



SERVICES CULTURE ÉDITIONS
RESSOURCES POUR
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Montpellier pour la
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel**

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

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 2011

ÉPREUVE E1
ÉTUDE D'UN PROCÉDÉ INDUSTRIEL

SYNTHÈSE DE L'ACIDE NITRIQUE

CORRIGÉ

DOSSIER CORRIGÉ		Session 2011	
Baccalauréat Professionnel INDUSTRIES DE PROCÉDÉS			
Épreuve E1 : Étude d'un procédé industriel			
Code : 1106-IPSTA-COR	Durée : 3 heures	Coefficient : 3	Page : 1/13

SOMMAIRE ET BARÈME

1. Étude qualitative	15 points	page 3/13
2. Bilan matière	15 points	page 4/13
3. Bilan thermique	10 points	page 6/13
4. Conduite et régulation	15 points	page 7/13
5. Sécurité	5 points	page 11/13

ANNEXE 1 : SCHÉMA DE PRINCIPE page 12/13

ANNEXE 2 : TABLEAU D'APPAREILLAGE page 13/13

1. Étude qualitative (15 points)

1.1. Compléter le schéma de principe en annexe 1 (page 12/13). **5,5 pts**

1.2. Compléter le tableau d'appareillage en annexe 2 (page 13/13). **5 pts**

1.3. Indiquer les principales utilisations de l'ammoniac. **0,5 pt**

L'ammoniac est utilisé industriellement comme réactif de synthèse, pour des analyses de laboratoire, la cryogénie et comme fluide réfrigérant pour des groupes froid.

1.4. Citer les avantages et inconvénients du procédé bi pression. **0,5 pt**

Le procédé bi-pression permet de consommer moins de platine (catalyseur), le rendement est meilleur, mais il est plus complexe à mettre en œuvre.

1.5. Indiquer le réactif et le produit principal pour la réaction 1. **0,5 pt**

**Le réactif principal est NH₃.
Le produit principal est NO.**

1.6. Indiquer le rôle d'un catalyseur. **0,5 pt**

Il permet à la réaction de démarrer et surtout il augmente considérablement la vitesse de réaction.

1.7. Calculer l'enthalpie de réaction standard de la réaction 1. **1 pt**

$$\begin{aligned}\Delta H_{R1} &= 4 \Delta H_f^\circ(\text{NO}) + 6 \Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}) - 4 \Delta H_f^\circ(\text{NH}_3) \\ \Delta H_{R1} &= (4 \times 90,407) - (6 \times 241,913) + (4 \times 46,292) \\ \Delta H_{R1} &= - 904,682 \text{ kJ}\end{aligned}$$

1.8. Donner l'influence d'une augmentation de pression sur la réaction 3 et d'une diminution de température sur la réaction 2. **1 pt**

Réaction 2 : déplacement de l'équilibre dans le sens de la formation de NO, donc d'une augmentation du taux de conversion.

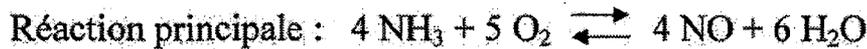
Réaction 3 : déplacement de l'équilibre dans le sens de la formation de NO, donc d'une augmentation du taux de conversion.

1.9. Préciser l'intérêt d'une réduction catalytique des gaz de queue. **0,5 pt**

Ceci permet de diminuer la teneur en NO et NO₂ (vapeurs nitreuses) dans les effluents gazeux rejetés à l'atmosphère.

2. Bilan matière (15 points)

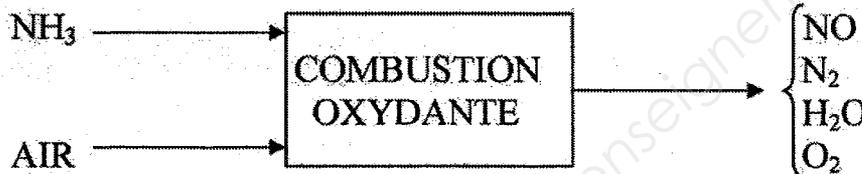
2.1. Bilan de la combustion oxydante



Le titre molaire en ammoniac $\frac{n_{\text{NH}_3}}{n_{\text{NH}_3} + n_{\text{air}}}$ est maintenu constant à 10 %.

Rappels : le taux de conversion X de l'ammoniac est de 100% et la sélectivité S est de 95,5%.

Réalisez le bilan matière pour une mole d'ammoniac.



Compléter le tableau :

	AMMONIAC		AIR		GAZ EFFLUENTS	
	Mol	%	Mol	%	Mol	%
NH ₃	1	100%				
NO					0,955	9,3
O ₂			1,89	21%	0,662	6,5
N ₂			7,11	79%	7,133	69,6
H ₂ O					1,5	14,6
TOTAL	1	100%	9	100%	10,250	100%

Écrire vos calculs :

* Nombre de mol d'air : $\frac{n_{\text{NH}_3}}{n_{\text{NH}_3} + n_{\text{air}}} = 0,1$ donc $n_{\text{air}} = 9 \text{ mol}$

$n_{\text{O}_2} = 9 \times 0,21 = 1,89 \text{ mol}$

$n_{\text{N}_2} = 7,11 \text{ mol}$

1,5 pt

* X = 1 et S = 0,955

Réaction principale :

- NH₃ converti : 0,955 mol
- H₂O : 0,955 x 3/2 = 1,433 mol
- O₂ nécessaire : 0,955 x 5/4 = 1,194 mol

1,5 pt

Réaction secondaire :

- NH₃ converti : 1 - 0,955 mol = 0,045 mol
- N₂ : 0,045 x 0,5 = 0,0225 mol
- H₂O : 0,045 x 3/2 = 0,0675 mol
- O₂ nécessaire : 0,045 x 5/4 = 0,034 mol

2 pts

TOTAL :

- NO : 0,955 mol
- H₂O : 1,433 + 0,067 = 1,5 mol
- N₂ : 0,0225 + 7,11 = 7,1325 mol
- O₂ nécessaire : 1,194 + 0,034 = 1,228 mol, donc il reste 1,89 - 1,228 = 0,662 mol

1 pt

* composition molaire : voir tableau

1 pt

2.2. Calculez le taux d'excès en oxygène.

- Calculer le nombre de mole O₂ réagissant avec l'ammoniac dans les conditions stoechiométriques pour la réaction principale et pour une mole d'ammoniac :

1 pt

O₂ introduit : 1,89 mol

O₂ stoechiométrique : 1 x 5/4 = 1,25 mol

- En déduire le nombre de mole O₂ en excès :

0,5 pt

O₂ en excès : 1,89 - 1,25 = 0,64 mol

- En déduire le taux d'excès en O₂ :

0,5 pt

Taux d'excès : 0,64/1,25 = 0,512 ou 51,2%

2.3. Production

L'atelier produit 210 tonnes/j d'acide à 55% massique. Le rendement global de la synthèse est de 94,3%. Dans ces conditions le débit molaire d'NH₃ nécessaire est de 121 510 mol/h.

2.3.1. Calculer le débit volumique horaire d'ammoniac dans les C.N.T.P., puis à 13 bars absolus et 0°C.

- Dans les CNTP : $Q_{v0} = 121510 \times 22,4 \cdot 10^{-3} = 2722 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

1 pt

- À 13 bar et 0°C : $PV = NRT$ d'où $V = 121510 \times 8,314 \times 273/13 \cdot 10^5 = 212,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

2 pts

2.3.2. Calcul du débit d'air aspiré.

Sachant que le titre molaire en

$$\frac{n_{\text{NH}_3}}{n_{\text{NH}_3} + n_{\text{air}}}$$

ammoniac est maintenu constant

à 10 %, en déduire le débit molaire d'air primaire nécessaire à la réaction :

Débit d'air primaire : $9 \times 121510 = 1,09 \cdot 10^6 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1}$ -----

1 pt

Sachant que le débit d'air primaire représente 88% du débit d'air total, calculer le débit molaire d'air total :

L'air primaire représente 88% de l'air total.

Débit d'air : $1,09 \cdot 10^6 / 0,88 = 1,24 \cdot 10^6 \text{ mol.h}^{-1}$

1 pt

En déduire le débit d'air aspiré à 1,013 bar absolu et 15°C :

$Q_v = (1,24 \cdot 10^6 \times 8,314 \times 288) / 1,013 \cdot 10^5 = 29374 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

1 pt

3. Bilan thermique : production de vapeur (10 points)

La chaudière V1 est alimentée en eau à 17,5 °C. Les gaz sortant du réacteur KI sont refroidis à 163 °C. Le débit molaire des gaz est de 767 kmol /h et leur composition molaire est :

NO₂ : 9 %

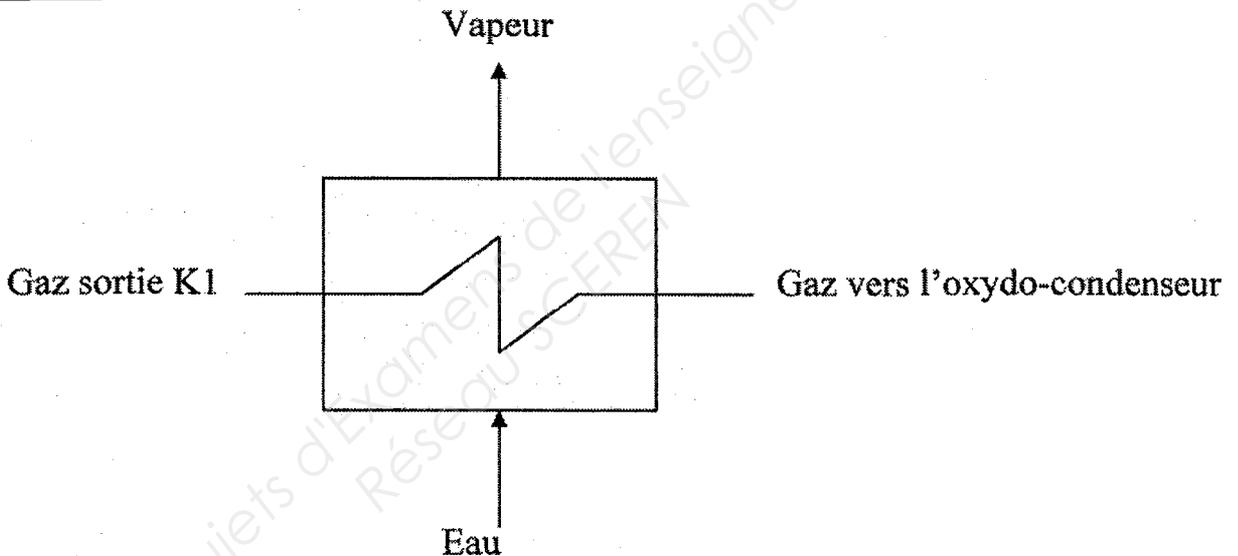
O₂ : 6 %

N₂ : 70 %

H₂O : 15%

Le rendement de la chaudière est de 80%.

Schéma simplifié :



3.1 Compléter le tableau ci-dessous :

2 pts

	ENTREES	SORTIES
EAU	Etat : <i>liquide</i> Température : ... 17,5°C	Etat : <i>Vapeur surchauffée</i> Température : ... 350°C Pression : 26 bar
GAZ	Composition : ... 9% NO₂ 6% O₂ 70% N₂ 15% H₂O ... Température : ... 890°C ...	Composition : ... 9% NO₂ 6% O₂ 70% N₂ 15% H₂O ... Température : ... 163°C .

3.2 Démontrer par le calcul que la capacité thermique molaire moyenne du gaz est de $33,726 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$. 2 pts

$$C_p = (50,14 \times 0,09) + (34,24 \times 0,06) + (30,55 \times 0,7) + (38,49 \times 0,15) = 33,726 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

3.3 Calculer la quantité de chaleur perdue par le gaz. 2 pts

$$Q_p = 767000 \times 33,726 \times (163 - 890) = - 1,88.10^{10} \text{ J.h}^{-1}$$

3.4 Calculer la quantité de chaleur utile. 2 pts

$$Q_R = - 1,88.10^{10} \times 0,8 = - 1,504.10^{10} \text{ J.h}^{-1}$$

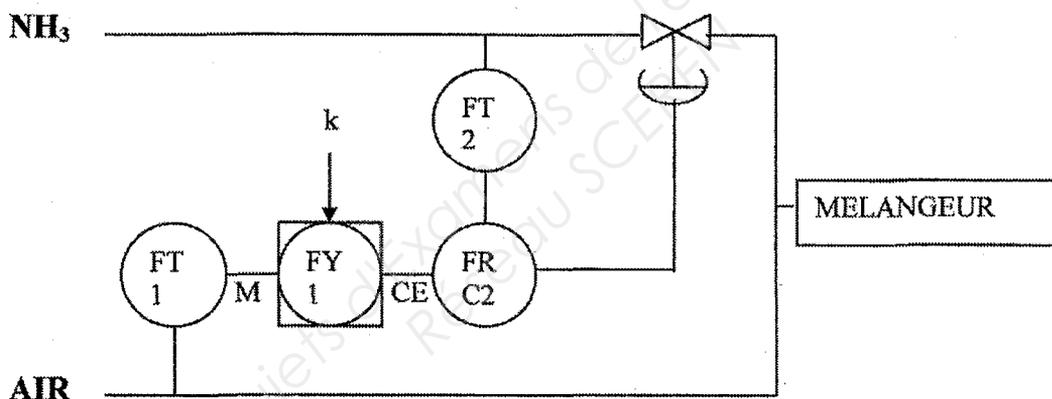
3.5 En utilisant la table enthalpique de l'eau, calculer la quantité de vapeur produite en t/h. 2 pts

$$m = \frac{Q_R}{(H_V - h_V)} = \frac{1,504.10^7}{(3123,3 - 73,45)} = 4933 \text{ kg.h}^{-1} = 4,9 \text{ t/h}$$

4. Conduite et régulation (15 points)

4.1 Régulation de rapport

C'est le débit d'air qui fixe le régime de l'unité. Une régulation de rapport schématisée ci-dessous permet d'ajuster le débit d'ammoniac.



4.1.1 Préciser la grandeur réglée et la grandeur réglante. 1 pt

Grandeur réglée : rapport des débits
Grandeur réglante : débit de NH₃

4.1.2 Donner la signification de : 3 pts

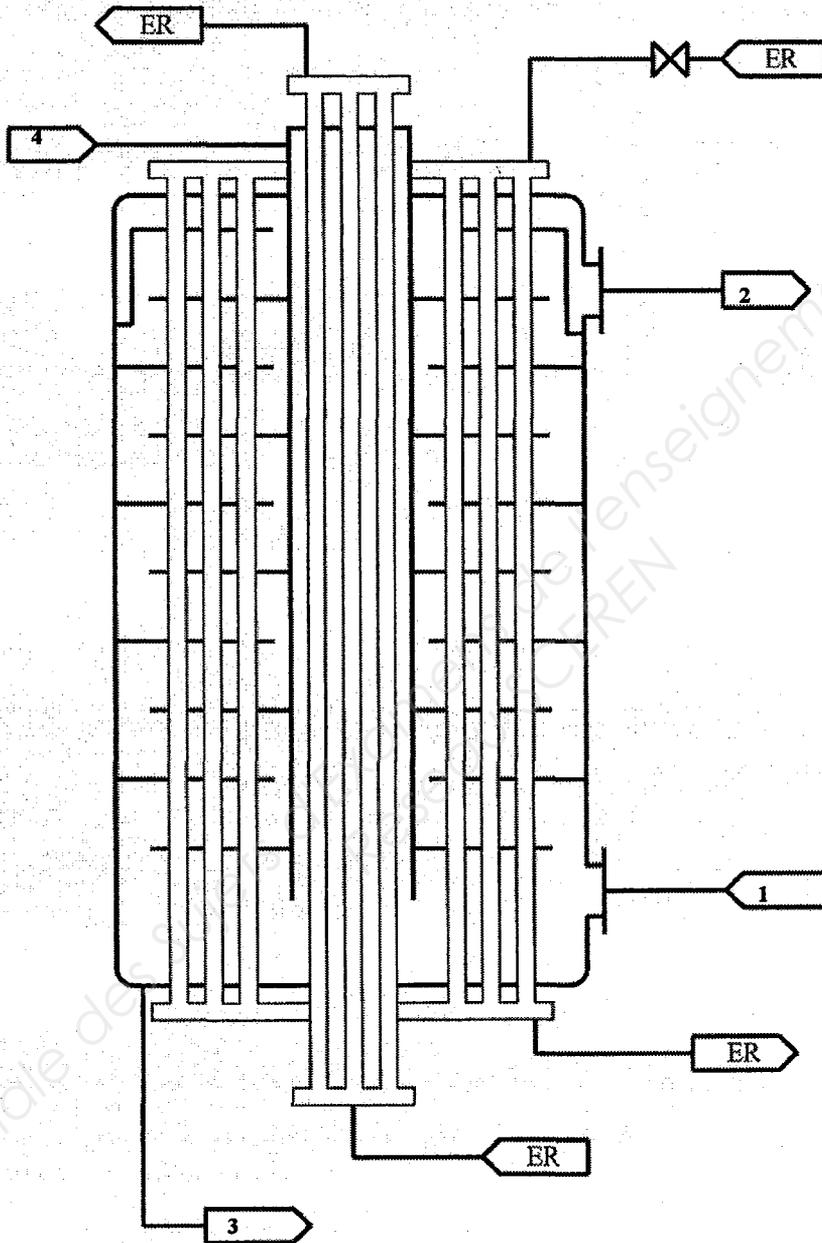
FT1 : transmetteur 1 de débit d'air.....
FT2 : transmetteur 2 de débit NH₃.....
FY1 : calculateur du rapport K.....
FRC2 : régulateur enregistreur de débit.....
CE : consigne externe
M : mesure.....

4.2 Oxydo condenseur

3 pts

Sur le schéma ci dessous, reporter les numéros correspondant aux entrées et aux sorties de fluides :

- 1 : Air secondaire (venant de D2),
- 2 : NO_2 (vers DI),
- 3 : HNO_3 à 38%,
- 4 : NO venant de KI.



4.3 Compléter le tableau de régulation ci-dessous :

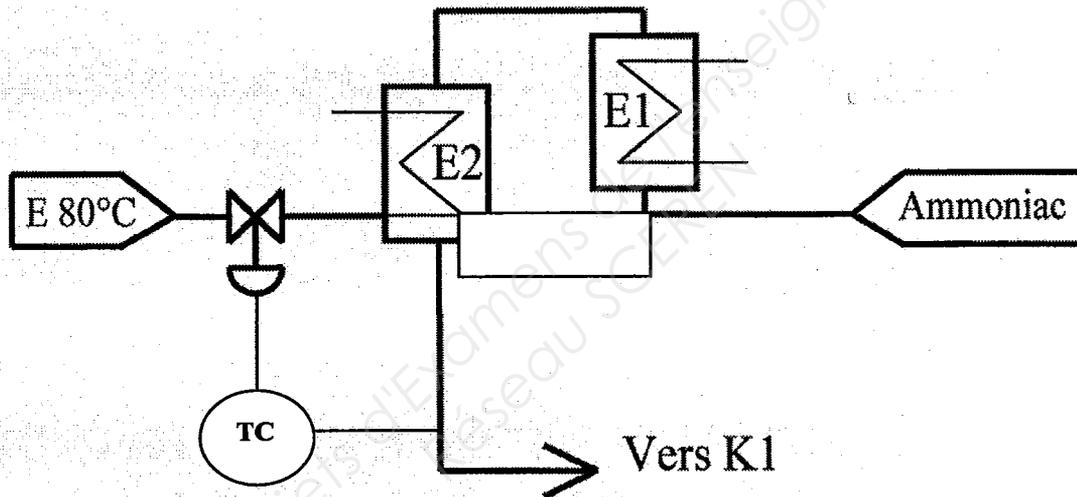
6 pts

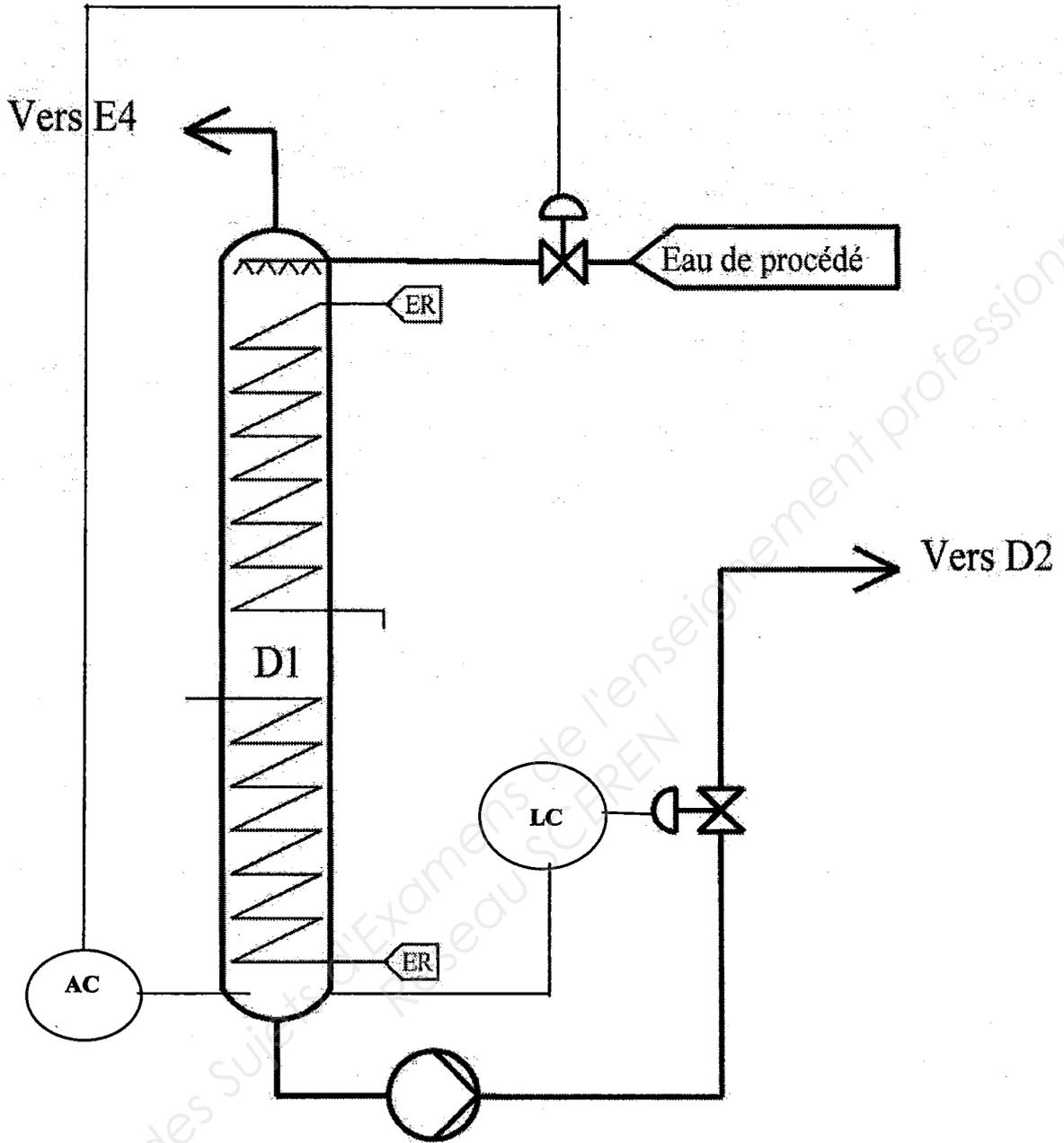
N°	GRANDEUR REGLEE	GRANDEUR REGLANTE	EVOLUTION DE LA GRANDEUR REGLEE	REACTION DE LA GRANDEUR REGLANTE	TYPE DE VANNE	SENS D'ACTION DU REGULATEUR
1	Température NH ₃ surchauffé	Débit d'eau (0,5 pt)	↗	↘ (0,5 pt)	F.M.A	I (1 pt)
2	Niveau fond D1	Débit NH ₃ (0,5 pt)	↗	↗ (0,5 pt)	F.M.A	D (1 pt)
3	Titre acide sortie D1	Débit eau procédé (0,5 pt)	↗	↗ (0,5 pt)	O.M.A	I (1 pt)

Remarque : le titre de l'acide est déduit de la mesure de la densité. La densité augmente avec le titre.

4.4. Représentez les trois boucles de régulation étudiées sur les schémas ci-après :

1 pt





5. Sécurité (5 points)

En vous aidant de la fiche produit de l'ammoniac donnée dans le dossier ressources, répondez aux questions suivantes.

5.1. Indiquer les risques présentés par l'utilisation de l'ammoniac. 1 pt

**Gaz toxique et facilement inflammable provoque des graves brûlures au contact de la peau, des yeux et des voies respiratoires : œdèmes pulmonaires.
Le gaz forme des mélanges explosifs avec l'air.
Limites d'explosion : inf 15%, sup 28%.**

5.2. Indiquer la valeur de la VLE. Préciser la signification de ce paramètre. 1 pt

**VLE : 50 ppm
C'est la valeur limite d'exposition : concentration maximale admissible pour une durée de travail n'excédant pas 15 min.**

5.3. Citer les moyens de protection individuels et collectifs. 2 pts

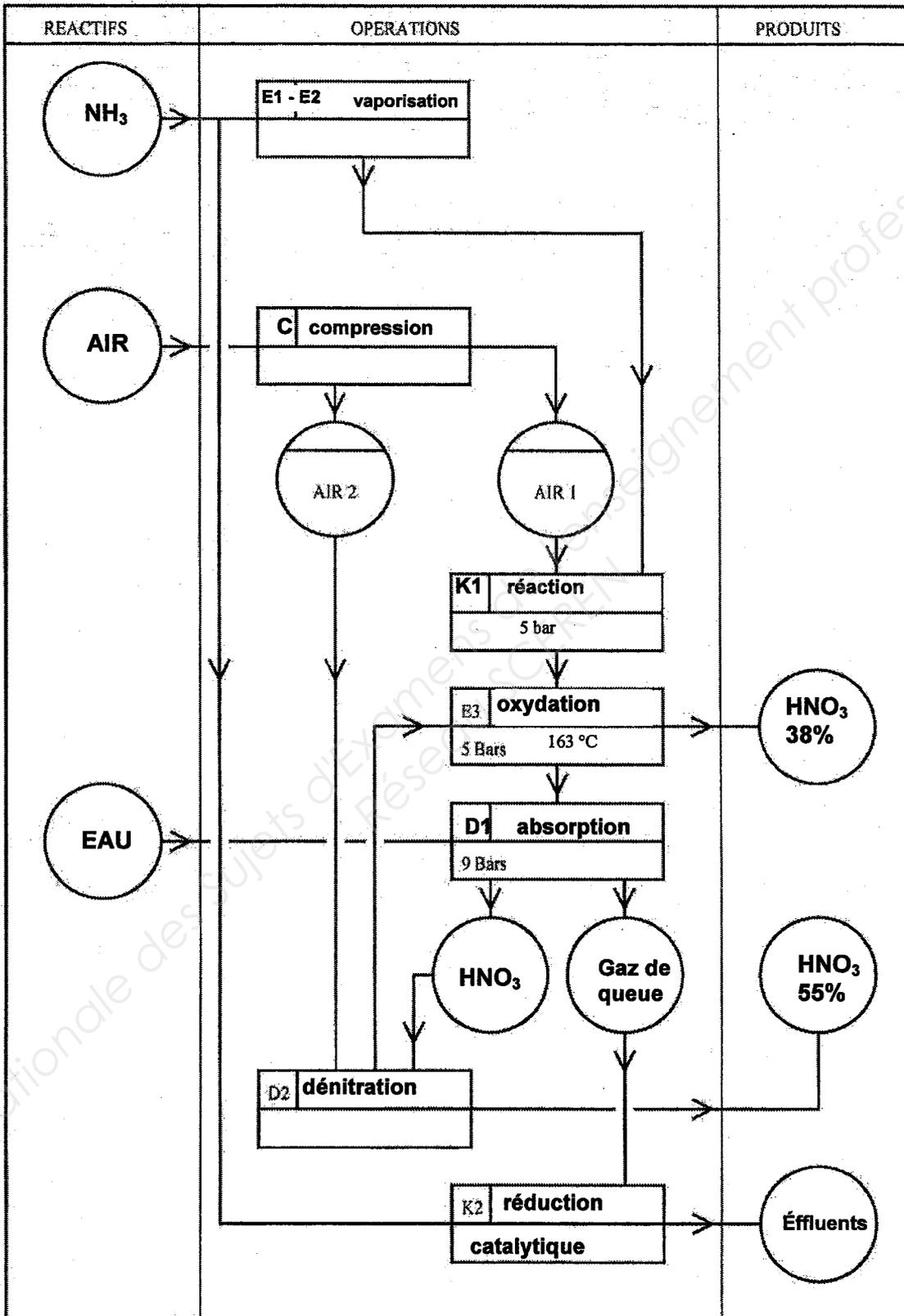
**Zone ATEX installation électrique ADF.
Respecter les précautions d'usage pour toute manipulation de bouteilles de gaz liquéfié.
Stocker en bouteille acier, à l'extérieur des bâtiments et à l'abri du soleil.
Tenir à l'écart des gaz comburants.
Porter blouse, lunettes. Manipuler de faibles quantités de gaz sous hotte aspirante.
Porter des gants spéciaux pour la manipulation du gaz liquéfié (liquide cryogénique).**

5.4. Indiquer la conduite à suivre en cas de fuite accidentelle d'ammoniac. Citer les premiers gestes en cas d'inhalation. 1 pt

**Se munir d'appareils de protection respiratoire isolants et autonomes.
Inhalation accidentelle : évacuer au grand air. Pratiquer la ventilation respiratoire.
Recourir aux secours médicaux urgents.**

ANNEXE 1

SCHÉMA DE PRINCIPE (à compléter et à rendre avec la copie)



Entrées – Sorties : **1,5 point**
 Opérations : **3 points**
 Repères : **1 point**

ANNEXE 2

(à compléter et à rendre avec la copie)

TABLEAU D'APPAREILLAGE

SYMBOLE REPERE	NOM ET FONCTION DE L'APPAREIL
E1	Évaporateur : vaporisation NH_3
E2	Surchauffeur : élever la température du NH_3 gazeux
K1	Réacteur catalytique : combustion oxydante du NH_3 et formation du NO
E3	Oxydo-condenseur : condensation de l'eau de synthèse + oxydation de NO en NO_2 + début de l'absorption
E4	Échangeur gaz-gaz : refroidit le gaz issu de E3 et réchauffe le gaz sortant de D1
E5	Réfrigérant : refroidir les gaz avant l'entrée dans D1
V1	Chaudière : récupère de l'énergie en produisant de la vapeur
D1	Colonne d'absorption : absorption du NO_2 par l'eau pour donner HNO_3
D2	Colonne de dénitrification : permet le blanchiment de HNO_3
K2	Réacteur catalytique : permet la réduction des gaz de queue.

TOTAL : 5 points

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