

CORRIGE

Ces éléments de correction n'ont qu'une valeur indicative. Ils ne peuvent en aucun cas engager la responsabilité des autorités académiques, chaque jury est souverain.

**BACCALaurÉAT PROFESSIONNEL
INDUSTRIES DE PROCÉDÉS**

SESSION 2005

**ÉPREUVE E1 – A1
ÉTUDE D'UN PROCÉDÉ INDUSTRIEL**

CORRECTION

DURÉE : 3H

COEFFICIENT : 3

SOMMAIRE

Ce Dossier (hors page de garde) comporte 9 pages numérotées de 1/9 à 8/9

ANNEXES :

- ANNEXE 1 : FEUILLE 6/9 (CORRECTION)
- ANNEXE 2 : FEUILLE 7/9 (CORRECTION)
- ANNEXE 3 : FEUILLE 8/9 (CORRECTION)
- ANNEXE 4 : FEUILLE 8/9 (CORRECTION)

 QUESTIONS

1 ÉTUDE QUALITATIVE (19 POINTS)

1.1 ANALYSE DU PROCÉDÉ

Établir (en complétant l'annexe 1) le schéma de principe de fabrication en faisant apparaître :

- ✗ les différents opérations unitaires dans leur succession chronologique ainsi que le repère des appareils dans lesquels elles sont réalisées.
- ✗ les réactifs et les produits entrant et sortant du procédé.

Correction (11.5 points)

Voir annexe 1

1.2 COMPRÉHENSION DU PROCÉDÉ

- a. Lors de l'incinération, l'air est utilisé pour des raisons économiques. Il serait plus intéressant d'utiliser de l'oxygène pur, pourquoi ?

Correction (1 point)

Cela permettrait de diminuer la formation de d'oxydes d'azote.

- b. Indiquer, en l'expliquant, l'influence de la température et de la pression sur les équilibres des réactions (2) et (3).

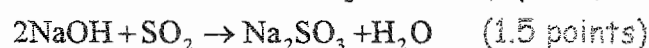
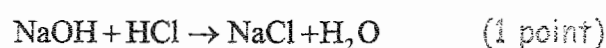
Correction (2 points)

La réaction (2) est endothermique ($\Delta H_r > 0$), elle est donc favorisée par une augmentation de température (0.5 point). Par contre la réaction (3) est exothermique ($\Delta H_r < 0$), elle est défavorisée par une augmentation de la température. (0.5 point)

La réaction (3) est favorisée par une augmentation de la pression, car le nombre de moles gazeuses des produits est inférieure au nombre de moles gazeuses des réactifs (0.5 point). Au contraire la réaction (2) est défavorisée par une augmentation de pression, pour les raisons opposées. (0.5 point)

- c. Donner les réactions qui se produisent dans l'étage « basique » entre la soude et HCl, et entre la soude et SO₂.

Correction (2.5 points)



- d. Pour quelle raison est-il nécessaire de travailler avec une température comprise entre 850 °C et 1000 °C, au niveau de l'incinérateur ?

Correction (2 points)

On a recours à des températures d'au moins 850°C, pour essayer d'empêcher la formation de gaz polluants. Le choix de cette température est un compromis.

Des températures élevées entraînent la formation d'oxydes d'azote, des températures basses de monoxydes de carbone et de dioxines.

2 ÉTUDE QUANTITATIVE (22 POINTS)

2.1 BILAN MATIÈRE : (15 POINTS)

- a. Établir (en faisant apparaître le détail de vos calculs et en complétant l'annexe 2) le bilan matière théorique simplifié de l'incinération des ordures ménagères. Nous allons travailler sur **une tonne par heure de déchets ménagers**.

Les résultats seront donnés à 10^{-3} près.

DONNÉES :

La réaction (1) est totale.

Le taux de conversion de la réaction (2) est de 90 %.

Le taux de conversion du soufre est de 100 %, la sélectivité du soufre en SO_2 est de 90.2 %. Pour les réactions (3) et (4).

		Masse molaire (g/mol)
Dioxyde de carbone	CO_2	44
Dioxyde de soufre	SO_2	64
Trioxys de soufre	SO_3	80
Acide chlorhydrique	HCl	36.5

Correction (voir annexe 2 pour le barème)

Sur la réaction (1) :

$$\bullet \quad n_c = \frac{m_c}{M_c} = \frac{24}{12} = 20 \text{ kmol/h}$$

	C	+	O ₂	→	CO ₂	
t = 0	20		25.5		0	t = 0
Converti	20		20		20	Fabriqué
t _{final}	0		5.5		20	t _{final}

$$\bullet \quad n_{\text{CO}_2} * M_{\text{CO}_2} = m_{\text{CO}_2} = 20 * 44 = 880 \text{ kg/h}$$

Sur la réaction (2) :

- $n_{Cl_2} = \frac{m_{Cl_2}}{M_{Cl_2}} = \frac{20.4}{71} = 0.287 \text{ kmol/h}$
- $n_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}} = \frac{281.4}{18} = 15.633 \text{ kmol/h}$
- $X_{(2)} = \frac{\text{Quantité de dichlore converti}}{\text{Quantité de dichlore introduit}} = 0.9$
- $0.9 * \text{Quantité de dichlore introduite} = \text{Quantité de dichlore convertie}$
- $0.9 * 0.287 = 0.259 \text{ kmol/h}$

	$2Cl_2$	+	$2H_2O$	\rightarrow	$4HCl$	+	O_2	
t = 0	0.287		15.633		0		5.5	t = 0
Converti	0.259		0.259		0.518		0.129	Fabriqué
t _{final}	0.028		15.374		0.518		5.629	t _{final}

Sur la réaction (3) et (4) :

- $n_S = \frac{m_S}{M_S} = \frac{0.9}{32} = 0.028 \text{ kmol/h}$
- $S_{(3)} = \frac{\text{Quantité de soufre converti en dioxyde de soufre}}{\text{Quantité de soufre converti}} = 0.902$
- Quantité de soufre converti = Quantité de soufre introduit car X = 100 %
- Quantité de soufre converti en dioxyde de soufre = 0.902 * Quantité de soufre converti
- Quantité de soufre converti en dioxyde de soufre = 0.902 * 0.028 = 0.025

	S	+	O_2	\rightarrow	SO_2	
t = 0	0.028		5.629		0	t = 0
Converti	0.025		0.025		0.025	Fabriqué
t _{final}	0.003		5.604		0.025	t _{final}

	$2S$	+	$3O_2$	\rightarrow	$2SO_2$	
t = 0	0.003		5.604		0	t = 0
Converti	0.003		0.004		0.003	Fabriqué
t _{final}	0		5.6		0.003	t _{final}

b. A partir de l'oxygène entrant et sortant, déterminez le taux d'excès en oxygène.

Correction (1.5 points)

$$\tau = \frac{\text{Quantité d'oxygène introduit}}{\text{Quantité minimale d'oxygène à introduire}} = \frac{5.5 + 20}{5.5 + 20 - 5.601} = \frac{25.5}{19.899} = 1.28$$

2.2 BILAN THERMIQUE : (7 POINTS)

Sachant que le pouvoir calorifique inférieur moyen (PCI_m) est de 9278 kJ/kg d'ordures ménagères incinérées. En prenant une tonne d'ordures ménagères incinérées :

- a. Déterminer la quantité d'énergie dégagée lors de la combustion d'une tonne d'ordures ménagères ?

Correction (2 points)

$$Q_d = 9278 * 1000 = 9278000 \text{ kJ/h} = 2577.2 \text{ kW}$$

- b. Cette quantité d'énergie est utilisée pour fabriquer de la vapeur haute pression (350 °C, 50 bars). La chaudière est alimentée en eau à 20 °C et 50 bars. Déterminer le débit horaire de vapeur produite, sachant que le rendement de la chaudière est de 90 %.

Correction (3 points)

L'énergie dégagée par la combustion est récupérée à 90 % par l'eau bouillante pour former de la vapeur 50 bars donc :

$$Q_{\text{récupérée}} = Q_d * 0.9 = 8350200 \text{ kJ/h} = m_{\text{vapeur produite}} * (h_{350^\circ\text{C}} - h_{20^\circ\text{C}})$$

$$m_{\text{vapeur produite}} = \frac{8350200}{(3067.7 - 88.52)} = 2802.8 \text{ kg/h}$$

- c. Comment qualifieriez-vous cette vapeur produite (sous refroidie, saturante, surchauffée) ? Justifiez votre réponse.

Correction (2 points)

Cette vapeur est surchauffée, car on peut voir que la vaporisation sous une pression de 50 bars a lieu entre 260 et 265 °C, saut enthalpique important dû à la chaleur latente de vaporisation.

3 RÉGULATION (7 POINTS)

Voir ANNEXE 3 pour la correction.

4 CONDUITE DE PROCÉDÉ (6 POINTS)

Compléter le tableau de conduite situé en ANNEXE 4, en indiquant le sens de variation des débits de production de dioxyde de soufre (SO_2) et de trioxyde de soufre (SO_3) dans les cas de figures proposés.

5 ENVIRONNEMENT (6 POINTS)

- a. Quelle est la norme de rejet des SO₂ ?

Correction (2 points)

Valeur limite de rejet pour le SO₂ (moyenne journalière) :

❖ En France (Arrêté du 25 janvier 1991) : 50 mg/Nm³

- b. L'entreprise d'incinération rejette 150 kg de SO₂ par jour. La quantité d'air rejeté avec le SO₂ est de 100 000 kmol/jour.
Les rejets sont-ils conformes à la norme ? Justifiez votre réponse.

Correction (2 points)

$$m_{\text{SO}_2} = 150 \text{ kg} = 150 \cdot 10^6 \text{ mg}$$

$$v_{\text{air}} = 100000 \cdot 10^3 \cdot 22.4 = 2240 \cdot 10^6 \text{ L} = 2240 \cdot 10^3 \text{ Nm}^3$$

$$\text{Rejet} = \frac{150 \cdot 10^6}{2240 \cdot 10^3} = 66.97 \text{ mg/Nm}^3$$

Donc les rejets sont supérieurs à la norme.

- c. S'ils ne sont pas conformes, proposez une solution de traitement du SO₂.

Correction (1 point)

Étant donné que le SO₂ est traité dans l'étage basique, par de la soude (NaOH), il est possible de jouer sur différents paramètres :

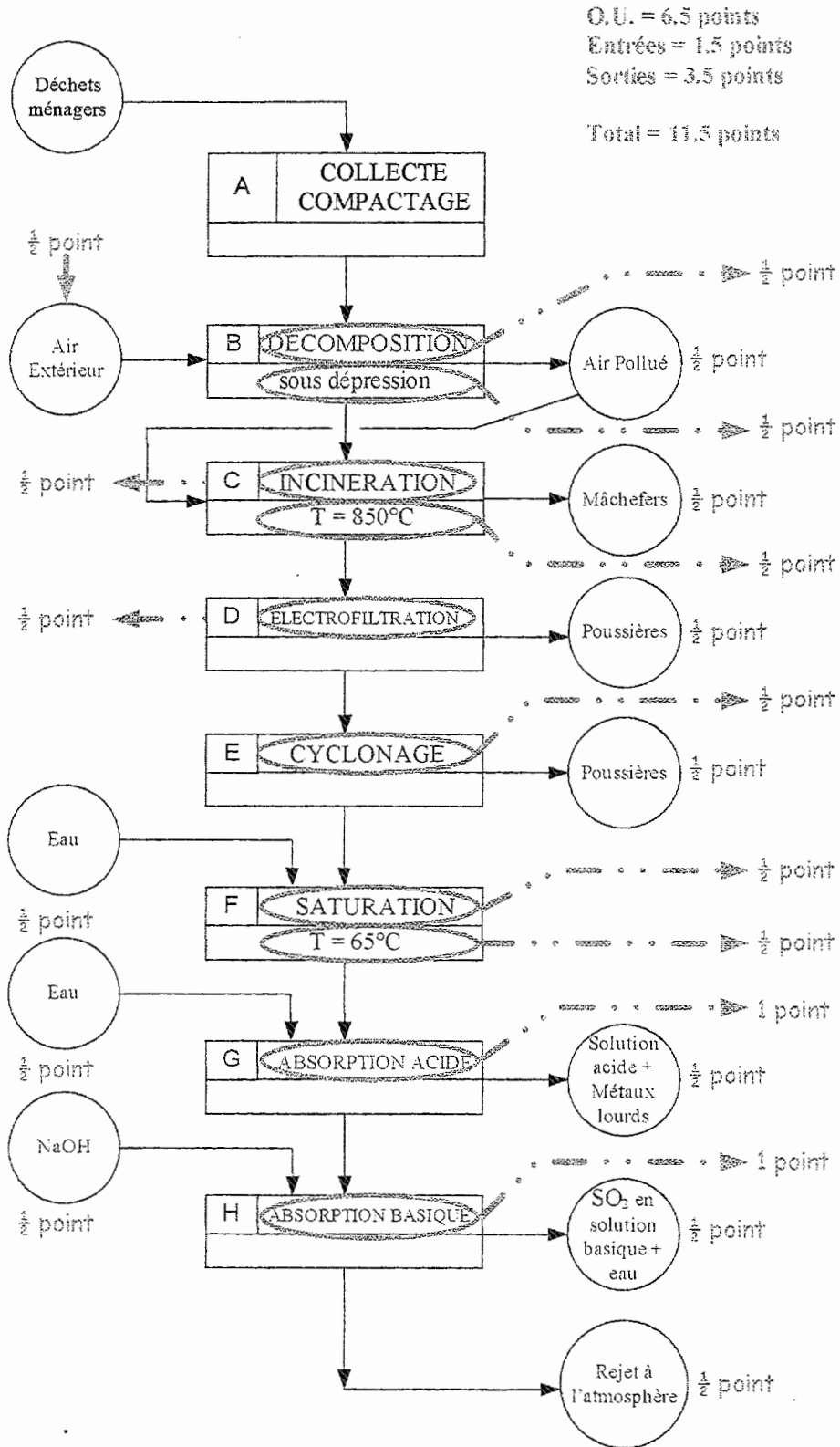
- Concentration de la soude, augmenter celle-ci,
- Augmenter le débit de soude.

- d. Quels sont les risques pour l'environnement des rejets en SO_x ?

Correction (1 point)

Les composés soufrés sont souvent associés au phénomène des pluies acides (dépérissement des forêts allemandes et acidification des lacs scandinaves) par transformation en acide sulfurique (H₂SO₄) et sulfureux (H₂SO₃).

ANNEXE 1



ANNEXE 2

0506-IP ST A

Session 2005

5 points ce qui veut dire 1 point pour 3 réponses correctes

	kg/h	kmol/h
Carbone	240	20
Di-hydrogène	30	15
Di-oxygène	176	5.5
Di-azote	6	0.214
Soufre	0.9	0.028
Di-chlore	20.4	0.287
Eau	281.4	15.633
Inertes	245.3	X
Total	1000	X

	kg/h	kmol/h
Di-oxygène	640	20
Di-azote	2240	80
Total	2880	100

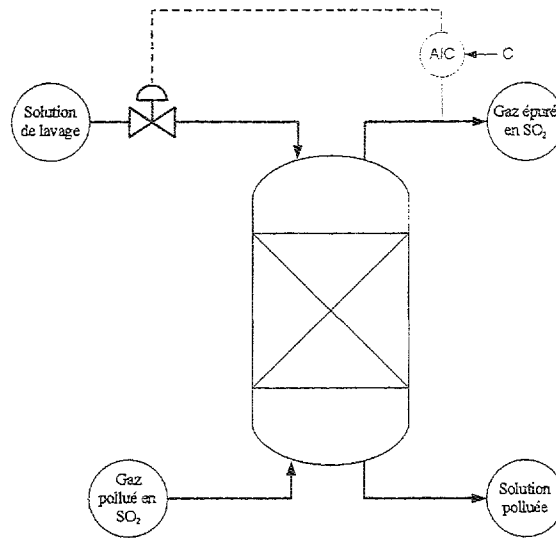
INCINÉRATION

	kg/h	kmol/h
Carbone	0	0
Dioxyde de carbone	880	20
Di-hydrogène	30	15
Di-oxygène	179.233	5.601
Di-azote	2246	80.214
Soufre	0	0
Dioxyde de soufre	1.6	0.025
Trioxyde de soufre	0.24	0.003
Di-chlore	1.988	0.028
Acide chlorhydrique	18.907	0.518
Eau	276.732	15.374
Inertes	245.3	X
Total	3880	X

- 0.5 point
- 1 point
- 0.5 point
- 0.5 point
- 1 point
- 1 point
- 1 point
- 0.5 point
- 1 point
- 0.5 point
- 1 point

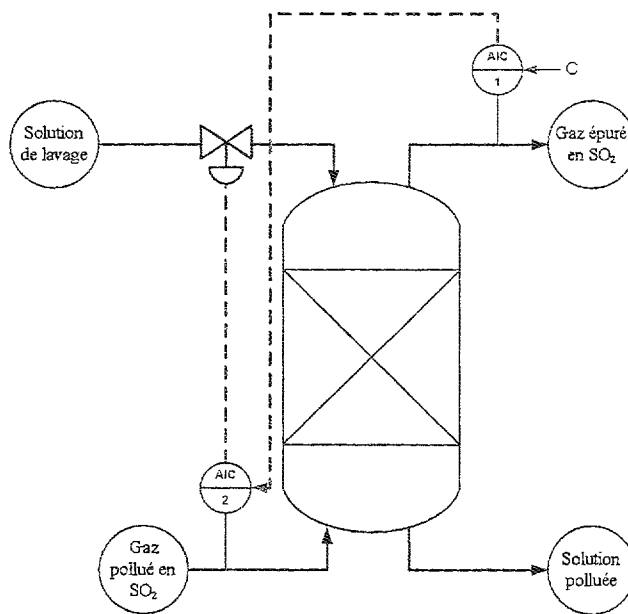
Total : 8.5 points

ANNEXE 3


















(2 points)

Grandeur réglée	Grandeur réglante	Mesure	Type de vanne	Sens d'action du régulateur (Directe / Inverse)
Teneur en SO ₂ dans courant de gaz sortant	Débit de solution de lavage	↗	OMA	Inverse
(0.5 point)	(0.5 point)	✕	✕	(1 point)



(3 points)

ANNEXE 4

Débit d'alimentation de l'incinérateur	Taux de conversion du soufre	Sélectivité du soufre en SO ₂	Production de dioxyde de soufre	Production de trioxyde de soufre
				
				
				

2 POINTS PAR LIGNE JUSTE