

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

*Faire avancer la sûreté nucléaire*

# LE POINT DE VUE DE L'IRSN SUR LA SURETE ET LA RADIOPROTECTION DU PARC ELECTRONUCLEAIRE FRANÇAIS EN 2012

RAPPORT IRSN/DG/2013-00005

# SOMMAIRE

---

<b>INTRODUCTION ET SYNTHÈSE .....</b>	<b>6</b>
<b>EVALUATION GLOBALE DE LA SÛRETÉ ET DE LA RADIOPROTECTION DU PARC EN EXPLOITATION .....</b>	<b>8</b>
La sûreté de l'exploitation en 2012 : les tendances .....	9
La radioprotection en exploitation : les tendances .....	17
<b>ÉVÉNEMENTS, INCIDENTS, ANOMALIES .....</b>	<b>22</b>
Présence de corps migrants dans les circuits .....	24
Dégradations de vis de fixation des pompes primaires des réacteurs de 1450 MWe .....	29
Absence de casse-siphon dans les tuyauteries de refroidissement des piscines d'entreposage des assemblages combustibles irradiés .....	33
Faiblesse dans les moyens de surveillance des cœurs des réacteurs .....	36
Départs de feu dans le local d'un groupe motopompe primaire à Penly 2 .....	39
Déversement d'eau du circuit primaire dans le bâtiment du réacteur de Cruas 4 .....	45
Défauts découverts dans les parois des cuves des réacteurs belges de Doel 3 et Tihange 2 .....	49
<b>ÉVOLUTIONS SIGNIFICATIVES.....</b>	<b>54</b>
Renforcement des installations nucléaires à la suite de l'accident de Fukushima .....	56
Renforcement des radiers des réacteurs de la centrale de Fessenheim .....	60
Guide sur la protection des installations nucléaires de base contre les inondations externes.....	64
Protection des centrales nucléaires en cas de températures extrêmes.....	67
Traitement des écarts de conformité .....	71
Contribution des hommes et des organisations à la fiabilité des matériels .....	78

Les mots écrits en [bleu et soulignés](#) renvoient à des liens hypertexte. Ces liens sont actifs sur [www.irsn.org](http://www.irsn.org).

# EVALUATION GLOBALE DE LA SURETE ET DE LA RADIOPROTECTION DU PARC EN EXPLOITATION



La manière d'exploiter un réacteur est un facteur déterminant pour assurer en permanence un niveau de sûreté et de radioprotection satisfaisant. La veille exercée par l'IRSN pour apprécier le niveau de sûreté et de radioprotection lors de l'exploitation des réacteurs du parc d'EDF, repose sur l'analyse d'une multitude de données issues du suivi permanent de l'exploitation de ces réacteurs. Les données relatives aux événements et aux incidents qui affectent le parc, mais aussi les installations étrangères, constituent l'une des sources les plus riches en matière de retour d'expérience. Pour obtenir une vision globale de la sûreté et de la radioprotection de l'exploitation, l'IRSN a développé des outils et des méthodes d'analyse du retour d'expérience, et notamment des indicateurs ([voir le rapport public IRSN 2007, page 10](#)). Ceux-ci contribuent à l'appréciation, par réacteur, mais aussi globalement pour le parc, des tendances et éventuelles dérives dans la sûreté et la radioprotection. Les deux chapitres qui suivent présentent les principaux enseignements que l'IRSN tire de son évaluation globale pour l'année 2012 en matière de sûreté et de radioprotection.

---

# La sûreté de l'exploitation en 2012 : les tendances

---

En 2012, si l'on constate une augmentation du nombre d'événements significatifs pour la sûreté (+ 13 % environ) par rapport à 2011, leur grande majorité n'a eu qu'un faible impact réel sur la sûreté des installations et a fait l'objet d'un traitement adapté. La mobilisation toujours plus importante de l'ensemble des équipes d'EDF, que ce soit sur le terrain ou à l'échelle nationale, dans la détection des écarts n'est pas étrangère à l'augmentation constatée.

Il faut en particulier souligner le nombre croissant d'événements significatifs pour la sûreté liés à la conduite des transitoires d'exploitation (en moyenne environ 0,8 par réacteur en 2011 et 1 par réacteur en 2012), même si une baisse du nombre de dépassements incontrôlés des limites des paramètres physiques de l'installation est observée. Ce constat, associé à celui d'un nombre croissant des actions inappropriées réalisées au cours des interventions de maintenance met en évidence la difficulté pour EDF de maintenir au meilleur niveau les compétences techniques nécessaires à la réalisation des actions et à leur contrôle dans un contexte de renouvellement massif du personnel.

## Les événements significatifs pour la sûreté

Les exploitants des installations nucléaires de base doivent déclarer à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) les événements relatifs à la sûreté, à la radioprotection, à l'environnement et aux transports, quarante-huit heures au plus tard après leur détection. Les événements dits « significatifs pour la sûreté » (ESS) concernent les événements pouvant conduire à des conséquences notables pour la sûreté des installations. Les événements dits « significatifs pour la radioprotection » (ESR) concernent les événements susceptibles de porter atteinte à la santé des personnes par exposition aux rayonnements ionisants. Les événements significatifs pour l'environnement (ESE) et pour les transports (EST) ne sont pas traités dans le présent rapport.

L'analyse des événements significatifs entre dans le processus général d'examen du retour d'expérience de l'exploitation des centrales nucléaires. En effet, un événement, une fois détecté, fait l'objet d'une analyse détaillée par l'exploitant, menant à la définition puis à la mise en œuvre de mesures afin d'éviter son renouvellement. La déclaration des événements significatifs répond à un souci de transparence mais permet également un partage du retour d'expérience entre les différents acteurs du nucléaire. Ainsi, les événements significatifs font l'objet d'un examen par l'IRSN afin d'en tirer des enseignements à l'échelle nationale, voire internationale.

Les 10 critères de déclaration des événements significatifs pour la sûreté (ESS)	
ESS 1	arrêt automatique du réacteur
ESS 2	mise en service d'un des systèmes de sauvegarde
ESS 3	non-respect des spécifications techniques d'exploitation (STE)
ESS 4	agression interne ou externe
ESS 5	acte ou tentative d'acte de malveillance susceptible d'affecter la sûreté de l'installation
ESS 6	passage en état de repli en application des STE ou de procédures de conduite accidentelle à la suite d'un comportement imprévu de l'installation
ESS 7	événement ayant causé ou pouvant causer des défaillances multiples
ESS 8	événement ou anomalie spécifique au circuit primaire principal, au circuit secondaire principal ou aux appareils sous pression des circuits qui leur sont connectés, conduisant ou pouvant conduire à une condition de fonctionnement non prise en compte à la conception ou qui ne serait pas encadrée par les consignes d'exploitation existantes
ESS 9	anomalie de conception, de fabrication en usine, de montage sur site ou d'exploitation de l'installation concernant des matériels et des systèmes fonctionnels autres que ceux couverts par le critère 8, conduisant ou pouvant conduire à une condition de fonctionnement non prise en compte à la conception et qui ne serait pas couverte par les conditions de dimensionnement et les consignes d'exploitation existantes
ESS 10	tout autre événement susceptible d'affecter la sûreté de l'installation jugé significatif par l'exploitant ou par l'Autorité de sûreté nucléaire.

L'année 2012 a été marquée par une hausse du nombre d'ESS déclarés par les exploitants des centrales nucléaires françaises : ainsi, en moyenne, près de 13 ESS ont été déclarés pour chaque réacteur en 2012, valeur comparable à celle de 2009, contre 11 en 2010 et 2011. La hausse est d'environ 40 % pour les événements de niveau 1 et d'environ 10 % pour les événements de niveau 0. Les paragraphes suivants présentent les principaux facteurs susceptibles d'être à l'origine de cette augmentation. En 2012, sur l'ensemble du parc en exploitation, 103 ESS ont été déclarés en niveau 1 et un seul ESS a été reclassé en niveau 2 par l'ASN.

Cet événement correspond au constat de l'absence d'un orifice « casse-siphon » sur les tuyauteries de refroidissement des piscines d'entreposage des assemblages combustibles de deux réacteurs de Cattenom et fait l'objet d'une présentation détaillée par l'IRSN dans le présent rapport (voir page 33 de ce rapport).

Il est intéressant de noter que la disparité des nombres d'ESS par réacteur déclarés par chaque centrale nucléaire se réduit progressivement entre 2009 et 2012 : la centrale nucléaire de Civaux, qui est la plus récente du parc, se détache toutefois avec 18 ESS déclarés pour chacun de ses deux réacteurs en 2012, tendance déjà observée depuis 2009. Ce constat a notamment motivé le choix de la centrale de Civaux par l'ASN pour y mener, en 2013, une inspection de grande envergure avec l'appui technique de l'IRSN sur le thème « rigueur d'exploitation ».

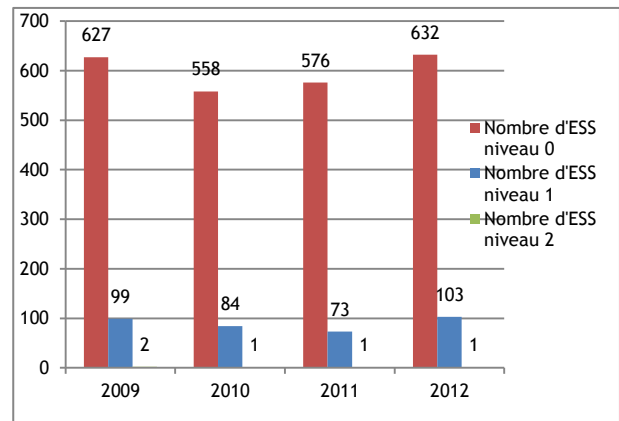


Figure 1 : Évolution du nombre d'ESS déclarés entre 2009 et 2012 (comptabilisés depuis 2012 à partir de la date de réception de la déclaration)

↳ L'échelle INES (International Nuclear Event Scale) s'applique aux événements se produisant dans les installations nucléaires, selon 7 niveaux. Les événements classés au niveau 0 sont qualifiés d'écarts.

↳ Le nombre d'ESS : quel sens donner à cet indicateur ? Pour l'IRSN, le nombre d'ESS ne constitue pas une « image quantifiée » de la rigueur d'exploitation et les variations de ce nombre ne peuvent pas être directement liées à une variation du « niveau de sûreté » qui serait meilleur ou moins bon qu'avant. Ces ESS sont par contre le reflet de difficultés qu'il s'agit d'analyser et de comprendre en tant qu'alertes pour trouver les pistes pertinentes qui amélioreront la sûreté des installations et de leur exploitation.

A contrario, les exploitants des centrales nucléaires de Penly et de Saint-Laurent B ont déclaré le nombre le plus faible d'ESS en 2012 (en moyenne 7,5 ESS par réacteur), ce qui constitue une baisse importante par rapport à 2011.

↳ Un écart de conformité est un écart au référentiel de conception qui justifie le niveau de sûreté des installations.

Une des spécificités de l'année 2012 est la part des ESS déclarés qui font suite à la détection d'un écart de conformité : ces ESS représentent 13 % des ESS en 2012, contre 7 % en 2011. Il s'agit, pour une grande part, d'ESS dits « génériques », dans la mesure où plusieurs réacteurs sont affectés par une anomalie de même origine. Cette augmentation s'explique notamment par la mise en œuvre récente de mesures renforçant le processus de détection et de traitement des écarts de conformité, présenté par l'IRSN dans le présent rapport (voir page 72 de ce rapport). Ce processus a fait par exemple émerger en 2012 certains écarts présents depuis plusieurs années dans les installations.

### Une diminution du nombre de sorties du domaine de fonctionnement autorisé

↳ Le domaine de fonctionnement autorisé

Le domaine de fonctionnement autorisé comprend plusieurs domaines d'exploitation allant de l'arrêt du réacteur jusqu'au fonctionnement en puissance. Pour chaque domaine d'exploitation, les spécifications techniques d'exploitation précisent les contraintes et les limites de fonctionnement à respecter (pressions, températures, concentration en bore, niveaux d'eau...) ainsi que les matériels dont la disponibilité est nécessaire pour maintenir l'état du réacteur conforme à la démonstration de sûreté. Il est strictement interdit aux opérateurs de sortir volontairement du domaine d'exploitation autorisé dans lequel se trouve le réacteur sans respecter les « conditions requises pour changer l'état du réacteur ». En cas de sortie fortuite d'un domaine d'exploitation, l'exploitant doit tout mettre en œuvre pour revenir à la situation initiale ou à une situation correcte dans les plus brefs délais.

En 2012, 30 ESS (contre 50 en 2011) ont concerné un dépassement involontaire des limites des paramètres physiques du domaine de fonctionnement autorisé. Ceci représente une moyenne de 0,5 ESS par réacteur. La baisse constatée est sans doute le signe que les exploitants des centrales nucléaires sont de plus en plus vigilants dans la maîtrise des paramètres physiques de leur installation.

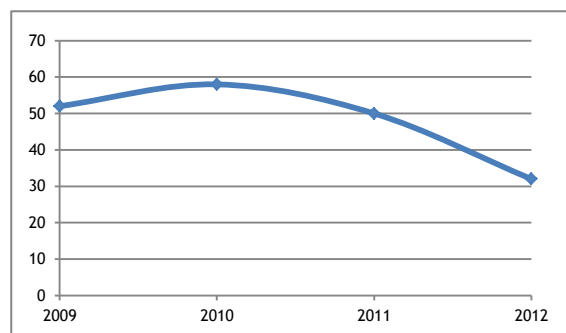


Figure 2 : Évolution du nombre de dépassements involontaires des limites des paramètres physiques entre 2009 et 2012

En effet, l'année 2012 s'avère être l'année ayant connu le moins d'ESS de ce type depuis 2009. Il faut également souligner que la durée des sorties du domaine de fonctionnement autorisé est de plus en plus courte : ainsi 90 % des sorties du domaine sont détectées et corrigées en moins d'un quart d'heure en 2012, ce qui est révélateur d'une meilleure réactivité de la part des équipes de conduite depuis 2010.

Les sorties du domaine de fonctionnement autorisé correspondent le plus souvent à un dépassement bref des limites hautes ou basses de pression et de température de l'eau du circuit primaire. Les limites de température sont franchies dans la plupart des cas lorsque le réacteur est en production d'électricité et leur dépassement reste très faible, de l'ordre de 2 °C. Les sorties du domaine de pression autorisé se produisent en grande majorité lors des phases délicates de mise à l'arrêt du réacteur lorsque les équipes de conduite reprennent en manuel la régulation automatique de la pression.

## Un nombre élevé d'ESS liés à la conduite des transitoires d'exploitation

☞ La conduite d'un transitoire d'exploitation est la mise en œuvre, selon une procédure, d'actions et de moyens pour modifier les paramètres physiques de l'installation. Il peut s'agir, par exemple, de la conduite d'un changement de domaine d'exploitation, par variation de la pression et de la température du circuit primaire, ou de la conduite d'une variation de la puissance neutronique (appelée variation de charge).

La gestion d'un transitoire d'exploitation est une activité à fort risque de sortie du domaine de fonctionnement autorisé ; de plus, elle nécessite une bonne connaissance de la disponibilité des matériels.

En 2012, les exploitants du parc nucléaire ont déclaré en moyenne un ESS par réacteur (contre 0,8 en 2011) ayant un lien direct avec la conduite d'un transitoire. Ce sont les situations de redémarrage qui sont les plus délicates à piloter et principalement les situations de montée en puissance lorsque le réacteur est remis en production après un arrêt programmé lors duquel des interventions de maintenance ont pu être réalisées sur des matériels.

L'analyse des ESS survenus lors de la gestion de transitoires d'exploitation met en évidence des faiblesses organisationnelles dans essentiellement trois domaines :

- la compréhension des phénomènes physiques mis en jeu et des principes de conduite associés. Une préparation renforcée, la présence dans l'équipe de quart d'un opérateur expérimenté, voire la réalisation d'un entraînement sur simulateur, sont de nature à favoriser l'appropriation des phénomènes physiques et la mise en œuvre des principes de conduite associés. Mais les aléas d'exploitation et les contraintes de gréement des équipes (par exemple lors des périodes de congés) peuvent empêcher la mise en œuvre de ces dispositions. Il faut cependant souligner les efforts importants prévus par les centrales pour renforcer les compétences sur la conduite, élément majeur de leur programme annuel de formation pour l'année 2014 ;
- la documentation opérationnelle : les équipes doivent en effet pouvoir s'appuyer sur les documents présents en salle de commande pour les guider, les alerter sur certains risques ou les orienter rapidement vers un diagnostic. Or cette documentation opérationnelle peut, dans certains cas, ne pas jouer le rôle escompté, soit parce qu'elle présente des lacunes, soit parce que l'équipe de conduite en fait une lecture erronée ;
- l'organisation des équipes de conduite, qui doit être robuste et efficace en toutes circonstances. En pratique, la répartition des tâches au sein des équipes opérationnelles est parfois adaptée en temps réel pour répondre à un aléa d'exploitation ou à une charge importante de travail, notamment lors des arrêts des réacteurs pour maintenance, au point que les personnes en charge de la surveillance globale peuvent perdre le recul nécessaire à l'encadrement des équipes et à la gestion des installations.

Dans la plupart des cas, c'est la conjonction de plusieurs de ces facteurs qui conduit à un ESS lors de la gestion d'un transitoire d'exploitation.

### ***Exemple d'une sortie du domaine de fonctionnement autorisé au cours d'un transitoire d'exploitation***

Le 23 décembre 2012 à Cruas 3, l'équipe de conduite a entrepris une montée en puissance, conformément au programme de charge du réseau. Pour ce faire, les opérateurs ont réalisé deux dilutions successives de l'eau borée du circuit primaire afin de monter lentement en puissance. Ces actions ont entraîné un déséquilibre de la distribution de puissance dans le cœur au-delà des limites fixées dans les spécifications techniques d'exploitation, mais celui-ci a pu être corrigé en moins de 10 minutes par de nouvelles actions de pilotage.

Dans cet exemple, comme dans beaucoup d'autres, les conditions de réalisation du transitoire n'ont pas été favorables. En effet, la montée en puissance était fortement attendue par le réseau. Au cours du transitoire, les opérateurs ont perdu l'outil d'aide au pilotage en salle de commande. De plus, ils ont mal interprété les

phénomènes physiques survenant dans l'installation et n'ont pas été en mesure d'anticiper la sortie imminente du domaine de fonctionnement autorisé avant l'apparition d'une première alarme.

Dans le cadre de la valorisation du retour d'expérience, cet événement a fait l'objet d'une présentation à l'ensemble des équipes de conduite d'EDF au cours des modules de recyclage dédiés au pilotage des installations.

### Surveillance des performances des matériels

#### *Augmentation du nombre de défaillances matérielles*

L'année 2012 a été marquée par une augmentation du nombre des défaillances matérielles.

Les défaillances des matériels utilisés dans les systèmes électriques sont en augmentation continue depuis plusieurs années. Devant ce constat, l'IRSN a entrepris une analyse de la fiabilité des sources électriques, dont les conclusions seront présentées à l'ASN en 2014. Il faut également souligner la hausse du nombre de défaillances relatives au système d'alimentation de secours en eau des générateurs de vapeur (ASG).

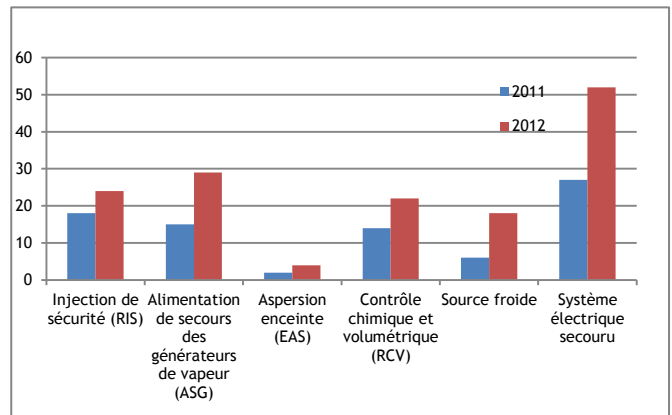


Figure 3 : Évolution du nombre de défaillances matérielles sur les circuits importants pour la sûreté entre 2011 et 2012

#### *Efficacité des moyens de détection des écarts*

La répartition des moyens ayant permis de détecter les écarts à l'origine des ESS a peu évolué entre 2011 et 2012 sur le parc nucléaire. Le rôle des équipes de conduite reste essentiel pour cette détection : ces équipes acquittent les alarmes, surveillent au quotidien l'installation en suivant l'évolution des paramètres physiques et en effectuant des rondes sur le terrain. Le déclenchement d'alarmes est le moyen de détection des écarts le plus important.

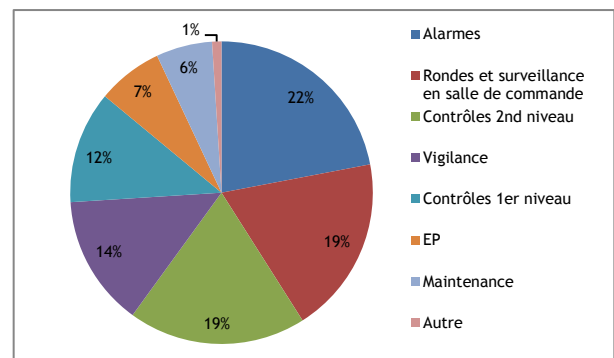


Figure 4 : Répartition des moyens de détection des écarts à l'origine des ESS déclarés en 2012

Dans son analyse, l'IRSN regroupe les contrôles effectués par l'exploitant pour garantir la qualité des interventions sur les matériels en deux niveaux indépendants :

- le premier niveau correspond aux contrôles réalisés au moment de l'intervention (autocontrôle des intervenants, contrôle technique, etc.)
- le second niveau rassemble les contrôles réalisés a posteriori (contrôles documentaires ultérieurs, etc.).

#### ↳ Contrôles de 1<sup>er</sup> niveau et de 2<sup>ème</sup> niveau

Tout matériel est susceptible de subir une dégradation de certaines de ses caractéristiques physiques, même dans le cas d'un usage conforme à celui prévu à sa conception. Cependant, s'ajoutent à ces dégradations inéluctables celles induites par un usage non conforme ou par une action intrusive et inadaptée sur le matériel. Par conséquent, toute activité liée à un matériel d'une installation nucléaire est sujette à une succession de contrôles indépendants les uns des autres, de premier niveau et de second niveau, de telle sorte que, si une défaillance se produit, elle soit détectée et corrigée le plus rapidement possible.



La part des contrôles de deuxième niveau dans la détection des écarts est supérieure à celle des contrôles de premier niveau, car les écarts détectés rapidement et corrigés immédiatement (1<sup>er</sup> niveau) n'imposent pas la déclaration systématique d'un ESS. De ce fait, ces écarts ne sont donc que très peu pris en compte dans le processus de retour d'expérience.

Toutefois, la proportion non négligeable de la « vigilance » dans la détection des écarts appelle l'attention. L'efficacité de ce moyen, qui ne relève d'aucune disposition organisationnelle, est révélatrice de la culture de sûreté des différents intervenants, qui se traduit par exemple dans l'engagement des agents à rendre compte au quotidien des écarts qu'ils détectent, même si ceux-ci ne relèvent pas de leur responsabilité. Ce constat amène à s'interroger sur la complémentarité entre la surveillance organisée et celle qui relève de la vigilance de chacun des acteurs présents.

### **Le nombre d'ESS liés aux non-respects des essais périodiques en diminution**

La réalisation d'essais périodiques (EP) permet de contrôler régulièrement la disponibilité des matériels importants pour la sûreté. La définition du programme des essais périodiques, avec notamment les périodicités de chaque essai, les conditions de réalisation et l'atteinte des critères fixés par les Règles générales d'exploitation (RGE) sont essentielles, tout comme l'est le respect de ce programme par les exploitants.

Sur la période 2009-2012, le nombre d'ESS déclarés à la suite d'erreurs de déclinaison des règles d'essais dans les documents opérationnels est en baisse. Avant 2007, la rédaction de ces documents opérationnels était laissée à l'initiative de chaque centrale. Pour réduire la charge de travail des sites et les risques d'hétérogénéité documentaire entre sites, de nouveaux modes opératoires mutualisés sont rédigés depuis 2007 sous une forme standardisée par un site dit « pilote » (PHPM = Projet d'homogénéisation des pratiques et des méthodes). Le processus de validation du document mis en œuvre (validation réalisée par un site différent du site pilote) avant la diffusion à l'ensemble des sites dotés de réacteurs de même type a pour objectif de détecter d'éventuelles erreurs avant son application sur l'ensemble des sites concernés. Après une période de rédaction, et également de « mise à l'épreuve » des nouveaux modes opératoires (2008-2009), il semblerait que cette nouvelle organisation porte ses fruits depuis 2010.

De plus, au vu de la quantité importante d'essais périodiques à réaliser sur un réacteur (plusieurs dizaines de milliers), avec une périodicité des essais variant entre un jour et dix ans, l'organisation mise en place par les exploitants, bien que perfectible notamment lors de glissements de planning à la suite d'un événement imprévu, révèle une certaine robustesse en termes de réalisation des essais périodiques dans les délais impartis (figure 5).

Comme toute activité réalisée sur un matériel, les essais périodiques présentent un risque, mesuré par rapport au bénéfice, d'entraîner la dégradation de ce matériel par une action inappropriée des intervenants. Une diminution de ces actions inappropriées a été observée entre 2011 et 2012 et semble indiquer une amélioration dans la maîtrise par les exploitants de la réalisation des essais périodiques.

↳ Les Essais périodiques (EP) sont réalisés pour vérifier, au cours de l'exploitation des réacteurs, la disponibilité des circuits et des matériels associés assurant des fonctions de sûreté, ainsi que la disponibilité des moyens indispensables à la mise en œuvre des procédures de conduite incidentelle ou accidentelle.

Un matériel ou un système est déclaré disponible si la périodicité prévue pour les essais correspondants est respectée et si les résultats de ces essais sont satisfaisants.

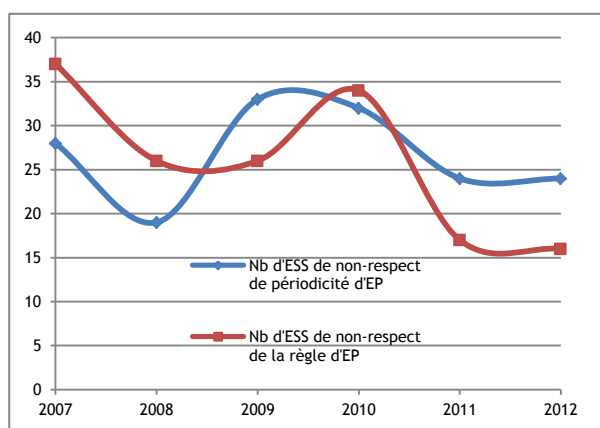


Figure 5 : Évolution du nombre d'ESS dus au non-respect de la périodicité ou de la règle d'un EP

### **Une hausse continue des non-qualités au cours des activités de maintenance ou de modification matérielle**

L'année 2012 a été marquée, comme les années précédentes, par une augmentation très significative des actions inappropriées sur des matériels au cours d'activités de maintenance ou de modification matérielle (308 ESS en 2011, 395 en 2012).

↳ La maintenance est constituée par l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un matériel dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé.

La **maintenance préventive** comprend l'ensemble des opérations exercées sur des matériels disponibles pour éviter leur défaillance ultérieure ou en réduire la probabilité. Ces opérations sont prévues à l'avance et intégrées dans des programmes de maintenance.

La **maintenance corrective** comprend l'ensemble des opérations effectuées dans le but de retrouver les capacités des matériels défaillants.

Ces ESS concernent en particulier la maintenance préventive. Or il s'agit d'activités répétitives anticipées et planifiées, contrairement à la maintenance corrective. De plus, il faut souligner que, depuis plusieurs années, ce sont les activités de maintenance sur de la robinetterie qui conduisent au nombre le plus important d'ESS.

Globalement, les défauts de compétence sont fréquemment évoqués dans l'analyse des ESS. Les exploitants, devant les nombreux départs à la retraite de personnels expérimentés, doivent s'assurer de la formation de la nouvelle génération.

Dans ce contexte, il conviendrait donc que les responsables de chaque site renforcent leurs efforts sur le processus de contrôle des activités de maintenance, au moment des phases de planification, de préparation ou de réalisation, en particulier lorsque la détection en temps réel d'une non-qualité de maintenance n'est pas possible. La majorité des activités de maintenance étant sous-traitée, EDF a engagé en 2012 une refonte de son processus de surveillance des activités confiées à des entreprises extérieures, dont la déclinaison opérationnelle sera réalisée d'ici fin 2013 sur les différents sites.

#### **Exemple d'une action inappropriée lors d'une activité de maintenance préventive**

Le 28 mai 2012, au cours d'un arrêt programmé pour rechargement de combustible du réacteur n° 4 de la centrale de Cruas, l'exploitant a réalisé une visite interne d'un clapet du système d'injection de sécurité conformément au programme de maintenance préventive. Comme après toute activité de maintenance, ce clapet a fait l'objet d'une requalification intrinsèque, qui permet de vérifier que les performances propres du matériel n'ont pas été altérées, et d'une requalification fonctionnelle, qui permet de vérifier le bon fonctionnement du matériel dans sa configuration courante d'exploitation.

Dans le cas présent, la requalification intrinsèque du clapet a montré que celui-ci était conforme aux exigences attendues, alors que la requalification fonctionnelle a conclu à l'inétanchéité du clapet, due à une erreur de remontage qui n'avait pas été détectée lors de la requalification intrinsèque. L'analyse de cet événement a mis en évidence la méconnaissance de la technologie spécifique de ce clapet, peu présente sur le parc, par les intervenants prestataires, méconnaissance qui n'a pas pu être compensée par le mode opératoire utilisé. De plus, les contrôles de premier niveau et de second niveau de cette intervention de maintenance se sont avérés inefficaces, aucun d'entre eux n'ayant permis de détecter l'écart. Afin d'éviter le renouvellement d'un tel écart, l'exploitant a entrepris une modification du mode opératoire et a exigé du prestataire un renforcement de ses compétences.

## Performances de récupération

Une anomalie présente dans une installation doit être traitée très rapidement afin d'en limiter les conséquences.

Certaines anomalies peuvent faire l'objet d'une récupération dite automatique. L'atteinte de seuils, comme par exemple un haut niveau d'eau d'alimentation des générateurs de vapeur, ou une configuration particulière de l'installation, telle que l'arrêt de la turbine alors que la puissance nucléaire est supérieure à 30 % de la puissance nominale, déclenche par automatisme des actions de protection (déclenchement de la turbine, arrêt automatique du réacteur (AAR)).

Depuis 2011, environ 7 % des ESS sont associés à un AAR. Même si un AAR est la réponse prévue des automatismes à une anomalie pour conduire l'installation dans un état plus sûr, il faut souligner que, s'il survient alors que le réacteur est en production, il entraîne des contraintes mécaniques importantes dans certains composants et peut conduire à une production importante d'effluents. À ce titre, EDF a engagé, depuis 2007, des actions correctives, qui ont permis de réduire significativement le nombre d'AAR.

Les anomalies qui, de par leur nature, ne sollicitent pas les protections automatiques du réacteur, doivent être traitées par l'exploitant. Dès qu'une anomalie est clairement identifiée, sa gravité fait l'objet d'une analyse. Dans la très grande majorité des cas, l'exploitant dispose d'un délai pour le traitement de l'anomalie, qui peut être imposé par les règles générales d'exploitation ou apprécié par l'exploitant lui-même. Les actions les plus fréquentes de récupération d'une anomalie dans les installations nucléaires sont les interventions de maintenance corrective ou les manœuvres réalisées par les équipes de conduite pour retrouver la conformité de l'installation. Contrairement aux manœuvres d'exploitation réalisables en quelques heures, la maintenance d'un matériel implique une étape de préparation plus lourde et peut donc se dérouler sur plusieurs jours. Le nombre d'ESS ayant nécessité des opérations de maintenance pour retrouver un état conforme au référentiel de sûreté de l'installation a augmenté significativement en 2012 par rapport à 2011, alors que le nombre de ceux qui ont nécessité une manœuvre d'exploitation a baissé sur la même période.

À noter que, lorsque le délai de traitement de l'anomalie fixé par les règles générales d'exploitation ne peut pas être respecté, ces mêmes règles peuvent imposer un amorçage du repli du réacteur, c'est-à-dire le passage d'un domaine d'exploitation à un autre. Les replis de réacteur représentent 3 à 4 % des moyens de récupération des anomalies en 2012.

↳ La récupération consiste à replacer le réacteur dans un état prévu dans la démonstration de sûreté. Pour ce faire, l'exploitant peut effectuer des actions directement sur un matériel pour retrouver sa disponibilité (maintenance, manœuvre d'exploitation) ou conduire le réacteur dans un domaine d'exploitation pour lequel la disponibilité du matériel n'est pas nécessaire pour maintenir le réacteur dans un état conforme à la démonstration de sûreté (repli du réacteur, AAR).

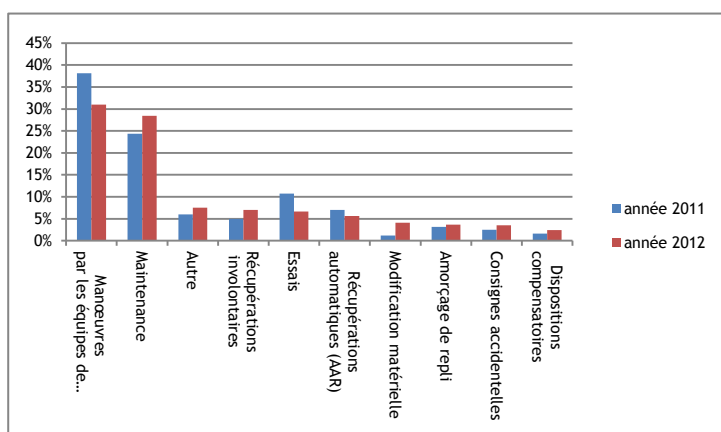


Figure 6 : Répartition des moyens de récupération des anomalies en 2011 et 2012

---

# La radioprotection en exploitation : les tendances

---

Le nombre annuel d'événements significatifs déclarés pour le parc de réacteurs d'EDF, concernant la radioprotection des travailleurs, est en hausse en 2012. L'analyse menée par l'IRSN a mis en évidence une augmentation du nombre d'événements liés aux tirs gammagraphiques, aux moyens de suivi dosimétrique individuel et aux moyens de surveillance collectifs. Les efforts d'EDF relatifs à la maîtrise de la dosimétrie individuelle et collective ont contribué à un résultat encourageant dans ce domaine. Néanmoins, l'appropriation des bonnes pratiques en matière de radioprotection par l'ensemble des intervenants reste un axe majeur d'amélioration.

## Répartition des événements significatifs déclarés concernant la radioprotection (ESR)

La réglementation relative à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants impose aux exploitants des installations nucléaires de base de déclarer à l'ASN les événements significatifs en radioprotection (ESR). Ces événements sont déclarés en fonction de critères préalablement définis par l'ASN (voir le tableau ci-dessous).

<b>Les 10 critères de déclaration pour les événements significatifs pour la radioprotection (ESR)</b>	
<b>ESR 1</b>	Dépassement d'une limite de dose individuelle annuelle réglementaire ou situation imprévue qui aurait pu entraîner, dans des conditions représentatives et vraisemblables, le dépassement d'une limite de dose individuelle annuelle réglementaire, quel que soit le type d'exposition (ce critère inclut les cas de contamination corporelle).
<b>ESR 2</b>	Situation imprévue ayant entraîné le dépassement du quart d'une limite de dose individuelle annuelle réglementaire, quel que soit le type d'exposition (ce critère inclut les cas de contamination corporelle).
<b>ESR 3</b>	Tout écart significatif concernant la propreté radiologique, notamment les sources de contamination hors zone contrôlée supérieures à 1 MBq ou une contamination vestimentaire supérieure à 10 kBq détectée au portique d'entrée/sortie de site (C3) ou lors d'une anthroporadiométrie.
<b>ESR 4</b>	Toute activité (opération, travail, modification, contrôle...) notable, comportant un risque radiologique, réalisée sans une analyse de radioprotection (justification, optimisation, limitation) ou sans une prise en compte exhaustive de cette analyse.
<b>ESR 5</b>	Action ou tentative d'action de malveillance susceptible d'affecter la protection des travailleurs ou des personnes du public contre les rayonnements ionisants.
<b>ESR 6</b>	Situation anormale affectant une source scellée ou non scellée d'activité supérieure aux seuils d'exemption.
<b>ESR 7</b>	Défaut de signalisation ou non-respect des conditions techniques d'accès ou de séjour dans une zone spécialement réglementée ou interdite (zones orange ou rouge et zones des tirs radio).
	7a Défauts de balisage et de signalétique. 7 b Autres écarts.
<b>ESR 8</b>	Défaillance non compensée des systèmes de surveillance radiologique assurant la protection collective des personnels présents.
<b>ESR 9</b>	Dépassement de plus d'un mois de la périodicité de contrôle d'un appareil de surveillance radiologique, s'il s'agit d'un appareil de surveillance collective permanente (périodicité réglementaire de 1 mois), de plus de trois mois s'il s'agit d'un autre type d'appareil (lorsque la périodicité de vérification prévue dans les RGE est comprise entre 12 et 18 mois).
<b>ESR 10</b>	Tout autre écart significatif pour l'ASN ou l'exploitant.

EDF analyse les circonstances et les causes de chacun de ces événements, ainsi que ses conséquences radiologiques. Puis EDF identifie et met en place des actions correctives pour en éviter le renouvellement. Ces analyses sont communiquées à l'ASN et à l'IRSN. Les informations ainsi fournies permettent à l'IRSN d'évaluer les mesures proposées par l'exploitant, d'exercer un suivi de ces événements et d'analyser les tendances de leurs évolutions sur l'ensemble du parc.

Le nombre d'ESR déclarés par EDF en 2012 est en hausse (112<sup>1</sup> ESR en 2012, contre 97 en 2011 et 86 en 2010). Le graphique ci-dessous présente une typologie de ces ESR. Les principaux enseignements tirés de leur analyse sont présentés dans la suite du texte.

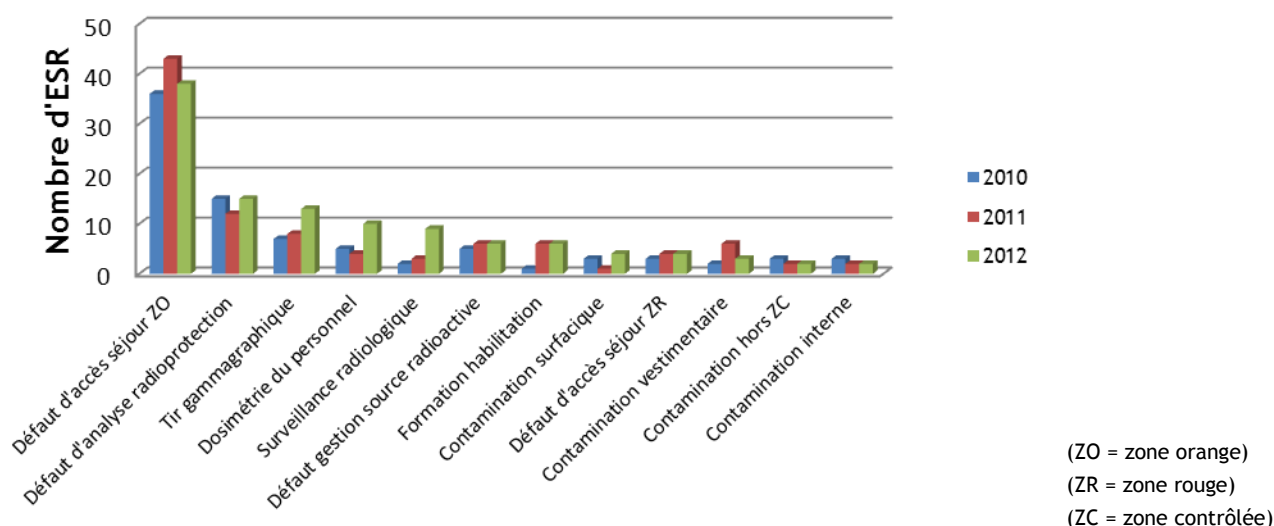


Figure 1 : Typologie des événements significatifs pour la radioprotection

### Activités réalisées au fond de la piscine du bâtiment du réacteur

#### Dose efficace et dose équivalente

La dose efficace est utilisée pour estimer l'exposition aux rayonnements ionisants du « corps entier » d'un individu. Elle tient compte de la sensibilité de chaque tissu du corps et du type de rayonnement (alpha, bêta, gamma, neutronique). L'exposition d'« un organe » est appelée dose équivalente. Ces doses s'expriment en Sievert (Sv).

Limites réglementaires de doses :

Pour les personnes du public, la dose efficace à ne pas dépasser est de 1 mSv/an (hors irradiation naturelle et médicale).

Pour les travailleurs les plus exposés, les doses réglementaires maximales à ne pas dépasser sur 12 mois consécutifs sont :

Dose efficace (corps entier)	20 mSv	
Dose équivalente	Extrémités (mains, avant-bras, pieds et chevilles)	500 mSv
	Peau	500 mSv
	Cristallin	150 mSv

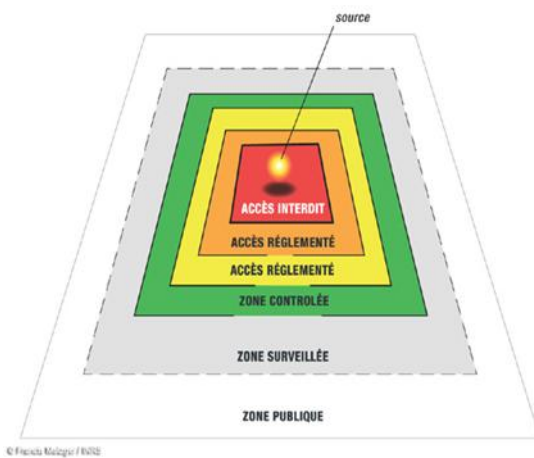
Parmi les ESR de 2012, deux ont été classés au niveau 1 de l'échelle internationale INES. Ils concernent des contaminations individuelles, localisées à la tête, ayant entraîné des doses supérieures à la moitié de la limite de dose annuelle réglementaire fixée à 500 mSv. Ces contaminations se sont produites lors du déshabillage des intervenants équipés d'une tenue étanche ventilée pour effectuer des activités au fond de la piscine vidangée du bâtiment du réacteur. Dans un cas, l'intervenant s'est directement contaminé lors du déshabillage. Dans le second cas, il s'agit d'une contamination indirecte, par un téléphone non protégé situé à proximité de la zone de déshabillage, et qui a été

utilisé après contamination par un intervenant extérieur. Les intervenants contaminés ont été pris immédiatement en charge par le service médical afin de retirer les particules radioactives. Le déshabillage est une opération à fort risque de transfert de contamination et doit de ce fait être réalisée dans une zone bien délimitée selon une

<sup>1</sup> Données IRSN

procédure spécifique. L'analyse des deux événements concernés a révélé des conditions de déshabillage inadaptées, liées à l'exiguïté de la zone, ne permettant pas le confinement de la contamination.

#### Baisse du nombre de non-respects d'accès en zone contrôlée



Conformément aux prescriptions réglementaires, le service compétent en radioprotection de l'installation est chargé de mettre en place un zonage radiologique. Ce zonage se traduit par un balisage des lieux, effectué sur la base de mesures du débit d'équivalent de dose (DeD) couramment appelé « débit de dose » enregistré par un radiamètre, et matérialisé par un « trisecteur » de couleur variable selon la zone. Parmi les défauts d'accès en zone contrôlée, le non-respect des conditions d'accès en zone orange (zone où le débit d'équivalent de dose est susceptible de dépasser 2 mSv/h) reste la cause principale des événements détectés, malgré une baisse enregistrée en 2012. Ces événements peuvent conduire

à l'exposition d'intervenants, entraînant des dépassements de la limite annuelle de dose, ou à laisser pénétrer en zone orange des intervenants qui ne bénéficient pas d'une autorisation d'accès.

Les salariés titulaires d'un contrat de travail à durée déterminée et les salariés temporaires, appelés par la suite « intervenants non-CDI », ont un statut particulier. En effet, conformément à l'article D.4154-1 du code du travail, ils ne sont pas autorisés à travailler en zone orange. Un certain nombre d'ESR sont associés à un non-respect de cette exigence. Les origines de ces événements sont diverses. On peut citer des défauts de préparation de l'activité, l'absence d'identification d'une zone orange à proximité du poste de travail...

EDF a retenu deux axes d'amélioration de la situation : d'une part une démarche globale d'identification, de réduction et de protection des points irradiants qualifiés de « points chauds » présents dans les installations, d'autre part, pour chaque chantier, le renforcement de la préparation des activités susceptibles d'exposer des intervenants non-CDI. En outre, EDF a mis en œuvre des parades en vue de prévenir l'accès de ces intervenants en zone orange : le seuil d'alarme des dosimètres des intervenants non-CDI a été abaissé depuis le début de l'année 2010 de 2 à 1,6 mSv/h.

Enfin, les conditions exceptionnelles d'interventions en zone rouge font l'objet de prescriptions renforcées au titre de la réglementation ; les non-respects correspondants, dont les conséquences pourraient être importantes, restent peu nombreux (moins de 5 ESR par an depuis 2008), sans toutefois avoir été complètement éradiqués.

#### Le nombre d'événements liés aux tirs gammagraphiques repart à la hausse

La radiographie gamma ou gammagraphie met en œuvre des sources fortement irradiantes et un écart dans la réalisation d'un tir peut entraîner une exposition importante de travailleurs.

L'IRSN note que le nombre d'événements liés à la réalisation de tirs gammagraphiques a augmenté en 2012 alors qu'il semblait s'être stabilisé au cours des années antérieures.

Les tirs gammagraphiques en salle des machines sont les plus nombreux. Les possibilités d'interactions avec d'autres chantiers sont très élevées et peuvent augmenter dans un contexte perturbé de traitement d'aléas qui entraîne des ajustements du planning au jour le jour. C'est ainsi, par exemple, que des intervenants d'un chantier bruyant de contrôle par ultrasons se sont retrouvés involontairement dans une zone balisée pour un tir radiographique. À la suite de la détection de défauts dans une soudure d'un robinet, plusieurs tirs consécutifs ont été réalisés, chaque tir étant programmé rapidement après le suivant pour réduire la durée du chantier. La phase de préparation de ces tirs étant réduite, le processus associé à chaque tir radiographique n'a été respecté que partiellement : tous les intervenants n'ont pas été correctement informés et la zone balisée a été excessivement étendue, rendant son contrôle plus difficile. La présence du chantier à proximité de la zone balisée n'a pas été détectée et les agents exposés n'ont pas été alertés par les messages sonores qui accompagnent le début des tirs, car ils portaient des protections auditives. Cet exemple illustre la nécessité de rester attentif à la planification et à la coordination des chantiers collatéraux en cas d'aléas.

Les **tirs gammagraphiques** sont effectués à l'aide d'appareils mobiles autoprotégés (blindage au plomb) contenant une source radioactive scellée émettant des rayonnements gamma (généralement de l'iridium 192, du cobalt 60 ou éventuellement du césium 137). La source en position d'utilisation expose un film radiographique d'une manière analogue à une radiographie médicale à l'aide de rayons X. Cette technique constitue un moyen performant et très fréquemment utilisé de contrôle non destructif sur les sites. Elle est également souvent mise en œuvre dans l'industrie classique pour vérifier, par exemple, la qualité des soudures ou détecter un manque de matière dans des tuyauteries.

#### Pas d'évolution dans le nombre de manques dans l'analyse de radioprotection

Le nombre d'ESR liés à une analyse des risques non représentative lors de la préparation de l'intervention est stable depuis 2010 et représente près de 13 % des ESR déclarés.

Avant chaque intervention, un état prévisionnel dosimétrique est établi afin de préciser les risques associés et de mettre en place des dispositions opérationnelles adaptées. Cette préparation rigoureuse est formalisée dans un document appelé « Régime de Travail Radiologique (RTR) » à destination des intervenants. Néanmoins, plusieurs exemples de non-représentativité du RTR par rapport aux conditions radiologiques réelles ont été relevés en 2012. De tels écarts peuvent conduire à une sous-estimation du risque radiologique et donc à la mise en œuvre de dispositions de radioprotection insuffisantes ou inadaptées. De ce fait, la cartographie doit être réalisée de façon rigoureuse pour détecter la présence d'éventuels points chauds et dans la même configuration d'installation que pendant l'intervention pour éviter une mauvaise perception de l'état radiologique.

#### Surveillance dosimétrique des travailleurs

La surveillance de la dosimétrie individuelle est un des éléments du dispositif de radioprotection des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants. Cette dosimétrie a pour objectif de fournir une mesure des doses reçues par l'organisme entier, ce qui permet de vérifier le respect des limites de dose fixées par la réglementation. De plus, elle participe à la mise en œuvre du principe d'optimisation selon lequel les expositions doivent être maintenues au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre (principe ALARA), grâce au suivi des doses individuelles et des doses collectives qui permet de détecter au plus tôt toute dérive des doses reçues lors d'un chantier.

Tout intervenant entrant en zone contrôlée doit être muni de son dosimètre passif et de son dosimètre opérationnel. Or, l'année 2012 a été marquée par une augmentation du non-respect de cette règle essentielle. Toutefois, dans la plupart des cas, l'intervenant se rend compte rapidement et par lui-même de son oubli.

Les appareils mobiles de radioprotection sont également très utiles pour mesurer le niveau de contamination de l'installation et des outillages avant et après une intervention. Le bon fonctionnement de ces appareils doit être contrôlé périodiquement. Une augmentation significative du nombre d'événements liés à un dépassement de la date d'échéance d'un contrôle périodique a été enregistrée en 2012. Un exploitant a détecté jusqu'à 54 appareils



en dépassement d'échéance sur son site en 2012. Ce constat est révélateur d'une désorganisation de la gestion locale des matériels de mesure de radioprotection, matériels dont l'objectif est d'éviter aux intervenants une exposition anormale aux rayonnements ionisants.

EDF réalise annuellement un bilan des expositions reçues dans ses installations par ses personnels et par les prestataires à partir des résultats de la dosimétrie opérationnelle. Alors que l'année 2011 avait été marquée par une augmentation de la dose collective, celle-ci retrouve en 2012 un niveau comparable à 2010 (0,67 H.Sv/réacteur en 2012 contre 0,71 H.Sv/réacteur en 2011 et 0,62 H.Sv/réacteur en 2010), en lien avec la baisse du nombre des opérations de maintenance par rapport à 2011.

Pour ce qui concerne les doses individuelles, il est à noter que la majorité de la population exposée a reçu, sur 12 mois glissants, une dose efficace inférieure à la limite de dose fixée pour les personnes du public (1 mSv). Par ailleurs, aucun travailleur exposé n'a reçu de dose individuelle comprise entre 16 et 20 mSv (limite réglementaire) sur 12 mois glissants contre 2 en 2011. Cela pourrait être un effet bénéfique de l'abaissement du seuil de pré-alerte en dose individuelle de 16 à 14 mSv, qui restera à vérifier sur l'année 2013.

En ce qui concerne le personnel salarié d'EDF potentiellement exposé, d'après le bilan annuel établi par l'IRSN à partir des données de la dosimétrie externe passive de 2012, 90 % des travailleurs ont reçu une dose individuelle inférieure à 1 mSv, la dose individuelle moyenne étant de 0,29 mSv (0,30 mSv en 2011).

Le suivi de l'exposition interne des travailleurs intervenant dans les centrales nucléaires est en très grande partie réalisé à l'aide d'examens anthroporadiométriques. L'effectif suivi en 2012 (personnels d'EDF et personnels des prestataires) a augmenté de 13 % par rapport à 2011. Ainsi, 174 270 examens anthroporadiométriques ont été réalisés dans le cadre de la surveillance de routine, 6309 dans le cadre d'un suivi particulier. 0,3 % de l'ensemble de ces examens ont confirmé la contamination interne.

↳ La **dosimétrie individuelle** comporte une dosimétrie externe et une dosimétrie interne.

\*La **dosimétrie externe** consiste à mesurer les doses reçues par une personne exposée dans un champ de rayonnement (rayons X, gamma, bêta, neutroniques) généré par une source extérieure. Les dosimètres portés par les travailleurs permettent de connaître les doses reçues par le corps entier, soit en différé après lecture dans un laboratoire agréé (« dosimétrie passive »), soit en temps réel (« dosimétrie opérationnelle »). Le dosimètre opérationnel est équipé d'une alarme sonore et visuelle qui prévient l'agent de sa présence dans un champ de rayonnement dépassant certains seuils fixés au préalable afin de détecter une situation anormale.

\*La **dosimétrie interne** permet d'évaluer la dose reçue suite à l'incorporation de substances radioactives (inhalation, ingestion). Cette dosimétrie est assurée par des examens anthroporadiométriques (mesures directes de la contamination interne) et des analyses radiotoxicologiques.