

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR
Environnement Nucléaire

**E4 : MODELISATION ET CHOIX TECHNIQUES EN
ENVIRONNEMENT NUCLEAIRE**

U4.1 : Pré-étude et modélisation

SESSION 2017

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 (Cirulaire n°99-186, 16/11/1999).

Documents à rendre avec la copie :

- Document réponse page 15/15

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Le sujet se compose de 15 pages, numérotées de 1/15 à 15/15.

Un formulaire de 6 pages est joint au sujet.

BTS ENVIRONNEMENT NUCLEAIRE		Session 2017
U 4.1 Pré-étude et modélisation	ENE4MOD	Page : 1/15

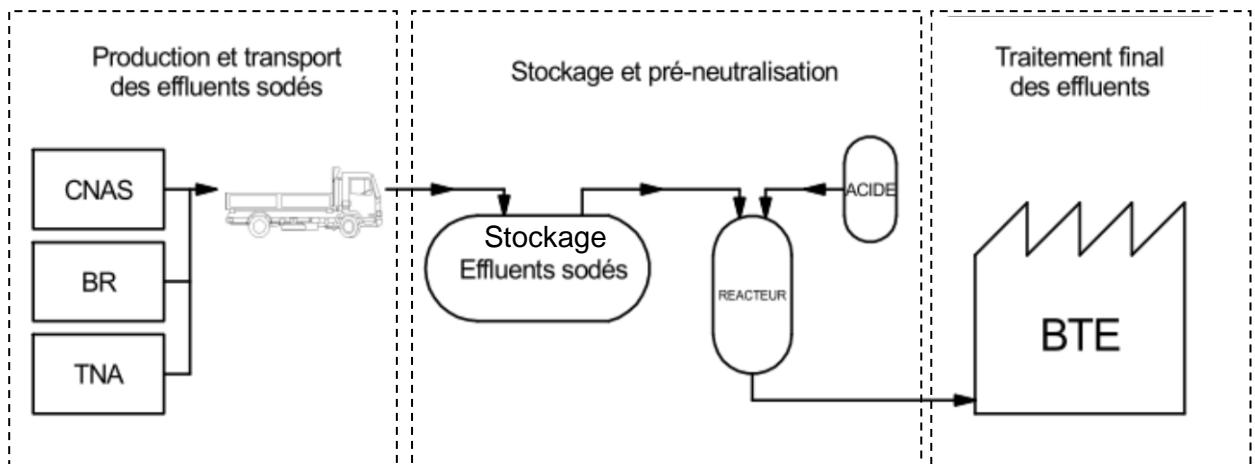
Installation de neutralisation d'effluents sodés

L'arrêt de l'installation nucléaire de base (INB) considérée a été prononcé en 1996. Cette installation comprend un réacteur à neutrons rapides (RNR) fonctionnant avec deux circuits primaire (fluide caloporteur) et secondaire au sodium.

Le démantèlement de cette installation pose le problème de l'évacuation et du traitement des effluents sodés.

Ces effluents proviennent de différents chantiers :

- installation de brûlage de sodium secondaire et lavage de matériels sodés provenant des circuits de sodium secondaire (CNAS),
- installation TNA (Traitement du sodium - Na),
- puits de lavage et installation de brûlage du sodium primaire dans le BR.



Les effluents pourront être contaminés par la présence de tritium (cas du sodium secondaire) ou par d'autres radioéléments (cas du sodium primaire).

Dans un premier temps, on dissout sur place le sodium pour former des effluents de concentrations comprises entre $0,4 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ et $440 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Le transport des effluents sodés vers une bûche de stockage se fait par camion.

Le traitement se fait dans le réacteur de pré-neutralisation.

Les effluents traités sont ensuite évacués vers le BTE (bâtiment de traitement des effluents).

Seule la partie stockage et pré-neutralisation fera l'objet de cette étude.

La durée de vie prévue pour cette installation de démantèlement est de 25 ans.

BTS ENVIRONNEMENT NUCLEAIRE		Session 2017
U 4.1 Pré-étude et modélisation	ENE4MOD	Page : 2/15

A. Stockage dans la bâche

Les effluents sodés sont transportés par camion vers une bâche de stockage de capacité égale à 30 m³.

Deux contraintes sont à prendre en compte :

- la température de l'effluent livré par camion-citerne ne doit pas dépasser 40 °C (valeur maximale autorisée pour le transport d'effluents sodés),
- en aucun cas la température de la bâche de stockage ne doit dépasser 50 °C.

Les effluents sodés qui sont à mélanger dans la bâche, sont assimilés à des solutions aqueuses de soude caustique.

La dilution de la soude caustique est exothermique.

L'élévation de température observée dépend :

- des températures initiales des deux solutions à mélanger,
- des concentrations initiales des solutions à mélanger. Tout autre paramètre restant identique par ailleurs, plus les concentrations des composants du mélange sont différentes, plus les phénomènes thermiques sont importants,
- des volumes des deux solutions à mélanger.

On cherche à évaluer l'impact thermique des mélanges d'effluents stockés dans la bâche.

On considère le cas où arrivent successivement deux camions transportant des effluents de même température pour les stocker dans la bâche initialement vide.

	Effluent 1	Effluent 2
Masse de l'effluent sodé m	25 t	
Volume de l'effluent sodé V		10 m ³
Masse volumique ρ		1 000 kg·m ⁻³
Concentration c		0,4 g·L ⁻¹ soit 0,4 g·kg ⁻¹ soit 0,4×10 ⁻³ kg·kg ⁻¹
Température θ	40 °C	40 °C
Enthalpie massique h	160,6 kJ·kg ⁻¹	168,9 kJ·kg ⁻¹

Les concentrations c sont données en g ou kg de soude par L ou kg de solution.

Les grandeurs relatives à l'effluent 1 (ou 2) seront affectées de l'indice 1 (ou 2) : m_1 , c_2 , etc ...

Des tables d'enthalpies massiques h , de masses volumiques ρ , de capacités calorifiques à pression constante C_p sont données en **annexes 1 à 3** pour des solutions aqueuses de soude caustique.

BTS ENVIRONNEMENT NUCLEAIRE		Session 2017
U 4.1 Pré-étude et modélisation	ENE4MOD	Page : 3/15

I. Volume des effluents stockés

1. Déterminer en utilisant la table des enthalpies massiques, la concentration c_1 de l'effluent 1 exprimée en $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Exprimer cette concentration en $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$.
2. En utilisant l'abaque des masses volumiques, déterminer la valeur de la masse volumique ρ_1 de l'effluent 1.
En déduire le volume V_1 occupé par l'effluent 1.
3. Les volumes mis en jeu sont-ils compatibles avec le volume de la bache de stockage ?

II. Élévation de température lors du mélange

Au moment du mélange, on constate une élévation de la température.

1. Calculer les enthalpies initiales H_1 et H_2 des deux effluents. Les exprimer en MJ.
Montrer que l'enthalpie initiale totale H_i est de l'ordre de 5 700 MJ.
 2. Montrer que la concentration massique finale c de l'effluent formé par le mélange des effluents 1 et 2 avoisine $0,21 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$.
- À partir de la table des capacités calorifiques massiques à pression constante, justifier que $C_p \approx 3,66 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$.
3. Sachant que l'enthalpie massique de l'effluent final est $h = 138,7 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, calculer son enthalpie finale H_F exprimée en MJ.
 4. Sachant que l'énergie dégagée sous forme de chaleur peut s'écrire sous la forme $Q = \Delta H = m \cdot C_p \cdot \Delta\theta$, calculer l'élévation de température provoquée par ce mélange.
- Cette élévation de température est-elle compatible avec les contraintes fixées par l'exploitant ?

BTS ENVIRONNEMENT NUCLEAIRE		Session 2017
U 4.1 Pré-étude et modélisation	ENE4MOD	Page : 4/15

B. Réacteur de pré-neutralisation

Le pH des effluents stockés dans la bache est trop élevé ($\text{pH} > 11$) pour qu'ils soient directement traités dans le BTE.

Ils sont dirigés de façon intermédiaire dans le réacteur de pré-neutralisation afin que le pH soit abaissé à une valeur comprise entre 8 et 9 par adjonction d'acide sulfurique.

Masse volumique de l'acide sulfurique : $\rho = 1,8 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

Capacité de la cuve du réacteur : $V_{\text{cuve}} = 2\,000 \text{ L}$.

Le volume d'eau utilisé pour le rinçage de la tuyauterie de transfert peut atteindre $V_{\text{rinçage}} = 80 \text{ L}$. Il est déversé dans la cuve du réacteur en fin de cycle.

I. Incidence thermique – Energie produite sous forme thermique

La réaction de neutralisation entre la soude ($\text{Na}^+_{(\text{aq})}, \text{OH}^-_{(\text{aq})}$) contenue dans l'effluent sodé et l'acide sulfurique est exothermique ; elle libère 57,4 kJ par mole de soude neutralisée.

On souhaite déterminer l'énergie Q dégagée lors de la réaction de neutralisation du volume $V_{S2} = 1\,800 \text{ L}$ d'effluent sodé à la concentration $c_{S2} = 44 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

1. Calculer la quantité de matière n (en moles) de soude contenue dans le volume V_{S2} .
2. Calculer l'énergie Q dégagée lors de la réaction de neutralisation.

II. Dimensionnement du groupe-froid

L'énergie produite sous forme thermique lors de la réaction de pré-neutralisation de 1 800 L d'effluent sodé à la concentration de $44 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ est égale à 114 MJ.

Afin d'évacuer cette énergie et d'éviter une montée en température dans le réacteur, un groupe-froid est dimensionné.

La durée d'un cycle de neutralisation d'un effluent ne doit pas dépasser la durée d'une journée de travail soit 8 h.

Descriptif d'un cycle :

- phase de remplissage du réacteur : 30 min au maximum,
- phase de neutralisation,
- phase de vidange et de nettoyage du réacteur en fin de cycle : 1 h.

1. Évaluer la durée maximale Δt_{cycle} de la phase de neutralisation au cours d'un cycle complet sachant que l'on prévoit une marge de sécurité de 1,5 h.
2. Calculer l'énergie E , exprimée en kWh, à dissiper par heure.
3. Déterminer la puissance P que doit fournir le groupe-froid sachant qu'une marge de sécurité de 15 % est souhaitée.

BTS ENVIRONNEMENT NUCLEAIRE		Session 2017
U 4.1 Pré-étude et modélisation	ENE4MOD	Page : 5/15

C. Pompe de remplissage du réacteur

Le transfert des effluents vers le réacteur de pré-neutralisation se fait par pompage. Le pH élevé de l'effluent étant à l'origine d'une défaillance de la pompe ; le changement de la pompe s'impose.

Elle sera remplacée par une pompe triphasée de type péristaltique c'est-à-dire supprimant les contacts effluent-corps de pompe. Les caractéristiques de cette pompe sont données en **annexe 4**.

La pompe est raccordée à une ligne triphasée sur laquelle 1,8 kW sont encore disponibles.

1. Le volume $V = 1\ 800$ L d'effluent doit être pompé en une durée maximale $\Delta t_{\text{pompe}} = 30$ min. Par sécurité, on applique un coefficient de sécurité de $C_S = 2$ au temps de pompage.

Calculer le débit volumique $Q_{P\text{mini}}$ que doit avoir la pompe.

2. À l'aide du document donné en **annexe 4**, choisir une pompe et préciser ses caractéristiques :

- débit volumique Q_P ,
- puissance utile nominale P_{UN} ,
- pression différentielle P .

3. Calculer la puissance utile P_U nécessaire pour pomper le fluide.

On donne la relation $P_U = P \cdot Q_P$ avec $P =$ pression différentielle (en Pa)
 $Q_P =$ débit volumique (en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

4. À l'aide de la courbe donnée par le constructeur, évaluer le rendement η_P au point de fonctionnement. Calculer la puissance absorbée P_A .

Cette puissance est-elle compatible avec le dimensionnement de la ligne d'alimentation ?

BTS ENVIRONNEMENT NUCLEAIRE		Session 2017
U 4.1 Pré-étude et modélisation	ENE4MOD	Page : 6/15

D. Intervention en zone contrôlée verte

La pompe, dont le changement est justifié dans la partie C, est en ZC verte. Cette intervention représente 6 heures de travail à 3 personnes.

Une cartographie du lieu de travail donne un débit de dose équivalent $\dot{H} = 3 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. Une mesure de vérification avant intervention fait apparaître un point chaud imprévu à une distance $d = 2,5 \text{ m}$ du lieu d'action.

Après analyse et mesure par le service de protection radiologique (SPR), il s'avère qu'un bouchon solide de sodium primaire contenant du ^{60}Co s'est formé dans un coude de tuyauterie. L'activité actuelle de ce bouchon est estimée à $A = 42 \text{ MBq}$.

Lors de l'intervention, cette tuyauterie, vide d'effluent, est ouverte.

L'objectif est de réaliser l'étude prévisionnelle de dose pour cette intervention afin d'évaluer le risque radiologique.

Les données relatives à cette partie sont regroupées dans l'**annexe 5**.

I. Origine du ^{60}Co

L'origine du ^{60}Co présent dans ce bouchon ne peut pas être postérieure à l'arrêt de l'installation.

1. Justifier la formation du ^{60}Co et écrire l'équation traduisant l'activation du ^{59}Co .
2. Estimer l'activité initiale minimale A_0 conduisant à ce bouchon d'activité actuelle A .
3. Quelle masse de ^{60}Co est actuellement présente dans ce bouchon ?

II. Incidence du point chaud seul

1. Désintégration β

- a. Écrire l'équation de désintégration du cobalt 60.
- b. Décrire l'émission de type β associée à la désintégration (niveau d'énergie et intensité).
- c. Calculer la portée des β émis dans l'air. ($\rho_{\text{air}} = 1,29 \times 10^{-3} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$).
Y a-t-il lieu d'en tenir compte sur le lieu de l'intervention ?

2. Désexcitation γ

- a. Décrire les principales émissions de type γ (niveaux d'énergie et intensités).
- b. Calculer le débit de dose absorbée (exprimé en $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$) à 1 m du point chaud.
- c. En déduire le débit de dose équivalent à 1 m.
- d. En déduire le débit de dose équivalent au poste de travail (exprimé en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$).

BTS ENVIRONNEMENT NUCLEAIRE		Session 2017
U 4.1 Pré-étude et modélisation	ENE4MOD	Page : 7/15

III. Incidences cumulées

On tient désormais compte de la dosimétrie ambiante et de l'incidence du point chaud découvert.

1. Calculer la dose équivalente collective H_{col} pour l'intervention exprimée en H.μSv.
2. En déduire la dose équivalente individuelle H_{ind} .
3. Analyser cette dosimétrie sachant que le personnel intervenant est classé catégorie B en prenant pour hypothèse que le VTE (volume de travail exposé) est de 840 heures par an.

IV. Optimisation

Si nécessaire, des solutions peuvent être envisagées afin de réduire la dosimétrie collective de l'intervention.

1. Quel est le nom de la démarche conduisant à l'optimisation de la dosimétrie ?
2. Comparer les doses collectives et individuelles des deux différents scénarios envisagés ci-dessous. Compléter le **document réponse à rendre avec la copie**. Conclure.

Scénario 1 :

Avec écran de protection et 1 équipe d'intervention.

Scénario 2 :

Sans écran de protection et avec 2 équipes d'intervention.

Données :

- pose d'un écran $\frac{1}{2}$ autour du point chaud dont l'incidence seule est de $700 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. La pose se fait en 1 min à 1 personnel ;
- dépose d'un écran $\frac{1}{2}$ autour du point chaud dont l'incidence seule est de $700 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. La dépose se fait en 1 min à 1 personnel ;
- partage du travail de l'intervention entre 2 équipes de 3 personnels ;
- coefficient d'exposition d'après le REX (retour d'expérience) : 0,7.

BTS ENVIRONNEMENT NUCLEAIRE		Session 2017
U 4.1 Pré-étude et modélisation	ENE4MOD	Page : 8/15

Annexe 1 : LIQUID CAUSTIC SODA – ENTHALPY (Enthalpie massique)

Enthalpy of Aqueous Solutions of NaOH, kJ/kg <i>(Basis : Liquid Water and NaOH at Infinite Dilution at 20°C)</i>							
Concentration, kg NaOH/kg	Temperature, °C						
	0	10	20	30	40	50	60
0,00	0,0	41,8	84,6	126,8	168,9	211,1	254,6
0,02	1,2	41,9	82,3	123,0	163,8	204,6	245,6
0,04	1,4	41,1	79,7	119,2	158,8	198,5	237,5
0,06	1,0	39,7	76,9	115,5	154,1	192,9	230,4
0,08	0,0	37,9	74,2	111,9	149,9	187,9	224,3
0,10	-1,3	36,0	71,6	108,8	146,1	183,6	219,2
0,12	-2,7	34,0	69,3	106,1	143,0	180,1	215,2
0,14	-3,9	32,2	67,5	104,0	140,6	177,4	212,3
0,16	-4,9	30,8	66,3	102,6	139,1	175,7	210,7
0,18	-5,3	30,1	65,9	102,1	138,5	175,0	210,2
0,20	-5,1	30,2	66,4	102,5	138,9	175,4	211,0
0,22	-3,9	31,3	67,9	104,1	140,5	177,0	213,1
0,24	-1,5	33,6	70,7	106,9	143,3	179,9	216,6
0,26	2,2	37,4	74,8	111,1	147,6	184,2	221,5
0,28	7,4	42,8	80,5	116,7	153,3	190,0	227,8
0,30		50,0	87,8	124,0	160,6	197,3	235,6
0,32		59,3	96,9	133,0	169,5	206,2	244,9
0,34		70,8	107,9	143,9	180,3	216,9	255,8
0,36			121,1	156,9	193,0	229,4	268,4
0,38			136,6	171,9	207,7	243,7	282,6
0,40			154,4	189,2	224,4	260,1	298,5
0,42			174,8	208,9	243,5	278,5	316,1
0,44			197,9	231,1	264,8	299,0	335,6
0,46			223,9	256,0	288,6	321,8	356,9
0,48			252,9	283,6	314,9	346,9	380,0
0,50			285,1	314,1	343,9	374,5	405,1
0,52			320,5	347,7	375,6	404,5	432,2
0,54				384,4	410,2	437,1	461,3
0,56					447,8	472,4	492,5
0,58						510,4	525,7
0,60							561,1
0,62							598,7
0,64							638,5
0,66							
0,68							
0,70							
0,72							
0,74							
0,76							
0,78							

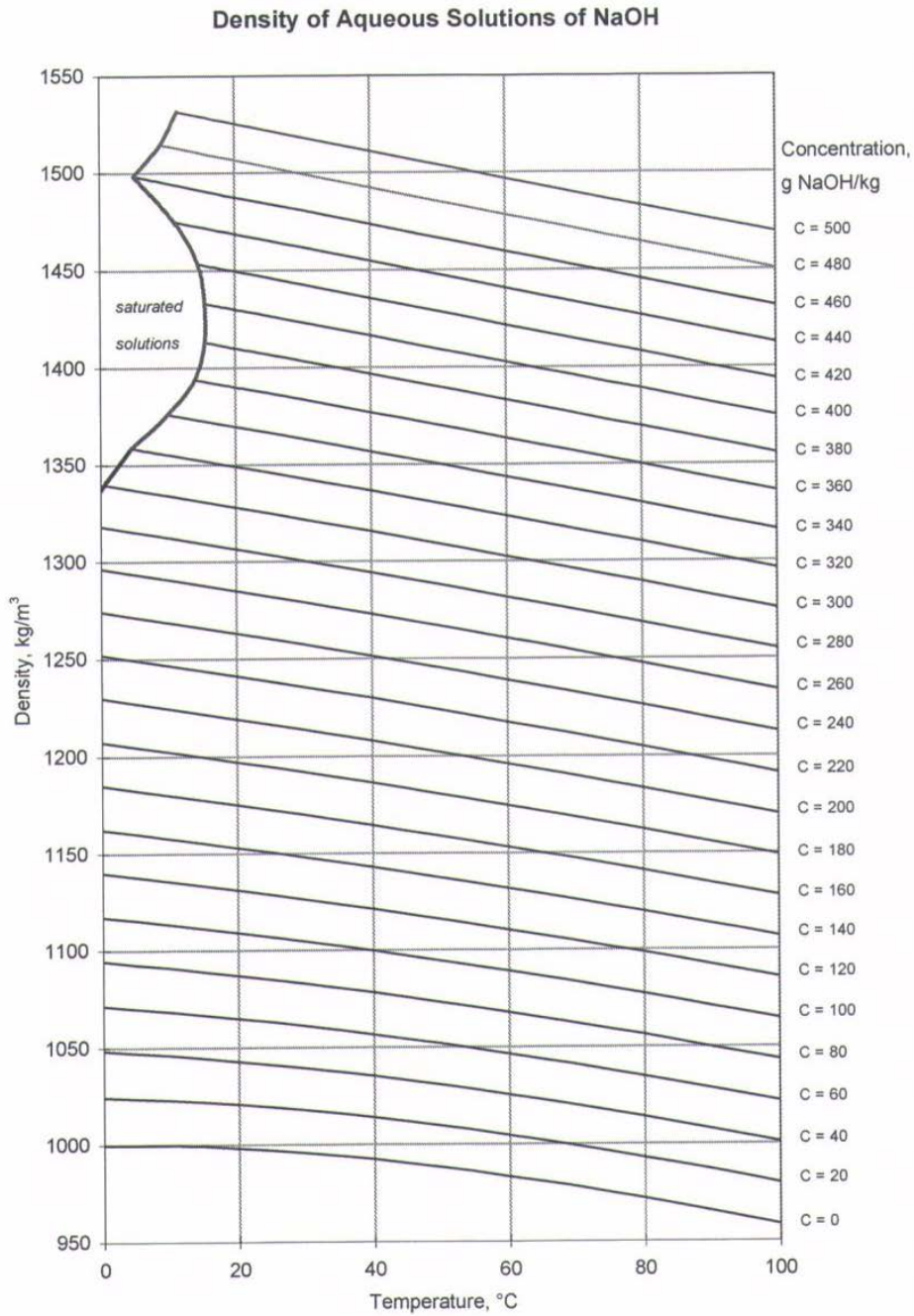
Solvay Chemicals International SA
Rue du Prince Albert 44
B - 1050 Brussels
Brussels, RPM 0406804736
+32 2 509 61 11
www.solvaychemicals.com
PCH-1110-0002-W-EN (WW)
Issue 1 - August 2004

Solvay Chemicals
International



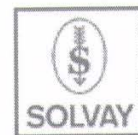
BTS ENVIRONNEMENT NUCLEAIRE		Session 2017
U 4.1 Pré-étude et modélisation	ENE4MOD	Page : 9/15

Annexe 2 : LIQUID CAUSTIC SODA – DENSITY (Masse volumique)



Solvay Chemicals International SA
Rue du Prince Albert 44
B - 1050 Brussels
Brussels, RPM 0406804736
+32 2 509 61 11
www.solvaychemicals.com

Solvay Chemicals
International



BTS ENVIRONNEMENT NUCLEAIRE	Session 2017	
U 4.1 Pré-étude et modélisation	ENE4MOD	Page : 10/15

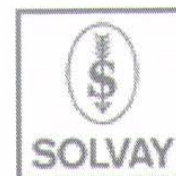
Annexe 3 : LIQUID CAUSTIC SODA – SPECIFIC HEAT

(Capacité calorifique à pression constante C_p)

Specific Heat of Aqueous Solutions of NaOH, kJ.kg⁻¹.°C⁻¹												
Temperature, °C	Concentration, kg NaOH/kg											
	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	
0	3,695	3,647	3,610	3,575	3,550	3,527	3,508	3,534	3,517	3,499	3,482	
10	3,738	3,692	3,656	3,624	3,598	3,574	3,554	3,572	3,556	3,539	3,522	
20	3,772	3,728	3,692	3,663	3,637	3,613	3,593	3,605	3,589	3,573	3,556	
30	3,798	3,756	3,721	3,693	3,667	3,645	3,624	3,605	3,589	3,573	3,556	
40	3,819	3,778	3,743	3,716	3,690	3,669	3,649	3,632	3,617	3,602	3,585	
50	3,834	3,794	3,759	3,732	3,707	3,687	3,669	3,654	3,639	3,624	3,608	
60	3,845	3,805	3,770	3,743	3,718	3,699	3,682	3,670	3,656	3,641	3,625	
70	3,852	3,813	3,777	3,750	3,725	3,708	3,691	3,680	3,666	3,651	3,635	
80	3,858	3,818	3,782	3,754	3,729	3,712	3,696	3,685	3,670	3,656	3,640	
90	3,863	3,822	3,784	3,756	3,731	3,713	3,696	3,685	3,670	3,656	3,640	
100	3,868	3,825	3,786	3,758	3,732	3,714	3,697	3,685	3,670	3,656	3,640	

Solvay Chemicals International SA
 Rue du Prince Albert 44
 B - 1050 Brussels
 Brussels, RPM 0406804736
 +32 2 509 61 11
www.solvaychemicals.com
 PCH-1110-0004-W-EN (WW)
 Issue 1 - August 2004

Solvay Chemicals International



BTS ENVIRONNEMENT NUCLEAIRE	Session 2017	
U 4.1 Pré-étude et modélisation	ENE4MOD	Page : 11/15

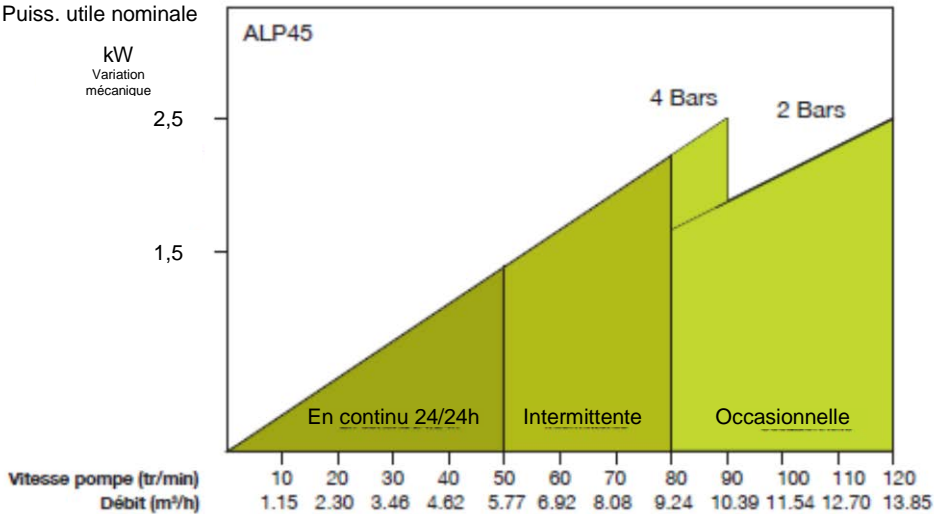
Annexe 4

ALP pompe péristaltique BASSE PRESSION

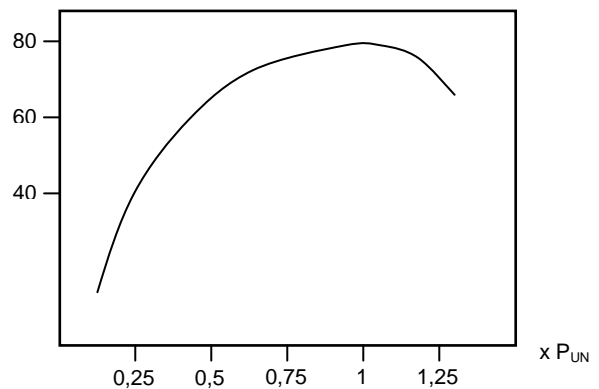


- Une étanchéité totale qui élimine la contamination
- Un auto-amorçage parfait
- Des arrêts de production réduits
- Une excellente résistance aux attaques chimiques

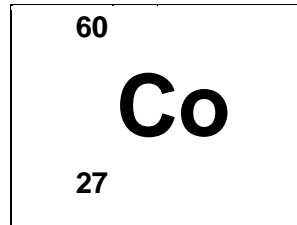
Puiss. utile nominale



Rendement %



Annexe 5 folio 1/2

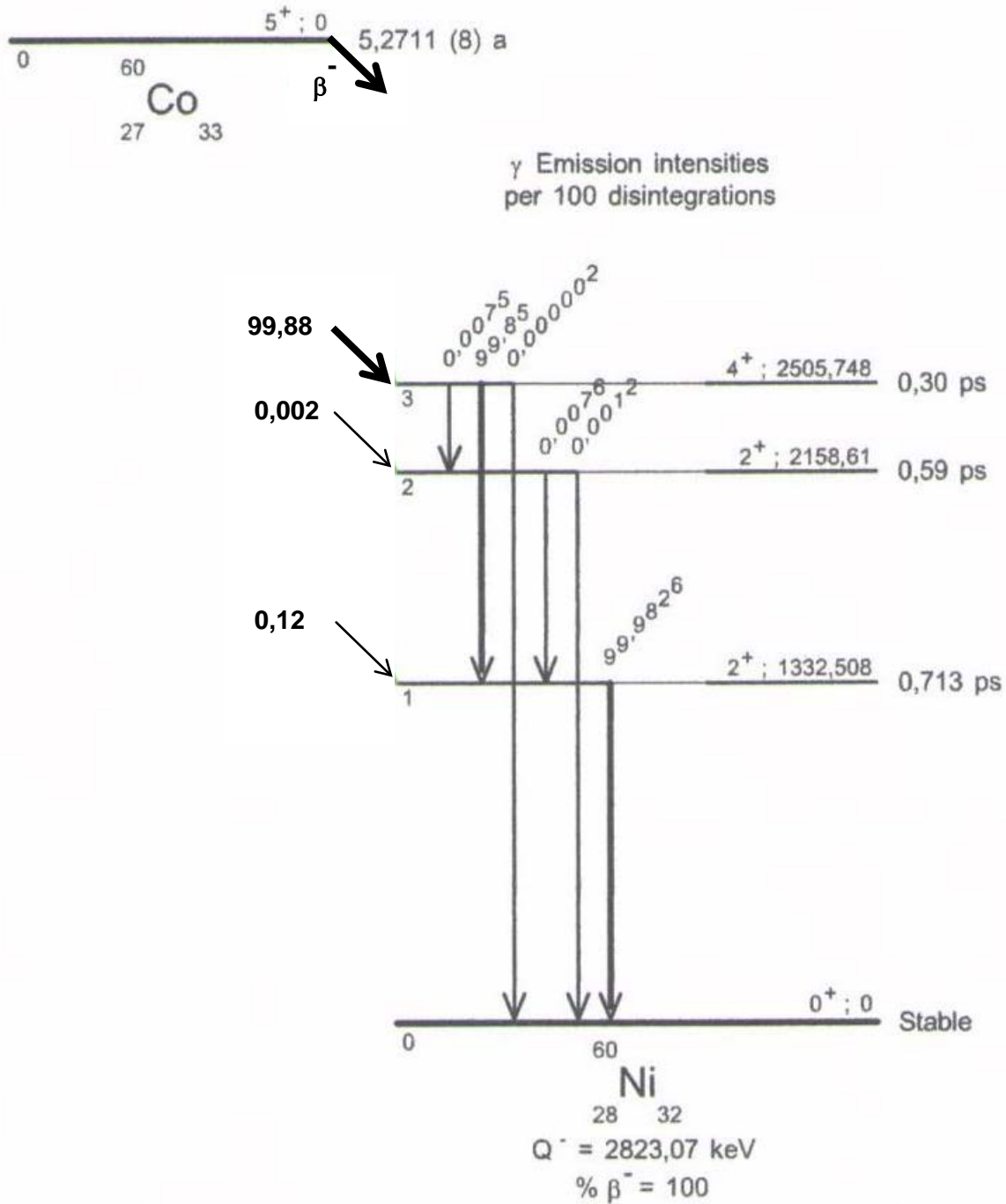


$T_{1/2}$: **5,2710 (8) a**

Cobalt

Descendant(s) : (β^-) Ni-60			
Bêta - (3 émissions) - $\Sigma(I_{\beta^-})$ omis : 0,12 %			
E max (keV)	E moy (keV)	Intensité (%)	
317,32	95,6	99,88	
Gamma - (6 émissions) - $\Sigma(I_{\gamma})$ omis : 0,016 %			
Energie (keV)	Intensité (%)	Type	Origine
1 173,23	99,85	γ	Ni-60
1 332,49	99,9826	γ	Ni-60
Mode de production		Impuretés possibles	
Co-59 (n, γ) Co-60		none	
Référence : INEEL - 2006			

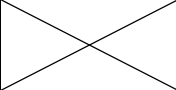
Suite Annexe 5 folio 2/2

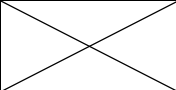


BTS ENVIRONNEMENT NUCLEAIRE		Session 2017
U 4.1 Pré-étude et modélisation	ENE4MOD	Page : 14/15

Document réponse à rendre avec la copie

Partie D – Question IV-2

Scénario 1						
Phase	$\overset{\circ}{H}$ en $\mu\text{Sv/h}$	Nb intervenants	t_{expo} en h	Coeff. d'exposition	Dose équivalente individuelle en μSv	Dose équivalente collective en $\text{H}.\mu\text{Sv}$
Pose d'écran						
Inter						
Dépose d'écran						
Dose équivalente individuelle maximale en μSv						
Dose équivalente collective en $\text{H}.\mu\text{Sv}$						

Scénario 2						
Phase	$\overset{\circ}{H}$ en $\mu\text{Sv/h}$	Nb intervenants	t_{expo} en h	Coeff. d'exposition	Dose équivalente individuelle en μSv	Dose équivalente collective en $\text{H}.\mu\text{Sv}$
Inter équipe 1						
Inter équipe 2						
Dose équivalente individuelle maximale en μSv						
Dose équivalente collective en $\text{H}.\mu\text{Sv}$						