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.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

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**.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

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.

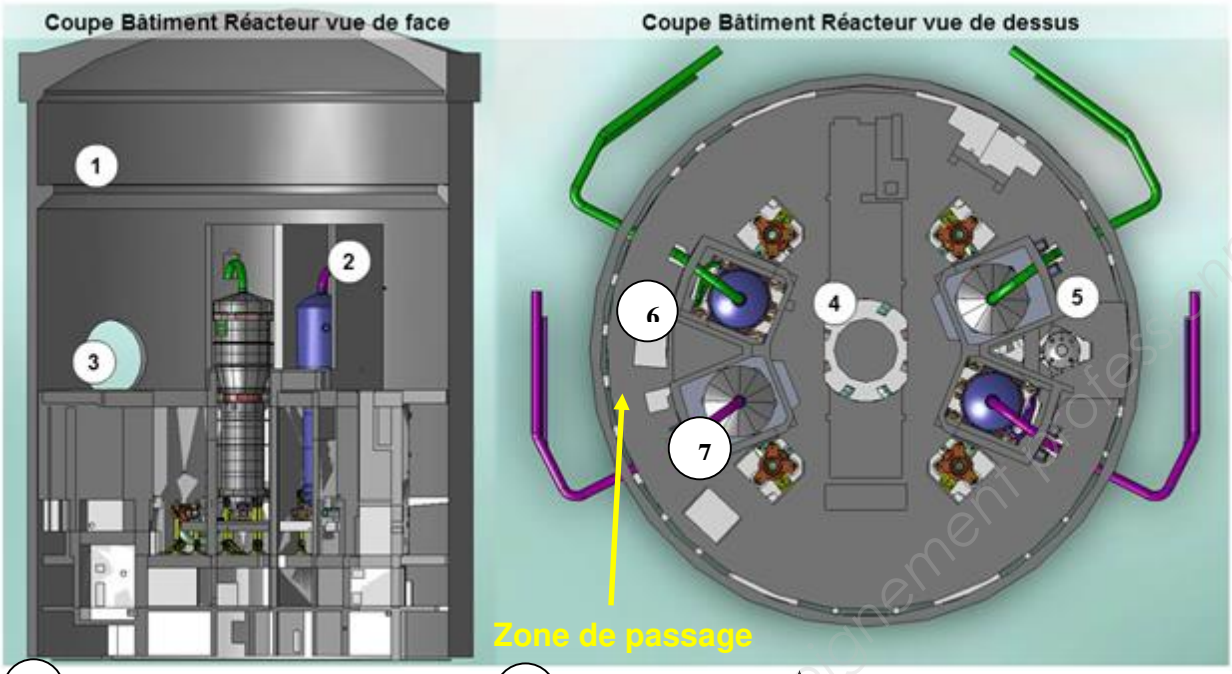
1.4 Déterminer les puissances active P_e et réactive Q_e absorbées par l'éclairage d'un chantier.

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 ?

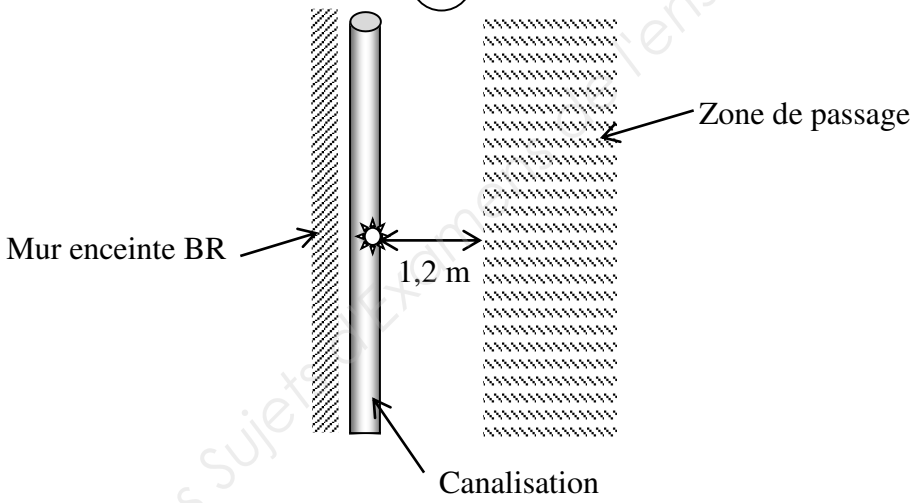
1.6 Le transformateur proposé en **annexe 2** convient-il ?

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

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



6 *Emplacement du transformateur* 7 *GV à remplacer* ☼ *Point Chaud Balisé (PCB)*



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 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**).

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

2.1 Description du point chaud

Données :
Unité de masse atomique : 1 u = 931,5 MeV.c^{-2},
Masse d'un proton : m_p = 1,007277 u,
Masse d'un neutron : m_n = 1,008665 u,
Masse du noyau de ^{59}Co : m_{Co} = 58,93319 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 $\dot{H}$ 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 x 500 x 32 mm (ρ = 10 800 kg·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 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 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).

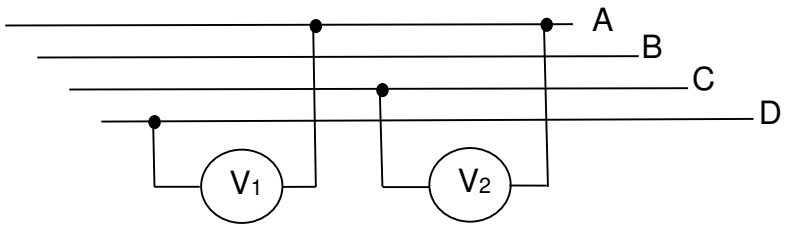
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

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.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

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
    - positionnement de la machine à découper et à chanfreiner,
    - 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 :
- $\dot{H}_p$ = 11 µSv.h^{-1} au voisinage du circuit primaire où ils sont 60% du temps,
- $\dot{H}_a$ = 2 µSv.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 $\dot{H}$ = 5 µSv.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.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

5. Découpe d'une branche de la boucle primaire

La chronologie des opérations est la suivante :
- circuit primaire vidangé et rincé
    - 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** ?

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

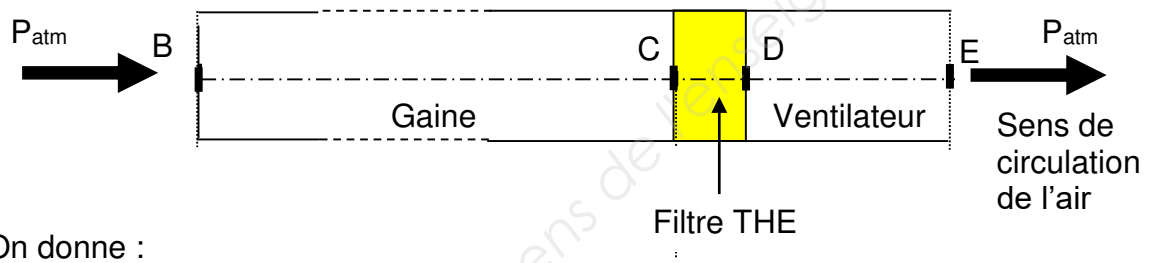
5.2 Confinement dynamique par déprimogène

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 mm et de longueur L = 10 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 m^3.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 :

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

Avec g = 9,81 m.s^{-2}, accélération de la pesanteur
Δp = somme de toutes les pertes de charge
P_{vent} = puissance fournie au fluide par la machine
ρ = 1,2 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.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

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 (ρ_L = 1000 kg·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 m^3.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 Sv.Bq^{-1}	p_i (proportion dosimétrique)
^{60}Co	2,9 x 10^{-8}	0,180
^{131}I	7,1 x 10^{-9}	0,168
^{137}Cs	6,7 x 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 kBq.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 connaitre l'activité volumique présente dans le SAS en fin de découpe : $A_{V\,total}$ = 61 kBq.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 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.

Base Nationale des sujets d'Examen de l'enseignement professionnel

7. Traitement de la contamination surfacique

La chronologie des opérations est la suivante :
- circuit primaire vidangé et rincé (situation inchangée)
    - aspiration des poussières de découpe et pose d'un obturateur FME,
    - 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 tou cas inférieure à une valeur appelée Limite de Détection LD = 2×SD.

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

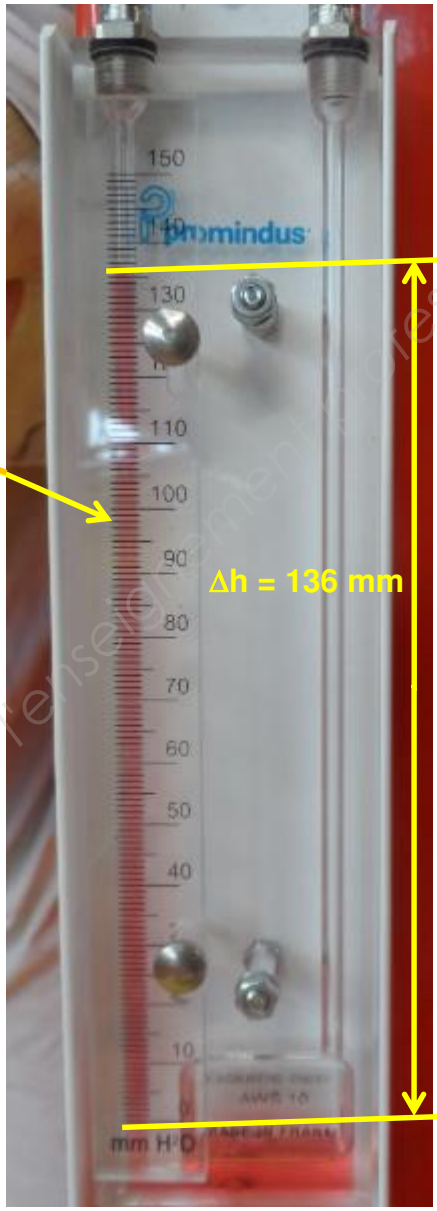
Frottis n°	n_{BdF} en $c.s^{-1}$	n_{brute} en $c.s^{-1}$
1	15	653
2	17	29
3	12	18

7.1 Analyser chacune de ces trois mesures. Conclure.

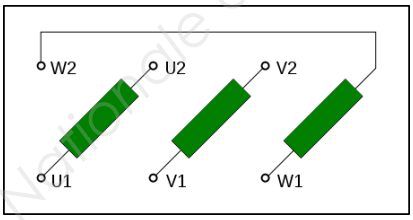
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Annexe 1 : le déprimogène





Plaque signalétique
1500 $m^3 \cdot h^{-1}$
P_u = 1,50 kW
230 V / 400 V
5,70 A / 3,30 A
cos φ = 0,83
2860 $tr \cdot min^{-1}$



Bornier du moteur

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

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 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



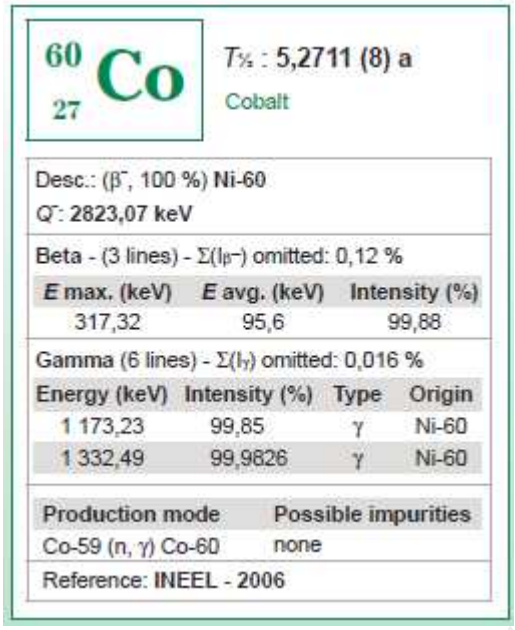


Gamme de serrage	24" – 36" 610-914.4 mm
Serrage	Automatique
Temps d'usinage	Quelques minutes
Alimentation	400 V – 50 Hz
Course du porte-outil	100 mm 3.937"
Avance utile des outils de coupe ou de chanfreinage	60 mm 2.362"
Avance des vérins de ser-rage	100 mm 3.937"
Poids	1600 kg/3527,3 lbs

Gamme de serrage	24" – 36" 610-914.4 mm
Puissance moteur	55 kW
cos φ	**0,92**

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Annexe 4 : cobalt 60



$^{60}_{27}Co$ — $T_{½}$: 5,2711 (8) a — Cobalt

Desc.: (β^-, 100 %) Ni-60
Q^-: 2823,07 keV

Beta - (3 lines) - $\Sigma(I_{\beta^-})$ omitted: 0,12 %

E max. (keV)	E avg. (keV)	Intensity (%)
317,32	95,6	99,88

Gamma (6 lines) - $\Sigma(I_\gamma)$ 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

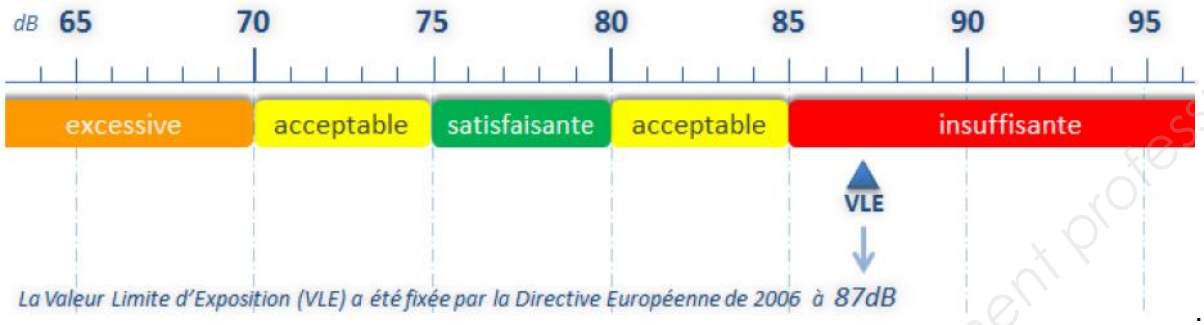
Annexe 5 : coefficient d'atténuation linéique μ en cm^{-1}

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

Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel

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.

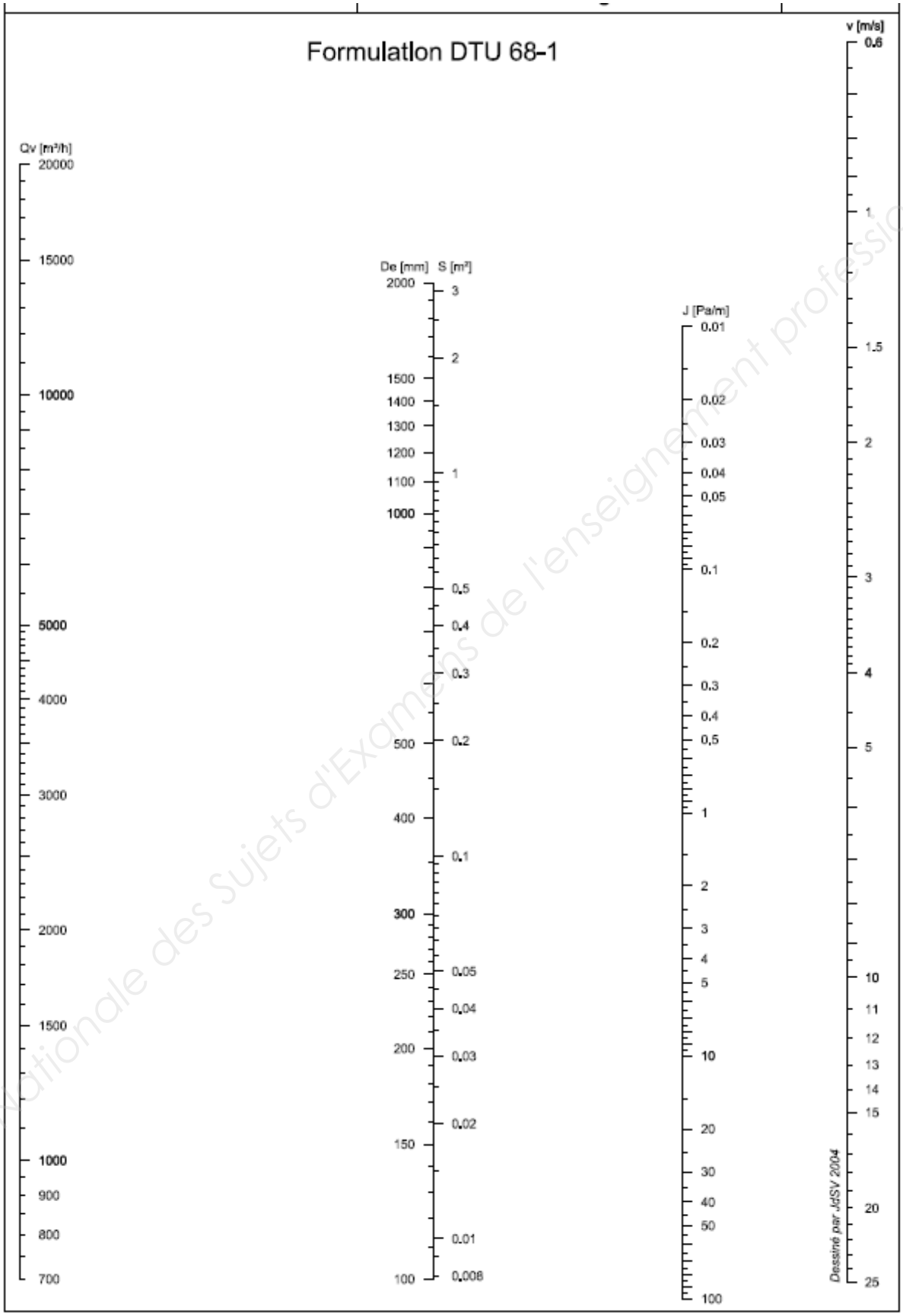
Le bouchon avec arceau : Niveau d'atténuation de 22 dB
Il se positionne soit sur le conduit auditif soit à l'intérieur. Les bouchons sont reliés par une bande (arceau) plastique qui assure leur maintien.

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.

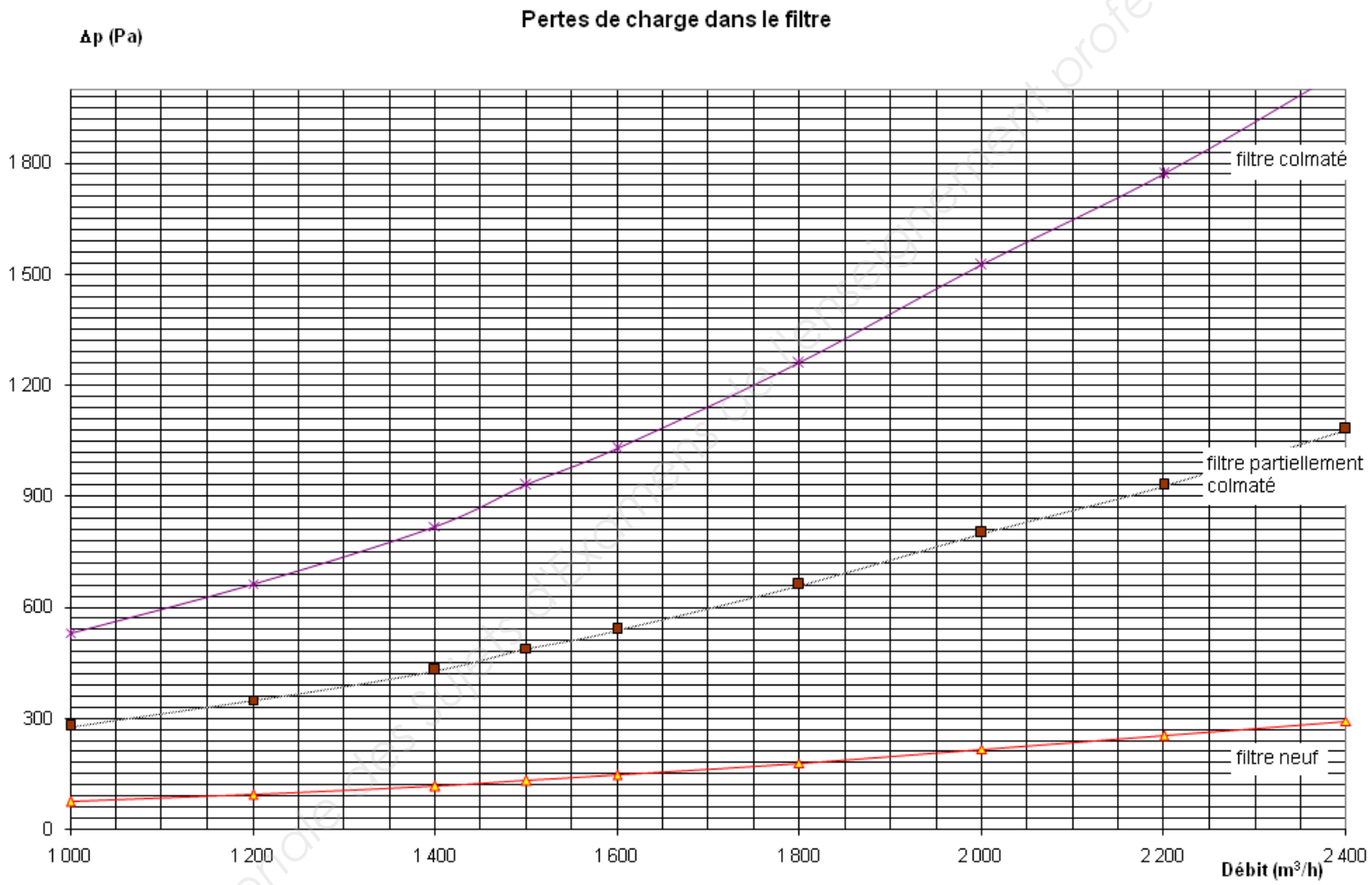
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

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



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

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



Base nationale des sujets d'examens de l'enseignement professionnel

Formulaire

Physique nucléaire et radioprotection

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

■ Constantes

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

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

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

■ 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

$M_{^4_2He} = 4{,}002\ 603\ g \cdot mol^{-1}$

$E = m \cdot c^2$ masse au repos

■ Section efficace

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

■ Activité

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

$A = N \cdot \lambda$ avec A en Bq
N = nombre d'atomes

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

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

Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

■ Pour les β

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

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

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

A en Bq
I en %

■ Pour les γ

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

A en Bq
E en MeV
I en %

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

■ Écrans

$\overset{\circ}{D} = \overset{\circ}{D}_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$ avec μ = coefficient d'atténuation linéique
x = épaisseur de l'écran

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

■ Dose efficace engagée

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

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

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

$1 \cdot RCA = \frac{25 \times 10^{-6}}{Q \cdot h(g)_{inh}}$ avec RCA en $Bq \cdot m^{-3}$. Correspond à 25 µSv de dose efficace engagée par inhalation en 1 h
h(g) ou $h(g)_{inh}$ = DPUI inhalée en $Sv \cdot Bq^{-1}$
Q = quotient respiratoire = 1,2 $m^3 \cdot h^{-1}$ (travail léger)

Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

■ **Période effective** $\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T} + \frac{1}{T_b}$

■ **Coefficients de pondérations radiologique et tissulaire**

		W_R
γ, X, β		1
α, cluster		20
n	< 10 keV	5
	10 keV à 100 keV	10
	100 keV à 2 MeV	20
	2 MeV à 20 MeV	10
	> 20 MeV	5
p > 2 MeV		5

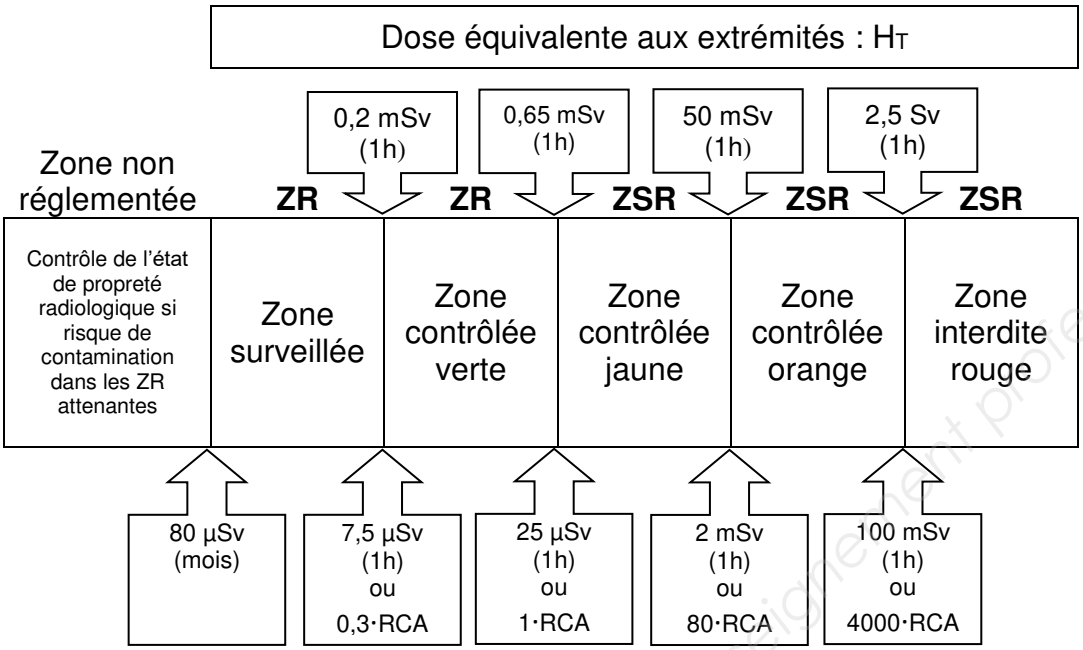
	W_T
Gonades	0,20
Moelle osseuse	0,12
Colon	0,12
Poumon	0,12
Estomac	0,12
Vessie	0,05
Sein	0,05
Foie	0,05
Œsophage	0,05
Thyroïde	0,05
Peau	0,01
Os (surface)	0,01
Autres tissus ou organes	0,05
Total (corps entier)	1

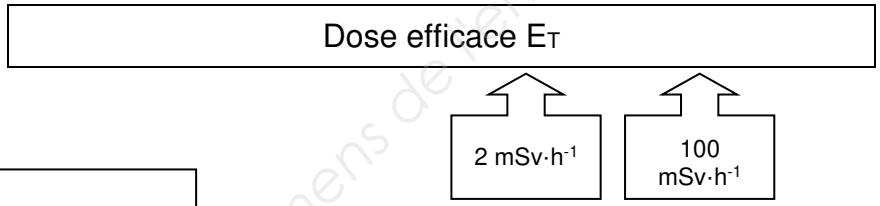
■ **Dosimétrie**

		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

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

■ Zonage





Remarque :
Les valeurs de doses (E_T et H_T) correspondent à des doses intégrées sur la période considérée (le mois ou l'heure).

Débit d'équivalent de dose
Au niveau de l'organisme entier (exposition externe seule)

$$\frac{H^*_{(10)}}{H_{zonage}} + \frac{A_V}{nb \cdot RCA_{zonage}} \leq 1$$ avec A_V et $nb \cdot RCA_{zonage}$ en Bq·m^{-3}

■ Mathématiques

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

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

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

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

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

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

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

■ Contamination surfacique

A_s = activité surfacique en $Bq \cdot cm^{-2}$
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 $E_{\beta max} \geq 0,4$ MeV
0,25 pour β si $E_{\beta max} < 0,4$ MeV et pour α
R_f = rendement frottis $\approx$ 10 %
S = surface frottée en cm^2

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

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

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

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

■ Contamination volumique

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

$A_V = A_{V0} \cdot e^{-R \cdot t}$ pour une émission A_{V0} de courte durée dans un local ventilé
avec A_V et A_{V0} = activité volumique en $Bq \cdot m^{-3}$
R = taux de renouvellement de l'air en h^{-1}
$R = \frac{Q}{V}$ avec Q = débit de ventilation en $m^3 \cdot h^{-1}$
V = volume du local en m^3
t = durée en h

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

$$A_V = \frac{A_S \cdot S \cdot \tau}{V}$$

contamination volumique engendrée par une remise en suspension de la contamination surfacique de la surface S
avec τ = taux de remise en suspension

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Classification périodique des éléments

Période	Groupes I	Groupes II										Groupes III	Groupes IV	Groupes V	Groupes VI	Groupes VII	Groupes VIII
1 couche K	$^{1}_{1}$H hydrogène 1,0																$^{4}_{2}$He hélium 4,0
2 couche L	$^{7}_{3}$Li lithium 6,9	$^{9}_{4}$Be béryllium 9,0										$^{11}_{5}$B bore 10,8	$^{12}_{6}$C carbone 12,0	$^{14}_{7}$N azote 14,0	$^{16}_{8}$O oxygène 16,0	$^{19}_{9}$F fluor 19,0	$^{20}_{10}$Ne néon 20,2
3 couche M	$^{23}_{11}$Na sodium 23,0	$^{24}_{12}$Mg magnésium 24,3	Éléments de transition									$^{27}_{13}$Al aluminium 27,0	$^{28}_{14}$Si silicium 28,1	$^{31}_{15}$P phosphore 31,0	$^{32}_{16}$S soufre 32,1	$^{35}_{17}$Cl chlore 35,5	$^{40}_{18}$Ar argon 39,9
4 couche N	$^{39}_{19}$K potassium 39,1	$^{40}_{20}$Ca calcium 40,1	$^{45}_{21}$Sc scandium 45,0	$^{48}_{22}$Ti titane 47,9	$^{51}_{23}$V vanadium 50,9	$^{52}_{24}$Cr chrome 52,0	$^{55}_{25}$Mn manganèse 54,9	$^{56}_{26}$Fe fer 55,8	$^{59}_{27}$Co cobalt 58,9	$^{58}_{28}$Ni nickel 58,7	$^{63}_{29}$Cu cuivre 63,5	$^{64}_{30}$Zn zinc 65,4	$^{69}_{31}$Ga gallium 69,7	$^{74}_{32}$Ge germanium 72,6	$^{75}_{33}$As arsenic 74,9	$^{80}_{34}$Se sélénium 79,0	$^{79}_{35}$Br brome 79,9	$^{84}_{36}$Kr krypton 83,8
5 couche O	$^{85}_{37}$Rb rubidium 85,5	$^{88}_{38}$Sr strontium 87,6	$^{89}_{39}$Y yttrium 88,9	$^{90}_{40}$Zr zirconium 91,2	$^{93}_{41}$Nb niobium 92,9	$^{98}_{42}$Mo molybdène 95,9	$^{98}_{43}$Tc technétium 99,0	$^{102}_{44}$Ru ruthénium 101,1	$^{103}_{45}$Rh rhodium 102,9	$^{106}_{46}$Pd palladium 106,4	$^{107}_{47}$Ag argent 107,9	$^{114}_{48}$Cd cadmium 112,4	$^{115}_{49}$In indium 114,8	$^{120}_{50}$Sn étain 118,7	$^{121}_{51}$Sb antimoine 121,8	$^{128}_{52}$Te tellure 127,6	$^{127}_{53}$I iode 126,9	$^{129}_{54}$Xe xénon 131,3
6 couche P	$^{133}_{55}$Cs césium 132,9	$^{138}_{56}$Ba baryum 137,3	57 à 71 lanthanides	$^{180}_{72}$Hf hafnium 178,5	$^{181}_{73}$Ta tantale 180,9	$^{184}_{74}$W tungstène 183,9	$^{185}_{75}$Re rhénium 186,2	$^{192}_{76}$Os osmium 190,2	$^{193}_{77}$Ir iridium 192,2	$^{195}_{78}$Pt platine 195,1	$^{197}_{79}$Au or 197,0	$^{202}_{80}$Hg mercure 200,6	$^{205}_{81}$Tl thallium 204,4	$^{208}_{82}$Pb plomb 207,2	$^{209}_{83}$Bi bismuth 209,0	$^{210}_{84}$Po polonium 210	$^{218}_{85}$At astate 210	$^{222}_{86}$Rn radon 222
7 couche Q	$^{223}_{87}$Fr francium 223	$^{226}_{88}$Ra radium 226,1	89 à 103 actinides	104 Ku kurtchatovium 260	105 Ha hahnium 260													

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

Z : numéro atomique

$^{A}_{Z}X$

M

M : masse molaire atomique ($g.mol^{-1}$) du mélange isotopique naturel

Lanthanides	$^{139}_{57}$La lanthane 138,9	$^{140}_{58}$Ce cérium 140,1	$^{141}_{59}$Pr praséodyme 140,9	$^{144}_{60}$Nd néodyme 144,2	$^{143}_{61}$Pm prométhium 145	$^{152}_{62}$Sm samarium 150,4	$^{153}_{63}$Eu europium 152,0	$^{158}_{64}$Gd gadolinium 157,3	$^{159}_{65}$Tb terbium 158,9	$^{162}_{66}$Dy dysprosium 162,5	$^{165}_{67}$Ho holmium 164,9	$^{166}_{68}$Er erbium 167,3	$^{169}_{69}$Tm thulium 168,9	$^{174}_{70}$Yb ytterbium 173,0	$^{175}_{71}$Lu lutétium 175,0
Actinides	$^{227}_{89}$Ac actinium 227	$^{232}_{90}$Th thorium 232,0	$^{231}_{91}$Pa protactinium 231	$^{238}_{92}$U uranium 238,0	$^{237}_{93}$Np neptunium 237	$^{239}_{94}$Pu plutonium 242	95 Am américium 243	96 Cm curium 247	97 Bk berkélium 249	98 Cf californium 249	99 Es einsteinium 254	100 Fm fermium 255	101 Md mendélévium 256	102 No nobélium 253	103 Lw lawrencium 257

Base Nationale des sujets d'examens de l'enseignement professionnel

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.