

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

Environnement Nucléaire

E4 : Modélisation et choix techniques en environnement nucléaire

U4.1 : Pré-étude et modélisation

SESSION 2016

Durée : 4 heures
Coefficient : 3

Matériel autorisé :

- Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (circulaire n°99-186, 16/11/1999)
- Formulaire de physique nucléaire et radioprotection

Documents à rendre avec la copie :

Document réponse DR1 et DR2page 15/16
Document réponse DR3page 16/16

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet se compose de 16 pages, numérotées de 1/16 à 16/16.
Un formulaire de 6 pages est joint au sujet.

BTS Environnement nucléaire		Session 2016
U41 : pré-étude et modélisation	Code : ENE4MOD	Page 1 / 16

PRÉSENTATION

COFELY ENDEL est la filiale française de GDF-SUEZ spécialisée dans la maintenance industrielle et les services associés. Cette société a pour clients de grands groupes industriels dans des secteurs variés allant de la papeterie au secteur énergétique. Elle réalise notamment des travaux de démantèlement et de reconversion d'anciennes installations de centrales nucléaires d'EDF.

La vocation principale de l'installation étudiée était d'entreposer temporairement des effluents contaminés en provenance de divers CNPE puis de les envoyer vers un procédé de traitement et de purification.

Cette installation comporte une cuve en acier, d'épaisseur 2 cm, traitée contre la corrosion et placée dans une coque en béton armé de 600 mm d'épaisseur. Un réseau enterré de canalisations permet le transfert des fluides vers la cuve.

En fin d'exploitation, la cuve est vidée de ses effluents et rincée.

Le projet consiste à réaliser l'assainissement interne de la cuve en vue de son démantèlement complet dans l'objectif de pouvoir réutiliser ultérieurement la coque béton existante.

Cette opération ne débute que 2 ans après la fin d'exploitation de l'installation.

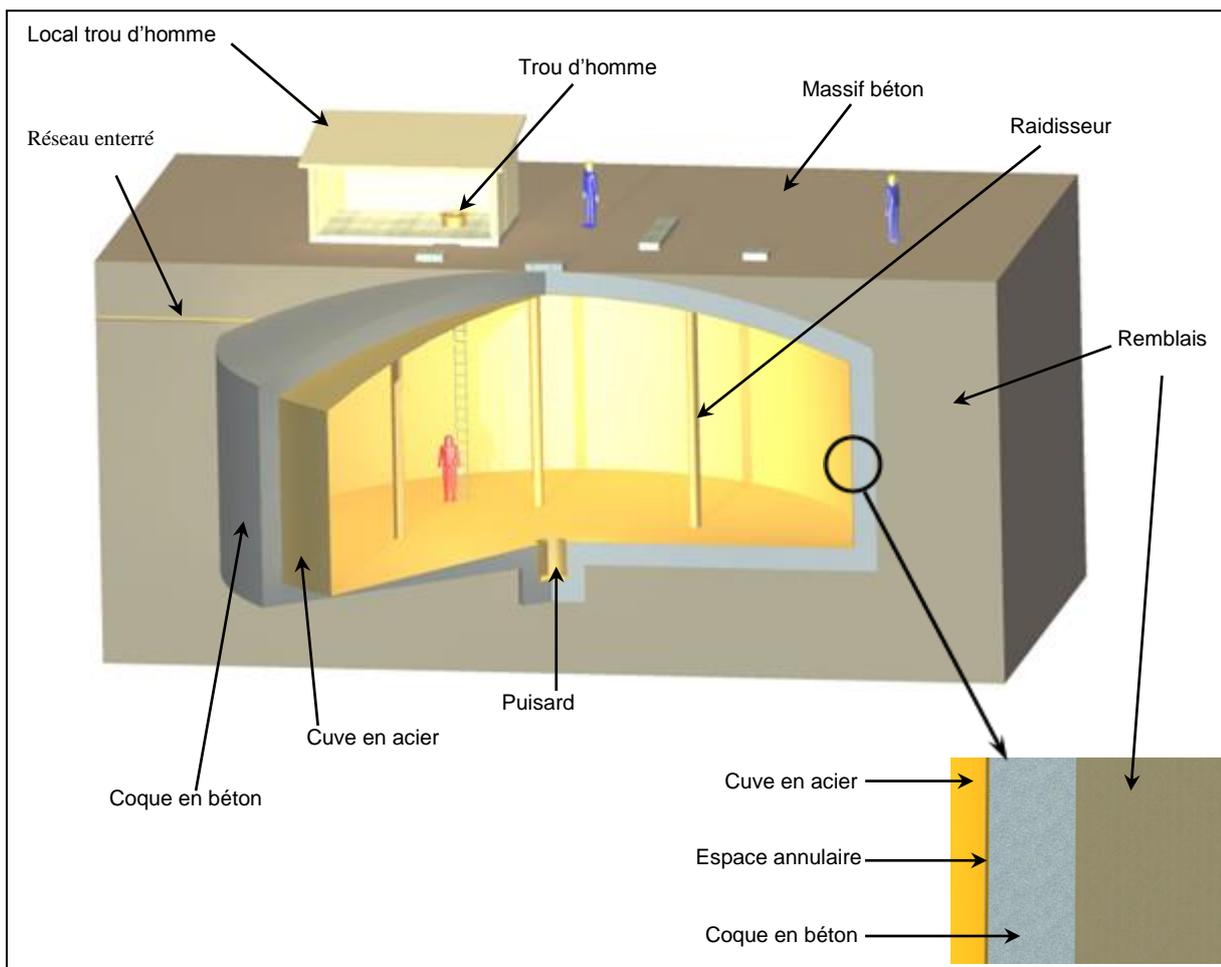


Figure 1 : Vue d'ensemble de la cuve avant travaux

BTS Environnement nucléaire		Session 2016
U41 : pré-étude et modélisation	Code : ENE4MOD	Page 2 / 16

Les effluents présents dans la cuve pendant son exploitation étaient très majoritairement contaminés de la façon suivante :

élément	Origine
^3H	formé dans l'eau du circuit primaire
^{51}Cr	issu de phénomènes d'activation du ^{50}Cr et d'érosion de la structure
^{137}Cs	PF présent dans l'eau du circuit primaire suite à des ruptures de gaines
^{60}Co	issu de phénomènes d'activation du ^{59}Co et d'érosion de la structure

Ces radioéléments sont décrits en annexe 1.

Bien qu'ayant été rincée en fin d'exploitation, une forte présence de contamination labile est avérée.

Un nettoyage s'impose afin que les déchets engendrés par le démantèlement de la cuve soient classés en déchets de très faible activité (TFA).

1. Nettoyeur haute pression et protection électrique

La fiche technique du nettoyeur haute pression utilisé pour nettoyer la cuve est donnée ci-dessous :

Puissance électrique : 14 kW
 Pression : 200 bars
 $\cos \varphi = 0,90$

Tension simple : $V = 230 \text{ V}$

Puissance hydraulique : $P_{\text{hyd}} = Q_V \cdot p$ avec P en W, Q_V en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et p en Pa

L'eau est supposée être un fluide incompressible et l'écoulement est permanent.

Rendement du nettoyeur haute pression : $\eta = 0,92$

Le réseau d'alimentation triphasé est symbolisé sur le **document réponse DR1 à rendre avec la copie**.

1.1 Représenter sur le DR1 la tension simple V du réseau.

1.2 Schématiser sur le DR1 l'appareil qui permet de mesurer la tension composée U du réseau. Préciser s'il est réglé en AC ou en DC. Calculer la valeur de U .

1.3 Un relais thermique protège le moteur du nettoyeur haute pression. Son réglage doit couvrir un dépassement de 20 % de la valeur de l'intensité du courant de ligne I en fonctionnement nominal du nettoyeur.

Déterminer la valeur du seuil de déclenchement qu'il faudra régler sur le relais thermique. La valeur attendue est une valeur entière.

1.4 Afin de réaliser le nettoyage de la cuve dans les meilleures conditions, il est nécessaire d'avoir un débit minimal $Q_V = 30 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ à la sortie de la pompe, dans la lance du nettoyeur. Déterminer la valeur du débit de l'eau à la sortie du nettoyeur haute pression et montrer qu'elle est conforme aux attentes.

BTS Environnement nucléaire		Session 2016
U41 : pré-étude et modélisation	Code : ENE4MOD	Page 3 / 16

2. Traitement et protection de la cuve

La solution utilisée dans le nettoyeur haute pression pour traiter la contamination surfacique de la cuve en acier (fer, carbone) est de l'acide chlorhydrique (H^+_{aq} , Cl^-_{aq}) de $\text{pH} = 1$.

Données :

- Masses molaires atomiques :
 $M(\text{H}) = 1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
 $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Dimensions de la cuve :
diamètre : $D = 15,8 \text{ m}$
hauteur : $h = 4,5 \text{ m}$
- Demi-équations électroniques :
$$\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^- \longrightarrow 4 \text{HO}^-$$
$$\text{Fe}^{2+} + 2 \text{e}^- \longrightarrow \text{Fe}$$
- Potentiels standards d'oxydoréduction :
 $E^\circ(\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}) = -0,44 \text{ V}$
 $E^\circ(\text{Zn}^{2+} / \text{Zn}) = -0,76 \text{ V}$
 $E^\circ(\text{O}_2 / \text{OH}^-) = 0,4 \text{ V}$
 $E^\circ(\text{Ni}^{2+} / \text{Ni}) = -0,25 \text{ V}$

2.1 La décontamination de la cuve nécessite un volume $V = 3 \text{ m}^3$ d'acide chlorhydrique de concentration $C = 0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Pour réaliser cette solution, on dispose d'un fût de volume $V_0 = 200 \text{ L}$ d'acide chlorhydrique S_0 de concentration $C_0 = 5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Ce volume V_0 de solution S_0 est-il suffisant pour réaliser, par dilution, la solution nécessaire à la décontamination ?

2.2 À partir de l'annexe 2, définir les équipements de protection individuels des manipulateurs réalisant cette solution.

2.3 Le démantèlement de cette cuve a été suivi par le retrait du réseau de canalisations souterraines permettant le transfert des fluides vers la cuve. Il est apparu de nombreux points de corrosion sur ces canalisations en acier. Le retour d'expérience amène à envisager un mode de protection par anode sacrificielle pour les prochaines conduites enterrées, afin de les protéger de la corrosion.

2.3.1 À Quel famille de réactions chimiques appartient la réaction du fer par le dioxygène de l'air ?

2.3.2 Placer les couples oxydant/réducteur donnés sur l'échelle de potentiels standards croissant donnée sur le **document réponse DR2 à rendre avec la copie**.

2.3.3 À l'aide de l'annexe 3, choisir, entre le zinc et le nickel, le métal pouvant faire office d'anode sacrificielle pour assurer la protection de la cuve contre la corrosion. Justifier ce choix.

BTS Environnement nucléaire		Session 2016
U41 : pré-étude et modélisation	Code : ENE4MOD	Page 4 / 16

3. Étude dosimétrique prévisionnelle du nettoyage

Le nettoyage haute pression sert aussi pour le sol de la cuve, assimilable à un cercle de diamètre $D = 15,8$ m, et le mur d'enceinte de la cuve sur toute sa hauteur $h = 4,5$ m. Le niveau atteint par les effluents ne justifie pas le nettoyage du dôme.

La progression du nettoyage est de $1\ 000\ \text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$.

3.1 Montrer que la surface totale à nettoyer est de $420\ \text{m}^2$.

3.2 Déterminer la durée, exprimée en heures, nécessaire au nettoyage.

Trois opérateurs constituent l'équipe intervenante et le travail est réparti en trois fonctions :

Fonction 1	Mission	Manipulation du nettoyeur haute pression
	Tenue	TEV
	$\overset{\circ}{H}$, corps entier	$8\ \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$
Fonction 2	Missions	- Surveillance de l'opérateur en TEV - Aide au déshabillage de la TEV
	Tenue	- De circulation pour surveillance visuelle - HV lors du déshabillage
	$\overset{\circ}{H}$, corps entier	$4\ \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$
Fonction 3	Missions	- Surveillance de l'opérateur en HV - Préparation des phases suivantes du chantier
	Tenue	De circulation
	$\overset{\circ}{H}$, corps entier	$1\ \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$

TEV = tenue étanche ventilée

HV = heaume ventilé

Planning journalier		Opérateur		
		A	B	C
Matin	1h 45 min	Fonction 1	Fonction 2	Fonction 3
	1h 45 min	Fonction 2	Fonction 1	
Après-midi	1h 45 min	Fonction 1	Fonction 2	Fonction 3
	1h 45 min	Fonction 2	Fonction 1	

Pour les questions 3.5 à 3.7, une synthèse des résultats sera portée sur le **document réponse DR3 à rendre avec la copie**. Les principes de calculs nécessaires à la justification des raisonnements figureront sur la copie.

3.3 Pour l'opérateur A, déterminer la dose efficace reçue en 1 journée de travail E_{A1j} , puis en déduire la dose efficace reçue pendant toute l'intervention $E_{A\ \text{inter}}$.

3.4 Pour l'opérateur C, déterminer la dose efficace reçue pendant toute l'intervention $E_{C\ \text{inter}}$.

3.5 En déduire la dose collective reçue pendant cette opération E_{inter} .

3.6 Commenter cette dosimétrie.

BTS Environnement nucléaire		Session 2016
U41 : pré-étude et modélisation	Code : ENE4MOD	Page 5 / 16

4. Contrôle après nettoyage

À l'issue du nettoyage haute pression de la cuve, une nouvelle cartographie est effectuée. Elle est réalisée à l'aide d'une sonde SG-2R (radiamètre, lecture en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$), puis d'une sonde SAB 100 (contamination surfacique, lecture en $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$).

De plus, des frottis sont réalisés et analysés dans un passeur d'échantillons PAB-3R.

Tous ces matériels sont décrits en annexe 4.

Le tritium est formé par réaction $(n, 2\alpha)$ à partir du bore ^{10}B (c'est-à-dire que ^{10}B , lorsqu'il est activé par 1 neutron, libère instantanément 2 particules α) et par réaction (n, α) à partir du lithium ^6Li .

La présence des deux radionucléides ^{10}B et ^6Li dans l'eau du circuit primaire permet de contrôler respectivement la réactivité et le pH.

4.1 Écrire les deux équations de formation du tritium dans l'eau du circuit primaire d'un REP.

4.2 À l'aide des annexes 1 et 4, expliquer pourquoi le tritium ^3H n'est pas détectable malgré les trois étapes de la cartographie.

4.3 À l'aide de l'annexe 1, justifier pourquoi, dans l'hypothèse où du ^{51}Cr était présent en fin d'exploitation de l'installation, même à hauteur de quelques GBq, son activité actuelle ne peut être que négligeable.

4.4 À l'aide des annexes 1 et 4, déterminer les radioéléments restant détectables lors de cette cartographie.

4.5 Comment peut-on mettre en évidence une contamination fixée ?

Les mesures mettent en évidence un point important de contamination fixée résiduel en surface qui constitue un point chaud, le reste de la surface étant radiologiquement conforme aux attendus.

Un défaut de l'acier à cet endroit a favorisé ce phénomène.

BTS Environnement nucléaire		Session 2016
U41 : pré-étude et modélisation	Code : ENE4MOD	Page 6 / 16

5. Découpe de la zone contaminée - analyse radiologique

Ce point chaud, considéré comme quasi ponctuel, sera éliminé par découpe à la disqureuse, d'une surface de cuve entourant largement ce point.

Le déchet ainsi constitué sera classé en déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC).

Une analyse de ce point chaud à l'aide d'un spectromètre gamma portable montre qu'il est constitué d'un cumul de 230 MBq de ^{137}Cs et de 290 MBq de ^{60}Co .

L'opérateur chargé de la découpe porte une TEV avec un tablier pare-feu devant et une paire de sur-gants épais en caoutchouc. (Les rôles des autres opérateurs ne sont pas ici étudiés).

Temps de découpe : 25 min

Distances :

- Point chaud – corps entier de l'opérateur : $d_{ce} = 60 \text{ cm}$
- Point chaud – mains de l'opérateur : $d_{ext} = 15 \text{ cm}$

L'étude prévisionnelle dosimétrique portera sur l'exposition corps entier ainsi que sur l'exposition extrémités de l'opérateur lors de la découpe du pont chaud.

Deux modes de calcul de la dose extrémités sont envisagés et le résultat le plus pénalisant sera retenu.

Pour les questions 5.1 à 5.3, une synthèse des résultats sera portée sur le **document réponse DR3 à rendre avec la copie**. Les principes de calculs nécessaires à la justification des raisonnements figureront sur la copie.

5.1 Déterminer le débit de dose absorbé à 1 m pour chacune des raies γ de ce point chaud. En déduire le débit de dose absorbé total.

5.2 Calculer le débit équivalent de dose total à 0,60 m, ainsi qu'à 0,15 m.
En déduire les doses efficace corps entier E_{ce} et équivalente extrémités H_{ext} .

5.3 L'autre mode de calcul envisagé pour l'évaluation de la dose extrémités fait appel à la notion de dose en surface, notée ds , pour des sources ponctuelles.

Déterminer les débits équivalents de dose dus aux rayonnements γ de chacun des radioéléments, à une distance de 30 cm.

Calculer le débit équivalent de dose total à 15 cm.

En déduire la dose équivalente extrémités H_{ext} .

5.4 Comparer les valeurs de H_{ext} trouvées en 5.2 et en 5.3. Quelle valeur doit-on retenir pour la dose équivalente extrémités ?

5.5 Calculer la portée des particules β les plus significatives (512 keV) dans le caoutchouc (densité = 1).

Quel est l'intérêt radiologique de la tenue portée ?

5.6 Bilan dosimétrique.

Analyser les doses efficace corps entier et équivalente extrémités prévues à l'issue de la découpe.

BTS Environnement nucléaire		Session 2016
U41 : pré-étude et modélisation	Code : ENE4MOD	Page 7 / 16

6. Découpe à la disqueuse - Protection contre le bruit.

Un opérateur réalise la découpe de la cuve avec une disqueuse. Cette opération dure 25 minutes.

Données :

Niveau sonore de la disqueuse à vide (1 kHz) à 0,5 m : $L_D = 98$ dB

Intensité acoustique de référence : $I_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

Distance source sonore-opérateur : 0,5 m

La source sonore est considérée comme ponctuelle et rayonnant uniformément dans tout l'espace. L'air est considéré comme un milieu linéaire, homogène et isotrope. On néglige toutes les réflexions des ondes sonores sur les parois de la cuve.

Les intensités acoustiques I_1 et I_2 mesurées respectivement aux distances d_1 et d_2 de la source vérifient la relation :

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2$$

Niveau d'intensité sonore : $L_{(\text{dB})} = 10 \cdot \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$

6.1 La disqueuse émet un son plus aigu quand la découpe commence. La fréquence du son émis par la scie en fonctionnement « à vide » est $f_0 = 1000$ Hz et lors de la découpe la fréquence du son émis est $f_1 = 2000$ Hz.

À l'aide de l'annexe 6, déterminer le niveau sonore pondéré L'_D en dB(A) émis à 2 kHz.

En déduire que l'intensité acoustique reçue par l'opérateur est $I'_D = 2,0 \times 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

6.2 Pendant ce temps, un autre opérateur découpe une tuyauterie à la scie sabre. Le niveau sonore L_S de cet outil vaut 110 dB à 1 m.

Déterminer l'intensité acoustique I_S à 1 m.

6.3 L'opérateur à la disqueuse est à 4 m de la scie sabre. Calculer l'intensité acoustique de la scie sabre I_S qu'il perçoit à cette distance.

6.4 Déterminer l'intensité acoustique totale I_T perçue par l'opérateur à la disqueuse.

Montrer que le niveau sonore total L_T auquel il est exposé est $L_T = 99$ dB.

6.5 L'incidence du second poste de découpe nécessite-t-elle de renforcer les protections auditives du premier intervenant ?

En utilisant l'annexe 5, déterminer si le port d'un casque de protection antibruit est inutile, conseillé ou obligatoire.

BTS Environnement nucléaire		Session 2016
U41 : pré-étude et modélisation	Code : ENE4MOD	Page 8 / 16

Annexe 1

Cobalt-60

Période 5,27 ans

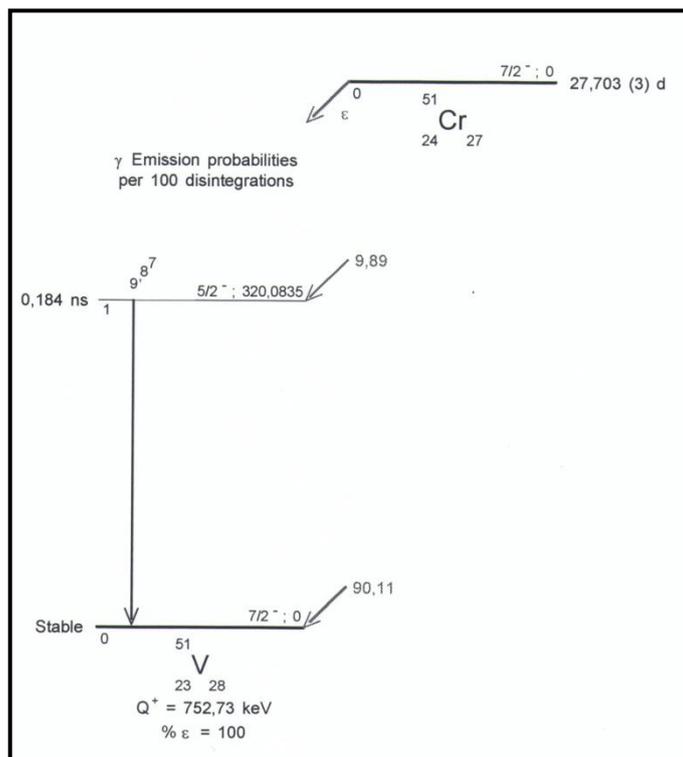
Principales émissions

	γ / X		β (E _{max})		Electrons		α	
	E (keV)	%	E (keV)	%	E (keV)	%	E (keV)	%
E1	1173	100	318	100				
E2	1333	100	1491	< 1				
E3								
% omis		< 1		0				

Exposition externe ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) pour 1 Bq

Source ponctuelle à 30 cm

ds	$1,3\cdot 10^{-5}$	β et e^-
ds	$4,1\cdot 10^{-6}$	γ et X
dp	$3,9\cdot 10^{-6}$	γ et X



Césium-137

Période 30,1 ans

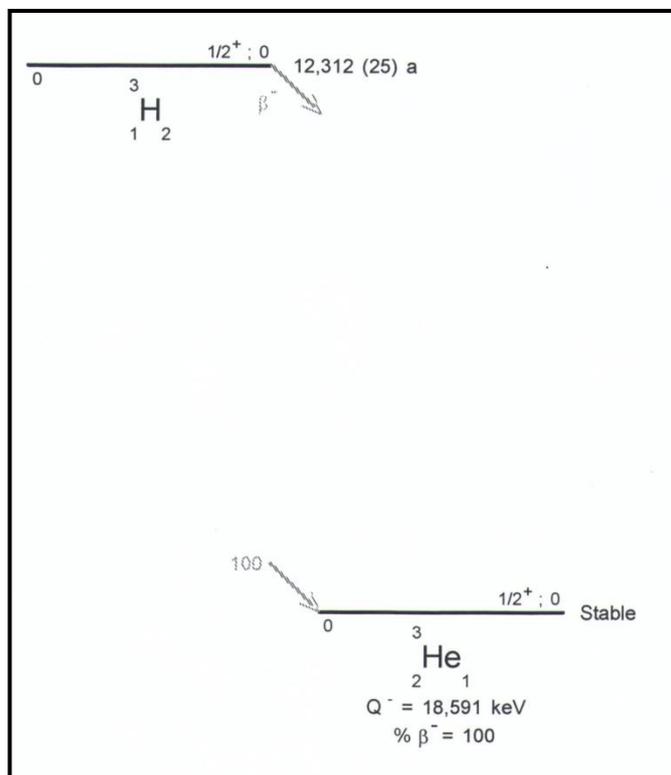
Principales émissions

	γ / X		β (E _{max})		Electrons		α	
	E (keV)	%	E (keV)	%	E (keV)	%	E (keV)	%
E1	662	85	512	95	624	8		
E2			1173	5	656	1		
E3					660	< 1		
% omis		< 1		0		< 1		

Exposition externe ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) pour 1 Bq

Source ponctuelle à 30 cm

ds	$1,0\cdot 10^{-4}$	β et e^-
ds	$1,1\cdot 10^{-6}$	γ et X
dp	$1,1\cdot 10^{-6}$	γ et X



Annexe 2

Chlorure d'hydrogène et solutions aqueuses

HCl

Numéro CAS
7647-01-0

Numéro CE
231-595-7

Numéros Index
017-002-00-2 Chlorure d'hydrogène [1]
017-002-01-X Acide chlorhydrique
(solutions aqueuses) [2]

CARACTÉRISTIQUES

UTILISATIONS [1 à 4]

Le chlorure d'hydrogène anhydre et ses solutions aqueuses sont utilisés dans diverses industries (pharmaceutique, phytopharmaceutique, alimentaire, chimique,



CHLORURE D'HYDROGÈNE

DANGER

H 331 – Toxique par inhalation.
H 314 – Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves.

Nota : Les conseils de prudence P sont sélectionnés selon les critères de l'annexe 1 du règlement CE n° 1272/2008.
231-595-7

Selon le règlement CE n° 1272/2008.



ACIDE CHLORHYDRIQUE...

DANGER

H 314 – Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves.
H 335 – Peut irriter les voies respiratoires.

Nota : Les conseils de prudence P sont sélectionnés selon les critères de l'annexe 1 du règlement CE n° 1272/2008.
231-595-7

Selon le règlement CE n° 1272/2008.



T - Toxique **C - Corrosif**

CHLORURE D'HYDROGÈNE

R 23 – Toxique par inhalation.
R 35 – Provoque de graves brûlures.
S 9 – Conserver le récipient dans un endroit bien ventilé.
S 26 – En cas de contact avec les yeux, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et consulter un spécialiste.
S 36/37 – Porter un vêtement de protection et des gants appropriés.
S 39 – Porter un appareil de protection des yeux/du visage.
S 45 – En cas d'accident ou de malaise, consulter immédiatement un médecin (si possible lui montrer l'étiquette).

231-595-7 Étiquetage CE.

Selon la directive 67/548/CEE.



C - Corrosif

ACIDE CHLORHYDRIQUE.

R 34 – Provoque des brûlures.
R 37 – Irritant pour les voies respiratoires.
S 26 – En cas de contact avec les yeux, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et consulter un spécialiste.
S 45 – En cas d'accident ou de malaise, consulter immédiatement un médecin (si possible lui montrer l'étiquette).

231-595-7 Étiquetage CE.

Selon la directive 67/548/CEE.

BTS Environnement nucléaire		Session 2016
U41 : pré-étude et modélisation	Code : ENE4MOD	Page 10 / 16

Annexe 3

Lors de l'oxydation du fer par le dioxygène de l'air, il y a formation de l'ion Fer II (Fe^{2+}) :



La rouille va se former à partir de l'ion Fer II (Fe^{2+}).

La protection par anode sacrificielle a pour but de protéger le fer de la formation de la rouille en empêchant la formation de l'ion Fer II.

Pour y parvenir, il faut mettre au contact du fer un métal plus réducteur que lui. Ce métal va « se sacrifier » pour le fer en étant oxydé avant lui. Lorsque cette anode aura entièrement réagi, il faudra la remplacer pour que la protection du fer continue.

Exemples d'application :



Les canalisations métalliques enterrées sont dans un environnement favorisant l'oxydation. La protection par anode sacrificielle permet de les protéger de la corrosion.

Les armatures métalliques dans les piliers en béton baignant dans l'eau nécessitent une protection.



Anodes sacrificielles sur la coque d'un navire.

BTS Environnement nucléaire		Session 2016
U41 : pré-étude et modélisation	Code : ENE4MOD	Page 11 / 16

Annexe 4

SAB-100 - Sonde Alpha/Bêta

GRANDEUR MESURÉE :

c/s, Bq, Bq/cm² avec Radiagem-2000.

EMETTEURS : Alpha et Bêta.

GAMME DE MESURE :

0 à 10 000 c/s.

TEMPS MORT : 50 µs

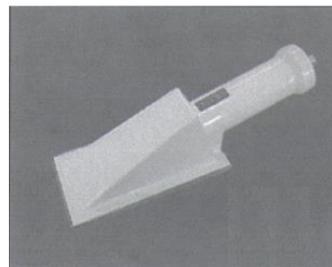
GAMME D'ÉNERGIE

Bêta > 150 keV - Alpha > 3 MeV.

BRUIT DE FOND :

Ambiance ≤ 100 nSv/h ; alpha < 0,05 c/s ; Bêta : < 6.0 c/s

Pas d'influence de lumière solaire jusqu'à 80 000 lux.



SG-2R - Sonde gamma

GRANDEUR MESURÉE :

c/s, Sv_{eq}, Sv_{eq}/h.

EMETTEURS : Gamma et X.

DÉTECTEUR :

Scintillateur NaI(Tl) de 2" x 2".

GAMME D'ÉNERGIE :

40 keV à 1,5 MeV

GAMME DE MESURE :

0 à 50 µSv/h, 0 à 90 kc/s.

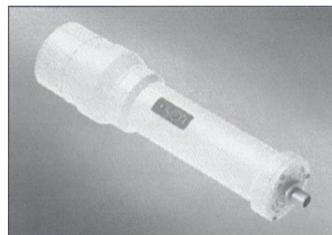
SENSIBILITÉ GAMMA POUR LE ¹³⁷Cs :

1450 c/s par µGy/h.

TEMPS MORT : 50 µs

BRUIT DE FOND :

Dans une ambiance ≤100 nSv/h : ≤ 120 c/s.



Detector:

- Double sealed Ar-CO₂ detector, window 163 x 163 mm, sensitive to α and β radiation, protected by lead shielding
- Efficiency (indicative values with Ø44mm source) :
 - ✓ α (Am 241) : 6%
 - ✓ β (Co 60) : 14%
- Energy range:
 - ✓ α > 3 MeV
 - ✓ β > 40 keV

PAB-3R



Spectromètre gamma portable

BTS Environnement nucléaire		Session 2016
U41 : pré-étude et modélisation	Code : ENE4MOD	Page 12 / 16

Annexe 5

Exposition du travailleur.

Dans un lieu de travail, les sources de bruit sont multiples et réparties en des endroits divers. Le bruit reçu en totalité, appelé bruit ambiant, est la somme des bruits provenant de toutes les sources et des réflexions sur les parois.

Le niveau de bruit auquel les travailleurs sont soumis peut varier au cours de la journée. Il est donc indispensable de prendre en compte la durée d'exposition aux différents niveaux de bruit. La « dose » sonore acceptable est une combinaison du niveau et de la durée d'exposition.

L'échelle sonore en décibels.

0 dB = bruit le plus faible que l'oreille humaine peut percevoir

50 dB = niveau habituel de conversation

80 dB = seuil de nocivité (exposition de 8h)

120 dB = seuil de douleur

Durée d'exposition quotidienne du bruit nécessitant une action

Niveau sonore dB	Durée d'exposition maximale
80	8 h
83	4 h
86	2 h
89	1 h
92	30 min
95	15 min
98	7,5 min

Être exposé 8 h à 80 dB est théoriquement aussi dangereux que d'être exposé 1 h à 89 dB.

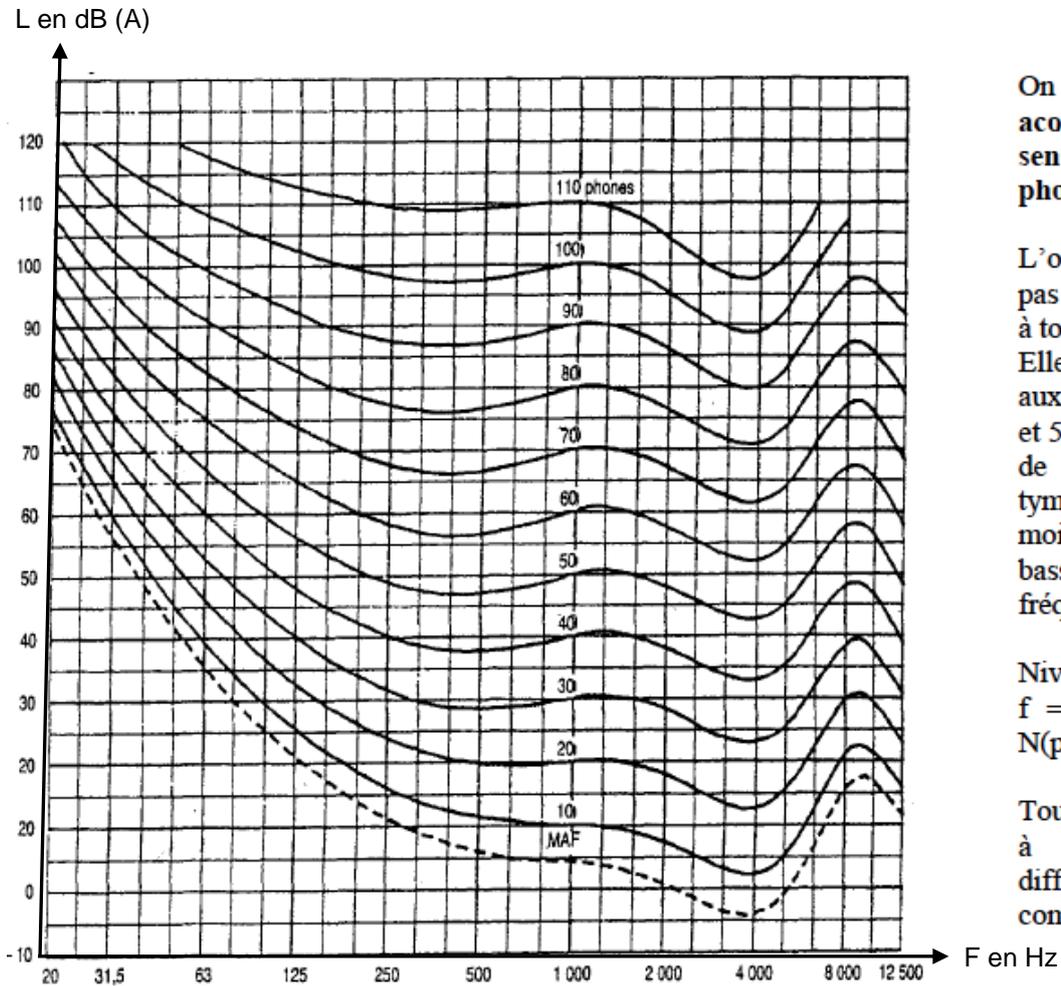
Règlementation :

L'employeur doit mettre à disposition des casques, dès que le niveau d'intensité acoustique dépasse 85 dB. Le port du casque devient obligatoire s'il dépasse 90 dB.

Document INRS

BTS Environnement nucléaire		Session 2016
U41 : pré-étude et modélisation	Code : ENE4MOD	Page 13 / 16

Annexe 6



On exprime le Niveau acoustique de sensation sonore en phones ou dB(A).

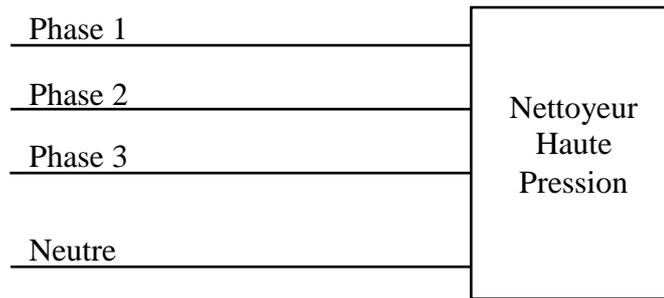
L'oreille humaine n'a pas la même sensibilité à toutes les fréquences. Elle est plus sensible aux sons entre 2000 Hz et 5000 Hz (phénomène de résonance avec le tympan) et beaucoup moins sensible aux basses et aux hautes fréquences.

Niveau de référence : à $f = 1000 \text{ Hz}$ alors $N(\text{phones}) = L(\text{dB})$.

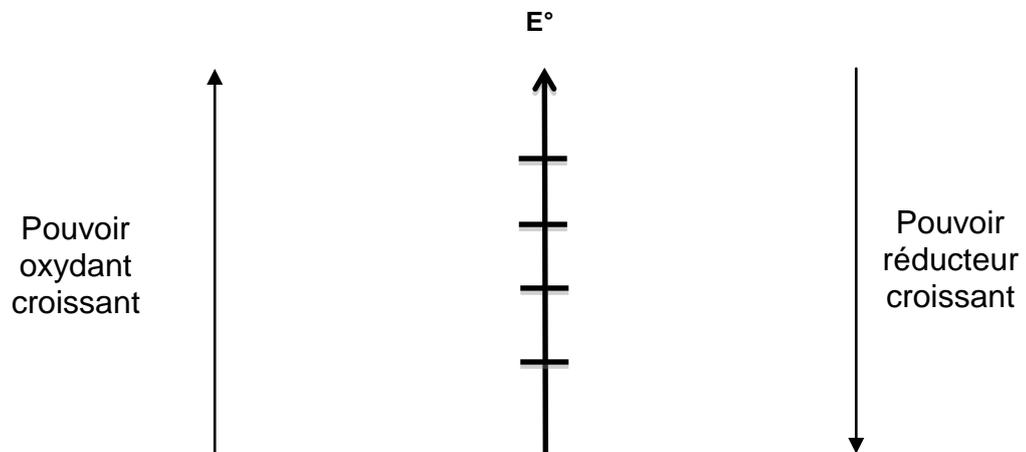
Tous les autres niveaux à des fréquences différentes sont comparés à ce niveau

BTS Environnement nucléaire		Session 2016
U41 : pré-étude et modélisation	Code : ENE4MOD	Page 14 / 16

Document réponse DR1

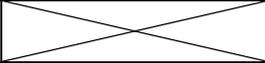


Document réponse DR2



BTS Environnement nucléaire		Session 2016
U41 : pré-étude et modélisation	Code : ENE4MOD	Page 15 / 16

Document réponse DR3

Questions 3.5 à 3.7	Opérateur A		
	t en h	$\overset{\circ}{H}$ en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$	E_{A1j} en μSv
Matin			
Après-midi			
Total			
$E_{A\text{ inter}}$ en μSv	$E_{B\text{ inter}}$ en μSv	$E_{C\text{ inter}}$ en μSv	E_{inter} en $\text{H}\cdot\mu\text{Sv}$

Questions 5.1 et 5.2	^{60}Co	^{137}Cs
A en MBq		
E en keV		
I en %		
$\overset{\circ}{D}$ en $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ à 1 m		
$\overset{\circ}{D}_{\text{ce}}$ en $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ à 60 cm		
$\overset{\circ}{D}_{\text{ext}}$ en $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ à 15 cm		
H_{ext} en mSv		

Question 5.3	^{60}Co	^{137}Cs
A en Bq		
ds à 30 cm en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Bq}^{-1}$		
$\overset{\circ}{H}$ en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ à 30 cm		
$\overset{\circ}{H}_{\text{ext}}$ en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ à 15 cm		
H_{ext} en mSv		