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 consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Pro PCEPC, veuillez visiter :
bacpropcepc.fr/annales-sujets-et-corriges

BACCALAURÉAT PROFESSIONNEL

PROCÉDÉS DE LA CHIMIE, DE L'EAU ET DES PAPIERS-CARTONS

SESSION **2021**

ÉPREUVE **E2** : ÉPREUVE TECHNOLOGIQUE
ÉTUDE D'UN PROCÉDÉ

DOSSIER TRAVAIL

DOCUMENTS ET MATÉRIELS AUTORISÉS

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.

Tout autre matériel est interdit.
Aucun document autorisé.

*Le dossier se compose de **16** pages, numérotées de **1/16** à **16/16**.*
Dès que le dossier vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Compétences évaluées : **C14** - Utiliser le langage technique adapté.
C15 - Traiter les informations.

Ce dossier sera rendu dans sa totalité, agrafé dans une copie anonymée.

FABRICATION D'OXYDE D'ETHYLÈNE

SOMMAIRE ET BARÈME

I – COMPRÉHENSION DU PROCÉDÉ (26 points)

I.1. – Identification des produits (3 points) 3/16

I.2. – Schéma de principe (14 points) 3/16

I.3. – Identification et rôle des opérations unitaires, des flux de matières et d'énergie (9 points) 5/16

II – PRÉPARATION DE LA PRODUCTION **(27** points)

II.1. – Préparation des matières premières (4 points) 6/16

II.2. – Vérification des équipements et configuration des appareils 7/16

II.2.1. - Dimensionnement de l'échangeur E1 (11 points) 8/16

II.2.2. - Choix de la pompe d'alimentation intégrant le nouvel échangeur 9/16
(12 points)

III – CONDUITE ET CONTRÔLE EN COURS DE PRODUCTION (15 points) 12/16

III.1. – Vérification et installation des boucles de régulation (11 points) 12/16

III.1.1. – Installation de la boucle de régulation de l'échangeur E3 (3 points) 12/16

III.1.2. – Vérification du fonctionnement des boucles de régulation (5 points) 13/16

III.1.3. – Identification de la boucle de régulation (3 points) 14/16

III.2. – Vérification de l'évolution des paramètres de la colonne d'absorption 14/16
(4 points)

IV – QUALITÉ, HYGIÈNE, SÉCURITÉ ET ENVIRONEMENT DU PRODUIT FINI 15/16
(12 points)

Il est nécessaire de lire la totalité du dossier ressources avant de répondre aux questions du dossier travail.

FABRICATION D'OXYDE D'ETHYLÈNE

I – COMPRÉHENSION DU PROCÉDÉ — 26 points

I.1.- Identification des produits — 3 points

Indiquer les diverses utilisations de l'oxyde d'éthylène utilisé seul.

Indiquer le composé principal fabriqué à partir de l'oxyde d'éthylène.

Indiquer les applications du composé principal fabriqué à partir de l'oxyde d'éthylène précédemment trouvé.

I.2. - Schéma de principe — 14 points

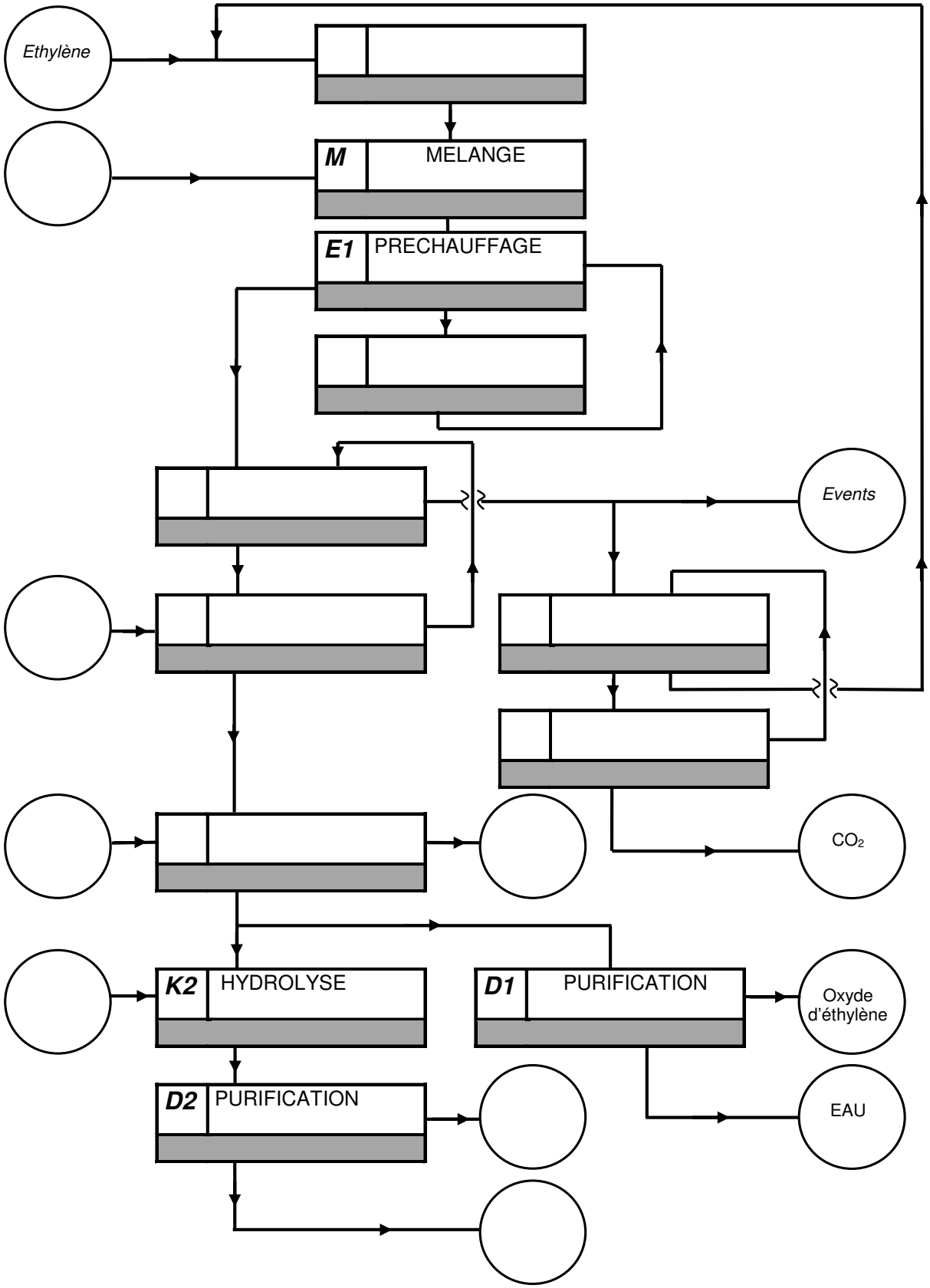
À l'aide de la description du procédé et du schéma PFD (Process Flow Diagram), présentés de la page 3/13 à la page 7/13 du dossier ressources, **compléter** le schéma de principe page suivante en y faisant figurer :

- les produits entrants et sortants ;
- les opérations unitaires avec le repère des appareils utilisés.

Ne pas remplir les parties grisées.

SCHÉMA DE PRINCIPE À COMPLÉTER

ne pas remplir les parties grisées



I.3. – Identification et rôle des opérations unitaires, des flux de matières et d'énergie
9 points

Expliquer l'utilisation d'un catalyseur à l'argent dans K1.

Expliquer la fonction du couplage des colonnes A2 et B2 dans le procédé.

Expliquer pourquoi les gaz évacués au sommet de la colonne A2 sont injectés sur la conduite située avant le compresseur.

Expliquer ce qu'est une réaction exothermique.

Expliquer pourquoi on utilise le réacteur K1 pour produire de la vapeur d'eau.

Citer la fonction du réacteur K2.

II – PRÉPARATION DE LA PRODUCTION **27 points**

Pour renforcer la compétitivité du site, on se propose de rénover et d'augmenter les capacités de production de l'unité d'oxyde d'éthylène de 240 000 à 330 000 t/an.

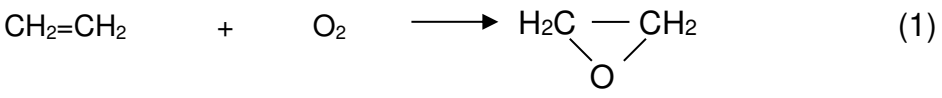
Diverses modifications sont nécessaires pour répondre aux nouvelles capacités de production, parmi elles :

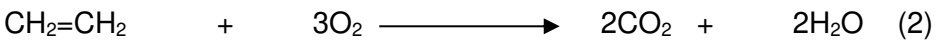
- la mise en service d'un nouveau catalyseur avec un meilleur taux de conversion ;
- la mise en service d'un nouvel échangeur ;
- la mise en service de nouvelles pompes.

II.1. – Préparation des matières premières **4 points**

Pour augmenter le rendement et ainsi la production, on souhaite obtenir un taux de conversion supérieur à 90 %.
On procède au changement du catalyseur à base d'argent dans le réacteur K1.

Les réactions principales mises en jeu sont :





Les résultats obtenus lors des premiers tests permettent d'estimer le taux de conversion.

Sur la base de 1 000 kmol/h d'éthylène $CH_2=CH_2$ alimentées dans le réacteur K1, les analyses moyennes montrent une quantité d'éthylène sortant du réacteur égale à 90 kmol/h.

Calculer le taux de conversion et **préciser** s'il correspond aux attendus de la production.

On donne : $$\text{Taux de conversion } \alpha = \frac{\text{Quantité de réactif ayant réagit}}{\text{Quantité de réactif alimenté}} * 100$$

II.2. – Vérification des équipements et configuration des appareils **23 points**

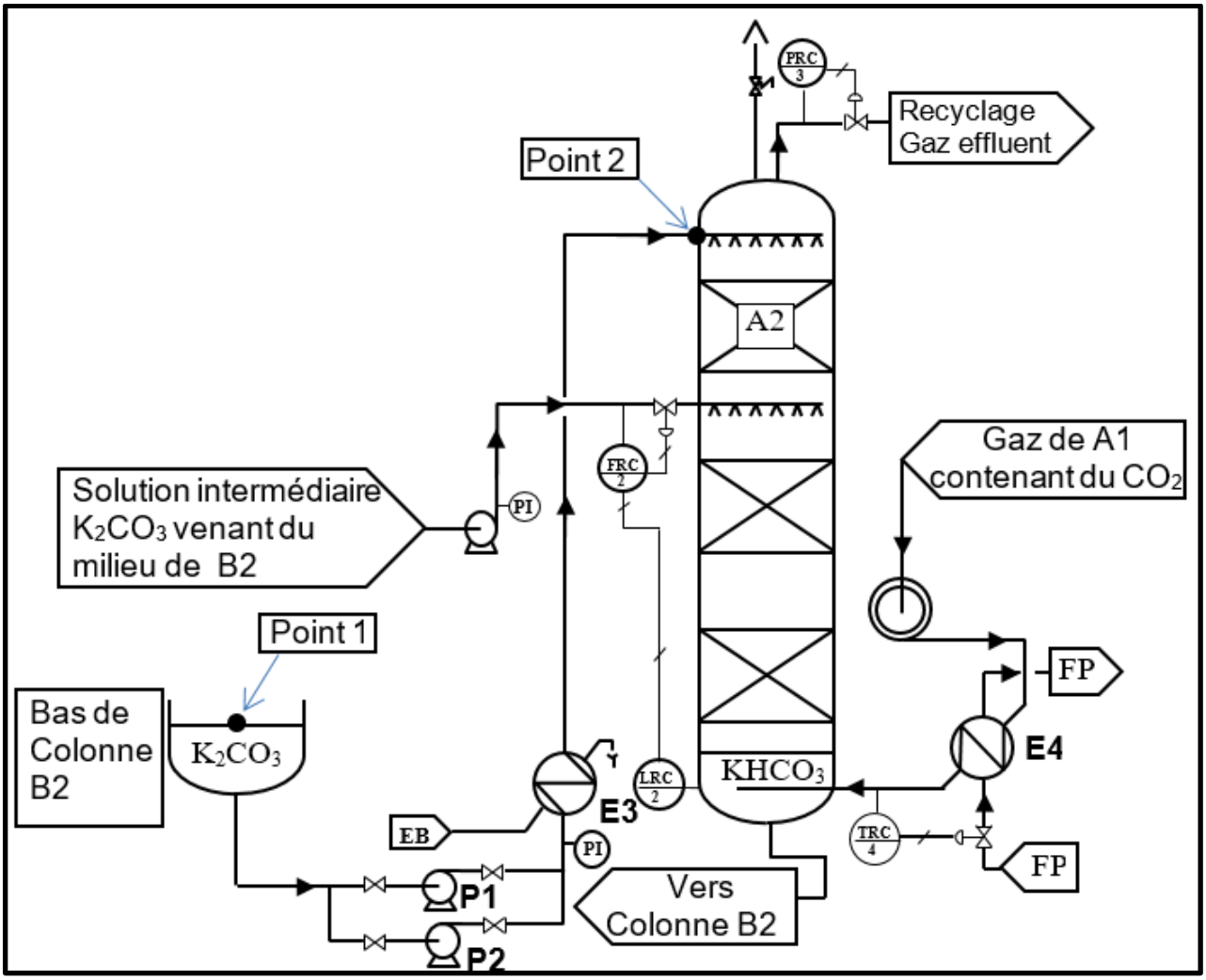
La solution de K_2CO_3 (schéma N°1 ci-dessous,) nécessaire à l'absorption du CO_2, est refroidie avant d'être acheminée au sommet de la colonne A2 par une pompe centrifuge P1 montée en by-pass avec une même autre pompe centrifuge P2.

Cette ligne d'alimentation est vieillissante et doit être rénovée. On se propose de remplacer le vieil échangeur à faisceau tubulaire E1 par un échangeur à plaques soudées plus performant.

Toutes les tuyauteries, ainsi que les pompes P1 et P2, en fin de vie, doivent être remplacées par des modèles équivalents car le constructeur ne fabrique plus ces modèles.

On se propose de vérifier et de choisir les nouvelles pompes en fonction des impératifs de la production et des nouvelles caractéristiques du circuit d'alimentation de la colonne A2.

SCHÉMA PID N°1 : Colonne d'absorption du CO_2



II.2.1. - Dimensionnement de l'échangeur E1 **11 points**

La solution, venant de la colonne **B2**, qui alimente la colonne d'absorption **A2**, entre dans l'échangeur à une de pression de 25 bar et doit être refroidie de 120 °C à 90 °C par de l'eau brute qui rentre à 15 °C et ne doit pas dépasser 80 °C en sortie de l'échangeur **E3**.

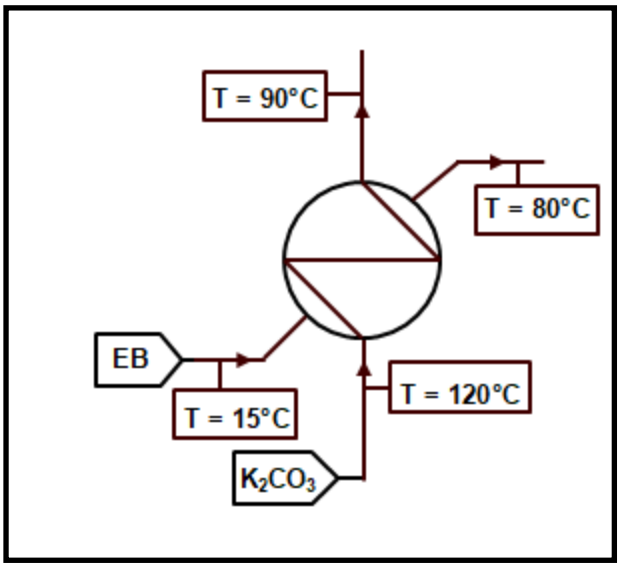
Données :

- Débit solution K_2CO_3 = 1318 800 kg/h.

- Cp_{eau} = 4,18 kJ/kg. °C

- $Cp_{solutionK2CO3}$ = 9 kJ/kg. °C
  (entre 100 et 170 °C)

- Coefficient global d'échange thermique :
  K = 1700 W/m^2. °C



Calculer le flux de chaleur (Φ) pour refroidir la solution de K_2CO_3 en kJ/h puis en kW.

En supposant que le flux de chaleur (Φ) cédé est de 350.10^6 kJ/h, **calculer** le débit d'eau de refroidissement nécessaire.

L'échangeur fonctionne à contre-courant ; **calculer** la DTLM.

En supposant que le flux de chaleur (Φ) absorbé est de 99 000 kW et que la DTLM est égale à 50,5 °C, **calculer** la surface de l'échangeur.

Déterminer le nombre de plaques de l'échangeur en sachant que les dimensions d'une plaque sont : longueur 4 m et largeur 2 m.

Indiquer les caractéristiques de l'échangeur à commander en complétant le tableau ci-dessous.

Flux de chaleur (Φ) en kW	…….	Nombre de plaques	……..
Surface d'échange en m^2	…….	Pression de service en bar	……..

II.2.2. - Choix de la pompe d'alimentation intégrant le nouvel échangeur 12 points

Les données opérationnelles sont les suivantes :

- Masse volumique solution K_2CO_3 : ρK_2CO_3 = 1099 kg/m^3.
- Débit de solution K_2CO_3 = 1 200 m^3/h.
- Diamètre intérieur de la canalisation à l'aspiration et au refoulement D = 40 cm.
- Viscosité de la solution η = 0,222.10^{-3} Pa.s
- Longueur régulière de tuyauterie droite à l'aspiration Laspi = 15 m
- Longueur régulière de tuyauterie droite au refoulement Lrefoul = 45 m
- Longueur singulière équivalente à l'aspiration due aux accidents de canalisation : Leq aspiration = 75 m
- Longueur singulière équivalente au refoulement due aux accidents de canalisation : Leq refoulement = 225 m
- Côte z1 à l'aspiration = 5 m — Pression au point 1 P1 = 3 bar
- Côte z2 au refoulement = 40 m — Pression au point 2 P2 = 25 bar
- Accélération de la pesanteur g = 9,81 m/s^2

Calculer la vitesse du fluide dans la canalisation.

Calculer le nombre de Reynolds en supposant que la vitesse est égale à 2,5 m/s.

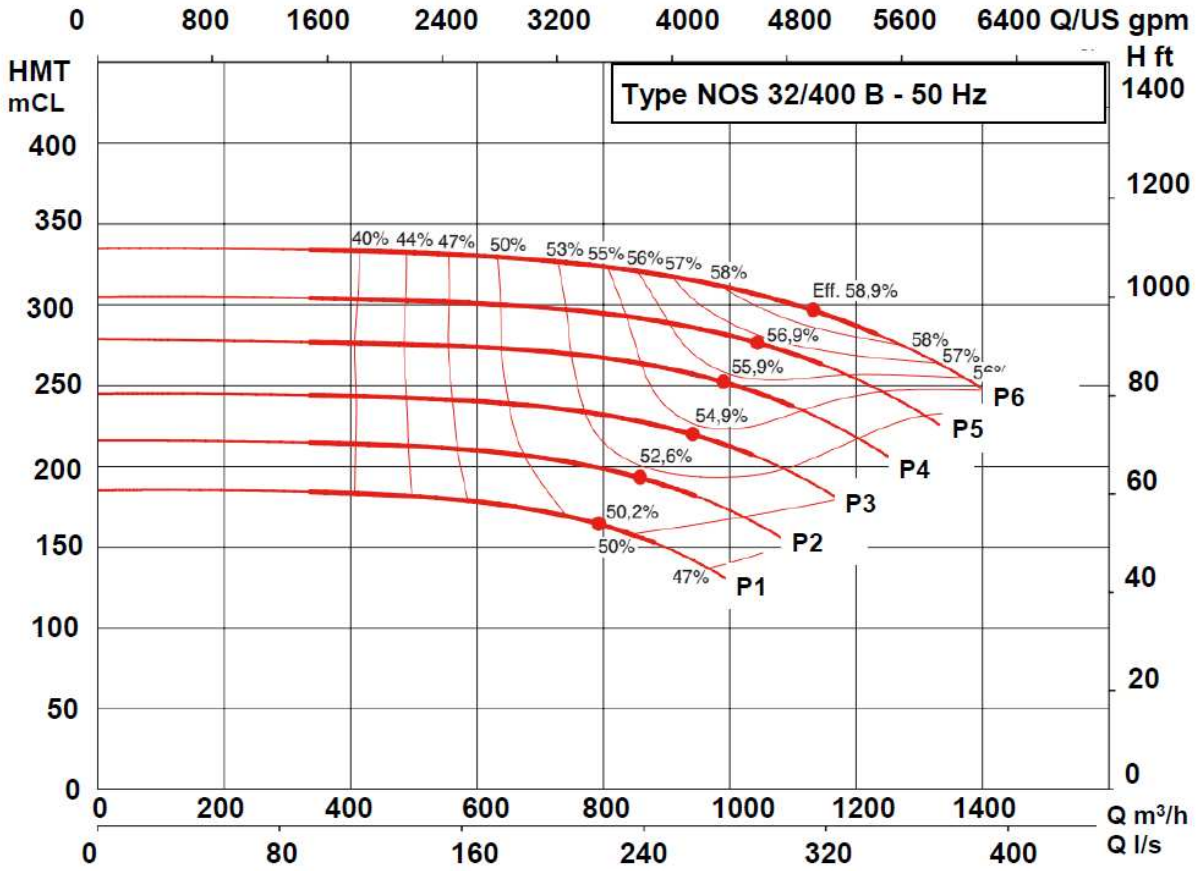
Déterminer le régime d'écoulement.

Calculer la hauteur manométrique totale HMT entre le point 1 (niveau constant u= 0 m/s) et le point 2 en prenant comme perte de charge totale (régulière + singulière) : 4,6 mCL.

Calculer la puissance hydraulique de la pompe en supposant que la HMT est égale à 250 mCL.

Calculer la puissance réelle si le rendement est de 0,68.

À l'aide des courbes constructeurs fournies ci-dessous, **choisir** (en traçant sur le graphique) parmi les 6 pompes P1 à P6, la ou les pompes adaptées aux conditions de la production (HMT = 250 mCL, débit = 1200 m^3/h).



Réponse(s) :

Choisir (sur le graphique) parmi les 6 pompes P1 à P6, <u>la pompe la plus adaptée</u> aux conditions de la production (HMT= 250 mCL, débit = 1200 m^3/h) en supposant que le point de fonctionnement doit être le plus proche du rendement effectif (symbolisé par un point sur le tracé de la HMT). Les courbes d'iso rendement sont tracées sur le graphique.

Réponse :

III – CONDUITE ET CONTRÔLE EN COURS DE PRODUCTION 15 points

III.1. – Vérification et installation des boucles de régulation 11 points

La rénovation de la ligne d'alimentation de la colonne A2 terminée, il est nécessaire de réinstaller la boucle de régulation de l'échangeur E3 et de vérifier le fonctionnement des autres boucles.

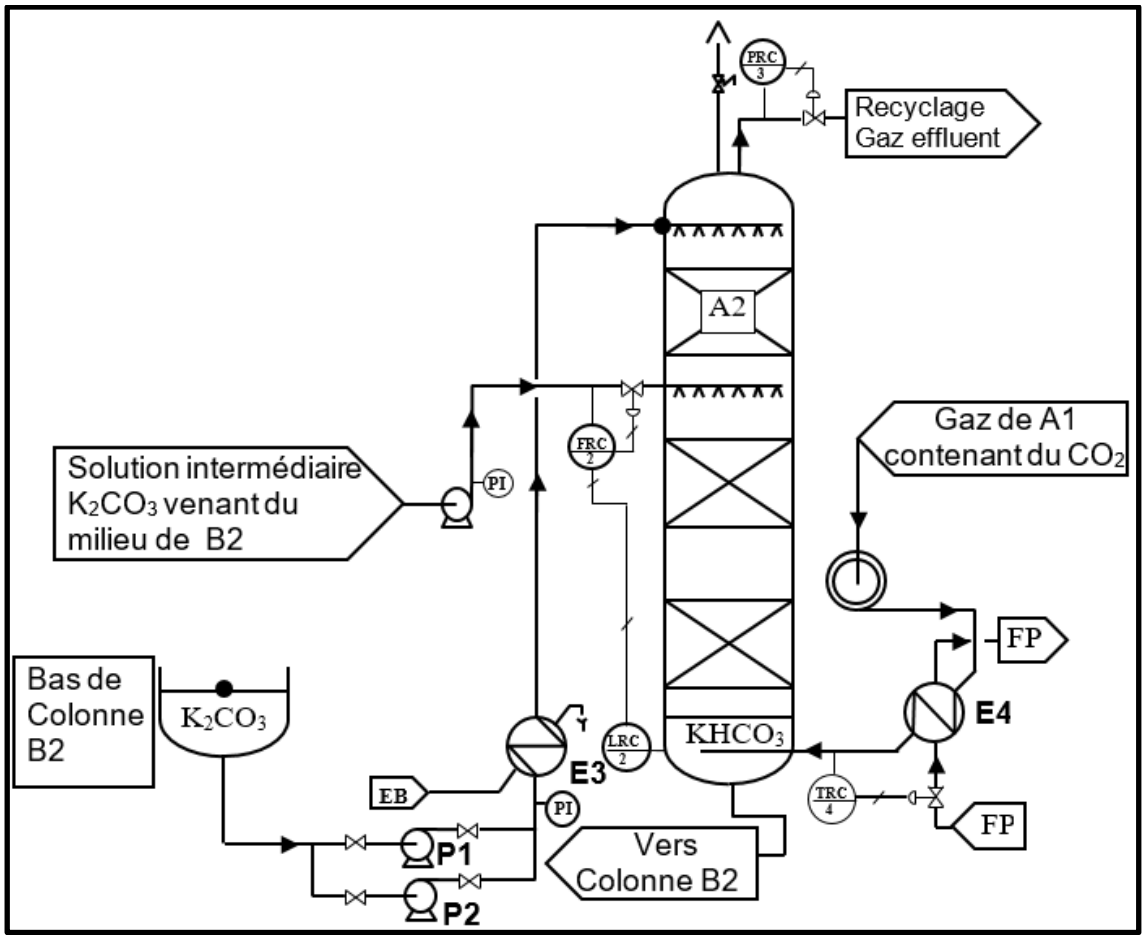
III.1.1. – Installation de la boucle de régulation de l'échangeur E3. 3 points

La température de la solution d'alimentation K_2CO_3 est régulée par le débit d'eau brute.

Remplir le tableau N°1 et représenter cette boucle de régulation référencée N°1 (la température étant indiquée, enregistrée et régulée) sur le schéma PID N°2 ci-dessous.

Tableau N°1					
Boucle de régulation	Nom de la grandeur réglée	Nom de la grandeur réglante	Variation grandeur réglée	Variation grandeur réglante ↘ ou ↗	Réaction de la vanne
Température de l'alimentation			↗		La vanne s'ouvre Oui ☐ Non ☐ La vanne se ferme Oui ☐ Non ☐

SCHEMA PID N°2 : Régulation colonne d'absorption du CO_2



III.1.2. – Vérification du fonctionnement des boucles de régulation. 5 points

La pression de la colonne A2 est régulée par le débit des gaz effluents.
La température d'entrée des gaz entrant dans la colonne A2 est refroidie par un fluide procédé FP dans l'échangeur E4.

Compléter le tableau N°2 et déterminer les sens d'action des régulateurs **en justifiant** vos réponses en dessous.

Tableau N°2						
Boucle de régulation	Nom de la grandeur réglée	Nom de la grandeur réglante	Variation grandeur réglée	Variation grandeur réglante ↘ ou ↗	Sens d'action du régulateur (INV ou DIR)	Type de vanne
PRC3 : Pression de la colonne			↗			NO (normalement ouverte)
TRC4 : Température alimentation gaz entrée colonne			↗			NF (normalement fermée)

PRC3 :

TRC4 :

III.1.3. – Identification de la boucle de régulation 3 points

Boucle de régulation indiquée FRC 2, LRC 2 sur le schéma PID N°2 page 12/16.

Donner le nom des 2 grandeurs réglées utilisées par ce type de régulation :

Donner le nom spécifique de ce type de régulation :

III.2. – Vérification de l'évolution des paramètres de la colonne d'absorption 4 points

La solution de K_2CO_3 nécessaire à l'absorption du CO_2 provenant de la colonne B2 est refroidie avant d'être acheminée au sommet de la colonne A2 par une pompe centrifuge P1. Cette solution a pour fonction d'absorber le CO_2 contenu dans les gaz venant de la colonne A1 selon la réaction (sens 1) :

$$K_2CO_3 + CO_2 + H_2O \underset{\text{sens 2}}{\overset{\text{sens1}}{\rightleftharpoons}} 2KHCO_3$$ paramètres opératoires : 90 °C, 25 bar

Les gaz issus de la colonne A1, débarrassés du CO_2 et contenant des traces de produits qui n'ont pas réagi, sont recyclés sur la conduite d'alimentation en éthylène.
La solution de $KHCO_3$ est alors envoyée dans la colonne B2 afin de désorber le CO_2 selon la réaction qui se produit dans le sens 2.

La surveillance de l'installation en salle de contrôle, qui nécessite la connaissance du procédé et l'interprétation des analyses des différents produits qui entrent et sortent de la colonne, permet à l'opérateur de savoir si l'évolution des différents paramètres est conforme aux attentes.

Compléter, en vous aidant du schéma PID N°2 page 12/16, le tableau ci-dessous en répondant par des flèches : → ou ↗ ou ↘

Débit gaz venant de A1	Pression de la colonne A2	Température de la colonne A2	Débit de solution de K_2CO_3	Fraction molaire en CO_2 des gaz effluents	Fraction molaire de la solution de $KHCO_3$
→	↗	→	→		
→	→	↗	→		
↗	→	→	→		
→	↗	↘	→		

IV – QUALITÉ, HYGIÈNE, SÉCURITÉ ET ENVIRONNEMENT DU PRODUIT FINI

12 points

L'oxyde d'éthylène produit en tête de colonne D1 est pur à 99,9 % en masse. Il est stocké dans 3 sphères représentant une capacité totale de 1600 m^3. Lors de la ronde de surveillance, des prélèvements doivent être effectués périodiquement pour analyse. Il est donc nécessaire et impératif de connaitre tous les risques liés à l'utilisation et au contact avec le composé fabriqué. Avant d'être habilité à effectuer les prélèvements, le remplissage d'un questionnaire est obligatoire.

En vous aidant de l'extrait de la fiche toxicologique de l'Institut National de Recherche et de Sécurité, présenté dans le dossier ressources page 10/13 à 13/13, répondre aux questions ci-dessous.

Donner les noms des pictogrammes qui apparaissent sur la fiche de sécurité de l'oxyde d'éthylène en complétant le tableau ci-dessous.

			
NOM	**NOM**	**NOM**	**NOM**
…… …… …… ……	…… …… …… ……	…… …… …… ……	…… …… …… ……

Á la vue de ces pictogrammes, **cocher** la case correspondante :

L'oxyde d'éthylène est :	Extrêmement dangereux	☐
	Dangereux	☐
	Peu dangereux	☐
	Non toxique	☐

Citer les principaux risques liés à l'utilisation de ce produit.

Citer les équipements de protection individuelle (EPI) à utiliser impérativement en cas d'intervention sur une installation avec risque d'inhalation d'oxyde d'éthylène.

Expliquer pourquoi l'oxyde d'éthylène est stocké dans des bouteilles en acier sous atmosphère inerte.

Indiquer si les pictogrammes suivants doivent être apposés sur la zone de manipulation d'oxyde d'éthylène en cochant les cases OUI ou NON.



OUI ☐ NON ☐



OUI ☐ NON ☐



OUI ☐ NON ☐



OUI ☐ NON ☐



OUI ☐ NON ☐



OUI ☐ NON ☐



OUI ☐ NON ☐



OUI ☐ NON ☐

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.