



FICHES TECHNIQUES

MÉMO CONCERNANT
LA MESURE DE CONTAMINATION
RADIOACTIVE SURFACIQUE

— MAI 2023 —



FICHES TECHNIQUES DE LA

MÉMO CONCERNANT LA MESURE DE CONTAMINATION RADIOACTIVE SURFACIQUE



TABLE DES MATIÈRES

- 1 - **Objet de la fiche** 3
- 2 - **Définition de la contamination radioactive** 3
- 3 - **Pourquoi doit-on détecter la contamination ?** 3
- 4 - **Les valeurs réglementaires** 4
- 5 - **Etapas relatives à la mesure de contamination**..... 5
- 6 - **Comment détecte-t-on la contamination ?** 6
- 7 - **Quel type d'appareil ou de détecteur utiliser ?** 11
- 8 - **Annexe : Comment interpréter les résultats des mesures ?** 13



Société Française de Radioprotection

FICHES TECHNIQUES DE LA

MÉMO CONCERNANT LA MESURE DE CONTAMINATION RADIOACTIVE SURFACIQUE



1 - OBJET DE LA FICHE

L'objet de cette fiche est de décrire la méthodologie permettant de réaliser une mesure de contamination surfacique associée à la gestion de la propreté radiologique dans les milieux nucléaire, industriel et médical. Ce document pédagogique est destiné aux techniciens des services prévention des risques, aux conseillers en Radioprotection, aux personnes travaillant dans les organismes vérificateurs et aux personnes ayant reçues une formation en radioprotection.

2 - DÉFINITION DE LA CONTAMINATION RADIOACTIVE

La contamination radioactive peut être définie de la manière suivante :

« Contamination d'une matière, d'une surface, d'un milieu quelconque ou d'un individu par des substances radioactives. Dans le cas particulier du corps humain, cette contamination radioactive comprend à la fois la contamination externe cutanée et la contamination interne par quelque voie que ce soit »¹.

La **contamination** d'une matière ou d'une surface dans un contexte opérationnel peut être considérée de deux manières :

⌘ **Contamination de surface fixée**

Contamination qui adhère à une surface d'une façon telle qu'elle ne peut être déplacée dans des conditions normales de travail.

⌘ **Contamination de surface non fixée**

Contamination qui peut être déplacée dans des conditions normales de travail.

3 - POURQUOI DOIT ON DÉTECTER LA CONTAMINATION ?

La contamination d'un milieu par une substance radioactive peut générer une exposition des personnes à des rayonnements radioactifs du type α , β et γ non perceptibles par les sens d'un être humain. Il est donc important de détecter ces particules afin de s'en protéger (exposition interne et externe).

Une évaluation du niveau de contamination des surfaces des matériaux permet, le cas échéant, de mettre en place des moyens de retrait de cette contamination surfacique et/ou des dispositions de protection collective ou individuelle.

Ces mesures s'effectuent dans le cadre des activités suivantes :

- ⌘ Les vérifications des sources, des lieux de travail et des véhicules instituées en application du Code du Travail² ;
- ⌘ Délimitation en zones des lieux de travail mettant en œuvre des sources non scellées ;

¹ Lexique de l'Autorité de Sûreté Nucléaire - <https://www.asn.fr/lexique/>.

² Arrêté du 23 octobre 2020 relatif aux mesurages réalisés dans le cadre de l'évaluation des risques et aux vérifications de l'efficacité des moyens de prévention mis en place dans le cadre de la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements ionisants.

FICHES TECHNIQUES DE LA

MÉMO CONCERNANT LA MESURE DE CONTAMINATION RADIOACTIVE SURFACIQUE



- ⌘ Dossier de déclassement de locaux en cas de cessation définitive d'emploi de sources radioactives ou de décontamination de ceux-ci ;
- ⌘ Incident d'exploitation qui a conduit à une dispersion de produit radioactif sous forme aérosol, liquide ou solide ;
- ⌘ Evaluation d'une dosimétrie extrémités dans le cadre d'opérations pouvant engendrer une telle exposition ;
- ⌘ Mesurage dans le cadre de transports de substances radioactives ;
- ⌘ Contrôle d'absence de contamination des objets ou d'intervenants.

Cette fiche ne traite que de la mise en œuvre d'appareils portatifs de contrôle de contamination surfacique.

4 - LES VALEURS RÉGLEMENTAIRES

Seule la réglementation relative au transport fixe des valeurs limites à partir desquelles il est considéré qu'il y a une contamination de colis transportés. Ces valeurs sont fixées dans l'ADR (Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route), elles ne sont valables que dans le cadre du transport par route, étendu aux autres modes de transport (rail, fleuve, mer, avion). Le paragraphe 2.2.7.1.2 de l'ADR précise ainsi que :

- ⌘ Par contamination, on entend la présence sur une surface de substances radioactives en quantité dépassant :
 - **0,4 Bq/cm² pour les émetteurs bêta et gamma** et les émetteurs **alpha de faible toxicité**.
 - **0,04 Bq/cm² pour tous les autres émetteurs alpha**.

Ces valeurs concernent les colis vides et doivent être multipliées par 10 pour les colis radioactifs. **Ces valeurs ne concernant pas les critères dédiés aux locaux.**

FICHES TECHNIQUES DE LA

MÉMO CONCERNANT LA MESURE DE CONTAMINATION RADIOACTIVE SURFACIQUE



5 - ÉTAPES RELATIVES À LA MESURE DE CONTAMINATION

Avant toute mesure de contamination, il convient d'en organiser les différentes étapes. Cette organisation se décline en trois temps :

1- La préparation

Cette phase consiste à définir l'objectif de la mesure, la nature de la contamination, le mode opératoire et la traçabilité associée. Le temps nécessaire à la préparation est proportionnel à l'ampleur de la campagne de mesure. Celui-ci peut être raccourci si l'activité est récurrente et répétitive mais l'appropriation du dossier par l'opérateur est une étape incontournable même dans le cadre de mesures récurrentes.

La phase de préparation peut se décliner sous la forme d'un questionnaire avec les éléments suivants :

- Ⓛ Quelle est la finalité de la mesure ?
- Ⓛ Quel est l'environnement de la mesure (Bruit de Fond, contrainte technique, organisationnelle, etc....) ?
- Ⓛ Quels sont les radionucléides présents ou connus par l'opérateur ?
- Ⓛ Quel est le type d'émetteur des radioéléments présents (ils peuvent être multiples) ?
- Ⓛ Quel est le niveau de détection ou seuil d'alarme à mettre en place ?
- Ⓛ Quelle est le type de contamination (fixée ou non fixée) ?
- Ⓛ L'évaluation de l'exposition de l'intervenant et des risques de l'activité
- Ⓛ Des rendements de l'appareil ou de la sonde par rapport aux sources de références...

Ce questionnement non exhaustif permet à l'opérateur d'identifier les actions, supports, les matériels adaptés à la situation de mesure et les risques associées à son activité.

2- La réalisation

Cette phase est consacrée à la réalisation de la mesure. L'intervenant prend en compte l'ensemble des contraintes identifiées en phase préparation. Il met en place les modalités suivantes :

a- Contrôle de l'appareil de mesure avec les points suivants :

- Ⓛ Date de fin de validité de la vérification périodique de l'étalonnage de l'appareil ;
- Ⓛ État global de l'appareil (contrôle visuel) ;
- Ⓛ Alarmes sonores et visuelles lors de sa mise en service ;
- Ⓛ Mouvement propre du détecteur (affichage différent de 0) ;
- Ⓛ Alimentation électrique (sur secteur, piles ou batteries) ;
- Ⓛ Connexion électrique des différents sous-ensembles, en particulier les câbles reliant le module de détection pour les systèmes avec sondes à part. Certains moniteurs peuvent fonctionner sans alerte de défaut de comptage alors que la voie de mesure n'est pas connectée ;
- Ⓛ Lorsque le mode test est intégré à l'appareil, ou si celui-ci est aisément réalisable, un test avec une source de contrôle est conseillé (une bonne pratique étant d'en réaliser un aussi après utilisation).

FICHES TECHNIQUES DE LA



MÉMO CONCERNANT LA MESURE DE CONTAMINATION RADIOACTIVE SURFACIQUE

b- Réalisation d'un état des lieux

Cette phase permet d'identifier le lieu du contrôle, la configuration, la présence de contraintes (envisagées ou non en phase préparation) et l'environnement. L'objectif est de réaliser une évaluation du bruit de fond de l'environnement de la zone à contrôler dans le cas d'une mesure directe et indirecte de la contamination. Cette mesure de bruit de fond permet de valider la faisabilité de ces mesures de contamination dans leur environnement.

Afin d'assurer une évaluation correcte de la contamination, une analyse des conditions de réalisation de la mesure est nécessaire notamment dans le cas d'une mesure directe avec une sonde.

Il est essentiel d'archiver l'ensemble des cartographies, mesures et évaluations de la contamination dans un système d'archivage (papier ou informatique). Le retour d'expérience pourra être exploité dans le cas d'une autre activité. Les résultats des vérifications prévues sont consignés sous une forme susceptible d'en permettre la consultation pour une période d'au moins dix ans.

6 - COMMENT DÉTECTE-T-ON LA CONTAMINATION ?

L'objectif de la **mesure** est de quantifier le niveau d'activité radiologique présente sur une surface. Elle est réalisée selon deux méthodes :

- ⓘ **Mesure Directe** : permet une mesure simultanée de la contamination fixée et non fixée (dite labile) sur un support.

La mesure directe permet d'évaluer une valeur de contamination surfacique et de la comparer avec les limites réglementaires ou les valeurs prescriptives (internes ou réglementaires) de contamination **fixée et non fixée**.

La mesure directe est complexe à mettre en œuvre car elle nécessite une valeur de bruit de fond faible et stable. Elle est également fonction des rayonnements que l'on doit détecter.

Méthodologie :

L'évaluation directe est la plus utilisée car elle donne une " image immédiate " du niveau de contamination. Elle offre l'avantage de localiser la contamination et, de ce fait, facilite la décontamination. Elle sera utilisée en particulier lorsque le critère de contrôle porte sur la contamination globale (fixée et non fixée). Elle peut prendre, dans un premier temps, la forme **d'un dépistage**. La phase de dépistage est ensuite suivie par une mesure plus précise qui permettra de mieux caractériser le niveau de contamination.

Les appareils utilisés sont des sondes alpha/bêta de différentes surfaces 15 à 300 cm² qui couvrent l'ensemble des cas d'usage. Pour les applications particulières (sols, voirie, ...), il existe des appareils ayant une surface sensible de 500 à 5 000 cm².

Il est préconisé lors d'une détection avec une sonde de grande surface, d'utiliser une sonde de petite dimension. Cela permet de mieux localiser la zone surtout si la contamination décelée est très ponctuelle.

FICHES TECHNIQUES DE LA

MÉMO CONCERNANT LA MESURE DE CONTAMINATION RADIOACTIVE SURFACIQUE



Certains fournisseurs proposent des appareils de mesures de la contamination surfacique innovants. Leur principe de mesure permet de s'affranchir de la perturbation gamma. Ces sondes peuvent mesurer 40 Bq sous 100 cm² dans une ambiance radiologique de 1 µGy/h. Ces appareils ont intégré un capteur de distance et un capteur de vitesse qui permettent à l'opérateur de respecter la distance et la vitesse de contrôle. Ces appareils amènent une sécurisation des mesures directes dans des ambiances avec un affichage de l'activité minimale détectable en dynamique avec une intégration en temps réel de la variation bruit de fond. Il est à noter que ces appareils permettent également de réaliser des mesures indirectes avec la gestion du bruit de fond.

Exemple de contaminamètres



FICHES TECHNIQUES DE LA



MÉMO CONCERNANT LA MESURE DE CONTAMINATION RADIOACTIVE SURFACIQUE

La distance entre le détecteur et la source doit être aussi petite que possible, de préférence inférieure à 5 mm. Selon l'état de surface, cette distance peut être augmentée afin de préserver le détecteur. Par précaution, en dehors de mesures alpha, il est conseillé de protéger la fenêtre sensible du détecteur à l'aide de film alimentaire de quelques μm d'épaisseur.

Tout en évitant le contact entre les composants de la fenêtre du détecteur et la surface à contrôler, parcourir cette surface en déplaçant le détecteur **très lentement**. Par exemple 5 cm/s : il faut qu'un point de contamination reste sous la sonde un temps équivalent à 2 fois la constante de temps de l'appareil. Cette constante est issue des paramètres intrinsèques de l'appareil.

Pour les appareils sans constante de temps et pour lesquels on prend le temps de comptage égal à 1s, le temps de réponse est difficile à évaluer et la vitesse théorique à respecter dépend de la longueur d'avancée de la sonde (La dimension doit être en adéquation au temps de mesure). Par exemple, un détecteur de 10 cm de côté avec une vitesse de passage de 5 cm/s correspond à un temps de mesure de la contamination ponctuelle sous le détecteur de 2 secondes. Il est important de suivre les évolutions de l'appareil et être attentif au passage au-dessus du seuil d'alarme (signal sonore ou lumineux).

Les surfaces à contrôler doivent être sèches, en particulier pour les mesures alpha (une légère humidité de la surface lors d'une mesure bêta est acceptable). De plus, il est conseillé que les hétérogénéités de planéité sous la sonde ne dépassent pas 5 mm.

Remarque :

- ⓘ Une couche d'eau d'environ 0,1 mm pour une mesure bêta et 0,01 mm pour une mesure alpha suffit dans la plupart des cas pour diminuer le signal d'un facteur 2.
- ⓘ Un dépistage gamma peut être utilisé si l'état de surface ne permet pas un dépistage bêta (surfaces mouillées ou défauts de planéité). Il ne sera alors pas possible de faire simplement une discrimination entre la contamination en profondeur et la contamination de surface.

Par exemple, ces sondes bêta ou « photons » permettent de détecter 800 Bq en équivalent ^{60}Co pour des bruits de fond pouvant aller jusqu'à quelques $\mu\text{Sv/h}$, et de l'ordre de la quarantaine de Bq en équivalent ^{241}Am .

Remarque : Pour les dépistages sur de petites surfaces, l'utilisation de sondes de 30 cm², voire 15 cm² est à privilégier.

- ⓘ **Mesure Indirecte par frottis** permet une mesure de la contamination non fixée (dite labile).

L'évaluation indirecte de la contamination de surface est généralement applicable lorsque les surfaces ne sont pas facilement accessibles en raison de leur emplacement ou de leur configuration, lorsque les mesures directes sont perturbées par le bruit de fond, ou lorsqu'aucune méthode de mesure directe n'est disponible avec un appareil portable (tritium, par exemple). Par ailleurs, la mesure indirecte ne permet pas d'évaluer la contamination fixée. Dans le cas d'une évaluation prescriptive d'une contamination de surface, il convient de respecter le critère de surface frottée (par exemple 300 cm²). Cette méthode est aussi mise en œuvre pour le contrôle d'étanchéité de source radioactive avec un critère à 200 Bq.

FICHES TECHNIQUES DE LA



MÉMO CONCERNANT LA MESURE DE CONTAMINATION RADIOACTIVE SURFACIQUE

Méthodologie :

À l'aide d'un papier filtre, d'un frottis ou d'un coton-tige (selon le choix de l'opérateur), un échantillon est prélevé à chacun des endroits indiqués sur le plan de l'aire de travail. Chaque échantillon doit être numéroté par emplacement.

Si la mesure indique une contamination, il faut localiser l'emplacement ou l'endroit contaminé et procéder à sa décontamination. Il est recommandé d'utiliser un support de frottis afin de réduire l'exposition extrémité et d'homogénéiser la pression sur toute la surface.

Selon la norme NF ISO 7503.2 paragraphe 8³, pour les essais par frottis, il convient de choisir un matériau de prélèvement adapté à ce type d'essai ainsi qu'à la surface à contrôler (papier-filtre pour les surfaces lisses ou textile de coton pour les surfaces rugueuses, par exemple). Il convient d'utiliser, de préférence, des filtres-papier circulaires ou un textile de coton circulaire en tant que matériau de prélèvement. Le polystyrène expansé (mousse de polystyrène) et les cotons tiges peuvent également faire office de matériau de prélèvement, selon le cas. En cas d'utilisation d'un agent mouillant, ce dernier doit être compatible avec la nature de la contamination à prélever, et en cas de comptage par scintillation liquide, il convient d'adapter le cocktail de scintillation à l'agent mouillant appliqué

Le prélèvement consiste à passer le frottis sur une surface préétablie (exemple : 100 cm²). Il faut exercer une pression uniforme et s'assurer que le frottis passe sur toute la superficie à contrôler. Pour faciliter la démarche, il est possible d'utiliser un gabarit de la surface identifiée afin d'uniformiser les prélèvements. Dans les cas où il est impossible d'effectuer le frottis sur une surface de référence, par exemple pour certaines pièces de petite dimension, prendre en note les dimensions de la surface échantillonnée et s'assurer d'utiliser le bon facteur de conversion.

Pour déterminer le facteur de prélèvement (partie de la contamination retirée lors du frottis), il faut effectuer deux frottis au même endroit. Si les deux résultats de la mesure de frottis sont analogues, le facteur de prélèvement sera égal à 0,1. Si le résultat du deuxième frottis est proche de la valeur du bruit de fond, le facteur de prélèvement sera égal à 1.

Dans le cas de présence d'humidité sur le frottis, il faut le laisser sécher pour éviter toute perte d'activité. Dans la mesure où le tampon utilisé comme frottis peut absorber la contamination, l'emploi d'un agent mouillant peut mener à sous-estimer la contamination alpha et la contamination bêta de faible énergie. Il est à noter qu'il existe des frottis spécifiques (par exemple minéralisables).

Ensuite il faut placer l'appareil de mesure dans un endroit à faible bruit de fond afin de contrôler les frottis et noter tous les résultats en adaptant le temps de mesure afin de satisfaire au critère de la limite de détection. La bonne pratique est d'identifier un lieu adapté pour la mise en œuvre de l'appareil et d'utiliser une boîte à frottis pour stocker l'ensemble des prélèvements.

Si les frottis sont contrôlés à l'aide d'un contaminamètre, la taille du frottis doit être inférieure ou égale à celle de la zone sensible du détecteur. Il convient de noter que selon la forme du matériau de frottis (plane comme le papier filtre ou arrondie comme le coton-tige), les résultats peuvent être différents.

³ Norme ISO 7503 - Mesurage de la radioactivité — Mesurage et évaluation de la contamination de surface

FICHES TECHNIQUES DE LA



MÉMO CONCERNANT LA MESURE DE CONTAMINATION RADIOACTIVE SURFACIQUE

Lorsque la détermination de la contamination non fixée par frottis s'avère peu pratique (rugosité du matériau, ...), la mesure directe permet de donner la valeur de la contamination de surface fixée et non fixée.

Le mode de dépistage indirect permet de déterminer le niveau de contamination non fixée sur une surface. Le principe consiste à utiliser des chiffonnettes dont la surface de frottement est d'environ 100 à 200 cm² en veillant à ce que celle-ci soit inférieure à la surface de la sonde.

L'objectif est de concentrer sur la surface de prélèvement la contamination non fixée qui sera retirée lors du passage de la chiffonnette. La surface frottée peut être supérieure à 2 000 cm² pour les objets de grandes dimensions (exemple les sols). Cependant, il est conseillé de limiter la surface frottée afin de ne pas dégrader le support (au maximum 2 m²) et le dépistage s'effectuera à l'aide de plusieurs chiffonnettes que l'on numérottera à l'instar de la méthode de prélèvement par frottis.

Comme pour la mesure indirecte, la surface de la chiffonnette doit de préférence être sèche. Dans le cas contraire, il est admis de faire sécher la chiffonnette ou de réaliser un dépistage des émetteurs bêta par détection gamma (cas des radioéléments ayant une émission gamma).

Remarque : la méthodologie des frottis tritium, les supports sont très fragiles, les surfaces doivent être absolument lisses.

Astuce : La surface de 2 000 cm² correspond à un carré de 45 x 45 cm, 45 cm représente approximativement la longueur d'un avant-bras (de l'extrémité des doigts au coude).

Les appareils utilisés sont des sondes alpha/bêta de différentes surfaces 15 à 300 cm² qui couvrent tous les cas d'usage de la mesure et du dépistage indirecte.

Dans la configuration de la mesure indirecte, la sonde (taille de 15 à 30 cm²) est souvent placée dans un dispositif spécifique blindé dit contrôleur ou passeur de frottis. Il permet de paramétrer un temps de comptage ou d'intégration qui permet d'accroître la précision de la mesure. Ces appareils permettent de détecter des niveaux de contamination faible avec une précision accrue.

Cependant il est préconisé de réaliser un premier contrôle avec un contaminamètre portable afin d'évaluer le niveau d'activité radiologique du frottis avant introduction dans un contrôleur de frottis. En cas de forte contamination (plusieurs centaines Bq), l'évaluation avec l'appareil portable est suffisante.



Attention, il faut veiller à ne pas contaminer les contrôleurs de frottis blindés car ils sont complexes à décontaminer et il y a un risque de dégrader les mesures suivantes.

FICHES TECHNIQUES DE LA

MÉMO CONCERNANT LA MESURE DE CONTAMINATION RADIOACTIVE SURFACIQUE



Exemple de contrôleurs « portables » de frottis



Dans le cas du dépistage indirect, la sonde devra être positionnée en face de la chiffonnette et à une distance inférieure à 5 mm.

Dans le cas d'une mesure sur le terrain, l'opérateur peut exploiter les sondes de petite surface (dépistage β avec une sonde de 15 cm² et dépistage α avec sonde 30 cm²), l'appareil balayera lentement la surface de la chiffonnette.

Dans le cas d'une mesure avec un contrôleur de chiffonnettes, la dimension de celle-ci doit être inférieure à la surface de la sonde (souvent de forme rectangulaire de 100 à 300 cm² de surface de détection).

7 - QUEL TYPE D'APPAREIL OU DE DÉTECTEUR UTILISER ?

La majeure partie des radioéléments rencontrés sur les installations médicales ou industrielles produisent plusieurs formes d'émission. Elle se caractérise par les formes suivantes :

- || Emission de 2 types de particules chargées :
 - Particule alpha α ;
 - Particule Béta β .
- || Emission de rayonnements électromagnétiques regroupés en de 2 catégories d'énergie :
 - Rayonnement gamma γ ;
 - Rayonnement X.

FICHES TECHNIQUES DE LA SFRFP

MÉMO CONCERNANT LA MESURE DE CONTAMINATION RADIOACTIVE SURFACIQUE



Afin de détecter ces émissions, plusieurs types de capteurs ou d'appareils sont à la disposition des opérateurs pour déterminer le niveau de contamination. Sans entrer dans les phénomènes physiques associés à ces capteurs, les principales technologies sont les suivantes :

- ⌘ Les détecteurs à gaz ;
- ⌘ Les détecteurs à scintillation ;
- ⌘ Les semi-conducteurs.

La structure et la constitution de ces capteurs ont été étudiées afin d'obtenir les meilleurs résultats quant à leur rendement lors de l'utilisation sur le terrain. Ces capteurs sont associés à des unités de traitement du signal.

Type de détecteur à privilégier en fonction du rayonnement à détecter

Rayonnements	Types de détecteur à privilégier
Alpha	Scintillateur au SZn(Ag)
Béta d'énergie > 900 keV	Scintillateur plastique
Béta d'énergie < 900 keV	Détecteur Geiger-Müller à fenêtre mince
Photon X ou Gamma	Scintillateur NaI

Exemple d'appareils portables associés avec différents types de détecteurs

Type	Exemple de gaz	Rayonnements	Exemple d'appareils
Compteur proportionnel	Argon/CO ²	α , β	CV 28 CABV 31
Geiger-Müller	Néon + halogènes (gaz auto-coupeur)	α , β , γ	Sonde AD 17 SONDE SBM2D FHZ 732
Scintillateur	Scintillateur SZn(Ag) Scintillateur plastique	α , β	SMIA SMIB COMO 170 (double scintillateur)

Remarque

Certaines sociétés proposent des sondes qui permettent des mesures avec des sondes ou contaminamètres alpha et béta tel que les détecteurs phoswich (SZn+Scintillateur plastique). Les résultats fournis par ces appareils peuvent être entachés d'erreurs. En effet, ces appareils présentent un taux de réjection alpha dans la fenêtre béta et inversement. En cas de doute, il est préférable de confirmer la mesure avec un appareil ou une sonde ayant la particularité de mesurer l'alpha seul ou le béta seul.

FICHES TECHNIQUES DE LA

MÉMO CONCERNANT LA MESURE DE CONTAMINATION RADIOACTIVE SURFACIQUE



8 - ANNEXE : COMMENT INTERPRÉTER LES RÉSULTATS DES MESURES ?

Afin d'évaluer la contamination surfacique, il est nécessaire de connaître la nature des radioéléments recherchés et les limites de fonctionnement des appareils. Celles-ci dépendent de plusieurs facteurs qu'il convient de déterminer avant de réaliser l'évaluation de la contamination. Ces contraintes auront potentiellement un impact sur le choix de la méthode et des matériels.

Pour bien appréhender ces phénomènes il faut tenir compte de la nature stochastique de la désintégration radioactive donc de l'émission de particules chargées et de rayonnement électromagnétiques, et de l'interaction rayonnement-matière. La loi de probabilité qui régit la distribution des mesures est assimilable à une loi Normale (ou de Gauss) si le nombre d'événements mesuré est suffisamment grand. Cette distribution de Gauss est caractérisée par une espérance (μ) et un écart-type (σ).

L'espérance est assimilée à la moyenne que l'on peut espérer si l'on répète l'expérience un grand nombre de fois. Il s'agit du centre de notre distribution Normale.

L'écart-type σ sur la distribution des résultats caractérise leur dispersion. Dans le cas d'une distribution Normale cela permet de quantifier la probabilité d'un mesurage, de se trouver proche de la valeur moyenne (cf figure 1).

Par exemple : Pour une valeur brute moyenne de contamination de 50 chocs/seconde (c/s) mesurée avec une sonde SBM2D. Si nous répétons la mesure de façon parfaitement identique 100 fois :

- 68 mesures seront comprises entre 43 c/s et 57 c/s (1 écart-type)
- 95 mesures seront comprises entre 36 c/s et 64 c/s (2 écart-types)

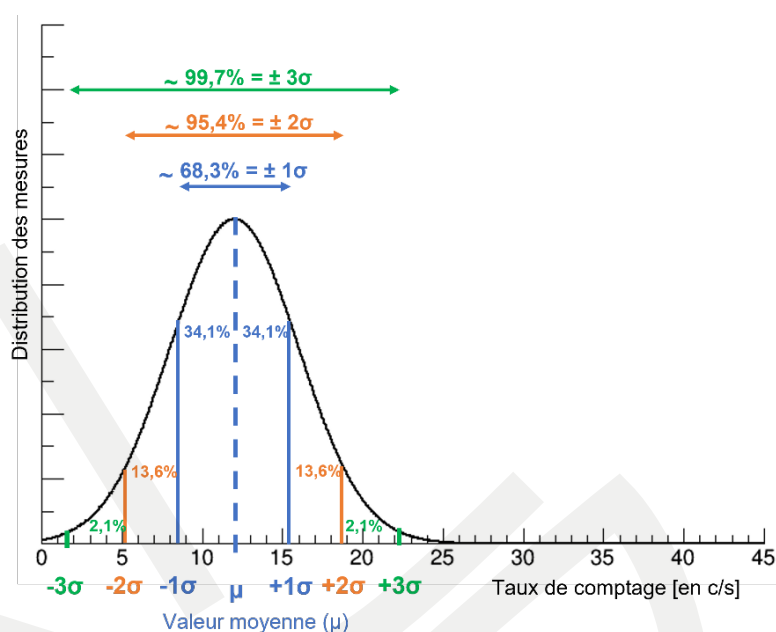


Figure 1

FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

MÉMO CONCERNANT LA MESURE DE CONTAMINATION RADIOACTIVE SURFACIQUE



Ces comportements nous permettent de déterminer des seuils de décision (SD), des limites de détection (LD) et des activités minimales détectables (AMD) qui nous aident à déterminer la validité des mesures réalisées.

Domaine de validité des mesures

Le domaine de validité des mesures est jalonné de plusieurs seuils/limites qu'il est bon de rappeler

- Le seuil de décision,
- La limite de détection,
- La saturation liée au temps mort de l'ensemble de détection.

Les mesures, en général bêta et gamma, sont perturbées par l'existence d'un bruit de fond (mouvement propre de l'électronique et ambiance radioactive). Il est donc légitime de se questionner sur une limite à partir de laquelle le niveau de bruit de fond et le temps de mesure utilisé permettent de déclarer l'absence ou la présence de contamination, puis, de donner une valeur associée à cette mesure.

Lors de la réalisation d'un contrôle la première question est donc : « Suis-je en présence d'une contamination avérée ou d'une simple fluctuation statistique du bruit de fond ? ». Cette limite peut être calculée et est appelée le Seuil de Décision (SD).

Le seuil de décision (SD) permet de décider, avec une probabilité d'erreur α , si des impulsions mesurées comprennent ou non des impulsions dues à la présence d'un échantillon radioactif. Ce seuil de décision calculé s'ajoute à la valeur moyenne du Bruit de fond. (cf figure 2).

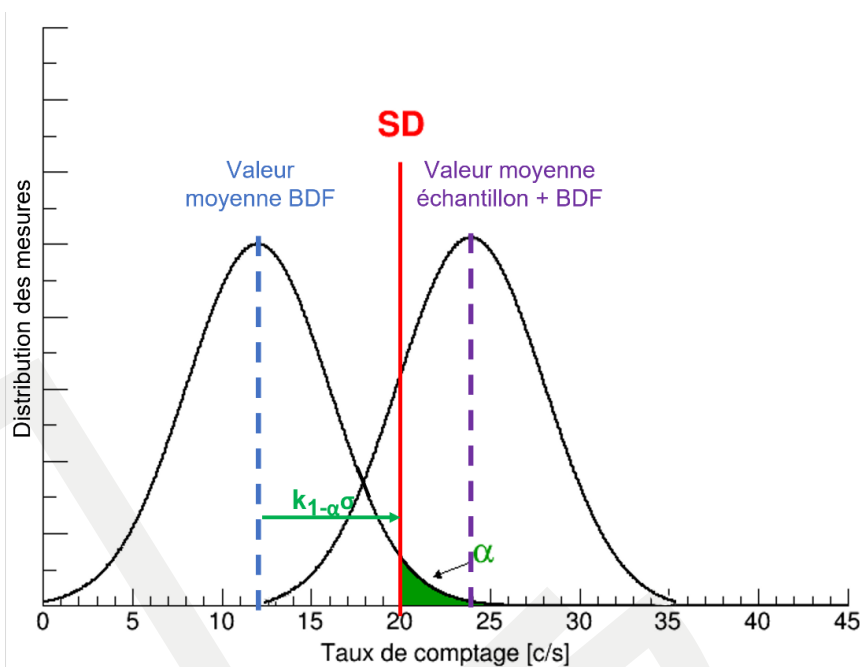


Figure 2

FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

MÉMO CONCERNANT LA MESURE DE CONTAMINATION RADIOACTIVE SURFACIQUE



k est défini dans la norme ISO 11929⁴ et associé à la probabilité (quantile de la loi Normale centrée réduite ISO 11929-4 au chapitre 7.4.4).

Par exemple, la probabilité d'erreur α est égale à 2,5% si on prend $k_{1-\alpha} = 1,96$ (on utilise habituellement l'approximation $k=2$).

Nota : Pour une probabilité d'erreur α de 5% $k_{1-\alpha} = 1,645$ et pour une probabilité d'erreur α de 0,14% $k_{1-\alpha} = 3$.

La formule permettant de déterminer le seuil de décision est développée dans la norme ISO 11929. Elle dépend du bruit de fond (BDF), des temps de mesure et de la probabilité d'erreur acceptée :

$$SD (c/s) = k_{1-\alpha} \sqrt{BDF \left(\frac{1}{T_{BdF}} + \frac{1}{T_{Mes}} \right)}$$

Où :

- $k_{1-\alpha}$ dépend de la probabilité d'erreur acceptée,
- BDF est le taux de comptage du bruit de fond (en chocs/s),
- T_{BdF} et T_{Mes} sont respectivement les temps de mesure du BdF et de la mesure (en secondes).

- Si $T_{BdF} = T_{Mes}$ alors la formule se simplifie : $SD (c/s) = k_{1-\alpha} \sqrt{2 \cdot \frac{BDF}{T_{Mes}}}$

Exemple : Un contaminamètre COM0170 a indiqué un bruit de fond de 20 c/s et cette mesure a été réalisée sur un temps d'intégration de 20 secondes. En réalisant ensuite une série de mesure d'une seconde, si l'on souhaite avoir une probabilité d'erreur de 2,5%, le seuil de décision (SD) sera donc de 29 c/s. Si une mesure de bruit de fond est en dessous de 29 c/s le résultat obtenu n'est pas attribuées à la présence d'une contamination avec une probabilité d'erreur de 2,5%.

En complément, il existe aussi des formules plus simples pour calculer le SD

$$SD = n_{\min} = k \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{n_{BDF}}{t}}$$

Ou

$$SD = \frac{k}{t} \cdot \sqrt{1+2 \cdot N_{BDF}}$$

⁴ Norme ISO 11929 - Détermination des limites caractéristiques (seuil de décision, limite de détection et extrémités de l'intervalle élargi) pour mesurages de rayonnements ionisants — Principes fondamentaux et applications

FICHES TECHNIQUES DE LA



MÉMO CONCERNANT LA MESURE DE CONTAMINATION RADIOACTIVE SURFACIQUE

Faisons une comparaison et reprenons l'exemple où la mesure du bruit de fond est égale à 102 impulsions en 4 minutes. En utilisant chaque formule, pour un intervalle de confiance de 2σ (95 %) on obtient :

$$SD = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{25,5}{4}} = 7,1414 \text{ en c/mn}$$

$$SD = \frac{2}{4} \cdot \sqrt{1+2 \cdot 104} = 7,159 \text{ en c/mn}$$

Les résultats sont légèrement différents pour de faibles valeurs de comptage. Ce n'est plus le cas avec des valeurs plus élevées.

Lors de la réalisation d'un contrôle la deuxième question que l'on peut se poser est : « quelle est la plus petite valeur que je puisse détecter compte tenu des conditions de mesures actuelles ? ». Cette limite peut être calculée et est appelée la limite de Détection (LD).

La limite de détection (LD)

La Limite de Détection indique la plus petite valeur vraie de mesure qui peut être détectée par la procédure de mesurage utilisée ; cela permet de décider si la procédure satisfait ou non aux exigences et si elle est donc adaptée à l'objectif de mesurage prévu.

La limite de détection (LD) peut être interprétée de la manière suivante : si l'on mesure un grand nombre de fois un échantillon radioactif dont l'activité moyenne mesurée est égale à la limite de détection (LD), nous aurons l'erreur de non-détection bêta ($\beta\%$) de ces mesures inférieures au seuil de décision (SD).

L'image ci-dessous représente ce phénomène (Figure 3).

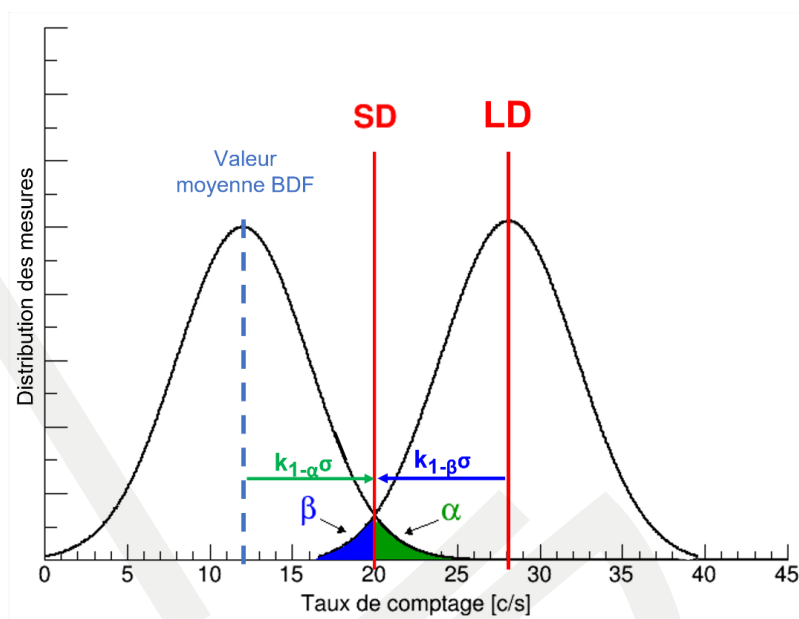


Figure 3

FICHES TECHNIQUES DE LA SFRP

MÉMO CONCERNANT LA MESURE DE CONTAMINATION RADIOACTIVE SURFACIQUE



De la même manière que pour le seuil de décision (probabilité d'erreur α associée à $k_{1-\alpha}$), la limite de détection est définie en prenant un risque β de non détection (ou avec un niveau de confiance $1-\beta$). Par exemple, avec un risque β de non détection de 2,5%, on utilise un facteur $k_{1-\beta} = 1,96$ (soit un niveau de confiance de 97,5%).

La formule permettant de déterminer la limite de détection est développée dans la norme ISO 11929. Elle dépend du bruit de fond (BdF), des temps de mesure et des probabilités d'erreur α et β souhaitées :

$$LD (c/s) = (k_{1-\alpha} + k_{1-\beta}) \sqrt{BdF \left(\frac{1}{T_{BdF}} + \frac{1}{T_{Mes}} \right)}$$

Où :

- $k_{1-\alpha}$ et $k_{1-\beta}$ dépendent des probabilités d'erreur souhaitées,
- BdF est le taux de comptage du bruit de fond (en chocs/s),
- T_{BdF} et T_{Mes} sont respectivement les temps de mesure du BdF et de la mesure (en secondes).

Cette formule se simplifie si $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta}$ et si $T_{BdF} = T_{Mes}$.

On a notamment $LD (c/s) = 2 SD (c/s)$ ou encore.

$$LD (c/s) \approx 6 \sqrt{BdF/T_{Mes}}$$

De plus la fiche technique des appareils indique les rendements de détection par rapport à certains radioéléments typiques dénommés. Cet élément va permettre de calculer l'activité minimale détectable (AMD) avec la formule suivante.

$$AMD (Bq) = \frac{LD (c/s)}{\rho 2\pi \times \epsilon_s}$$

Où :

- ϵ_s : rendement de source (taux d'émission de particules Béta ou alpha dans 2π par l'activité totale de la source). Ce rendement dépend de l'angle solide d'émission, de l'auto-absorption et du phénomène de rétrodiffusion. En général 0,5 pour les Béta et 0,25 pour les alpha.
- $\rho 2\pi$: rendement de détection sur 2π exprimé ici en c/s/Bq.

La saturation

Enfin, le domaine de mesure est également borné par la saturation de l'appareil de mesure. Les traitements analogiques, numériques et logiciels prennent du temps. Ce temps de traitement pendant lequel l'appareil ne peut pas acquérir de nouvelles informations représente de manière générique le temps mort.

FICHES TECHNIQUES DE LA



MÉMO CONCERNANT LA MESURE DE CONTAMINATION RADIOACTIVE SURFACIQUE

Plus il y a d'évènements à analyser (ou plus les analyses sont chronophages, par exemple aujourd'hui certains appareils réalisent des analyses de type « Pulse Shape Discrimination » où les temps de montée et descentes des signaux sont mesurés après digitalisation complète du signal). Le temps mort peut être corrigé, cependant lorsque la correction devient trop importante, l'appareil devient inutilisable.

⌘ Dans le cas de la Mesure directe

Dans le cas de la mesure directe, le résultat peut être exprimé selon plusieurs unités :

⌘ En c/s (en chocs/seconde).

Pour obtenir une valeur d'activité en c/s, il faut appliquer la formule suivante :

$$A_{\text{net}} = \frac{n - n_{\text{BdF}}}{\rho 2\pi \times \epsilon_s}$$

Où :

- n : taux de comptage mesuré en c/s.
- n_{BdF} : taux de comptage du bruit de fond en c/s.
- $\rho 2\pi$: rendement de l'instrument.
- ϵ_s : rendement de source. (Variable si alpha, bêta de faible énergie ou bêta)

⌘ En Bq/cm² équivalent du rendement du radioélément divisé par la surface de la sonde soit la formule suivante :

$$A_{\text{Surf}} \text{ (Bq/cm}^2\text{)} = \frac{A_{\text{net}}}{S_{\text{sonde}}}$$

Où :

- A_{Surf} : activité surfacique en Bq/cm².
- S_{sonde} : surface de la sonde
- A_{net} : activité nette sur la surface de référence (après déduction du bruit de fond).

Les menus des appareils intègrent la possibilité de renseigner ces données et permettent de renseigner la valeur de bruit fond.

⌘ Dans le cas de la Mesure indirecte

Comme décrit dans le chapitre de la mesure indirecte, celle-ci est calculée selon la formule suivante :

$$A_{\text{Surf}} \text{ (Bq/cm}^2\text{)} = \frac{A_{\text{Sonde}}}{S_{\text{Frottée}} \times F}$$

Où :

- A_{Sonde} : activité nette sous la sonde en Bq.
- A_{Surf} : valeur de la contamination de surface sur l'objet contrôlé
- $S_{\text{frottée}}$: surface frottée, exemple $S = 100 \text{ cm}^2$
- F : facteur de prélèvement

FICHES TECHNIQUES DE LA

MÉMO CONCERNANT LA MESURE DE CONTAMINATION RADIOACTIVE SURFACIQUE



Dans le cas général, F est pris égal à 0,1, cela permet de fournir un résultat conservatif par rapport à la valeur réelle de contamination non fixée.

Si la valeur détectée lors de la mesure directe est inférieure à la valeur limite réglementaire ou prescriptive définies pour la contamination fixée et non fixée, alors le résultat de la contamination fixée et non fixée peut être déclarée inférieure à ces limites.





Société Française de Radioprotection
Société Française de Radioprotection
Société Française de Radioprotection