



RAPPORT N°313

**ETUDE DES REGLES ET PRATIQUES EN VIGUEUR
A L'ETRANGER EN MATIERE DE DELIMITATION
ET D'ACCES AUX ZONES REGLEMENTEES AU
TITRE DE LA RADIOPROTECTION**

RAPPORT FINAL

HORS ANNEXES

C. SCHIEBER, P. CROÛAIL, L.-A. BELTRAMI, C. REAUD

Juin 2013

SIEGE SOCIAL ET ADMINISTRATIF :

Expansion 10 000 - 28 rue de la Redoute - F-92260 FONTENAY-AUX-ROSES
TEL : +33 1 55 52 19 20 FAX : +33 1 55 52 19 21
E-MAIL : sec@cepn.asso.fr WEB : <http://www.cepn.asso.fr/>

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	3
2. METHODOLOGIE ADOPTEE	5
3. SYNTHESE DES REGLEMENTATIONS PAR PAYS	7
3.1. Belgique	7
3.2. Espagne	10
3.3. Etats-Unis	12
3.4. Finlande	17
3.5. Royaume-Uni	20
3.6. Suède	25
3.7. Suisse	28
4. ETUDES DE CAS	33
4.1. Cas n° 1 : Salle contenant une boîte à gants	33
4.2. Cas n°2 : Grand hall comportant des « points chauds » avec couloir adjacent	37
4.3. Cas n°3 : Parking d'entreposage temporaire (emballages de combustibles usés)	40
4.4. Cas n°4 : Utilisation intermittente d'un générateur à rayons X	42
4.5. Cas n°5 : Utilisation d'un faisceau de rayonnement intense	46
4.6. Cas n°6 : Atelier en cours de démantèlement	47
4.7. Cas n°7 : Laboratoire où est manipulé de l'iode 131 radioactif	50
4.8. Cas n°8 : Utilisation d'un appareil mobile de radiographie industrielle	53
5. SYNTHESE	59

REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier les correspondants du réseau ALARA Européen (EAN) et du système ISOE pour leur aide dans la recherche des informations relatives aux différents pays.

Ils remercient en particulier Mme Maaret Lehtinen de l'Autorité de Sureté et de Radioprotection (STUK) de Finlande, M. Nicolas Stritt de l'Office Fédéral de Santé Publique (OFSP) de Suisse et M. Gareth Thomas de la Direction de la Santé et de la Sécurité (HSE) du Royaume-Uni, pour leur collaboration active à la réalisation des études de cas.

1. INTRODUCTION

Dans le contexte actuel de révision des exigences européennes en matière de radioprotection, et notamment dans la perspective des travaux de transposition de la nouvelle directive EURATOM relative aux normes de base de radioprotection, la Direction générale du travail (DGT) et l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) ont saisi les groupes permanents d'experts en radioprotection (GPRAD et GPMED), pour que soit engagée, au sein d'un groupe de travail ad hoc (ci-après nommé « GT zonage »), une réflexion prospective en matière de délimitation et d'accès aux zones réglementées.

Dans le but d'alimenter sa réflexion, le « GT zonage » souhaitait disposer d'éléments sur les réglementations et pratiques à l'étranger sur des situations d'exposition problématiques dans différents domaines d'activité (nucléaire, industriel, recherche, médical, transport, naturel renforcé). Cette étude a été confiée au CEPN.

Cette note présente une synthèse des règles applicables dans sept pays en matière de délimitation et d'accès aux zones réglementées au titre de la radioprotection. Ces pays sont les suivants : Belgique, Espagne, Etats-Unis, Finlande, Royaume-Uni, Suède et Suisse. Les fiches détaillées de chaque pays sont présentées en Annexe

Sur la base de ces synthèses, 3 pays ont été sélectionnés pour appliquer leurs règles ainsi que les pratiques en vigueur sur une dizaine de cas particuliers représentatifs de situations d'expositions élaborés par le « GT zonage ». Ces trois pays sont : la Finlande, le Royaume-Uni et la Suisse. Les études de cas appliquées à chacun pays sont présentées en deuxième partie de cette note.

2. METHODOLOGIE ADOPTEE

Pour chaque pays sélectionné, les textes réglementaires relatifs à la radioprotection des travailleurs et traitant du zonage ont été identifiés par une recherche internet, complétée par des contacts directs avec les correspondants du réseau ALARA Européen et du réseau ISOE (réseau d'exploitants de centrales nucléaires et d'autorités de sûreté). Les autorités de sûreté de certains pays et/ou les sociétés professionnelles ont également publiés des guides complémentaires destinés à faciliter l'application de la réglementation. Les guides donnant des compléments sur le zonage ont été identifiés et intégrés dans l'étude.

Une « Fiche Pays » a été élaborée pour chaque pays, en reprenant la structure de l'Arrêté Zonage français et en tâchant d'identifier les éléments correspondants dans les réglementations ou les guides. Les données spécifiques au domaine nucléaire et/ou au domaine médical sont séparées de celles de la réglementation générale.

Dans un deuxième temps, les études de cas élaborées par le GT zonage ont été appliquées à trois pays : Finlande, Royaume-Uni et Suède. A cette fin, le CEPN a travaillé directement avec les correspondants des autorités de sûreté des pays concernés.

3. SYNTHÈSE DES RÉGLEMENTATIONS PAR PAYS

Cette section présente les principaux éléments de réglementation relatifs au zonage dans les pays étudiés. Elle est principalement consacrée aux critères de désignation des zones. Les détails concernant les accès aux zones, leur délimitation, leur signalisation et les citations de réglementation sont précisés dans chaque fiche pays.

Les réglementations des pays étudiés faisant toutes référence aux valeurs des limites de dose des travailleurs dans leur critère de zonage, le Tableau 1 ci-dessous présente les limites adoptées dans chaque pays.

Tableau 1. Limites de dose pour les travailleurs dans les 7 pays étudiés

	Limite de dose efficace	Limite de dose équivalente
- Belgique	20 mSv sur 12 mois glissants	Pour chaque organe ou tissu : 500 mSv sur 12 mois glissants Cristallin : 150 mSv sur 12 mois glissants Peau : 500 mSv sur 12 mois glissants Extrémités : 500 mSv sur 12 mois glissants
- Royaume-Uni - Suisse	20 mSv par année calendaire	Cristallin : 150 mSv par année calendaire Peau : 500 mSv par année calendaire Extrémités : 500 mSv par année calendaire
- Espagne - Finlande - Suède	50 mSv par année calendaire et 100 mSv sur 5 années calendaires	Cristallin : 150 mSv par année calendaire Peau : 500 mSv par année calendaire Extrémités : 500 mSv par année calendaire
- Etats-Unis	50 mSv par année calendaire	Pour chaque organe ou tissu : 500 mSv par année calendaire Cristallin : 150 mSv par année calendaire Peau : 500 mSv par année calendaire Extrémités : 500 mSv par année calendaire

3.1. Belgique

La réglementation belge relative à la désignation de zones réglementées s'appuie sur l'Arrêté Royal du 20/07/01 portant règlement général de la population, des travailleurs et de l'environnement contre le danger des rayonnements ionisants, qui concerne tous les secteurs d'activité.

Des éléments complémentaires sont fournis dans le domaine médical par deux guides publiés par l'Autorité de sûreté (AFCN) et un guide publié par le Conseil supérieur d'Hygiène.

En ce qui concerne le domaine nucléaire, les principaux éléments nous ont été fournis par la centrale nucléaire de Doel. Il n'existe pas de guide spécifique destiné aux exploitants édicté par l'Autorité de Sûreté belge.

3.1.1. Réglementation générale

La création d'une zone contrôlée dans la réglementation belge a pour but d'assurer la protection des travailleurs et de confiner la contamination potentielle, en mettant notamment en place des réglementations d'accès. Le seul critère chiffré de classification qui apparaît dans la définition des zones est la possibilité de dépasser les valeurs limites annuelles. Des valeurs de débit de dose sont par ailleurs précisées pour la signalisation dans la zone contrôlée. (voir Figure 1).

- **Zone contrôlée** : Zone soumise à une réglementation spéciale pour des raisons de protection contre les rayonnements ionisants et de confinement de la contamination radioactive, et dont l'accès est réglementé. Une zone contrôlée est une zone dans laquelle les 3/10^{ème} des limites de doses annuelles fixées pour les personnes professionnellement exposées sont susceptibles d'être dépassés.
- **Zone surveillée** : Une zone surveillée est une zone dans laquelle un individu pourrait être soumis à une exposition susceptible d'entraîner des doses supérieures à l'une des limites de dose fixées pour les personnes du public et qui n'est pas considérée comme une zone contrôlée.

Au sein de la zone contrôlée, la signalisation doit être différente suivant les niveaux de débit de dose :

- Débit de dose > 1 mSv/h : L'indication « Intensité de radiation très élevée » doit être apportée.
- Débit de dose > 0,2 mSv/h : L'indication « Intensité de radiation élevée » doit être apportée.
- Débit de dose > 20 µSv/h : L'indication « Radiations ionisantes » doit être apportée.

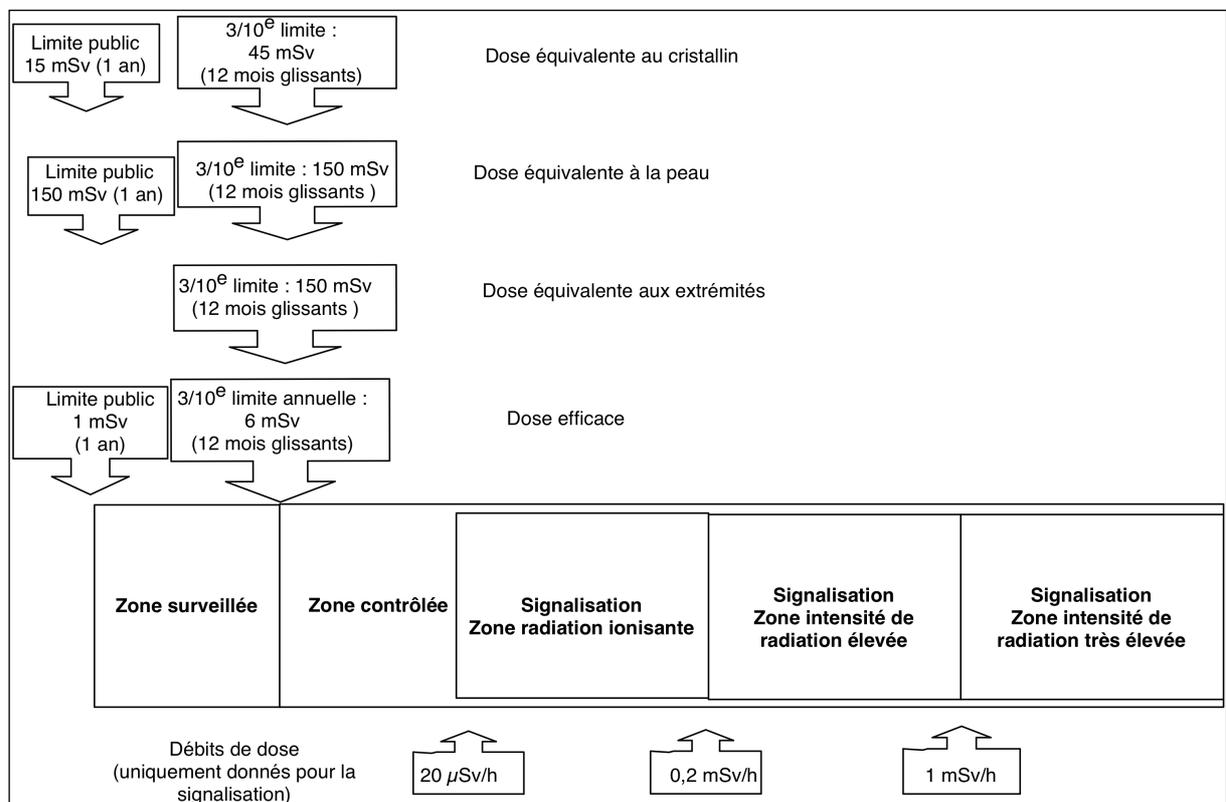


Figure 1. Principe de zonage dans la réglementation belge

3.1.2. Cas de la centrale nucléaire de Doel

La centrale nucléaire de Doel a défini ses critères de zonage pour le risque d'exposition externe en se basant sur les indications de la réglementation (voir Figure 2.) Les couleurs des zones sont spécifiques à la centrale (elles ne sont pas précisées dans la réglementation). A noter que la limite basse de la zone contrôlée (3 $\mu\text{Sv/h}$) a été définie en considérant une présence maximum de 2000 h par an pour un travailleur (le respect de la réglementation donne ainsi : $(3/10 \times 20 \text{ mSv}) / 2000 \text{ h} = 0,003 \text{ mSv/h}$).

Un zonage complémentaire est réalisé en cas de contamination surfacique (voir Figure 3).

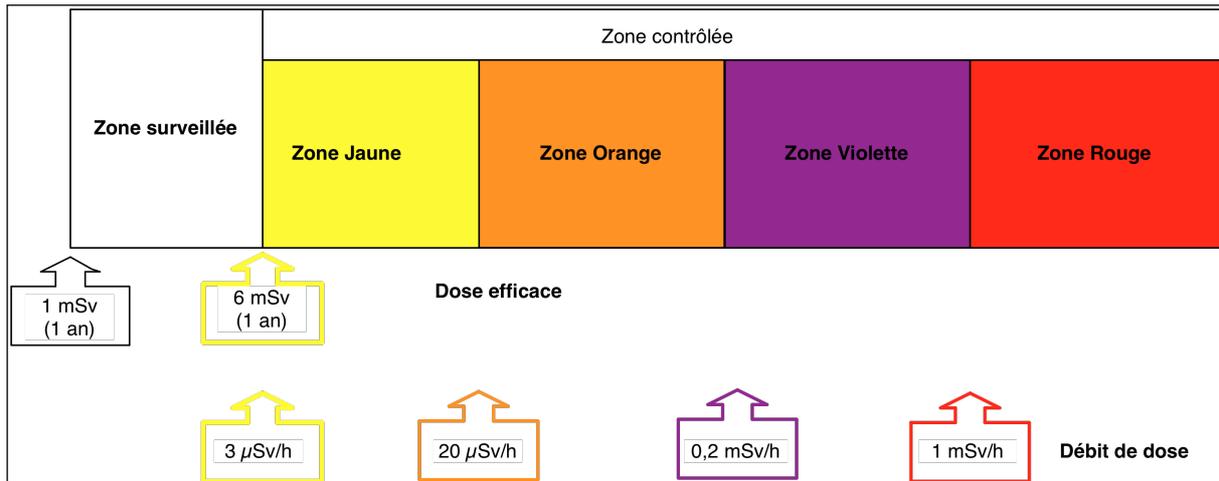


Figure 2. Règles de zonage de la centrale nucléaire de Doel (irradiation externe)

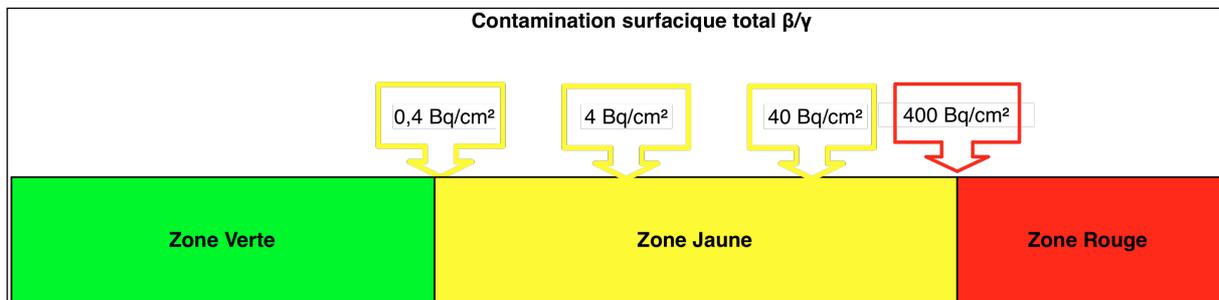


Figure 3. Règles de zonage de la centrale nucléaire de Doel (contamination surfacique)

3.2. Espagne

3.2.1. Réglementation générale

La réglementation espagnole concernant la classification des zones réglementées est inscrite dans la Réglementation sur la Protection Sanitaire contre les Rayonnements Ionisants et le Décret Royal d'application 738/2001. La réglementation relative au zonage concerne tous les secteurs d'activité.

La classification des zones de travail en différents types de zones doit être réalisée après une analyse de risque, en prenant en compte :

- l'évaluation prévisionnelle des doses annuelles,
- le risque de dispersion de la contamination,
- la probabilité et l'amplitude des expositions potentielles.

Les zones surveillées et contrôlées sont désignées sur la base du critère de dose pouvant être reçue sur une année (critère quantifié) ainsi que sur un critère plus qualitatif de « nécessité de suivre des procédures de travail spécifiques pour réduire l'exposition aux rayonnements, éviter de disperser la contamination ou éviter des expositions accidentelles ». Par ailleurs, au sein de la zone contrôlée, trois zones de séjour limité, réglementé ou interdit, peuvent être définies en fonction de la potentialité de dépasser les limites de dose respectivement sur une année, sur une plus courte période ou en une seule exposition (voir Figure 4).

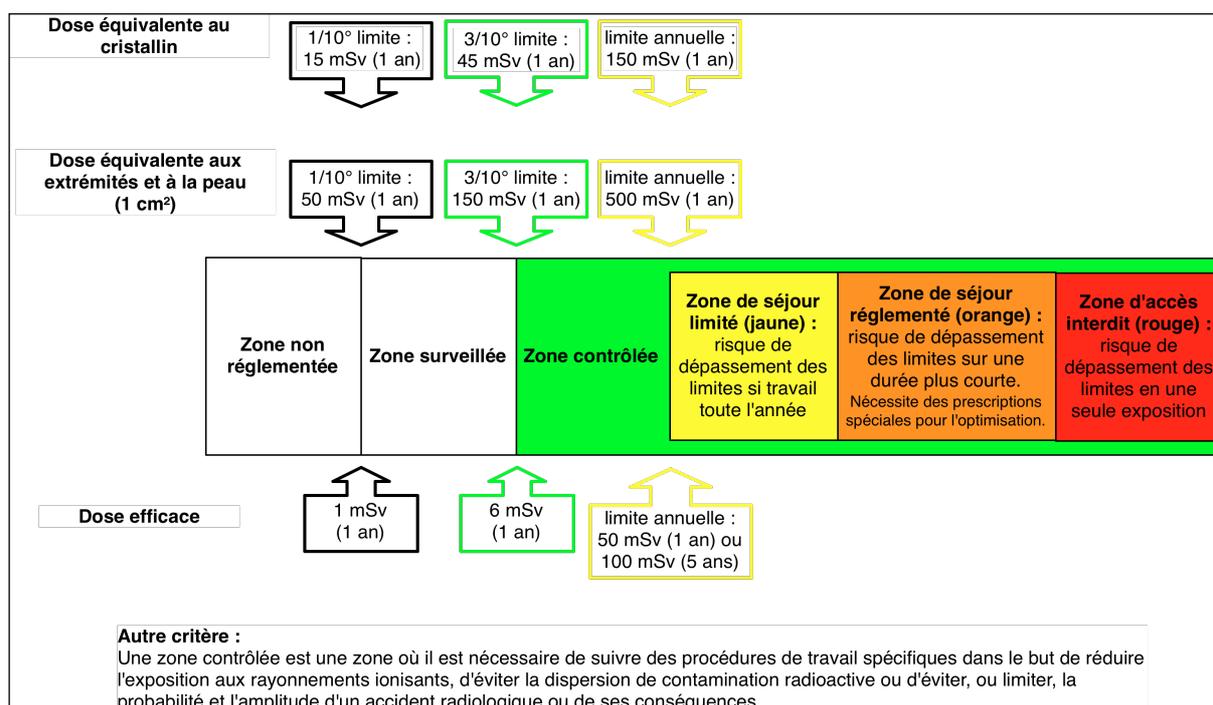


Figure 4. Règles de zonage dans la réglementation espagnole

3.2.2. Application au domaine nucléaire

Dans le domaine nucléaire, un groupe de travail initié par le CSN (Autorité de sûreté et de radioprotection espagnole) avec des représentants des exploitants (UNESA) a élaboré un guide de radioprotection, devant être suivi par les exploitants pour la rédaction de leur manuel de radioprotection. Ce guide précise quelques éléments sur le zonage. Les données ont été complétées par des contacts directs avec le manager radioprotection de la centrale de Almaraz, qui a fourni également des procédures de sa centrale.

Le zonage radiologique est défini en fonction du risque d'exposition externe, de la contamination surfacique et de la contamination atmosphérique. C'est le critère le plus élevé qui définit la zone. Toutefois, en cas de risque conjoint (exposition externe et contamination par exemple), les deux risques sont signalés.

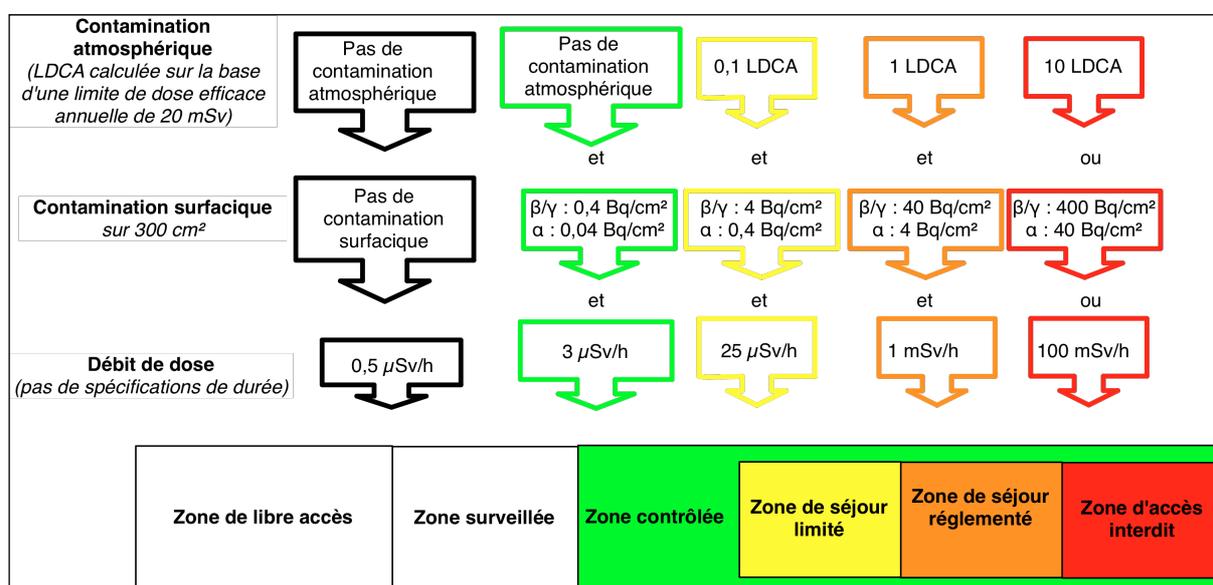


Figure 5. Règles de zonage à la centrale nucléaire d'Almaraz

3.2.3. Application dans le domaine médical

Dans le domaine médical, un « manuel de radioprotection » a été édité par le CSN destiné à indiquer les règles à appliquer en matière de radioprotection dans les établissements de santé. Ceux-ci ont en effet pour obligation de rédiger un tel manuel pour leurs installations.

Les critères de classement des zones cités dans le manuel de radioprotection médicale du CSN sont ceux définis dans la réglementation générale pour les zones surveillées et contrôlées. Une classification particulière est par ailleurs proposée :

Radiologie conventionnelle

- Zone surveillée : poste de contrôle protégé par une barrière physique
- Zone contrôlée : intérieur de la salle de radiographie

Radiologie interventionnelle

- Zone surveillée : poste de contrôle protégé par une barrière physique
- Zone de séjour limité : à l'intérieur de la salle

La classification des générateurs de rayons-X est valable uniquement durant le fonctionnement des appareils. La salle est libre d'accès si l'appareil ne fonctionne pas. Une signalisation spécifique doit être mise en place pour le zonage, pour indiquer les règles de zonage en fonction de l'état de l'installation.

Téléthérapie

Pendant le fonctionnement des équipements

- Zone surveillée : poste de contrôle
- Zone interdite d'accès : intérieur de la chambre

Quand les équipements ne sont pas utilisés

- Zone de libre accès : poste de contrôle
- Zone contrôlée : intérieur de la chambre

Brachythérapie

- Zone contrôlée : local de préparation des sources et accès aux chambres
- Zone de séjour limité : chambres avec des patients porteurs de sources

Médecine nucléaire

- Zone surveillée : stockage de déchets radioactifs
- Zone de séjour limité : chambres avec des patients en cours de traitement métabolique
- Zone contrôlée : chambre chaude, zone d'administration des doses, zones de circulation et de séjour des patients qui ont reçu une injection

3.3. Etats-Unis

La réglementation américaine relative à la classification des zones contrôlées et surveillées est inscrite dans le U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) Regulations Title 10, Code of Federal Regulations – Part 20 – Standards for protection against radiations (10 CFR 20). Elle concerne tous les types d'installations.

Pour renforcer la réglementation, des guides réglementaires sont publiés par la NRC. En ce qui concerne l'industrie nucléaire, un guide (*Regulatory guide 8.38*) précise les conditions d'accès dans les zones de rayonnement élevé et très élevé, complétant ainsi la réglementation 10 CFR 20. De plus, chaque exploitant de centrale nucléaire dispose de ses propres procédures internes : celles d'Exelon (centrales de Braidwood, ...) et d'AEP (centrale de Cook) sont présentées succinctement dans la fiche pays relative aux Etats-Unis.

L'évaluation des risques est de la responsabilité du titulaire de l'autorisation (*licensee*). Cette évaluation permet d'effectuer des activités présentant un risque dû aux rayonnements ionisants. Chaque titulaire doit faire, ou faire faire, des contrôles préliminaires pour :

- vérifier que la réglementation 10 CFR 20 est respectée; et
- évaluer les niveaux de radioactivité, les concentrations ou quantités de matière radioactives et les risques radiologiques potentiels

3.3.1. Réglementation générale concernant le zonage

La réglementation 10 CFR 20 définit différents types de zone et leurs caractéristiques. A noter que ces types de zones ne sont présentés que dans le glossaire du 10 CFR20.

Les zones se rapprochant de la définition européenne de zones surveillées et contrôlées sont les suivantes (voir également Figure 6):

Zone d'accès restreint

Zone dont l'accès est limité par le titulaire afin de protéger les individus contre les risques liés à l'exposition aux rayonnements ou aux matières radioactives. Les zones d'accès restreint ne peuvent pas englober des espaces résidentiels, cependant, dans un bâtiment résidentiel des salles séparées peuvent être classées en zone d'accès restreint.

Cette zone étant destinée à protéger les personnes contre les rayonnements ou la contamination, mais de façon très générique (sans critères de désignation), on peut penser qu'elle s'apparente à une « zone surveillée ».

Zone d'accès non restreint

Zone dont l'accès n'est ni limité, ni contrôlé par le titulaire de l'autorisation.

Zone de rayonnement

Zone accessible aux individus où les niveaux de rayonnement provenant de sources externes au corps peuvent donner lieu à une dose équivalente reçue par un individu supérieure à 0,05 mSv en 1 heure à 30 cm de la source de rayonnements ou 30 cm de toute surface pénétrée par les rayonnements.

Zone de rayonnement élevé

Zone accessible aux individus où les niveaux de rayonnements provenant de sources externes au corps peuvent donner lieu à une dose équivalente reçue par un individu supérieure à 1 mSv en 1 heure à 30 cm de la source de rayonnement ou 30 cm de toute surface pénétrée par les rayonnements.

Zone de rayonnement très élevé

Zone accessible aux individus où les niveaux de rayonnements provenant de sources externes au corps peuvent donner lieu à une dose absorbée reçue par un individu supérieure à 5 Gy en 1 heure à 1 mètre de la source de rayonnement ou 1 mètre de toute surface pénétrée par les rayonnements.

Zone de radioactivité dans l'air

Salle, enceinte ou zone dans laquelle des particules radioactives, sont à des concentrations :

- supérieures aux limites dérivées de concentration dans l'air (LDCA¹) spécifiées à l'annexe B, §§20.1001 à 20.2401, ou donnant lieu à une incorporation de plus de 0,6% de la limite annuelle d'incorporation (LAI) ou plus de 12 LDCA-heures pour une personne présente pendant 1 semaine sans équipement de protection respiratoire.

Ces trois « zone de rayonnement » ainsi que la « zone de radioactivité dans l'air » s'apparentent aux différents types de zones contrôlées que l'on rencontre dans d'autres pays.

¹ Aux Etats-Unis, la LDCA et la LAI sont calculées sur la base d'une limite de dose annuelle de 50 mSv.

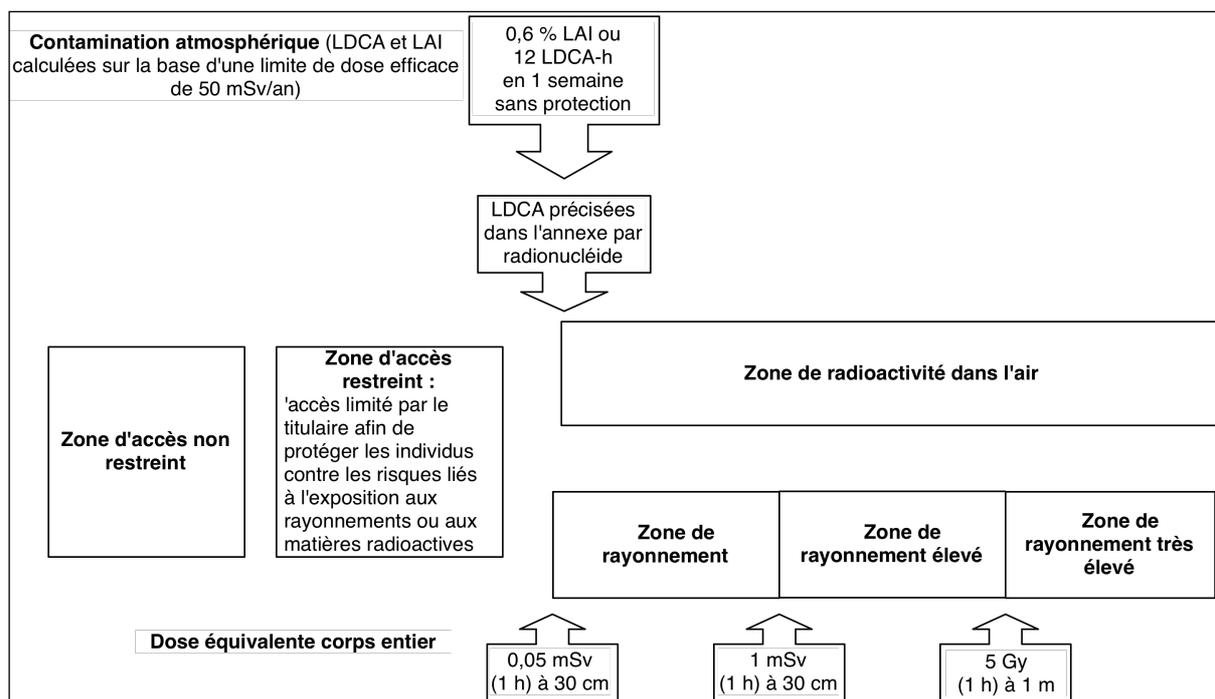


Figure 6. Règles de zonage dans la réglementation américaine

Le titulaire doit s'assurer que chaque entrée ou point d'accès à une zone de rayonnement élevé possède une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- un dispositif de contrôle qui, dès l'entrée dans la zone, provoque une réduction du niveau de rayonnement en dessous du niveau pouvant impliquer qu'un individu reçoive une dose équivalente de 1 mSv en 1 h à 30 cm de la source de rayonnement ou de toute autre surface pénétrée par le rayonnement;
- un dispositif de contrôle qui active un signal d'alarme visible ou audible pour que la personne entrant dans la zone de rayonnement élevé et le superviseur de l'activité soient conscients qu'ils entrent dans ce type de zone, ou
- des entrées verrouillées, sauf lorsque l'accès aux zones est requis nécessitant un contrôle efficace lors de chaque entrée.

En ce qui concerne les zones de rayonnement très élevé, en plus des exigences concernant les zones de rayonnement élevé citées précédemment, le titulaire doit mettre en place des mesures supplémentaires pour s'assurer qu'un individu n'est pas en mesure d'accéder sans autorisation ou par inadvertance dans des zones où les niveaux de radiation pourraient être supérieurs ou égaux à 5 Gy/h à 1 m d'une source de rayonnement ou de toute autre surface par laquelle le rayonnement pénètre.

3.3.2. Règles de zonage à la centrale nucléaire de Cook

La centrale nucléaire de Cook a défini les zones suivantes (voir Figure 7 à Figure 9)

Zone d'accès restreint (Restricted area)

Cette zone concerne :

- toutes les zones dans lesquelles sont stockées, manipulées ou traitées des matières radioactives, ou les zones dans lesquelles les débits de dose sont supérieurs ou égaux à 15 μ Sv/h.
- toutes les zones dont l'accès est contrôlé afin de protéger les individus contre les risques d'exposition aux rayonnements et/ou matières radioactives.

Zone contenant des matières radioactives – RMA (Radioactive Material Area)

Zone de rayonnement

Cette zone concerne toutes les zones où le débit de dose est supérieur ou égal à 45 $\mu\text{Sv/h}$ à 30 cm et est inférieur à 0,9 mSv/h à 30 cm.

Zone de rayonnement élevé

Cette zone concerne toutes les zones où le débit de dose est supérieur ou égal à 0,9 mSv/h à 30 cm et inférieur à 9 mSv/h à 30 cm.

Zone de rayonnement élevé fermée (LHRA) (Locked High Radiation Area)

Cette zone concerne toutes les zones où le débit de dose est supérieur ou égal à 9 mSv/h à 30 cm et inférieur à 5 Gy/h à 1 mètre.

Zone de rayonnement très élevé fermée (LVHRA) (Locked Very High Radiation Area)

Cette zone concerne toutes les zones où le débit de dose est supérieur ou égal à 5 Gy/h à 1 mètre.

Zone d'exposition aux neutrons (NEA) (Neutron Exposure Area)

Cette zone concerne toutes les zones où le débit de dose du au rayonnement neutron est supérieur ou égal à 20 mSv/h.

Zone de contamination (CA) (Contaminated Area)

Cette zone concerne toutes les zones dans lesquelles la contamination surfacique libre dépasse l'une des limites suivantes :

- supérieure ou égale à 1000 dpm²/100 cm² (16,7 Bq/100 cm²) et inférieure à 100000 dpm/100 cm² (1,6 kBq/100 cm²) d'activité beta-gamma, ou
- supérieure ou égale à 20 dpm/100 cm² (0,3 Bq/100 cm²) de radioactivité alpha.

Zone de radioactivité dans l'air

Cette zone concerne toutes les zones pour lesquelles l'une des conditions suivantes est remplie :

- la somme des concentrations de radioactivité dans l'air en particules, iode et tritium est supérieure ou égale à 0,3 LDCA, ou
- la somme des concentrations en particules, iode, tritium et gaz noble est supérieure ou égale à 1,0 LDCA.

Zone de contamination élevée (HCA) (High Contamination Area)

Cette zone concerne toutes les zones où les niveaux de concentration de contamination non fixée sont supérieurs ou égaux à 100 000 dpm/100 cm² (1,6 kBq/100 cm²) d'activité beta-gamma.

Point chaud (Hot Spot)

Un point est désigné "chaud" lorsque des composants à portée de main présentent des débits de dose supérieurs ou égaux à 1 mSv/h au contact et cinq fois supérieurs au débit de dose ambiant à 30 cm.

² Désintégration par minute

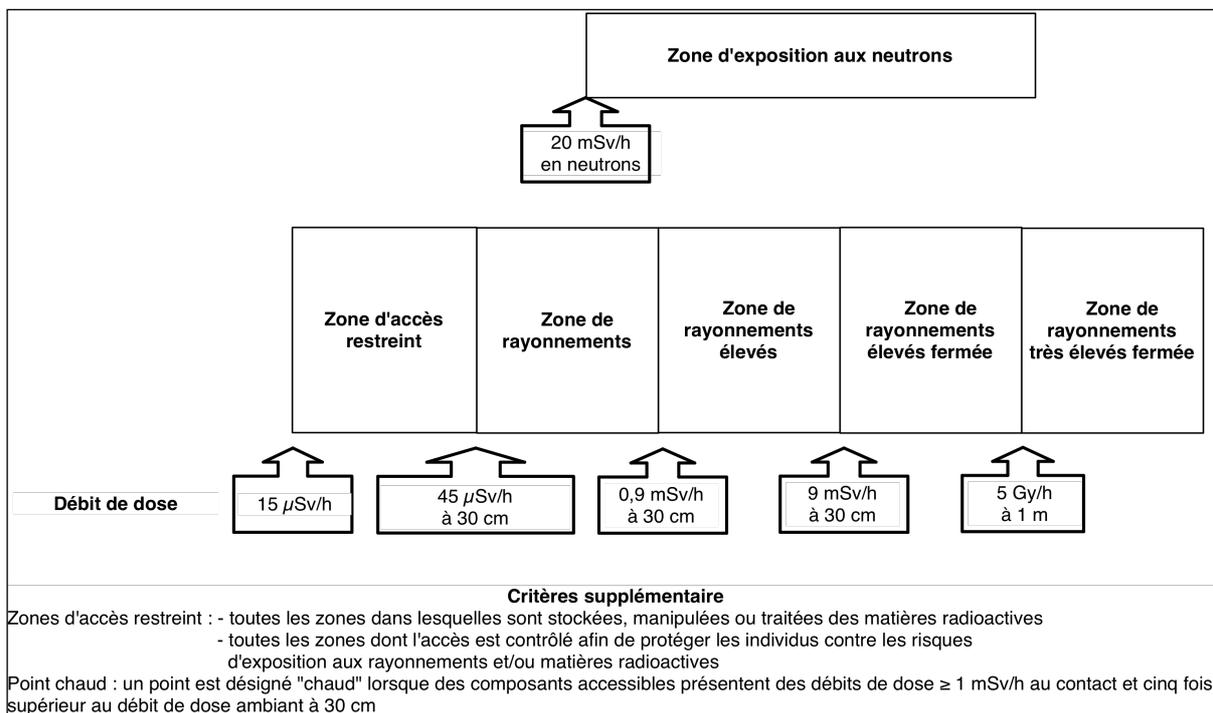


Figure 7. Règles de zonage à la centrale nucléaire de Cook (exposition externe)

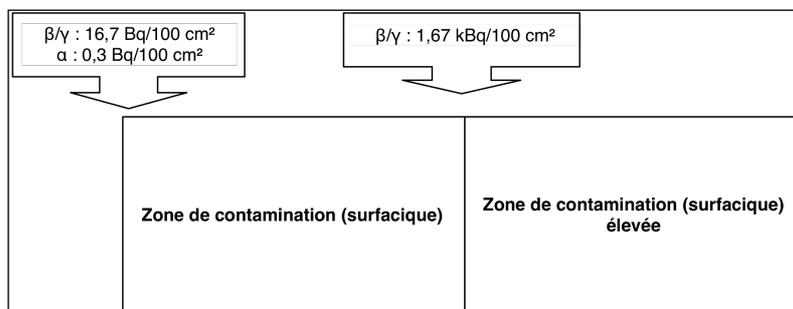


Figure 8. Règles de zonage à la centrale nucléaire de Cook (contamination surfactive)

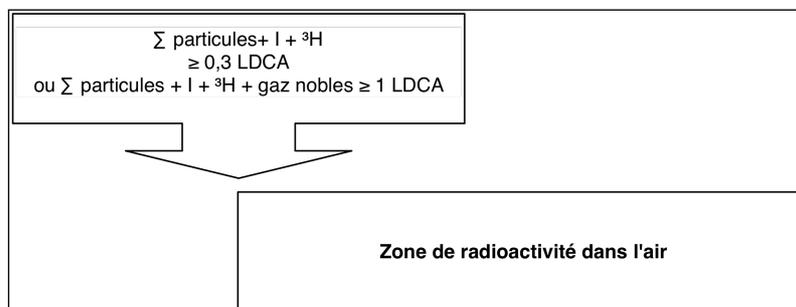


Figure 9. Règles de zonage à la centrale nucléaire de Cook (contamination atmosphérique)

Chaque entrée en LHRA ou VHRA doit être contrôlée par une fermeture et une clé unique, spécifique à cet accès. Le mécanisme de fermeture peut consister en :

- un mécanisme interne de verrouillage installé dans la porte/portail, à condition que le système électronique de contrôle de verrouillage ait été désactivé pour cette porte/portail,
- un mécanisme de verrouillage externe (chaîne et cadenas, loquet et serrure, barre et serrure) ou d'autres mécanismes approuvés par un superviseur RP.

Le mécanisme de contrôle électronique de fermeture ne doit pas être utilisé comme unique mécanisme de contrôle pour les accès aux zones LHRA ou VHRA.

Si l'accès à une zone LHRA ne peut pas être fermé physiquement par un système de verrouillage et de clef, il faut alors la signaler ainsi :

- délimiter la zone (barrière physique ou corde)
- signaler de manière visible tous les côtés accessibles
- installer un système lumineux clignotant ou garder continuellement l'accès à la zone.

3.4. Finlande

La réglementation finlandaise relative à la désignation des zones réglementées est inscrite dans le Radiation Act qui concerne l'utilisation de tous les rayonnements (ionisants ou non) et les autres pratiques qui entraînent ou peuvent entraîner l'exposition à des rayonnements dangereux pour la santé humaine. Cette réglementation générale est peu prescriptive: elle est complétée par deux guides réglementaires qui précisent la gestion des zones surveillées et contrôlées ainsi que la signalétique à utiliser : le guide ST 1.3 "*Warning Signs for radiation sources*" et le guide ST 1.6 "*Operational Radiation Safety*".

Pour renforcer et préciser la mise en œuvre de la réglementation dans différents secteurs, des guides ont été publiés par les autorités (STUK). Ils s'appuient sur les guides ST 1.3 et ST 1.6 mais précisent des spécificités du domaine traité. A noter en particulier les guides suivants :

- ST 2.2 "Radiation safety of radiotherapy equipment and treatment rooms"
- ST 3.6 "Radiation safety in X-ray facilities"
- ST 5.6 "Radiation safety in industrial radiography"
- ST 6.1 "Radiation safety when using unsealed sources"

Dans l'industrie nucléaire, un guide spécifique a été publié par les autorités : YVL 7.9 "*Radiation protection of workers at nuclear facilities*".

3.4.1. Règles de zonage dans la réglementation générale

La classification des zones se fait en fonction :

- De la nature de l'utilisation des sources de rayonnement utilisées,
- Des doses annuelles estimées dues à la pratique
- Des risques de contamination,
- Des expositions potentielles.

De plus, une attention particulière doit être portée à la possibilité de survenue d'événements anormaux pouvant donner lieu à des expositions plus élevées que celles observées en situation normale.

Les zones surveillées et contrôlées sont désignées sur la base du critère de dose pouvant être reçue sur une année (critère quantifié) ainsi que sur un critère plus qualitatif de nécessité mettre en place des

règles de sûreté et des procédures spéciales en raison des risques d'expositions externe ou de contamination (voir Figure 10).

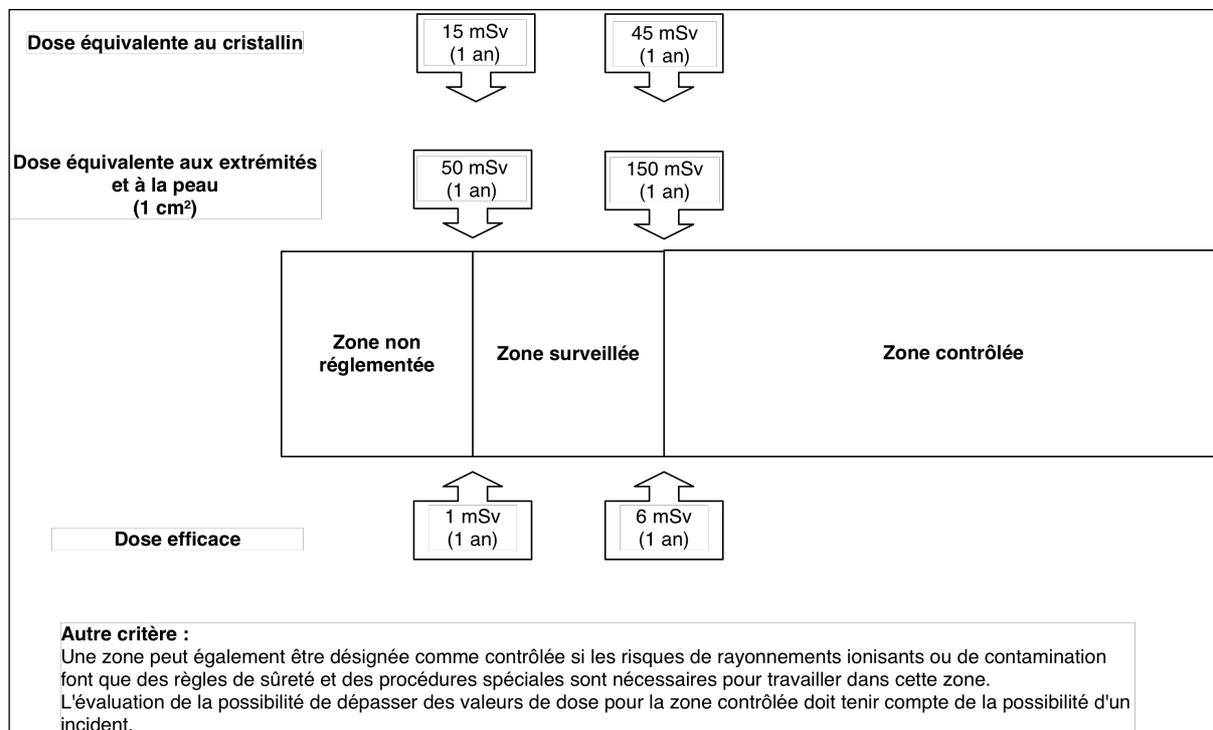


Figure 10. Règles de zonage dans la réglementation finlandaise

3.4.2. Règles de zonage dans l'industrie nucléaire

Des critères supplémentaires sont définis dans le guide YVL 7.9 en ce qui concerne les zones surveillées et contrôlées dans les installations nucléaires. La délimitation des zones surveillées et contrôlées doit être réalisée après des mesures systématiques de débit de dose, de contamination surfacique et de contamination atmosphérique (voir Figure 11).

Le débit de dose externe, la contamination surfacique ou la concentration en activité atmosphérique peut localement excéder la limite de classification si la sous-zone en question est séparée par des barrières d'accès et est marquée par une signalisation indiquant la situation radiologique, les limites potentielles de durée de présence des travailleurs à l'intérieur de la zone et les équipements de protection requis.

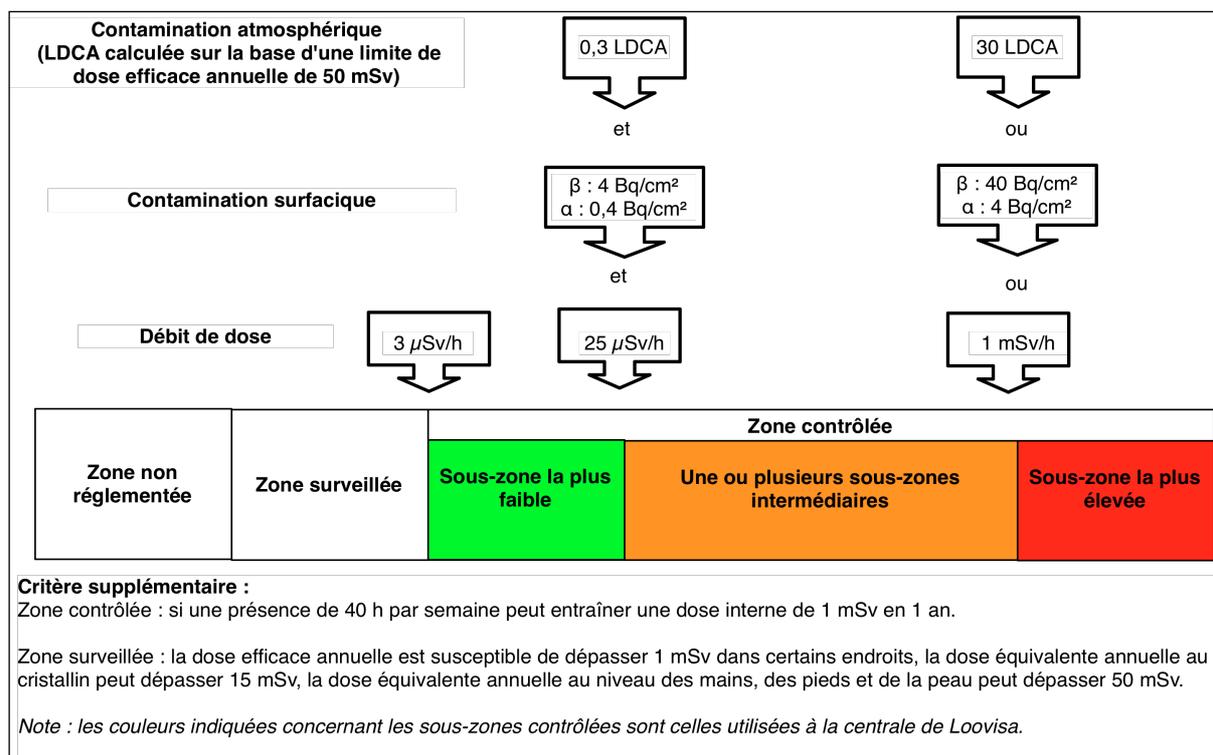


Figure 11. Règles de zonage pour les centrales nucléaires en Finlande

3.4.3. Règles de zonage dans le domaine médical

Les règles du guide général ST 1.6 s'appliquent aussi dans le domaine médical. Ce guide donne notamment des exemples de classification de zone (voir Fiche Pays Finlande du rapport Annexe). On peut citer notamment :

- Equipement fixe à rayons X : la zone contrôlée est la zone proche du patient qui, pendant l'irradiation, est exposée au rayonnement primaire ou au rayonnement diffusé directement par le patient. Le reste de la zone peut être classé en zone surveillée et la salle de commande peut ne pas être classée. Si la salle de commande n'est que partiellement plombée ou ouverte sur les cotés ou au plafond, elle peut être classée en zone surveillée.
- Equipement fixe de fluoroscopie : une salle où un équipement de fluoroscopie fixe est utilisé doit être classée en zone contrôlée pendant l'irradiation. En radiographie interventionnelle par exemple, la salle de commande doit aussi être classée en zone contrôlée si l'appareil de commande est situé dans un espace partiellement plombé ou dans un espace qui est ouvert sur les côtés et le haut.

Le guide spécifique sur la radiothérapie précise que les salles de traitement doivent être classées en zone contrôlée. Les salles adjacentes à la salle de traitement où un travail régulier est effectué doivent être, en général, classées en zone surveillée. Les protections mises en place autour des salles doivent être conçues de sorte que les limites de dose soient respectées. Pour appliquer le principe d'optimisation, les contraintes de dose suivantes sont à respecter :

- 6 mSv sur 1 année dans les salles adjacentes aux salles de traitement classées en zones surveillées,

- 0,3 mSv sur 1 année pour les salles adjacentes non classées en zones surveillées et où des personnes non autorisées n'ont pas de restrictions d'accès.

Des limites basées sur un débit de dose hebdomadaire, dérivées de la contrainte de dose, sont en général utilisées lors de la conception et de la construction des salles de traitement. Ces limites sont :

- pour les zones surveillées : 120 $\mu\text{Sv}/\text{semaine}$,
- pour les autres zones : 6 $\mu\text{Sv}/\text{semaine}$.

De plus la conception de ces salles doit être réalisée de telle sorte que le débit de dose instantané dans les salles adjacentes à la salle de traitement n'excède pas 20 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ dans les zones où des personnes sont présentes ou travaillent régulièrement.

A signaler que pour la mammographie, le guide réglementaire ST 3.2 concernant l'utilisation des appareils de mammographie utilise un critère lié au nombre d'examens pour le classement de la salle : si plus de 4000 examens par an sont réalisés avec un équipement de mammographie, les alentours immédiats dudit équipement doivent être classés en zone surveillée. Si moins d'examens sont réalisés sur une année, un tel classement ne sera pas nécessaire.

3.4.4. Délimitation des zones en radiographie industrielle

Si l'appareil de radiographie est placé dans une enceinte blindée et que son utilisation se fait depuis l'extérieur de cette enceinte, l'enceinte blindée est une zone contrôlée. Le débit de dose à 1 m des murs de l'enceinte doit être inférieur à 7,5 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ quand l'appareil à rayons X est utilisé au maximum de ses paramètres ou quand l'activité maximum disponible est utilisée par l'appareil de gammagraphie.

Dans le cas de radiographie mobile, les zones entourant l'objet à radiographier dont le débit de dose dépasse 60 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ doivent être « isolées » en zones contrôlées. De plus, une zone surveillée doit être mise en place dans les zones où le débit de dose dépasse 7,5 $\mu\text{Sv}/\text{h}$.

3.5. Royaume-Uni

Au Royaume-Uni, les exigences spécifiques à la protection des travailleurs et de la population contre les rayonnements ionisants sont regroupées dans les Règles de l'IRR99 (*Ionising Radiation Regulations 1999*). Pour faciliter la mise en œuvre pratique de l'IRR99, l'autorité britannique en charge de la radioprotection, HSE (*Health and Safety Executive*), a publié un guide d'application (*ACOP - Approved Code of Practice and guidance*) qui analyse en détail et explicite chacune des règles de l'IRR99. Appliquer le « code of practice » permet de satisfaire la réglementation. Les « guidances » sont données en plus, mais on moins de poids que le « code of practice ».

Dans le domaine de l'industrie nucléaire, HSE a publié à destination des inspecteurs des installations nucléaires des principes d'évaluation de la sûreté pour les installations nucléaires (*Safety Assessment Principles - SAP*) afin de les guider dans leur travail d'inspection. Ces SAP représentent les bonnes pratiques à mettre en œuvre du point de vue du NII (*Nuclear Installations Inspectorate - section du HSE*). En support aux SAP, HSE a également publié plusieurs guides techniques (*Technical Assessment Guides - TAG*) détaillant de façon plus opérationnelle les différents principes, tout en restant assez généraux. Le principal TAG précisant des instructions pour le zonage radiologique est le TAG38 portant sur la Radioprotection.

L'application pratique pour le domaine nucléaire est présentée dans cette note à partir du référentiel radioprotection de British Energy, qui présente les engagements pris par cet exploitant auprès de l'autorité sur la mise en œuvre pratique de la réglementation radioprotection.

Dans le secteur médical, un guide sur les bonnes pratiques en termes de radioprotection dans un environnement clinique pour le domaine médical et dentaire [6] a été réalisée conjointement par l'Institut de Physique et d'Ingénierie en Médecine, le National Radiological Protection Board³ (NRPB) et le Health and Safety Executive (HSE) en 2002. Il précise la réglementation IRR99 et indique notamment des critères de délimitations de zone ainsi que les caractéristiques de délimitation, les conditions d'accès dans ces zones spécifiques et les spécificités sur les installations mobiles (appareils radiographiques).

3.5.1. Règles de zonage dans la réglementation générale

La réglementation anglaise précise que l'IRR99 et le code de pratique associé (ACOP) ont pour but de donner un cadre permettant de s'assurer que les expositions professionnelles aux rayonnements ionisants sont maintenues aussi bas que raisonnablement praticable (ALARP) et ne dépassent pas les limites de doses prescrites.

Le code de pratique précise de plus que le principal objectif de la désignation de zones contrôlées est d'aider à s'assurer que les mesures prises pour éviter les accidents et pour mettre en œuvre le principe ALARP sont efficaces. En effet, les zones contrôlées permettent de vérifier qui peut entrer ou travailler dans ces zones et quelles sont les procédures spécifiques à suivre.

Les zones surveillées sont désignées notamment dans des zones où il existe potentiellement un risque de changement de conditions radiologiques pouvant les faire évoluer vers des zones contrôlées.

Toute nouvelle activité impliquant un travail sous rayonnement doit faire l'objet d'une évaluation préalable des risques pour identifier les mesures à prendre pour limiter les expositions.

Le code de pratique précise de plus que l'évaluation des risques pour la délimitation de zones radiologiques doit prendre en compte les facteurs suivants :

- les personnes ayant besoin d'accéder dans la ZC,
- le niveau de surveillance requis,
- la nature des sources radioactives utilisées et l'étendue des travaux dans cette zone,
- les doses externes susceptibles d'être prises par les personnes exposées,
- les périodes d'exposition probables à une exposition externe,
- les méthodes de contrôle physique déjà en place comme les écrans permanents ou les enceintes ventilées,
- l'importance de suivre une procédure de près afin d'éviter de recevoir une exposition significative,
- la probabilité d'accroissement de contamination et de sa dispersion si cette procédure n'est pas suivie strictement,
- le besoin de porter un équipement de protection individuel dans cette zone,
- la dose maximale estimée pour travailler dans cette zone.

En termes de critères quantitatifs, l'IRR99 se base uniquement sur les valeurs limites de dose annuelle des travailleurs pour la désignation d'une zone surveillée ou contrôlée. Le Code of Practice précise des critères de débit de dose externe ou au niveau des mains. (voir Figure 12)

³ Le National Radiological Protection Board (NRPB) est devenu une division de Health Protection Agency (HPA) en 2005 puis a été intégré à Public Health England (PHE) en 2013.

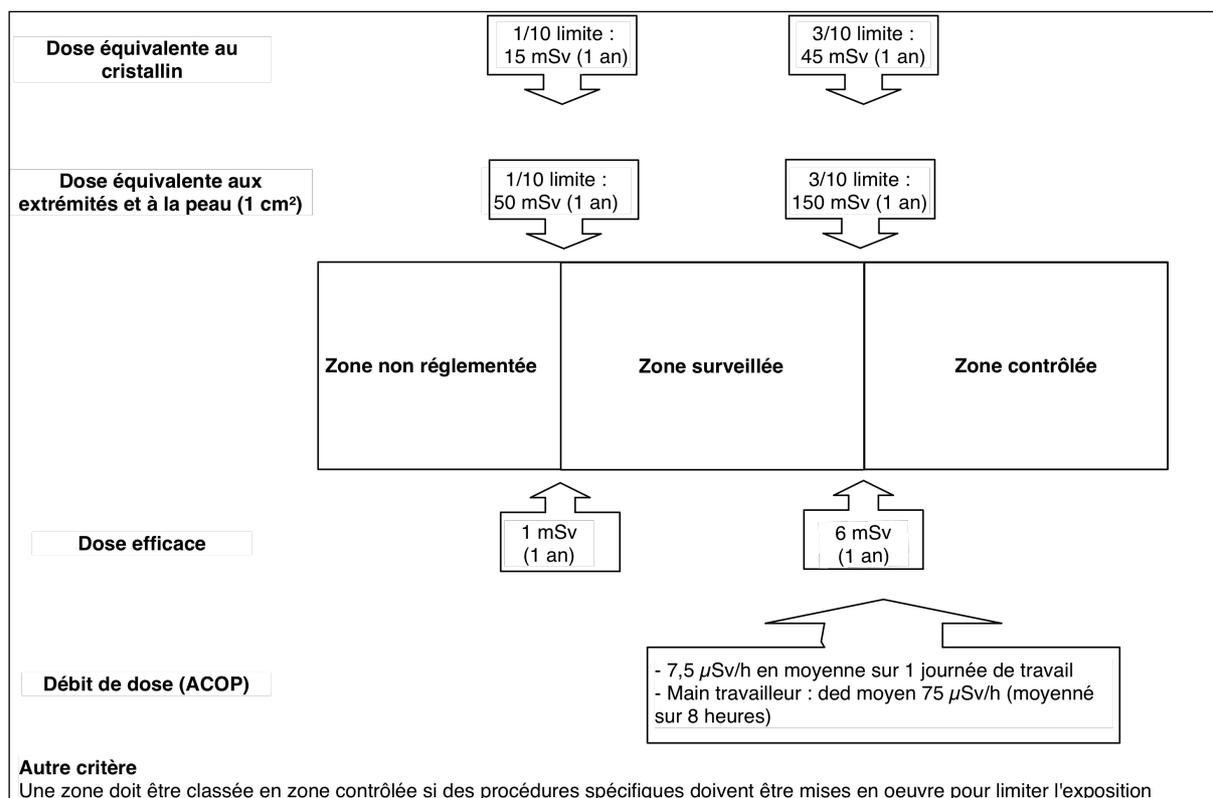


Figure 12. Règles de zonage dans la réglementation du Royaume-Uni

A noter que la valeur de débit de dose de 7,5 µSv/h pour désigner une zone contrôlée provient d'un calcul réalisé alors que la réglementation était encore d'une dose limite annuelle de 50 mSv/an et en considérant le critère de début de zone contrôlée à 3/10^e de la limite de dose annuelle, soit, 15 mSv/an. En considérant 2000 heures de travail par an, on obtient en moyenne 7,5µS/h. Ce critère a été conservé dans le Code of Practice. Ce dernier souligne toutefois qu'il est recommandé de considérer le classement en zone contrôlée toute zone où le un débit de dose externe est, de façon routinière, de plus de 3 µSv/h et où des travailleurs sont présents environ 2000 heures par an. En effet, ils seraient alors susceptibles de dépasser les 6 mSv/an.

Si les périodes durant lesquelles un travail sous rayonnement a lieu sont clairement définies ou sont intermittentes, l'employeur a la possibilité de déclasser la zone initialement désignée comme contrôlée à titre provisoire. Ce déclassement provisoire peut être réalisé si des mesures efficaces sont mises en œuvre afin de supprimer les raisons pour lesquelles la zone considérée était initialement classée comme contrôlée (par exemple, justifié par l'élimination temporaire des sources radioactives présentes dans la zone ou par la désactivation d'un générateur de R-X).

3.5.2. Règles de zonage dans l'industrie nucléaire

En plus des règles de l'IRR99, les « Safety Assessment Principles » (SAP) destinés aux inspecteurs des installations nucléaires et le guide technique [TAG 38] dédié à la radioprotection précisent que, si nécessaire, les zones surveillées ou contrôlées doivent être subdivisées. La subdivision de ces zones doit s'appuyer sur les niveaux d'irradiation, de contamination et d'aérosols. Ces subdivisions doivent s'accompagner de contrôles appropriés, en particulier en relation avec l'accès à la zone, à son taux d'occupation et à l'utilisation d'équipement de protection individuelle. Dans le cas où une fraction significative d'une des limites de dose peut être reçue en quelques minutes, l'accès doit être limité par des mesures physiques, par exemple des cadenas ou des alarmes. Cependant, les SAP ne donnent pas

de données quantitatives. Le TAG38 précise qu'il est nécessaire de définir une catégorisation claire de ces zones ainsi que des moyens de mesures et de protection adaptés à chacune de ces zones. De plus, le classement des zones doit être une indication sur les moyens de contrôles à mettre en œuvre et à adapter en fonction des zones C1, C2, C3, etc. et des zones R1, R2, R3, etc. correspondant respectivement à des niveaux croissants de contamination et d'irradiation.

Règles adoptées par British Energy

British Energy définit deux types de zonage radiologique : un zonage sur le risque d'exposition externe (zone R1 à R4) et un zonage sur le risque de contamination surfacique ou atmosphérique (zone C2 et C3). Les règles de zonage adoptées par British Energy sont expliquées dans un document rédigé par un groupe de co-ordination radioprotection inter-industries (BNFL, British Energy, Nuclear Electric) en 2002. Ce document indique la rationalité apportée pour définir les limites entre les zones surveillées, et les différentes zones contrôlées. (Des extraits sont présentés dans l'annexe de la fiche pays du Royaume-Uni).

Le classement des zones contrôlées pour les rayonnements (*radiation controlled areas*) est réalisé sur la base du débit de dose (voir Figure 13). Si, en raison d'une source localisée, une zone doit être classée en R3 d'après les critères de débit de dose ci-dessous mais que cette zone est restreinte à un rayon de 0,5 m autour de la source alors elle peut être classée en R2. Il conviendra alors d'identifier la présence du débit de dose élevé localement. La même règle s'applique pour un local R3 dans lequel il y aurait une source nécessitant de classer le local en R4.

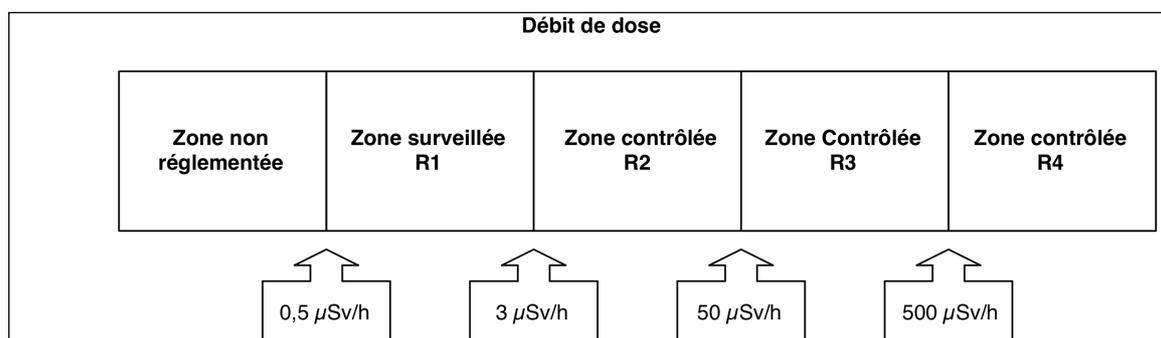


Figure 13. Règles de zonage à la centrale nucléaire de Sizewell (exposition externe)

Le critère de classement des zones contrôlées pour la contamination surfacique (zones C2) est le niveau de contamination non fixée moyen évalué sur une zone ne dépassant pas 1000 cm² dans le cas du sol, des murs ou du plafond ou 300 cm² dans tous les autres cas. (voir Figure 14)

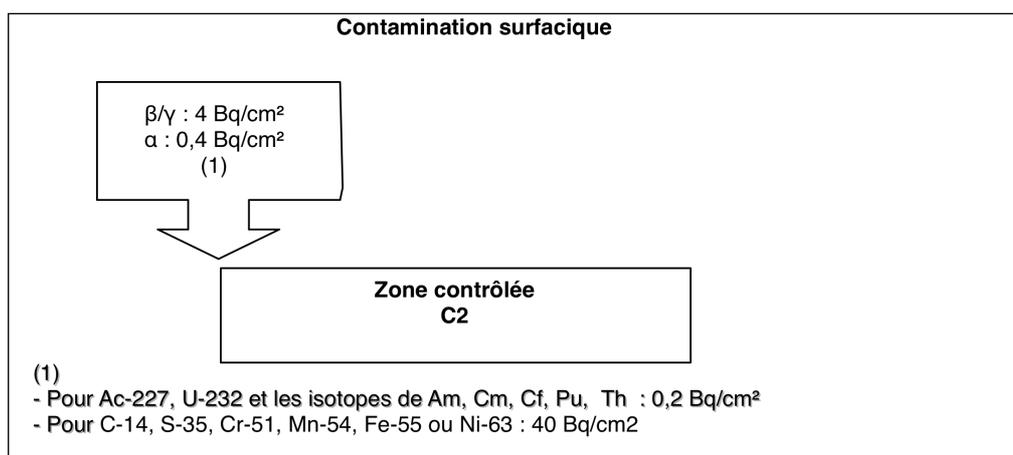


Figure 14. Règles de zonage à la centrale nucléaire de Sizewell (contamination surfacique)

Une zone est classée zone contrôlée pour la contamination C3 quand l'activité atmosphérique, moyennée sur une période de travail ne dépassant pas 8 heures dépasse ou est susceptible de dépasser les valeurs d'activité indiquées soit par radionucléide, soit en général Beta ou Alpha (voir Figure 15)

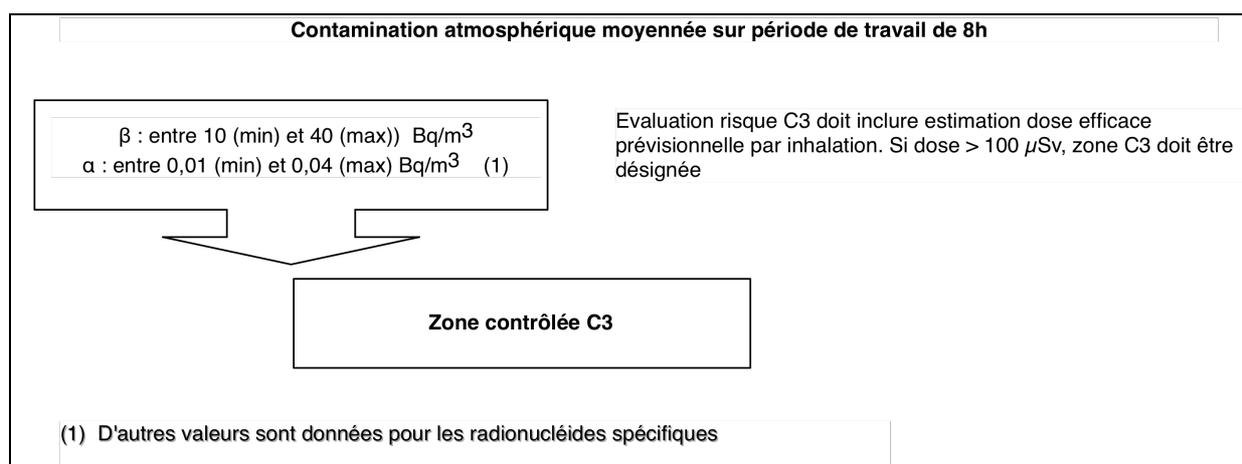


Figure 15. Règles de zonage à la centrale nucléaire de Sizewell (contamination atmosphérique)

Les zones R2, R3 et R4 doivent être clairement délimitées. Les zones contrôlées R4 permanentes doivent être, dans la mesure du possible, séparées des autres zones par des portes, maintenues fermées à clef. Dans certains cas, une zone peut être classée R4 de manière temporaire. Cette nouvelle zone R4 devra être, dans la mesure du possible, séparée par une porte fermée à clef. Si ce n'est pas possible, des barrières doivent être utilisées pour isoler la zone. L'accès pour les zones avec des débits de dose supérieurs à 1 Sv/h à 0,5 m doit être contrôlé par un système de double-verrouillage.

3.5.3. Règles de zonage dans le domaine médical

Les modalités de zonage dans le secteur médical reposent sur les exigences de l'IRR99 et de l'ACOP associé. Les précisions présentées ici sont celles recommandées par le groupe de travail ayant réuni l'Institut de Physique et d'Ingénierie en Médecine, le National Radiological Protection Board et le Health and Safety Executive en 2002.

De façon générale, le guide précise que les zones suivantes devraient être classées comme zones contrôlées :

- Les zones concernées par la radiopharmacie,
- Les zones contenant des sources scellées pour la radiothérapie,
- Les services ou les pièces utilisées pour les patients qui subissent une radiothérapie ou brachythérapie
- Les zones contenant un équipement fixe de générateur de rayons X
- Les zones où il existe un risque significatif de contamination radiologique en dehors de la zone de travail

Si les sources de rayonnement n'existent plus (ex : générateur de R-X en arrêt, retrait des sources, ...), la zone contrôlée peut être temporairement déclassée. Le guide note qu'il peut cependant être plus pratique de désigner en permanence la zone comme contrôlée et de n'y permettre l'accès que suivant des règles écrites.

Pour délimiter plus précisément les zones contrôlées, le guide recommande de se baser sur les critères de débits de dose suivants :

Débit de dose en $\mu\text{Sv/h}$ utilisés dans la délimitation de zones

Critère	Zone contrôlée	Zone surveillée	Zone publique non surveillée
IDR	> 2000 $\mu\text{Sv/h}$	> 7,5 $\mu\text{Sv/h}$	< 7,5 $\mu\text{Sv/h}$
TADR	> 7,5 $\mu\text{Sv/h}$	> 2,5 $\mu\text{Sv/h}$	< 2,5 $\mu\text{Sv/h}$
TADR 2000	> 3 $\mu\text{Sv/h}$	> 0,5 $\mu\text{Sv/h}$	< 0,15 $\mu\text{Sv/h}$ *

* 0,15 $\mu\text{Sv/h}$ représente 3/10 de 0,5 $\mu\text{Sv/h}$ ou 300 $\mu\text{Sv/an}$ – ce qui représente une contrainte de dose appropriée pour un employé de bureau avec une activité de 2000 h par an.

IDR : Instantaneous dose rate : débit de dose instantané moyenné sur 1 minute

TADR : Time-average Dose Rate : débit de dose moyen estimé sur 8 heures en tenant compte de l'utilisation et du volume de travail pour un scénario typique du pire des jours (facteur d'occupation égal à 1)

TADR 2000 : Time-average Dose Rate 2000 : débit de dose moyen estimé sur 2000 heures en tenant compte de l'occupation en plus de l'utilisation et du volume de travail

Le guide propose des organigrammes permettant de déterminer le classement des zones en fonction des différentes valeurs de débit de dose (voir Fiche Pays – Royaume-Uni). Le débit de dose instantané IDR est utilisé comme point de départ pour le processus de désignation, car il est facilement mesurable et ne dépend pas du temps de travail. Puis est utilisé le TADR (volume de travail et utilisation) et finalement le TADR 2000 (temps d'occupation sur l'année).

3.6. Suède

Les principes généraux de radioprotection en Suède sont édictés par la loi sur la radioprotection (1998 :220). La désignation des zones réglementées en Suède est définie dans la réglementation établie par les autorités suédoises (SSM) concernant les « dispositions de base pour la radioprotection des travailleurs et du public » (SSMFS 2008:51).

En ce qui concerne l'industrie nucléaire, il existe une réglementation spécifique concernant les travailleurs en centrale nucléaire (SSI FS 2000:10). Le retour d'expérience de la visite de benchmarking de la centrale nucléaire de Ringhals, ainsi que les règles de sécurité de Ringhals

complétées par des éléments fournis directement par le manager de la radioprotection de Ringhals apportent des éléments complémentaires pour cette centrale.

3.6.1. Règles de zonage dans la réglementation générale

Les critères de zonage de la réglementation suédoise sont uniquement spécifiés en termes de dose annuelle (voir Figure 16), et ne concernent que la zone contrôlée. Les zones surveillées sont des zones assujetties à la réglementation mais n'étant pas des zones contrôlées.

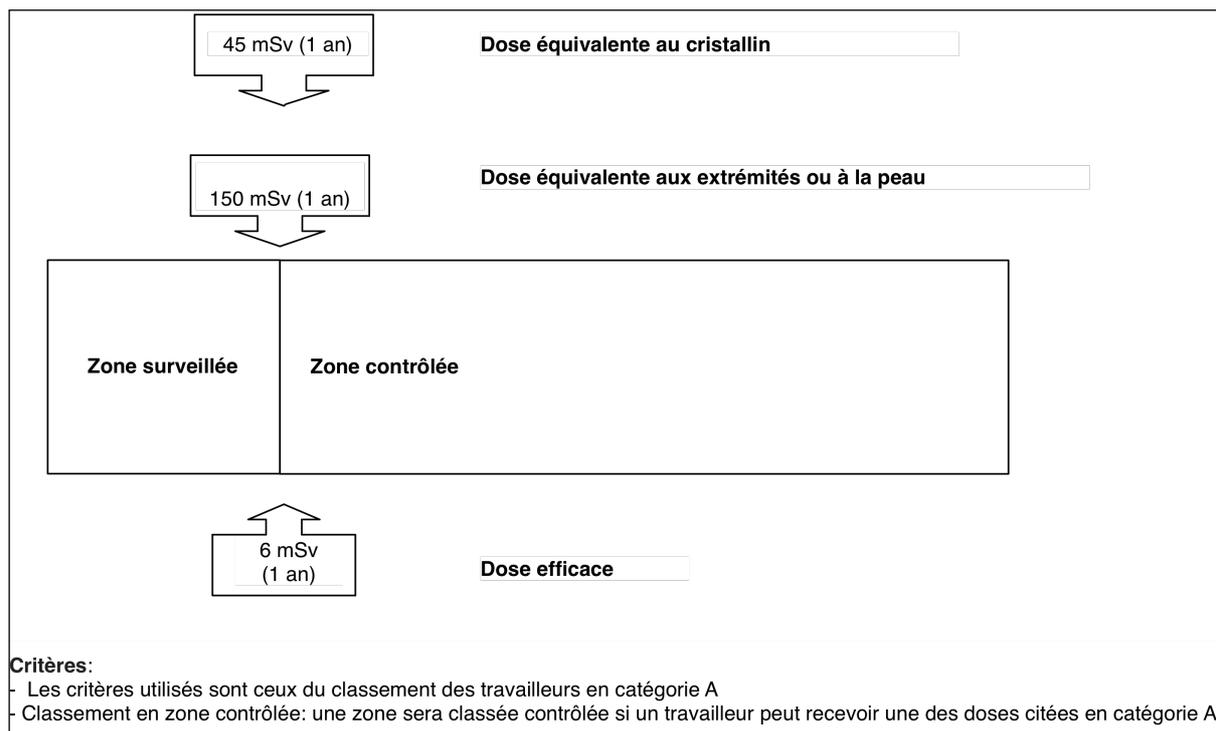


Figure 16. Règles de zonage dans la réglementation suédoise

3.6.2. Règles de zonage dans l'industrie nucléaire

La centrale nucléaire de Ringhals définit des zones contrôlées pour l'irradiation externe basée sur un critère de débit de dose, ainsi que des zones contrôlées pour la contamination atmosphérique (basées sur la LDCA⁴) et surfacique (en distinguant les émetteurs beta/gamma et alpha). (voir Figure 17 à Figure 19).

Une zone dont le débit de dose est supérieur à 3 mSv/h est considérée comme une « zone à débit de dose élevé ». De plus, un point chaud peut être défini lorsque le débit de dose près d'un composant ou un circuit est plus élevé qu'à la normale.

La zone bleue a été définie de façon à ne pas dépasser la limite de 50 mSv/an (2000 heures de travail à 25 µSv/heure)

⁴ La LDCA est calculée sur une base de 20 mSv/an et 2000 heures de travail par an.

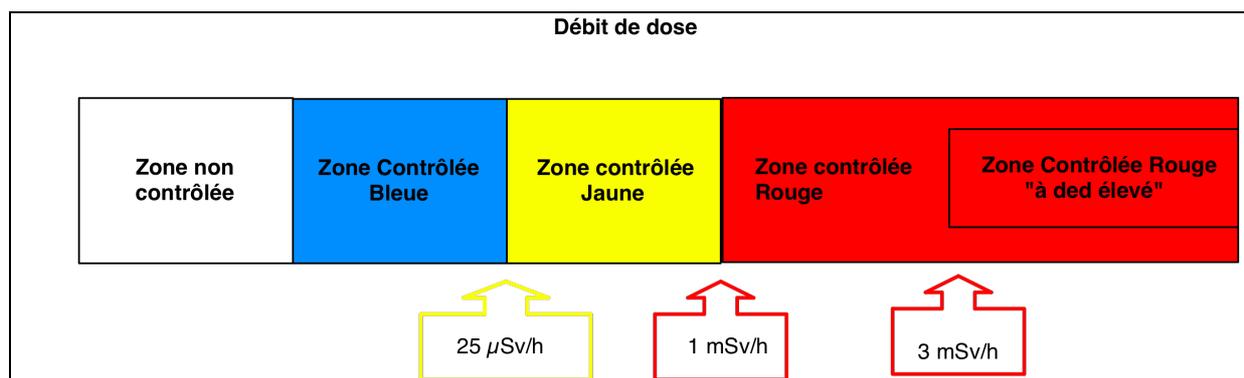


Figure 17. Règles de zonage à la centrale nucléaire de Ringhals (exposition externe)

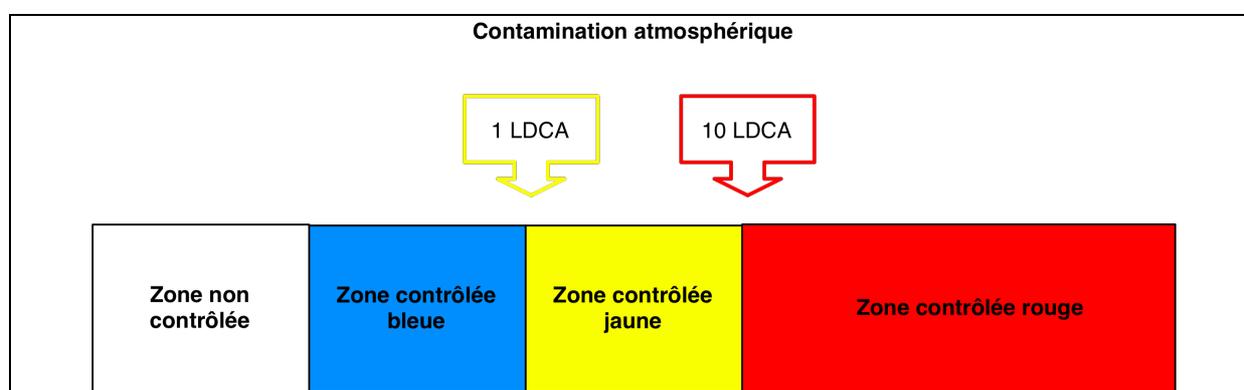


Figure 18. Règles de zonage à la centrale nucléaire de Ringhals (contamination atmosphérique)

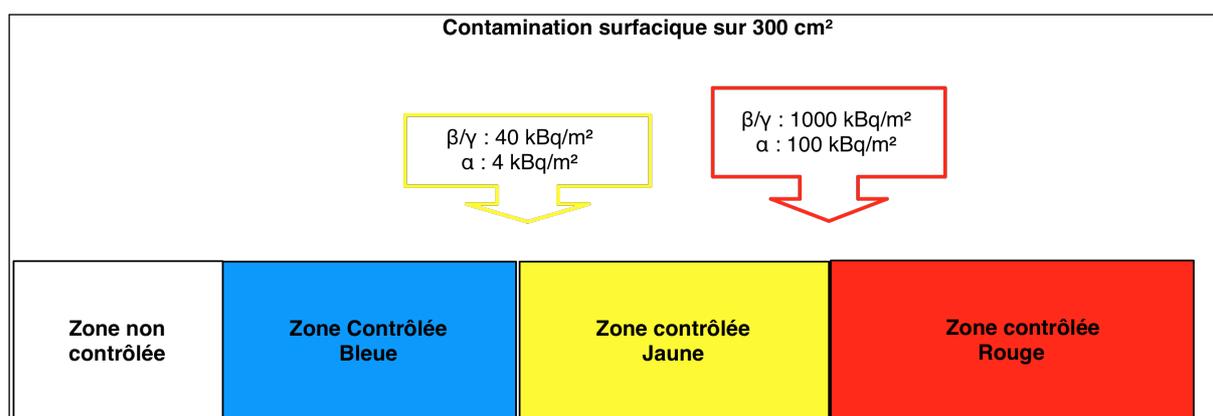


Figure 19. Règles de zonage à la centrale nucléaire de Ringhals (contamination surfacique)

La délimitation de zones ayant des ambiances radiologiques différentes se fait à l'aide de barrières, de cordes ou de chaînes. La barrière physique peut prendre la forme d'un mur ou d'une porte fermée. Cette barrière ne peut être franchie qu'une fois les actions de protections prescrites effectuées. Ces barrières doivent être combinées avec des panneaux signalétiques.

Les équipements recommandés en cas de contamination surfacique ou atmosphérique sont présentés de façon détaillée dans la fiche pays – Suède.

3.7. Suisse

En Suisse, les exigences appliquées à la protection des travailleurs et du public contre les rayonnements ionisants sont spécifiées dans la Loi sur la radioprotection (LRaP) de mars 1991 et dans ses règles d'application spécifiées dans l'Ordonnance sur la radioprotection (ORaP) du 22 juin 1994.. La LRaP s'applique à toutes les activités et toutes les installations. Les principes de classification de zones contrôlées sont mentionnés dans l'ORaP.

Dans le domaine des installations nucléaires et, plus spécifiquement des centres de production d'électricité, c'est le principe d'optimisation de la radioprotection qui gouverne la gestion des expositions à des niveaux aussi bas que raisonnablement possible, le zonage est présenté comme un outil bien moins important que l'évaluation préalable des doses individuelles. Ainsi, la directive IFSN-G15/f pour les installations nucléaires suisses fait seulement référence à l'existence de zones contrôlées pour lesquelles « le détenteur de l'autorisation doit prendre les mesures nécessaires pour garantir une planification efficace de la radioprotection » mais ne mentionne pas de critère pour la délimitation et les règles d'accès et les conditions de travail à assurer dans ces zones. La classification des zones et les critères de mise en œuvre du zonage ne sont mentionnés que dans une directive (en allemand) « *Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Institutes HSK-R-07* de juin 1995 ». Pour préciser les pratiques de zonage que l'on peut observer dans les centrales nucléaires suisses, les données issues d'une visite d'intercomparaison des organisations de la radioprotection, effectuée par le CEPN en 2006 à la centrale nucléaire de Beznau, ont été utilisées.

Dans le domaine médical, trois ordonnances précisent les critères de zonages : elles concernent les accélérateurs utilisés à des fins médicales, l'utilisation de sources radioactives scellées en médecine et les installations radiologiques à des fins médicales. Quelques éléments sur les conditions d'accès en zone contrôlées (même s'ils sont peu détaillés) sont également donnés dans la Directive R-06-03 concernant la surveillance dosimétrique dans les hôpitaux, Office Fédéral de Santé Publique.

Une Ordonnance spécifique précise les éléments liés à la classification de zones dans les installations non médicales de production de radiations ionisantes : elle s'appliquent notamment aux travaux industriels de radiographie ou de radioscopie (fixe ou mobile). Les critères de classification de zones contrôlées ne sont pas précisés mais des éléments sur la délimitation ou encore les dispositifs de signalisation spécifiques aux zones contrôlées y sont donnés.

Enfin, dans le domaine des sources non scellées une autre Ordonnance indique quelques éléments relatifs à la délimitation des zones, aux conditions d'accès à celles-ci, notamment dans le cadre du transport de sources.

3.7.1. Règles de zonage dans la réglementation générale

Le zonage a pour but de « limiter et contrôler l'exposition aux rayonnements ». Le texte principal de L'ORaP mentionne seulement la nécessité de désigner des zones contrôlées (Art 58). Des éléments complémentaires précisés dans l'annexe 1 de l'ORaP donnent des critères basés sur la dose efficace, la contamination surfacique et atmosphérique (voir Figure 20). La réglementation suisse ne donne pas d'indications sur l'éventualité de sous-zones dans les zones contrôlées.

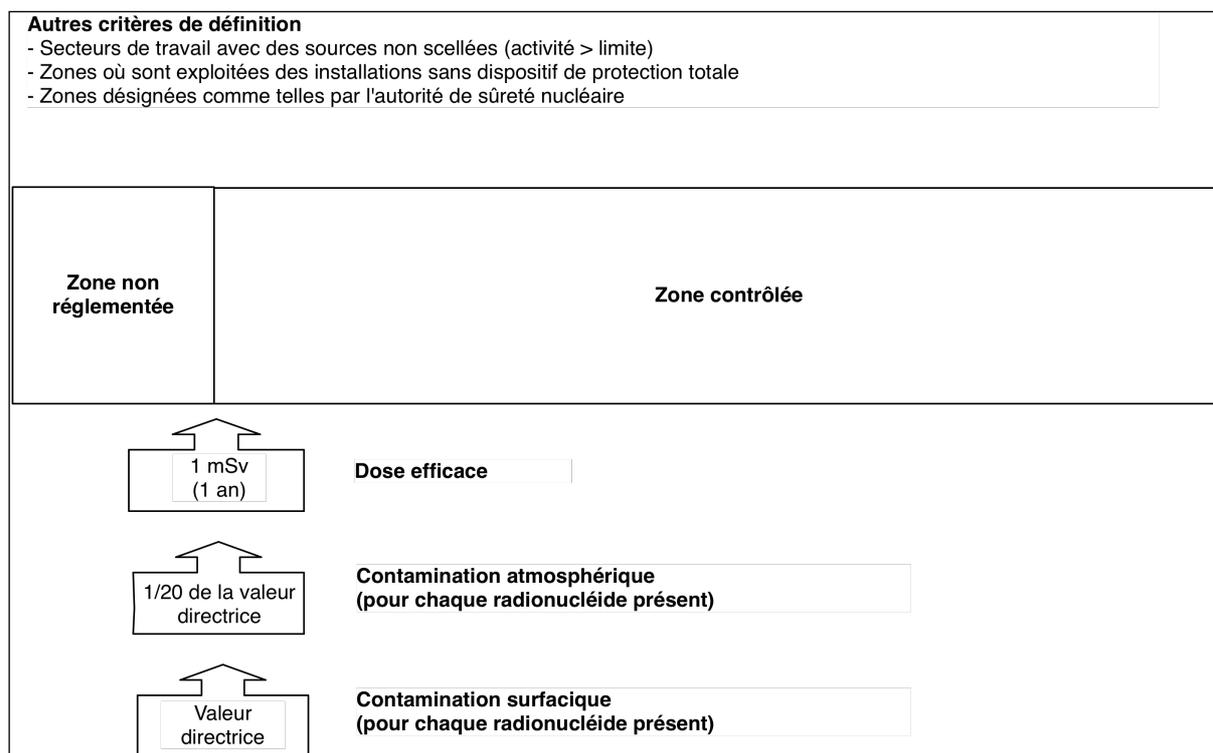


Figure 20. Règles de zonage dans la réglementation suisse

L'ORaP ne donne pas d'indications sur l'éventualité de sous-zone dans les zones contrôlées.

Des éléments complémentaires relatifs aux doses admissibles à l'extérieur des zones contrôlées sont indiqués dans l'article dédié au blindage des installations (Art 59. de l'ORaP) :

1. Le local ou la zone dans lesquels sont utilisées ou entreposées des installations fixes ou des sources radioactives doivent être conçus ou blindés de façon que, compte tenu de la fréquence d'exploitation:
 - a. à aucun endroit situé dans l'enceinte de l'entreprise, mais en dehors des zones contrôlées, et où peuvent séjourner des personnes exposées aux rayonnements dans des circonstances non liées à l'exercice de leur profession, la dose ambiante n'excède 0,02 mSv par semaine; cette valeur peut être dépassée jusqu'à cinq fois dans les endroits où personne ne séjourne durablement.
 - b. à aucun endroit situé en dehors de l'enceinte de l'entreprise, les valeurs limites d'immissions précisées à l'art. 102 ne soient dépassées.

2. Avec l'assentiment de l'autorité de surveillance, le débit de dose peut atteindre localement jusqu'à 0,0025 mSv par heure dans des endroits rarement fréquentés, situés en dehors des zones contrôlées comprises dans l'enceinte d'une entreprise sous surveillance constante, dans lesquels le dépassement de la valeur limite de dose selon l'art. 37 est empêché par des mesures appropriées.

3.7.2. Règles de zonage dans l'industrie nucléaire

La directive spécifique à l'industrie nucléaire définit des zones surveillées et précise que toute zone contrôlée doit être située à l'intérieur d'une zone surveillée.

De plus, les zones contrôlées doivent être définies dans des locaux fermés. Les zones contrôlées sont classées selon le niveau de contamination surfacique et/ou atmosphérique (zone I et IV). A l'intérieur

des zones contrôlées, des secteurs sont déterminés selon l'exposition externe (secteurs V à Z). (voir Figure 21 à Figure 23)

Les critères de contamination surfacique, CS, et atmosphérique, CA, correspondent aux valeurs directives définies dans l'annexe de l'ORaP pour chaque radionucléide.

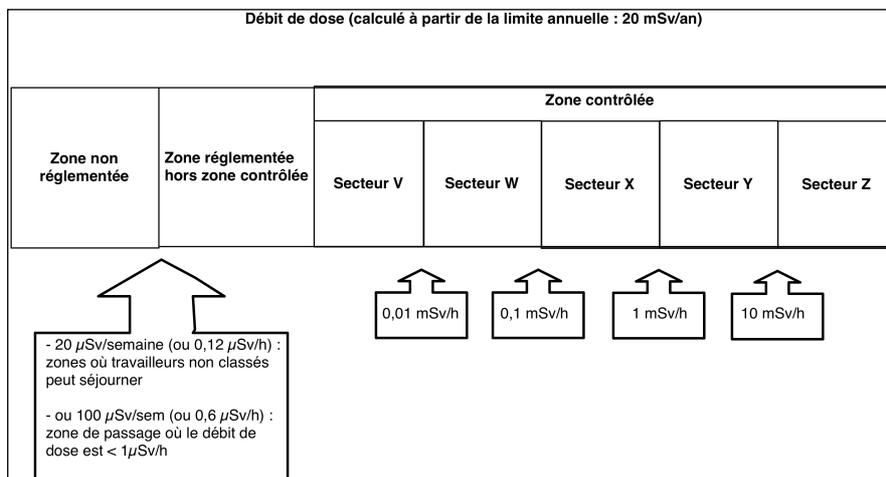


Figure 21. Règles de zonage dans la réglementation suisse pour les installations nucléaires (exposition externe)

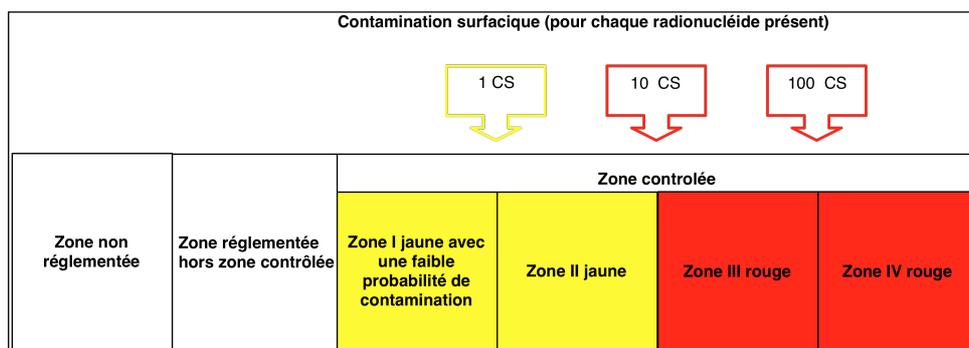


Figure 22. Règles de zonage dans la réglementation suisse pour les installations nucléaires (contamination surfacique)

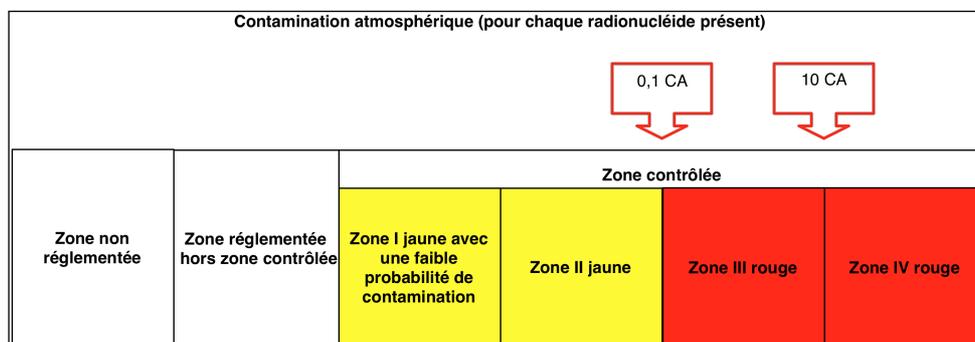


Figure 23. Règles de zonage dans la réglementation suisse pour les installations nucléaires (contamination atmosphérique)

Les conditions d'accès précisées dans la directive sont les suivantes :

Le personnel pénétrant en zone contrôlée doit avoir été formé et informé des risques encourus. Un vestiaire approprié doit être aménagé. Les portes d'accès doivent faire l'objet d'un contrôle approprié. Les accès aux sorties de secours en direction de zones non contrôlées doivent être signalées de manière à prévenir une entrée non autorisée en zone contrôlée. La pression à l'intérieur de la zone contrôlée doit être plus faible que la pression dans la zone non contrôlée limitrophe.

Réglementation concernant les tenues de protection.

- Zone 0 : pas de réglementation
- Zone I : blouse, surchausse ou chaussures spécifiques de zone
- Zone II : surtenue complète, surchausse spécifique pour la zone, gants
- Zone III : surtenue complète avec un marquage rouge, vêtements sous la surtenue spécifique à la zone, surchausse spécifique à la zone, coiffes de protection, gants, masque anti-poussières disponibles
- Zone IV : surtenue complète avec un marquage rouge, vêtements sous la surtenue spécifique à la zone, coiffes de protection, gants, bottes de protection, Masque de protection avec filtre absolu.

Conditions d'accès et durée de résidence dans les zones.

- Zone 0, I, II : Pas de restrictions supplémentaires d'accès et durée respectant le concept ALARA
- Zone III : Accès après autorisation donnée selon le règlement d'exploitation, éventuellement sous le contrôle du service de RP, durée de résidence peut être limitée par la contamination atmosphérique.
- Zone IV : Accès après autorisation donnée selon le règlement d'exploitation et seulement sous le contrôle strict du service de RP, durée de résidence limité selon des considérations d'hygiène de travail.

Conditions d'accès selon le débit de dose, port d'un dosimètre électronique

- Secteur V : pas de limitation d'accès et durée respectant le concept ALARA
- Secteur W, X : Accès seulement aux agents autorisés selon le règlement interne et durée de présence limitée
- Secteur Y : Accès seulement aux agents autorisés selon le règlement interne sous contrôle du service de RP ou d'un représentant et durée de présence très limité
- Secteur Z : Accès réservé seulement aux agents autorisés selon le règlement interne et sous contrôle strict du service de RP après rédaction d'un plan de travail et durée de présence très sévèrement limité.

La Centrale nucléaire de Beznau applique la directive et dispose de trois zonages sur les critères de débit de dose, de contamination surfacique ou de contamination atmosphérique

3.7.3. Règles de zonage dans le domaine médical

Accélérateurs d'électrons

Les accélérateurs doivent être exploités dans un local d'irradiation. Le dispositif de commande doit être placé hors du local d'irradiation. Le local d'irradiation est à considérer comme une zone contrôlée. Dans les secteurs contigus au local d'irradiation, les doses ambiantes ne doivent être dépassées à aucun endroit :

- 0,02 mSv par semaine aux endroits situés hors de la zone contrôlée,
- 0,1 mSv par semaine aux endroits situés à l'intérieur de la zone contrôlée.

Aux endroits situés hors de la zone contrôlée dans lesquels un séjour durable n'est pas envisagé et où aucun poste de travail n'est installé, une dose ambiante 5 fois supérieure à celle indiquée ci-dessus est admise.

Sources radioactives scellées

Les unités d'irradiation doivent être exploitées dans un local d'irradiation. Le dispositif de commande doit être situé à l'extérieur du local d'irradiation. Le local d'irradiation est à considérer comme une zone contrôlée.

Dans les chambres de patient traité par radiothérapie, il y a lieu de disposer, outre d'un blindage suffisant des éléments qui les délimitent, de blindages mobiles. Un blindage stationnaire d'au moins 110 cm de hauteur est à prévoir le long du lit du patient. Il doit être dimensionné de sorte que le débit de dose ambiant derrière la protection ne dépasse pas 25 $\mu\text{Sv/h}$.

Dans les secteurs contigus aux locaux où sont exploitées ou entreposées des sources radioactives médicales, les doses ambiantes suivantes ne doivent être dépassées à aucun endroit :

- a. 0,02 mSv par semaine aux endroits où les personnes non exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession peuvent séjourner de manière durable ou aux endroits où le séjour n'est pas sous le contrôle du titulaire de l'autorisation.
- b. 0,1 mSv par semaine aux endroits accessibles seulement aux personnes exposées aux radiations dans l'exercice de leur profession ou qui ne sont pas prévus pour un séjour durable.

Installations radiologiques à usage médical

La conception des locaux dans lesquels sont utilisées des installations radiologiques doivent permettre respecter les mêmes critères que ceux cités précédemment pour les sources radioactives dans le domaine médical.

4. ETUDES DE CAS

Trois pays - la Finlande, le Royaume-Uni et la Suisse - ont été sélectionnés pour confronter les réglementations relatives à la classification des zones avec les pratiques qui sont observées. Pour ce faire, huit études de cas, représentant une quinzaine de situations d'exposition, ont été élaborés par le « GT zonage » et ont été soumises à l'analyse du CEPN avec la collaboration d'experts et inspecteurs en radioprotection de STUK (Finlande), de HSE (Royaume-Uni), et de l'OFSP (Suisse).

4.1. Cas n° 1 : Salle contenant une boîte à gants

4.1.1. Présentation du cas

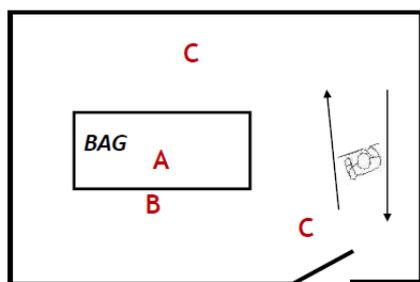
Contexte :

- Salle avec boîte à gants (BAG)
- Absence de contamination surfacique dans la salle.
- L'intervenant ne fait que pénétrer dans la salle sans avoir d'opération à réaliser dans la boîte à gants.

Hypothèses radiologiques :

- Le débit d'équivalent de dose (DeD) de la salle est inférieur à $10 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ [γ] sous 300 mg.cm^{-2} au point C).
- Le débit d'équivalent de dose à l'intérieur de la boîte à gants (sous 7 mg.cm^{-2}) est de $0,8 \text{ mSv.h}^{-1}$ [$\gamma\beta$].
- La mesure de débit d'équivalent de dose au contact du panneau (sous 7 mg.cm^{-2}) est de $0,1 \text{ mSv.h}^{-1}$ [$\gamma\beta$].

Situation a) : Absence d'intervention dans la boîte à gants



☞ *Contamination :*

Pas de contamination dans la salle

☞ *Irradiation :*

mesures contact (sous 7 mg.cm^{-2})

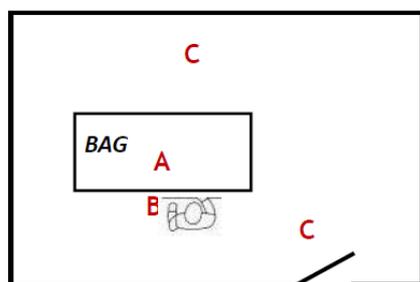
A : DeD à l'intérieur BAG (Ramda)
 $0,8 \text{ mSv.h}^{-1}$ [$\beta\gamma$]

B : DeD contact panneau Babyline
 $0,1 \text{ mSv.h}^{-1}$ [$\beta\gamma$]

mesure DeD ambiant (300 mg.cm^{-2})

C : DeD ambiant Babyline
 $< 10 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ [γ]

Situation b) : Intervention dans la boîte à gants



☞ Contamination :

Pas de contamination dans la salle

☞ Irradiation :

mesures contact (sous 7 mg.cm^{-2})

A : DeD à l'intérieur BAG (Ramda)
 $0,8 \text{ mSv.h}^{-1} [\beta\gamma]$

B : DeD contact panneau Babyline
 $0,1 \text{ mSv.h}^{-1} [\beta\gamma]$

mesure DeD ambiant (300 mg.cm^{-2})

C : DeD ambiant Babyline
 $< 10 \mu\text{Sv.h}^{-1} [\gamma]$

4.1.2. Zonage en Finlande

Le zonage est réalisé sans considération de la présence ou non de travailleur dans la salle. Il s'applique à la salle entière, les parois de la BAG ou les différents postes de travail ne font donc pas l'objet d'un zonage distinct.

La classification de la salle est réalisée en fonction des règles prescrites dans les guides ST 1.6 (sur la radioprotection opérationnelle) et 6.1 (sur les sources non scellées). Elle est établie en fonction d'une évaluation de la dose annuelle (estimée selon une étude de poste ou bien sur la base du retour d'expérience de laboratoires identiques) ou, et c'est notamment dans le cas des laboratoires du secteur médical, en fonction de l'activité manipulée « en une fois » (i.e. en fonction de l'activité maximale des sources radioactives qui peuvent être dans la BAG lorsqu'un manipulateur est présent).

Cette information (activité manipulée) étant manquante, l'étude de cas ne peut pas vraiment être traitée. Un laboratoire de type B (i.e. où l'activité manipulée est supérieure à 10^4 fois une valeur d'exemption du guide ST6.1), *a fortiori* de type A, serait classé « zone contrôlée » (ZC) ; un laboratoire de type C (i.e. où l'activité manipulée est supérieure à 10 fois une valeur d'exemption du guide ST6.1) le serait également en cas de risque de contamination, sinon il serait classé en « zone surveillée (supervisée) » (ZS).

La dose efficace annuelle de 6 mSv/an , critère à partir duquel une zone est classée « ZC » serait atteinte pour un taux d'occupation de la salle de 600 heures (le débit de dose ambiant étant de $10 \mu\text{Sv/h}$). Il est donc probable que cette salle soit classée « ZC ».

En termes de signalétique, un trisecteur serait apposé à l'entrée de la salle mais la mention « ZC » ou « ZS » ne serait pas indiquée.

4.1.3. Zonage au Royaume-Uni

Situation a. Absence intervention dans la boîte à gants

Pour le zonage d'une telle salle, l'IRR99 préconise l'utilisation d'un critère de dose efficace annuelle : « ZS » à partir de 1 mSv/an ; ZC à partir de 6 mSv/an . On utiliserait le débit de dose efficace maximal (mesuré ou estimé) dans la salle ($100 \mu\text{Sv/h}$) et non le débit ambiant ($10 \mu\text{Sv/h}$). Ainsi, si un travailleur pouvait demeurer plus de 10 heures/an dans la salle, celle-ci serait classée en « ZS » et, s'il pouvait y rester plus de 60 heures/an, toute la salle est classée en « ZC ». Il est cependant envisageable de relaxer le niveau de classement aux points C (zone de passage autour de la BAG), à condition qu'on puisse séparer – si possible physiquement – la BAG de la zone de passage ou bien installer ou renforcer une protection biologique autour de la BAG (solution qui serait préconisée par HSE en vertu

de l'application du principe d'optimisation ALARP). Ainsi, si le débit de dose efficace maximal était ramené en dessous de $0,5 \mu\text{Sv/h}$, le local (ou la partie du local séparée de la BAG) pourrait être classé en "zone non réglementée" (ZNR) : $(2000 \text{ h/an} \times 0,5 \mu\text{Sv/h} = 1\text{mSv/an})$.

Cependant, en raison du risque de contamination à l'extérieur de la BAG (situation incidentelle potentielle), le local resterait en ZS, sauf démonstration par l'exploitant de l'impossibilité de rupture du confinement de la BAG.

L'ACoP (*Approved Code of Practice*) propose aussi l'utilisation d'un critère de débit de dose efficace. Mais, même après séparation de la BAG de la zone de passage, si $7,5 \mu\text{Sv/h}^* < \text{DeD}_{\text{max pts C}} < 10 \mu\text{Sv/h}$ (en moyenne sur 1 journée de travail), les points C devraient être classés en ZC.

Malgré cette possibilité permise par l'ACoP, c'est généralement le critère de dose efficace annuelle qui fait foi : ainsi, si l'exploitant peut démontrer que la salle est rarement utilisée (dose efficace $< 1 \text{ mSv/an}$) alors la salle peut théoriquement être classée en ZS et ce, même avec un débit de dose efficace supérieur à $7,5 \mu\text{Sv/h}^*$. Mais, si c'est le seul critère de débit de dose qui a été utilisé pour déterminer le zonage, alors une mesure régulière des débits de dose sera imposée à l'exploitant.

* Ce critère de $7,5 \mu\text{Sv/h}$ provient de l'ancienne limite de 50 mSv/an :

- $3/10 \times 50 \text{ mSv} / 2000\text{h} = 7,5 \mu\text{Sv/h}$.

Il n'a pas été modifié depuis que la limite de dose réglementaire est passée à 20 mSv/an ...

Un critère équivalent est encore parfois utilisé pour fixer la limite de ZS :

- $1/10 \times 50 \text{ mSv} / 2000\text{h} = 2,5 \mu\text{Sv/h}$ (valeur non mentionnée dans L'ACoP)

La signalisation de zone est toujours apposée au niveau de la séparation entre des zones de classement distinct (i.e. en principe, pas sur la BAG elle-même).

Situation b. Intervention dans la boîte à gants

En cas d'intervention dans la boîte à gants, un critère de dose équivalente annuelle (aux extrémités) est préconisé dans l'IRR99 :

- ZS à partir de 50 mSv/an
- ZC à partir de 150 mSv/an

Avec $H_p(0,07) = 800 \mu\text{Sv/h}$ la dose équivalente de 150 mSv/an (classement en ZC de la BAG) pourrait être atteinte avec une exposition des mains en BAG de 45 mn/jour (en moyenne sur 250 jours/an). Le classement en ZS serait préconisé pour une exposition des mains en BAG de l'ordre de 15 mn/jour (en moyenne sur 250 j/an). Il s'agit d'un temps d'exposition maximum dont le réalisme est à démontrer par l'exploitant.

On ne pourra pas relaxer le classement de la BAG en ZNR quelle que soit son temps d'utilisation annuel, même infime (en raison du risque de contamination incidentelle).

Secteur nucléaire

British Energy s'est doté de règles spécifiques pour le zonage de ses installations (cf. Fiche Pays Royaume-Uni en annexe). La classification des zones d'un « laboratoire chaud » d'une installation nucléaire serait réalisée par cet exploitant en fonction des débits de dose mesurés et du risque de contamination (surfactive ou atmosphérique) évalué à partir de mesures d'activité. Les critères utilisés pour le zonage en fonction du risque de contamination dépendent des radionucléides présents, il est donc difficile de déterminer le zonage d'un laboratoire à partir des seules données mises à disposition. On peut cependant signaler que :

- Si le débit de dose est $< 3 \mu\text{Sv/h}$ alors la zone de circulation dans la salle serait classée « R1 », et si le débit de dose est $> 3 \mu\text{Sv/h}$ alors elle serait classée « R2 » mais à la condition qu'il soit possible d'installer des barrières physiques entre le point B (poste de travail de la BAG) et les points C (zone de circulation), sinon elle serait classée comme au point B en zone « R3 ».

La signalétique à l'entrée de la salle indique les deux types de risque - contamination et irradiation – (e.g. « controlled area R3 - C3 »).

4.1.4. Zonage en Suisse

Situation a. Absence d'intervention dans la boîte à gants

Dans ce type de local, le classement du « secteur de travail » est réalisé en fonction de l'activité manipulée (par opération, ou par jour). Au regard du débit de dose à l'intérieur de la BAG, le secteur serait *a minima* de type A et donc classé en ZC (il n'y a pas de ZS en Suisse). De plus, en raison des exigences relatives à la résistance au feu du secteur de travail, on ne classerait alors pas seulement la BAG mais toute la salle en ZC (avec affichage *ad hoc* sur la porte d'entrée).

Pour qu'une telle salle ne soit pas considérée comme une ZC, il faudrait démontrer que l'on ne peut pas y dépasser une dose efficace de 1 mSv/an (selon une hypothèse conservatrice d'occupation de 2000 heures, dans le débit de dose ambiant : on ne prend pas en compte le temps réel d'exposition). Le débit ambiant étant de $10 \mu\text{Sv/h}$, cette démonstration est impossible dans le cas présent.

Situation b. Intervention dans la boîte à gants

L'activité annuelle manipulée détermine en Suisse le type de dosimétrie (corps entier, extrémités) et de surveillance médicale qu'il faut mettre en œuvre (et non le zonage) :

Dosimétrie applicable à l'utilisation de sources radioactives non scellées

Type de nuclide	Dosimétrie du corps entier		Dosimétrie des extrémités		Surveillance d'incorporation
	Activité en travail	Activité annuelle manipulée	Activité en travail	Activité annuelle manipulée	Activité annuelle manipulée
Général :					
Emetteurs γ	$> 1 \text{ LA}$			$> 200 \text{ LA}$	$> 200 \text{ LA}$ $> 20 \text{ LA}$ sous forme volatile
Emetteurs β avec $E_{\beta}^{\text{max}} < 1 \text{ MeV}$	-		-		$> 200 \text{ LA}$ $> 20 \text{ LA}$ sous forme volatile
Emetteurs β avec $E_{\beta}^{\text{max}} > 1 \text{ MeV}$	$> 100 \text{ LA}$ (secteur de travail B)	$> 200 \text{ LA}$	$> 100 \text{ LA}$ (secteur de travail B)	$> 200 \text{ LA}$	$> 200 \text{ LA}$ $> 20 \text{ LA}$ sous forme volatile

4.2. Cas n°2 : Grand hall comportant des « points chauds » avec couloir adjacent

4.2.1. Présentation du cas

Situation a : Travaux en partie basse

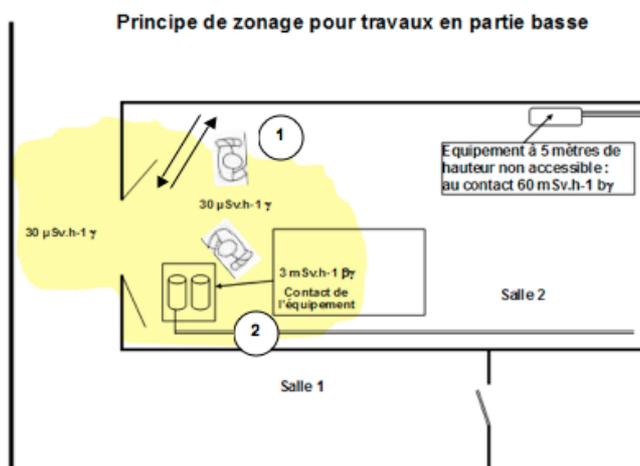
1. Contexte :

Il s'agit d'un cas typique d'une intervention de maintenance dans une installation nucléaire :

- Des équipements (ex. pompes) déposés au sol dans la salle n°2 présentent un débit d'équivalent de dose « au contact⁵ » de 3 mSv.h^{-1} .
- Ces matériels génèrent dans un couloir attenant (salle 1), dans une zone identifiée en jaune sur le schéma ci-dessous, un débit d'équivalent de dose ambiant de $30 \text{ } \mu\text{Sv.h}^{-1}$.
- Un autre équipement situé à 5 m de hauteur et non accessible, présente un débit d'équivalent de dose au contact de 60 mSv.h^{-1} .
- Absence de contamination surfacique dans les salles 1 et 2.

On distinguera les opérations auprès des équipements (i.e. au point 2) et le passage en « transit » dans la salle n°2 (e.g. au point 1) ou dans le couloir.

2. Hypothèses radiologiques :



Situation b : Travaux en partie haute

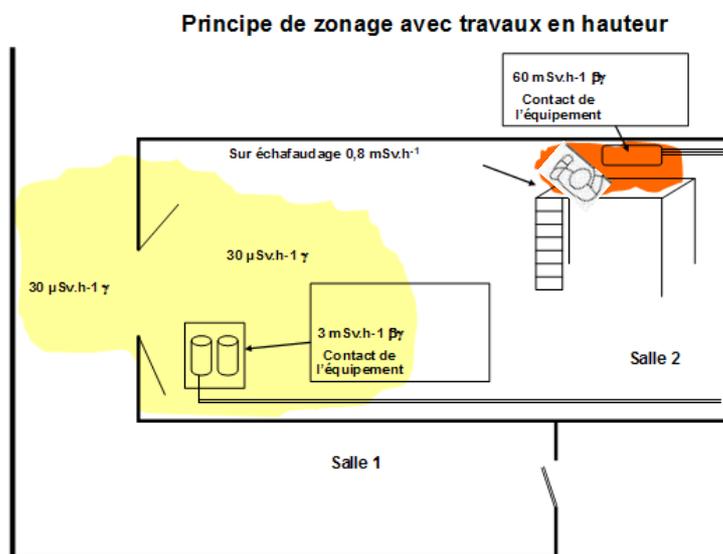
1. Contexte :

La situation est identique à la situation précédente, mais en complément :

- un échafaudage permet l'accès à un équipement (situé en hauteur) qui présente un débit d'équivalent de dose au contact de 60 mSv.h^{-1} et induit un débit d'équivalent de dose ambiant de $0,8 \text{ mSv.h}^{-1}$ sur une passerelle.

⁵ Le débit de dose « au contact » doit être compris comme étant le débit de dose mesuré au plus près de la surface externe d'un équipement ou d'un matériel avec un appareil de mesure approprié. (Ce commentaire vaut de même pour les autres cas où cette expression est employée.)

2. Hypothèses radiologiques :



4.2.2. Zonage en Finlande

Le cas est étudié pour l'industrie (non nucléaire) et en fonction des règles de zonage applicables dans l'industrie nucléaire en vertu du guide spécifique YVL 7.9 (cf. Fiche Pays Finlande).

Situation a : Travaux en partie basse

Dans l'industrie (non nucléaire), le zonage est réalisé en fonction de la dose annuelle calculée à partir des temps d'intervention et débits de dose réels (i.e. mesurés, calculés, ou estimés de façon réaliste).

Les zones de transit (salles 1 et 2) seront classées en ZS (il est considéré que le temps passé dans ces zones, n'est pas suffisant pour que des travailleurs reçoivent une dose annuelle de 6 mSv : les équipements déposés au sol ne sont là que de manière provisoire, le temps d'une opération de maintenance). Il sera imposé des mesures régulières de débits de dose pour vérifier qu'ils restent aux niveaux attendus.

Une signalétique sera mise en place au plus près des équipements déposés indiquant le débit de dose mesuré (à 1 mètre) et un avertissement interdisant de s'en approcher : "*Staying closer than 1 meter of the equipment is prohibited*"

Pour l'opération de maintenance proprement dite (point 2), la signalétique ne sera pas modifiée s'il s'agit bien d'une opération unique (seuls des travailleurs de catégorie A sont habilités à réaliser l'opération de maintenance).

Dans l'industrie nucléaire, les deux salles n°1 et n°2 seront classées en ZC (avec le code couleur orange, les débits de dose étant supérieurs à 25 µSv/h). Une signalétique particulière et des barrières physiques (e.g. rubalyse) seront installées autour des équipements (avec mention du débit de dose mesuré)

Situation b : Travaux en partie haute

En ce qui concerne les travaux en partie haute, dans l'industrie (non nucléaire), comme précédemment (situation a), le zonage sera réalisé en fonction de la dose annuelle calculée à partir des temps d'intervention et débits de dose réels (i.e. mesurés, calculés, ou estimés de façon réaliste). Il est donc probable qu'on maintiendrait dans les salles 1 et 2 le zonage mis en place pour la situation a. Seule la plate-forme de l'échafaudage sera classée en ZC car la dose reçue pourrait, au moins en théorie, atteindre 6 mSv/an (à partir de 750 heures dans le débit de dose ambiant de 0,8 mSv/h). Une signalétique particulière sera installée au bas de l'échafaudage avec mention de l'interdiction d'accès au personnel non autorisé : *“Access by unauthorised persons prohibited”*.

Dans l'industrie nucléaire, comme précédemment, les deux salles n°1 et n°2 seront classées en ZC (avec le code couleur orange, les débits de dose étant supérieurs à 25 µSv/h). La plate-forme de l'échafaudage (0,8 mSv/h) ne présente pas un débit de dose suffisant pour être classée ZC avec le code couleur rouge (à partir de 1 mSv/h). Cependant, en fonction du réalisme accordé à l'estimation et des incertitudes de mesure, par conservatisme, elle pourrait être quand même classé en ZC rouge. Une signalétique particulière sera installée au bas de l'échafaudage avec mention de l'interdiction d'accès au personnel non autorisé : *“Access by unauthorised persons prohibited”*.

4.2.3. Zonage au Royaume-Uni

Situation a : Travaux en partie basse

Selon l'IRR99, qui s'applique de manière générale, les deux salles sont classées en ZC.

D'après les règles propres à British Energy, les deux salles seront classées ZC de type « R2 » (dès lors que le débit de dose ambiant est inférieur à 50 µSv/h en dessous de la source point-chaud, ou autour des pompes déposées. Une sous-zone « R3 » sera autant que faire se peut matérialisée aux postes de travail, c'est-à-dire sur les pompes déposées au sol et sur l'échafaudage, voire même « R4 » si on ne pouvait pas mieux protéger ou interdire physiquement l'accès à ces différentes sources. Dans ce dernier cas, la salle devra être fermée à clef.

De l'avis d'un inspecteur de l'autorité britannique (HSE), le cas tel que décrit représente une situation qui serait jugée inacceptable sur le plan des efforts de mise en œuvre de l'optimisation de la radioprotection (principe ALARP au Royaume-Uni) car la salle 1 est une zone de passage (couloir) ; si elle devait être accessible à du personnel non classé, l'installation de protections biologiques autour des sources déposées serait préconisée, permettant une réduction du débit de dose à moins de 2,5 µSv/h (critère opérationnel de ZNR). En tout état de cause, HSE réclamerait le « blindage » autour des pompes déposées ou leur déplacement à un endroit qui n'impacterait pas le débit de dose ambiant de la salle 1 attenante.

Situation b : Travaux en partie haute

A British Energy, une signalisation « R4 » serait mise en place autour de l'échafaudage avec un rappel sur la plate-forme (un panneau supplémentaire indiquant la présence du point chaud : « *Hot spot* »).

4.2.4. Zonage en Suisse

Situation a : Travaux en partie basse

Dans la situation présente, en application stricte de l'ORaP, les salles 1 et 2 sont des zones contrôlées.

La réglementation plus précise applicable pour le zonage dans les centrales nucléaires, permet de sectoriser la zone contrôlée en sous-zones en fonction du débit de dose :

Ainsi, dans le cas où l'intervenant ne fait que passer dans les deux salles, le débit maximal étant de $30 \mu\text{Sv/h}$, il s'agirait d'un « secteur W ». Au point 2, avec 3 mSv/h au contact, il s'agirait d'un « secteur Y », qui en tant que tel, doit être délimité par des barrières physiques.

En ce qui concerne les opérations de maintenance sur les équipements déposés au sol, parce qu'elles sont réalisées dans un secteur Y, des mesures de radioprotection spécifiques doivent être mises en œuvre : délimitation de la zone avec un ruban papier « Radioactive » jaune, indications des mesures de débit de dose au contact et à 1 mètre ou en limite de zone, interdiction d'entrer sans un radioprotectionniste, travail réalisé sous la surveillance d'un radioprotectionniste, temps de séjour limité.

De l'avis d'un inspecteur de l'autorité suisse (OFSP), le débit de dose dans le couloir à la sortie de la salle 2 n'est pas acceptable en l'état. En effet, la réglementation suisse prévoit que dans un couloir d'une zone contrôlée, il faut ramener le débit de dose en dessous de $25 \mu\text{Sv/h}$. L'autorité exigerait donc que les parois et les portes soient (mieux) blindées et si possible toujours fermées ou bien que les pompes soient déposées ailleurs.

Situation b : Travaux en partie haute

Les règles de sectorisation de la zone contrôlée applicable aux centrales nucléaires classeraient la partie supérieure de l'échafaudage en « secteur Z ». En plus des règles de radioprotection applicables aux secteurs Y, un secteur Z doit (si possible) être verrouillé (seuls les radioprotectionnistes disposent de la clé). L'accès est alors réservé aux seuls agents autorisés selon le règlement interne et sous contrôle strict du service de radioprotection après rédaction d'un plan de travail (prévisionnel dosimétrique) et la durée de présence est très sévèrement limitée. La signalisation est installée à l'entrée du secteur, donc en l'occurrence sur les barrières de sectorisation des zones, au pied de l'échafaudage.

4.3. Cas n°3 : Parking d'entreposage temporaire (emballages de combustibles usés)

4.3.1. Présentation du cas

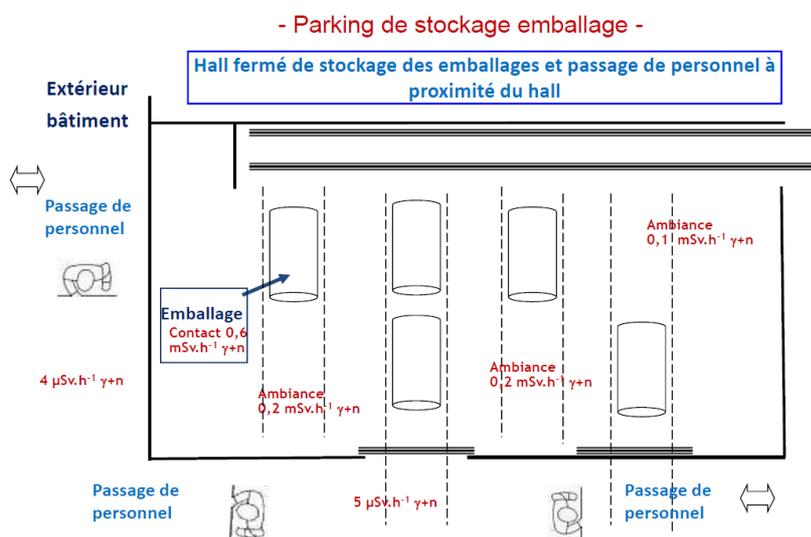
1. Contexte :

- Des emballages de combustibles usés sont entreposés dans un parking clos dont l'accès est possible par une porte. Cet enclos est cerné par une voie de circulation.

2. Hypothèses radiologiques :

- Le débit de dose ambiant (gamma + neutrons) dans le parking est compris entre $0,1$ et $0,2 \text{ mSv.h}^{-1}$. (A noter que l'emballage présente un débit d'équivalent de dose au contact de $0,6 \text{ mSv.h}^{-1}$)

- Autour du parking, une voie de circulation des personnels présente des débits d'équivalent de dose ambiant compris entre 4 et 5 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (cf. schéma ci-dessous)



4.3.2. Zonage en Finlande

Les règles du zonage dans les installations nucléaires s'appliquent : les zones de passage - les débits de dose étant compris entre 3 et 25 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ - seront classées ZC de couleur verte. L'intérieur du parking d'entreposage - les débits de dose étant compris entre 25 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ et 1 mSv/h - sera classé en ZC de couleur orange. Une signalétique « point chaud » sera placée sur chaque emballage (avec indication de la mesure du débit de dose au contact et/ou à 1 mètre).

4.3.3. Zonage au Royaume-Uni

L'IRR99 permet un classement en ZS de la zone de passage sous certaines conditions, notamment sous réserve de démontrer que la dose annuelle de 6 mSv ne pourra être atteinte (i.e. à partir de 1200 heures de présence par an dans la zone de circulation). La surveillance et les éventuelles inspections porteront sur ce dernier point (i.e. vérification de l'absence de poste de travail fixe, de table, d'atelier, etc.). L'intérieur du hall d'entreposage sera classé en ZC.

Sur les installations de *British Energy*, les zones de passage à l'extérieur du hall seront classées en ZC de type "R2" (débits de dose ambiants compris entre 3 et 50 $\mu\text{Sv}/\text{h}$), et l'intérieur du hall en ZC de type "R3" (débits de dose ambiants compris entre 50 et 500 $\mu\text{Sv}/\text{h}$).

Les débits de dose au contact des emballages étant supérieurs à 500 $\mu\text{Sv}/\text{h}$, une zone de type "R4" de taille restreinte, peut être matérialisée à l'intérieur d'une zone de type "R3". Dans ce cas, il sera installé un balisage à environ 50 cm des emballages avec un affichage indiquant la présence de débits de dose élevés : « high dose rate area » (avec mention de la valeur mesurée du débit de dose à 50 cm).

4.3.4. Zonage en Suisse

L'ORaP indique qu'en dehors des zones contrôlées, et où peuvent séjourner des personnes exposées aux rayonnements dans des circonstances non liées à l'exercice de leur profession, la dose d'ambiance ne doit pas dépasser 0,02 mSv par semaine. La réglementation Suisse fournit en complément un

ensemble de Valeurs Directrices (exprimées en débits de dose) qui peuvent suppléer à cette règle : si la valeur directrice est respectée, on peut alors considérer que la règle générale est respectée.

Endroit concerné	Endroit où séjourment des personnes	Valeur directrice en $\mu\text{Sv/h}$
A l'extérieur de la zone contrôlée		
A l'intérieur de l'enceinte de l'entreprise	Lieux non prévus pour un séjour durable tels que les toilettes, salles d'attente, vestiaires, locaux d'archivage et de stockage sans poste de travail, guichets, couloirs, escaliers, cage d'ascenseurs et autres terrains d'exploitation	< 2,5 (20 $\mu\text{Sv} / (40 \text{ h} / 5)$)

Ainsi, il faudrait que le débit de dose soit inférieur à 2,5 $\mu\text{Sv/h}$ pour déclasser la zone de passage du personnel en zone non contrôlée. Cependant, même dans ce cas, il faudrait s'assurer qu'il n'y a pas de poste de travail aménagé de manière fixe (présence de table, chaise, atelier, etc.). Auquel cas, il faudrait que le débit de dose soit ramené à une valeur inférieure à 0,5 $\mu\text{Sv/h}$ (mise en œuvre de protections biologiques supplémentaires).

Endroit concerné	Endroit où séjourment des personnes	Valeur directrice en $\mu\text{Sv/h}$
A l'extérieur de la zone contrôlée		
A l'intérieur de l'enceinte de l'entreprise	Postes de travail aménagés de manière fixe	< 0,5 (20 $\mu\text{Sv} / 40 \text{ h}$)

Ces valeurs n'étant pas respectées dans le cas présenté, la zone de passage de personnel serait classée en ZC. L'intérieur du hall d'entreposage, sera également classé en ZC (une dose de plus de 1 mSv/an pouvant être atteinte avec une hypothèse conservatrice de 2000 heures de travail/an).

Les règles applicables aux centrales nucléaires précisent la sectorisation de ces deux ZC et en découlent des règles de radioprotection particulières qui sont alors à mettre en œuvre (cf. Fiche Pays Suisse) : la zone de passage serait classée en ZC secteur V (car les débits de dose y sont inférieurs à 10 $\mu\text{Sv/h}$), et le hall, en ZC secteur X partout, même au contact des emballages (car les débits de dose y sont compris entre 0,1 et 1 mSv/h).

4.4. Cas n°4 : Utilisation intermittente d'un générateur à rayons X

4.4.1. Présentation du cas

Un opérateur réalise un cliché radiologique au moyen d'un générateur X (examen d'un patient ou contrôle d'une pièce métallique). En fonction du type de cliché effectué, le faisceau peut être orienté verticalement et vers le sol ou horizontalement vers le local B adossé.

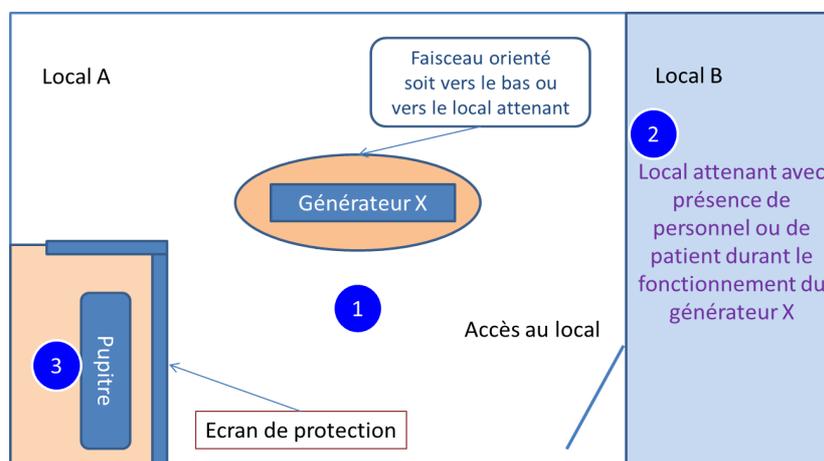
Pour la réalisation pratique on considère les 3 situations suivantes :

- Situation a : lors du positionnement du patient ou de la pièce à radiographier le générateur électrique est sous tension mais sans émission de rayonnement X ;
- Situation b : dès que le positionnement est terminé, l'opérateur lance l'émission de rayonnement X à partir du pupitre ;
- Situation c : à la fin des opérations d'exposition, l'opérateur verrouille le générateur X interdisant toute mise sous tension.

Hypothèses radiologiques en situation b

- le niveau d'exposition au niveau de l'emplacement 1 est évalué à 180 μSv pour 6 heures par jour ;

- dans le local attenant, la dose efficace intégrée durant les heures de travail est évaluée à $60 \mu\text{Sv}/\text{mois}$ (emplacement 2) ;
- au niveau du pupitre (emplacement 3), l'exposition pour 6 heures par jour est évaluée respectivement à $24 \mu\text{Sv}$ (derrière l'écran) et $48 \mu\text{Sv}$ (en l'absence d'écran de protection).



4.4.2. Zonage en Finlande

Pour traiter ce cas, il convient d'examiner les guides ST 1.6 (règles générales) et ST 3.6 (règles spécifiques aux installations d'irradiation X ainsi que les exemples de l'annexe B de ce même document).

Théoriquement, la zone contrôlée est la zone autour du patient qui, pendant l'irradiation, est exposée aux faisceaux primaire et diffusé par le corps du patient. Le reste de la salle où le générateur est installé peut généralement être considéré comme une ZS. La salle de commande (zone pupitre) peut être une zone non réglementée.

Cependant, l'étude de cas présente des débits de dose élevés qui, même avec le blindage proposé, peuvent conduire au dépassement d'une dose efficace annuelle de 6 mSv (en 2000 heures d'exposition), la totalité du local A (y compris la zone pupitre) serait donc classée en ZC. Par ailleurs, d'après le guide ST 3.6, le blindage entre les locaux A et B doit être renforcé de telle sorte que la contrainte de dose de $0,3 \text{ mSv}/\text{an}$ soit respectée dans le local B (en l'état la dose annuelle prévisionnelle étant beaucoup trop élevée : $0,72 \text{ mSv}/\text{an}$).

Le guide ST 3.6 indique également les règles de signalétique du risque radiologique dans les installations d'irradiation X. Sur les portes de ces installations, le risque doit être signalé (a minima par un trisecteur même si l'accès du personnel extérieur est interdit ou suffisamment contrôlé). Si la dangerosité de l'accès à la salle d'irradiation n'est indiquée qu'au moyen de signaux lumineux, ceux-ci doivent respecter les spécificités suivantes :

- une lumière blanche ou jaune indiquant que le générateur X est sous-tension et prêt pour réalisation de l'examen. Il est recommandé qu'apparaisse également la mention en texte plein "APPAREIL OPERATIONNEL" (en finlandais) .
- une lumière rouge pendant l'irradiation. Il est recommandé qu'apparaisse également la mention en texte plein "ENTRÉE INTERDITE" (en finlandais).

Par ailleurs, un affichage (interdisant le séjour prolongé) doit également être apposé sur les portes des locaux attenants à la salle d'irradiation si le blindage a été dimensionné en prenant en compte un taux d'occupation de ces locaux inférieur à 1 (i.e. moins de 2000 heures/an), il peut s'agir par exemple des magasins matériels, ou des sanitaires.

4.4.3. Zonage au Royaume-Uni

Point 1 – Salle d'examen

Dans le domaine médical, la salle d'irradiation est classée en ZC dès la phase de positionnement du patient ; un affichage lumineux en texte plein avec la mention « ZONE CONTRÔLÉE » (« CONTROLLED AREA ») est préconisé. Pendant l'émission des rayons X, il est recommandé l'affichage supplémentaire du texte « EMISSION RX » (« X-RAY ON »). Lorsque le générateur est verrouillé hors tension, il y a extinction des signaux lumineux : la salle n'est plus considérée comme une ZC.

Dans le domaine industriel, les consignes sont similaires avec double asservissement entre l'alarme et le générateur : on ne peut pas mettre l'appareil sous tension si l'alarme est en panne, et le générateur est mis hors service si la lumière tombe en panne pendant l'émission de RX ou lorsqu'il est mis sous tension.

Rq. Les débits de dose ne sont pas limités dans la ZC (yc. dans le faisceau).

Point 3 – Pupitre de commande

Il n'y a pas d'intérêt particulier à ramener la zone pupitre en ZS dans cette configuration des locaux (une porte donnant accès à la zone d'émission des rayons X) ; par contre, si l'accès à la zone pupitre se faisait par une autre porte (i.e. sans accès direct à la zone patient) alors on pourrait effectivement se poser la question du zonage particulier de cet espace.

Mais, en l'état, la situation n'est pas satisfaisante car la dose reçue en 250 jours (à raison de 6 heures/jour) est potentiellement de 12 mSv/an (sans protection) et de 6 mSv/an (avec blindage), valeur limite pour une zone contrôlée au Royaume-Uni, la zone pupitre serait donc de toute façon maintenue comme une ZC : il est plus que probable qu'un inspecteur des autorités de radioprotection demanderait le renforcement du blindage de la zone pupitre.

Point 2 (couloir adjacent à la salle, inaccessible au public mais accessible au personnel)

Sous l'expresse condition qu'il ne s'agisse pas d'une zone accessible au public (ce qui semble être le cas en absence de porte), la dose maximale calculée ($60 \mu\text{Sv}/\text{mois} \times 12 \text{ mois} = 720 \mu\text{Sv}/\text{an}$) étant inférieure à 1 mSv/an, le local B pourrait être ZNR à condition qu'une occupation plus fréquente de la salle soit réellement impossible, auquel cas le local B serait classé en ZS.

HSE recommanderait aussi un meilleur blindage entre les salles 1 et 2 ou un déplacement du générateur X (application du principe d'optimisation - ALARP) bien que la limite de conception ($< 20 \mu\text{Sv}/\text{semaine}$) soit bien respectée.

4.4.4. Zonage en Suisse

Dans le domaine médical, c'est l'Ordonnance sur les installations radiologiques à usage médical (Ordonnance sur les rayons X) qui s'applique au traitement de ce cas.

En Suisse, on doit respecter les critères spécifiques dès la conception de l'installation : on calcule donc le blindage nécessaire, en fonction de la fréquence d'utilisation de l'appareil et des débits de dose dans les faisceaux directs et diffusés, pour que les débits de dose que l'on veut obtenir hors de la ZC ou en ZC soient respectés. Ces valeurs cibles figurent dans l'Ordonnance :

- 0,02 mSv par semaine dans locaux contigus où peuvent séjourner durablement des personnes non exposées professionnellement
- 0,1 mSv par semaine dans les locaux contigus où des personnes non exposées professionnellement ne séjournent pas durablement (salles d'attente, vestiaires, ...)
- 0,1 mSv par semaine à aucun endroit dans les locaux contigus où ne séjournent que des personnes exposées professionnellement

La zone pupitre sera généralement en ZC car d'une part, il faudrait investir considérablement en termes de blindage pour déclasser la zone, et d'autre part parce que la personne qui va du pupitre à la salle d'examen ou de traitement est de toute façon un travailleur classé (ayant accès à une ZC).

Dans le cas proposé, le local A est classé ZC parce qu'il héberge un appareil à émission de rayons X : il n'est pas fait de distinction entre son fonctionnement ou sa mise à l'arrêt.

Dans le local B adossé, la dose intégrée par mois (60 μ Sv) soit 15 μ Sv par semaine « en moyenne » respecte le critère de conception qui est de 20 μ Sv/semaine. Ce local n'est pas nécessairement classé en ZC, si l'utilisateur de l'appareil peut garantir que ce critère est bien respecté en tout point du local y compris juste derrière le mur entre les locaux A et B (un poste de travail fixe, dos contre le mur, peut en effet être imaginé). Or, si le faisceau du générateur est orienté vers ce mur, il est probable que ce critère ne soit plus respecté. Dès lors, un blindage supplémentaire sera imposé à l'établissement pour pouvoir déclasser le local B ou bien il sera préconisé de changer la place du générateur. De plus, l'installation d'une porte d'accès au local B (indépendante de l'accès via le local A) sera nécessaire pour que l'accès au local B soit autorisé à du personnel non classé.

Au point 1, la dose prévisionnelle est de 180 μ Sv pour 6 heures par jour (soit potentiellement 45 mSv, en 250 jours de travail) : cette dose (supérieure à la limite réglementaire suisse) n'est évidemment pas acceptable sans connaissance plus précise du temps d'utilisation de la salle.

Au point 3 (zone pupitre), l'exposition (6 heures par jour) est évaluée à 24 μ Sv derrière un blindage, et 48 μ Sv en l'absence de blindage (soit respectivement 120 μ Sv et 240 μ Sv, pour une semaine de 5 jours). En l'état, la situation serait également jugée inacceptable car elle ne respecte pas le critère de 100 μ Sv/semaine imposé pour les locaux contigus où séjournent des personnes exposées professionnellement. Un surblindage entre le local du générateur X et la zone pupitre serait donc imposé par les autorités.

Ce cas n'a pas été examiné pour l'industrie, en Suisse.

4.5. Cas n°5 : Utilisation d'un faisceau de rayonnement intense

4.5.1. Présentation du cas

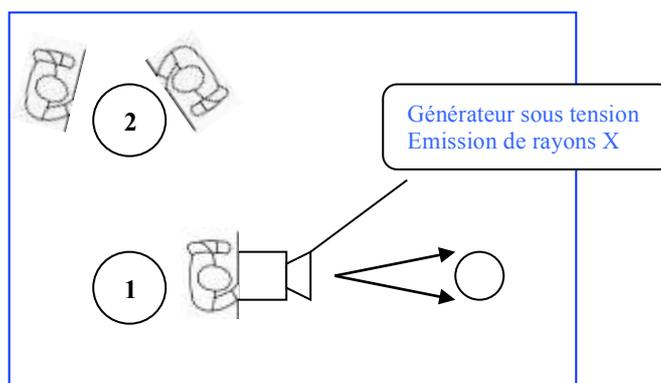
Situation a : Phase de fonctionnement

1. Contexte

Un technicien (ou médecin), opérateur A (emplacement 1), effectue une opération au plus près d'un faisceau (non protégé) d'un générateur de rayons X et pour lequel le débit de dose est de 1 Gy/min au niveau de la main, si l'opérateur place celle-ci dans le faisceau direct.

L'utilisation du faisceau direct ne dure pas plus de 2 min par opération.

Deux autres opérateurs (B et C) (emplacement 2) travaillent à proximité mais le seul risque à leur niveau est un risque d'exposition externe par le rayonnement diffusé.

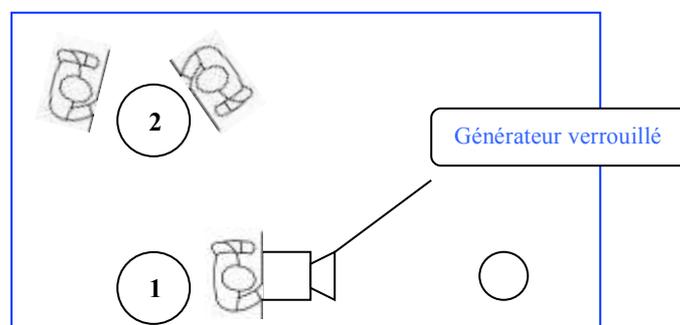


2. Hypothèses radiologiques

En présence du faisceau, le débit d'équivalent de dose est de 2,5 mSv/h à 50 cm (emplacement 1) et passe à 10 μ Sv/h à 7 m (emplacement 2). Au niveau de l'accès du local, le débit d'équivalent de dose est de 5 μ Sv/h.

Situation b : Phase d'arrêt (générateur à rayons X verrouillé)

1. Contexte



2. Hypothèses radiologiques

- le générateur X n'est plus sous tension et est verrouillé (absence d'émission de rayonnement).

4.5.2. Zonage en Finlande

Ce cas est relativement semblable au précédent : les mêmes guides (ST 1.6 et ST 3.6) sont à utiliser. Si le générateur X est en permanence dans la salle, la pièce est toujours une ZC, sinon elle l'est pendant son utilisation et ce, quelle que soit la situation (i.e. qu'il soit verrouillé hors tension ou non).

La contrainte de dose (0,3 mSv/an) pour l'utilisation des appareils à RX s'applique et en conséquence, les pièces et les équipements doivent être conçus (blindages, voltage, etc.) de telle sorte qu'elle soit respectée en tout point (avec des hypothèses conservatrices en termes de présence du personnel et nombre d'examen par an).

Compte tenu des débits de dose élevés attendus pendant l'émission des rayons X, le personnel devra disposer d'équipements de protection individuels.

A l'extérieur de la salle, les mêmes alarmes lumineuses que celles préconisées dans le cas n°4 devront être installées.

4.5.3. Zonage au Royaume-Uni

Ce cas n'a été examiné que pour la radiographie interventionnelle. Les mêmes règles que le cas n°4 s'appliquent. Toute la salle serait classée en ZC.

4.5.4. Zonage en Suisse

Les mêmes règles que le cas n°4 s'appliquent. Toute la salle serait classée en ZC (générateur en fonctionnement ou en arrêt).

Il n'y a pas de limite sur le débit de dose instantané (il n'est pas vraiment mesurable car il peut varier considérablement). Au poste de travail, le port de dosimètres, de gants, ou d'un tablier de plomb sera prescrit.

A l'extérieur de la salle, les blindages devront être dimensionnés de telle sorte que les critères présentés au cas n°4 et dans la fiche Pays-Suisse soient respectés.

4.6. Cas n°6 : Atelier en cours de démantèlement

4.6.1. Présentation du cas

1. Contexte :

Les opérateurs interviennent dans un atelier pour découper des pièces contaminées par du ^{239}Pu . Les interventions se font au moyen d'appareil respiratoire isolant durant 2 fois 2 h par jour.

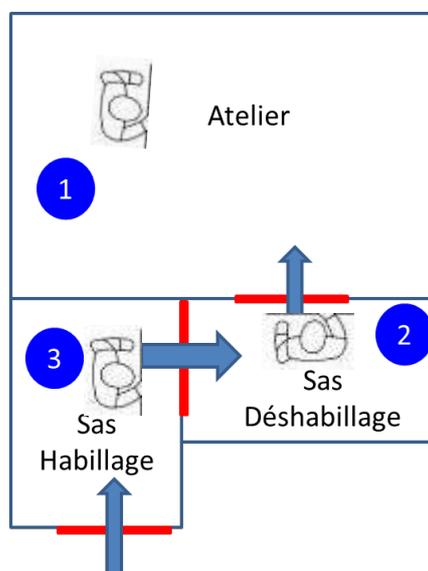
Le niveau de contamination relevé dans l'atelier est de 2000 Bq/m^3 (point 1)

Dans le sas de déshabillage (point 2) le niveau de contamination relevé est de $0,5 \text{ Bq/m}^3$ et les opérateurs portent un masque de protection.

Dans le sas d'habillage (point 3) il n'y a pas de contamination atmosphérique.

2. Hypothèses radiologiques :

- un opérateur qui reste 1 h, sans protection individuelle en présence d'une activité volumique de $0,44 \text{ Bq/m}^3$ de ^{239}Pu reçoit une dose efficace engagée de $25 \mu\text{Sv}$;
- le niveau d'exposition externe est négligeable.



4.6.2. Zonage en Finlande

L'atelier (pièce n°1) sera classé en ZC car des mesures de protection spéciales et des procédures particulières (par exemple : ventilation, équipements de protection respiratoires, sas en dépression, habillage/déshabillage assisté, etc.) sont à mettre en œuvre : c'est un critère qualitatif suffisant pour classer un espace de travail en ZC. En cas de défaillance de ces équipements ou procédures, la dose individuelle d'un travailleur de l'atelier serait (d'après le guide ST 7.3 qui donne les valeurs dérivées de limite de concentration dans l'air - LDCA - et les limites annuelles d'incorporation - LAI - pour tous les radionucléides) très élevée ($>100 \text{ mSv/h}$) : toutes les mesures possibles doivent donc être prises pour réduire la concentration atmosphérique de ^{239}Pu dans l'atelier.

Cette remarque est également valable pour le sas de déshabillage où la concentration est telle qu'il est possible (en fonction de la durée d'utilisation annuelle) de dépasser 6 mSv/an , notamment en situation accidentelle. Comme dans le cas précédent, ce sas sera de toute façon classé ZC compte tenu des dispositifs de protection et procédures spécifiques à y mettre en œuvre.

Le sas habillage, exempt de contamination atmosphérique, pourrait être maintenu en ZS (une surveillance métrologique de la dispersion atmosphérique y serait tout de même préconisée). Dans l'industrie électronucléaire, les deux sas et l'atelier seraient classés ZC (à noter que les niveaux de contamination atmosphérique sont des critères de sous-zonage de la ZC dans les centrales nucléaires finlandaises: zone orange à partir de $0,3 \text{ LDCA}$, zone rouge à partir de 30 LDCA , ces limites dérivées, rapportées à l'ancienne limite de dose efficace annuelle de 50 mSv , sont données en annexe du guide ST 7.3).

4.6.3. Zonage au Royaume-Uni

D'après l'IRR99, tout espace de travail où des procédures spéciales (ex. port d'EPI) sont nécessaires devra être classé en ZC, ce qui est bien évidemment le cas de l'atelier ($2000 \text{ Bq}_{\text{Pu239}}/\text{m}^3$) et du sas de déshabillage ($0,44 \text{ Bq}_{\text{Pu239}}/\text{m}^3$). Dans l'industrie nucléaire (e.g. British Energy) une zone de travail est considérée à risque de contamination interne par inhalation si la concentration dans l'air est telle qu'elle peut engendrer une dose de 1 mSv/an sans EPI, elle est alors désignée « C3 » (cette valeur est de $0,013 \text{ Bq}/\text{m}^3$ pour le Pu239). L'atelier et le sas de déshabillage seraient donc tous deux classés ZC « C3 » et probablement aussi « C2 » (risque de contamination surfacique) : la situation n'est pas considérée acceptable par HSE car la contamination atmosphérique dans le sas de déshabillage y est jugée trop élevée.

La zone d'habillage (où la contamination atmosphérique est nulle) serait tout de même classée en ZS car elle contiguë à une ZC contaminée : un avertissement sur le risque de contamination atmosphérique (et surfacique) potentiel serait probablement affiché à l'entrée et des mesures par prélèvement d'air imposées.

4.6.4. Zonage en Suisse

Avant même son démantèlement, l'atelier devait être considéré en ZC au regard de l'activité présente.

Comme en Finlande et au Royaume-Uni, l'industrie nucléaire Suisse (e.g. centrale nucléaire de Beznau) utilise aussi des valeurs-guides de concentration dans l'air (CA) ou surfacique (CS) à partir desquelles un zonage spécifique sur le risque d'exposition interne est réalisé (cf. Annexe 3 de l'ORaP pour ces valeurs guides par radionucléide, et §9.12. de l'ORaP les détails sur leur calcul). Le CA (rapporté à une dose de 20 mSv par an) du ^{239}Pu est de $0,3 \text{ Bq}/\text{m}^3$. Les règles du zonage pour la contamination atmosphérique sont explicitées dans la Fiche-Suisse de ce rapport.

L'atelier ($2000 \text{ Bq}/\text{m}^3$ au point 1) serait classé en ZC, « zone IV rouge » ($>10 \text{ CA}$)

Le sas de déshabillage ($0,5 \text{ Bq}/\text{m}^3$ au point 2) serait classé en ZC, « zone III rouge » ($> 0,1 \text{ CA}$)

Ce zonage définit directement le type de protection individuelle à porter et les conditions d'accès :

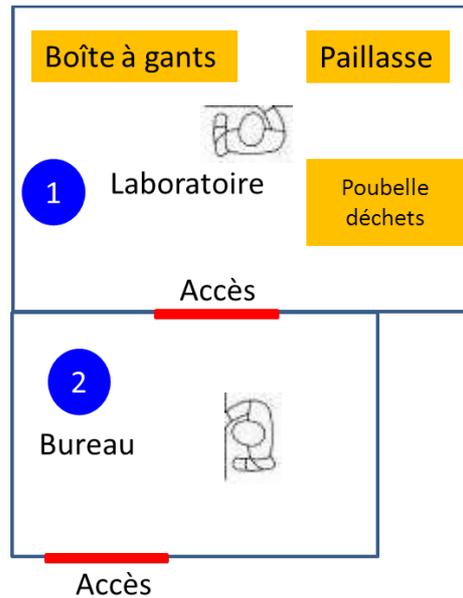
- Zone III : surtenue complète avec un marquage rouge, vêtements sous la surtenue spécifique à la zone, surchausse spécifique à la zone, coiffes de protection, gants, masque anti-poussières disponibles. Accès après autorisation donnée selon le règlement d'exploitation, éventuellement sous le contrôle du service de RP, la durée de résidence peut être limitée par la contamination atmosphérique.
- Zone IV : surtenue complète avec un marquage rouge, vêtements sous la surtenue spécifique à la zone, coiffes de protection, gants, bottes de protection, masque de protection avec filtre absolu. Accès après autorisation donnée selon le règlement d'exploitation et seulement sous le contrôle strict du service de RP, durée de résidence limité selon des considérations d'hygiène de travail.

4.7. Cas n°7 : Laboratoire où est manipulé de l'iode 131 radioactif

4.7.1. Présentation du cas

1. Contexte :

Les opérateurs préparent quotidiennement des solutions d'iode 131 injectables dans la boîte à gants du laboratoire schématisé ci-dessous. L'ensemble des opérations liées à cette activité occasionne une contamination atmosphérique du laboratoire.



2. Hypothèses radiologiques :

- L'exposition d'un opérateur, sans protection individuelle, pendant une heure en présence d'une activité volumique de 1900 Bq/m^3 d'iode 131, induit une dose efficace engagée de $25 \mu\text{Sv}$.
- la boîte à gants contient en permanence un flacon d'une solution d'iode 131 générant un débit d'équivalent de dose de 40 mSv/h au contact du flacon et de $15 \mu\text{Sv/h}$ au poste de travail de la boîte à gants situé à 1 m du flacon. L'activité volumique dans la boîte à gants est estimée à $60\,000 \text{ Bq/m}^3$;
- la contamination surfacique des locaux est négligeable ;
- l'exposition externe au point N°2 est négligeable.

Le niveau de contamination atmosphérique relevé tous les jours pendant un mois au moyen d'un prélèvement de l'air ambiant est égal à :

- 1000 Bq/m^3 au point N°1 ;
- 20 Bq/m^3 dans le bureau au point N°2.

4.7.2. Zonage en Finlande

La classification (type A, B ou C) d'un laboratoire dépend de la quantité d'activité manipulée (cf. Cas n°1). Le critère déterminant est un niveau d'exemption exprimé en Bq. Un laboratoire est de type C si l'activité manipulée « en une fois » est inférieure à 10 fois ce niveau d'exemption, il est de type A si elle est plus de 10000 fois ce niveau, de type B entre ces deux valeurs (Guide ST 6.1 *Radiation safety when using unsealed sources*).

Pour l'I-131 le niveau d'exemption est 1 MBq (cf. Guide ST 1.5) : il s'agit donc d'un laboratoire de type C. Les laboratoires de type A et B sont systématiquement classés en ZC, les laboratoires type C en ZS (Guide ST 1.6). Si des travailleurs non classés peuvent pénétrer dans la salle du laboratoire alors une contrainte de dose de 0,3 mSv/an leur est appliquée (ainsi, dans le bureau, si cette contrainte ne peut être respectée, on considère qu'il fait partie du laboratoire).

Dans l'exemple proposé, en appliquant une simple règle de 3 ($20/1900 \times 25 \mu\text{Sv/h} \times 8 \text{ h} \times 250 \text{ j}$), la dose dans le bureau pourrait atteindre 0,6 mSv/an : il est partie intégrante du laboratoire et classé, tout comme lui, en ZS. Seul, des travailleurs classés pourront donc y pénétrer.

4.7.3. Zonage au Royaume-Uni

Laboratoire

D'après l'IRR99, la BAG et le poste de travail seraient évidemment en ZC compte tenu du débits de dose. Le calcul conservatif d'exposition maximale conduit à un dépassement de la limite réglementaire annuelle : $15 \mu\text{Sv/h}$ (à 1m du flacon) $\times 8$ heures $\times 250$ jours = 30 mSv/an.

L'exploitant doit donc apporter une démonstration d'un taux d'occupation beaucoup plus faible de la BAG. Cependant, même avec une utilisation de moins d'1h/jour de la BAG (i.e. dose < 4 mSv/an, pourtant inférieure à 6 mSv) le labo resterait en ZC (en raison des incertitudes sur la validité pérenne d'une dose moyennée sur un mois et de la potentialité d'une exposition plus longue du manipulateur). La signalétique à l'entrée du labo porterait uniquement la mention de la contamination atmosphérique même s'il est probable qu'un risque de contamination surfacique co-existe.

Des protections supplémentaires (blindage de la BAG) seront probablement demandées (ALARP).

Bureau

D'après l'IRR99, le bureau est une ZNR car la dose annuelle y est estimée à moins de 1mSv/an, en réalisant le calcul suivant : $20/1900 \times 25 \mu\text{Sv/h} \times 8$ heures $\times 250$ jours = $\sim 600 \mu\text{Sv/an}$. Cependant, une augmentation du taux d'occupation du labo pourrait faire croître la contamination atmosphérique et donc la dose reçue dans le bureau, celui-ci pourrait donc être maintenu en ZS (par précaution) sans une amélioration de la ventilation.

4.7.4. Zonage en Suisse

Domaine médical

Dans un laboratoire de type C, il ne faut normalement pas d'activité de l'air dans la salle 1 car on travaille en boîte à gant ou sous une « chapelle ». Même sans contamination atmosphérique, on mettrait toute la salle 1 en ZC (de « type inconnu ») car l'activité de départ n'est pas connue.

Si la contamination atmosphérique est jugée trop importante dans la BAG et pour un travail de routine (quotidien), on exigerait plutôt une cellule chaude, hermétique, avec mise en dépression afin d'éviter la contamination atmosphérique du laboratoire. Le zonage de l'intérieur de la BAG n'est pas différent de celui du laboratoire. On classe l'ensemble de la salle plutôt que la seule BAG. Par ailleurs, au vu du débit de dose au poste de travail ($15 \mu\text{Sv/h}$) dans le laboratoire, il serait de toute façon classé en ZC (potentialité de plus de 1 mSv/an sur 2000 heures de travail).

Sur le seul critère de contamination atmosphérique, le bureau est à un niveau en dessous de $1/20^{\text{e}}$ CA ($20/800^6 = 0,025$), il pourrait donc théoriquement être en ZNR (moins de 1 mSv/an). Mais, il faudrait aussi connaître les débits de dose dans le bureau (en particulier dans la zone contiguë au laboratoire) pour savoir s'il est acceptable de ne pas le classer en zone contrôlée.

Rq. Si l'activité est très élevée, (à partir des laboratoires de type B), il faudrait un vestiaire pour entrer dans le laboratoire.

Domaine nucléaire (guide HSK-R-07)

Le classement d'un laboratoire chaud dans une installation nucléaire - ce n'est probablement pas le cas du laboratoire proposé dans l'étude de cas - suivrait les règles déjà exposées au cas n°4.

La valeur du CA pour l'iode 131 est de 800 Bq/m^3 .

Le laboratoire (1000 Bq/m^3) serait donc classé en ZC - Zone III rouge (entre 0,1 et 10 CA), et secteur-W sur le risque d'exposition externe (débit de dose compris entre 10 et $100 \mu\text{Sv/h}$).

Il n'y a pas de classement spécifique pour l'exposition aux extrémités (mains).

Au point 2 (bureau), comme déjà mentionné, on est à 0,025 CA. Mais le bureau ne serait pas pour autant classé en zone II jaune ($< 0,1 \text{ CA}$) car l'ORaP s'applique également : comme on est en-dessous du vingtième de CA, la dose interne est inférieure à 1 mSv/an ; la dose externe étant négligeable, le bureau pourrait ne pas être en zone contrôlée mais dans ce cas, il faudrait installer un vestiaire entre le bureau et le laboratoire.

Rq. comme il y a une contamination de l'air, il y a aussi une potentialité de contamination de surface qu'il faut examiner.

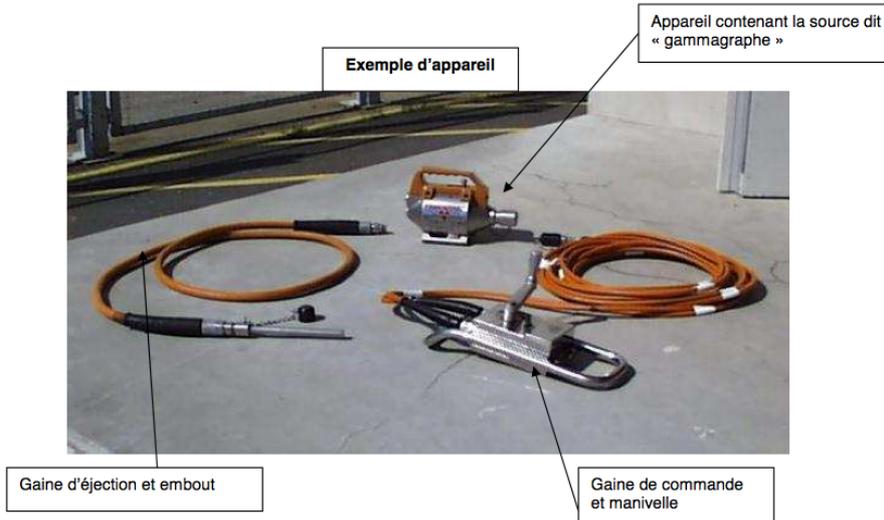
Les tenues de protection et les conditions d'accès (à une Zone III) sont spécifiées dans le guide HSK-R-07. Elles ont déjà été rappelées au cas n°6.

⁶

800 Bq/m^3 est la valeur guide pour l'iode 131 (CA) qui génère une dose de 20 mSv en un an d'exposition ($2400 \text{ m}^3/\text{an}$ inhalé).

4.8. Cas n°8 : Utilisation d'un appareil mobile de radiographie industrielle

4.8.1. Présentation du cas



Nous considérons 3 situations :

- situation a : une opération de contrôle sur la voie publique (exemple : radiographie de soudures de réseaux gaz, eau etc. en milieu urbain) ;
- situation b : une opération de contrôle de soudure dans un établissement industriel hors zone réglementée ;
- situation c : une opération de contrôle de soudure à l'intérieur d'un établissement industriel, en zone réglementée (surveillée et/ou contrôlée).

Questions complémentaires pour la situation c :

1. Contexte :

Pour le cas particulier d'un contrôle par radiographie d'une soudure de tuyauterie en acier dans une zone réglementée d'un établissement industriel, on illustrera les règles applicables sur le cas suivant :

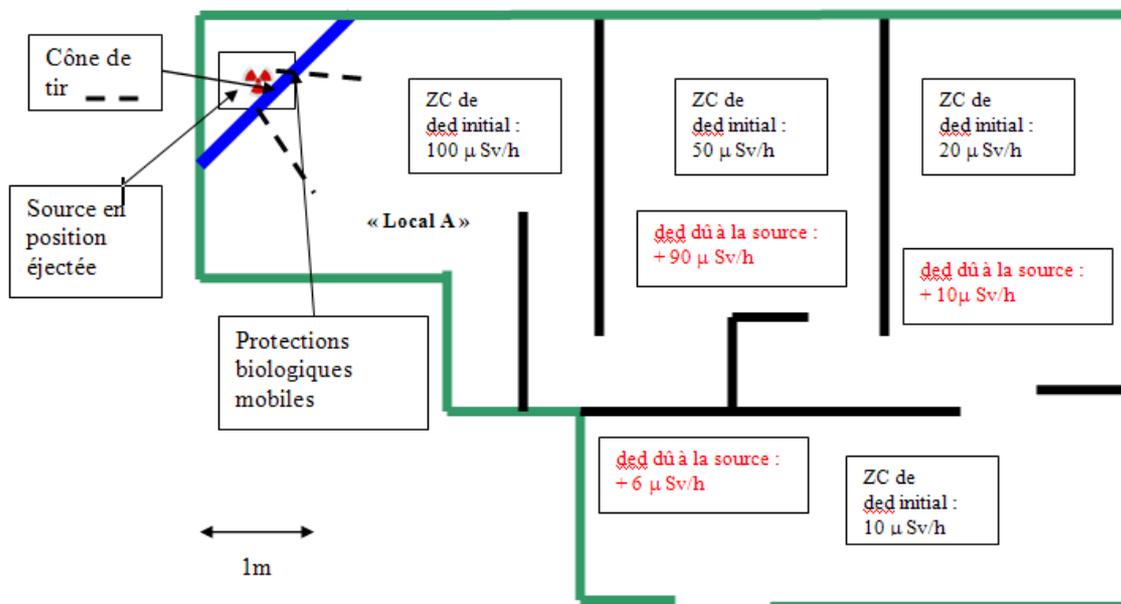
Le contrôle gammagraphique a lieu dans un bâtiment où règnent des débits de dose initiaux (débit d'équivalent de dose initial) supposés homogènes par local (absence de contamination atmosphérique : zones d'exposition externe exclusive).

Les locaux sont accessibles exclusivement à des salariés classés (personnes susceptibles d'être exposées à une dose efficace supérieure à 6 mSv sur 1 an ou 12 mois glissants selon la législation applicable).

Les nécessités de continuité d'exploitation des différents matériels dans les locaux ne permettent pas d'en interdire totalement l'accès pendant les contrôles par gammagraphie et donc de faire un balisage au plus large.

2. Hypothèses radiologiques :

Le gammagraphe comporte une source d'iridium 192 (^{192}Ir) d'activité 1,73 TBq créant un débit d'équivalent de dose à un mètre de la source protégée de l'ordre de 30 mSv/h compte-tenu des protections biologiques posées ████████ (233 mSv/h à 1 m de la source nue). L'existence d'un collimateur, du fait de l'orientation du tir (cône de tir), n'apporte pas ou peu d'atténuation pour les locaux concernés.



Rq. Ci-après les salles seront nommées « local A » (où le tir est effectué), salle « ouest » (où le DeD passe de 50 à 140 $\mu\text{Sv/h}$ pendant le tir), salle « est » (où le DeD passe de 20 à 30 $\mu\text{Sv/h}$ pendant le tir) et salle sud (où le DeD passe de 10 à 16 $\mu\text{Sv/h}$ pendant le tir) .

Les parois intérieures ████████ apportent une atténuation d'un facteur moyen de 5 à 10 compte-tenu des diffusions mais sans lignes de fuites. Les débits d'équivalent de dose additionnels apportés par la source en position éjectée dans chaque local figurent en rouge ci-dessus. Par souci de simplification, tous ces débits d'équivalent de dose sont eux aussi supposés homogènes dans chaque local à l'exception du local contenant la source marqué « Local A ». Pour celui-ci, le débit d'équivalent de

dose initial est supposé homogène, par contre le débit d'équivalent de dose apporté par la source varie grossièrement en fonction de l'inverse du carré de la distance à la source protégée. Conventionnellement aussi, on suppose que les parois extérieures atténuent totalement le débit d'équivalent de dose.

4.8.2. Zonage en Finlande

Le Guide spécifique (ST 5.6 - "Radiation safety in industrial radiography") pour la radiographie industrielle s'applique pour les situations a et b. La ZC est délimitée aux points où le débit de dose peut atteindre $60 \mu\text{Sv/h}^7$ (débit de dose instantané, quand la source est éjectée, en position de contrôle). La ZS n'est pas matérialisée (délimitée) à $7.5 \mu\text{Sv/h}$, mais son étendue est contrôlée par des mesures régulières.

En pratique, il est fréquent que STUK impose une délimitation de la zone contrôlée à une valeur plus faible que $60 \mu\text{Sv/h}$ (e.g. $20 \mu\text{Sv/h}$) : il n'y a alors plus de ZS mais une ZC plus étendue. La taille ou la superficie de la ZC n'est pas un obstacle jugée recevable par l'autorité finlandaise. Si nécessaire (zone publique), elle devra être évacuée avant les tirs.

La signalétique est classique : trisecteur, contrôle d'accès et d'intrusion, alarmes lumineuses connectées à l'appareil.

En ce qui concerne la situation c (contrôles radiographiques à l'intérieur d'une ZC), le guide YVL 7.9 s'applique : pendant les tirs, les changements de classification des zones (en l'occurrence la salle « est » qui passe de vert à orange) doivent être indiqués. La salle de tir est zonée rouge. Les salles ouest et sud restent respectivement orange et verte pendant le tir.

La réglementation n'impose que le verrouillage (ou le contrôle strict d'accès) des salles zonées en rouge mais en pratique, pendant les tirs, l'accès est restreint voire interdit sur une superficie aussi grande que possible dès lors qu'elle n'impacte pas d'autres travaux indispensables. Pour cette raison, les tirs de radiographie sont réalisés préférentiellement de nuit.

4.8.3. Zonage au Royaume-Uni

Ce sont quasiment mêmes règles qui s'appliquent dans les 3 situations.

L'IRR99 recommande qu'en limite de ZC, le DeD doit être inférieur à $7,5 \mu\text{Sv/h}$ (il s'agit du débit de dose « instantané », en fait moyenné sur 1 minute, la source étant dans le collimateur ou à sa position requise pour l'examen ; il est considéré que la phase d'éjection de la source est si courte qu'elle ne générerait de toute façon qu'une dose minimale en limite de ZC). Il n'y a pas de ZS au-delà de la ZC.

L'ACoP précise que cette valeur de $7,5 \mu\text{Sv/h}$ à respecter en limite de ZC est une obligation pour la radiographie industrielle, hors local/enceinte.

Comme en Finlande, aucune dérogation n'est possible pour réduire la taille de la ZC : elle peut atteindre plusieurs centaines de mètres si le tir est réalisé en extérieur (dans l'espace public, des évacuations de la population peuvent alors être imposées : seuls les opérateurs de radiographie peuvent entrer dans la ZC). Pour les contrôles sur de grands objets (ex. pipelines) on arrêtera la radiographie et on procédera au changement des limites de la ZC chaque fois que nécessaire (mais si

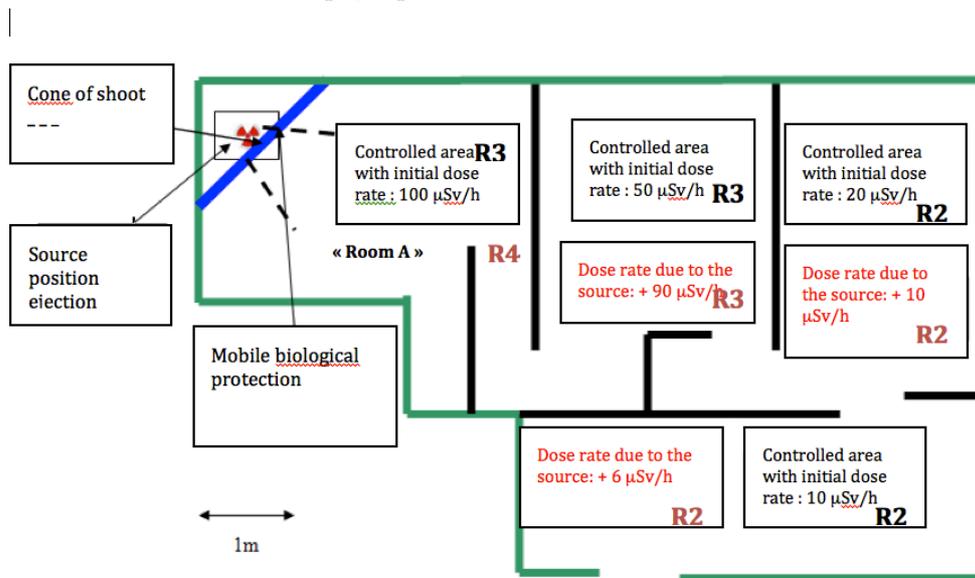
⁷ Cette valeur provient d'un guide réalisé dans les années 70, toujours en vigueur dans certains pays scandinaves ("Flag Books" – Nordic cooperation in the nuclear energy field)

possible, on préférera délimiter, dès le départ, toute la zone qui sera potentiellement en ZC à un moment donné).

Les tirs de radiographies industrielle sont assortis d'un ensemble de mesures d'alarmes notamment :

- un signal lumineux - théoriquement - asservi à la mise en marche de l'appareil (mais en pratique en marche dès l'installation de la ZC)
- une alarme sonore déclenchée avant chaque tir
- la pose d'une signalétique ad hoc à toutes les entrées possibles de la ZC (escaliers, échafaudages, portes, etc.) y compris celles via les étages inférieurs ou supérieurs (le *National Radiological Protection Board* a édité une brochure spécifique sur les procédures à suivre et les alarmes à mettre en place pendant les tirs de radiographie industrielle)

En ce qui concerne la situation c (contrôles radiographiques à l'intérieur d'une ZC), en principe il est recommandé que la variation du débit de dose pendant le tir n'amène pas à devoir changer de catégorie les zones de travail contiguës à la zone de tir. L'exemple proposé respecte cette règle, les salles « est », « ouest » et « sud » restant respectivement « R3 », « R2 » et « R2 » avant et pendant le tir. Le local A est classé « R4 » (au lieu de « R3 ») pendant le contrôle. Son accès est alors interdit (fermeture à clef ou barrière physique avec alarme de franchissement).



4.8.4. Zonage en Suisse

Pour les situations a et b, l'Ordonnance sur les installations dans le domaine non médical s'applique. Les critères à respecter sont exprimés en dose/semaine :

- 0,02 mSv par semaine dans les locaux situés hors zone contrôlée, où peuvent séjourner durablement des personnes non exposées professionnellement
- 0,1 mSv par semaine dans les locaux situés hors zone contrôlée, qui ne sont pas prévus pour un séjour durable
- 0,1 mSv par semaine dans les endroits à l'intérieur de la zone contrôlée où ne peuvent se tenir que des personnes exposées professionnellement. Le débit de dose maximal autorisé aux endroits accessibles ne doit pas dépasser 100 $\mu\text{Sv/h}$ (mais pas de limitation de débit de dose là où personne ne peut se tenir pendant la réalisation des tirs)

On appliquerait donc le critère de 0,1 mSv/semaine si le contrôle avait lieu sur la voie publique (un trottoir ou une rue n'étant pas considérés comme un lieu de séjour durable).

Si c'est une zone professionnelle (présence permanente possible dans les locaux contigus à la zone de tir, il faudrait respecter le 0,02 mSv/semaine.

Pour vérifier le respect de ces critères, on doit tenir compte de la fréquence et la durée d'utilisation réelles de la machine, et du débit de dose maximum pendant le tir (source éjectée, en position de contrôle). On peut aussi utiliser la table de l'Annexe 2 de l'Ordonnance sur les sources non scellées (qui s'applique aussi) : elle donne des valeurs de débit de dose horaire guides qui s'ils sont respectés permettent de considérer que le critère de dose par semaine sera également respecté pour une utilisation continue de l'appareil, en fonction de différents temps de présence des personnes exposées (24h/24, 40h/semaine ou 8h/semaine). On peut alors tenir compte du temps d'utilisation réel de la machine pour déduire le débit de dose maximum à l'extérieur de la ZC.

En ce qui concerne la situation c (contrôles radiographiques à l'intérieur d'une ZC), avant l'opération de tir, le local A est une ZC "secteur X" et les autres locaux sont classés "secteurs W". Pendant l'opération de tir, le local A passe en "secteur Z" (accès réservé seulement aux agents autorisés selon le règlement interne et sous contrôle strict du service de radioprotectionnistes après rédaction d'un plan de travail et durée d'accès très sévèrement limité), le local "ouest" passe en secteur X (il n'y a pas d'interdiction d'entrée, mais un changement de la signalisation et une restriction de la durée de présence), les deux autres salles restent "secteurs W".

5. SYNTHÈSE

De façon générale les réglementations radioprotection des différents pays étudiés, et plus particulièrement celles concernant la classification des zones, sont basées sur un texte réglementaire unique pour tous les secteurs d'activité, assez peu détaillé. Des réglementations ou guides spécifiques par secteur d'activité complètent le texte de base.

L'objectif du zonage est rarement explicité en tant que tel. L'objectif des mesures prises par la réglementation est de protéger les travailleurs et de vérifier l'application du principe d'optimisation de la radioprotection. La classification des zones doit être réalisée dès lors qu'il y a une possibilité que les travailleurs risquent d'atteindre ou de dépasser les valeurs limites réglementaires. Elle a pour but principal de « repérer » les zones nécessitant des contrôles particuliers pour l'accès, la surveillance des travailleurs, etc. Une adaptation des mesures de protection doit être réalisée en fonction des « études de poste ».

Les deux seuls pays qui précisent quelques éléments sur l'objectif du zonage sont le Royaume-Uni et la Suisse. Au Royaume-Uni, la classification des zones a pour but « d'aider à s'assurer que les mesures prises pour éviter les accidents et pour mettre en œuvre le principe ALARA sont efficaces ». En Suisse, le zonage a pour objectif « de limiter et de contrôler l'exposition aux rayonnements ».

Critères de zonage

La zone est dite contrôlée sur la base d'une évaluation de dose annuelle réalisée selon un scénario d'exposition, généralement conservatif (qui prend en compte le débit de dose maximal, et un taux d'occupation maximal 250 j/an, 40h/sem., 8h/j, etc). Une étude de poste détaillée, comme c'est préconisé en France, n'est que très rarement réalisée pour l'établissement du zonage. Le zonage se limite souvent au classement de l'espace de travail en zone surveillée ou contrôlée. En découlent alors des règles générales de radioprotection (notamment sur les moyens de contrôle et les conditions d'accès). L'étude de poste détaillée est généralement réalisée dans le cadre de l'analyse d'optimisation de la radioprotection, elle est donc déconnectée de l'établissement du zonage.

D'autres critères sont considérés pour l'établissement du zonage – surtout dans l'industrie nucléaire – mais ils diffèrent d'un pays à l'autre, et la façon de les prendre en compte également :

- Débit de dose (efficace ou équivalente)
- Contamination atmosphérique ou surfacique (les limites et les valeurs guide de concentration dans l'air ou de contamination surfacique ne se sont pas établies en référence aux mêmes limites de dose annuelles ni aux mêmes scénarios d'exposition de référence)
- Activité totale manipulée (laboratoires, sources non scellées)

Mis à part en Belgique, Espagne et aux Etats-Unis, les réglementations tout secteur ne prévoient pas de sous-zones dans la zone contrôlée.

Zonage dans l'industrie nucléaire

Les sous-zones sont demandées dans le secteur nucléaire, mais pas dans les autres secteurs (mis à part en Espagne où une sous-zone est introduite dans le domaine médical). Les valeurs débit de dose et/ou de contamination délimitant les sous-zones pour le secteur nucléaire sont réglementaires en Espagne (mais issues d'un accord avec l'exploitant), en Finlande, aux Etats-Unis (mais l'exploitant peut fixer d'autres valeurs plus contraignantes) et en Suisse. Ces valeurs sont fixées par l'exploitant en Suède et au Royaume-Uni.

On n'observe pas une harmonisation entre exploitants/pays sur les valeurs, la graduation, la signalétique, les conditions d'accès ou les moyens de contrôle à la zone contrôlée ou aux sous-zones. La Figure 24 illustre les différences des valeurs retenues pour le critère de débit de dose dans le secteur nucléaire.

Belgique (Doel)	< 3 μ Sv/h (blanc)	3 μ Sv/h (jaune)	20 μ Sv/h (orange)	200 μ Sv/h (violet)	1 mSv/h (rouge)	
Espagne (Almaraz)		3 μ Sv/h (vert)	25 μ Sv/h (jaune)		1 mSv/h (orange)	100 mSv/h (orange)
Etats-Unis (Excelon)			50 μ Sv/h à 30 cm (zone rayonnement)		1 mSv/h à 30 cm (zone rayonnement élevé)	5 Gy/h à 30 cm (zone rayonnement très élevé)
Finlande (Loviisa)		3 μ Sv/h (vert)	25 μ Sv/h (orange)		1 mSv/h (rouge)	
Royaume-Uni (Sizewell)		3 μ Sv/h (R2)	50 μ Sv/h (R3)	500 μ Sv/h (R4)		
Suède (Ringhals)		< 25 μ Sv/h (bleu)	25 μ Sv/h (jaune)		1 mSv/h (rouge)	
Suisse (Beznau)	'V'	10 μ Sv/h 'W'	100 μ Sv/h 'X'	1 mSv/h 'Y'	10 mSv/h 'Z'	

Figure 24. Valeurs du critère « débit de dose » pour la classification des zones dans le domaine nucléaire

La classification d'une zone de passage (présence temporaire) en ZC n'est (généralement) pas considérée comme une situation acceptable de facto.

La protection collective (écrans, blindage) et l'optimisation doivent être mises en œuvre pour réduire en nombre et/ou en taille les ZC et ce, dès la conception en Suisse (où des critères exprimés en dose par semaine - évaluée - ou des valeurs directrices en débit de dose - calculés ou mesurés - sont à respecter en préalable au zonage).

Il n'y a généralement pas de sous-zonage ZNR/ZS/ZC à l'intérieur d'un même local.

La sectorisation de la ZC s'accompagne de conditions d'intervention et de contrôle particulières tels que :

- Tenues ad hoc
- Présence (ou non) de personnel RP
- EPI, contaminométrie
- Balisage et signalétique
- Procédures et contrôles et restrictions d'accès

Secteur médical R-X

Dans tous les cas, c'est la présence d'un générateur R-X qui fait que la salle est classée en zone contrôlée. Cette classification est soit temporaire, lorsque le générateur est en fonctionnement (ex. Espagne), soit permanente (ex. Finlande, Suisse). Ce zonage est rarement évolutif (même générateur RX verrouillé hors tension) sauf au Royaume-Uni.

Les alarmes visuelles sont obligatoires lorsque le générateur est sous tension et pendant l'émission RX (Finlande, Royaume Uni).

Le blindage des murs est à dimensionner et la géométrie des locaux est à adapter afin de respecter des critères quantitatifs (ex. dose/semaine en Suisse) ou qualitatifs (Royaume-Uni) « ALARA ». Des critères encore plus restrictifs (contrainte de dose/an en Finlande, dose efficace/semaine en Suisse) sont également à respecter dans les locaux attenants notamment ceux où peuvent séjourner des travailleurs non classés. En général, les salles adjacentes doivent pouvoir être classées en zones surveillées ou de libre accès. Les valeurs de ces contraintes sont différentes d'un pays à l'autre. Par exemple :

- En Finlande, il convient de respecter une contrainte de dose annuelle de 0,3 mSv/an à l'extérieur des salles. Cette contrainte est dérivée en débit de dose hebdomadaire (6 μ Sv / semaine).
- En Suisse, on est tenu de respecter un débit de dose maximum de 0,02 mSv/semaine dans les salles adjacentes où un séjour durable de personnes est prévu, et un débit de dose maximum de 0,1 mSv/semaine dans les salles adjacente peu fréquentées.

Sources radioactives non scellées

Dans certains pays, les laboratoires manipulant des sources non scellées sont classés (type A, B ou C) en fonction de l'activité manipulée et/ou en fonction de la limite d'autorisation. Ainsi, en Finlande et en Suisse. Cette classification donne alors lieu à l'application de critères de conception spécifiques, ainsi qu'à la mise en place de règles spécifiques pour les tenues de protection ou les équipements. Le type de dosimètre à porter (corps entier ou extrémité) est défini en fonction de l'activité manipulée.

En Finlande, la classification des zones dépend du type de laboratoire. Ainsi, les laboratoires de classe A ou B (manipulant une activité supérieure ou égale à 10^4 x valeur d'exemption) doivent être classés en zone contrôlée. Ceux de type C (manipulant une activité inférieure à 10^4 x valeur d'exemption) sont classés en zone surveillée, sauf en cas de risque de contamination, auquel cas, ils doivent être classés en zone contrôlée.

Radiographie industrielle

On n'établit généralement pas de zone surveillée au delà de la zone contrôlée. Les critères à respecter en limite du balisage de la zone contrôlée sont de nature diverse (dose ou débit de dose). Les paramètres de calcul (par exemple, le temps sur lequel on moyenne le débit de dose) de ces critères ne sont pas toujours très explicites, ni dans les réglementations générales, ni dans les guides de mise en œuvre pratique :

- Dose/semaine en Suisse (selon évaluation conservatrice ou une étude de poste détaillée)

- Débit de dose (/h calculés pendant la durée du tir, source éjectée en position de contrôle) au Royaume-Uni
- Débit de dose (/h pendant la durée du contrôle) en Finlande

Les pays étudiés ne dérogent pas aux critères établis qu'il faut respecter même s'ils conduisent à délimiter des zones contrôlées de taille très importante (évacuation sur plusieurs centaines de mètres si nécessaire). Le zonage « provisoire » ou « mobile » (ex. pour la radiographie des canalisations, ou des pipelines) est possible de même que la reclassification temporaire d'une zone (en particulier dans les installations nucléaires). Dans tous ces cas, la signalétique est modifiée en conséquence.

Conditions d'accès dans les zones

Dans tous les pays, les réglementations précisent que seules personnes autorisées peuvent avoir accès aux zones réglementées. Les travailleurs accédant dans ces zones doivent être classés en catégorie A ou B et doivent bénéficier d'une dosimétrie individuelle. A noter que la dosimétrie active n'est pas systématiquement exigée en zone contrôlée. Tous les travailleurs accédant en zones réglementées doivent avoir été formés aux bases de la radioprotection et aux risques encourus à leur poste de travail. Des tenues de protection adéquates sont nécessaires, notamment en cas de contamination.

De plus, dans le domaine nucléaire, les réglementations ou guides précisent que, pour toute entrée en zone contrôlée, un « permis de travail radiologique » doit être édité. La présence d'un appui radioprotection est exigé en fonction du niveau de risque, ainsi que la réalisation d'un pre-job briefing. Dans la mesure du possible, les zones rouges doivent être fermées à clef.

A notre connaissance, les réglementations des pays étudiés ne mentionnent pas de restrictions d'accès pour les intérimaires.