

# Note de calcul

## Evaluation de débits d'équivalent de dose dans la laverie Unitech de Joinville

Référence : br17776D

Préparé pour :  
**Unitech France**



D	24/04/18	Vérification des seuils limites suite aux préconisations de l'étude initiale.
C	28/04/17	Erreur sur $Q_{NS}$ filtres
B	28/04/17	Bonnes dimensions des armoires, résultats plus précis effet de ciel, valeurs de $Q_{NS}$
A	26/04/17	Edition initiale
<b>Indice</b>	<b>Date</b>	<b>Description de la modification</b>

## SOMMAIRE

### Contenu

<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>CODE DE CALCUL UTILISE .....</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>EXAMEN DES DIFFERENTS TERMES SOURCES .....</b>	<b>4</b>
	3.1. SOURCE ENTREPOSAGE DES CONTAINERS .....	4
	3.1.1. DONNEES D'ENTREE.....	4
	3.1.2. DED.....	6
	3.2. SOURCE MAINTENANCE, DITE LEASE .....	6
	3.2.1. DONNEES D'ENTREE.....	6
	3.2.2. DED.....	7
	3.3. SOURCE FILTRE A SABLE DU LOCAL TRAITEMENT DES EAUX PROCESS.....	7
	3.3.1. DONNEES D'ENTREE.....	7
	3.3.2. DED.....	8
	3.4. SOURCE RECEPTION DU LINGE CONTAMINE .....	8
	3.4.1. DONNEES D'ENTREE.....	8
	3.4.2. DED.....	8
	3.5. SOURCE LAVERIES BETA ET ALPHA .....	8
	3.5.1. DONNEES D'ENTREE.....	8
	3.5.2. DED.....	9
<b>4.</b>	<b>ZONAGE RADIOPROTECTION .....</b>	<b>9</b>
	4.1. LOCAL L01 : ENTREPOSAGE DES CONTAINERS.....	9
	4.2. LOCAL L03 : LEASE OU MAINTENANCE .....	9
	4.3. LOCAL L42 : TRAITEMENT DES EAUX PROCESS.....	9
	4.4. LOCAL L19 : RECEPTION DU LINGE CONTAMINE.....	9
	4.5. LOCAUX L24 ET L28 : LAVERIES ALPHA ET BETA-GAMMA .....	9
	4.6. ZONES EXTERIEURES A L'INTERIEUR DES LIMITES DU SITE .....	10
	4.7. EXTERIEUR DU SITE.....	10
<b>5.</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>10</b>

## 1. INTRODUCTION

La présente note de calcul évalue les débits d'équivalent de dose en différents points dimensionnants de la future laverie Unitech de Joinville, afin d'établir le zonage couleur (zone bleue, verte, jaune, orange rouge, arrêté zonage du 15/05/2006) des différents locaux, par rapport au risque d'irradiation externe uniquement.

Les débits de dose à l'extérieur du bâtiment, et plus particulièrement au contact externe des bâtiments et à la clôture sont également évalués, vis-à-vis des limites suivantes :

- Travailleur non exposé, moins de 0,6  $\mu\text{Sv/h}$  ajouté (pour respecter 1 mSv/an pour 1500 h de présence sur site par an)
- Public, moins de 0,11  $\mu\text{Sv/h}$  ajouté (pour respecter 1 mSv/an pour une présence permanente).

## 2. CODE DE CALCUL UTILISE

Le code de calcul utilisé est BRT-MC, code propriétaire. Le rapport de qualification de ce code est disponible sur demande.

BRT-MC est ici utilisé dans son mode Monte-Carlo. Il ne s'agit donc pas d'un calcul "en ligne directe" (comme c'est le cas des codes les plus courant : Panthère, Mercurad, Micro-Shield...) où le build-up est pris en compte par des coefficients empiriques dépendant de l'atténuation en ligne directe, mais d'un calcul où la diffusion des gammas est calculée de manière exacte (aux incertitudes classiques près : données d'entrée, incertitude statistique).

Les coefficients d'atténuation utilisés par BRT\_MC sont issus des tables de Hubbell ("Photon Mass Attenuation and Energy-absorption Coefficients from 1 keV to 20 MeV", Int. J. Appl. Radiat. Isot. Vol 33, pp1269 à 1290, 1982).

Le code est configuré pour calculer les débits d'équivalent de dose (DED)  $H^*(10)$  (selon publication ICRU n°47).

Les spectres d'émissions des radioéléments sont tirés de la base de données NUDAT 2.6 du DoE (Department of Energy, USA), accessible sur internet : [http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/indx\\_dec.jsp](http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/indx_dec.jsp).

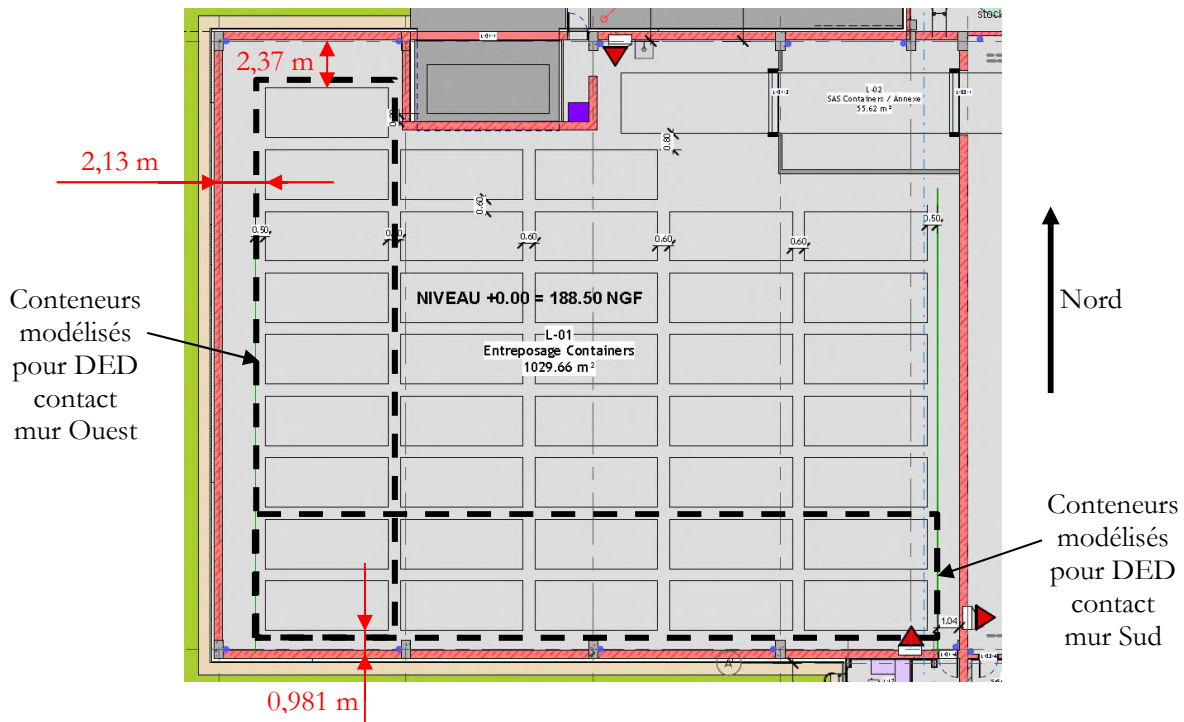
### 3. EXAMEN DES DIFFERENTS TERMES SOURCES

#### 3.1. SOURCE ENTREPOSAGE DES CONTAINERS

##### 3.1.1. Données d'entrée

Emplacement : local L01, entreposage des containers.

Jusqu'à 78 containers ISO 20 pieds peuvent être entreposés selon la géométrie suivante (sur 2 niveaux) :



Les murs du local sont en béton de densité  $2200 \text{ kg/m}^3$ . Leur épaisseur est de 40 cm, y compris pour ce qui concerne les murs du sas.

Les murs s'élèvent jusqu'à une altitude de 9,35 m. Le toit est en bardage ; il a été modélisé par une faible épaisseur (10 mm) de matériau équivalent béton.

Les containers sont entreposés selon une maille régulière, avec 60 cm d'écartement entre les volumes internes. Le conteneur le plus au Nord est à 2,37 m du mur Nord.

La rangée de containers le plus au Sud est à 0,981 m du mur Sud.

Les dimensions internes retenues pour les containers sont :  $L=6,06$ ,  $l=2,44$ ,  $h=2,6$  m.

Les parois latérales des containers sont équivalentes à 2 mm d'acier ( $7800 \text{ kg/m}^3$ ).

Le chargement des containers est équivalent à de l'acier, densité  $320 \text{ kg/m}^3$ .

Pour le calcul du DED au contact du mur Sud, nous n'avons pris en compte que les 2 lignes de containers les plus au Sud (voir plan ci-dessus). Nous avons vérifié au préalable que les containers situés plus au Nord n'ont pas d'influence significative sur le résultat.

De même, pour le calcul du DED au contact du mur Ouest, nous n'avons pris en compte que la colonne de containers la plus à l'Ouest (voir plan ci-dessus). Nous avons vérifié au préalable que les containers situés plus à l'Est n'ont pas d'influence significative sur le résultat.

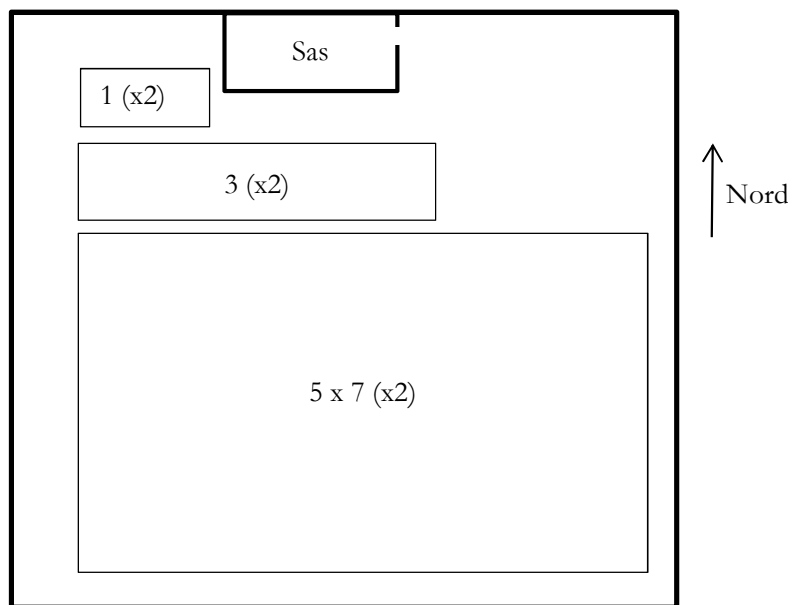
Chaque empilement de 2 containers (10 empilements pour le calcul du DED mur Sud, 9 pour le calcul du DED mur Ouest) est modélisé comme un parallélépipède homogène, de dimensions  $6,06 \times 2,44$  m, hauteur 5,2 m. Ce parallélépipède est enveloppé dans une peau acier de 2 mm simulant la paroi des containers. La masse du parallélépipède homogène est prise égale à la masse totale des chargements ( $2 \times 12\,302 \text{ kg}$ ) augmentée des masses

totales des parois acier des conteneurs (2 x 1149 kg) et diminuée de la masse de la peau acier autour du parallélépipède homogène. Cette masse se traduit par une densité du parallélépipède homogène de 326 kg/m<sup>3</sup>.

Pour le calcul du DED au niveau de la clôture Sud, située à 14 m du mur Sud, l'effet de ciel (\*) est significatif, et il faut prendre en compte l'ensemble des conteneurs. L'ensemble des 78 conteneurs a été modélisé en 3 massifs :

- Le massif de 7x5x2 conteneurs est modélisé comme un parallélépipède homogène, de dimensions 32,7 x 20,68 m, hauteur 5,2 m. Ce parallélépipède est enveloppé dans une peau acier de 2 mm simulant la paroi des conteneurs. La masse du parallélépipède homogène est prise égale à la masse totale des chargements (70 x 12 302 kg) augmentée des masses totales des parois acier des conteneurs (70 x 1149 kg) et diminuée de la masse de la peau acier autour du parallélépipède homogène. Cette masse se traduit par une densité du parallélépipède homogène de 259 kg/m<sup>3</sup>.
- Selon le même principe, le massif de 3x2 conteneurs est modélisé comme un parallélépipède homogène, de dimensions 19,38 x 2,44 m, hauteur 5,2 m, de densité moyenne 308 kg/m<sup>3</sup>, enveloppé dans une peau acier de 2 mm.
- Et toujours selon le même principe, le massif de 2 conteneurs est modélisé comme un parallélépipède homogène, de dimensions 6,06 x 2,44 m, hauteur 5,2 m, de densité moyenne 326 kg/m<sup>3</sup>, enveloppé dans une peau acier de 2 mm (massif identique aux empilements modélisés pour les calcul DED contact murs Sud et Ouest).

(\*) *Effet de ciel* : il s'agit du rayonnement diffusé par l'atmosphère et le matériau du toit, pouvant ainsi passer par-dessus le mur, et atteindre l'extérieur du mur (à l'altitude de calcul, soit mi-hauteur du massif de conteneurs) et la clôture.



Le  $Q_{NS}$  attribué à ce local est de  $1,35^{E6}$ . Nous avons évalué les DED pour le spectre EdF 122, spectre enveloppe, c'est à dire produisant le plus de débit de dose à  $Q_{NS}$  donné.

Ce  $Q_{NS}$  de  $1,35^{E6}$  correspond à 180 GBq du spectre EdF 122 (soit 2,31 GBq/conteneur).

L'activité est supposée être répartie de manière homogène dans le volume de chaque massif ou empilement, avec une activité par massif proportionnelle au nombre de conteneurs que le massif représente.

### 3.1.2. DED

Les DED ont été calculés aux points les plus pénalisants, à mi-hauteur des massifs de conteneurs.

Lieu	DeD calculé ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DeD cible ( $\mu\text{Sv/h}$ )
Au milieu du local L01	185	2000
Au contact extérieur du mur Sud	0,34	0,6
Au niveau de la clôture, à 14 m du mur Sud	0,14	0,11
Au contact extérieur du mur Ouest	0,28	0,6

**Note 1** : le DED au contact du mur Nord est moins élevé que les DED au contact des murs Sud et Ouest. En effet :

- les murs ont tous la même épaisseur, 40 cm
- les conteneurs sont plus éloignés du mur Nord que du mur Sud ou Ouest (2,37 m contre 2,13 ou 0,981 m)
- seul un massif de 2 conteneurs est à proximité du mur Nord
- les murs du sas (40 cm d'épaisseur également) bloquent une bonne partie du rayonnement provenant des autres massifs.

Par ailleurs, le mur Est, contrairement aux 3 autres murs, donne sur l'intérieur du bâtiment, en l'occurrence le local lease, où les DED peuvent être plus élevés qu'à l'extérieur du bâtiment (voir § 3.2.2 ci-après). Et le DED dû à l'entreposage au contact externe du mur Est (donc du côté local lease) est du même ordre que celui au contact du mur Ouest ( $0,3 \mu\text{Sv/h}$ ), la géométrie étant similaire.

**Note 2** : du fait du mode de calcul, et de la modélisation représentative du bâtiment jusqu'au toit, les résultats présentés ci-dessus prennent en compte l'effet de ciel (cet effet est négligeable à l'intérieur du local et au contact du mur extérieur, mais significatif à 14 m du mur).

Il faut noter que la répartition homogène de l'activité (cas considéré), est peu probable, et pénalisante. En effet, dans le cas où les conteneurs présentent des DED disparates, l'exploitant s'efforcera de placer les conteneurs les plus irradiants au milieu du massif, de manière à atténuer les DED par les conteneurs les moins irradiants, aboutissant ainsi, pour un  $Q_{NS}$  donné, à un DED émergeant minimal. Dans des conditions réalistes d'exploitation, on peut raisonnablement affirmer que ce calcul permet de garantir que le DeD max à la clôture ne sera pas dépassé. Il faut également comparer ce résultat au DeD naturel du site ( $0,2 \mu\text{Sv/h}$ , selon l'Annexe 10 du dossier DAEU).

## 3.2. SOURCE MAINTENANCE, DITE LEASE

### 3.2.1. Données d'entrée

Emplacement : local L03, local lease ou maintenance.

Bien que le local L03 comporte plusieurs espaces de travail, nous avons considéré un seul conteneur ISO 20 pieds entreposé dans ce local, hypothèse pénalisante. En effet, si l'on répartit une même activité dans plusieurs conteneurs, les DED sont plus faibles.

Nous avons supposé que ce conteneur est à 2 m du mur extérieur, entreposé longueur parallèle au mur. Les dimensions et parois du conteneur sont décrites au § 3.1.1 ci-dessus.

Le mur Sud (mur extérieur) du local lease est en béton de densité  $2200 \text{ kg/m}^3$ . Son épaisseur est de 20 cm et sa hauteur de 8,47 m. Le toit est en bardage ; il a été modélisé par une faible épaisseur (10 mm) de matériau équivalent béton.

L'activité dans le conteneur correspond à un  $Q_{NS}$  de 51 800. L'activité est supposée répartie de manière homogène dans le conteneur. Le spectre considéré est EdF 122. Le  $Q_{NS}$  de 51 800 correspond à 6,93 GBq du spectre EdF 122.

### 3.2.2. DED

Les DED ont été calculés aux points les plus pénalisants, à mi-hauteur du conteneur.

Lieu/condition	DeD calculé (μSv/h)	DeD cible (μSv/h)
Au contact du conteneur, conteneur nu	205	2000 (zonage chantier)
Au contact extérieur du mur, conteneur nu	6,9	0,6
Au contact extérieur du mur, avec écran de 3 cm de plomb	0,92	0,6
Au contact extérieur du mur, avec écran de 4 cm de plomb	0,48	0,6
Au niveau de la clôture, à 14 m du mur Sud, avec 3 cm de plomb	0,056	0,11
Au niveau de la clôture, à 14 m du mur Sud, avec 4 cm de plomb	0,038	0,11

Le DED est élevé au contact extérieur du mur lorsque le conteneur n'est pas placé derrière un écran. Le cas des chantiers irradiants (représentés par le conteneur enveloppe que nous avons modélisé) pourra être traité par des panneaux de protections biologiques amovibles, placés à l'intérieur de l'espace de travail (voir § 4.7 plus loin), dont l'épaisseur, modulable selon le niveau d'activité, pourra atteindre 4 cm.

Ces panneaux seront entreposés dans le local lease.

**Note 1 :** du fait du mode de calcul, et de la modélisation représentative du bâtiment jusqu'au toit, les résultats présentés ci-dessus prennent en compte l'effet de ciel (cet effet est négligeable à l'intérieur du local et au contact du mur extérieur, mais significatif à 14 m du mur).

**Note 2 :** l'influence du local entreposage est négligeable du fait du mur de séparation de 40 cm.

Le calcul permet de démontrer que les limites réglementaires sont respectées.

### 3.3. SOURCE FILTRE A SABLE DU LOCAL TRAITEMENT DES EAUX PROCESS

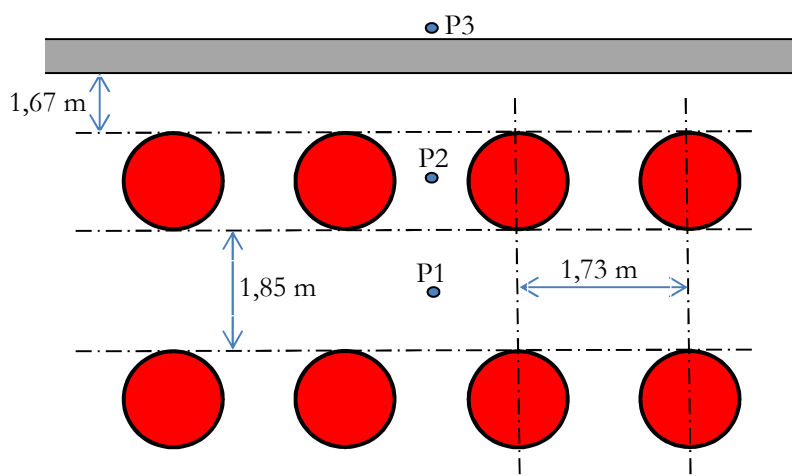
#### 3.3.1. Données d'entrée

Emplacement : local L42, local traitement des eaux process.

L'activité radiologique dans ce local est supposée représenter un an d'activité du linge entrant, soit 1,16 GBq du spectre moyen du linge. Cette activité représente un  $Q_{NS}$  de 26 528 (avec "autres  $\beta/\gamma$ " comptabilisés selon  $1^{E6}$  Bq par unité de  $Q_{NS}$ , et "autres  $\alpha$ " comptabilisés selon  $1^{E4}$  Bq par unité de  $Q_{NS}$ ).

Note : les radioéléments mentionnés sous la dénomination "autres  $\beta/\gamma$ " ont été modélisés par du  $^{137}Cs$ .

L'activité est répartie équitablement dans les 8 filtres.



Diamètre extérieur des corps de filtre : 1,16 m.

Épaisseur du corps de filtre : 5 mm d'acier 7800 kg/m<sup>3</sup>.

Hauteur de la charge de sable dans chaque filtre : 3 m.

Nature des filtres : sable (assimilé à du béton pour le calcul), densité apparente 1100 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.3.2. DED

Les DED ont été calculés aux points les plus pénalisants, à mi-hauteur du remplissage des filtres.

Lieu/conditions	DeD calculé ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DeD cible ( $\mu\text{Sv/h}$ )
P1, au milieu des 8 filtres	16	2000
P2, au milieu d'une ligne de 4 filtres	18	2000
P3, au contact extérieur du mur de 20 cm d'épaisseur	0,69	7,5

Le calcul permet de démontrer que les limites réglementaires sont respectées.

### 3.4. SOURCE RECEPTION DU LINGE CONTAMINE

#### 3.4.1. Données d'entrée

Emplacement : local L19, local réception du linge contaminé.

La laverie traite annuellement 1000 tonnes de linge, réparti en 8357 armoires. Nous estimons que le local L19 peut accueillir jusqu'à 150 armoires, contenant 18 tonnes de linge, et représentant un peu moins d'une semaine de production.

Nous retenons comme terme source ces 18 tonnes de linge, avec le niveau de contamination maximal observé, 6,82 kBq/kg, et le spectre moyen annuel du linge. L'activité totale est de 123 MBq, le  $Q_{NS}$  correspondant est de 2650. Cette valeur, différente de celle calculée dans l'annexe 25 du dossier DAEU, correspond à une estimation plus réaliste du  $Q_{NS}$  de la zone de stockage du linge, calculée à partir de données plus précises obtenues suite à la poursuite du projet.

Les armoires sont de dimensions extérieures 1,22 (largeur) x 0,61 (profondeur) x 1,82 m (hauteur). Nous considérons des dimensions internes (chargement de linge) de 1,2 x 0,6 x 1,7 m. Elles sont rangées en un massif de 10 selon largeur par 15 selon profondeur, avec un espacement de 30 cm entre les volumes internes, soit un massif de 13,2 x 14,7 m, hauteur 1,7 m.

Le massif est considéré comme un mélange homogène d'acier (parois latérales des armoires) et de linge. Les parois latérales étant considérées comme étant épaisses de 2 mm (densité 7800 kg/m<sup>3</sup>), le massif contient 14,3 tonnes d'acier et 18 tonnes de linge.

Le linge est modélisé comme de l'eau (comportement similaire vis-à-vis des gammas).

#### 3.4.2. DED

Les DED ont été calculés aux points les plus pénalisants, à mi-hauteur du massif d'armoires.

Lieu/conditions	DeD calculé ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DeD cible ( $\mu\text{Sv/h}$ )
Au milieu des armoires, dans le local L19	2,0	7,5
A l'extérieur du local L19, derrière un mur de 20 cm	0,051	7,5

Le calcul permet de démontrer que les limites réglementaires sont respectées.

### 3.5. SOURCE LAVERIES BETA ET ALPHA

#### 3.5.1. Données d'entrée

Emplacement : locaux L28 (laverie bêta) et L24 (laverie alpha).

La machine à laver la plus grosse a une capacité de 200 kg. Nous retenons comme terme source ces 200 kg de linge, avec le niveau de contamination maximal observé, 6,82 kBq/kg, et le spectre moyen annuel. L'activité totale est de 1,36 MBq.

Nous gardons toutefois à l'esprit que plusieurs (mais pas plus de la dizaine) termes sources de ce type peuvent être présents simultanément dans les locaux L28 et L24. 10 ballots de linge représentent un  $Q_{NS}$  de 294. Cette valeur est cohérente avec celle calculée dans l'annexe 25 du DAEU, bien que les hypothèses de calcul soient différentes.



Le ballot de 200 kg de linge est supposé se présenter sous forme d'un parallélépipède identique à une armoire, sans les parois, soit 1,2 x 0,6 x 1,7 m (hauteur).

### 3.5.2. DED

Lieu/conditions	DeD calculé ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DeD cible ( $\mu\text{Sv/h}$ )
Au contact d'une grande face verticale du ballot	0,042	7,5

Notons que le linge placé en machine ne produira pas de DED significativement différent de celui sous forme de ballot (en général plutôt inférieur à cause de l'atténuation par l'eau et par la machine), et que la présence de plusieurs ballots dans la même pièce ne produit pas un DED proportionnel au nombre de ballot (à cause de l'effet de distance).

Les DED ne seront donc jamais importants dans les laveries, sauf si le linge comporte des points chauds.

Le calcul permet de démontrer que les limites réglementaires sont respectées.

## 4. ZONAGE RADIOPROTECTION

### 4.1. LOCAL L01 : ENTREPOSAGE DES CONTAINERS

Ce local est clairement en zone jaune.

### 4.2. LOCAL L03 : LEASE OU MAINTENANCE

Le cas étudié est très pénalisant. Par ailleurs les situations peuvent être très diverses.

Ce local sera par défaut classé en zone verte, avec possibilité de le surclasser localement et temporairement en jaune, en fonctions des opérations qui s'y déroulent.

Il conviendra d'utiliser des protections biologiques amovibles lors des opérations les plus dosantes, afin d'une part de limiter l'étendue de la zone irradiée et d'autre part d'éviter de dépasser les seuils "travailleurs non exposés" et "public" à l'extérieur du bâtiment.

### 4.3. LOCAL L42 : TRAITEMENT DES EAUX PROCESS

Ce local est classé en zone jaune.

En effet, même si les DED ( $18 \mu\text{Sv/h}$  max) y sont inférieurs à la limite zone jaune ( $25 \mu\text{Sv/h}$ ), l'influence du local L03 est susceptible de d'augmenter niveau d'irradiation (de  $6,7 \mu\text{Sv/h}$  à travers le mur de 20 cm d'épaisseur), jusqu'à une valeur proche de la limite zone jaune.

Ce classement en jaune est un classement de précaution. Ce classement n'est pas pénalisant, du fait du peu d'interventions humaines qui se dérouleront en L42. Il évite de prendre des mesures organisationnelles (placement approprié des chantiers dosants, suivi régulier du DED dans L42) visant à éviter le dépassement de la limite de  $25 \mu\text{Sv/h}$ .

### 4.4. LOCAL L19 : RECEPTION DU LINGE CONTAMINE

Ce local est classé en zone bleue.

### 4.5. LOCAUX L24 ET L28 : LAVERIES ALPHA ET BETA-GAMMA

Si l'activité du linge était relativement homogène, ce local pourrait être classé en zone "travailleurs non exposés" pour ce qui concerne le risque d'irradiation. Toutefois, afin de prendre en compte la présence de points chauds, nous proposons un classement en zone bleue, au moins pour ce qui concerne le risque d'irradiation externe.

#### **4.6. ZONES EXTERIEURES A L'INTERIEUR DES LIMITES DU SITE**

Elles sont classées "zone travailleurs non exposés".

Il y a toutefois un risque de dépassement de la limite de 0,6  $\mu\text{Sv/h}$  ajouté, sur le Sud du local L03 (lease), dans le cas du traitement d'un conteneur particulièrement dosant. Afin d'éviter ce dépassement des panneaux de protection biologique seront disposés autour des chantiers dosants.

#### **4.7. EXTERIEUR DU SITE**

L'extérieur doit être classé zone publique, impérativement.

Un entreposage à saturation, notamment du point de vue activité, peut conduire à dépasser la limite zone publique de 0,11  $\mu\text{Sv/h}$ . Afin d'éviter ce dépassement, l'exploitant optimisera l'entreposage de manière à limiter le DED à la clôture, en plaçant les conteneurs les plus actifs en couche basse (avec un conteneur moins actif par-dessus bloquant l'effet de ciel), et en retrait du mur Sud (avec un conteneur moins actif s'interposant entre le conteneur actif et le mur Sud).

Les travaux en L03 (lease) ne produisent pas de dépassement de la limite de 0,11  $\mu\text{Sv/h}$  lorsqu'ils sont convenablement protégés par des écrans de manière à respecter la limite de 0,6  $\mu\text{Sv/h}$  au contact du mur extérieur.

Un état initial a par ailleurs été réalisé (Annexe 10), les critères s'exprimant en DED ajouté.

### **5. CONCLUSION**

Les calculs présentés dans ce document permettent de démontrer que les limites réglementaires, en termes de débits d'équivalents de dose, seront respectées au sein et au tour de l'installation. Pour ce faire, deux mesures seront cependant à prendre :

- mise en place de protections radiologiques supplémentaires autour des chantiers dosants dans le local L03 ;
- Dans le cas où le local L01 serait rempli, avec atteinte de l'activité maximale acceptable, les conteneurs les plus irradiants seront placés au centre de l'entreposage, afin de bénéficier de l'atténuation offerte par les autres conteneurs.