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 BUT Chimie, veuillez visiter :
butchimie.fr/annales-sujets-et-corriges

BACHELOR UNIVERSITAIRE DE TECHNOLOGIE

CHIMIE

ÉVALUATION LOCALE DE LA COMPÉTENCE C4 : PRODUIRE DES COMPOSÉS INTERMÉDIAIRES ET DES PRODUITS FINIS

SESSION 2026

Durée : 3 heures

SPÉCIALITÉ / UNITÉ	COEFF
CHIMIE	3,0 INDICATIF

Moyens de calculs et matériel autorisés :

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

Aucun document ou matériel autorisé en dehors de ceux fournis avec le sujet.

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

Ce sujet comporte 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13.

Les documents réponses en fin de sujet sont à rendre avec la copie.

DOSSIER SUJET

MISE EN SITUATION PROFESSIONNELLE ET CAHIER DES CHARGES : ATELIER PILOTE DE LA SOCIÉTÉ ESTÉRIS INDUSTRIE, ZONE INDUSTRIELLE DE PORT-JÉRÔME-SUR-SEINE, SEINE-MARITIME

La société Estéris Industrie exploite un atelier pilote de fabrication discontinue de produits intermédiaires et finis. Vous intervenez comme technicien ou technicienne de production lors d'une campagne de fabrication d'acétate d'éthyle par estérification de l'acide éthanoïque par l'éthanol.

Le lot étudié est réalisé dans un réacteur agité fermé, suivi d'une séparation par distillation. Le produit fini doit satisfaire les critères du cahier des charges du client : fraction massique en acétate d'éthyle au moins égale à 98,0 %, teneur en eau au plus égale à 0,20 % et traçabilité complète des paramètres critiques du lot.

Les données du sujet sont propres à cette situation. Les paramètres d'organisation de l'évaluation, dont la durée et le coefficient, relèvent des modalités locales de contrôle des connaissances et des compétences de l'établissement. Le coefficient indiqué est fourni à titre indicatif.

Les masses molaires à utiliser sont : éthanol, 46,07 kg·kmol^{-1} ; acide éthanoïque, 60,05 kg·kmol^{-1} ; acétate d'éthyle, 88,11 kg·kmol^{-1} ; eau, 18,02 kg·kmol^{-1}. Sauf indication contraire, les calculs sont conduits avec les données non arrondies, puis les résultats sont présentés avec trois chiffres significatifs.

PARTIE 1 : Analyse du procédé et exigences de production (4 points)

Identifier les matières, les équipements, les flux et les critères de conformité

À partir du contexte et des documents DT 1 à DT 3, analysez la fabrication du lot et les exigences associées. La réaction principale est : $\mathrm{CH_3COOH + C_2H_5OH \rightleftharpoons CH_3COOC_2H_5 + H_2O}$. L'acide sulfurique est utilisé comme catalyseur et n'est pas comptabilisé dans le bilan stœchiométrique de cette réaction.

Données de conduite du lot

Paramètre	Valeur	Unité ou remarque
Charge d'éthanol	600	kg
Charge d'acide éthanoïque	650	kg
Charge de catalyseur sulfurique	6,0	kg
Température de réaction	78	°C
Conversion de l'acide éthanoïque	90,0	%
Sélectivité de l'acide converti vers l'acétate d'éthyle	96,0	%

Valeurs relevées ou fixées pour la campagne étudiée

1.1 (1,5 point) Identifiez les deux réactifs, le produit recherché, le sous-produit principal et le rôle du catalyseur. Classez les équipements principaux du procédé représentés au DT 1 selon leur fonction dans la fabrication.

1.2 (1 point) Établissez le sens des flux de matière et des utilités sur le schéma du DT 1. Indiquez quels flux doivent être suivis pendant la réaction et pendant la distillation pour assurer la traçabilité du lot.

1.3 (1,5 point) À partir du cahier des charges et du DT 2, indiquez les critères permettant d'accepter ou de refuser le produit fini. Citez une mesure de suivi en cours de fabrication et une analyse de libération du lot adaptées à ces critères.

PARTIE 2 : Bilans matière, dimensionnement et indicateurs de production (6 points)

Réaliser les calculs de production et exploiter les données de dimensionnement

Les quantités introduites dans le réacteur sont celles du tableau de la partie 1. On considère que la conversion et la sélectivité données s'appliquent à l'acide éthanoïque chargé. À l'issue de la séparation, la masse du produit fini recueilli est de 780 kg et son dosage en acétate d'éthyle est de 98,0 % en masse.

Pour le contrôle thermique, la chaleur à évacuer au condenseur pendant la phase de distillation est estimée à 840 MJ. L'eau de refroidissement entre à 18 °C et sort à 28 °C. Sa capacité thermique massique vaut $c_p = 4,18\ \mathrm{kJ\,kg^{-1}\,K^{-1}}$. On néglige les pertes thermiques vers l'environnement.

Paramètres utiles aux calculs

Grandeur	Valeur	Unité
Masse volumique de l'acétate d'éthyle à 20 °C	902	kg·m⁻³
Volume utile nominal du réacteur	2,50	m³
Volume total estimé du mélange chargé	1,55	m³
Chaleur à évacuer au condenseur	840	MJ
Écart de température de l'eau de refroidissement	10	K
Capacité thermique massique de l'eau	4,18	kJ·kg⁻¹·K⁻¹

Données de procédé et propriétés retenues pour le sujet

2.1 (1,5 point) Calculez les quantités de matière initiales d'éthanol et d'acide éthanoïque. Déterminez le réactif limitant et justifiez votre réponse par comparaison des quantités stœchiométriques.

2.2 (1,5 point) Calculez la masse théorique d'acétate d'éthyle formée en tenant compte de la conversion et de la sélectivité indiquées. Présentez explicitement les relations utilisées : $n = m/M$ et $m = nM$.

2.3 (1 point) Calculez la masse d'acétate d'éthyle contenue dans les 780 kg de produit fini. Déterminez le taux de récupération de l'acétate d'éthyle entre la quantité formée estimée à la question 2.2 et la quantité recueillie dans le produit fini, selon $R = m_{\text{recueillie}}/m_{\text{formée}} \times 100$.

2.4 (1 point) Calculez le volume nominal de produit fini correspondant à 780 kg, à l'aide de $V = m/\rho$. Le produit fini respecte-t-il le critère de dosage en acétate d'éthyle du cahier des charges ? Justifiez.

2.5 (1 point) Calculez la masse d'eau de refroidissement nécessaire pour évacuer 840 MJ, en utilisant $Q = m_{\text{eau}} c_p \Delta T$. Convertissez les unités de façon cohérente et indiquez une vérification opérationnelle à effectuer si le débit d'eau réellement disponible est inférieur au besoin calculé.

PARTIE 3 : Préparation de fabrication et suivi analytique (6 points)

Préparer un mode opératoire, choisir les contrôles et renseigner les documents de suivi

Vous préparez la fabrication du prochain lot dans le même atelier. Les résultats de la campagne précédente figurent au DT 2. Le produit n'est libéré qu'après vérification de son dosage et de sa teneur en eau. La chromatographie en phase gazeuse est retenue pour le dosage de l'acétate d'éthyle ; la méthode de Karl Fischer est retenue pour l'eau.

Les équipements sont disponibles et qualifiés selon les procédures locales. Toute opération doit être réalisée conformément aux instructions de poste, aux fiches de données de sécurité applicables et aux procédures de consignation de l'atelier.

Résultats analytiques de la campagne précédente

Contrôle	Résultat	Critère d'acceptation
Acétate d'éthyle par chromatographie en phase gazeuse	98,0 % m/m	Au moins 98,0 % m/m
Eau par Karl Fischer	0,18 % m/m	Au plus 0,20 % m/m
Aspect visuel	Liquide limpide, sans phase visible	Liquide limpide, sans phase visible
Température de réaction maximale enregistrée	79 °C	Consigne : 78 °C ; seuil d'alerte : 82 °C

Échantillon prélevé sur le produit fini du lot étudié

3.1 (2 points) Rédigez, dans le DR 1, les étapes essentielles et ordonnées de préparation, de chargement, de réaction, de séparation et de conditionnement du lot. Pour chaque étape, indiquez au moins un paramètre à surveiller ou une vérification à consigner. Ne proposez pas de consigne de manipulation incompatible avec les fiches de données de sécurité.

3.2 (1,5 point) Choisissez, parmi les techniques indiquées, une méthode adaptée au dosage de l'acétate d'éthyle et une méthode adaptée à la teneur en eau. Pour chacune, précisez le mesurande et la décision de conformité à appliquer au regard du cahier des charges.

3.3 (1 point) Interprétez les résultats analytiques de la campagne précédente. Concluez séparément sur le dosage, la teneur en eau et l'aspect. Indiquez si le produit peut être libéré sur la base des seuls critères fournis.

3.4 (1,5 point) Pour le résultat de température maximale égal à 79 °C, indiquez l'action immédiate de suivi à effectuer et les éléments à consigner. Proposez une action corrective à examiner si la température continue d'augmenter vers le seuil d'alerte de 82 °C.

PARTIE 4 : Prévention, sécurité et amélioration environnementale (4 points)

Appliquer la prévention des risques et proposer une action de chimie durable

L'éthanol et l'acétate d'éthyle sont des liquides inflammables. L'acide éthanoïque concentré et l'acide sulfurique présentent des dangers de corrosion. Les vapeurs organiques peuvent former une atmosphère dangereuse en présence d'une source d'inflammation. Les consignes locales, les fiches de données de sécurité et l'évaluation des risques de l'établissement s'appliquent.

Les principes réglementaires pertinents comprennent notamment l'étiquetage et la classification des substances et mélanges selon le règlement CLP, la maîtrise de l'exposition professionnelle selon le Code du travail, et l'évaluation du risque d'atmosphère explosive selon les dispositions applicables aux zones ATEX. Les mesures précises sont définies par l'employeur à partir de l'évaluation des risques et des documents de sécurité du site.

Situations de travail à analyser

Situation	Danger principal	Donnée de situation
Transfert d'éthanol vers le réacteur	Inflammabilité et émission de vapeurs	Transfert fermé prévu par la procédure du site
Ajout de l'acide sulfurique	Corrosivité et échauffement local possible	Ajout contrôlé selon la procédure locale
Ouverture d'une ligne après distillation	Présence possible de liquide ou de vapeurs résiduels	Vérification de l'isolement et de la consignation requise
Nettoyage et gestion des résidus	Exposition chimique et génération de déchets	Tri et filière définis par les procédures du site

Extraits de l'analyse de risques propre à l'atelier

4.1 (1,5 point) Pour le transfert d'éthanol et l'ajout d'acide sulfurique, identifiez un danger et une situation d'exposition pour chaque opération. Proposez, pour chacune, deux mesures de prévention cohérentes avec la hiérarchie des mesures de prévention : priorité aux moyens collectifs et aux mesures techniques, puis aux procédures et aux équipements de protection individuelle adaptés.

4.2 (1 point) Indiquez les vérifications à effectuer avant une intervention sur une ligne après distillation. Votre réponse doit mentionner l'isolement de l'installation, la consignation selon la procédure du site et la vérification de l'absence de danger résiduel avant ouverture.

4.3 (1,5 point) Proposez une action d'amélioration relevant de la chimie verte ou de la réduction des impacts environnementaux pour cette fabrication. Reliez votre proposition à un indicateur mesurable, par exemple la consommation de vapeur par kilogramme de produit conforme, la consommation d'eau de refroidissement ou la masse de résidus par lot. Précisez un point de vigilance afin que l'amélioration ne dégrade ni la sécurité ni la qualité du produit.

DOSSIER TECHNIQUE ET RESSOURCES

Documents ressources nécessaires à la résolution du sujet

DT 1 : SCHÉMA D'IMPLANTATION FONCTIONNEL ET CARACTÉRISTIQUES DE L'INSTALLATION

Le schéma représente les principaux équipements de l'atelier pilote. Il est fonctionnel et non destiné à la construction. Les dimensions indiquées sur le réacteur sont des dimensions nominales de l'enveloppe. Le réacteur possède une enveloppe de chauffage et de refroidissement, un agitateur, une sonde de température et une ligne de transfert vers la colonne de séparation.

Repères : 1, réacteur agité ; 2, condenseur ; 3, colonne de distillation ; 4, ballon récepteur de produit ; 5, circuit d'eau de refroidissement. Les alimentations matières et les utilités sont représentées de manière schématique. Les vannes, évents, soupapes et dispositifs de sécurité sont ceux définis par les plans et procédures approuvés de l'installation.

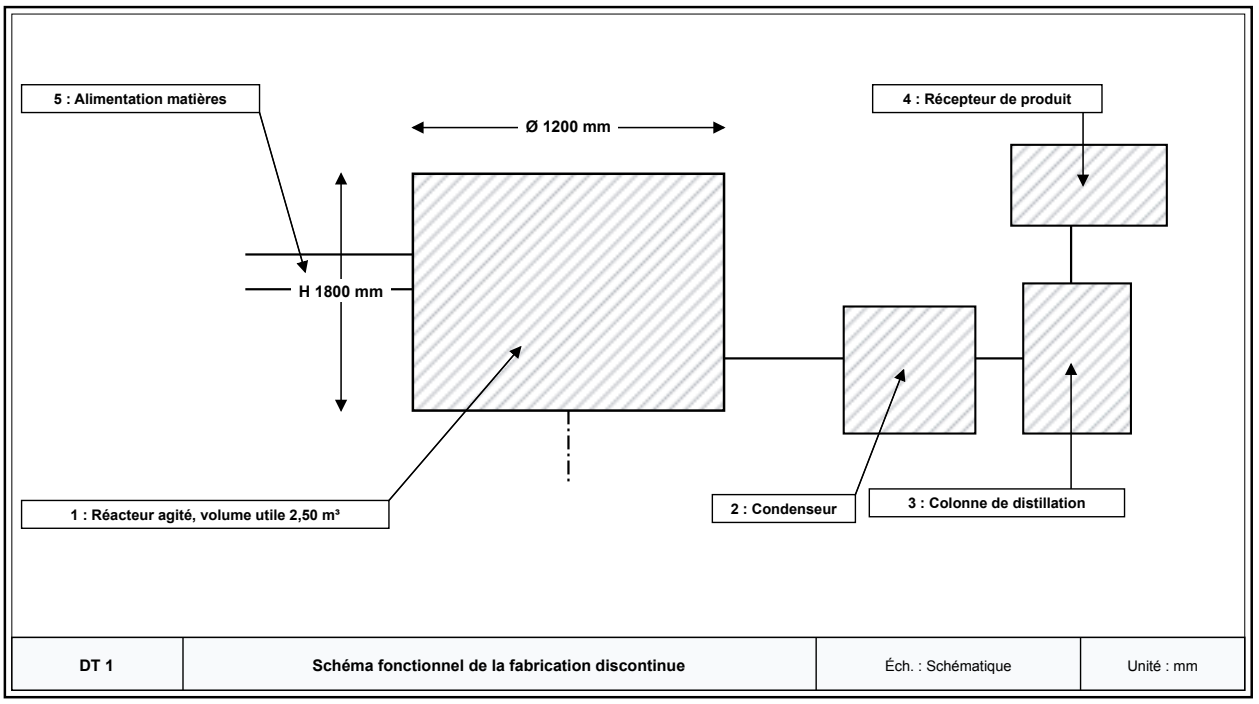


Schéma fonctionnel sans valeur d'échelle ; les cotes du réacteur sont nominales

Équipements et paramètres nominaux

Équipement ou paramètre	Caractéristique	Fonction
Réacteur agité	Volume utile 2,50 m³ ; température maximale de service selon plaque signalétique	Réaliser et suivre la réaction
Agitateur	Vitesse de consigne définie par la procédure de lot	Homogénéiser le milieu réactionnel
Sonde de température	Lecture en continu et enregistrement des valeurs	Suivre la température du lot
Colonne de distillation	Pression atmosphérique pour le scénario étudié	Séparer le produit des fractions non conformes ou résiduelles
Condenseur	Eau de refroidissement disponible entre 18 °C et 28 °C selon la charge	Condensation des vapeurs de tête
Récepteur	Masse du produit fini du lot : 780 kg	Collecter le produit séparé avant contrôle qualité

Données de l'atelier pilote pour l'étude du lot

DT 2 : CAHIER DES CHARGES, DONNÉES ANALYTIQUES ET CRITÈRES DE CONFORMITÉ

Le cahier des charges client et les résultats ci-dessous sont les données de référence pour l'étude. Le dosage du constituant organique est exprimé en fraction massique. Les décisions de conformité se prennent en tenant compte des critères indiqués et de la procédure de contrôle qualité applicable au site.

La chromatographie en phase gazeuse permet de séparer et quantifier les constituants volatils avec une méthode étalonnée. La méthode de Karl Fischer est adaptée au dosage de l'eau. Le prélèvement doit être représentatif, identifié et réalisé selon la procédure de l'établissement.

Spécifications client et méthodes de contrôle

Caractéristique	Méthode de contrôle	Exigence
Fraction massique en acétate d'éthyle	Chromatographie en phase gazeuse étalonnée	Au moins 98,0 % m/m
Fraction massique en eau	Titrage Karl Fischer	Au plus 0,20 % m/m
Aspect	Examen visuel selon la procédure du site	Liquide limpide, sans phase visible
Traçabilité	Dossier de lot	Matières, paramètres critiques, prélèvements et décisions enregistrés

Exigences du lot de produit fini

Résultats de la campagne étudiée

Mesure	Résultat	Unité
Masse finale de produit recueillie	780	kg
Dosage en acétate d'éthyle	98,0	% m/m
Teneur en eau	0,18	% m/m
Aspect	Limpide, sans phase visible	Observation
Température maximale enregistrée	79	°C

Données fournies pour l'interprétation en partie 3

DT 3 : CONDUITE, PRÉVENTION DES RISQUES ET REPÈRES RÉGLEMENTAIRES

La fabrication est conduite par lot sous la responsabilité de l'encadrement de production. Les quantités, les numéros de lots des matières premières, les réglages, les relevés et les écarts sont consignés dans le dossier de lot. Toute modification des consignes ou tout écart doit être signalé et traité selon les procédures de l'établissement.

Les dangers sont évalués à partir des fiches de données de sécurité des substances et des mélanges effectivement utilisés. La classification, l'étiquetage et l'emballage relèvent du règlement CLP. Les obligations de prévention de l'exposition professionnelle relèvent du Code du travail. La prévention des risques d'explosion est fondée sur l'évaluation du risque d'atmosphère explosive et les dispositions ATEX applicables au site. Les équipements de protection individuelle sont définis par l'évaluation des risques, les fiches de données de sécurité et les consignes de poste.

Les quantités de déchets, les résidus de distillation et les eaux de nettoyage sont séparés et orientés vers les filières autorisées définies par le site. Aucune valeur limite de rejet ou d'exposition non fournie dans les documents de l'établissement ne doit être supposée.

Points de contrôle de conduite et prévention

Phase	Contrôle ou risque	Action de suivi attendue
Avant chargement	Identification des matières et état des équipements	Vérifier les étiquettes, les documents de lot et la disponibilité des équipements
Transfert des réactifs	Déversement, vapeurs inflammables ou contact corrosif	Appliquer le transfert fermé et les consignes de poste ; vérifier les raccordements
Réaction	Écart de température ou anomalie d'agitation	Suivre les valeurs enregistrées et alerter en cas d'écart
Distillation	Vapeurs inflammables, pression ou défaut de refroidissement	Surveiller les paramètres prévus et la disponibilité des utilités
Intervention et nettoyage	Énergie résiduelle et résidus chimiques	Isoler et consigner selon la procédure, puis gérer les résidus par la filière prévue
Fin de lot	Conformité et traçabilité	Enregistrer les analyses, les écarts et la décision de libération

Repères à intégrer au suivi du lot

NE RIEN ÉCRIRE DANS CETTE PARTIE

DR 1 : Document réponse à rendre avec la copie : Questions 3.1 et 3.4 **À RENDRE AVEC LA COPIE**

Compléter les tableaux avec des réponses lisibles et ordonnées. Ajouter des étapes ou des contrôles si nécessaire. Toute proposition de conduite doit rester compatible avec les données du sujet, les procédures de l'établissement et les fiches de données de sécurité applicables.

Préparation et suivi du lot

Étape	Opération ou vérification à effectuer	Paramètre ou preuve à consigner
1. Préparation de l'installation	.....	.....
2. Vérification et identification des matières	.....	.....
3. Chargement du réacteur	.....	.....
4. Conduite de la réaction	.....	.....
5. Séparation par distillation	.....	.....
6. Prélèvement, contrôle et conditionnement	.....	.....

Traitement d'un écart de température

Élément de suivi	Réponse du candidat
Action immédiate à 79 °C	.....
Données à consigner et personne à informer	.....
Action corrective à examiner avant d'atteindre 82 °C	.....

Cadre réservé aux justifications, calculs complémentaires ou schémas du candidat :

NE RIEN ÉCRIRE DANS CETTE PARTIE

DR 2 : Document réponse à rendre avec la copie : Questions 1.2, 2.1 à 2.5 et 4.1 à 4.3 — **À RENDRE AVEC LA COPIE**

Compléter les cases demandées et faire apparaître les relations, les unités et les étapes de calcul. Les réponses de prévention doivent distinguer le danger, la situation d'exposition et les mesures de prévention.

Tableau de calcul des bilans et indicateurs de production

Grandeur recherchée	Relation utilisée	Application numérique et résultat avec unité
Quantité de matière d'éthanol	.....	.....
Quantité de matière d'acide éthanoïque	.....	.....
Réactif limitant	.....	.....
Masse théorique d'acétate d'éthyle formée	.....	.....
Masse d'acétate d'éthyle dans le produit fini	.....	.....
Taux de récupération	.....	.....
Volume de produit fini	.....	.....
Masse d'eau de refroidissement	.....	.....

Analyse synthétique des risques et de l'amélioration

Opération ou thème	Danger ou indicateur	Mesures, décision ou proposition du candidat
Transfert d'éthanol	.....	.....
Ajout d'acide sulfurique	.....	.....
Intervention sur une ligne après distillation	.....	.....
Amélioration environnementale et indicateur mesurable	.....	.....

Cadre réservé aux justifications, calculs complémentaires ou schémas du candidat :

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

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.