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 en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
formav.co/explorer

BACHELOR UNIVERSITAIRE DE TECHNOLOGIE

**GÉNIE CHIMIQUE - GÉNIE DES PROCÉDÉS, PARCOURS CONCEPTION DES PROCÉDÉS ET INNOVATION TECHNOLOGIQUE**

# ÉVALUATION DE LA COMPÉTENCE C4 : DÉVELOPPER ET AMÉLIORER DES PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DE LA MATIÈRE ET DE L'ÉNERGIE PAR VOIE CHIMIQUE OU BIOLOGIQUE

SESSION 2026

Durée : 3 heures

| SPÉCIALITÉ / UNITÉ | COEFF |
|---|---|
| GÉNIE CHIMIQUE - GÉNIE DES PROCÉDÉS, PARCOURS CONCEPTION DES PROCÉDÉS ET INNOVATION TECHNOLOGIQUE | 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 14 pages numérotées de 1/14 à 14/14.

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

# DOSSIER SUJET

## MISE EN SITUATION PROFESSIONNELLE ET CAHIER DES CHARGES : PILOTERIE DE VAL-DE-RIVE, UNITÉ PILOTE DE DÉVELOPPEMENT DES PROCÉDÉS, ZONE INDUSTRIELLE DE SAINT-QUENTIN-FALLAVIER, ISÈRE

**Cadre de l'évaluation :** la compétence C4 figure dans le référentiel national du BUT GCGP. Le référentiel national ne définit pas d'épreuve écrite autonome portant ce nom ni de code national de sujet. Les modalités de contrôle, la durée et le coefficient d'une évaluation relèvent des modalités de contrôle des connaissances et des compétences de l'établissement. La durée et le coefficient indicatif indiqués sur ce sujet sont ceux retenus pour cette évaluation.

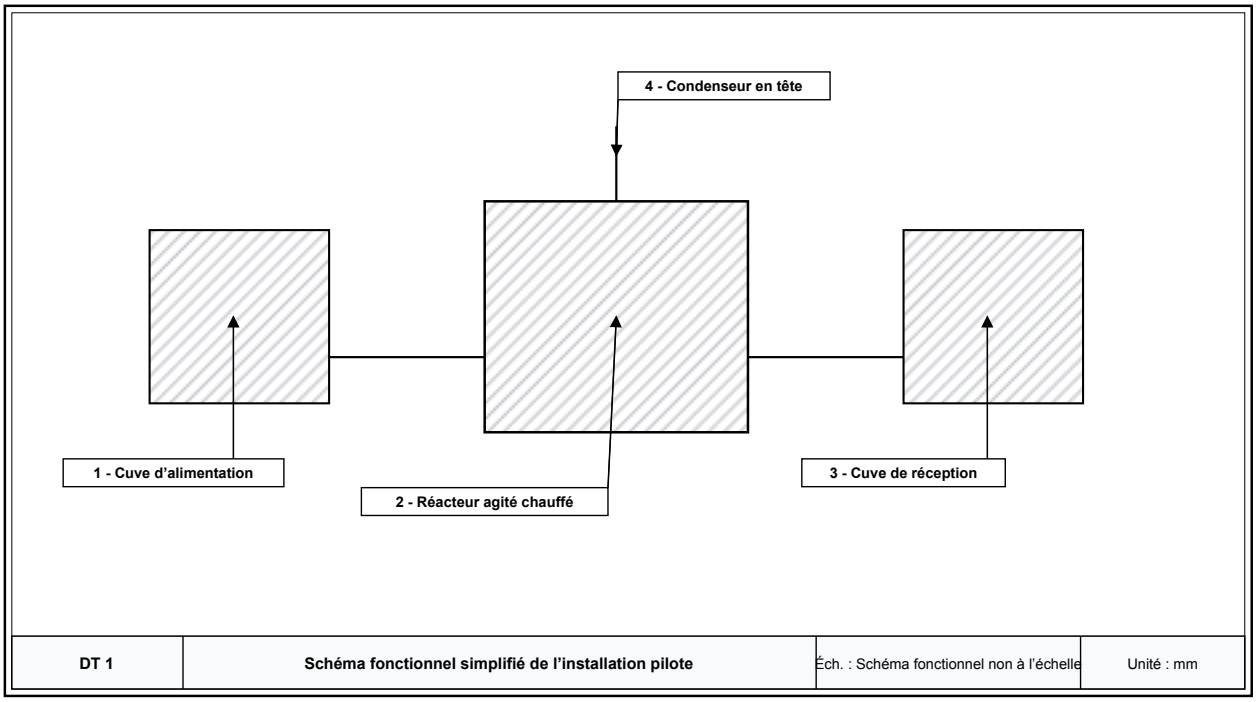
La Piloterie de Val-de-Rive étudie la production discontinue d'éthanoate d'éthyle par estérification de l'acide éthanoïque par l'éthanol. L'équipe souhaite comparer deux températures et deux charges de catalyseur acide, puis retenir des conditions de fonctionnement adaptées à une campagne pilote. Le réacteur disponible est une cuve agitée chauffée, de volume utile maximal 150 L, équipée d'un condenseur, d'une sonde de température et d'une couverture isolante.

**Cahier des charges :** traiter une charge nominale de 60,0 kg d'acide éthanoïque et 55,2 kg d'éthanol ; viser une conversion de l'acide éthanoïque d'au moins 75 % ; ne pas dépasser 70 °C en fonctionnement normal ; limiter les pertes thermiques et maîtriser les risques liés aux produits inflammables et corrosifs. Toute proposition de modification doit être justifiée par les données du dossier technique. Les réponses et calculs seront consignés sur la copie et, pour les tableaux indiqués, sur les documents réponse.

## PARTIE 1 : ANALYSE FONCTIONNELLE ET RÉGLEMENTAIRE (4 points)

***Définir le système, ses fonctions, ses paramètres critiques et les exigences de prévention applicables***

À partir du contexte et des documents DT 1 et DT 3, analysez le procédé au stade pilote. Les informations réglementaires du dossier constituent les éléments nécessaires à cette étude. Ne supposez pas qu'un classement ATEX ou une conformité d'installation est acquis : les éléments disponibles doivent être vérifiés par l'exploitant compétent.




*Repérage des équipements et des principaux flux. Schéma de principe, non destiné à l'exécution.*

**1.1** (1,5 point) Établissez la fonction principale du procédé et identifiez les trois flux de matière principaux attendus entre l'alimentation et la réception. Indiquez deux paramètres de fonctionnement à suivre pendant la réaction et associez à chacun une raison de suivi.

**1.2** (1,5 point) À partir du DT 3, relevez deux dangers pertinents pour cette opération et proposez, pour chacun, une mesure de prévention technique ou organisationnelle. Distinguez clairement danger et mesure de prévention.

**1.3** (1 point) Complétez dans le DR 1 les fonctions attendues des organes repérés 1 à 4 sur le schéma du DT 1. Pour le condenseur, précisez le rôle de la récupération des vapeurs dans cette opération.

## PARTIE 2 : ÉTUDE TECHNOLOGIQUE, BILANS ET OPTIMISATION (6,5 points)

***Exploiter les données expérimentales, établir un bilan matière et estimer les besoins énergétiques et le coût matière***

La réaction étudiée est l'estérification suivante : $\mathrm{CH_3COOH + C_2H_5OH \rightleftharpoons CH_3COOC_2H_5 + H_2O}$. Les masses molaires et les données de fonctionnement sont fournies dans le DT 2. Pour les bilans, on considérera une conversion de l'acide éthanoïque de 80 %, une stœchiométrie 1:1 et l'absence de réactions secondaires. Le catalyseur n'est pas consommé par la réaction et sa masse est ajoutée à la masse totale entrante.

**Plan factoriel complet et résultats de conversion**

| Essai | Température (°C) | Catalyseur ( % massique des réactifs) | Conversion de l'acide éthanoïque (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | 60 | 0,5 | 68 |
| 2 | 60 | 1,0 | 75 |
| 3 | 70 | 0,5 | 78 |
| 4 | 70 | 1,0 | 88 |

**2.1** (2 points) Pour la charge nominale, calculez les quantités de matière initiales d'acide éthanoïque et d'éthanol, puis identifiez le réactif limitant. À 80 % de conversion de l'acide, calculez les masses d'éthanoate d'éthyle, d'eau, d'acide éthanoïque résiduel et d'éthanol résiduel. Présentez les résultats avec une précision adaptée et vérifiez la fermeture du bilan de masse en incluant le catalyseur.

**2.2** (1,5 point) La cuve est isolée par une couche d'épaisseur $e = 0{,}050\,\mathrm{m}$ et de conductivité thermique $\lambda = 0{,}040\,\mathrm{W\,m^{-1}\,K^{-1}}$. Calculez la résistance thermique surfacique $R = e/\lambda$. Estimez ensuite l'énergie utile nécessaire pour porter la charge complète de 20 °C à 70 °C avec une capacité thermique massique moyenne de $2{,}8\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}\,K^{-1}}$. La masse à chauffer est la somme des deux réactifs et du catalyseur. La question ne demande pas d'intégrer les pertes thermiques à cette énergie utile.

**2.3** (2 points) À partir des quatre essais du DT 2, calculez l'effet moyen de la température et l'effet moyen de la charge en catalyseur sur la conversion, en points de pourcentage. Pour chaque facteur, comparez la moyenne des réponses au niveau haut à celle du niveau bas. Calculez également l'interaction selon $I = \frac{y_{--} + y_{++} - y_{-+} - y_{+-}}{2}$, en associant les essais aux niveaux de facteurs du tableau. Interprétez les résultats et proposez les conditions à retenir pour une confirmation expérimentale.

**2.4** (1 point) Calculez le coût des deux réactifs et du catalyseur pour la charge nominale, à l'aide des prix du DT 2. Calculez ensuite le coût matière direct par kilogramme d'éthanoate d'éthyle théoriquement obtenu à 80 % de conversion. Précisez une limite de cette estimation économique.

## PARTIE 3 : PRÉPARATION DE LA CAMPAGNE D'ESSAIS ET PROTOCOLE OPÉRATOIRE (5,5 points)

***Préparer une expérimentation traçable et transférable à l'échelle pilote***

La responsable de développement demande une campagne de confirmation des conditions sélectionnées, suivie d'un essai de répétabilité. Le protocole doit permettre de comparer les essais, de limiter les dérives et de disposer de données exploitables pour une décision d'industrialisation. La cuve a un volume utile maximal de 150 L. Les volumes initiaux peuvent être estimés à partir des masses et des masses volumiques du DT 2 ; on négligera la contraction ou la dilatation des mélanges pour le contrôle préalable du remplissage.

**Fiche de préparation de la campagne à compléter**

| Élément de préparation | Donnée ou action retenue | Critère de suivi ou d'acceptation |
|---|---|---|
| Conditions de l'essai de confirmation | ..... | ..... |
| Ordre de chargement et contrôle préalable | ..... | ..... |
| Données à relever pendant l'essai | ..... | ..... |
| Condition de répétabilité | ..... | ..... |

**3.1** (2 points) Rédigez un protocole opératoire synthétique pour l'essai de confirmation. Il doit préciser au minimum les vérifications avant démarrage, l'ordre de chargement, la mise en agitation et en chauffe, le suivi de la réaction, les critères d'arrêt et les opérations de fin d'essai. Ne proposez pas de consigne incompatible avec la température maximale de 70 °C ou les informations de sécurité du DT 3.

**3.2** (1,5 point) Estimez le volume initial total des deux réactifs à l'aide des masses volumiques du DT 2, puis calculez le taux d'occupation de la cuve de 150 L. Indiquez si la charge respecte la limite de volume utile et citez une raison opérationnelle de ne pas exploiter une cuve jusqu'à son volume maximal sans marge.

**3.3** (1 point) Indiquez quatre grandeurs ou observations à enregistrer pendant la campagne, dont au moins une donnée permettant de suivre la conversion et une donnée permettant de documenter la consommation énergétique. Proposez une unité ou une méthode de consignation pour chacune.

**3.4** (1 point) Complétez le DR 2 en établissant la nomenclature de la charge nominale et en reportant le volume initial calculé, le taux d'occupation et les consignes principales de l'essai. Les prix unitaires et données de base figurent au DT 2.

## PARTIE 4 : PRÉVENTION, SÉCURITÉ ET PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (4 points)

***Identifier les scénarios de risque et définir des mesures de maîtrise adaptées au stade pilote***

Le DT 3 fournit les informations de danger et les éléments de cadre réglementaire utiles. Les mesures proposées doivent correspondre aux situations décrites. La présence de liquides inflammables ne suffit pas, à elle seule, à conclure sur le zonage d'une installation : celui-ci relève d'une analyse de risque et des vérifications réalisées par l'exploitant.

**Situations de travail et éléments de prévention**

| Situation | Danger ou dommage redouté | Mesure de prévention ou de protection à proposer |
|---|---|---|
| Transfert d'éthanol vers la cuve | Évaporation, inflammation ou exposition | À compléter par le candidat |
| Chargement du catalyseur acide | Projection ou contact corrosif | À compléter par le candidat |
| Chauffage et fonctionnement du réacteur | Surtempérature ou émission de vapeurs | À compléter par le candidat |
| Fin d'essai et gestion des résidus | Exposition ou rejet inadapté | À compléter par le candidat |

**4.1** (2 points) Complétez le tableau de prévention du DR 1 pour les quatre situations. Pour chaque ligne, formulez un dommage redouté cohérent et une mesure concrète applicable à l'échelle pilote. Au moins une mesure doit porter sur la maîtrise des sources d'inflammation et une autre sur la protection contre les projections corrosives.

**4.2** (1 point) Une hausse anormale de température est constatée pendant la chauffe. Décrivez les premières actions à engager pour mettre l'installation en sécurité, alerter les personnes concernées et préserver la traçabilité de l'événement. Les actions doivent rester dans le cadre des consignes locales et des habilitations de l'opérateur.

**4.3** (1 point) Proposez une filière de gestion adaptée pour le mélange réactionnel résiduel et les contenants souillés. Indiquez pourquoi leur rejet direct au réseau d'eaux usées est inadapté et donnez une information à consigner pour assurer la traçabilité environnementale.

# DOSSIER TECHNIQUE ET RESSOURCES

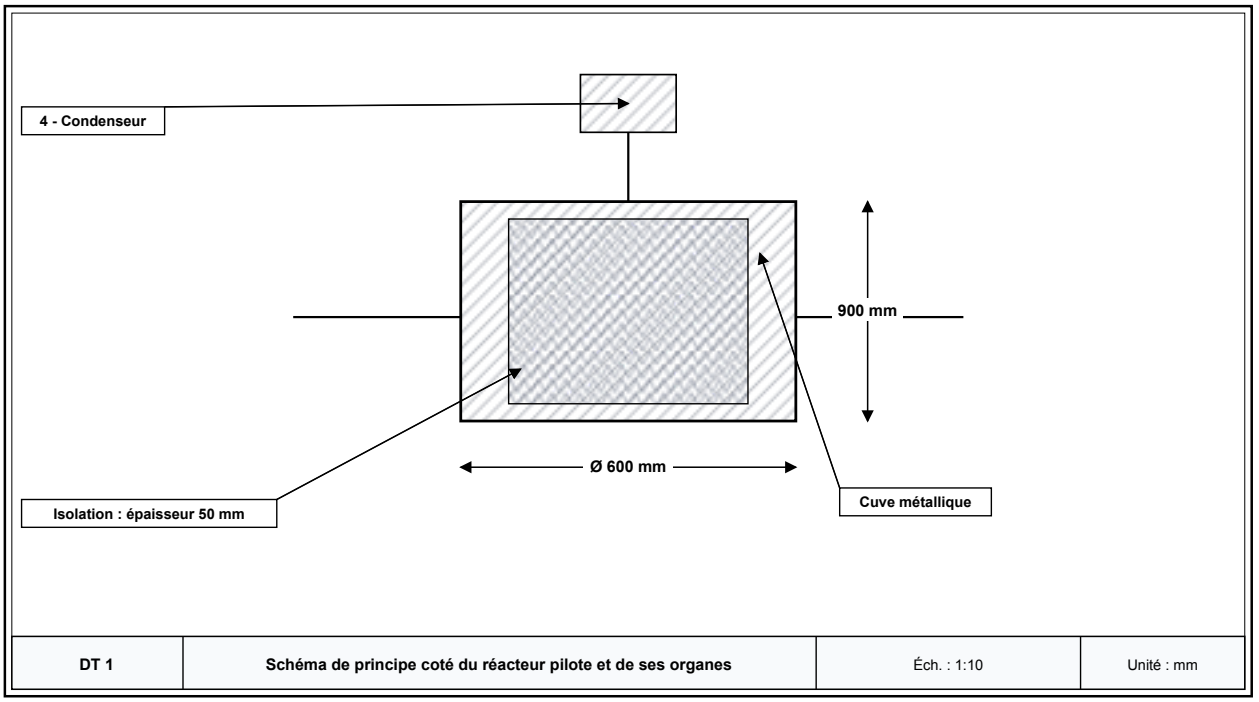
Documents ressources nécessaires à la résolution du sujet

## **DT 1** : INSTALLATION PILOTE ET DESCRIPTION FONCTIONNELLE DU PROCÉDÉ

**Réaction étudiée :** $\mathrm{CH_3COOH + C_2H_5OH \rightleftharpoons CH_3COOC_2H_5 + H_2O}$. La réaction est conduite en discontinu dans une cuve agitée chauffée. Un catalyseur acide est ajouté à la charge. Les vapeurs susceptibles de quitter la cuve passent par un condenseur ; les condensats sont recueillis dans le circuit de réception prévu par l'installation.

**Équipements repérés :** 1, cuve d'alimentation ; 2, réacteur agité équipé d'un chauffage, d'une sonde de température et d'une couverture isolante ; 3, cuve de réception ; 4, condenseur en tête. Les lignes de transfert, la ventilation, les dispositifs d'arrêt et les moyens de rétention doivent être vérifiés sur l'installation réelle avant une campagne.

**Limites d'exploitation pour le sujet :** volume utile maximal du réacteur, 150 L ; température maximale autorisée pour l'essai, 70 °C ; température initiale de référence, 20 °C. Le schéma de principe ne remplace pas les plans, instructions d'exploitation, analyses de risques ou vérifications de l'installation.




*Représentation fonctionnelle simplifiée. Les cotes principales sont des données d'identification de l'équipement, non des instructions de fabrication.*

## **DT 2** : DONNÉES PHYSICO-CHIMIQUES, ESSAIS PRÉLIMINAIRES ET DONNÉES ÉCONOMIQUES

Les valeurs ci-dessous sont les données de travail de cette étude pilote. Les masses molaires sont utilisées pour les calculs de bilan matière. Les volumes sont estimés par $V = m/\rho$. Les coûts sont des prix d'achat directs et ne comprennent ni énergie, ni main-d'œuvre, ni traitement des effluents, ni coûts fixes.

**Données de calcul et de fonctionnement**

| Grandeur | Valeur | Unité ou précision |
|---|---|---|
| Masse molaire de l'acide éthanoïque | 60,05 | $kg \cdot kmol^{-1}$ |
| Masse molaire de l'éthanol | 46,07 | $kg \cdot kmol^{-1}$ |
| Masse molaire de l'éthanoate d'éthyle | 88,11 | $kg \cdot kmol^{-1}$ |
| Masse molaire de l'eau | 18,015 | $kg \cdot kmol^{-1}$ |
| Masse volumique de l'acide éthanoïque | 1,05 | $kg \cdot L^{-1}$ |
| Masse volumique de l'éthanol | 0,789 | $kg \cdot L^{-1}$ |
| Charge nominale d'acide éthanoïque | 60,0 | kg |
| Charge nominale d'éthanol | 55,2 | kg |
| Charge de catalyseur | 0,50 | % de la masse totale des deux réactifs |
| Capacité thermique massique moyenne | 2,8 | $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ |
| Épaisseur d'isolation | 0,050 | m |
| Conductivité thermique de l'isolation | 0,040 | $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ |
| Prix d'achat de l'acide éthanoïque | 1,20 | $€ \cdot kg^{-1}$ |
| Prix d'achat de l'éthanol | 1,05 | $€ \cdot kg^{-1}$ |
| Prix d'achat du catalyseur | 8,00 | $€ \cdot kg^{-1}$ |
| Volume utile maximal du réacteur | 150 | L |

**Résultats des essais préliminaires du plan factoriel $2^2$**

| Essai | Température (°C) | Charge de catalyseur (% des réactifs) | Conversion mesurée de l'acide éthanoïque (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | 60 | 0,5 | 68 |
| 2 | 60 | 1,0 | 75 |
| 3 | 70 | 0,5 | 78 |
| 4 | 70 | 1,0 | 88 |

## **DT 3** : INFORMATIONS DE SÉCURITÉ, PRÉVENTION ET CADRE RÉGLEMENTAIRE DE RÉFÉRENCE

**Informations de danger communiquées pour l'étude :** l'éthanol est un liquide et des vapeurs inflammables ; éviter les sources d'inflammation, prévenir l'accumulation de vapeurs et limiter l'exposition. L'acide éthanoïque concentré et le catalyseur acide sont susceptibles de provoquer des brûlures et des lésions en cas de contact ou de projection ; les fiches de données de sécurité du fournisseur doivent être consultées pour les mesures précises de premiers secours et de compatibilité des équipements de protection.

**Mesures à vérifier avant l'essai :** ventilation adaptée, mise à la terre et équipotentialité des équipements concernés selon l'analyse de risque, intégrité des flexibles et raccords, disponibilité des rétentions et moyens d'intervention, port des équipements de protection définis par l'évaluation des risques, vérification de la sonde et des dispositifs de limitation de température, accès aux consignes d'urgence et aux fiches de données de sécurité. Les opérations de chargement et de prélèvement sont réalisées par du personnel formé, selon les procédures locales.

**Cadre de référence :** règlement (CE) n° 1272/2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et mélanges ; directive 1999/92/CE relative à la protection des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosives ; directive 2014/34/UE relative aux appareils et systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles ; dispositions applicables du Code du travail français concernant la prévention des risques chimiques et des atmosphères explosives. L'exploitant détermine les exigences applicables à son installation à partir de son évaluation des risques, des FDS, des caractéristiques des équipements et des conditions réelles d'exploitation.

**Consigne environnementale :** les résidus de réaction, eaux de lavage et emballages souillés sont caractérisés et gérés selon les procédures du site et les filières autorisées. Aucun rejet direct au réseau d'eaux usées n'est prévu par le présent sujet.

**Dangers et points de vigilance à prendre en compte**

| Produit ou opération | Danger principal communiqué | Vigilance opérationnelle |
|---|---|---|
| Éthanol et transfert | Liquide et vapeurs inflammables | Éviter les sources d'inflammation, maîtriser les transferts et limiter les émissions |
| Acide éthanoïque et catalyseur acide | Brûlures et lésions possibles par contact ou projection | Consulter les FDS et appliquer les protections définies par l'évaluation des risques |
| Chauffage du réacteur | Surtempérature et émission potentielle de vapeurs | Surveiller la température, vérifier la sonde et appliquer les consignes locales |
| Résidus et matériels souillés | Exposition et contamination de l'environnement | Collecter, identifier et orienter vers une filière autorisée |

**NE RIEN ÉCRIRE DANS CETTE PARTIE**

**DR 1** : Document réponse à rendre avec la copie : questions 1.3, 4.1 et 4.3 | **À RENDRE AVEC LA COPIE**

Complétez directement les tableaux. Pour chaque proposition, formulez une réponse précise et adaptée à l'installation pilote décrite. Les tableaux peuvent être poursuivis sur la copie si nécessaire.

### Fonctions des organes repérés sur le DT 1

| Repère | Organe | Fonction dans l'installation |
|---|---|---|
| 1 | Cuve d'alimentation | ..... |
| 2 | Réacteur agité chauffé | ..... |
| 3 | Cuve de réception | ..... |
| 4 | Condenseur en tête | ..... |

### Analyse des situations et mesures de prévention

| Situation | Dommage redouté | Mesure de prévention ou de protection |
|---|---|---|
| Transfert d'éthanol vers la cuve | ..... | ..... |
| Chargement du catalyseur acide | ..... | ..... |
| Chauffage et fonctionnement du réacteur | ..... | ..... |
| Fin d'essai et gestion des résidus | ..... | ..... |

### Traçabilité environnementale des résidus

| Résidu ou matériel souillé | Collecte ou filière proposée | Information à consigner |
|---|---|---|
| Mélange réactionnel résiduel | ..... | ..... |
| Contenants ou matériels souillés | ..... | ..... |

**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 3.2 et 3.4 **À RENDRE AVEC LA COPIE**

Complétez les cases marquées « ... » en indiquant les unités et les hypothèses utiles. Les calculs intermédiaires peuvent être présentés sur la copie.

**Nomenclature et contrôle préalable de la charge nominale**

| Constituant | Masse (kg) | Prix unitaire (€/kg) | Coût matière (€) | Volume estimé (L) |
|---|---|---|---|---|
| Acide éthanoïque | 60,0 | 1,20 | ..... | ..... |
| Éthanol | 55,2 | 1,05 | ..... | ..... |
| Catalyseur acide | ..... | 8,00 | ..... | Non calculé |
| Total | ..... | Non applicable | ..... | ..... |

**Fiche synthétique de préparation de l'essai**

| Paramètre | Valeur ou consigne à reporter |
|---|---|
| Température retenue pour la confirmation | ..... |
| Charge de catalyseur retenue | ..... |
| Conversion cible minimale | 75 % |
| Volume initial estimé des réactifs | ..... |
| Taux d'occupation de la cuve de 150 L | ..... |
| Température maximale à ne pas dépasser | 70 °C |
| Grandeurs à enregistrer pendant l'essai | ..... |

**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.