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

ÉVALUATION DE COMPÉTENCE C9 : OPTIMISER LA PRODUCTION D'UNE INSTALLATION INDUSTRIELLE 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	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 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

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

DOSSIER SUJET

MISE EN SITUATION PROFESSIONNELLE ET CAHIER DES CHARGES : CITRANORD PROCÉDÉS, ATELIER DE FORMULATION DE SOLUTIONS DE CITRATE, ZONE INDUSTRIELLE DE DUNKERQUE, NORD

L'atelier CitraNord Procédés fabrique une solution aqueuse de citrate trisodique par neutralisation continue d'acide citrique par une solution de soude, suivie d'une filtration de sécurité et d'un stockage tampon. Vous intervenez comme technicien ou technicienne procédés afin d'étudier une augmentation de production de 10 % sans dégrader la qualité, la sécurité des opérateurs ni la disponibilité de l'installation.

La réaction principale est : $\mathrm{C_6H_8O_7 + 3\,NaOH \rightarrow Na_3C_6H_5O_7 + 3\,H_2O}$. Les débits indiqués dans le dossier sont des valeurs massiques moyennes en régime établi. Sauf indication contraire, les pertes de matière sont négligées et les propriétés physiques sont supposées constantes sur la plage étudiée.

Le cahier des charges de l'étude est le suivant : débit d'acide citrique en solution augmenté de 10 % au maximum ; temps de séjour moyen dans le réacteur d'au moins 1,75 h ; débit à la filtration inférieur ou égal à 1 400 kg/h ; température de sortie du réacteur maintenue à $40\ ^\circ\mathrm{C}$; puissance de chauffage disponible inférieure ou égale à 4,0 kW ; solution produite conforme à la spécification interne de pH comprise entre 7,0 et 8,0 après contrôle de libération.

Le sujet comporte quatre parties indépendantes dans leur notation. Les résultats numériques seront accompagnés des unités et d'un arrondi adapté. Les hypothèses retenues devront être indiquées lorsqu'elles influent sur le résultat.

PARTIE 1 : Analyse fonctionnelle et réglementaire (5 points)

Décrire le procédé, identifier les contraintes de production et structurer l'analyse des risques

À partir du DT 1 et du DT 3, analyser l'installation et son fonctionnement actuel avant toute modification. Les équipements sont exploités en continu, à pression atmosphérique, hors opérations de nettoyage et de maintenance.

Données principales de conduite et critères de décision

Paramètre	Valeur actuelle ou limite	Critère après optimisation
Débit de solution d'acide citrique	800 kg/h	Hausse maximale de 10 %
Temps de séjour moyen minimal	Non vérifié	1,75 h
Débit maximal à la filtration	1 400 kg/h	Ne pas dépasser
Température de sortie du réacteur	40 °C	40 °C
Puissance maximale de chauffage	4,0 kW	Ne pas dépasser
pH de libération du produit	7,0 à 8,0	Respecter la spécification

Cahier des charges de l'étude, données de l'atelier

1.1 (1,5 point) À partir du DT 1, décrire la fonction de chacun des équipements R-101, E-101 et F-101 dans la chaîne de production. Présenter le cheminement des deux réactifs jusqu'au produit filtré et préciser où sont réalisées la mesure de température et la mesure de pH.

1.2 (1,5 point) Identifier trois indicateurs de performance pertinents pour décider si l'augmentation de production est acceptable. Pour chacun, donner sa définition ou son unité et le critère correspondant issu du cahier des charges ou des données du dossier.

1.3 (2 points) En vous appuyant sur le DT 3, compléter dans le DR 2 une analyse préliminaire des risques pour les opérations de transfert de soude, de fonctionnement du réacteur et de changement du filtre. Pour chaque situation, indiquer un événement dangereux, une conséquence possible et une mesure de prévention ou de protection. Distinguer, dans votre réponse, les obligations générales de prévention des choix de maîtrise propres à l'atelier.

PARTIE 2 : Étude technologique et calculs de dimensionnement (5 points)

Établir les bilans matière et énergie, puis vérifier la faisabilité de l'augmentation de débit

Les données physico-chimiques et les caractéristiques de l'installation sont fournies dans les DT 1 et DT 2. La solution d'acide citrique contient 25,0 % massique d'acide citrique. La solution de soude contient 30,0 % massique de NaOH. Le débit de soude est réglé avec un excès de 2,0 % par rapport à la quantité stœchiométrique. Le rendement massique de formation du citrate trisodique est de 96,0 % du rendement théorique fondé sur le débit d'acide citrique.

Utiliser les relations $n = m/M$, $\dot{m}_{\mathrm{NaOH,th}} = 3\,\dot{m}_{\mathrm{acide}}\,M_{\mathrm{NaOH}}/M_{\mathrm{acide}}$, et $\dot{m}_{\mathrm{produit}} = 0,960\,\dot{n}_{\mathrm{acide}}\,M_{\mathrm{produit}}$. Pour le temps de séjour moyen, prendre $\tau = V\rho/\dot{m}_{\mathrm{total}}$. Pour le bilan thermique, utiliser $P_{\mathrm{sens}} = \dot{m} C_p \Delta T / 3600$ lorsque $\dot{m}$ est en kg/h et C_p en kJ/(kg·K), et $P_{\mathrm{réaction}} = \dot{n}_{\mathrm{acide}} X |\Delta H_r| / 3600$, avec $\dot{n}$ en kmol/h et ΔH_r en kJ/kmol. La puissance de chauffage à fournir est $P_{\mathrm{chauffage}} = P_{\mathrm{sens}} - P_{\mathrm{réaction}}$.

Paramètres de calcul

Grandeur	Valeur	Unité
Masse molaire de l'acide citrique	192,12	kg/kmol
Masse molaire de la soude	40,00	kg/kmol
Masse molaire du citrate trisodique anhydre	258,07	kg/kmol
Débit de solution d'acide actuel	800	kg/h
Hausse de débit étudiée	10	%
Excès de soude sur la stœchiométrie	2,0	%
Rendement de formation du produit	96,0	%

Valeurs fournies dans les DT 1 et DT 2

2.1 (1,5 point) Pour le débit actuel de solution d'acide citrique, calculer le débit massique d'acide citrique pur, le débit massique théorique de NaOH, puis le débit massique de solution de soude à 30,0 % en tenant compte de l'excès de 2,0 %. Reporter les résultats dans le DR 1.

2.2 (1,5 point) Calculer le débit total entrant dans le réacteur au régime actuel puis au régime augmenté de 10 %. Pour ces deux régimes, déterminer le temps de séjour moyen dans le réacteur de volume utile $2,00\ \mathrm{m^3}$, en utilisant la masse volumique indiquée au DT 2. Vérifier le respect du temps de séjour minimal de 1,75 h.

2.3 (2 points) Au débit augmenté de 10 %, calculer le débit massique théorique de citrate trisodique obtenu avec un rendement de 96,0 %, la puissance sensible nécessaire pour porter l'alimentation de $25\ ^\circ\mathrm{C}$ à $40\ ^\circ\mathrm{C}$, puis la puissance de chauffage nette après prise en compte de la chaleur de réaction. Comparer les résultats aux limites de filtration de 1 400 kg/h et de chauffage de 4,0 kW. Conclure sur la faisabilité au regard de ces critères thermiques et de débit.

PARTIE 3 : Préparation de la conduite et protocole opératoire (5 points)

Préparer la montée en régime, les contrôles et la réponse aux écarts

La hausse de production doit être réalisée de manière progressive. Les pompes P-101 et P-102 sont réglables en débit. L'analyseur de pH est installé en aval du réacteur, sur une dérivation représentative. La filtration ne doit pas être sollicitée au-delà de sa capacité nominale. La feuille de préparation à compléter est fournie en DR 1.

Repères de conduite disponibles

Élément suivi	Repère ou limite	Action prévue en cas d'écart
Débit d'acide citrique	800 kg/h au départ, maximum étudié 880 kg/h	Vérifier le débit réel et la cohérence avec la soude
Rapport molaire NaOH/acide citrique	3,06 mol/mol visé	Corriger le débit de P-102 selon l'analyse du bilan
Température en sortie de R-101	Consigne 40 °C	Maintenir le chauffage dans sa limite disponible
pH en sortie de R-101	Spécification de libération 7,0 à 8,0	Isoler le lot ou le flux concerné et investiguer
Débit à F-101	Maximum 1 400 kg/h	Réduire le débit d'alimentation si la limite approche

Données de conduite de l'atelier

3.1 (1,5 point) Calculer, au débit augmenté, le débit de solution de soude à 30,0 % requis en tenant compte de l'excès de 2,0 %. Déterminer le rapport molaire $\mathrm{NaOH/acide\ citrique}$ correspondant et comparer au rapport cible du tableau. Présenter les étapes de calcul dans le DR 1.

3.2 (2 points) Rédiger dans le DR 1 un protocole de montée en régime en quatre à six étapes, depuis la vérification préalable des équipements jusqu'à la stabilisation au nouveau débit. Le protocole doit préciser au moins trois paramètres à surveiller, les critères d'acceptation associés et une action à prendre si un critère n'est pas respecté.

3.3 (1,5 point) Au cours de la montée en régime, l'indicateur de température affiche $43\ ^{\circ}\mathrm{C}$ et le pH mesuré est de 8,4. Indiquer les actions immédiates de conduite à réaliser, le devenir du produit fabriqué pendant l'écart et les contrôles à effectuer avant toute reprise de la montée en régime.

PARTIE 4 : Prévention et sécurité (5 points)

Prévenir les expositions, les déversements et les situations dangereuses en exploitation

Les solutions de soude à 30,0 % sont corrosives. Le réacteur fonctionne à pression atmosphérique et est équipé d'une ventilation de zone, d'une mesure de température et d'une alarme haute température. Les interventions sur le filtre comprennent l'isolement, la dépressurisation éventuelle de la ligne, la vidange et le remplacement de l'élément filtrant. Toute intervention est organisée selon les procédures de l'entreprise et les dispositions applicables du Code du travail.

Situations de travail à examiner

Situation	Danger principal	Éléments de maîtrise à considérer
Raccordement ou déconnexion de la ligne de soude	Projection de liquide corrosif	Isolement, vérification d'absence de pression, équipements de protection adaptés
Fonctionnement de R-101	Échauffement et dérive de la réaction	Surveillance température, alarme, conduite de repli
Ouverture de F-101	Contact avec liquide résiduel et libération d'énergie	Consignation, vidange, vérification de l'état sûr
Nettoyage d'un déversement	Exposition chimique et glissade	Balisage, procédure de traitement, collecte adaptée

Exploitation et maintenance de l'atelier

4.1 (2 points) Pour le remplacement de l'élément filtrant de F-101, proposer une séquence de mise en sécurité avant ouverture. La réponse doit traiter l'arrêt et l'isolement des énergies et des fluides, la vérification de l'état sûr, la prévention de l'exposition chimique et la remise en service. Préciser les vérifications qui doivent être documentées.

4.2 (1,5 point) Un opérateur constate une fuite de soude au niveau d'un raccord pendant le transfert. Décrire les premières actions à mener pour protéger les personnes, maîtriser la situation sans s'exposer et organiser l'alerte et le traitement de la fuite. Citer les moyens de protection individuelle et collective à mobiliser conformément à l'évaluation des risques et aux consignes du site.

4.3 (1,5 point) Proposer trois barrières de prévention complémentaires contre une dérive thermique de R-101. Pour chacune, préciser si elle relève de la prévention, de la détection ou de la limitation des conséquences. Expliquer pourquoi une alarme seule ne constitue pas une maîtrise suffisante du risque.

DOSSIER TECHNIQUE ET RESSOURCES

Documents ressources nécessaires à la résolution du sujet

DT 1 : SCHÉMA DE PROCÉDÉ ET DONNÉES D'ÉQUIPEMENT

Le procédé comprend deux alimentations dosées, un réacteur continu agité R-101, une ligne de transfert vers le filtre de sécurité F-101 et un stockage tampon. E-101 représente l'apport thermique disponible pour maintenir la température de sortie du réacteur. Le réacteur est exploité à pression atmosphérique ; son volume utile est de $2,00\ \mathrm{m^3}$. Le schéma est fonctionnel et n'est pas à l'échelle. Les instruments sont identifiés par leur fonction : FT, mesure de débit ; TT, mesure de température ; pHT, mesure de pH. Le schéma ne remplace pas les plans d'exécution ni les procédures de consignation de l'entreprise.

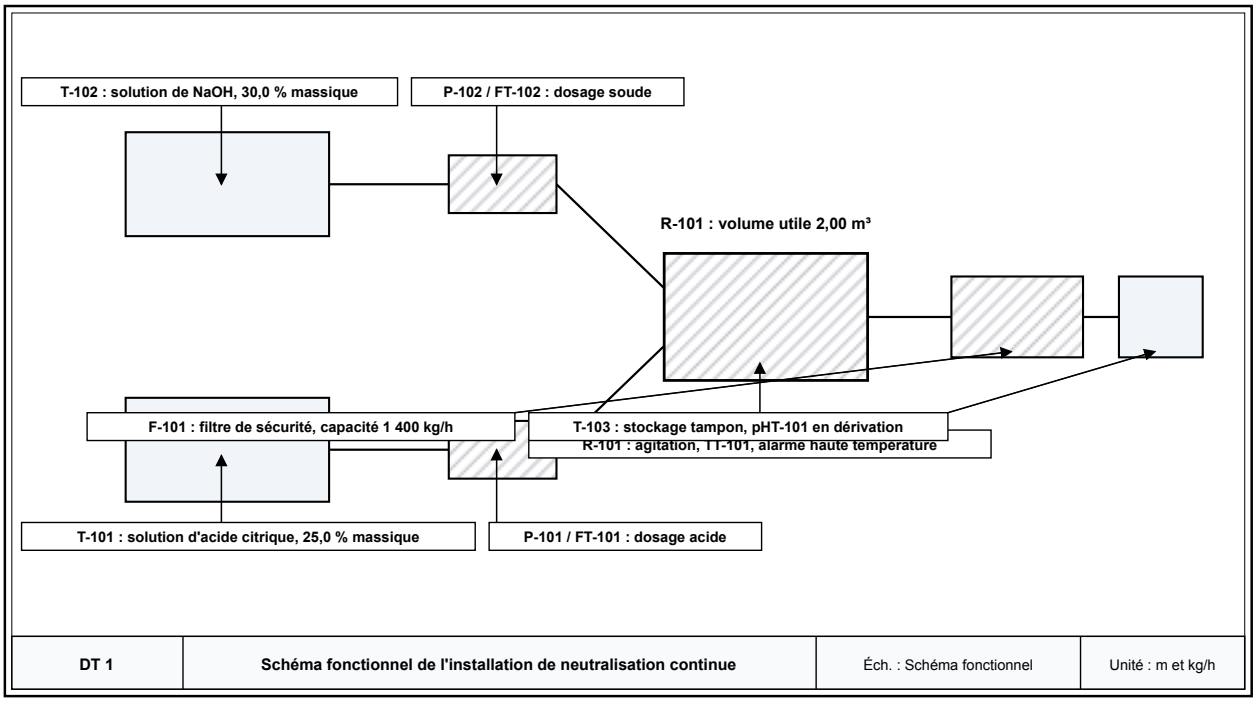


Schéma de principe, non à l'échelle. Les dimensions indiquées sont des caractéristiques fonctionnelles.

Caractéristiques principales des équipements

Repère	Fonction	Caractéristique utile	Limite ou consigne
R-101	Réacteur continu agité	Volume utile 2,00 m³	Temps de séjour minimal 1,75 h
E-101	Chauffage du procédé	Puissance disponible 4,0 kW	Sortie réacteur à 40 °C
F-101	Filtre de sécurité	Débit admissible maximal 1 400 kg/h	Ne pas dépasser la limite nominale
TT-101	Mesure de température	Sonde en sortie de réacteur	Alarme haute réglée à 42 °C
pHT-101	Mesure de pH	Dérivation en aval de R-101	Spécification produit : pH 7,0 à 8,0

Données de conception communiquées pour l'étude

DT 2 : PROPRIÉTÉS, DONNÉES DE CALCUL ET HYPOTHÈSES

Les valeurs ci-dessous sont les données de calcul retenues pour cette étude. La masse volumique du mélange réactionnel est supposée constante. Le débit total vers la filtration est assimilé au débit massique total entrant au réacteur en régime établi. La chaleur de réaction est donnée par mole d'acide citrique effectivement convertie. Le rendement de 96,0 % est appliqué au débit théorique de citrate trisodique ; il ne modifie pas le débit de réactifs utilisé pour le dimensionnement du rapport stœchiométrique.

Propriétés physico-chimiques et paramètres de calcul

Grandeur	Valeur	Unité ou précision
Fraction massique d'acide citrique dans T-101	0,250	kg/kg
Fraction massique de NaOH dans T-102	0,300	kg/kg
Masse molaire de l'acide citrique	192,12	kg/kmol
Masse molaire de NaOH	40,00	kg/kmol
Masse molaire du citrate trisodique anhydre	258,07	kg/kmol
Excès de soude sur la stœchiométrie	2,0	%
Rendement massique de formation du produit	96,0	%
Masse volumique du mélange réactionnel	1 200	kg/m³
Capacité thermique massique moyenne du mélange	3,60	kJ/(kg·K)
Température d'alimentation	25	°C
Température de sortie cible	40	°C
Enthalpie de réaction	-57 000	kJ/kmol d'acide converti
Volume utile de R-101	2,00	m³
Capacité nominale de F-101	1 400	kg/h
Puissance de chauffage disponible	4,0	kW

Données fournies pour les calculs de la partie 2

DT 3 : REPÈRES RÉGLEMENTAIRES ET PRINCIPES DE PRÉVENTION

Les indications de ce document sont des repères pour l'analyse, à appliquer avec les procédures du site et l'évaluation des risques professionnels. L'employeur évalue les risques, met en œuvre les principes généraux de prévention et organise l'information, la formation et les moyens de protection adaptés, conformément au Code du travail, notamment aux articles L. 4121-1 et suivants. Les produits chimiques doivent être identifiés et leur utilisation maîtrisée au regard de leur classification et de leur étiquetage conformément au règlement CLP (règlement (CE) n° 1272/2008) et aux fiches de données de sécurité disponibles sur le site. Toute intervention de maintenance doit être préparée, isolée et vérifiée selon la procédure de consignation de l'établissement. Les limites de débit, de température et de pH du présent sujet sont des critères de l'étude et ne constituent pas des valeurs réglementaires générales.

Pour une exposition potentielle à la soude, les mesures de maîtrise comprennent notamment l'évitement des projections, la limitation de l'accès à la zone, le port d'équipements de protection adaptés à l'évaluation des risques et la disponibilité de moyens d'urgence et de rinçage. Le choix des gants, de la protection oculaire, des vêtements et des moyens de traitement d'un déversement doit être cohérent avec la fiche de données de sécurité et la procédure du site. En cas d'écart, la priorité est la protection des personnes, l'alerte, la mise en sécurité à distance si elle peut être effectuée sans danger, puis l'intervention par du personnel formé.

Repères d'analyse des risques et de conformité

Thème	Repère applicable	Traduction opérationnelle dans l'étude
Prévention des risques professionnels	Code du travail, principes généraux de prévention	Évaluer les risques, privilégier la prévention à la source, informer et former
Produits chimiques	Règlement CLP et fiche de données de sécurité du produit	Identifier le produit, prévenir les contacts, appliquer les consignes d'urgence
Maintenance	Procédure de consignation de l'établissement	Isoler les énergies et fluides, vérifier l'état sûr avant ouverture
Procédé et qualité	Spécifications internes de l'atelier	Contrôler température, pH, débits et traçabilité des lots
Gestion d'un écart	Consignes d'exploitation et plan d'urgence du site	Alerter, protéger les personnes, isoler le produit hors spécification

Principes à mobiliser dans les réponses, sans substitution aux procédures du site

NE RIEN ÉCRIRE DANS CETTE PARTIE

DR 1 : Feuille de bilan matière et préparation de conduite — **À RENDRE AVEC LA COPIE**

Compléter les tableaux et rédiger les réponses directement dans les espaces prévus. Indiquer les unités, les étapes de calcul et les hypothèses nécessaires. Ce document est à rendre avec la copie.

Bilan matière et vérification des régimes

Grandeur	Régime actuel	Régime augmenté de 10 %
Débit de solution d'acide citrique (kg/h)	800	880
Débit d'acide citrique pur (kg/h)	.....	.....
Débit molaire d'acide citrique (kmol/h)	.....	.....
Débit théorique de NaOH pur (kg/h)	.....	.....
Débit de solution de NaOH à 30,0 %, avec excès (kg/h)	.....	.....
Débit total entrant au réacteur (kg/h)	.....	.....
Temps de séjour moyen (h)	.....	.....
Débit de citrate trisodique à 96,0 % de rendement (kg/h)	.....	.....
Puissance sensible (kW)	Sans objet	.....
Puissance de réaction dégagée (kW)	Sans objet	.....
Puissance nette de chauffage requise (kW)	Sans objet	.....
Rapport molaire NaOH/acide citrique (mol/mol)	Sans objet	.....

À compléter pour les questions 2.1, 2.2, 2.3 et 3.1

Préparation de la montée en régime

Étape	Action ou vérification	Paramètre et critère d'acceptation	Action si critère non respecté
1	.....	.....	.....
2	.....	.....	.....
3	.....	.....	.....
4	.....	.....	.....
5	.....	.....	.....

À compléter pour la question 3.2

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

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

NE RIEN ÉCRIRE DANS CETTE PARTIE

DR 2 : Analyse préliminaire des risques — **À RENDRE AVEC LA COPIE**

Compléter une ligne par situation. Décrire un événement dangereux concret, une conséquence plausible et une mesure de prévention ou de protection adaptée. Les mesures proposées doivent privilégier la maîtrise à la source et tenir compte des consignes et moyens du site. Ce document est à rendre avec la copie.

Tableau d'analyse des situations dangereuses

Situation ou opération	Événement dangereux	Conséquence possible	Mesure de prévention ou de protection
Transfert ou raccordement de la solution de soude	.....	.....	.....
Fonctionnement du réacteur R-101	.....	.....	.....
Ouverture et remplacement de l'élément de F-101	.....	.....	.....

À compléter pour la question 1.3

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.