



Ce document a été mis en ligne par l'organisme [FormaV®](#)

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :

www.formav.co/explorer

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

ENVIRONNEMENT NUCLÉAIRE

E4 : MODÉLISATION ET CHOIX TECHNIQUES EN ENVIRONNEMENT NUCLÉAIRE

Sous-Épreuve : U4.1 - Pré-étude et modélisation

SESSION 2019

Durée : 4 heures

Coefficient : 3

Document et matériel :

- un formulaire de 6 pages est joint au sujet, aucun autre document autorisé,
- l'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.

Le sujet se compose de 17 pages, numérotées de 1/17 à 17/17.
Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet est composé de nombreuses parties indépendantes.
Dans une même partie les questions peuvent être indépendantes des précédentes.

BTS Environnement Nucléaire	SUJET	Session 2019
Épreuve U4.1 Pré-étude et modélisation	Durée : 4 heures	Coefficient : 3
Code : ENE4MOD		Page 1 / 17

CHANTIER PRÉPARATOIRE POUR RGV

(Remplacement de Générateur de Vapeur)

0. Mise en situation

La préparation du remplacement d'un générateur de vapeur d'un centre nucléaire de production d'électricité (CNPE) au cours d'un arrêt de tranche impose un certain nombre d'opérations dont celles inhérentes à la découpe des branches chaude et froide du circuit primaire reliées à la boîte à eau du générateur de vapeur (GV).

Pour ces opérations, il faut prévoir :

- la pose d'un transformateur triphasé dans l'espace périphérique du bâtiment réacteur (BR) pour alimenter les postes de travail,
- la mise en place de deux machines orbitales à découper et à chanfreiner (une par branche),
- la pose de deux SAS de confinement ventilés autour des deux chantiers de découpe.

Les caractéristiques des matériels utilisés tels le déprimogène de filtration de l'air dans le SAS, le transformateur et la machine orbitale à couper et à chanfreiner sont données respectivement en **annexes 1, 2 et 3**.

BTS Environnement Nucléaire	SUJET	Session 2019
Épreuve U4.1 Pré-étude et modélisation	Durée : 4 heures	Coefficient : 3
Code : ENE4MOD		Page 2 / 17

1. Contrôle de dimensionnement du transformateur d'appoint

Le transformateur d'appoint (voir **annexe 2**) sert à alimenter l'ensemble des chantiers liés à l'opération de RGV. Il doit être dimensionné avec un coefficient de sécurité *a minima* de 1,5. Les deux chantiers de découpe des branches du circuit primaire représentent 60 % du besoin énergétique total de l'ensemble des opérations liées à l'opération de RGV.

Chaque chantier de découpe comprend :

- un déprimogène (voir **annexe 1**),
- une machine orbitale à découper et à chanfreiner (voir **annexe 3**),
- des éclairages d'appoint, purement résistifs, à hauteur de 1 kW.

On se placera dans le cas du fonctionnement nominal simultané de tous les appareils.

1.1 Déterminer les puissances active P_d et réactive Q_d absorbées par un déprimogène.

1.2 Calculer la valeur du rendement du déprimogène.

1.3 Déterminer les puissances active P_m et réactive Q_m absorbées par la machine orbitale à découper et à chanfreiner.

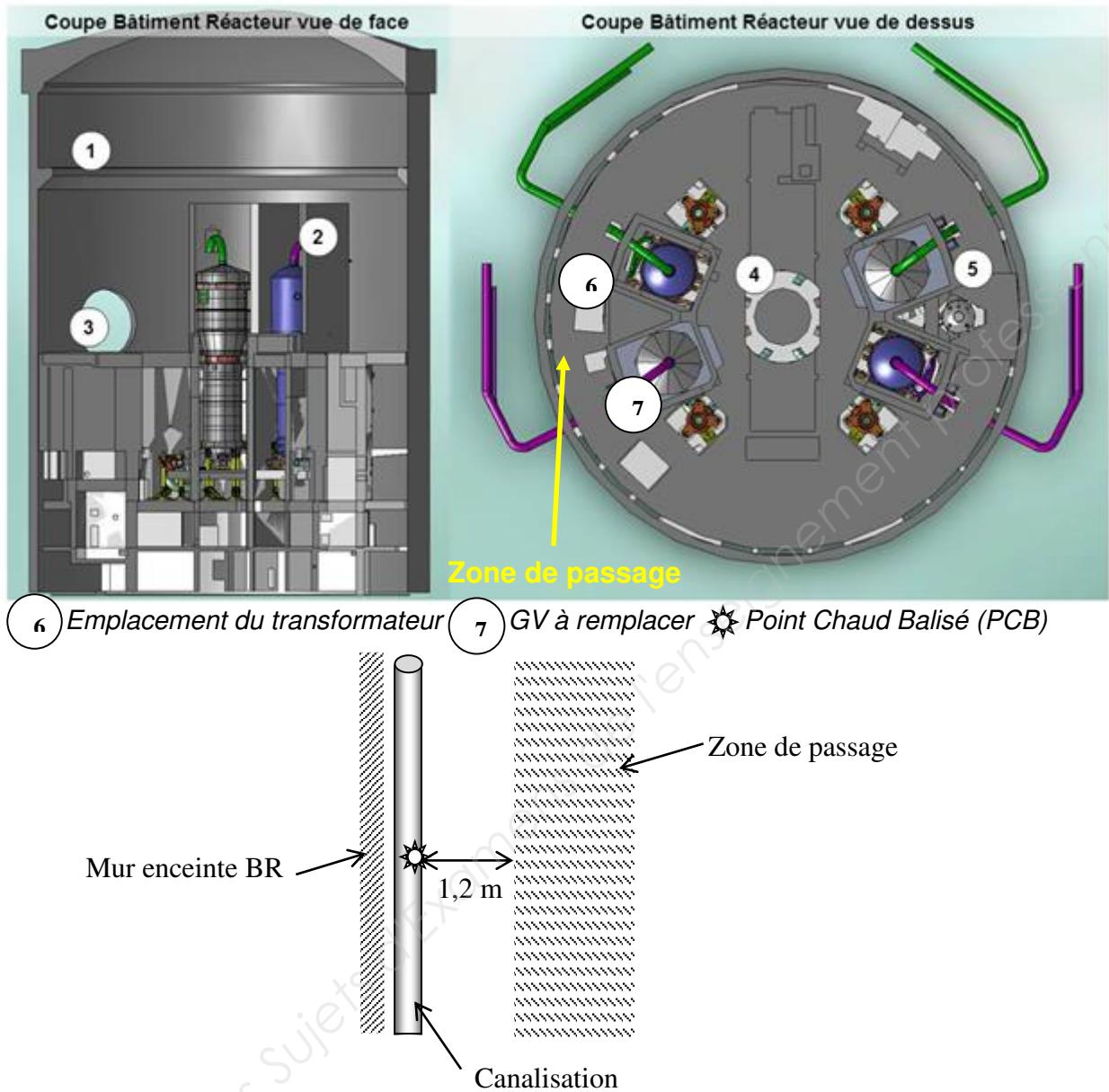
1.4 Déterminer les puissances active P_e et réactive Q_e absorbées par l'éclairage d'un chantier.

1.5 Montrer que les puissances active P_t et réactive Q_t totales pour les deux chantiers fonctionnant simultanément valent respectivement 116 kW et 49 kVAr. Quelle puissance apparente S_t est alors mise en jeu ?

1.6 Le transformateur proposé en **annexe 2** convient-il ?

BTS Environnement Nucléaire	SUJET	Session 2019
Épreuve U4.1 Pré-étude et modélisation	Durée : 4 heures	Coefficient : 3
Code : ENE4MOD		Page 3 / 17

2. Préparation du lieu d'installation du transformateur d'appoint



La pose du transformateur d'appoint dans l'espace périphérique est prévue au voisinage d'un point chaud, noté PCB et ayant un trisecteur orange, situé dans une canalisation :

- 41 mSv.h^{-1} au contact,
- $0,098 \text{ mSv.h}^{-1}$ à 1 m.

On suppose que son origine est imputable à une accumulation de particules, due au phénomène d'érosion, qui auront été activées par le flux neutronique.

Pour simplifier, on raisonnera en équivalent du cobalt-60 qui est le produit d'activation le plus pénalisant envisagé en terme d'énergie des rayonnements γ sur ce type d'installation (voir **annexe 4**).

BTS Environnement Nucléaire	SUJET	Session 2019
Épreuve U4.1 Pré-étude et modélisation	Durée : 4 heures	Coefficient : 3
Code : ENE4MOD		Page 4 / 17

2.1 Description du point chaud

Données :

Unité de masse atomique : $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$,

Masse d'un proton : $m_p = 1,007277 \text{ u}$,

Masse d'un neutron : $m_n = 1,008665 \text{ u}$,

Masse du noyau de ^{59}Co : $m_{\text{Co}} = 58,93319 \text{ u}$.

2.1.1 Décrire la constitution du noyau de ^{59}Co .

2.1.2 Écrire l'équation d'activation du ^{59}Co menant à la formation du ^{60}Co .

2.1.3 Calculer le défaut de masse du noyau du ^{59}Co , exprimé en unité de masse atomique.

2.1.4 Calculer, en MeV, l'énergie de liaison du noyau puis en déduire l'énergie moyenne de liaison par nucléon.

2.1.5 Y-a-t-il lieu de tenir compte des rayonnements β dans la zone de passage ?

2.1.6 Calculer le débit d'équivalence de dose H° dû au rayonnement γ pour une activité de 300 MBq du ^{60}Co .

2.2 Traitement du point chaud

Un écran de plomb est installé devant cette canalisation afin de réduire la dosimétrie des nombreux intervenants qui seront amenés à passer ou à intervenir au voisinage de ce point :

- écran de plomb de dimensions $1000 \times 500 \times 32 \text{ mm}$ ($\rho = 10\,800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) ;
- pour les calculs, on considérera l'énergie maximale des rayonnements γ .

2.2.1 Montrer que le coefficient d'atténuation linéique μ peut être évalué à $0,593 \text{ cm}^{-1}$ (voir **annexe 5**).

Dans ce cas le coefficient de « build up » est de 1,72.

2.2.2 En déduire l'atténuation minimale provoquée par cet écran. Expliquer pourquoi, en réalité, l'atténuation pratique obtenue est plus importante que celle calculée.

2.2.3 Déterminer la valeur maximale du débit d'équivalent de dose à $1,2 \text{ m}$ du point chaud envisagée après la pose de l'écran. (Cette distance correspond à la distance minimale entre le point chaud et les intervenants, qu'ils soient de passage ou sur un poste de travail).

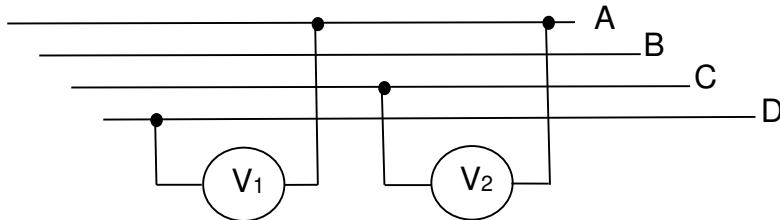
BTS Environnement Nucléaire	SUJET	Session 2019
Épreuve U4.1 Pré-étude et modélisation	Durée : 4 heures	Coefficient : 3
Code : ENE4MOD		Page 5 / 17

3. Préparation de la mise en service du transformateur et de ses récepteurs

3.1 Installation du transformateur triphasé

Avant la mise en service du transformateur, un électricien est chargé de contrôler l'identification des fils de neutre et de phases au secondaire ; ce dernier comporte quatre fils repérés A, B, C et D.

L'électricien place son voltmètre successivement en position 1 puis en position 2 où il mesure respectivement 236 V et 409 V.



3.1.1 Attribuer le nom et le symbole à chacune des tensions V_1 et V_2 mesurées par l'électricien.

3.1.2 Donner la relation entre ces deux tensions.

3.1.3 Attribuer la lettre (A, B, C ou D) au fil de neutre en justifiant votre réponse.

3.2. Préparation des déprimogènes

Les déprimogènes (voir **annexe 1**) peuvent fonctionner sur deux réseaux différents par modification du couplage du moteur. L'électricien doit vérifier et adapter si nécessaire le couplage au réseau 230 V / 400 V.

3.2.1 Préciser le couplage à réaliser pour raccorder le déprimogène au réseau triphasé. Justifier la réponse.

3.2.2 Représenter sur la copie le bornier du moteur couplé au réseau.

BTS Environnement Nucléaire	SUJET	Session 2019
Épreuve U4.1 Pré-étude et modélisation	Durée : 4 heures	Coefficient : 3
Code : ENE4MOD		Page 6 / 17

4. Préparation de la découpe d'une branche de la boucle primaire

La tuyauterie du circuit primaire, de diamètre extérieur 825 mm, est en inox de nuance 304L, c'est-à-dire en acier fortement allié (0,02% de C, 18% de Cr, 10% de Ni, 2% de Mn, 1% de Si). Elle sera découpée et chanfreinée par une machine orbitale. (Le rôle du chanfrein est une préparation à la soudure qu'il faudra effectuer au montage du GV neuf).

La chronologie des opérations est la suivante :

- circuit primaire en eau
 - o positionnement de la machine à découper et à chanfreiner,
 - o montage du SAS autour de la machine.

L'installation du poste de travail et le réglage de la machine requièrent 4 personnels exposés corps entier pendant 8 heures à :

- $H_p = 11 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ au voisinage du circuit primaire où ils sont 60% du temps,
- $H_a = 2 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ dus à l'ambiance radiologique le reste du temps.

4.1 Déterminer la dose efficace corps entier envisagée pour un personnel participant à la mise en place du poste de découpe.

Le SAS de confinement, structure porteuse en échafaudage recouverte de vinyle, est ensuite installé par 6 personnes en 4 heures.

Tous sont exposés corps entier à un débit d'équivalent de dose $H = 5 \mu\text{Sv.h}^{-1}$ avec un coefficient d'exposition de 0,7.

4.2 Déterminer la dose efficace corps entier prévue pour une personne participant au confinement du poste de travail.

BTS Environnement Nucléaire	SUJET	Session 2019
Épreuve U4.1 Pré-étude et modélisation	Durée : 4 heures	Coefficient : 3
Code : ENE4MOD		Page 7 / 17

5. Découpe d'une branche de la boucle primaire

La chronologie des opérations est la suivante :

- circuit primaire vidangé et rincé
 - o commande de la machine à distance (hors du SAS, avec assistance vidéo) pour découper tout en chanfreinant la branche.

5.1 Contexte bruyant

L'opérateur de la machine à couper et à chanfreiner la pilote à distance (hors du SAS), sous contrôle vidéo.

Il se tient à la distance $D' = 4$ m de la machine orbitale dont le niveau sonore à la distance $D = 1$ m est $L = 98$ dB.

Au poste de l'opérateur, les autres sources de bruit sont couvertes par le seul bruit de la machine orbitale. Elles seront donc ignorées.

On rappelle que le niveau d'intensité sonore est donné par l'expression :

$$L = 10 \cdot \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

et

$\frac{I}{I_0}$ décroît selon l'inverse de la distance au carré.

5.1.1 Avec quel appareil mesure-t-on un niveau d'intensité sonore ?

5.1.2 Déterminer l'expression de $\frac{I}{I_0}$ à la distance D pour la machine orbitale.

5.1.3 En déduire la valeur de $\frac{I'}{I_0}$ pour la machine orbitale à la distance D' .

5.1.4 Montrer qu'à cette distance D' , le niveau d'intensité sonore L' est de 86 dB.

5.1.5 Quelles Protections Individuelles Contre le Bruit (PICB) préconiseriez-vous pour que l'exposition au bruit soit jugée satisfaisante au sens de la directive européenne fournie en **annexe 6** ?

BTS Environnement Nucléaire	SUJET	Session 2019
Épreuve U4.1 Pré-étude et modélisation	Durée : 4 heures	Coefficient : 3
Code : ENE4MOD		Page 8 / 17

5.2 Confinement dynamique par déprimogène

Le déprimogène comprend un ventilateur d'aspiration et un filtre THE (Très Haute Efficacité – efficacité > 99,99%). Son rôle est d'assurer une circulation d'air depuis l'extérieur du SAS vers le déprimogène, en piégeant les particules contaminantes et les poussières dans le filtre, avant rejet de l'air vers l'extérieur.

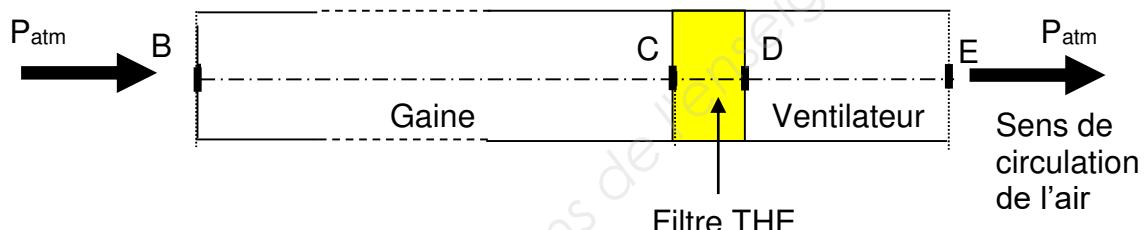
Il est relié au SAS par une gaine de diamètre intérieur $D = 138 \text{ mm}$ et de longueur $L = 10 \text{ m}$.

L'air est considéré comme un fluide incompressible tant que sa vitesse ne dépasse pas 350 km.h^{-1} .

On considère que le débit volumique de l'air dans le circuit d'aspiration reste constant égal à $Q_V = 1\ 500 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$.

5.2.1 Déterminer la valeur de la vitesse de l'air dans la gaine. Peut-on considérer, dans ces conditions de fonctionnement, l'air comme un fluide incompressible, ce qui permettrait l'application du théorème de Bernoulli ?

Le schéma simplifié de l'installation du circuit d'air est représenté ci-dessous :



On donne :

$$\text{Relation de Bernoulli : } \frac{1}{2} \rho (v_E^2 - v_B^2) + \rho \cdot g (z_E - z_B) + (p_E - p_B) + \Delta p = \frac{P_{\text{vent}}}{Q_V}$$

Avec $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$, accélération de la pesanteur

Δp = somme de toutes les pertes de charge

P_{vent} = puissance fournie au fluide par la machine

$\rho = 1,2 \text{ kg.m}^{-3}$, masse volumique de l'air

5.2.2 Le diamètre de la gaine au rejet après le ventilateur (point E) est égal au diamètre de la gaine à son aspiration (point B).

Évaluer le terme $\frac{1}{2} \rho (v_E^2 - v_B^2)$

5.2.3 La gaine est considérée comme horizontale sur toute sa longueur.

Évaluer le terme $\rho \cdot g (z_E - z_B)$

5.2.4 Évaluer le terme $(p_E - p_B)$

5.2.5 Déterminer à l'aide de l'abaque de l'**annexe 7**, les pertes de charge dans 1 m de gaine (expliquer le mode d'obtention du résultat). En déduire que les pertes de charge pour 10 m de gaine sont de l'ordre 650 Pa.

BTS Environnement Nucléaire	SUJET	Session 2019
Épreuve U4.1 Pré-étude et modélisation	Durée : 4 heures	Coefficient : 3
Code : ENE4MOD		Page 9 / 17

5.2.6 Le contrôle du colmatage du filtre THE se fait par lecture de la hauteur Δh sur le tube en U, contenant de l'eau colorée ($\rho_L = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), présent sur le déprimogène (voir **annexe 1**).

Les pertes de charge engendrées par le filtre valent $\Delta p = \rho_L \cdot g \cdot \Delta h$.

Déterminer les pertes de charge réelles dues au filtre THE. Analyser le niveau de colmatage du filtre à l'aide de l'**annexe 8**.

5.2.7 Le ventilateur provoque aussi des pertes de charge à hauteur de 350 Pa. En déduire les pertes de charge totales dans le déprimogène, puis la puissance fournie par le moteur à l'air.

6. Analyse des conséquences du colmatage du filtre THE

Les intervenants réalisent en fin de découpe que le déprimogène fonctionnait avec un filtre THE anormalement colmaté et donc de façon moins efficace qu'attendue. Un tel colmatage réduit le débit volumique du déprimogène à $Q_V = 850 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ seulement. Une balise analyseur de contamination volumique était préventivement installée avant la découpe. Il est donc décidé d'en étudier les données avant de pénétrer dans le SAS et de poursuivre l'intervention.

Le spectre de contamination volumique enregistré par l'analyseur est le suivant :

Isotope	DPUI en $\text{Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$	p_i (proportion dosimétrique)
^{60}Co	$2,9 \times 10^{-8}$	0,180
^{131}I	$7,1 \times 10^{-9}$	0,168
^{137}Cs	$6,7 \times 10^{-9}$	0,652

6.1 Calculer la valeur des repères 1·RCA pour chacun des radioéléments considérés.

6.2 Montrer que la valeur du repère 1·RCA pour le mélange constitué est $1,93 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$. On donne :

$$\frac{1}{RCA_{mélange}} = \sum_{i=1}^n \frac{p_i}{RCA_i} = \frac{p_1}{RCA_1} + \frac{p_2}{RCA_2} + \frac{p_3}{RCA_3}$$

6.3 L'appareil permet également de connaître l'activité volumique présente dans le SAS en fin de découpe : $A_{V\text{total}} = 61 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$.

En déduire le nombre de RCA présents dans le SAS en fin de découpe.

6.4 Sachant que le SAS est de volume $V_{SAS} = 60 \text{ m}^3$, que l'analyse des mesures a pris 30 minutes et que le déprimogène est resté en fonctionnement tout ce temps, quelle est la valeur de la contamination volumique résiduelle dans le SAS ? Conclure.

BTS Environnement Nucléaire	SUJET	Session 2019
Épreuve U4.1 Pré-étude et modélisation	Durée : 4 heures	Coefficient : 3
Code : ENE4MOD		Page 10 / 17

7. Traitement de la contamination surfacique

La chronologie des opérations est la suivante :

- circuit primaire vidangé et rincé (situation inchangée)
 - o aspiration des poussières de découpe et pose d'un obturateur FME,
 - o décontamination des parties attenantes à la découpe.

Après décontamination des surfaces attenantes à la découpe et après pose d'un obturateur FME, on procède à la recherche par frottis, sur la tuyauterie aux abords de la découpe, de contamination surfacique labile résiduelle. Chaque frottis sera aussitôt présenté devant une sonde SBM 2D associée à un MIP 10 situé en sortie de SAS afin d'avoir une évaluation de la situation et de la corriger rapidement si nécessaire.

Notions complémentaires d'aide à l'interprétation des mesures de faible niveau :

n_{BdF} = mesure du bruit de fond

Le seuil de décision $SD = 2\sqrt{n_{BdF}}$ correspond à une valeur de comptage nette, pour laquelle on estime que, compte tenu des fluctuations statistiques du bruit de fond n_{BdF} , on peut affirmer avec une probabilité suffisamment élevée de ne pas se tromper qu'un comptage supérieur à cette valeur SD révèle effectivement la présence de radioactivité dans l'échantillon mesuré.

Si par contre la mesure nette de l'échantillon donne un comptage inférieur à cette valeur SD, on peut seulement affirmer, également avec une probabilité suffisamment élevée de ne pas se tromper, que même si une radioactivité est présente, bien que n'ayant pas été détectée, elle est en tout cas inférieure à une valeur appelée Limite de Détection $LD = 2 \times SD$.

Trois frottis, correspondants à trois zones différentes, sont ainsi successivement analysés :

Frottis n°	n_{BdF} en $c.s^{-1}$	n_{brute} en $c.s^{-1}$
1	15	653
2	17	29
3	12	18

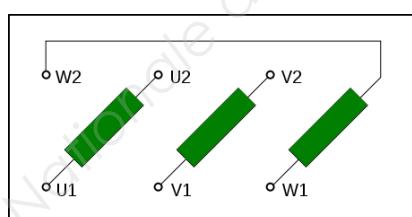
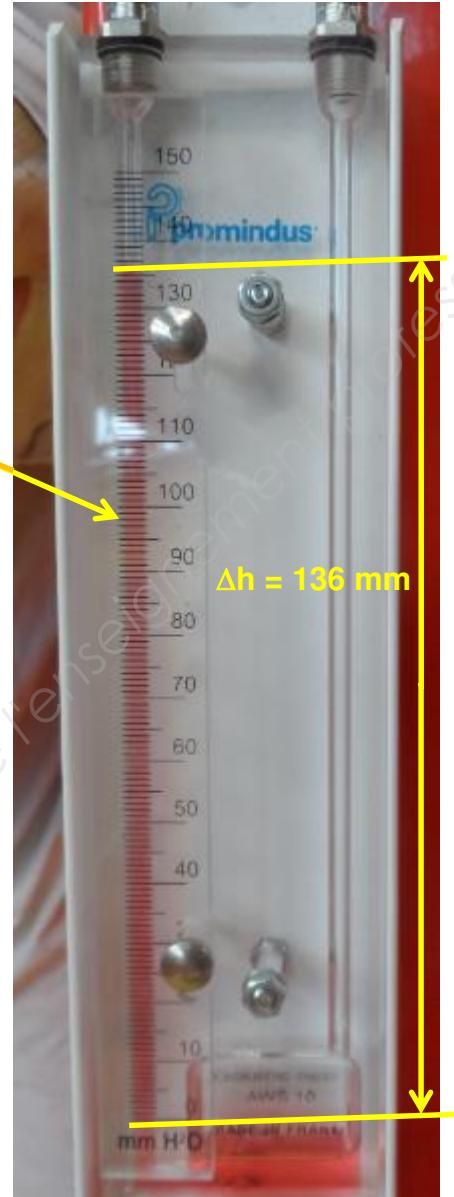
7.1 Analyser chacune de ces trois mesures. Conclure.

BTS Environnement Nucléaire	SUJET	Session 2019
Épreuve U4.1 Pré-étude et modélisation	Durée : 4 heures	Coefficient : 3
Code : ENE4MOD		Page 11 / 17

Annexe 1 : le déprimogène



Plaque signalétique
1500 m³.h⁻¹
 $P_u = 1,50 \text{ kW}$
230 V / 400 V
5,70 A / 3,30 A
 $\cos \varphi = 0,83$
2860 tr·min⁻¹



Bornier du moteur

BTS Environnement Nucléaire	SUJET	Session 2019
Épreuve U4.1 Pré-étude et modélisation	Durée : 4 heures	Coefficient : 3
Code : ENE4MOD		Page 12 / 17

Annexe 2 : le transformateur

Transformateur triphasé d'appoint :

Primaire couplé en triangle sur réseau 4,0 kV – 6,9 kV / 50 Hz

Secondaire couplé en étoile, neutre sorti, sur réseau 230 V – 400 V / 50 Hz

$S = 400 \text{ kVA}$

Masse = 1 350 kg + 310 kg d'huile minérale

Niveau sonore 53 dB à 30 cm



Annexe 3 : la machine orbitale à découper et à chanfreiner



Gamme de serrage	24" – 36" 610-914.4 mm
Serrage	Automatique
Temps d'usinage	Quelques minutes
Alimentation	400 V – 50 Hz
Course du porte-outil	100 mm 3.937"
Avance utile des outils de coupe ou de chanfreinage	60 mm 2.362"
Avance des vérins de ser-rage	100 mm 3.937"
Poids	1600 kg/3527,3 lbs



Gamme de serrage	24" – 36" 610-914.4 mm
Puissance moteur	55 kW
$\cos \varphi$	0,92

BTS Environnement Nucléaire	SUJET	Session 2019
Épreuve U4.1 Pré-étude et modélisation	Durée : 4 heures	Coefficient : 3
Code : ENE4MOD		Page 13 / 17

Annexe 4 : cobalt 60

 60 27	<i>T½</i> : 5,2711 (8) a Cobalt		
Desc.: (β^- , 100 %) Ni-60 Q^- : 2823,07 keV			
Beta - (3 lines) - $\Sigma(\beta^-)$ omitted: 0,12 %			
<i>E</i> max. (keV)	<i>E</i> avg. (keV)	Intensity (%)	
317,32	95,6	99,88	
Gamma (6 lines) - $\Sigma(\gamma)$ omitted: 0,016 %			
Energy (keV)	Intensity (%)	Type	Origin
1 173,23	99,85	γ	Ni-60
1 332,49	99,9826	γ	Ni-60
Production mode Possible impurities			
Co-59 (n, γ) Co-60 none			
Reference: INEEL - 2006			

Annexe 5 : coefficient d'atténuation linéique μ en cm^{-1}

Énergie des γ en MeV	Eau (densité = 1)	Béton (densité = 2,3)	Fer (densité = 7,9)	Plomb (densité = 10,8)
0,3	0,118	0,246	0,832	3,83
0,4	0,106	0,220	0,721	2,25
0,5	0,0966	0,200	0,650	1,57
0,6	0,0896	0,184	0,597	1,22
0,7	0,0835	0,173	0,553	1,04
0,8	0,0786	0,162	0,520	0,90
0,9	0,0743	0,153	0,493	0,81
1,0	0,0706	0,146	0,466	0,739
1,1	0,0675	0,140	0,447	0,679
1,2	0,0645	0,134	0,426	0,637
1,3	0,0620	0,128	0,410	0,602
1,4	0,0596	0,124	0,396	0,575
1,5	0,0575	0,119	0,381	0,553
2,0	0,0493	0,103	0,333	0,494
2,5	0,0428	0,090	0,298	0,459
3,0	0,0396	0,0835	0,283	0,455

BTS Environnement Nucléaire	SUJET	Session 2019
Épreuve U4.1 Pré-étude et modélisation	Durée : 4 heures	Coefficient : 3
Code : ENE4MOD		Page 14 / 17

Annexe 6 : Protections Individuelles Contre le Bruit (PICB)

Un affaiblissement acoustique adapté : l'objectif est de placer le travailleur dans le domaine qualifié de « satisfaisant ». Il est alors correctement protégé contre les bruits excessifs sans pour autant être isolé de l'environnement ce qui constitue également une gêne.



Les PICB sont classées en 4 familles :

La PICB à coquilles : Niveau d'atténuation 15 dB

Appelée également serre-tête ou serre nuque, elle peut être soit indépendante soit montée sur casque de sécurité industriel.

Le bouchon avec arceau : Niveau d'atténuation de 22 dB

Il se positionne soit sur le conduit auditif soit à l'intérieur. Les bouchons sont reliés par une bande (arceau) plastique qui assure leur maintien.

Le bouchon dit « standard » : Niveau d'atténuation de 25 dB

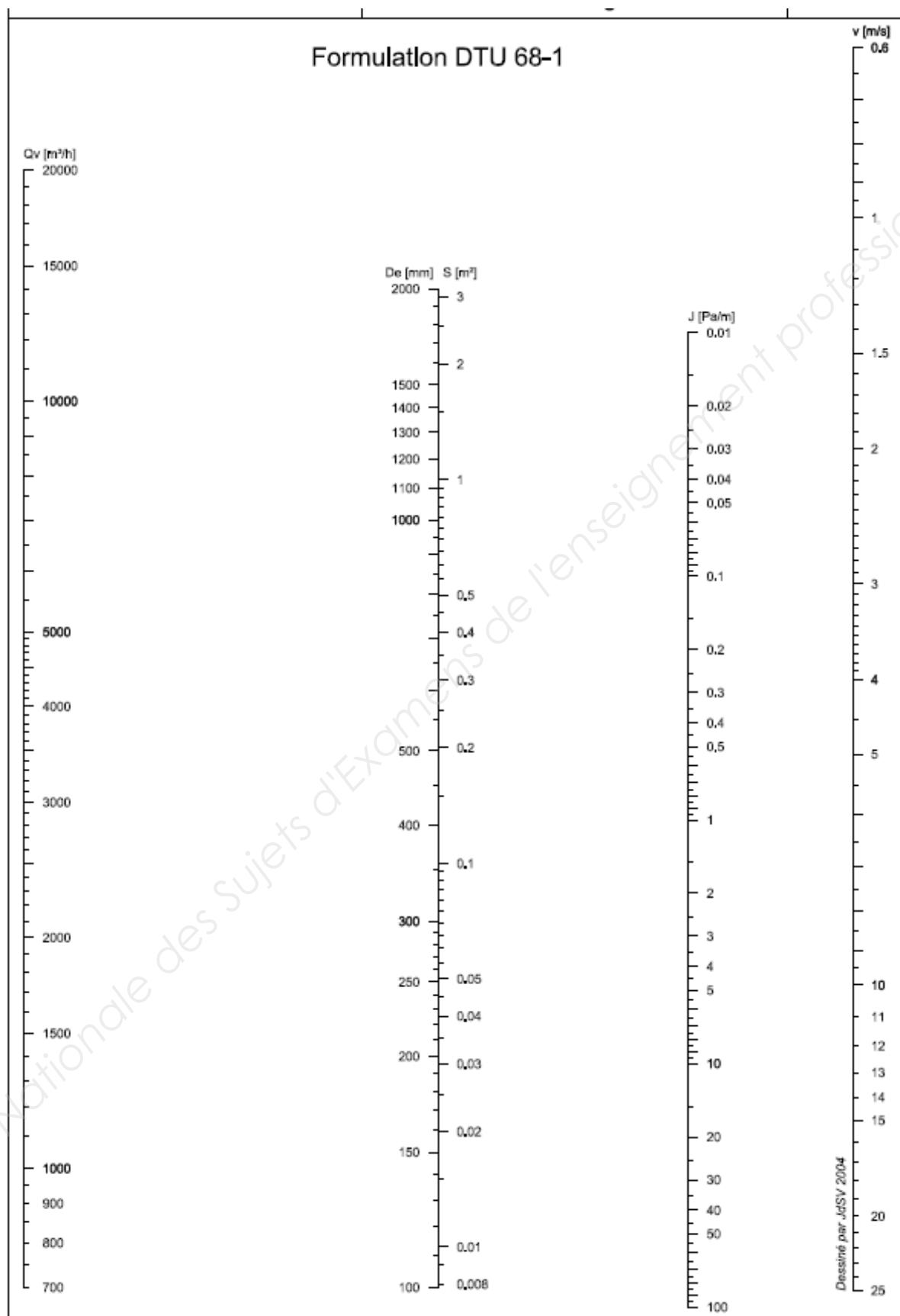
- Le bouchon préformé / prémoulé réalisé en silicone, caoutchouc... Il peut être introduit dans l'oreille sans façonnage préalable.
- Le bouchon à façonner par l'utilisateur réalisé en général en mousse soit comprimable soit malléable. Il sera donc modelé par le salarié avant sa mise en place dans le conduit auditif. Ce type de bouchon est en général à usage unique.

Le bouchon moulé individualisé (sur mesure) : Niveau d'atténuation de 10 dB

Réalisé à partir d'une empreinte de l'oreille du salarié, ce protecteur sera ensuite fabriqué soit en silicone soit en résine acrylique.

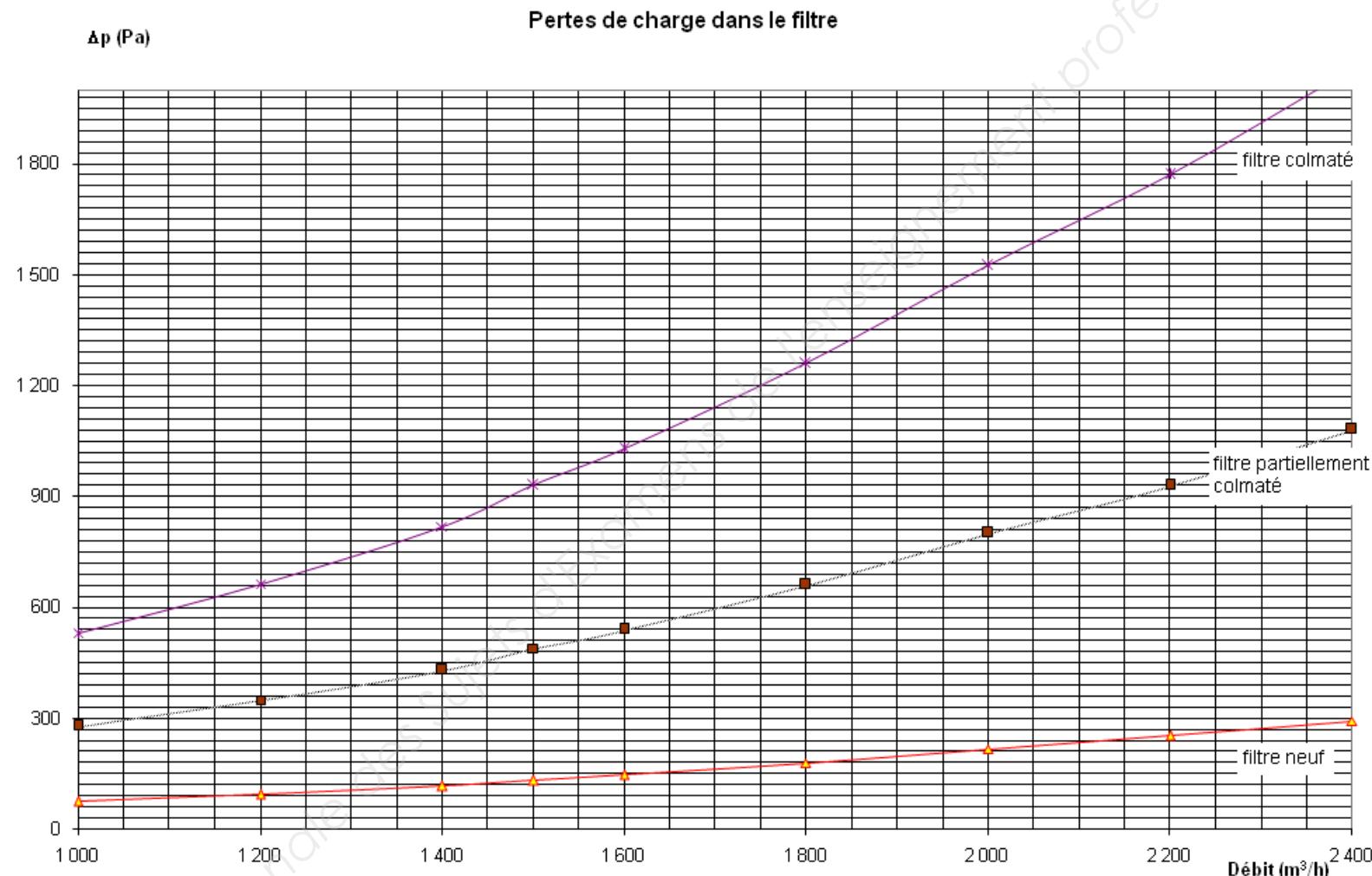
BTS Environnement Nucléaire	SUJET	Session 2019
Épreuve U4.1 Pré-étude et modélisation	Durée : 4 heures	Coefficient : 3
Code : ENE4MOD		Page 15 / 17

Annexe 7 : pertes de charges linéiques de l'air dans une gaine souple



BTS Environnement Nucléaire	SUJET	Session 2019
Épreuve U4.1 Pré-étude et modélisation	Durée : 4 heures	Coefficient : 3
Code : ENE4MOD		Page 16 / 17

Annexe 8 : pertes de charges dans le filtre en fonction du débit d'air



Formulaire

Physique nucléaire et radioprotection

(Certaines notions, considérées comme connues, sont volontairement omises)

■ Constantes

$$N_A = 6,022\ 137 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$c = 2,997\ 925 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$e = 1,602\ 177 \times 10^{-19} \text{ C}$$

■ Masses et énergies

	Masse en kg	uma en MeV
u	$1,660\ 540 \times 10^{-27}$	931,494
Électron	$9,109\ 390 \times 10^{-31}$	0,511
Proton	$1,672\ 623 \times 10^{-27}$	938,272
Neutron	$1,674\ 929 \times 10^{-27}$	939,566

$$M_{^4_2\text{He}} = 4,002\ 603 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$E = m \cdot c^2 \quad \text{masse au repos}$$

■ Section efficace

$$1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$$

■ Activité

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{T} \quad \text{constante radioactive en s}^{-1}$$

$$A = N \cdot \lambda \quad \text{avec } A \text{ en Bq} \\ N = \text{nombre d'atomes}$$

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$n = A \cdot \frac{I}{100} \quad \text{taux d'émission}$$

■ Pour les β

$$R = 0,412 \cdot \frac{E^n}{\rho} \quad \text{et} \quad n = 1,265 - 0,0954 \cdot \ln(E)$$

avec R = portée en cm
 E = énergie maximale des β en MeV
 ρ = masse volumique en $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$

$$\overset{\circ}{D} = 9 \times 10^{-7} \cdot A \cdot \frac{I}{100} \quad \text{avec} \quad \overset{\circ}{D} \text{ en } \text{mGy} \cdot \text{h}^{-1} \text{ à } 10 \text{ cm}$$

A en Bq
 I en %

■ Pour les γ

$$\overset{\circ}{D} = 1,3 \times 10^{-10} \cdot A \cdot E \cdot \frac{I}{100} \quad \text{avec} \quad \overset{\circ}{D} \text{ en } \text{mGy} \cdot \text{h}^{-1} \text{ à } 1 \text{ m}$$

A en Bq
 E en MeV
 I en %

■ Transfert linéique d'énergie TLE = $\frac{E}{x}$

■ Écrans

$$\overset{\circ}{D} = \overset{\circ}{D}_0 \cdot e^{-\mu \cdot x} \quad \text{avec} \quad \mu = \text{coefficient d'atténuation linéique}$$

x = épaisseur de l'écran

$$\overset{\circ}{D} = \overset{\circ}{D}_0 \cdot B \cdot e^{-\mu \cdot x} \quad \text{avec} \quad B = \text{facteur de Build-Up}$$

■ Dose efficace engagée

$$E = h(g) \cdot A_{inh} + e(g) \cdot A_{ing} \quad \text{avec} \quad h(g) \text{ ou } h(g)_{inh} = \text{DPUI inhalée en } \text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$$

$e(g) \text{ ou } h(g)_{ing} = \text{DPUI ingérée en } \text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$

A_{inh} et A_{ing} en Bq = activité incorporée
 E en Sv

$$A_{inh} = A_v \cdot Q \cdot t \quad \text{avec} \quad Q = \text{quotient respiratoire} = 1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \text{ (travail léger)}$$

$$AI_{20inh} = \frac{0,02}{h(g)_{inh}} \quad \text{activité incorporée en Bq par inhalation conduisant à une dose efficace engagée de } 20 \text{ mSv}$$

$$1 \cdot RCA = \frac{25 \times 10^{-6}}{Q \cdot h(g)_{inh}} \quad \text{avec} \quad \text{RCA en } \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} \text{. Correspond à } 25 \text{ } \mu\text{Sv de dose efficace engagée par inhalation en 1 h}$$

$h(g) \text{ ou } h(g)_{inh} = \text{DPUI inhalée en } \text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$

$Q = \text{quotient respiratoire} = 1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \text{ (travail léger)}$

■ **Période effective**

$$\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T} + \frac{1}{T_b}$$

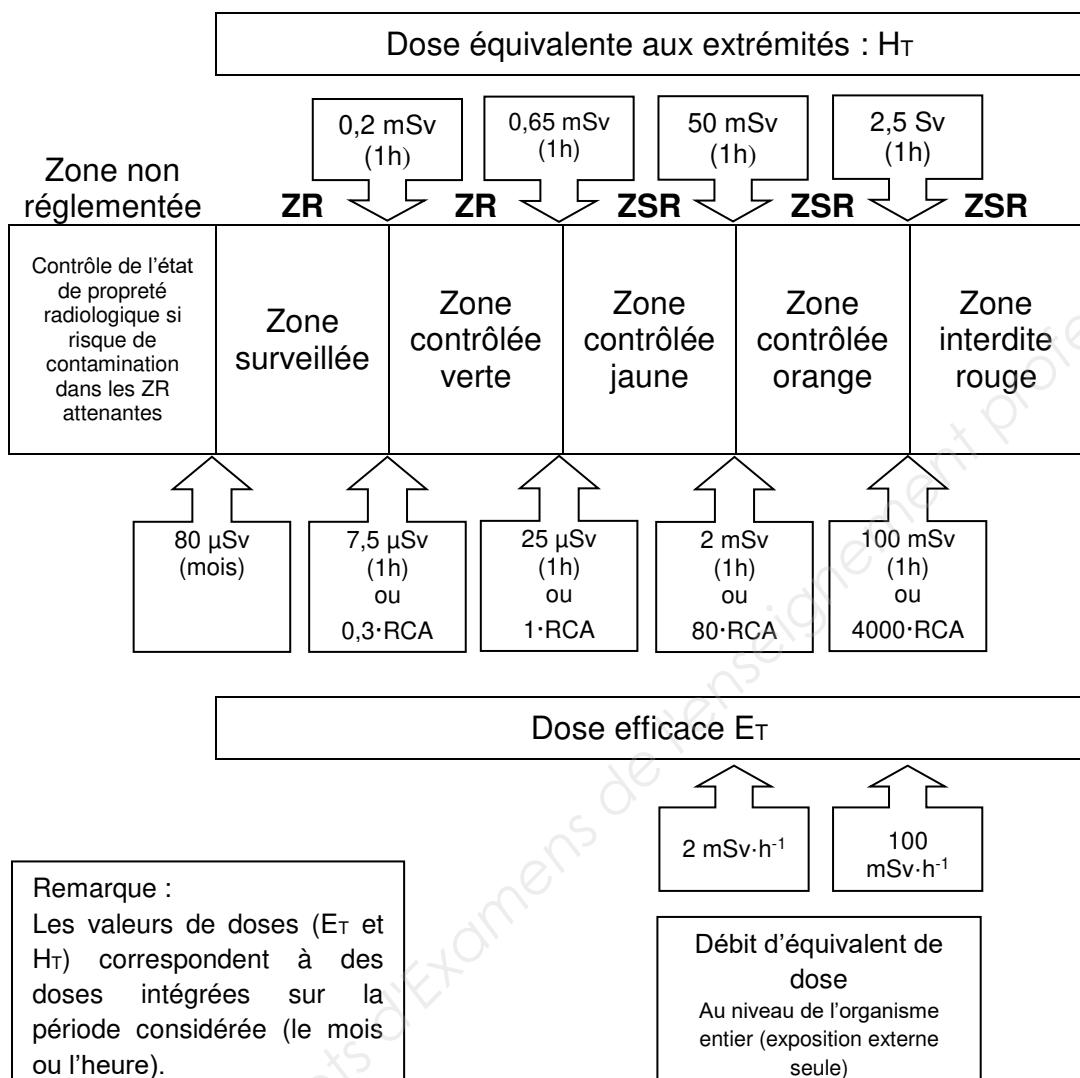
■ **Coefficients de pondérations radiologique et tissulaire**

		W_R	W_T
γ, X, β		1	
α , cluster		20	
n	< 10 keV	5	Gonades
	10 keV à 100 keV	10	Moelle osseuse
	100 keV à 2 MeV	20	Colon
	2 MeV à 20 MeV	10	Poumon
	> 20 MeV	5	Estomac
$p > 2 \text{ MeV}$		5	Vessie
			Sein
			Foie
			Œsophage
			Thyroïde
			Peau
			Os (surface)
			Autres tissus ou organes
			Total (corps entier)
			1

■ **Dosimétrie**

		Limites sur 12 mois glissants en mSv		
Catégorie		Public	B	A
Corps entier	$E = H_{(10)}$	1	6	20
Peau (1cm^2)	$H_{(0,07)}$	50	150	500
Extrémités	$H_{(0,07)}$	-	150	500
Cristallin	$H_{(3)}$	15	45	150

■ Zonage



$$\frac{H_{\text{zonage}}^{*(10)}}{H_{\text{zonage}}} + \frac{A_v}{\text{nb} \cdot \text{RCA}_{\text{zonage}}} \leq 1 \quad \text{avec} \quad A_v \text{ et nb} \cdot \text{RCA}_{\text{zonage}} \text{ en Bq} \cdot \text{m}^{-3}$$

■ Mathématiques

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{a+b}{a \cdot b}$$

$$y = e^x \Leftrightarrow x = \ln(y)$$

$$e^a \cdot e^b = e^{a+b}$$

$$e^x = \frac{1}{e^{-x}}$$

$$\ln(a^n) = n \cdot \ln(a)$$

$$\ln(a \cdot b) = \ln(a) + \ln(b)$$

■ Contamination surfacique

A_s = activité surfacique en $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$

A = activité en Bq

n = taux de comptage brut obtenu en impulsions/s ou c/s

n_{BDF} = nombre de chocs dus au bruit de fond.

ε_i = rendement de l'appareil

ε_s = rendement source 0,5 pour β si $E_{\beta\max} \geq 0,4 \text{ MeV}$

0,25 pour β si $E_{\beta\max} < 0,4 \text{ MeV}$ et pour α

R_f = rendement frottis $\approx 10 \%$

S = surface frottée en cm^2

$$A_s = \frac{n - n_{BDF}}{\varepsilon_i \cdot S_{\text{contaminée}} \cdot \varepsilon_s} \quad \text{si} \quad S_{\text{contaminée}} < S_{\text{détecteur}}$$

$$A_s = \frac{n - n_{BDF}}{\varepsilon_i \cdot S_{\text{détecteur}} \cdot \varepsilon_s} \quad \text{si} \quad S_{\text{détecteur}} < S_{\text{contaminée}}$$

$$A_s = \frac{n - n_{BDF}}{R_f \cdot S \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_s} \quad \text{si} \quad S_{\text{frottis}} < S_{\text{détecteur}}$$

$$A_s = \frac{n - n_{BDF}}{R_f \cdot S \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_s} \cdot \frac{S_{\text{frottis}}}{S_{\text{détecteur}}} \quad \text{si} \quad S_{\text{détecteur}} < S_{\text{frottis}}$$

■ Contamination volumique

$$A_v = \frac{A}{V}$$

$$A_v = A_{v0} \cdot e^{-R \cdot t} \quad \text{pour une émission } A_{v0} \text{ de courte durée dans un local ventilé}$$

avec A_v et A_{v0} = activité volumique en $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$

R = taux de renouvellement de l'air en h^{-1}

$$R = \frac{Q}{V} \quad \text{avec } Q = \text{débit de ventilation en } \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

V = volume du local en m^3

t = durée en h

$$A_v = \frac{A_h}{Q} \cdot (1 - e^{-R \cdot t}) \quad \text{pour une production continue } A_h \text{ en } \text{Bq} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$A_v = \frac{A_s \cdot S \cdot \tau}{V} \quad \text{contamination volumique engendrée par une remise en suspension de la contamination surfacique de la surface } S$$

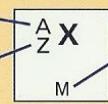
avec τ = taux de remise en suspension

Classification périodique des éléments

Période	Groupes	
	I	II
1 couche K	1 H hydrogène 1,0	
2 couche L	3 Li lithium 6,9	4 Be béryllium 9,0
3 couche M	11 Na sodium 23,0	12 Mg magnésium 24,3
4 couche N	19 K potassium 39,1	20 Ca calcium 40,1
5 couche O	37 Rb rubidium 85,5	38 Sr strontium 87,6
6 couche P	55 Cs césum 132,9	56 Ba baryum 137,3
7 couche Q	87 Fr francium 223	88 Ra radium 226,1

A : nombre de masse de l'isotope le plus abondant

Z : numéro atomique



M : masse molaire atomique (g.mol⁻¹) du mélange isotopique naturel

É l e m e n t s d e t r a n s i t i o n

Groupes							
III	IV	V	VI	VII	VIII		
11 B bore 10,8	12 C carbone 12,0	14 N azote 14,0	16 O oxygène 16,0	19 F fluor 19,0	20 Ne néon 20,2		
13 Al aluminium 27,0	14 Si silicium 28,1	15 P phosphore 31,0	16 S soufre 32,1	17 Cl chlore 35,5	18 Ar argon 39,9		
27 Ga gallium 69,7	32 Ge germanium 72,6	33 As arsenic 74,9	34 Se sélénium 79,0	35 Br brome 79,9	36 Kr krypton 83,8		
31 Zn zinc 65,4	32 In indium 114,8	48 Cd cadmium 112,4	49 Sn étain 118,7	50 Sb antimoine 121,8	52 Te tellure 127,6	53 I iode 126,9	54 Xe xénon 131,3
39 Ru ruthénium 102,9	45 Rh rhodium 106,4	47 Ag argent 107,9	48 Cd cadmium 112,4	49 In indium 114,8	50 Sn étain 118,7	51 Sb antimoine 121,8	52 Te tellure 127,6
42 Mo molybdène 95,9	43 Tc technétium 99,0	44 Ru ruthénium 101,1	45 Rh rhodium 106,4	46 Pd palladium 106,4	47 Ag argent 107,9	48 Cd cadmium 112,4	49 In indium 114,8
43 Nb niobium 92,9	44 Tc technétium 99,0	45 Ru ruthénium 101,1	46 Rh rhodium 106,4	47 Pd palladium 106,4	48 Ag argent 107,9	49 Cd cadmium 112,4	50 In indium 114,8
45 Sc scandium 45,0	46 Ti titane 47,9	47 V vanadium 50,9	48 Cr chrome 52,0	49 Mn manganèse 54,9	50 Fe fer 55,8	51 Co cobalt 58,9	52 Ni nickel 58,7
47 Ti titane 47,9	48 V vanadium 50,9	49 Cr chrome 52,0	50 Mn manganèse 54,9	51 Fe fer 55,8	52 Co cobalt 58,9	53 Ni nickel 58,7	54 Cu cuivre 63,5
49 Zr zirconium 91,2	50 Nb niobium 92,9	51 Mo molybdène 95,9	52 Tc technétium 99,0	53 Ru ruthénium 101,1	54 Rh rhodium 106,4	55 Cd cadmium 112,4	56 Zn zinc 65,4
51 V vanadium 50,9	52 Cr chrome 52,0	53 Mn manganèse 54,9	54 Fe fer 55,8	55 Co cobalt 58,9	56 Ni nickel 58,7	57 Cu cuivre 63,5	58 Zn zinc 65,4
53 Cr chrome 52,0	54 Mn manganèse 54,9	55 Fe fer 55,8	56 Co cobalt 58,9	57 Ni nickel 58,7	58 Cu cuivre 63,5	59 Zn zinc 65,4	60 Ga gallium 69,7
55 Mn manganèse 54,9	56 Fe fer 55,8	57 Co cobalt 58,9	58 Ni nickel 58,7	59 Cu cuivre 63,5	60 Cd cadmium 112,4	61 In indium 114,8	62 Ge germanium 72,6
57 Fe fer 55,8	58 Cr chrome 52,0	59 Mn manganèse 54,9	60 Fe fer 55,8	61 Co cobalt 58,9	62 Cd cadmium 112,4	63 In indium 114,8	64 Ga gallium 69,7
59 Cr chrome 52,0	60 Mn manganèse 54,9	61 Fe fer 55,8	62 Cr chrome 52,0	63 Ni nickel 58,7	64 Cd cadmium 112,4	65 In indium 114,8	66 Ge germanium 72,6
61 Mn manganèse 54,9	62 Fe fer 55,8	63 Mn manganèse 54,9	64 Cr chrome 52,0	65 Co cobalt 58,9	66 Cd cadmium 112,4	67 In indium 114,8	68 Ga gallium 69,7
63 Mn manganèse 54,9	64 Fe fer 55,8	65 Mn manganèse 54,9	66 Cr chrome 52,0	67 Ni nickel 58,7	68 Cd cadmium 112,4	69 In indium 114,8	70 Ge germanium 72,6
65 Mn manganèse 54,9	66 Fe fer 55,8	67 Mn manganèse 54,9	68 Cr chrome 52,0	69 Ni nickel 58,7	70 Cd cadmium 112,4	71 In indium 114,8	72 Ga gallium 69,7
67 Mn manganèse 54,9	68 Fe fer 55,8	69 Mn manganèse 54,9	70 Cr chrome 52,0	71 Ni nickel 58,7	72 Cd cadmium 112,4	73 In indium 114,8	74 Ge germanium 72,6
69 Mn manganèse 54,9	70 Fe fer 55,8	71 Mn manganèse 54,9	72 Cr chrome 52,0	73 Ni nickel 58,7	74 Cd cadmium 112,4	75 In indium 114,8	76 Ga gallium 69,7
71 Mn manganèse 54,9	72 Fe fer 55,8	73 Mn manganèse 54,9	74 Cr chrome 52,0	75 Ni nickel 58,7	76 Cd cadmium 112,4	77 In indium 114,8	78 Ge germanium 72,6
73 Mn manganèse 54,9	74 Fe fer 55,8	75 Mn manganèse 54,9	76 Cr chrome 52,0	77 Ni nickel 58,7	78 Cd cadmium 112,4	79 In indium 114,8	80 Ga gallium 69,7
75 Mn manganèse 54,9	76 Fe fer 55,8	77 Mn manganèse 54,9	78 Cr chrome 52,0	79 Ni nickel 58,7	80 Cd cadmium 112,4	81 In indium 114,8	82 Ge germanium 72,6
77 Mn manganèse 54,9	78 Fe fer 55,8	79 Mn manganèse 54,9	80 Cr chrome 52,0	81 Ni nickel 58,7	82 Cd cadmium 112,4	83 In indium 114,8	84 Ga gallium 69,7
79 Mn manganèse 54,9	80 Fe fer 55,8	81 Mn manganèse 54,9	82 Cr chrome 52,0	83 Ni nickel 58,7	84 Cd cadmium 112,4	85 In indium 114,8	86 Ge germanium 72,6
81 Mn manganèse 54,9	82 Fe fer 55,8	83 Mn manganèse 54,9	84 Cr chrome 52,0	85 Ni nickel 58,7	86 Cd cadmium 112,4	87 In indium 114,8	88 Ga gallium 69,7
83 Mn manganèse 54,9	84 Fe fer 55,8	85 Mn manganèse 54,9	86 Cr chrome 52,0	87 Ni nickel 58,7	88 Cd cadmium 112,4	89 In indium 114,8	90 Ge germanium 72,6
85 Mn manganèse 54,9	86 Fe fer 55,8	87 Mn manganèse 54,9	88 Cr chrome 52,0	89 Ni nickel 58,7	90 Cd cadmium 112,4	91 In indium 114,8	92 Ga gallium 69,7
87 Mn manganèse 54,9	88 Fe fer 55,8	89 Mn manganèse 54,9	90 Cr chrome 52,0	91 Ni nickel 58,7	92 Cd cadmium 112,4	93 In indium 114,8	94 Ge germanium 72,6
89 Mn manganèse 54,9	90 Fe fer 55,8	91 Mn manganèse 54,9	92 Cr chrome 52,0	93 Ni nickel 58,7	94 Cd cadmium 112,4	95 In indium 114,8	96 Ga gallium 69,7
91 Mn manganèse 54,9	92 Fe fer 55,8	93 Mn manganèse 54,9	94 Cr chrome 52,0	95 Ni nickel 58,7	96 Cd cadmium 112,4	97 In indium 114,8	98 Ge germanium 72,6
93 Mn manganèse 54,9	94 Fe fer 55,8	95 Mn manganèse 54,9	96 Cr chrome 52,0	97 Ni nickel 58,7	98 Cd cadmium 112,4	99 In indium 114,8	100 Ga gallium 69,7
95 Mn manganèse 54,9	96 Fe fer 55,8	97 Mn manganèse 54,9	98 Cr chrome 52,0	99 Ni nickel 58,7	100 Cd cadmium 112,4	101 In indium 114,8	102 Ge germanium 72,6
97 Mn manganèse 54,9	98 Fe fer 55,8	99 Mn manganèse 54,9	100 Cr chrome 52,0	101 Ni nickel 58,7	102 Cd cadmium 112,4	103 In indium 114,8	104 Ga gallium 69,7
99 Mn manganèse 54,9	100 Fe fer 55,8	101 Mn manganèse 54,9	102 Cr chrome 52,0	103 Ni nickel 58,7	104 Cd cadmium 112,4	105 In indium 114,8	106 Ge germanium 72,6
101 Mn manganèse 54,9	102 Fe fer 55,8	103 Mn manganèse 54,9	104 Cr chrome 52,0	105 Ni nickel 58,7	106 Cd cadmium 112,4	107 In indium 114,8	108 Ga gallium 69,7
103 Mn manganèse 54,9	104 Fe fer 55,8	105 Mn manganèse 54,9	106 Cr chrome 52,0	107 Ni nickel 58,7	108 Cd cadmium 112,4	109 In indium 114,8	110 Ge germanium 72,6
105 Mn manganèse 54,9	106 Fe fer 55,8	107 Mn manganèse 54,9	108 Cr chrome 52,0	109 Ni nickel 58,7	108 Cd cadmium 112,4	109 In indium 114,8	111 Ga gallium 69,7
107 Mn manganèse 54,9	108 Fe fer 55,8	109 Mn manganèse 54,9	108 Cr chrome 52,0	109 Ni nickel 58,7	108 Cd cadmium 112,4	109 In indium 114,8	112 Ge germanium 72,6
109 Mn manganèse 54,9	110 Fe fer 55,8	111 Mn manganèse 54,9	112 Cr chrome 52,0	113 Ni nickel 58,7	112 Cd cadmium 112,4	113 In indium 114,8	114 Ga gallium 69,7
111 Mn manganèse 54,9	112 Fe fer 55,8	113 Mn manganèse 54,9	114 Cr chrome 52,0	115 Ni nickel 58,7	114 Cd cadmium 112,4	115 In indium 114,8	116 Ge germanium 72,6
113 Mn manganèse 54,9	114 Fe fer 55,8	115 Mn manganèse 54,9	116 Cr chrome 52,0	117 Ni nickel 58,7	116 Cd cadmium 112,4	117 In indium 114,8	118 Ga gallium 69,7
115 Mn manganèse 54,9	116 Fe fer 55,8	117 Mn manganèse 54,9	118 Cr chrome 52,0	119 Ni nickel 58,7	117 Cd cadmium 112,4	118 In indium 114,8	119 Ge germanium 72,6
117 Mn manganèse 54,9	118 Fe fer 55,8	119 Mn manganèse 54,9	118 Cr chrome 52,0	119 Ni nickel 58,7	118 Cd cadmium 112,4	119 In indium 114,8	120 Ga gallium 69,7
119 Mn manganèse 54,9	120 Fe fer 55,8	121 Mn manganèse 54,9	122 Cr chrome 52,0	123 Ni nickel 58,7	120 Cd cadmium 112,4	121 In indium 114,8	122 Ge germanium 72,6
121 Mn manganèse 54,9	122 Fe fer 55,8	123 Mn manganèse 54,9	124 Cr chrome 52,0	125 Ni nickel 58,7	124 Cd cadmium 112,4	123 In indium 114,8	124 Ge germanium 72,6
123 Mn manganèse 54,9	124 Fe fer 55,8	125 Mn manganèse 54,9	126 Cr chrome 52,0	127 Ni nickel 58,7	125 Cd cadmium 112,4	124 In indium 114,8	125 Ge germanium 72,6
125 Mn manganèse 54,9	126 Fe fer 55,8	127 Mn manganèse 54,9	128 Cr chrome 52,0	129 Ni nickel 58,7	126 Cd cadmium 112,4	125 In indium 114,8	126 Ge germanium 72,6
127 Mn manganèse 54,9	128 Fe fer 55,8	129 Mn manganèse 54,9	129 Cr chrome 52,0	130 Ni nickel 58,7	127 Cd cadmium 112,4	126 In indium 114,8	127 Ge germanium 72,6
129 Mn manganèse 54,9	130 Fe fer 55,8	131 Mn manganèse 54,9	132 Cr chrome 52,0	133 Ni nickel 58,7	128 Cd cadmium 112,4	127 In indium 114,8	128 Ge germanium 72,6
131 Mn manganèse 54,9	<b						

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.