplaçable pour visualiser l'ensemble d'une trace d'usure sur une surface cylindrique et faire apparaître certains phénomènes : repoussement de matière, défauts de forme des éprouvettes, mais précisément en raison de la présence de ces phénomènes, l'incertitude sur la détermination des quantités de matière perdues par usure est plus importante que celle que l'on obtient à l'aide de la pesée.

• Expertises métallurgiques

Elles apportent un complément indispensable pour l'analyse des mécanismes d'usure : l'examen au Microscope Electronique à Balayage des surfaces usées, l'analyse des éléments présents en surface et dans les débris, les observations et les microduretés effectuées sur coupes, permettent de caractériser la transformation tribologique superficielle (TTS) des matériaux en contact.

Ces examens sont effectués principalement par le Département Etude des Matériaux mais aussi par le Laboratoire de Mécanique des Contacts de l'INSA de LYON dans le cadre d'une thèse sur les mécanismes de détachement des particules en usure par impacts/glissements.

Par ailleurs, la comparaison entre les faciès d'usure observés sur les composants réels (obtenus par le Service Contrôle des Matériaux Irradiés, à CHINON, lors d'examens en cellule chaude) et ceux des éprouvettes usées sur simulateur, est indispensable pour apprécier la validité des essais.

2.5 - Modélisation de l'usure

Le modèle d'usure universellement utilisé, malgré ses limites, mais faute de meilleure représentation des phénomènes, est la loi d'ARCHARD qui s'exprime ainsi :

$$V = K F_n L$$

V : volume usé

F_n : force normale de contact

L : longueur glissée

K : coefficient d'usure, qui s'exprime en Pa^{-1} lorsqu'on utilise les unités S.I. pour les autres grandeurs.

La quantité $F_n L$ est le "travail d'usure".

Les résultats présentés au chapitre suivant se réfèrent à cette loi simple dont il faut remarquer les limites :

- elle a été établie pour une configuration de glissement pur et s'applique mal en impacts/glissements et pas du tout en impact pur,
- elle suppose que le volume usé est une fonction linéaire à la fois du travail d'usure et du temps, ce qui est rarement vérifié dans la réalité,
- le coefficient d'usure K prend en compte d'une manière globale les très nombreux paramètres du système tribologique qui ont une influence sur l'usure (matériaux, géométrie, états de surface, environnement, rôle des débris d'usure : "troisième corps"...) et il convient donc, lors de la détermination expérimentale du coefficient K, de reproduire le plus fidèlement possible tous ces paramètres.

La démarche choisie par le Département MTC pour améliorer dans l'avenir la modélisation de l'usure par impacts/glissements consiste à caractériser par des indicateurs appropriés (durée moyenne des contacts, valeurs crêtes des forces d'impact...), le caractère "impact" ou "glissement" des différents instants de contact et à pondérer à partir de ces indicateurs la mise en oeuvre de lois valables en impact pur (modèle d'ENGEL) ou en glissement pur (loi d'ARCHARD).

Un modèle de ce type, s'inspirant de travaux antérieurs du Professeur KO, a été proposé par KWU et l'EPRI pour la modélisation de l'usure des tubes de générateurs de vapeur [2].

3 - LES ESSAIS DE REPRODUCTIBILITE

3.1 - Objectifs

A la mise en service du simulateur VIBRATEAU cette série d'essais a pour buts de déterminer les performances de la machine et d'apprécier les dispersions qui apparaissent sur les volumes usés, les travaux et les coefficients d'usure pour des conditions d'essais réputées identiques.

Les résultats publiés dans la littérature font apparaître des dispersions "importantes" pour des essais réalisés par un même laboratoire (un facteur de 10 à 20 sur les coefficients d'usure n'est pas rare), tandis que pour des laboratoires différents les écarts peuvent dépasser un facteur 1000 pour les valeurs extrêmes des coefficients d'usure d'un même couple de matériaux.

Ces dispersions proviennent de la difficulté à reproduire des conditions expérimentales identiques mais tiennent aussi à la nature même du phénomène d'usure.

3.2 - Programmes d'essais

Le nombre d'essais effectués pour la campagne de reproductibilité est de 6.

La géométrie et les matériaux choisis se rapprochent de la configuration standard des crayons de grappe de commande et de leurs cartes de guidage (acier austénitique 304L), cependant le guidage est un alésage cylindrique sans encoche.

Les conditions d'essais sont les suivantes :

- ambiance : eau pressurisée, 150°C, 155 bar
débit dans la cellule d'essais : 1 kg/s
- excitation : 40 Hz, $\pm 0,5$ mm,
- durée d'un essai : 100 h.

3.3 - Résultats

La note [3] donne le détail des résultats obtenus.

Les formes des traces d'usure sont accessibles par l'examen visuel (microscope binoculaire) et par la profilométrie tridimensionnelle (figures 3 et 4).

Ces observations montrent l'existence d'un effet d'arête provoqué par le chanfrein des éprouvettes fixes : dans l'avenir les éprouvettes présenteront un arrondi de même rayon que celui qui existe sur les cartes de guidage.

En bordure des traces d'usure on constate que les aspérités de l'état de surface initial ont été matées sous l'action des impacts, quelques stries circonférentielles montrent la présence d'un certain glissement orbital. Des énucléations de particules apparaissent parfois en fond de trace d'usure (cas de l'essai n° 1.011).

Dans le cas de l'essai n° 1.008, le premier de la série, des sillons importants font penser à la présence de particules abrasives extérieures, qui rendent cet essai singulier. L'éprouvette fixe pour l'essai n° 1.013 est toujours en acier inoxydable AISI 304L mais elle provient d'un lot différent.

Les volumes usés obtenus à partir des pesées vont de 0,48 à 1,61 mm³ pour les gaines (éprouvettes mobiles), et de 0,24 à 0,88 mm³ pour les cartes (éprouvettes fixes).

La profondeur d'usure maximale pour les gaines, mesurée au profilomètre, varie suivant les essais de 7,7 à 17,6 μm .

L'ensemble des résultats est présenté sur le tableau 1 et sur la figure 5 où apparaissent également les travaux et les coefficients d'usure.

Le coefficient d'usure au sens de la loi d'ARCHARD est le quotient du volume usé par le travail d'usure correspondant, il s'exprime en Pa^{-1} . Bien que le matériau soit de même nature pour les deux éprouvettes antagonistes les coefficients d'usure sont différents : en moyenne l'usure est deux fois plus importante pour la gaine que pour la carte, cependant l'effet d'arête dû au chanfrein de la carte n'est peut-être pas étranger à ce résultat.

Si l'on exclut l'essai n° 1.008 qui semble particulier, la dispersion obtenue se situe dans un rapport 4 pour les volumes usés, et dans un rapport 2 pour les coefficients d'usure.

4 - LES ESSAIS DE TRAITEMENTS ET REVETEMENTS DE SURFACE

4.1 - Objectifs

A la demande du SEPTEN, le simulateur VIBRATEAU a également été utilisé pour caractériser l'usure de trois traitements ou revêtements de surface (TRS) qui semblent améliorer la tenue à l'usure et comparer leur comportement à celui de la solution standard sans revêtement :

- nitruration ionique,
- chrome dur électrolytique,
- oxyde de chrome.

L'objectif final de cette étude est d'introduire des doigts de gant revêtus sur Chinon B2 en 1993.

4.2 - Programme d'essais

Quatre essais ont été effectués avec les paramètres suivants :

- excitations sinusoïdales à 40 Hz, d'amplitude $\pm 0,75$ mm,
- température de l'eau en circulation : 285°C,
- pression : 150 bar,
- débit : 1 kg/s,
- durée : 100 h.

Dans la mesure où la machine VIBRATEAU n'avait été utilisée que dans une configuration géométrique représentative des grappes de commande avant ces essais, que cette configuration n'est pas très éloignée de celle des doigts de gant et que le délai imparti pour réaliser ces essais était très court, il a été décidé de ne pas modifier la géométrie et les matériaux par rapport aux essais précédents.

Trois éprouvettes en acier inoxydable 304L ont donc été testées après avoir été revêtues et une quatrième éprouvette non revêtue a servi de témoin.

4.3 - Résultats

Les détails des essais font l'objet de la note [4]. Dans la mesure où la température ambiante était de 285°C, aucune instrumentation n'a été utilisée pour connaître les efforts de contact. Un capteur a été développé depuis, capable de supporter une telle ambiance. Il sera utilisé lors des prochains essais.

Les mouvements des éprouvettes mobiles peuvent être vus comme une succession d'impacts normaux et d'impacts obliques accompagnés de glissements.

Les impacts normaux sont la conséquence directe de l'excitation uniaxiale. Ils se traduisent par des zones usées localisées affectant le doigt de gant et son support là où la course atteint son maximum, pour les éprouvettes non revêtues.

Les doigts de gant revêtus ne présentent pas de traces aussi marquées alors que leurs antagonistes présentent des usures très importantes.

Les impacts obliques, visibles sur les trajectoires semblent donner lieu à une usure circonférentielle très faible, voire imperceptible par palpation mécanique pour les doigts de gants revêtus (figures 6 et 7).

Dans tous les cas, un accroissement de la rugosité et un début d'arrachement de matière est mis en évidence.

La nitruration ionique et le chrome dur électrolytique conduisent à des résultats similaires :

- une très faible usure du doigt de gant,
- une augmentation importante de l'usure du support.

L'oxyde de chrome apparaît comme un revêtement moins performant puisque, au contact entre l'arête du support et le doigt de gant, la profondeur usée croît nettement. De plus, l'antagoniste est fortement usé par ce revêtement. Les résultats sont présentés dans le tableau 2.

En conclusion, cette étude permet d'établir un premier classement des divers TRS qu'il est possible de mettre en oeuvre. Il convient cependant d'être prudent quant à l'utilisation de ces résultats fondés dans chaque cas sur un seul essai ; ces essais seront renouvelés pour aboutir à des conclusions plus étayées. Mais d'ores et déjà, l'étude met en lumière un accroissement important de l'usure des antagonistes.

5 - PERSPECTIVES

L'activité expérimentale et les études théoriques qui l'orientent se développent dans différentes directions et s'appuient sur des collaborations diverses et sur la mise en service de moyens d'essais nouveaux :

- la compréhension des mécanismes de l'usure comporte l'étude du rôle des paramètres les plus déterminants : un programme en cours vise à quantifier l'influence de la température sur l'usure,
- une future campagne d'essais portant sur les traitements et revêtements de surface permettra de compléter les résultats existants,
- de nombreuses collaborations, notamment sur les aspects fondamentaux de l'étude de l'usure, se poursuivent et se développent avec différents laboratoires ou organismes français et étrangers : CEA, INSA, AECL et NRCC (Canada), NUCLEAR ELECTRIC (Royaume-Uni), EPRI (USA), KWU (Allemagne),
- la boucle PRESTEAU, en cours de montage est destinée à alimenter les machines d'usure en eau pressurisée, avec un contrôle soigné de la chimie. Le simulateur VIBRATEAU sera raccordé à cette boucle au mois de septembre 1993, ainsi qu'une machine d'usure AECL qui doit être livrée à la fin du mois de juin.

6 - CONCLUSION

Les essais de reproductibilité et les essais de traitements et revêtements de surface dont les résultats ont été présentés ont pour but de faire progresser les connaissances sur le phénomène d'usure par impacts/glissements. L'objectif est de contribuer à maîtriser ce mode d'endommagement qui affecte plusieurs composants des structures internes des réacteurs à eau pressurisée.

Ces essais, effectués sur le simulateur VIBRATEAU, font appel à une méthodologie et à des moyens de mesure de l'usure qui ont été décrits.

Les résultats obtenus, complétés par des expertises métallurgiques en cours, servent de support expérimental à une démarche de modélisation de l'usure par impacts/glissements en milieu REP qui se poursuit en s'appuyant, notamment, sur un programme d'essais paramétriques.

REFERENCES

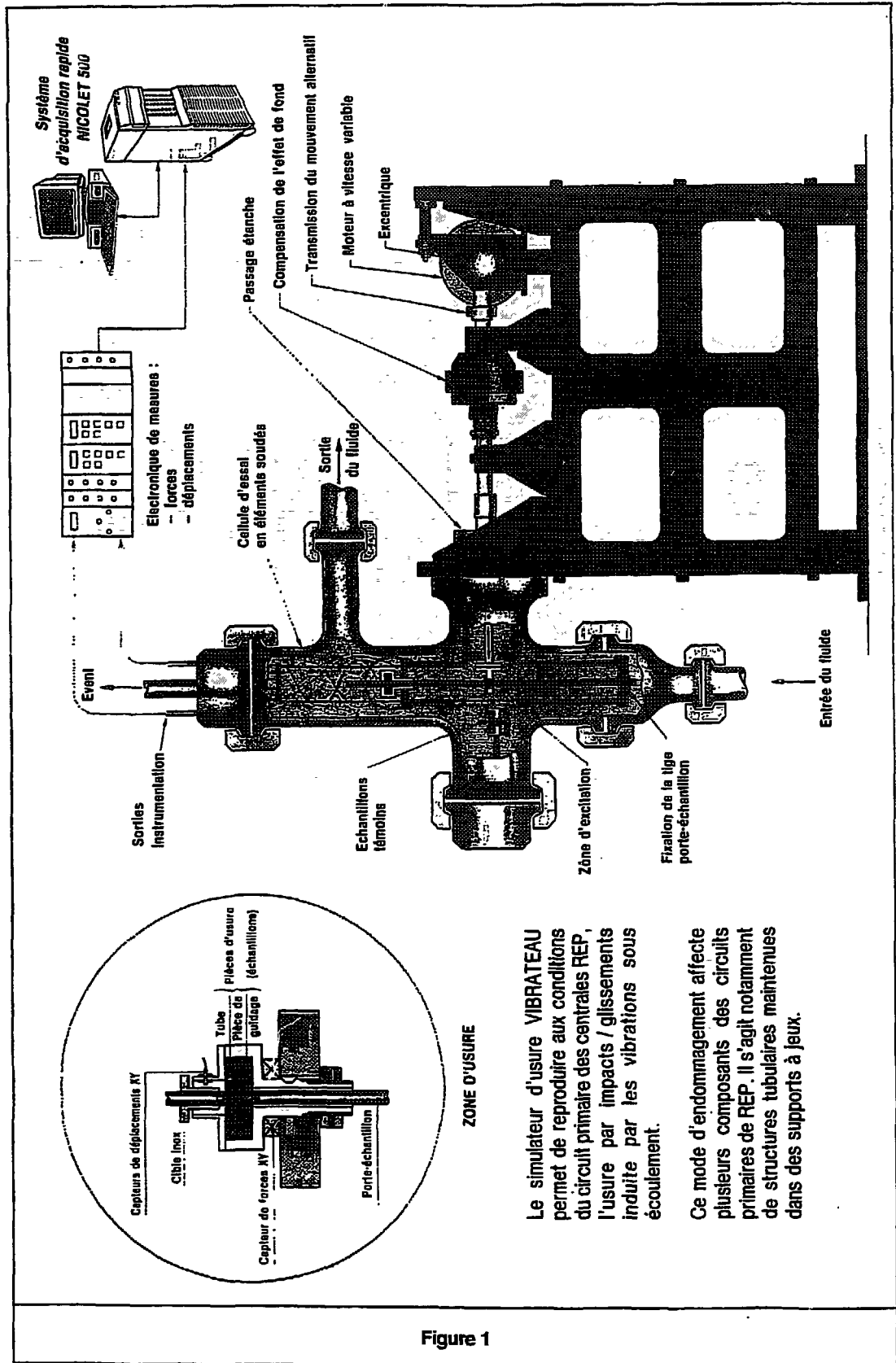
- [1] ZBINDEN M.
L'usure par impacts/glissements en milieu REP.
Séminaire EDF de Mécanique des Structures, Milly-la-Forêt, 25 et 26 avril 1990.
Note DER HT.22/90.
- [2] HOFMANN P.J., SCHETTLER T., STEININGER D.A.
PWR steam generator tube fretting and fatigue wear phenomena and correlations.
ASME WAM, International Symposium on Flow Induced Vibration and Noise, ANAHEIM, 8-13 novembre 1992.
- [3] ZBINDEN M., HERSANT D., BELTZER P., TERMELET M., MECHALY A., MAZOUZI M.
Evaluation de la reproductibilité d'essais d'usure en eau pressurisée effectués sur le simulateur VIBRATEAU.
Note DER HT.22/92-34A.
- [4] HERSANT D., ZBINDEN M., BELTZER P., TERMELET M., MECHALY A., MAZOUZI M.
Essais d'usure en eau pressurisée, sur le simulateur VIBRATEAU, de traitements et revêtements de surface pour les doigts de gant du RIC.
Note DER HT.22/93-02A.

N° essai	Volume usé gaine mm ³	Volume usé carte mm ³	Profondeur usure gaine μm	% temps de contact	Travail d'usure MJ	Coefficient d'usure gaine 10 ⁻¹⁵ Pa ⁻¹	Coefficient d'usure carte 10 ⁻¹⁵ Pa ⁻¹
1.008	1,01	0,88	17,6	10,0	0,24	4,21	3,67
1.009	0,48	0,35	14,7	9,6	0,33	1,45	1,06
1.010	0,92	0,38	7,7	7,6	0,48	1,92	0,79
1.011	1,61	0,51	10,2	28,1	0,70	2,30	0,73
1.012	1,31	0,57	9,5	4,1	0,71	1,85	0,80
1.013	0,63	0,24	8,3	11,3	0,91	0,69	0,26
Moyenne	0,99	0,49	11,3	11,8	0,56	2,07	1,22

TABLEAU 1
Essais de reproductibilité : principaux résultats

N° essai	Nature TRS	Masse usée DDG mg	Profondeur usure DDG μm	Masse usée support mg	Volume usé support mm ³
1.017	nituration ionique	10,2	9,4	210,1	26,6
1.018	chrome dur électrolytique	11,1	5,5	276,5	35,0
1.019	oxyde de chrome	33,3	35,4	487,4	61,7
1.020	non revêtu	68,7	83,0	12,6	1,6

TABLEAU 2
Essais de traitements et revêtements de surfaces
Résultats à 285°C obtenus pour les doigts de gant du RIC



ZONE D'USURE

Le simulateur d'usure VIBRATEAU permet de reproduire aux conditions du circuit primaire des centrales REP, l'usure par impacts / glissements induite par les vibrations sous écoulement.

Ce mode d'endommagement affecte plusieurs composants des circuits primaires de REP. Il s'agit notamment de structures tubulaires maintenues dans des supports à jeux.

Figure 1

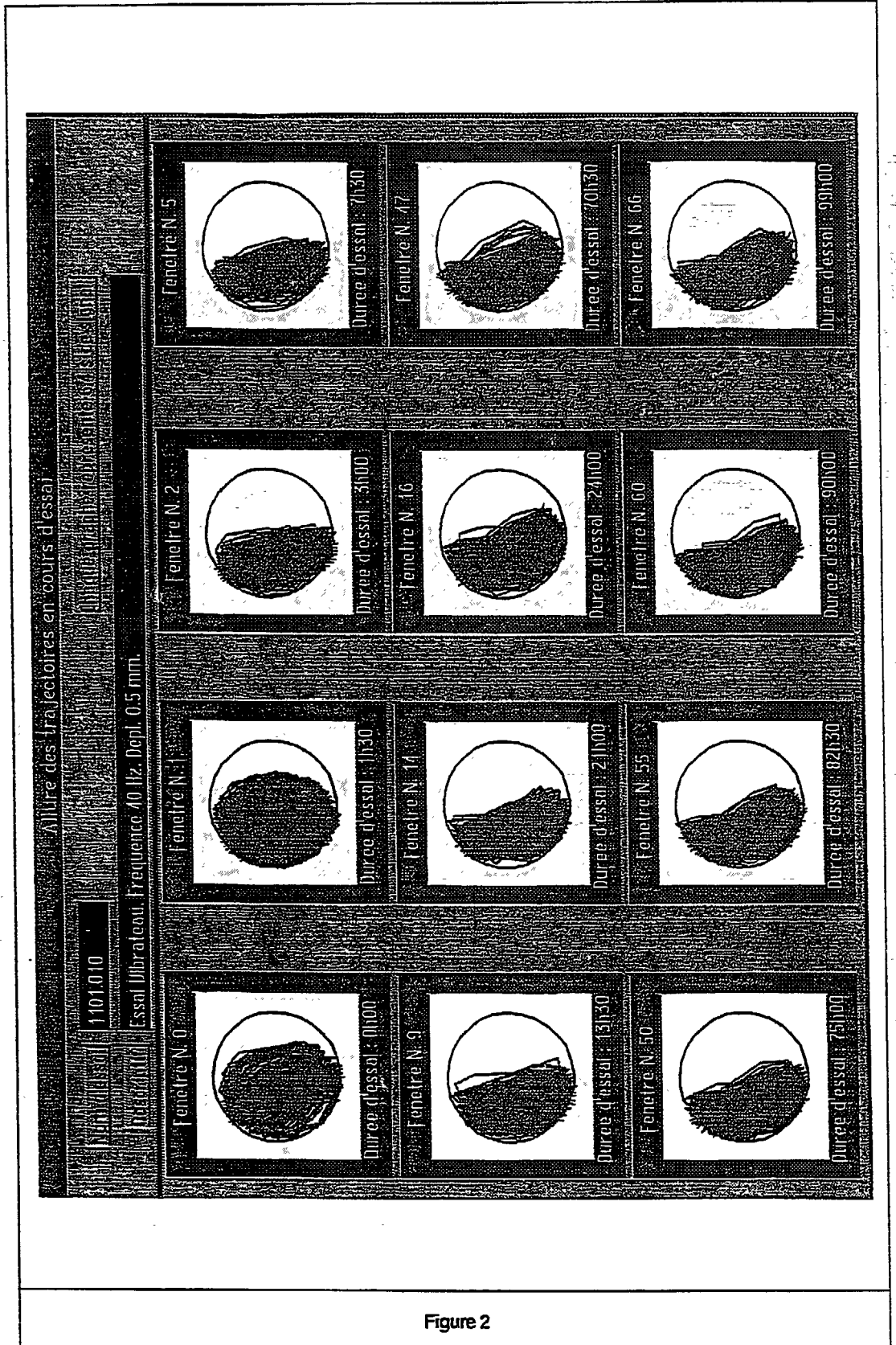


Figure 2

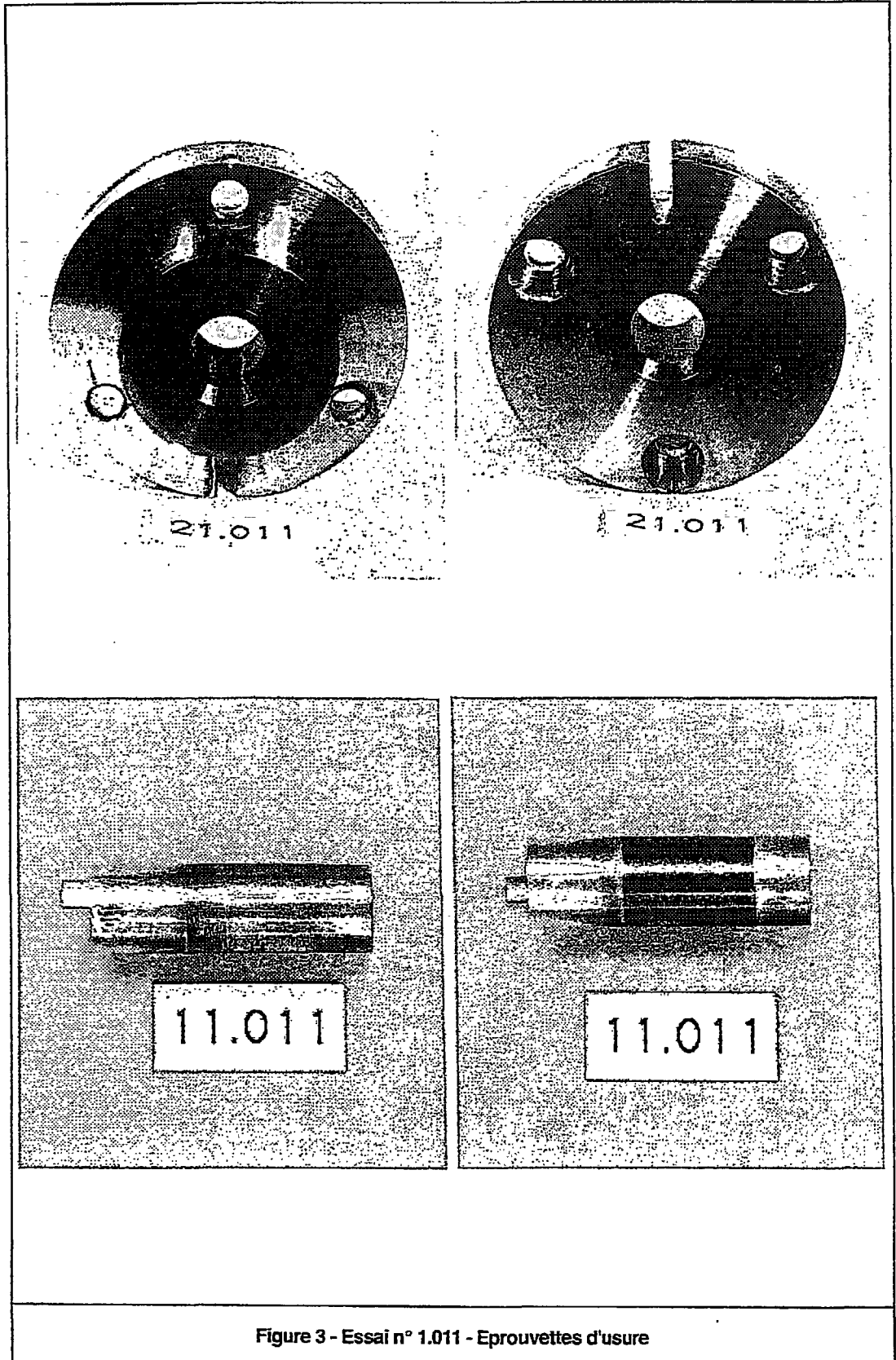
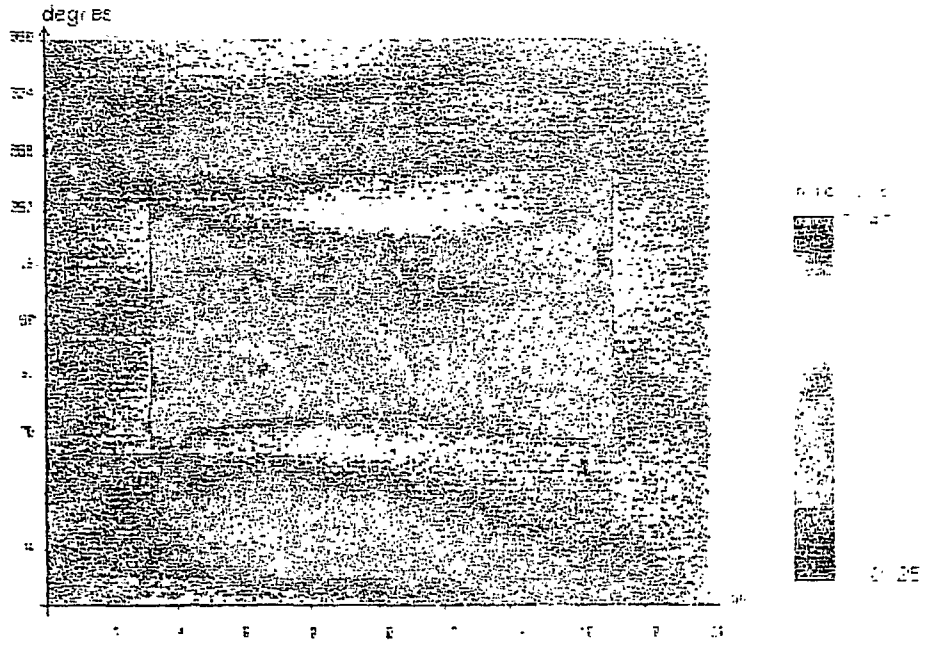


Figure 3 - Essai n° 1.011 - Eprovettes d'usure

Surface 11.011



Surface 11.011

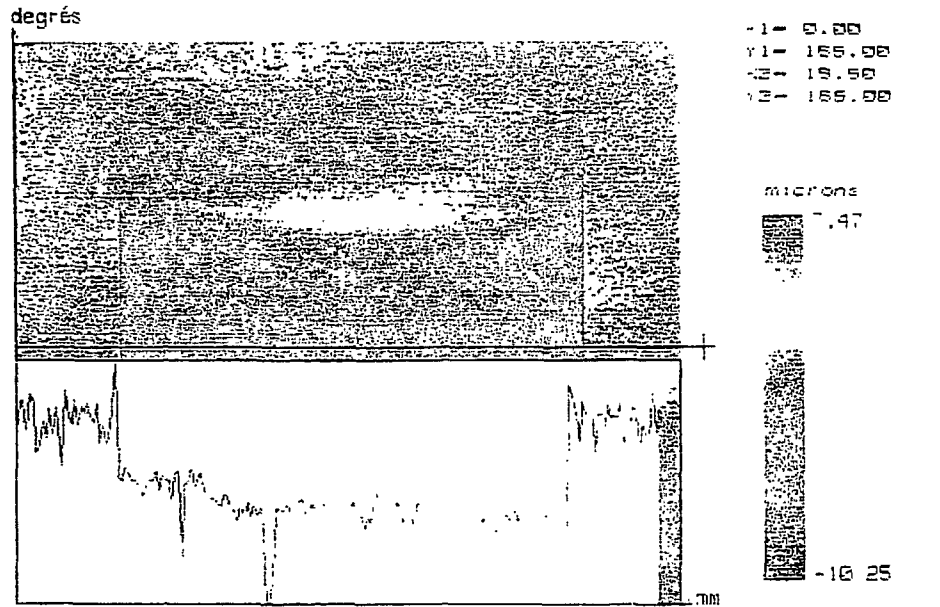


Figure 4 - Surface 11.011 (gaine)

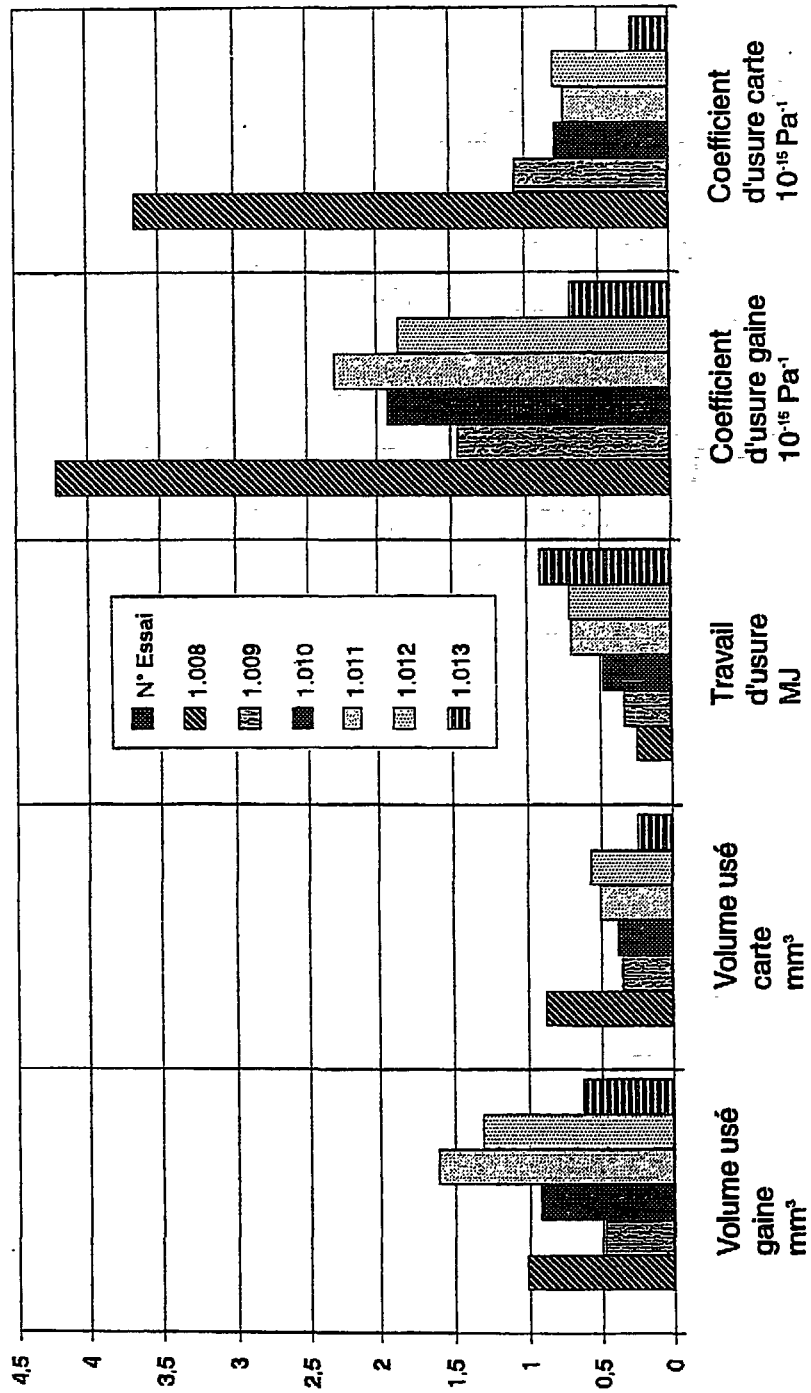


Figure 5 - Essais de reproductibilité - Comparaison des résultats

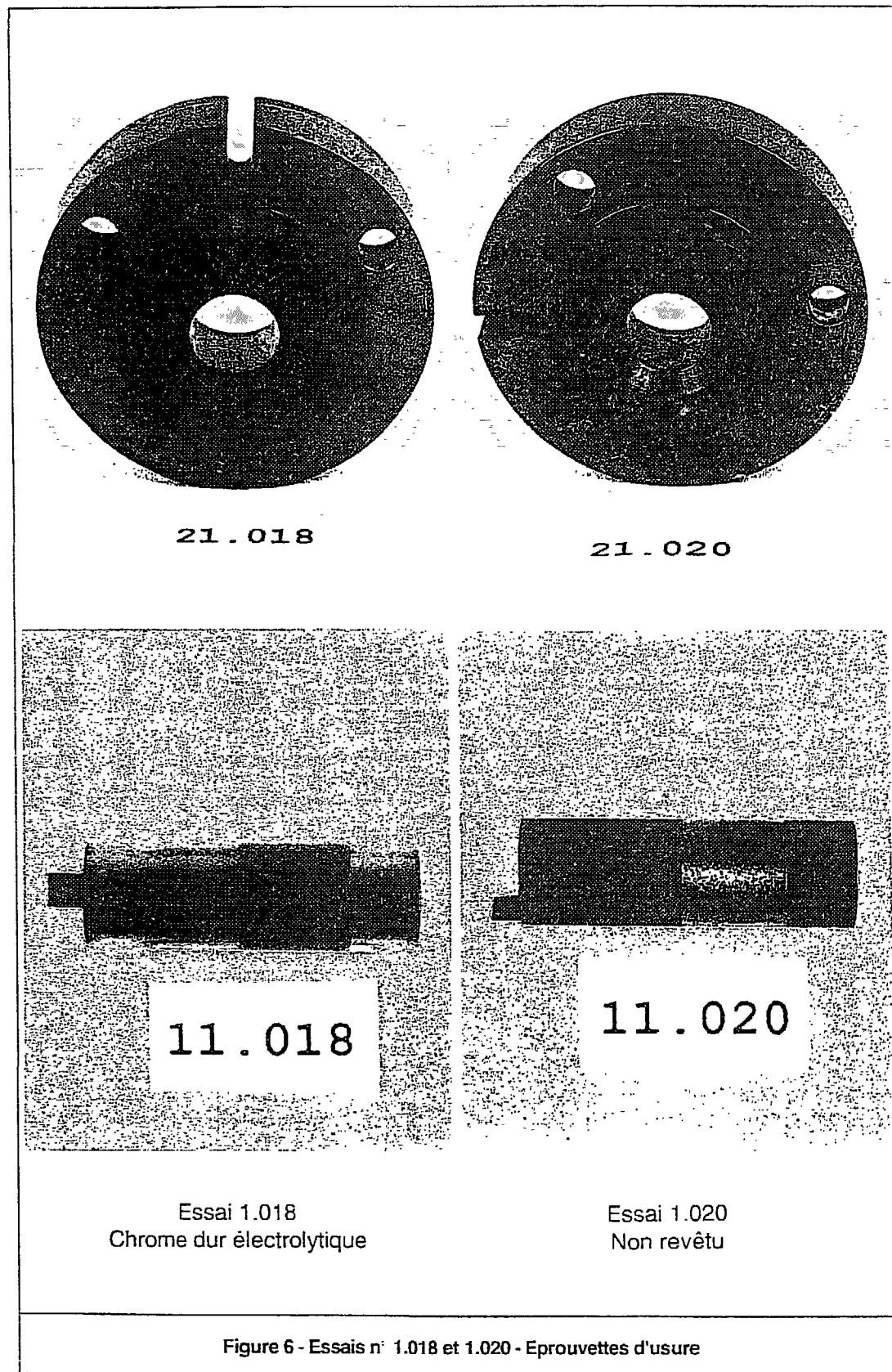


Figure 6 - Essais n° 1.018 et 1.020 - Eprouvettes d'usure

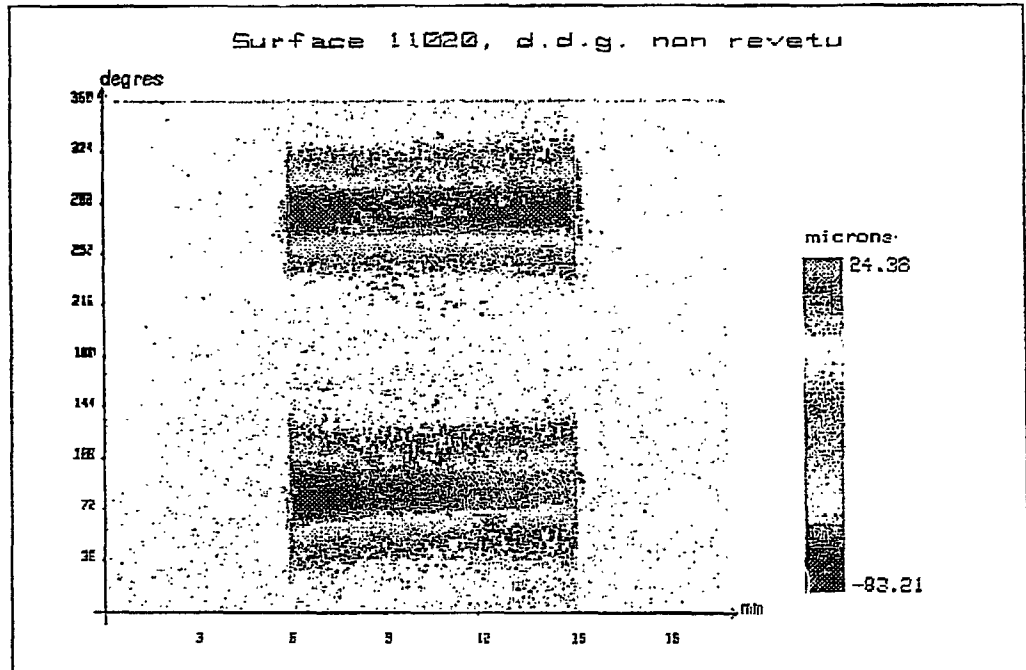
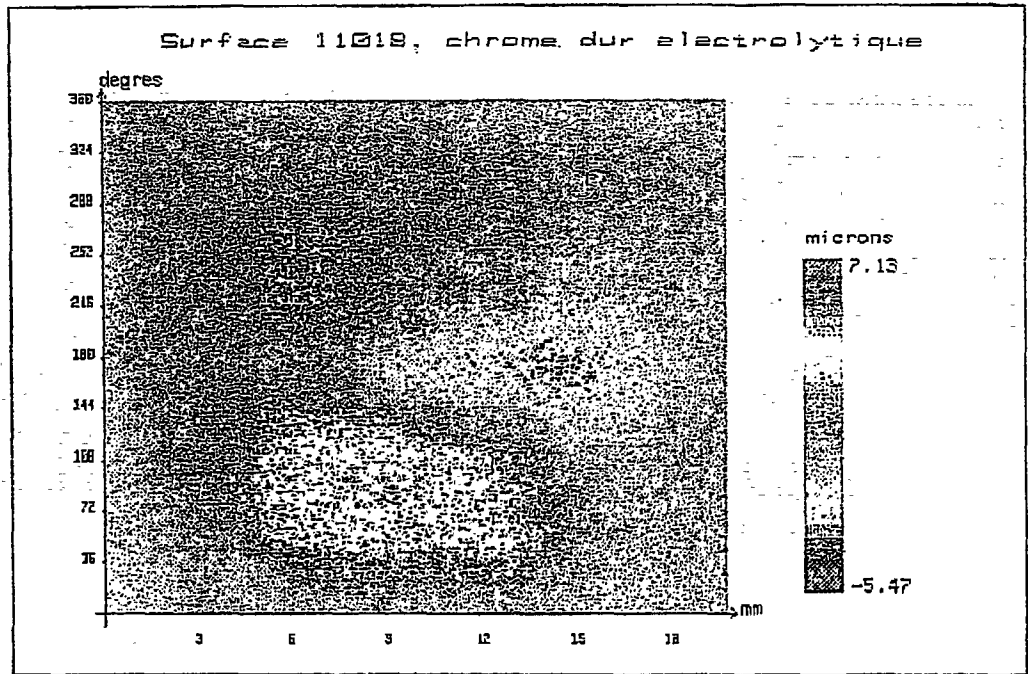


Figure 7 - Surfaces 11.018 et 11.020 (doigts de gant)