



EFMMIN 2011
Marseille - France
16-20 mai 2011

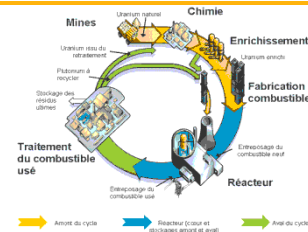


Caractéristiques générales des mesures nucléaires non destructives

Abdallah Lyoussi
CEA/DEN/CAD/DER



Le cycle du combustible nucléaire...



Il s'agit de l'ensemble des opérations contribuant à la production du combustible et à sa gestion une fois qu'il est irradié, sorti du réacteur puis retraité.

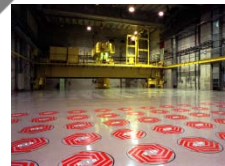
Amont

- ✓ Extraction
- ✓ Conversion
- ✓ Enrichissement
- ✓ Fabrication



Réacteur

- ✓ Combustion



Aval

- ✓ Retraitement
- ✓ Démantèlement
- ✓ Gestion Déchets



Le cycle du combustible du nucléaire



© CEA

Stockage



MAVL compactés



HAVL vitrifiés

Entreposage



FMA-VC

Déchets ultimes AM PF

Usine de Traitement

Entreposage



Uranium de retraitement

Mines

Uranium Naturel

Concentration Conversion

Enrichissement

Uranium Appauvri

Plutonium

Fabrication combustibles MOX

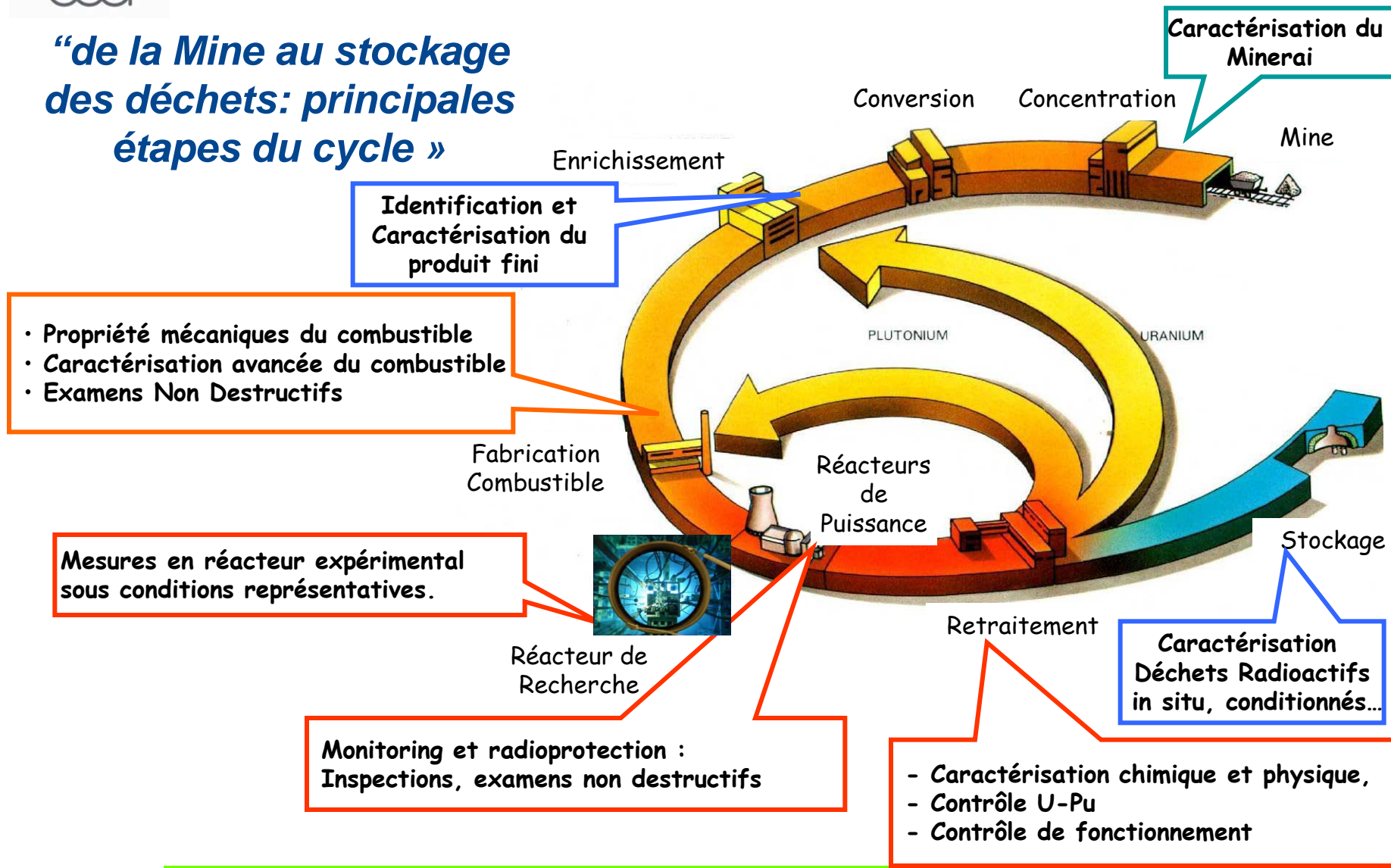
Fabrication combustibles UOx

Combustible utilisé

Réacteur

MOX usé

«de la Mine au stockage des déchets: principales étapes du cycle »



- **Mesure non destructive :**
 - Analyse Non Destructive**
 - Contrôle Non Destructif (CND)**
 - Examen Non Destructif (END) : non nucléaire**
 - Non Destructive Assay ou Analysis (NDA)**
 - Non Destructive Test (NDT)**



Mesure n'altérant pas les propriétés physico-chimiques de l'objet à caractériser vis-à-vis de son utilisation ultérieure

- ⇒ Dépend de l'utilisation prévue pour l'objet et pas uniquement du principe de la mesure
- ⇒ Dépend du mode opératoire retenu (ex : spectrométrie γ sur objet ou sur échantillon préparé)

Quelques définitions

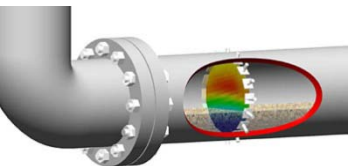
- Mesure non intrusive :

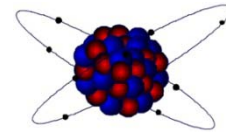
Mesure ne **nécessitant pas d'altérer**, même de façon temporaire, **l'intégrité de l'objet** à caractériser et **n'affectant pas son usage lors du mesurage** (pas d'ouverture d'un colis à mesurer, pas de piquage sur des tubulures, pas de perte de charge au mesurage d'une pression...)



⇒ Une mesure peut être intrusive et non destructive :

- Mesure de l'activité alpha sur écoulement : mise en place d'un pot de passage + sonde (AmPu)
- Spectrométrie γ sur prélèvement d'échantillon
- Endoscopie





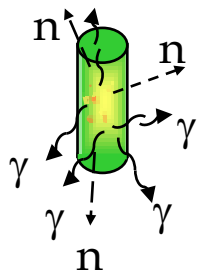
- Mesure nucléaire :

Méthode de mesure reposant sur des **phénomènes liés au noyau** (désintégration, désexcitation, interaction).

Plus généralement : mesure mettant en œuvre des particules énergétiques (α , β , photons X ou γ , neutrons, protons...)

- Mesure passive :

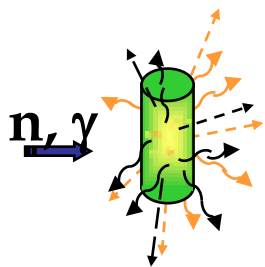
utilisation de signaux de mesure consécutifs à des **désintégrations radioactives spontanées** à l'intérieur de l'objet à caractériser



⇒ Rayonnements γ accompagnant une désintégration, neutrons de fission spontanée, neutrons consécutifs à une interaction avec une particule α issue d'une désintégration (réaction (α , n)), chaleur produite par les désintégrations.

- Mesure active :

utilisation de signaux de mesure obtenus à la suite de l'utilisation **d'une source stimulante de rayonnements externe**.



⇒ Rayonnements de la source transmis ou réfléchis, neutrons de fission induite, rayonnements γ de capture neutronique.



LA MESURE DESTRUCTIVE



- Indépendant du principe de mesure

⇒ Appliqué également à des principes de mesure considérés comme non destructifs (spectrométrie γ sur échantillon après séparation par exemple)

- Destruction de ce qui est mesuré (vis-à-vis de l'utilisation prévue)

⇒ Analyse sur échantillons ou expertise a posteriori

⇒ Toujours intrusif

⇒ Génération de déchets et effluents

- Possibilité de préparation pour optimisation de la mesure

⇒ Préparation physique de l'échantillon (échantillon mince, géométrie spécifique, dépôt sur substrat...),

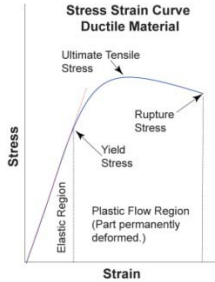
⇒ Préparation chimique (chimie séparative, mise en solution...)



ClipartOf.com/6701

- Contrôles de fabrication ou de conformité

⇒ Épreuves (tests de ductilité, de résistance à la compression, à l'étirement, tests de fonctionnement...)



- Analyse chimique

⇒ Recherche de la composition d'un échantillon : le plus souvent accompagnée d'étapes de séparation (chromatographie, électrolyse)

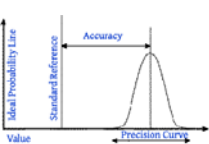
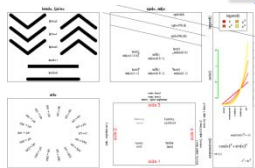
- méthodes chimiques (gravimétrie, titrage)
- méthodes électrochimiques (potentiométrie, conductimétrie)
- méthodes thermiques (thermogravimétrie)
- méthodes optiques (spectroscopie d'émission et d'absorption, diffraction X, fluorescence X)
- méthodes radiochimiques (spectrométrie α , γ , scintillation liquide, activation neutronique en réacteur)
- méthodes magnétiques (RMN)
- spectrométrie de masse (ICP-MS, TOF-MS)
- microscopie, microsonde (microscope électronique, sonde atomique)



Caractéristiques générales des analyses chimiques



- ⇒ Sur échantillon et dans certains cas sur très petites quantités (**représentativité ? ⇒ multiplication des échantillons ?**)
- ⇒ **Très large éventail de paramètres mesurables** : compositions moléculaire, élémentaire, isotopique, présence de groupes fonctionnels, degrés d'oxydation... ⇒ limité ≈ uniquement par les sensibilités en fonction des environnements.
- ⇒ **Potentiellement extrêmement précis** (spectrométrie de masse, activation neutronique en réacteur...)
- ⇒ **Générateur de déchets et effluents** (particulièrement problématique dans le domaine nucléaire : organiques + radioactifs)
- ⇒ **Consommateur de temps** (en fonction des étapes mises en œuvre : prélèvement, purification, mise en solution, extraction, préparation, analyse : à répéter plusieurs fois pour l'estimation des incertitudes)
- ⇒ **Analyse hors ligne**
- ⇒ Mesures potentiellement **onéreuses**



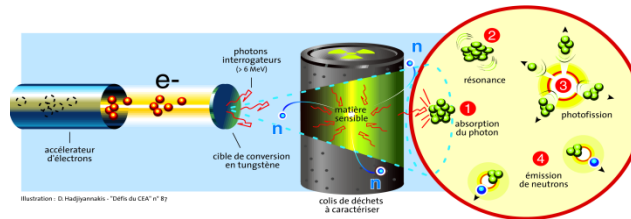
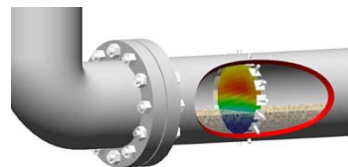


Illustration : D. Hadjipavlos - "Défis du CEA" n° 87



LA MESURE NON DESTRUCTIVE



Méthodes de mesure non destructive

cea

energie atomique • energies alternatives



- Nécessite un **signal de mesure** dont la **distance de propagation est compatible** avec l'objet ou la partie de l'objet à mesurer

⇒ Spectrométrie α possible en ligne sur solution mais pas sur colis de déchet

⇒ Mesure globale ou par balayage

- **Préservation de ce qui est mesuré**

⇒ Pas de génération de déchets et effluents : l'objet reprend la suite normale du procédé auquel il appartient

Mais : une action corrective peut être nécessaire à l'issue de la mesure : nettoyage, démagnétisation, délai d'attente suite à une activation

- Possibilité de **mesure in situ** voire en **cours de fonctionnement** d'un procédé

⇒ Mesure sur site par spectrométrie γ pour le démantèlement, mesure mobile (camion, hélicoptère...)

⇒ CNP (Contrôle Nucléaire de Procédé)

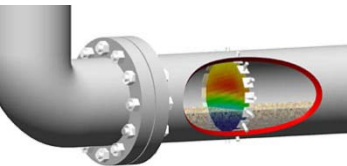
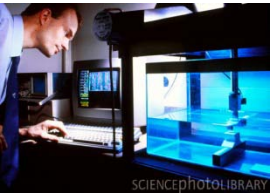
⇒ Mesure en ligne envisageable (sur conduite, sur convoyeur)

⇒ Limitation des contacts avec l'objet à caractériser



Examens Non Destructifs (non nucléaires)

⇒ Contrôle de fabrication, de qualité, de sécurité, de vieillissement dans toutes les industries



- Examens visuels, télévisuels, endoscopiques : recherche de défauts débouchants (fissure, déformations...)
- Méthodes magnétiques et électromagnétiques (magnétoscopie, courants de Foucault) : recherche de défauts internes
- Méthodes sonores et ultrasonores (émission acoustique, échographie) : recherche de défauts internes ou d'interface
- Méthodes thermographiques (thermographie infrarouge) : recherche de défauts francs sur pièces peu épaisses (décollements)
- Méthodes d'imagerie (radiographie X, Tomographie X, neutronographie) : recherche de défauts profonds + mesure de densité et d'épaisseur

Nucléaire & Non Destructif

L'objet avant et après la mesure est quasi-identique

Utilisation de rayonnements spécifiques

- ☑ A fort pouvoir de pénétration (grand parcours)
- ☑ Ayant peu d'interaction avec l'objet, sa matrice et son enveloppe
- ☑ Pouvant induire des réactions spécifiques conduisant à l'émission de particules pénétrantes détectables
- ☑ Détectables

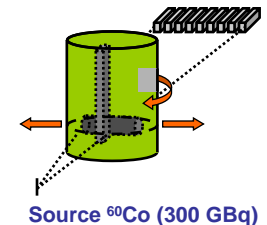
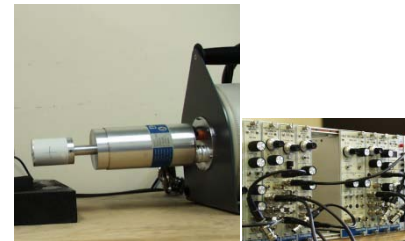
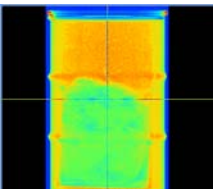
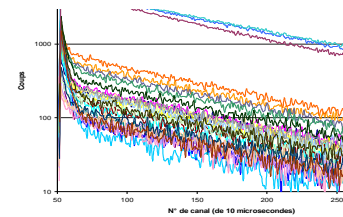


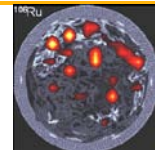
Fondements

- ⇒ Utilisation des rayonnements issus de réactions nucléaires (en interrogation ou détection) pour déterminer des grandeurs physiques (activité, débit de dose, composition isotopique, densité...) ou chimiques (rapport Pu/U...)
- En général, dans le domaine nucléaire, on intègre les mesures utilisant les photons X de par leur similitude de comportement avec les γ
- ⇒ Nécessité d'un parcours important afin de pouvoir entrer/sortir de l'objet à caractériser tout en conservant une probabilité d'interaction suffisante pour une détection (mode passif) ou une interrogation (mode actif)
- Particules neutres (photons et neutrons) le plus souvent
 - Particules α ou β pour certains cas particuliers : mesure en ligne sur des solutions (Pu, scintillation liquide) → mesure intrusive
 - Muons cosmiques pour la détection de noyaux lourds (recherche)
 - **Mais pas de neutrinos : pas de détecteurs adaptés**
- ⇒ À défaut, conversion de l'énergie du rayonnement :
- En chaleur : calorimétrie
 - En ions : mesure de la contamination surfacique par détection des ions créés par le freinage des α avant leur recombinaison (LRAD)

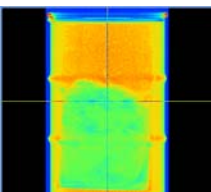
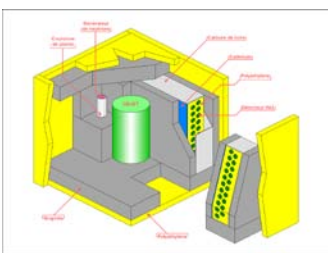
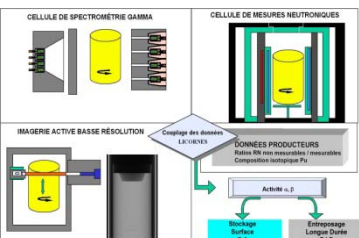
Caractéristiques générales des mesures nucléaires

- ⇒ Sur objet de « tout » volume (performances en fonction)
- ⇒ Le signal à mesurer doit « sortir » de l'objet ⇒ choix de la méthode de mesure en fonction de l'objet (interaction rayonnement/matière)
- ⇒ Mesure globale ou par balayage, mais incertitude supplémentaire due à des effets de matrice et de localisation non maîtrisés
- ⇒ Pas de déchets ni effluents (sauf matériel de mesure éventuellement si intrusif)
- ⇒ En général, pas de préparation nécessaire
- ⇒ Possibilité d'analyse en ligne
- ⇒ Mesure potentiellement onéreuse

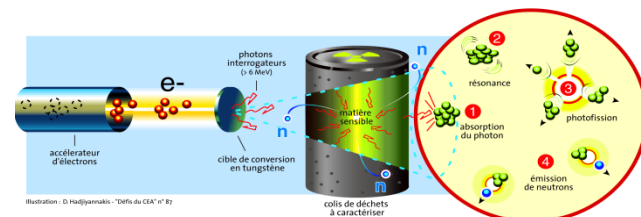




⇒ Essentiellement dans le domaine nucléaire



- Mesure de débit de dose ou de dose intégrée (γ , neutrons)
- Mesure des émissions γ (comptage global, spectrométrie)
- Mesure des émissions neutroniques (comptage global, comptage des coïncidences et des multiplicités),
- Interrogation neutronique et mesure des neutrons émis (neutrons prompts et neutrons retardés de fission induite)
- Interrogation neutronique et mesure des γ émis (activation neutronique, mesure des γ de capture, de diffusion inélastique)
- Interrogation photonique et mesure des neutrons émis (neutrons retardés)
- Interrogation photonique et mesure des γ émis (photoactivation)
- Imagerie (radiographie, tomographie, neutronographie)
- γ -densitométrie (mono ou multi énergies)
- Calorimétrie
- mesures X (K-edge, fluorescence X)



⇒ **Domaine médical**

- Imagerie (radiographie, tomographie, scanner, RMN)

⇒ **Mesures dans l'environnement**

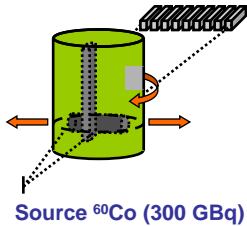
- Spectrométrie γ
- Spectrométrie β
- Fluorescence X

⇒ **Industrie non nucléaire**

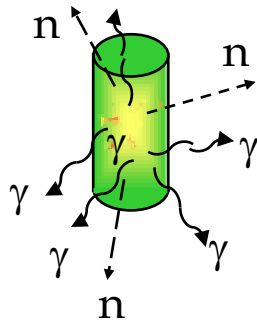
- Imagerie (radiographie, gammagraphie, tomographie, neutronographie → END)
- Densitométrie γ (mesure de débit de charbon)
- Interrogation neutronique et mesure des γ émis : NAA (analyseur de cru cimentier, de charbon, de nickel)

⇒ **Sécurité civile**

- Dosimétrie γ , neutrons (dosimétrie portable, portiques voyageurs, transports)
- Imagerie (radiographie → contrôles portuaires, aéroports)
- Interrogation neutronique et mesure des γ émis (activation, rayonnements de capture et de diffusion inélastique → contrôle des bagages pour drogues et explosifs, déminage)



Deux types de mesures

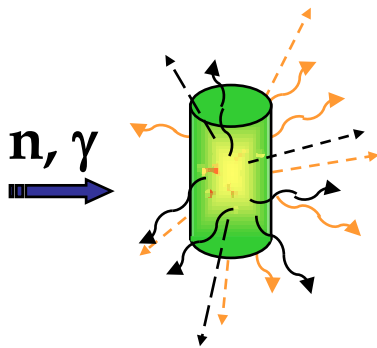


- Les mesures passives

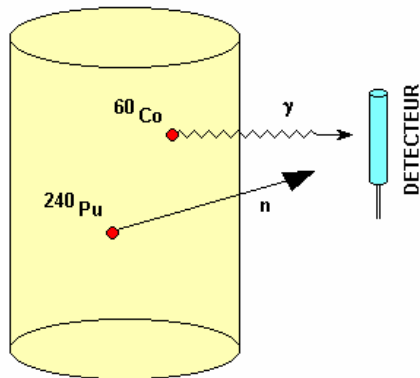
- photoniques : débit de dose, spectrométrie gamma, tomographie d'émission gamma
- neutroniques : comptage total, comptage des coïncidences et des multiplicités neutroniques

- Les mesures actives

- imagerie par transmission photonique ou neutronique
- interrogation neutronique \Rightarrow neutrons prompts et retardés de fission, rayonnements gamma par réactions $(n, n'\gamma)$, (n, γ) et activation neutronique (n, p) , (n, α) ...
- interrogation photonique \Rightarrow neutrons et rayonnements gamma retardés de photofission, rayonnements gamma d'activation photonique

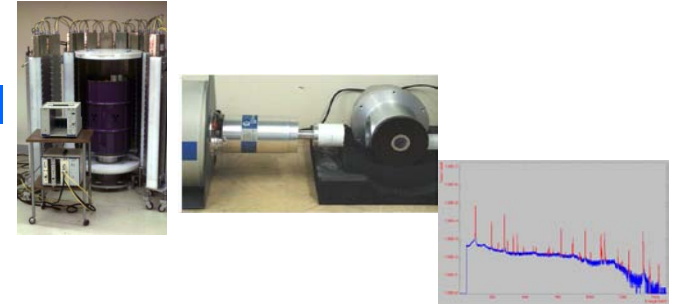


- Mesure passive
- ⇒ Détection des γ issus des désintégrations radioactives pour des analyses qualitatives (présence/absence de radioactivité dans l'environnement \Rightarrow hauteur de remplissage, engorgement, ...) ou quantitatives (dose, activité...)



MODE PASSIF

- Comptage global
- Spectrométrie γ



- ⇒ Détection des neutrons issus des fissions spontanées ou des réactions (α, n) pour des analyses quantitatives (masse Pu, activité Cm, activité α ...)

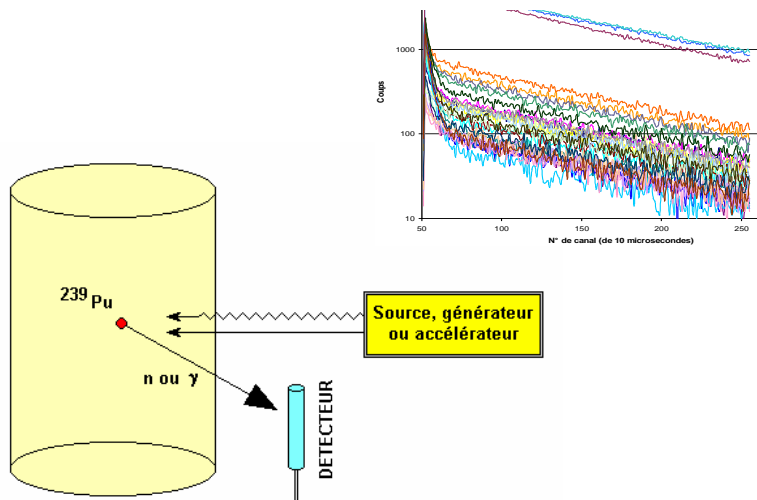
- Comptage global
- Comptage des coïncidences neutroniques
- Comptage des multiplicités neutroniques

Méthodes de mesure nucléaire non destructive

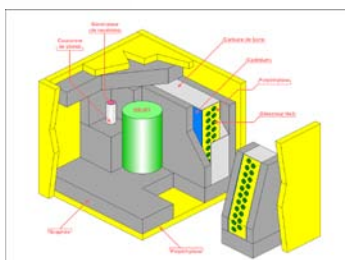
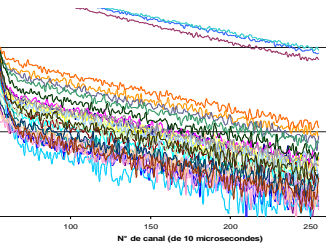
Mesure active : interrogation neutronique

⇒ Détection des neutrons de fission induite (INA) pour des analyses quantitatives (masse fissile, masses U/Pu, activité α ...)

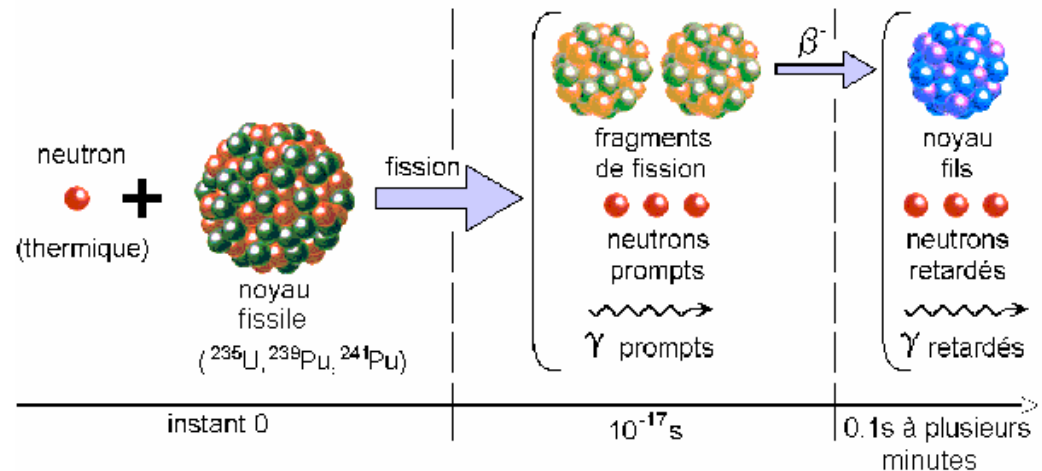
- Détection des neutrons prompts et/ou retardés



MODE ACTIF



PRINCIPE DE LA MESURE NEUTRONIQUE ACTIVE



	énergie moyenne	
- neutrons prompts :	2 MeV	2 à 3 par fission
- neutrons retardés :	500 KeV	$0,6 \cdot 10^{-2}$ à $1,6 \cdot 10^{-2}$ par fission
- γ retardés :	1 MeV	5 à 7 par fission

Méthodes de mesure nucléaire non destructive

- Mesure active : interrogation neutronique
- ⇒ Détection des γ émis consécutivement aux différentes réactions pour des analyses qualitatives (identification isotopique) ou quantitatives (analyse élémentaire ou isotopique, mesure des isotopes β purs ou β vie longue)

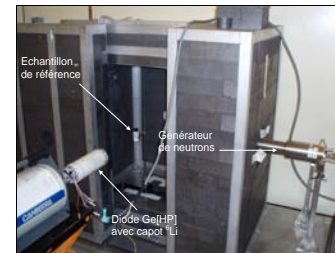
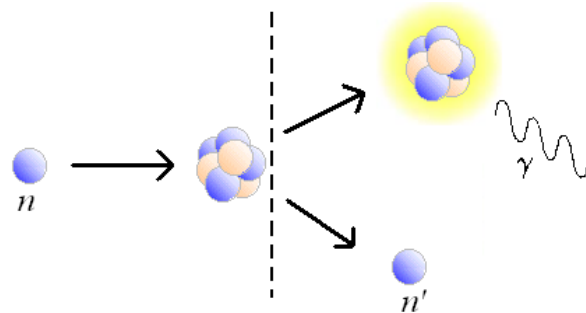
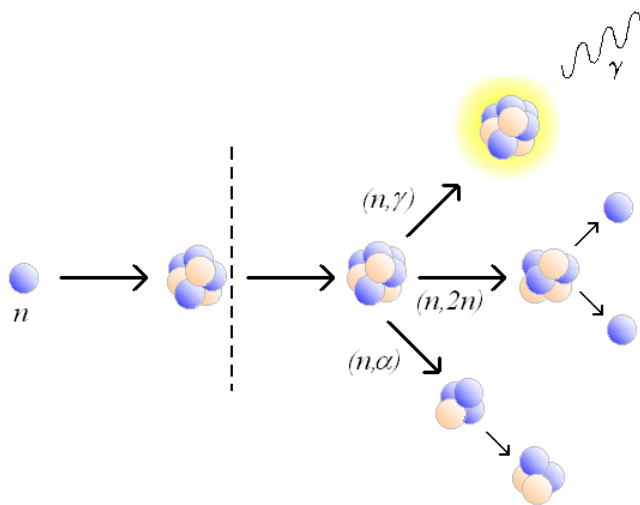
NAA : Neutron Activation Analysis

FNAA : Fast Neutron Activation Analysis

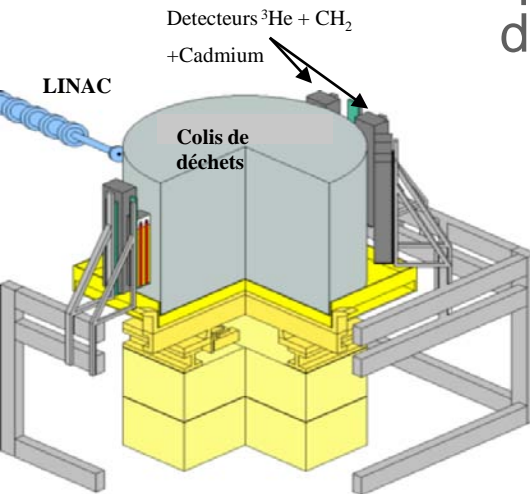
PGNAA : Prompt Gamma Neutron Activation Analysis

PFTNAA : Pulsed Fast and Thermal Neutron Activation Analysis

- Activation neutronique
- rayonnements de capture
- Diffusion inélastique



- Mesure active : interrogation photonique IPA
- ⇒ Détection des neutrons de fission pour des analyses quantitatives (mesure des éléments lourds dans des colis de grand volume bétonnés ...)



- Mesure des neutrons retardés
- Mesure des neutrons prompts (difficile à exploiter compte tenu des photoneutrons produits)
- Possibilité de double interrogation (neutrons+photons) ⇒ détection simultanée des neutrons prompts de fission neutronique et retardés de photofission
- Possibilité de mesure en tomographie de photofission pour localiser les éléments lourds dans l'objet

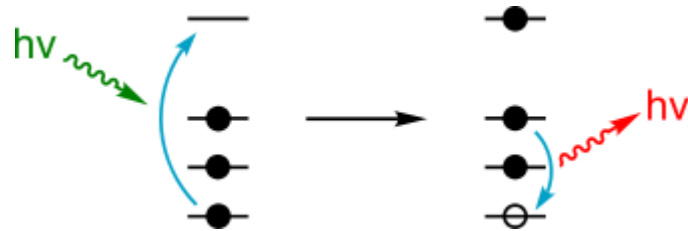
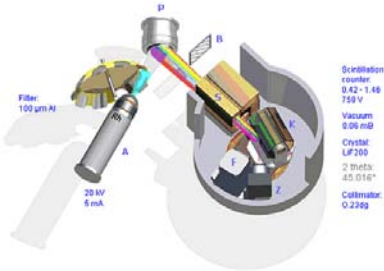
- ⇒ Détection des γ de photoactivation



- Mesure des γ de désintégration des produits d'activation
- Mesure des γ prompts de réaction difficile à exploiter compte tenu du flash γ interrogateur

Mesure des actinides par fluorescence X

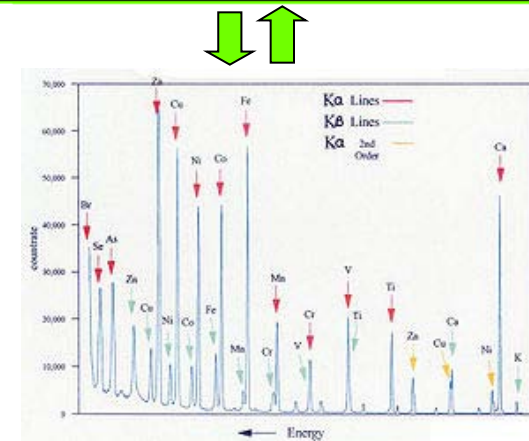
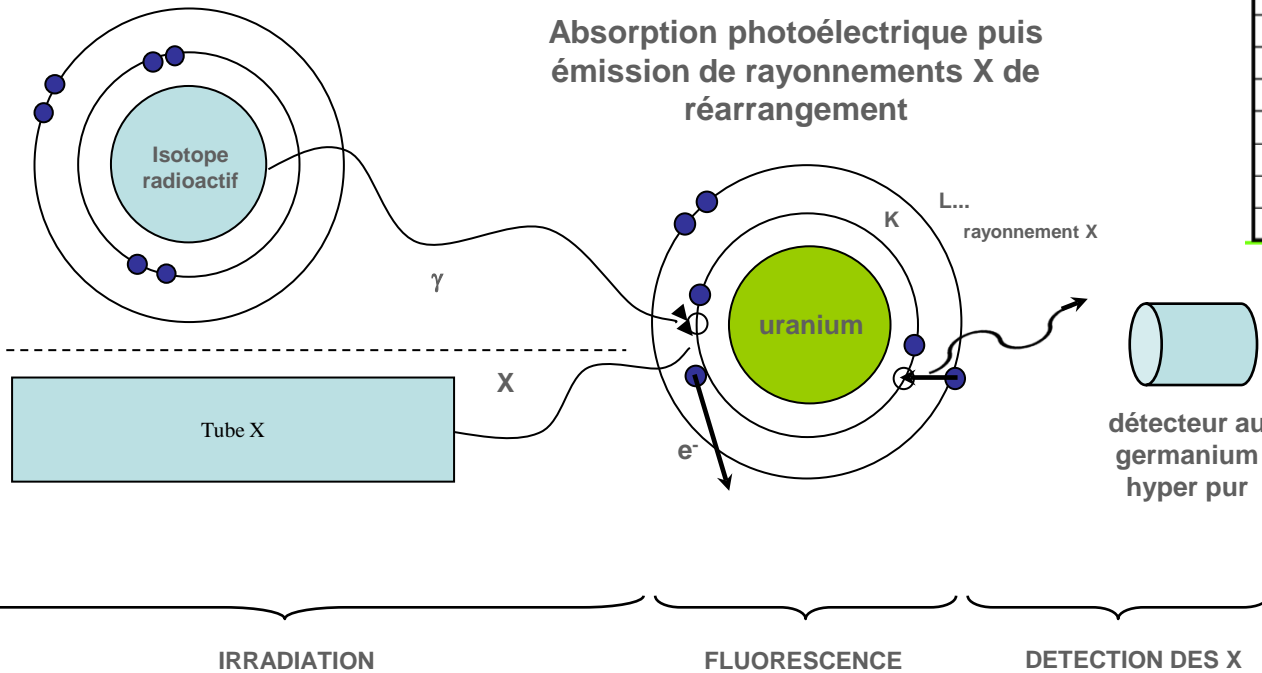
Principe physique de la mesure



Caractéristiques des éléments mesurés

Lignes	Uranium		Plutonium	
	E_x (keV)	I_x rel (%)	E_x (keV)	I_x rel (%)
K α 1	98,4	100	103,8	100
K α 2	94,7	62	99,6	63
K β 1	111,3	22	117,3	22
K β 2	114,5	12	120,6	13
K β 3	110,4	12	116,3	12
L α 1	13,6	100	14,3	100
L α 2	13,4	10	14,1	10
L β 1	17,2	50	18,3	50
L β 2	16,4	20	17,3	20
L β 3	17,5	1-6	18,5	1-6
L β 4	16,6	3-5	17,6	3-5
L γ 1	20,2	1-10	21,4	1-10
L γ 2	11,6	1-3	12,1	1-3

Absorption photoélectrique puis émission de rayonnements X de réarrangement



Mesure par fluorescence X

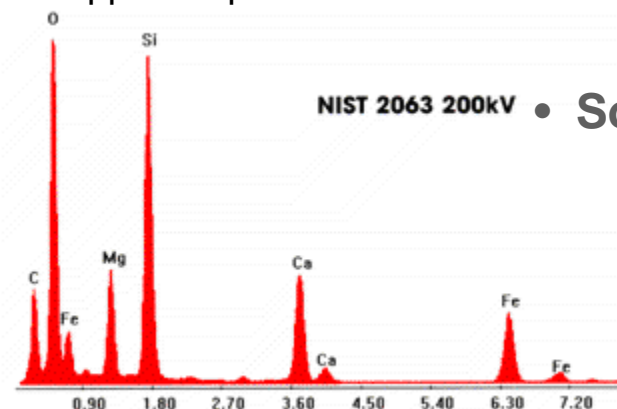


Caractéristiques de la méthode de mesure

- **Méthode élémentaire (depuis Z=8 (voire 4) à Z=94)**
 - ✓ Pas de distinction entre isotopes
 - ✓ Mesure des isotopes stables et radioactifs
- **Énergie des rayonnements faible**
 - ✓ Augmente avec Z (de même que le rendement de fluorescence)
 - ✓ De 0,1 keV (${}_4\text{Be}$) à 150 keV (${}_{103}\text{Lr}$)
 - ✓ Rayonnement assez peu pénétrant
 - ⇒ Difficile à mettre en œuvre sur des objets volumineux et/ou hétérogènes
 - ⇒ Nécessité de conditionnements « légers » voire d'adaptation (mesure de la concentration Pu sur solution transitant dans un flux dérivé par fluorescence X raies L → fenêtré en nitrure de bore : mesure intrusive en ligne)



Appareils portables EDAX



• Source interrogatrice

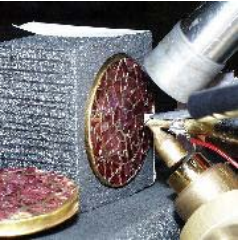
- ✓ Source γ isotopique : E_γ discrètes, période radioactive, radioprotection permanente
- ✓ Générateur de rayons X : spectre d'énergie, fiabilité, émission à volonté

Mesure des actinides par fluorescence X

- **Autres sources d'excitation**

- ✓ Protons : méthode PIXE (Proton Induced X ray Emission)
72 éléments mesurables entre Na et U de 0,1 à 1000 ppm
- ✓ Électrons : microsonde électronique (de Castaing)
Souvent associée à un microscope électronique
- ✓ Autofluorescence

Fluorescence provoquée par la radioactivité présente dans l'objet



Applications nucléaires

- **Mesure de fuites Pu en pied de colonne pulsée**
 - ✓ Fluorescence X raies L (générateur X)
 - ✓ En ligne sur circuit dérivé avec fenêtre en nitrure de bore
 - ⇒ LD \approx 1 mg/l en 5 minutes
- **Mesure d'enrichissement uranium sur solution**
 - ✓ Fluorescence X raies K (source ^{57}Co) pour U total
 - ✓ Spectrométrie γ (raie à 185,7 keV) pour ^{235}U
 - ⇒ \approx 1 % sur enrichissement entre 8 et 20 g/l U
- **Mesure de rapport Pu/U de pastilles MOx (PANDA)**



Le dispositif PANDA Plutonium Americium Non Destructive Assay



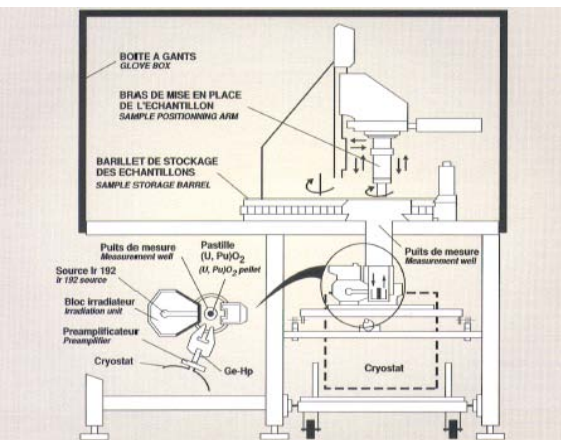
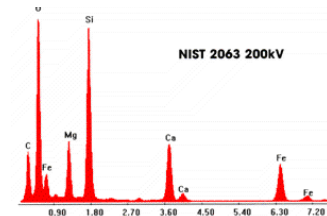
- Mesure « en ligne » de pastilles MOX à leur fabrication
- Passeur d'échantillons automatique à 70 positions
- Méthode de référence à Melox (mesure par échantillonnage)

Détermination du ratio Pu/U
par γ fluorescence X (PANDA)

- Méthode de caractérisation élémentaire
- Excitation par source de ^{137}Cs (500 GBq)
- Détection des raies X K par spectro γ
- Mesure ^{241}Am et Cf [Pu] par spectro γ passive

Ecart-type relatif $\cong 0,2\%$ pour Pu et $2,5\%$
pour Am en 20 min de mesure

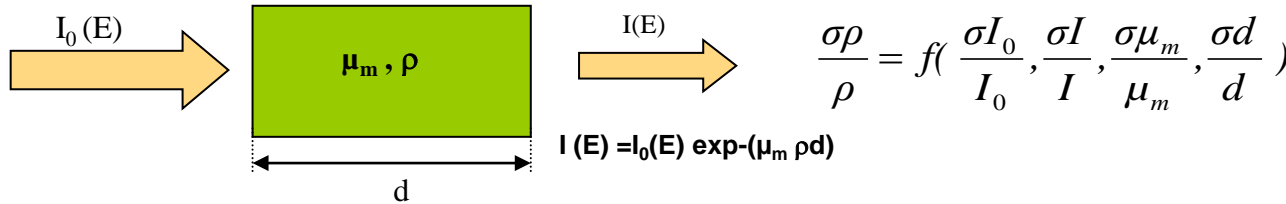
Ecart-type relatif (1σ) (durée mesure : 10 à 20 minutes selon l'enrichissement)			
RNR		PWR	
14 % < Pu < 18 %		2,8 % < Pu < 7,7 %	
Pour Pu	Pour Am	Pour Pu	Pour Am
0,20 %	2,40 %	0,22 %	2,60 %



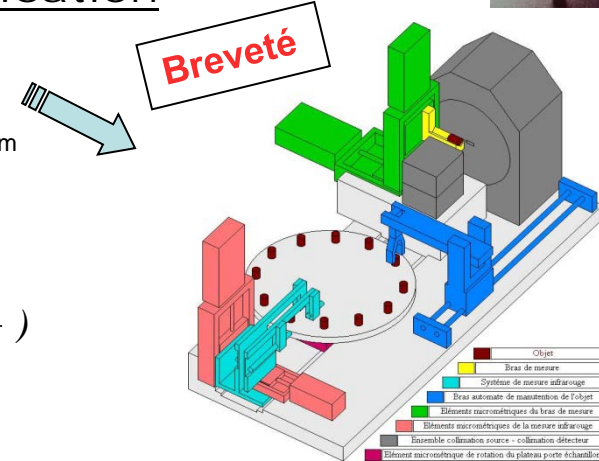
Mesure précise (1‰) de la masse volumique de pastilles MOX à leur fabrication



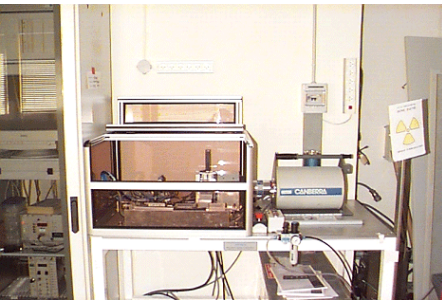
Transmission γ en ligne droite couplée à micrométrie



ADAMS
Active Density Analysis and Measurement System



Les aspects dimensionnels (**d**) et la composition physico chimique (**μ_m**) sont **primordiaux** !



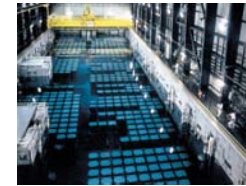
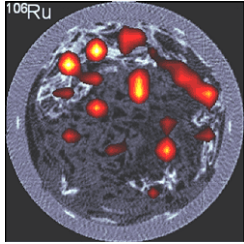
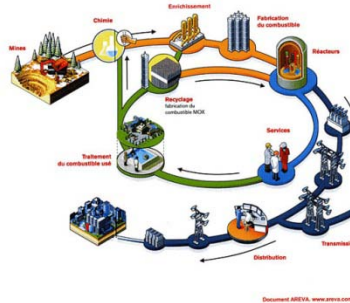
Mesure globale de la masse volumique

Précision atteinte (4 ‰) pour une durée de comptage de 2 min avec une source de ^{133}Ba de 100 mCi

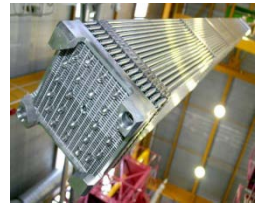
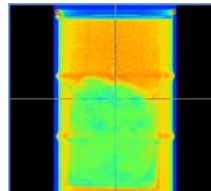
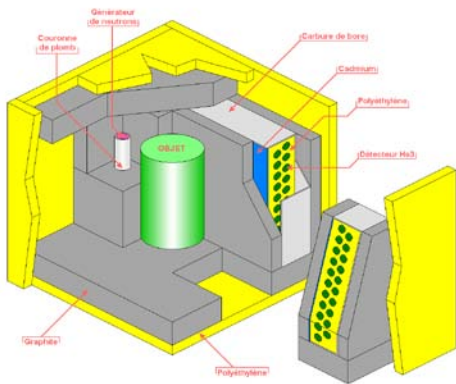
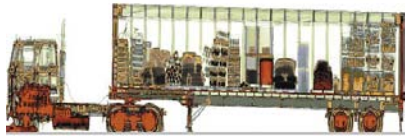
Mesure du gradient axial de la masse volumique

Précision atteinte (\approx 1 ‰) pour une tranche éclairée de 1 mm de hauteur

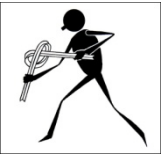
Tomodensitométrie précise et automatique



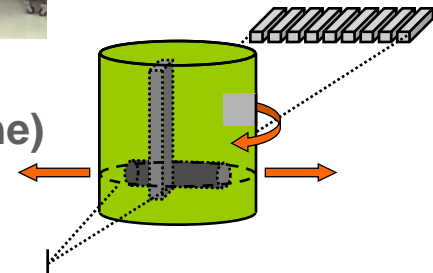
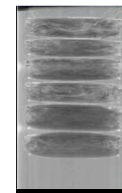
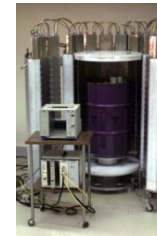
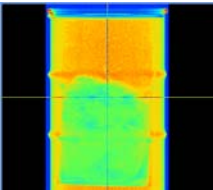
CONCLUSION



Critères de choix entre destructif et non destructif



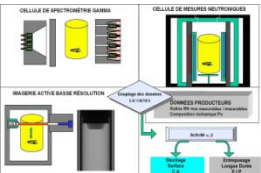
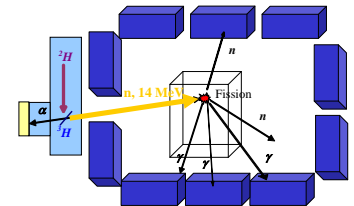
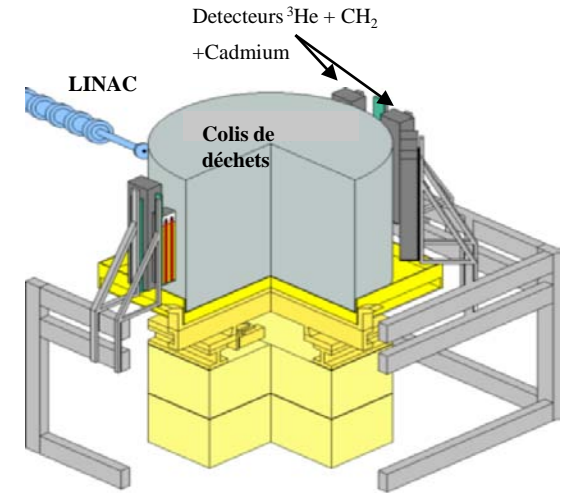
- Existence d'une méthode non destructive applicable à l'objet à caractériser
- Homogénéité de l'objet \Rightarrow représentativité d'une prise d'échantillons
- Accessibilité à l'objet (risque de contamination / irradiation)
- Performances / Précision recherchée
- Fréquence des mesures
- Existence d'un laboratoire d'analyse à proximité
- Temps disponible pour le contrôle (en ligne ou hors ligne)
- Critères économiques

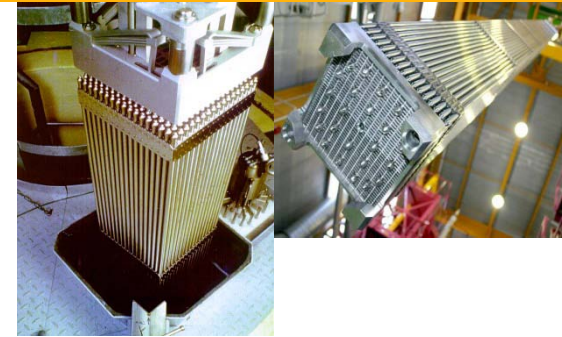


Apport des mesures non destructives



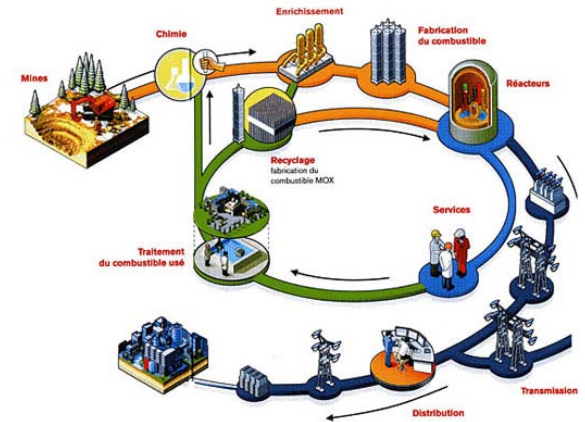
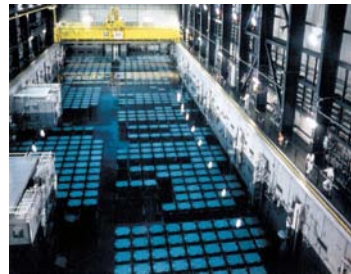
- Pas de nécessité de prise d'échantillons → minimisation des contacts avec l'objet
- Mesure globale
- Possibilité de mesure in situ
- Possibilité de mesure en ligne
- Pas de génération d'effluents ou déchets supplémentaires
- Possibilité de reprise des mesures
- Combinaison de mesures possible sur un même objet





Le programme EFMMIN2

Mesure et instrumentation pour le cycle du combustible



Document AREVA. www.areva.com

DOCUMENTATION/BIBLIOGRAPHIE

Mesure nucléaire non destructive dans le cycle du combustible. Partie 1

par **Abdallah LYOUSSI**

*Chercheur au Commissariat à l'Énergie Atomique
Ingénieur en Génie atomique, Docteur en Physique nucléaire
Habilité à Diriger les Recherches en Physique
Expert Senior CEA en mesures nucléaires non destructives*

1. Mesure nucléaire non destructive : besoin et motivation	BN 3 405	— 2
1.1 Cycle du combustible nucléaire		— 2
1.2 Mesures nucléaires non destructives		— 3
1.2.1 Méthodes non destructives passives.....		— 3
1.2.2 Méthodes non destructives actives		— 3
1.3 Commentaires.....		— 3
2. Principales méthodes de mesure nucléaire non destructive passive		— 4
2.1 Spectrométrie gamma		— 4
2.1.1 Principe physique		— 4
2.1.2 Détecteurs		— 5
2.1.3 Electronique associée.....		— 6
2.1.4 Acquisition et traitement du signal		— 6
2.1.5 Domaines d'application		— 7
2.1.6 Principales limitations		— 7
2.2 Mesure neutronique passive		— 8
2.2.1 Besoins et motivations.....		— 8
2.2.2 Détecteurs de neutrons		— 8
2.2.3 Comptage neutronique total		— 10
2.2.4 Comptage des coïncidences neutroniques		— 12
2.2.5 Comptage des multiplicités neutroniques.....		— 14
2.2.6 Commentaires.....		— 15

Mesure nucléaire non destructive dans le cycle du combustible. Partie 2

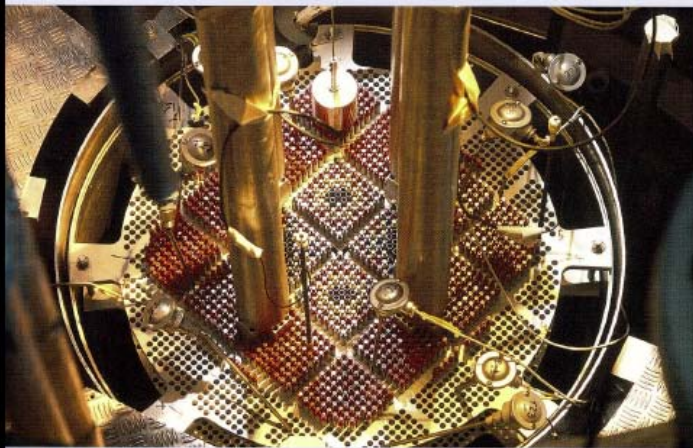
par **Abdallah LYOUSSI**

*Chercheur au Commissariat à l'Énergie Atomique
Ingénieur en Génie atomique, Docteur en Physique nucléaire
Habilitation à Diriger les Recherches en Physique
Expert Senior CEA en mesures nucléaires non destructives*

1. Principales méthodes de mesure nucléaire non destructive active	BN 3 406	— 2
1.1 Mesure neutronique active		— 2
1.1.1 Besoins et motivations.....		— 2
1.1.2 Principe physique		— 2
1.1.3 Mesure des neutrons retardés suite à une irradiation continue.....		— 2
1.1.4 Mesure des neutrons prompts (méthode DDT)		— 5
1.1.5 Mesure des neutrons prompts et retardés (méthode SPHINCS).....		— 7
1.1.6 Interrogation neutronique couplée à la spectrométrie gamma.....		— 9
1.2 Mesure par photofissions induites.....		— 10
1.2.1 Besoins et motivations.....		— 10
1.2.2 Principe physique		— 10
2. Conclusion		— 14

COLLECTION
GÉNIE
ATOMIQUE

Détection de rayonnements et instrumentation nucléaire



Abdallah LYOUSSI

instn
INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES
ET TECHNIQUES NUCLÉAIRES

EDP
SCIENCES

COLLECTION
GÉNIE
ATOMIQUE

Détection de rayonnements et instrumentation nucléaire

Abdallah LYOUSSI

La détection et la caractérisation d'un matériau dit radioactif ou nucléaire est possible via ses émissions de rayonnements caractéristiques, spontanés ou provoqués.

Une utilisation à grande échelle de méthodes de détection et de mesure de rayonnements nucléaires étant restée limitée jusqu'aux années soixante, ce n'est qu'à partir de cette époque, correspondant à la montée en puissance de l'industrie nucléaire, que les principales nations concernées ont établi des procédures de contrôle, de surveillance et de suivi des matières radioactives, aussi bien que des installations nucléaires ; la détection, la mesure et l'instrumentation nucléaire connaissent alors leur première impulsion, sans cesser d'être depuis améliorées et adaptées. Aujourd'hui, la science de l'instrumentation et de la mesure nucléaire est une branche à part entière du paysage scientifique, technique et technologique.

Dans cet ouvrage, traitant de la détection et de la mesure de rayonnements nucléaires, thématique pluridisciplinaire, nous présentons les principes physiques de fonctionnement, les performances, les limitations et les domaines d'utilisation des principaux détecteurs dédiés que sont notamment les détecteurs à remplissage gazeux, les scintillateurs et les semi-conducteurs. Un rappel des mécanismes d'interaction des différents types de rayonnements avec la matière et de leurs principes physiques de base est donné préalablement. Des éléments fondamentaux et indispensables de statistiques appliquées à la mesure de rayonnements sont présentés. Des notions essentielles sur les chaînes électroniques d'acquisition et de traitement sont aussi exposées. Y figurent ensuite des exemples d'application et d'utilisation des détecteurs de rayonnements pour les besoins de méthodes de mesure nucléaire ou encore de contrôle-commande de réacteurs nucléaires de puissance de type REP. Enfin, chaque chapitre de cet ouvrage s'achève par une série d'exercices.

Ce livre est conçu à l'attention des élèves-ingénieurs de Génie Atomique. Il peut aussi être destiné aux étudiants en dernière année d'école d'ingénieurs ou en deuxième année de master ainsi qu'aux ingénieurs et physiciens concernés par l'instrumentation et la mesure nucléaire.

Abdallah Lyoussi est ingénieur en Génie Atomique et docteur ès sciences en physique nucléaire. Il est chercheur, expert Senior en Mesures et Instrumentation Nucléaires au CEA Cadarache à la Direction de l'énergie nucléaire ; Département d'Études des Réacteurs. Il est Professeur INSTN responsable du cours de détection et d'instrumentation nucléaire. Il est l'auteur de plusieurs publications scientifiques et techniques dans le domaine de la mesure et de la détection de rayonnement.

Ce livre fait partie de la collection d'ouvrages supports au Cours de Génie Atomique enseigné à L'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires (INSTN).

www.edpsciences.org



9 782759 800186

39 €

ISBN : 978-2-7598-0018-6

EDP
SCIENCES

Programme

Lundi 16 mai 2011	
8h00 - 8h45	Accueil
8h45 - 10h30	Cérémonie d'ouverture : Introduction, Organisation EFMMIN2, C. Reynard. Direction du CEA/Cadarache Direction de l'INSTN Direction Générale du CNESTEN Direction de l'Energie Nucléaire du CEA Présidence de la Faculté des Sciences de Rabat Présidence de l'Université de Provence, Présidence du PRES Aix-Marseille Université
10h30 - 11h00	Pause Café - Séance posters
11h00 - 12h00	Université de Provence/Filière Instrumentation : L'offre de formation en instrumentation et mesure (25 min). Filière Instrumentation/DIR, M. Carette. L'offre de formation INSTN en sciences et techniques nucléaires (25 min). INSTN/DIR, D. Rippert.
12h00 - 13h00	Option électronucléaire et formations de compétences au Maroc. (25 min) Faculté des Sciences de Rabat, A. Sabir. L'Uranium, Combustible Nucléaire : Quelles Opportunités pour le Maroc (25 min) CNESTEN, T. Marfak.
13h00 - 14h30	Déjeuner
14h30 - 15h30	La mesure et l'instrumentation nucléaire dans le cycle du combustible. CEA/DEN/DIR, L. Martin-Deidier.
15h30 - 16h30	La mesure, le contrôle et la caractérisation dans les usines du cycle du combustible. AREVA/CANBERRA, H. Toubon.
16h30 - 17h00	Pause café - Séance posters
17h00 - 18h00	Valorisation d'uranium et mesure radiologique dans l'industrie du phosphate : Office Chérifien des Phosphates, Maroc, H. Mazouz.
18h00 - 18h30	Présentation des participants et du programme EFMMIN2.
20h00 - 23h00	Dîner d'ouverture

Applications au cycle du combustible nucléaire

Mardi 17 mai 2011	
8h30 - 9h30	Panorama de mesures nucléaires non destructives pour le contrôle et la caractérisation dans le cycle du combustible. CEA/DEN/CAD/DER, A. Lyoussi.
9h30 - 10h00	Pause café - Séance posters
10h00 - 12h30	Les mesures nucléaires non destructives passives : CEA/DEN et CEA/DRT Les mesures par spectrométrie gamma (30 min). CEA/DEN/CAD/DTN, P.G. Allineï. La mesure par gamma caméra (30 min). CEA/DRT/LIST/DCSI, M. Gmar. Les mesures neutroniques passives (30 min). CEA/DEN/CAD/DTN, Ch. Passard.
12h30 - 14h00	Déjeuner
14h00 - 17h00	Les mesures nucléaires non destructives actives : interrogation neutronique et photonique : CEA/DEN et CEA/DRT La mesure neutronique active (60 min). CEA/DEN/CAD/DTN, Ch. Passard. L'interrogation photonique (45 min). CEA/DRT/LIST/DCSI, F. Carret. L'optimisation des électroniques d'acquisition et de traitement (45 min). CEA/DRT/LIST/DCSI, S. Normand.
17h00 - 17h30	Pause café - Séance posters
Mercredi 18 mai 2011	
9h00 - 9h30	La caractérisation de colis déchets radioactifs. CEA/DEN/CAD.
10h00 - 16h00	Visite du Centre d'Études CEA/Cadarache
Jeudi 19 mai 2011	
8h30 - 10h30	La neutronographie appliquée au contrôle d'éléments combustibles (45 min). CNESTEN, A. Ouardi. L'imagerie/tomographie pour le contrôle et la caractérisation (45 min). CEA/DEN/CAD/DTN, J.L. Pettier.
10h30 - 10h45	Pause café - Séance posters

10h45 - 13h00	Le couplage de mesures nucléaires : Exemple d'application à la caractérisation de colis de déchets radioactifs bitumineux. CEA/DEN/CAD/DTN, B. Perot.
13h00 - 14h00	Déjeuner
14h00 - 15h30	Étude et caractérisation de combustible : Connaître le comportement d'un crayon de combustible expérimental sous flux grâce à son instrumentation en ligne (45 min). CEA/DEN/CAD/DEC, M. Phelip. Principes de spectrométrie de masse et application à la mesure de relâchement de gaz de fission (45 min). UP/LCP, Y. Zerega.
15h30 - 16h00	Pause café - Séance posters
16h00 - 17h15	Étude et caractérisation de combustible : CEA/DEN/CAD/DEC. Les analyses radiochimiques (30 min). CEA/DEN/CAD/DEC, M. Bertaux. Les caractérisations microstructurales (30 min). CEA/DEN/CAD/DEC, I. Aubrun.
Vendredi 20 mai 2011	
8h30 - 10h30	Outils de modélisation et de simulation dédiés aux mesures dans le cycle du combustible : la modélisation Monte-Carlo (60 min) UP, J. André (60 min) CEA/DEN/CAD/DTN, F. Jallu.
10h30 - 11h00	Pause café - Séance posters
11h00 - 13h00	Outils de modélisation et de simulation dédiés aux mesures de rayonnements dans le cycle du combustible : études de cas. CEA/DEN/CAD/DTN, F. Jallu.
13h00 - 14h30	Déjeuner
14h00 - 16h00	Table ronde et évaluation.
16h00 - 16h30	Conclusions et perspectives.

www.efmmin.com
mail : contact@efmmin.com



EFMMIN 2011
Marseille - France
16-20 mai 2011



Merci de votre
attention

