



Standard defects and dimensional measurements in neutron radiography. Difauts étalons et mesures dimensionnelles dans la neutronographie

Domanus, J.C.

Publication date:
1981

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Domanus, J. C. (1981). *Standard defects and dimensional measurements in neutron radiography. Difauts étalons et mesures dimensionnelles dans la neutronographie*. Risø National Laboratory. Risø-M No. 2318

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

RISØ-M-2318

EURATOM WORK ON STANDARD DEFECTS AND DIMENSIONAL MEASUREMENTS
IN NEUTRON RADIOGRAPHY OF NUCLEAR FUEL ELEMENTS

TRAVAUX EURATOME SUR DÉFAUTS ÉTALONS ET MESURES DIMENSIONNELLES
DANS LA NEUTRONOGRAPHIE DES COMBUSTIBLE NUCLÉAIRES

J.C. Domanus

Paper accepted for presentation at the "Journées Nationales sur les Essais
Non Destructifs" of the COPREND, Paris, 26-28.01.1982

Abstract. In 1979 a working group on neutron radiography was formed at Euratom. The purpose of this group is the standardization of neutron radiographic methods in the field of nuclear fuel. First priority was given to the development of image quality indicators and standard objects for the determination of accuracy of dimensional measurements from neutron radiographs. For that purpose beam purity and sensitivity indicators as well as a calibration fuel pin were designed and fabricated at Risø. All the Euratom neutron radiography centers have received the above items for comparative neutron radiography. The measuring results obtained, using various measuring apparatus, will form the basis to formulate conclusions about the best measuring methods and instruments to be used in that field.

October 1981

Risø National Laboratory, DK 4000 Roskilde, Denmark

En 1979 une groupe de travail sur la neutronographie fut formé au sein d'Euratome. Le but de cette groupe est la standardisation des méthodes de la neutronographie des combustibles nucléaires. Les problèmes de la plus grande priorité sont les indicateurs de qualité d'image et objets standard pour la détermination de la précision des mesures dimensionnelles sur les neutronogrammes. A ce but les indicateur de pureté de faisceau et indicateurs de sensibilité aussi qu'un crayon combustible standard ont été développées et fabriquées a Risø. Toutes les centres d'Euratome ont reçu les indicateurs et le crayon standard pour faire les neutronogrammes et ensuite entrecomparer les résultats. La comparaison des résultats des mesures effectuées avec des différents appareils de mesure permettront de formuler des conclusions sur les meilleures méthodes et appareillage de mesure.

INIS descriptors: ACCURACY; CALIBRATION STANDARDS; DEFECTS; DIMENSIONS; EURATOM; FUEL PINS; IMAGES; INDUSTRIAL RADIOGRAPHY; NEUTRON RADIOGRAPHY; NUCLEAR FUELS; STANDARDIZATION.

UDC 621.039.54 : 620.179.15 : 389.6

ISBN 87-550-0805-4

ISSN 0418-6435

Risø Repro 1981

CONTENTS

	Page
1. INTRODUCTION	1
PREAMBULE	
2. BEAM PURITY INDICATORS	2
INDICATEUR DE PURETÉ DE FAISCEAU	
3. SENSITIVITY INDICATORS	4
INDICATEURS DE SENSIBILITÉ	
4. CALIBRATED STANDARD DEFECTS	5
DÉFAUT STANDARD CALIBRÉ	
5. DIMENSIONS TO BE MEASURED	8
DIMENSIONS Á MESURER	
6. ACCURACY OF DIMENSIONAL MEASUREMENTS	11
PRECISION DES MESURES DIMENSIONELLES	
7. MEASURING METHODS AND INSTRUMENTS	12
INSTRUMENTS ET MÉTHODES DE MESURE	
8. CONCLUSIONS	15
9. REFERENCES	16

EURATOM WORK ON STANDARD DEFECTS AND DIMENSIONAL MEASUREMENTS
IN NEUTRON RADIOGRAPHY FOR NUCLEAR FUEL ELEMENTS

TRAVAUX EURATOM SUR DEFAUTS ETALONS ET MESURES DIMENSIONNELLES
DANS LA NEUTRONOGRAPHIE DES COMBUSTIBLES NUCLEAIRES

J.C. Domanus

Nuclear Department
Elsinore Shipbuilding & Engineering Co. Ltd.*)
DK-3000 Helsingør, Denmark

Neutron Radiography Working Group constituted at Euratom in 1979 has initiated standardization in the field of neutron radiography of nuclear fuel elements. Besides image and beam purity indicators the investigation of accuracy of dimensional measurements from neutron radiographs has the highest priority for the NRMG. For that purpose a calibration fuel pin containing typical defects has been fabricated and is tested by all the members of the Group.

Le Groupe de Travail sur la Neutronographie, formé en 1979, a entrepris la normalisation dans le domaine de la neutronographie des éléments combustibles nucléaires. Outre les indicateurs d'image et de pureté de faisceau, les examens sur la précision des mesures dimensionnelles des neutronogrammes prennent priorité dans les travaux du GTR. Un crayon combustible calibré contenant des défauts typiques a été fabriqué et mis à l'épreuve par tous les membres du Groupe.

1. INTRODUCTION

Neutron radiography is a well-established technique within nondestructive testing control. One of the areas in which neutron radiography is mainly used is the pre- and especially post-irradiation control of nuclear elements.

In other fields of industrial radiography (X-ray and gamma-radiography) standard methods and procedures are used to control the quality of the radiographic image. Standard reference radiographs showing typical defects revealed by radiography are also used.

It was felt that similar standardization is needed in the field of neutron radiography of nuclear fuel elements. Therefore in 1979 a Neutron Radiography Working Group was set up within Euratom. The group has chosen the following four fields as having high priority:

*¹) Work performed under contract with Risø National Laboratory.

1. PREAMBULE

La neutronographie est une technique bien établie dans le domaine du contrôle non destructif. Une des principales applications de la neutronographie est le contrôle avant et après l'irradiation des combustibles nucléaires.

On utilise des méthodes et procédés standards dans le contrôle de la qualité d'image radiographiques dans d'autres domaines de la radiographie industrielle (rayons X et gamma). On utilise aussi des radiogrammes de référence standards démontrant les défauts typiques dévoilés par la radiographie.

Il a été conclu qu'une standardisation semblable est nécessaire dans le domaine de la neutronographie des combustibles nucléaires. Donc, en 1979, le Groupe de Travail sur la Neutronographie a été formé au sein de l'Euratom. Ce même groupe a choisi de donner priorité aux quatre domaines suivants:

*²) Travail exécuté sous contrat avec Risø National Laboratory.

- Image quality of neutron radiographs (specification of quality levels and methods of testing it).
- Recommended practices for neutron radiographic testing.
- Classification of defects revealed by neutron radiography.
- Methods and equipment for accurately measuring dimensions from neutron radiographs.

During the first year of activity of the NRWG a classification of defects revealed by neutron radiography was proposed and an atlas of defects: "Neutron radiographic findings in light water reactor fuel" /17 was produced.

For the sake of testing the radiographic image quality and accuracy of dimension measurements from neutron radiographs, a special calibration fuel pin and beam purity and sensitivity indicators were designed and produced and are tested together with the ASTM indicators under a special test program by all the neutron radiography centers participating in the work of the NRWG.

2. BEAM PURITY INDICATORS

The neutron beam and image system parameters that contribute to film exposure and thereby affect overall image quality can be assessed by the use of Beam Purity Indicators. Following the experience gained during the use of the BPI prescribed by the first ASTM standard on neutron radiography /27 a new BPI design was developed, which will be recommended by the revised ASTM standard. This BPI design is shown in fig. 1.

For controlling the neutron beam components in nuclear fuel radiography the NRWG has developed a special Beam Purity Indicator - Fuel, which is a modification of the ASTM BPI. Instead of the two lead discs it uses two cadmium discs and instead of two cadmium wires it uses two cadmium bars.

The BPI-F is shown in fig. 2.

- La qualité d'image des neutronogrammes (specifications des niveaux de qualité et méthodes de vérification).
- Les procédures recommandées pour la neutronographie.
- La classification des défauts dévoilés par la neutronographie.
- Les méthodes et l'appareillage qui permettent d'obtenir des mesures précises sur les neutronogrammes.

Dans sa première année, le GTN a proposé une classification de défauts dévoilés par la neutronographie et un atlas de défauts intitulé: "Neutron radiographic findings in light water reactor fuel" /17 a été publié.

Un crayon combustible calibré et des indicateurs de pureté et de sensibilité ont été conçus et fabriqués pour permettre la mise à l'épreuve de la qualité d'image radiographique et de la précision des mesures dimensionnelles. Le crayon et les indicateurs sont examinés par tous les centres participant au travail de GTN selon un programme spécial d'essai.

2. INDICATEUR DE PURETE DE FAISCEAU

Les faisceaux de neutrons et les paramètres de l'installations neutronographiques qui contribuent à l'exposition du film et qui donc influencent la qualité générale d'image peuvent être évalués en utilisant les Indicateurs de Pureté de Faisceau (IPF). Un nouveau IPF a été conçu suivant l'expérience acquise pendant l'utilisation du IPF prescrit par la première norme ASTM /27. Ce nouveau IPF sera recommandé par la nouvelle norme ASTM. La figure 1 démontre le nouveau IPF.

Afin de contrôler les composants de faisceau neutronique dans la radiographie de combustible nucléaires, le GTN a conçu un Indicateur de Pureté de Faisceau - Combustible (IPF-C) qui est une modification du IPF ASTM. Au lieu de disques en plomb, il utilise deux en cadmium et deux barres en cadmium au lieu de deux fils en cadmium.

Le IPF-C est représenté ci-dessus.

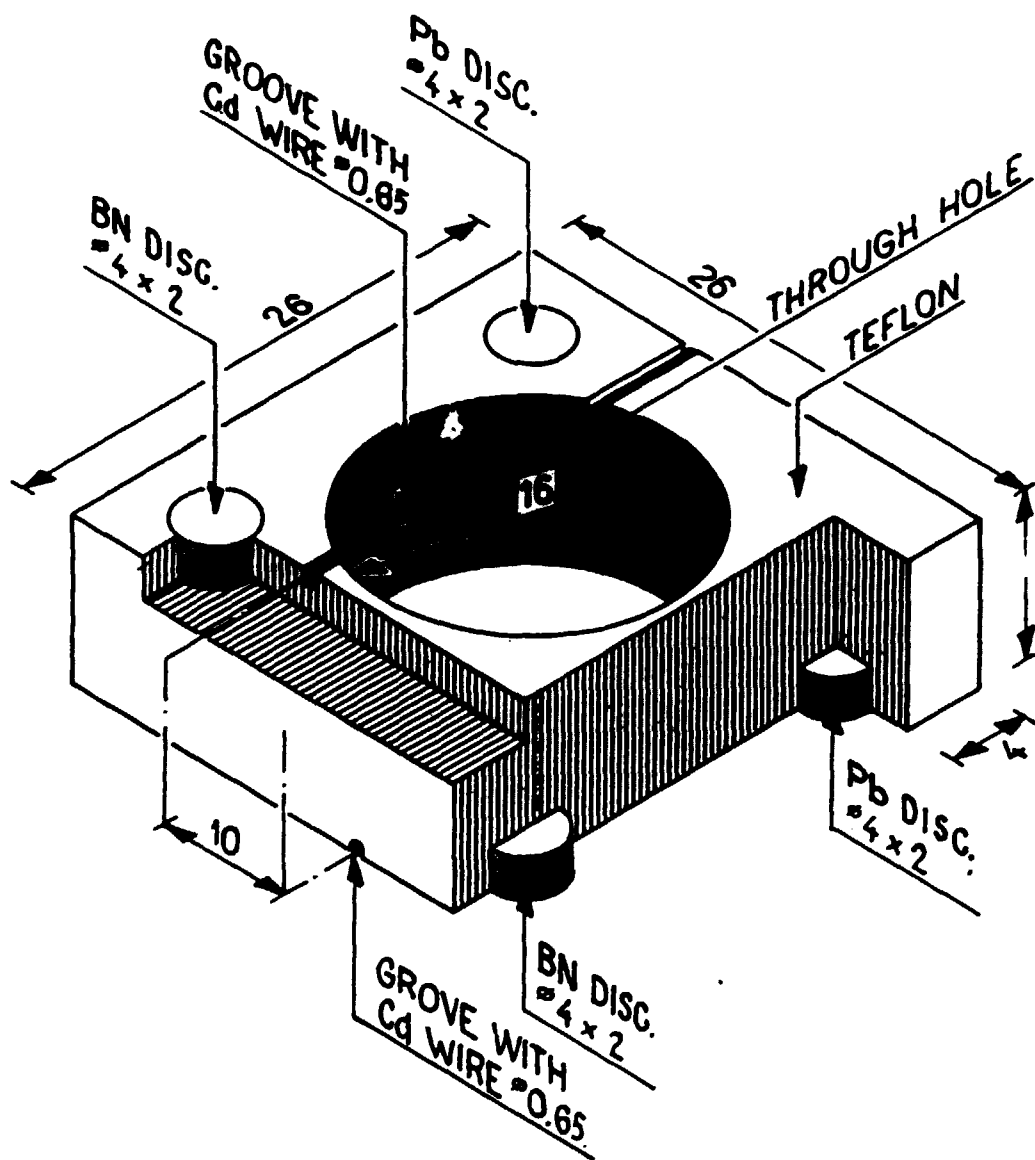


Fig. 1. The ASTM Beam Purity Indicator.

Fig. 1. Indicateur de pureté de faisceau (suivant ASTM).

From measurements of film densities under different parts of the BPI and BPI-F, and background density, different neutron beam components can be calculated.

The cadmium wire or rods included in each beam purity indicator are used to provide an indication of inherent beam resolution or sharpness.

Différent composant du faisceau neutronique peuvent être calculés d'après les mesures de densité du film sous différentes parties du IPP et IPP-C ainsi que d'après la densité du fond.

Les fils ou barres de cadmium présents dans chaque indicateur de pureté de faisceau sont utilisés pour démontrer la résolution inhérente du faisceau ou du flou.

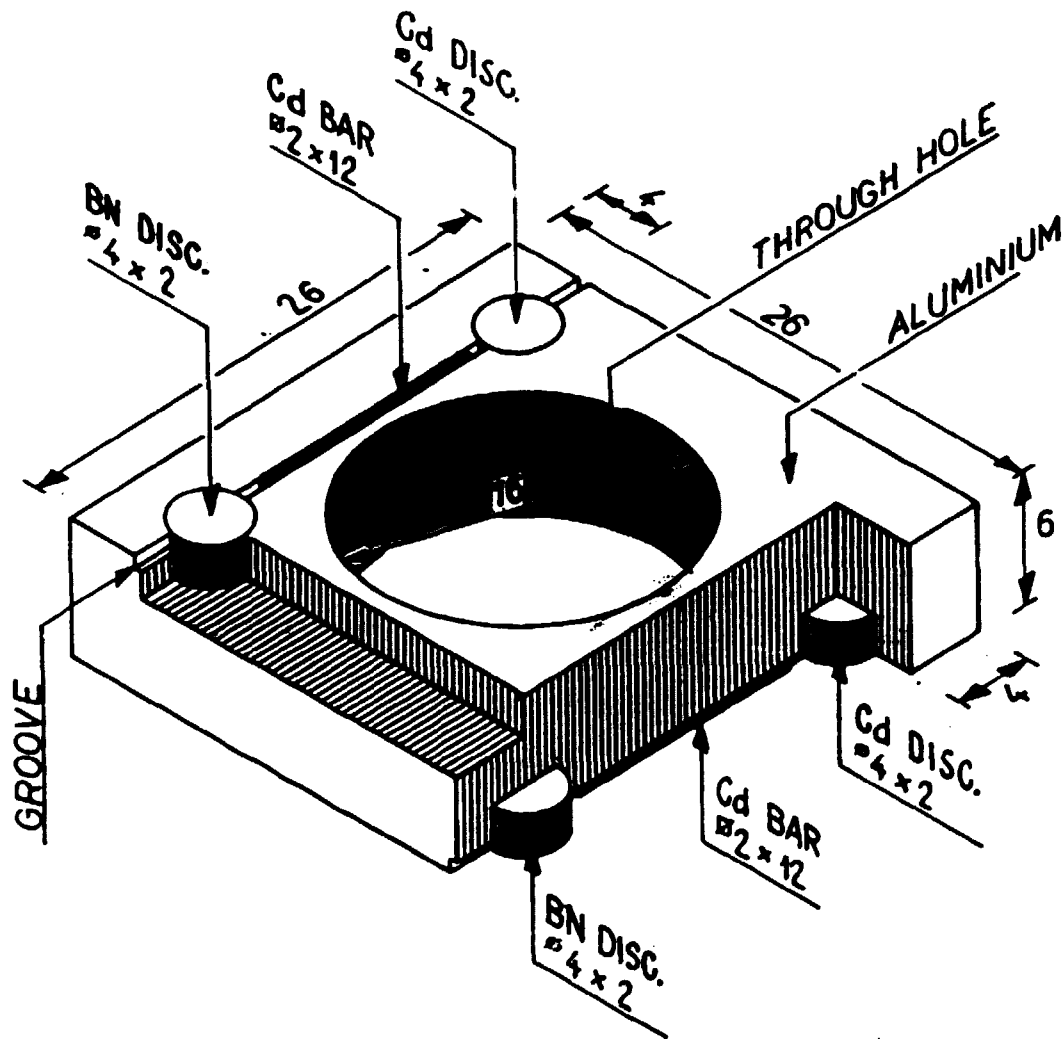


Fig. 2. The NRWG Beam Purity Indicator - Fuel.

Fig. 2. Indicateur de purété de faisceau-combustible du GTN.

3. SENSITIVITY INDICATORS

Instead of the former four types of ASTM Sensitivity Indicators one new type of SI was developed. It is shown in fig. 3.

This sensitivity indicator basically combines a hole gauge and gap gauge into a small single device. The holes are sized to be smaller than can be seen by conventional neutron radiography, and they progress up in size. Similarly, the gaps, formed by aluminium shims between sheets of acrylic resin, cover a range that is useful for all facilities.

3. INDICATEURS DE SENSIBILITE

On a développé un seul type d'Indicateur de Sensibilité (IS) au lieu des quatres anciens types d'IS ASTM. Ce nouvel IS est montré sur la fig. 3.

Cet indicateur de sensibilité réuni une gauge à trou avec une gauge à fente en un seul engin. Les trous sont dimensionner afin d'être plus petits que ceux qui sont perceptibles dans la neutronographie conventionelle; ils deviennent de plus en plus grands. Aussi, les fentes formées par des feuilles d'aluminium entercalées entre les pieces de résine acrylique ont une gamme d'épaisseur applicable à toutes les installations de la neutronographie.

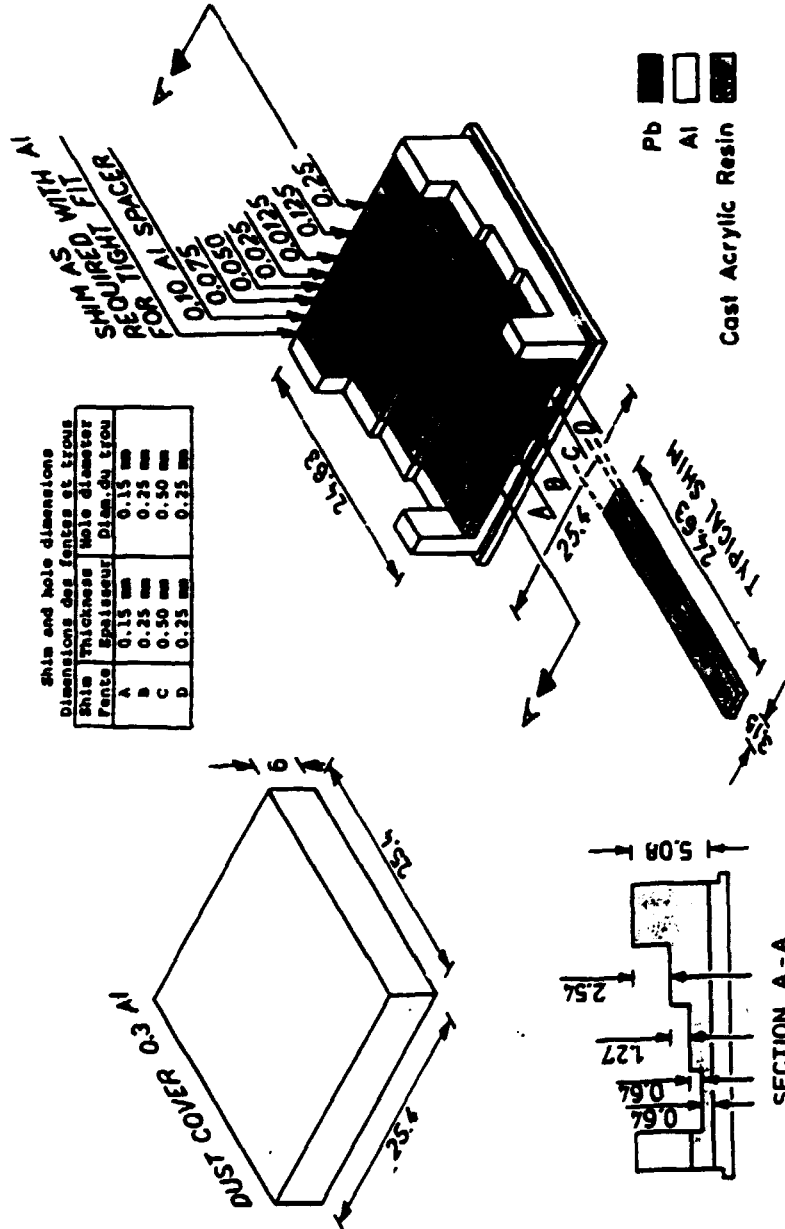


Fig. 3. The ASTM sensitivity indicator.

Fig. 3. Indicateur de sensibilité (selon l'ASTM).

4. CALIBRATED STANDARD DEFECTS

In neutron radiography of nuclear fuel the term "defect" has a somewhat different meaning than in other fields of industrial radiography. As mentioned in the preface to the atlas of defects [17]: "the term 'defect' is used for designation of neutron radiographic findings, showing

4. DEFAUT STANDARD CALIBRE

Dans la neutronographie du combustible nucléaire, le terme "défaut" est utilisé d'une façon un peu différente que dans d'autres domaines de la radiographie industrielle. Dans le préambule de l'atlas des défauts [17], on a expliqué que: "le terme 'défaut' est utilisé pour

<ul style="list-style-type: none"> ● Defects shown on display. ○ Defects occurring, but not shown. × Dimensions from neutron radiographs. ⊗ Dimensions measured at Rise. Defect intensity: 1 - small 2 - medium 3 - high 			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			Cracks			Chips										Dim.										
			Random	Longitudinal	Transverse	Annular	Corner	Other	In pellet-to-pellet gap	In fuel-to-clad gap	Not present	Enlarged	Contracted	Filled up	Deformed	In one pellet	Through sev. pellets	Through whole fuel column	Different n-absorption	Hydrides	Broken	Dislocated	Expanded	Diameter	Thickness	Length
A	Fuel	a Pellets	●	●	●	●	●	●	○	●	●							●		●			×		×	
		b Pellet- to-pellet gap									●	●														×
		c Dishing											●	●												
		d Central void													●	●	●							×		×
		e Fuel-to-clad gap									●	○													×	×
		f Fuel column																							⊗	
B	a Cladding													●				●	●					×	×	
C	Plenum	a Spring									●			●						○			×	×	×	
		b Spring sleeve												○					○	○	○			×	×	×
		c Disc												○					○	○	○			×	×	
		d Top of fuel column to plug																							⊗	
D	Plug	a Bottom end												○				●	○	○			×		×	
		b Top end													○				●	○	○			×		×
E	Instrum.	a Thermocouple												○					○	○	○			×	×	
		b Pressure transducer													○					○	○	○			×	×
		c Other													○					○	○	○			×	×

Fig. 4. Classification of defects revealed by neutron radiography in nuclear fuel.

designer des images neutronographiques qui montrent une apparence différente d'une pièce particulière du combustible de celle qui sera montrée sur un neutronogramme de la partie comme elle a été fabriquée".

a different appearance of a particular part of the fuel from that, which will be shown on a neutron radiograph of that part as fabricated".

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	Dimens.		
																					Alésage	Longitudinal	Transverse
<p>● Défaut montré dans l'atlas ○ Défaut existant, mais non montré × Dimensions à mesurer ● Dimensions mesurées à Risq Intensité du défaut: 1 - petite 2 - moyenne 3 - grande</p>																							
A	Pastilles																						
B	Jeu entre pastilles																						
C	Concavité																						
D	Trou central																						
E	Jeu combustible-gaine																						
F	Colonne combustible																						
G	Gaine																						
H	Ressort																						
I	Manchon-ressort																						
J	Disque																						
K	Extrémité inférieure																						
L	Extrémité supérieure																						
M	Thermocouple																						
N	Capteur de pression																						
O	Autre																						

Fig. 4. Classification des défauts dans le combustible nucléaire dévoilés par la neutronographie.

Fuel pin components and defects occurring in them are shown in fig. 4. The components are subdivided into elements where defects may occur. Those defects can be of different nature and origin. They are listed at the top of fig. 4.

Following types of defects occurring in "fuel" (fig. 4), when revealed on neutron radiographs, are also assessed quantitatively by measuring their dimensions.

La fig. 4 illustre les composants d'un crayon combustible et les défauts que peuvent s'y trouver. Les composants sont subdivisés selon les endroits où les défauts peuvent apparaître. Ces défauts, énumérés au dessus de la fig. 4, peuvent être de nature et d'origine différentes.

Les types suivants de défauts apparaissent dans le "combustible" (fig. 4) qui sont dévoilés sur les neutronogrammes, sont aussi évalués quantitativement en

These defects are: pellet-to-pellet gap, dishing, central void and fuel-to-clad gap.

To be able to measure the dimensions of these defects accurately a Calibration Fuel Pin was designed and fabricated at Riso and is shown in fig. 5. Its design incorporates the following features: UO_2 pellets made of natural and enriched uranium (of different length), calibrated fuel-to-clad gaps, calibrated pellet-to-pellet gaps, calibrated central void, and calibrated dishing.

5. DIMENSIONS TO BE MEASURED

The measurement of dimensions from neutron radiographs of nuclear fuel pins consists actually of measuring distances between locally occurring maxima or minima in optical film densities on the radiographs. It is consequently a length measurement.

The accuracy of dimension measurements depends on the accuracy with which these elements can be detected. In practice, the following dimensions are measured from neutron radiographs:

- 1) The outer diameter of the cladding tube.
- 2) The diameter of the fuel pellet.
- 3) The fuel-to-clad gap.
- 4) The cladding tube wall thickness.
- 5) The pellet length.
- 6) The pellet-to-pellet gap.
- 7) The fuel column length.

(See fig. 4, columns 22 to 24).

All the above-mentioned dimensions can be read from neutron radiographs as distances between a maximum and/or minimum optical film densities.

Other dimensions can also be of interest, e.g. the central void diameter and length, the crack width in pellets, the length or diameter of the spring in plenum, the top of the fuel column-to-plug length, the dimensions of the end plugs and instrumentation included in the fuel pins.

mesurant leurs dimensions. Ces défauts sont: jeu entre pastilles, concavité, trous centraux, jeu entre combustible et gaine.

Afin de mesurer les dimensions de ces défauts de manière précise, un Crayon Combustible Calibré (CCC) a été conçu et fabriqué à Riso (voir fig. 5). Le design incorpore les éléments suivants: des pastilles UO_2 d'uranium naturel et enrichie (de longueurs différentes), des jeux entre combustible et gaine calibrés, des jeux entre pastilles calibrés, des trous centraux calibrés et une concavité calibrée.

5. DIMENSIONS À MESURER

Les mesures de dimension sur le neutronogramme du crayon combustible consistent en principe de mesures de distance entre les maxima et minima que se produisent dans les densités optiques du neutronogramme. C'est donc une mesure de longueur.

La précision des mesures dimensionnelles dépend de la précision avec laquelle ces éléments peuvent être perçus. En pratique, les dimensions suivantes sont enlevées des neutronogrammes:

- 1) Le diamètre extérieur de la gaine.
- 2) Le diamètre de la pastille.
- 3) Le jeu entre combustible et gaine.
- 4) L'épaisseur de la paroi de la gaine.
- 5) La longueur de la pastille.
- 6) Le jeu entre pastilles.
- 7) La longueur de la colonne combustible.

(Voir fig. 4, colonnes 22 à 24).

On peut lire toutes les dimensions ci-dessus d'après les neutronogrammes comme distances entre les maxima et minima de densité optique du film.

On peut aussi déterminer, entre autre, les dimensions suivantes: le diamètre et la longueur du trou central, la largeur des fissures dans les pastilles, la longueur et le diamètre du ressort dans le volume libre, la longueur du haut de la colonne combustible au bouchon, les dimensions des bouchons et des instruments présents dans le crayon combustible.

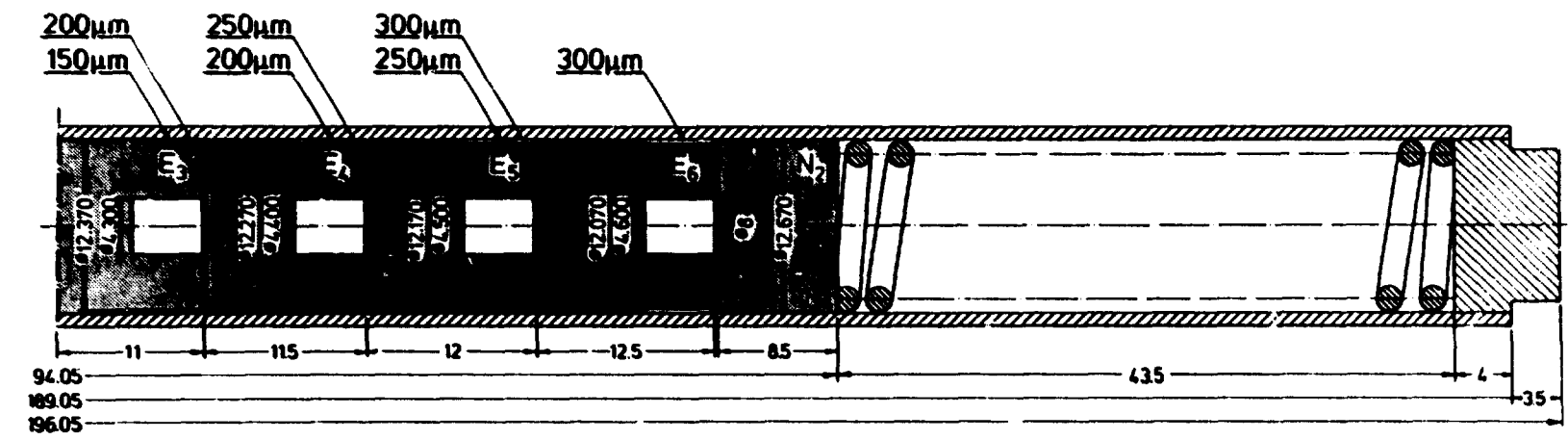
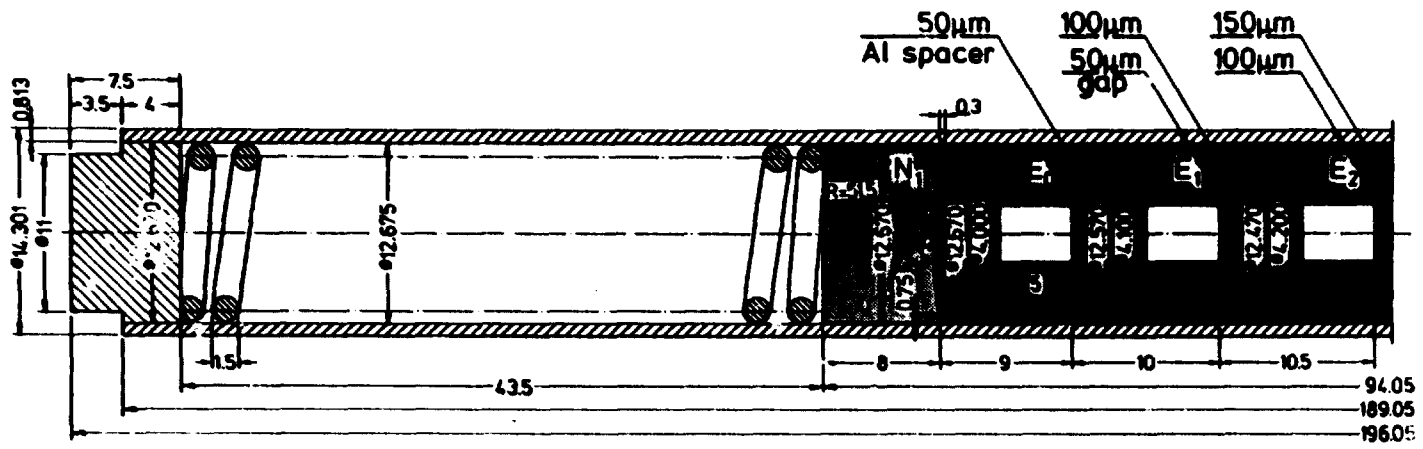


Fig. 5. The calibration fuel pin CFP-E1.

Fig. 5. Crayon combustible calibré CFP-E1.

Fig. 6 shows the changes in thickness of materials penetrated by the neutron beam, the corresponding radiation beam intensity reaching the detector and the resulting film density for the pellet and central void diameter and fuel-to-clad gap, for a pellet containing a central void.

La fig. 6 démontre les changements d'épaisseur du matériaux par lequel pénètre le faisceau de neutrons, l'intensité du faisceau de radiation frappant le détecteur et la densité du film qui en résulte pour le diamètre des pastilles, trou central et le jeu entre combustible et gaine.

Fig. 7 shows how radiation intensity and film density will appear for the pellet length, pellet-to-pellet gap and fuel column length. The dimensions mentioned above can usually be read easily from neutron radiographs and do not require the same accuracy as those enumerated at the beginning.

Fig. 7 démontre comment l'intensité de radiation et la densité du film apparaitront pour la longueur des pastilles, jeu entre pastilles, et la longueur de colonne combustible. Les dimensions mentionnées ci-dessus se lissent en général facilement sur le neutronogramme et ne nécessitent pas la même précision de mesure que ceux mentionnés au début.

Fig. 6. Pellet and central void diameter and fuel-to-clad gap.

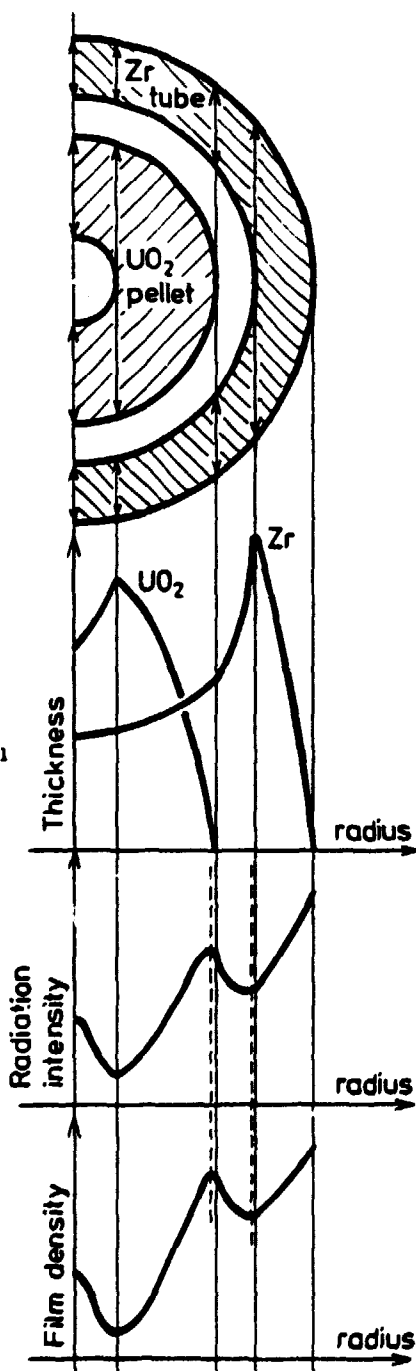


Fig. 6. Epaisseur, intensité de radiation et densité du film à travers du crayon.

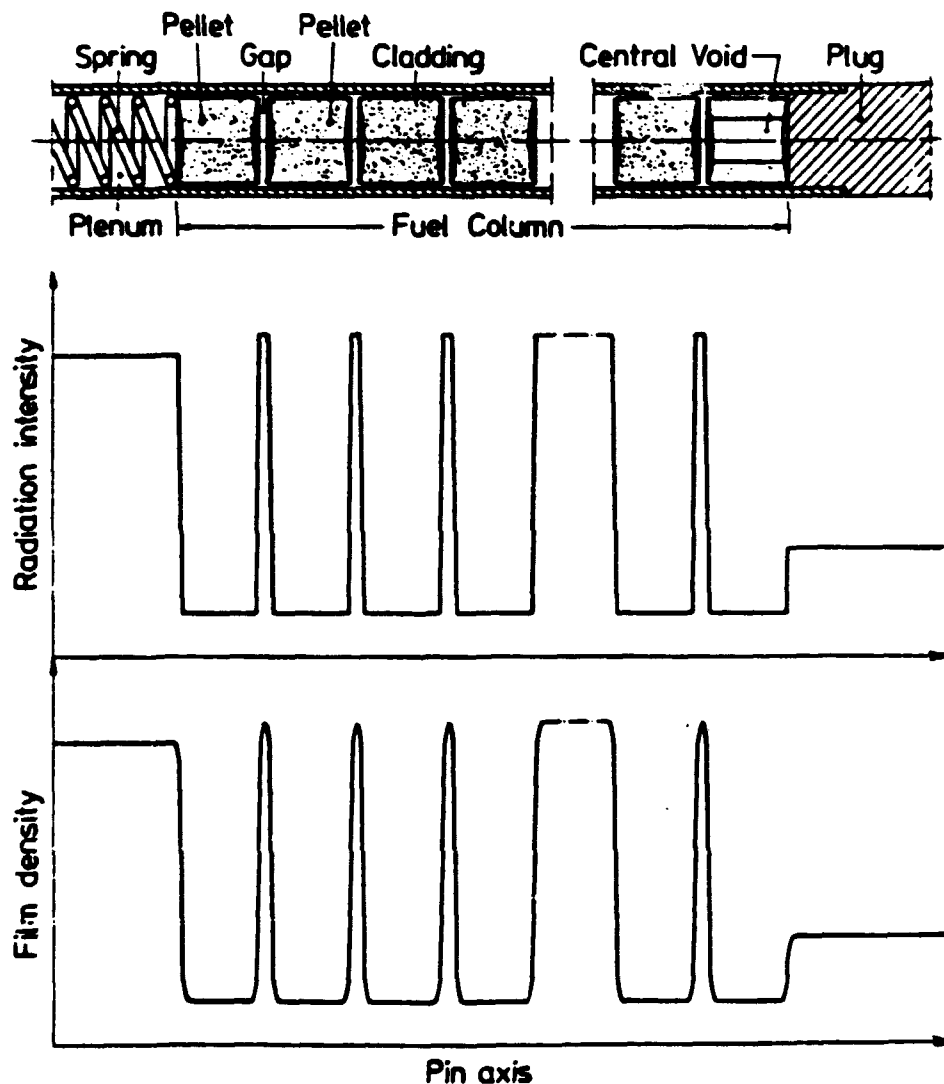


Fig. 7. Pellet length, pellet-to-pellet gap and fuel column length.

Fig. 7. Longueur de la pastille, jeu entre pastilles et longueur de la colonne combustible.

6. ACCURACY OF DIMENSIONAL MEASUREMENTS

Although it is comparatively easy to see even minute changes of dimensions on neutron radiographs, it is very difficult to measure them accurately. This problem was investigated at Rise [37] and needs further clarification.

By measuring the dimensions mentioned above from neutron radiographs of the CFP the accuracy of dimension measurements can be determined for various exposure and measuring techniques.

6. PRECISION DES MESURES DIMENSIONNELLES

Même s'il est relativement facile de voir même de très petits changements de densité sur les neutronogrammes, il est très difficile de les mesurer avec précision. Ce problème, qui a été examiné à Rise [37], doit être clarifié davantage.

En prenant les mesures mentionnées ci-dessus du CCC, on peut déterminer la précision des mesures dimensionnelles pour de diverses expositions et techniques de mesure.

A special test program is underway in which all the neutron radiographic centers of the NRWG will neutron-radiograph the CFP, BPI, BPI-F and SI on silver halide and nitrocellulose film. Thereafter the results of measurements and calculations obtained from the test program (4) will be compared. Finally, conclusions will be drawn as to which indicators and measuring methods can be recommended as standard for use in neutron radiography of nuclear fuel.

7. MEASURING METHODS AND INSTRUMENTS

The following methods have been reported for dimensional measurements of nuclear fuel from neutron radiographs: travelling microscope and light table micrometer, optical projector, travelling microdensitometer, photographic enlargement and sharpening, photographic image enhancement, electronic image analyzer (further details about those methods and references to original work in that field can be found in (3)). In practice two instruments are suitable for that purpose: the optical projection microscope and travelling microdensitometer. The electronic image analyzer seems to be new, promising instrument.

The relative merits and disadvantages of the above mentioned two instruments can be summarized as follows:

The optical projection microscope is simple and rapid in use. Its principle is shown in fig. 8. It has the principal advantage that one can see the image of the radiograph from which the dimensions are read on the microscope screen. The adjustment of the neutron radiographs on the measuring table is fast and simple because a slight deviation from parallelism between the fuel pin axis and measuring table axis can easily be compensated for by rotating the reading scale of the projection screen.

The main disadvantage of the optical projector is the subjectivity of its measurements. The person performing the

Un programme special d'essai a été mis en marche. Dans ce programme, tous les centers du GTN feront des neutronogrammes du CCC, IPF, IPF-C et IS sur des films argentiques et nitrocellulosiques. Les résultats des mesures et des calculs dérivés de ce programme (4) seront ensuite comparés. Enfin, des conclusions seront tirées indiquant quels indicateurs et méthodes de mesure pourront être recommandés comme standard dans la neutronographie des éléments combustible.

7. INSTRUMENTS ET METHODES DE MESURE

Les méthodes suivantes ont été publiées, concernant les mesures dimensionnelles sur les neutronogrammes de combustibles nucléaires: microscope à balayage et miromètre à table lumineuse, projecteur optique, microdensitomètre à balayage, agrandissement et mise au point photographique, intensification ou amélioration d'image photographique, analyseur électronique d'image (de plus amples détails sur ces méthodes aussi que des références sur les travaux originaux dans ce domaine peuvent être trouvés dans (3)). En fait, deux instruments sont les mieux adaptés à ce but: le microscope optique à projection et le microdensitomètre à balayage. L'analyseur électronique d'image semble être le nouvel instrument le plus prometteur.

Les mérites et inconvénients de ces deux instruments sont:

Le microscope optique à projection est simple et rapide. La fig. 8 montre son principe d'opération. Son plus grande avantage est que l'on peut voir directement sur l'écran du microscope l'image du radiogramme sur lequel on doit déterminer la dimension. On peut facilement et rapidement ajuster les neutronogrammes sur la table de mesure puisque on peut facilement compenser une déviation légère du parallélisme entre l'axe du crayon combustible et l'axe de la table de mesure en tournant l'échelle de l'écran de projection.

Le plus grand inconvénient du projecteur optique est sa subjectivité de mesure. La personne qui prend les mesures doit

measurements has to decide himself where the maximum or minimum of optical density occurs; this may sometimes be difficult or even impossible.

The advantage of using magnification on the projection microscope is limited, as higher magnifications do not tolerate radiographs with higher densities. It seems that the magnification of 10 X is the practical limit for radiographs with densities no greater than 2.

If the reference points for dimension measurements on the projection microscope have been properly chosen, then the length measurement can be performed with a comparatively high accuracy. The use of a micrometric screw on the measuring table gives an accuracy of 1 μ m. The results of the measurements can also easily be digitalized and connected to a print-out device, thereby leaving a permanent record.

decidée d'elle même ou le minimum ou maximum de densité optique se trouve; ce qui est quelques fois difficile ou même impossible.

La possibilité d'utiliser l'agrandissement sur le microscope à projection est quand même limité car on ne peut pas trop agrandir les radiogrammes de grande densité. Il semble qu'un agrandissement de 10 fois est la limite pratique pour les radiogrammes avec densité ne dépassant 2.

Si l'on choisi correctement les points de référence pour les mesures dimensionnelles sur le microscope à projection, on peut alors mesurer la longueur d'une manière relativement précise. En utilisant une vis micrométrique avec la table de mesure on peut atteindre une précision de 1 μ m. On peut aussi facilement digitaliser les résultats de mesures et les transmettre à un poste de listage afin d'avoir un document permanent.

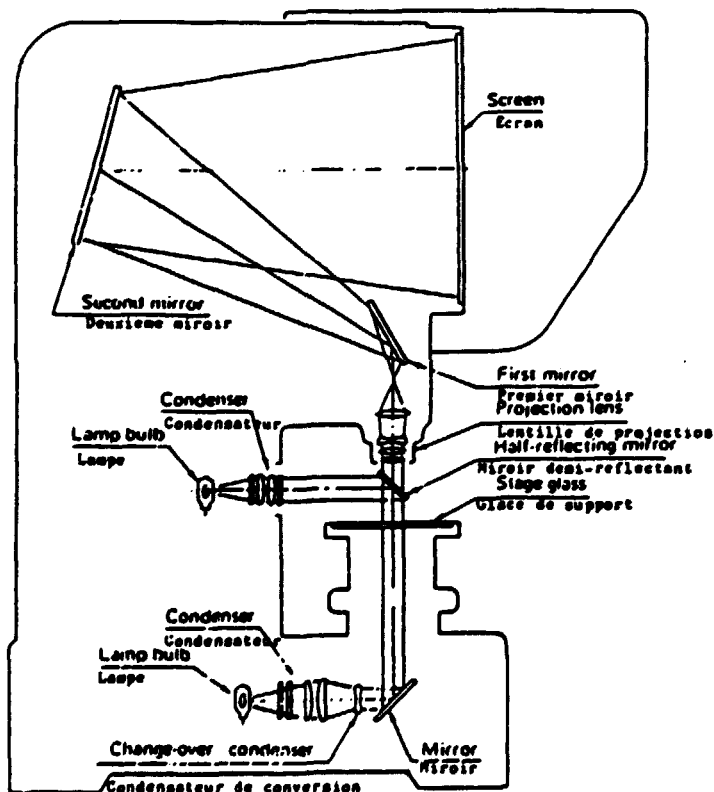


Fig. 8. Optical projection microscope.

Fig. 8. Microscope optique à projection.

The travelling microdensitometer has the main advantage of using an objective method of measurement. The scan obtained from the densitometer does not depend on the subjective judgement of the person using the instrument, as is the case with the projection microscope. However, the accuracy of the results depends on several factors in adjusting the instrument prior to its use. These depend on the skill of the operator, and are as follows:

- 1) Choice of scanning slit length and width.
- 2) Accurate adjustment of parallelism of the scanning slit with the axis of the pin under measurement.
- 3) Proper choice of densitometer sensitivity.
- 4) Choice of the scanning and paper recorder speed.

The adjustment of parallelism requires the maximum skill of the operator and takes the longest time in the preliminary adjustment of the densitometer. It can be done with satisfactory accuracy only if a special rotating table is available at the densitometer.

If high accuracy of dimension measurements is required then the slit width and scanning speed ought to be as low as possible. The first factor limits the optical density of the neutron radiographs which can be scanned, as high-density radiographs cannot be scanned with narrow slits. Low scanning speed gives a relatively long measuring time. If, e.g. the fuel-to-clad gaps and the pellet diameter are to be measured on a single scan at the same high accuracy, then the measuring time is unnecessarily long, as it takes many times longer to scan the image of a pellet than of a gap. This difficulty could be avoided if, during the scanning process, the scanning speed could be changed so as to scan the gaps at a relatively low speed and the pellet at high speed, without coming out of the length scale of the entire scan. Unfortunately, none of the commercially available microdensitometers are designed for this possibility.

Le plus grand avantage du microdensitomètre à balayage est son objectivité de mesure. La trace donnée par le densitomètre ne dépend pas du jugement subjectif de l'utilisateur comme est le cas avec le microscope à projection. Cependant, la précision des résultats dépend de l'ajustement de l'instrument fait avant avoir été utilisé. Ceci dépend de la dextérité de l'utilisateur qui doit:

- 1) Faire le meilleur choix de la longueur et la largeur de la fente de balayage.
- 2) Ajuster de manière précise le parallélisme de la fente de balayage avec l'axe de crayon mesuré.
- 3) Choisir la meilleure sensibilité du densitomètre.
- 4) Choisir la vitesse du balayage et du papier de l'enregistreur.

L'ajustement du parallélisme exige la plus grande adresse de l'utilisateur et le plus de temps dans les ajustements préliminaires du densitomètre. On ne peut obtenir une précision satisfaisante que si le densitomètre est équipé avec une table tournante spéciale.

Si une grande précision des mesures dimensionnelles est exigée, la largeur de la fente et la vitesse du balayage doivent être aussi basse que possible. La densité optique du radiogramme est limitée par le premier facteur puisque les radiogrammes de grande densité ne peuvent pas être balayés avec une fente mince. Une vitesse du balayage relativement petite donne des temps de mesure relativement longs. Si, par exemple, le jeu entre combustible et la gaine et le diamètre de la pastille doivent être mesurés pendant une seule trace avec la même haute précision, alors le temps de mesure est plus long que nécessaire car il faut beaucoup plus de temps pour balayer l'image de la pastille que pour balayer celle du jeu. Ce problème pourrait être évité si, pendant le procédé de balayage, la vitesse pourrait être changé afin de balayer le jeu avec une vitesse relativement basse et de balayer la pastille à grande vitesse, tout en conservant la même échelle de longueur

pendant le processus de balayage. Malheureusement, aucun des microdensitomètres disponibles sur le marché n'est

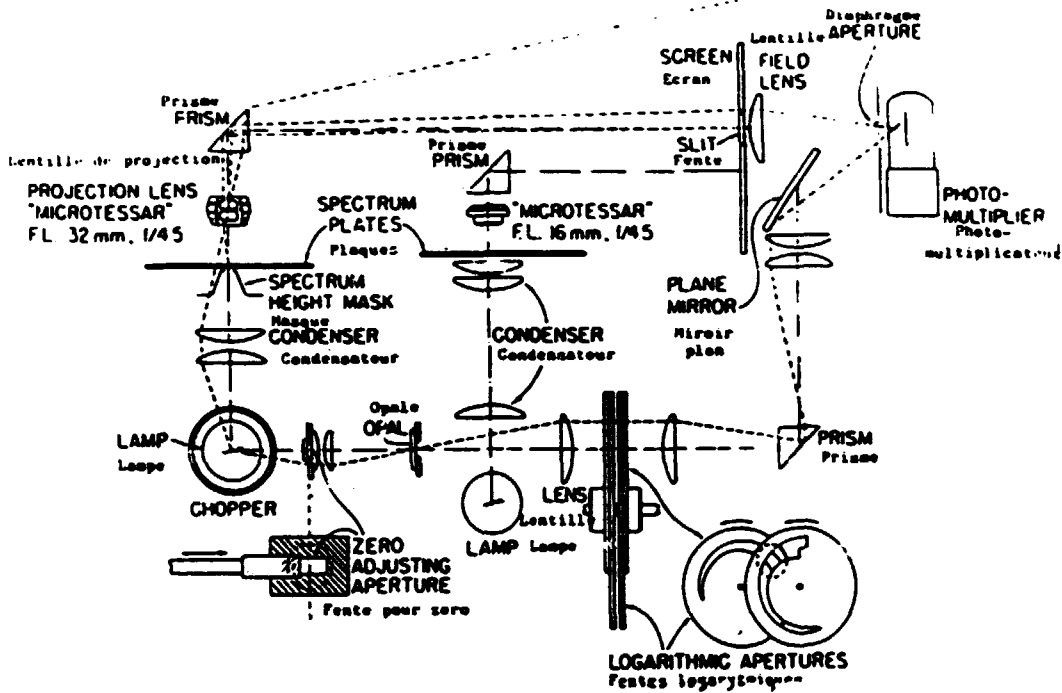


Fig. 9. Optical system of a double beam scanning microdensitometer.

Fig. 9. System optique d'un microdensitomètre à balayage double.

Fig. 9 gives a schematic diagram of the optical system of a double beam scanning microdensitometer, whereas fig. 10 shows a microdensitometric scan taken from a neutron radiographs on which two 300 μm fuel-to-clad gaps can be seen (neutron radiograph of the CFP taken on a single-coated X-ray film).

9. CONCLUSIONS

As mentioned in 6 above a special test program of the Euratom Neutron Radiography Working Group is now under way. Following its completion conclusions will be drawn on the best methods and instruments to be used for accurately measuring the dimensions of nuclear fuel components from neutron radiographs.

La fig. 9 montre le principe schématique d'un microdensitomètre à balayage double tandis que sur la fig. 10 on peut voir une trace densitométrique d'un neutronogramme contenant deux jeux entre combustible et gaine de 300 μm (neutronogramme de la CCC pris sur un film argentique monocouche).

8. CONCLUSIONS

Le programme spécial d'essais de la GTN (que nous avons cité au sixième paragraphe) est maintenant en marche. Des conclusions seront tirées sur les meilleurs méthodes et instruments nécessaires pour mesurer de manière exacte les dimensions des composants de combustible nucléaires par la neutronographie.

This program will also provide information about the proper choice and use of beam purity and sensitivity indicators.

Ce programme nous donnera les indications nécessaires sur le choix propre des indicateurs de pureté de faisceau et qualité d'image et de leur utilisation.

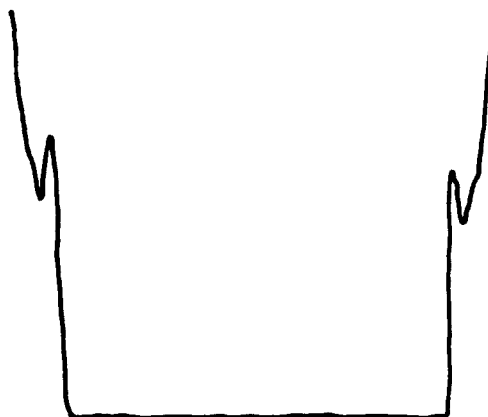


Fig. 10. Microdensitometric scan of a CFP.

Fig. 10. Trace densitométrique d'un jeu de 300 μm .

9. REFERENCES

1. Domanus J.C. Neutron radiographic findings in light water reactor fuel. Rise National Laboratory, Metallurgy Department, June 1979.
2. ASTM E 545-75. Standard method for determining image quality in thermal neutron radiographic testing.
3. Domanus J.C. Accuracy of dimension measurements from neutron radiographs of nuclear fuel pins. Rise-M-1850. 26.03.. 75. Presented also as paper 3L8 at the Eight World Conference on Nondestructive Testing, Cannes. 6-11.09.1976.
4. Domanus J.C. Revised test program for testing of the CFP-E1; ASTM (revised) BPI and SI and BPI-F. Rise Report B-512. Rise National Laboratory, Metallurgy Department, August 1981.

2318

Risø - M -

<p>Title and author(s)</p> <p>Euratom work on standard defects and dimensional measurements in neutron radiography of nuclear fuel elements.</p> <p>Travaux Euratome sur défauts étalons et mesures dimensionnelles dans la neutronographie des combustibles nucléaires.</p> <p>Paper accepted for presentation at the "Journées Nationales sur les Essais Non Destructifs" of the COFREND, Paris, 26-28.01.1982.</p> <p>J.C. Domanus</p>	<p>Date</p> <p>October 1981</p>
<p>16 pages + tables + 10 illustrations</p>	<p>Department or group</p> <p>Metallurgy</p>
<p>Abstract</p> <p>In 1979 a working group on neutron radiography was formed at Euratom. The purpose of this group is the standardization of neutron radiographic methods in the field of nuclear fuel. First priority was given to the development of image quality indicators and standard objects for the determination of accuracy of dimensional measurements from neutron radiographs. For that purpose beam purity and sensitivity indicators as well as a calibration fuel pin were designed and fabricated at Risø. All the Euratom neutron radiography centers have received the above items for comparative neutron radiography. The measuring results obtained, using various measuring apparatus, will form the basis to formulate conclusions about the best measuring methods and instruments to be used in that field.</p> <p>En 1979 une groupe de travail sur la neutronographie fut formé au sein d'Euratome. Le but de cette groupe est la standardisation des méthodes de la neutronographie des combustibles nucléaires. Les problèmes de la plus grande priorité sont les indicateurs de qualité d'image et objets standard pour la détermination de la précision des mesures dimensionnelles sur les neutronogrammes. A ce but les indicateur de pureté de faisceau et indicateurs de sensibilité aussi qu'un crayon combustible standard ont été développées et fabriquées a Risø. Toutes les centres d'Euratome ont reçu les indicateurs et le crayon standard pour faire les neutronogrammes et ensuite entrecomparer les résultats. La comparaison des résultats des mesures effectuées avec des différents appareils de mesure permettront de formuler des conclusions sur les meilleures méthodes et appareillage de mesure.</p> <p>Available on request from Risø Library, Risø National Laboratory (Risø Bibliotek), Forsøgsanlæg Risø), DK-4000 Roskilde, Denmark Telephone: (03) 37 12 12, ext. 2262. Telex: 43116</p>	<p>Group's own registration number(s)</p> <p>Copies to</p>