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

BTS CIRA

Contrôle industriel et régulation automatique

Session 2019 • Code sujet : **CA51PHC** • Durée : **3 heures** • Coefficient : **4**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. Préchauffage du circuit alimentaire (2 questions) **Page 3**

2. Dimensionnement du moteur asynchrone de la pompe centrifuge (5 questions) **Page 4**

3. Analyse du pH et conditionnement du signal (5 questions) **Page 6**

4. Traitement de l'eau de la cuve 2 et titrage du TAC (4 questions) **Page 8**

5. Ce qu'il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ) (Synthèse & Q&A Examen) **Page 10**

Sujet officiel (PDF) : https://btscira.fr/assets/annales/bts-cira/E5.1 - Analyse physico-chimique d'un procédé et de son environnement/2019/BTS CIRA - E5.1 - Analyse physico-chimique d'un procédé et de son environnement - Session 2019 - 1-Sujet.pdf

1. Préchauffage du circuit alimentaire

Une eau alimentaire entre à 20 °C et sort à 52 °C d'un échangeur à plaques à contre-courant, tandis que l'eau de lavage se refroidit de 60 °C à 55 °C. Les données sur l'eau et l'échangeur permettent d'étudier la puissance thermique cédée et le nombre de plaques nécessaires.

Partie A

Question Q1. À l'aide des documents A1 et A2, calculer la puissance thermique cédée par l'eau de lavage.

Le débit volumique est $1000\ \mathrm{L\,min^{-1}} = \frac{1}{60}\ \mathrm{m^3\,s^{-1}}$. Avec $\rho = 1000\ \mathrm{kg\,m^{-3}}$, le débit massique vaut $\dot{m} = 16{,}67\ \mathrm{kg\,s^{-1}}$. Le refroidissement est de $60 - 55 = 5\ \mathrm{K}$. Ainsi, $P = \dot{m} c \Delta T = (1000/60) \times 4200 \times 5 = 350000\ \mathrm{W}$. Il s'agit de la puissance thermique cédée par l'eau de lavage.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> **Puissance thermique cédée : 350 kW.**

Question Q2. À l'aide des documents A1, A2 et A3, déterminer le nombre de plaques nécessaires dans l'échangeur.

Grandeur	Calcul	Valeur
Écarts terminaux	60 − 52 ; 55 − 20	8 K ; 35 K
Écart logarithmique moyen	(35 − 8) / ln(35 / 8)	18,29 K
Surface d'échange requise	350000 / (1400 × 18,29)	13,67 m²
Surface d'une plaque	0,500 × 1,000	0,500 m²

En contre-courant, les écarts aux extrémités sont 8 K et 35 K. La puissance cédée, calculée à la question précédente, permet d'obtenir la surface nécessaire avec $P = K S \Delta T_{ml}$. Le rapport entre cette surface et celle d'une plaque donne 27,33 : il faut arrondir à l'entier supérieur pour disposer d'une surface suffisante.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> **28 plaques nécessaires.**

2. Dimensionnement du moteur asynchrone de la pompe centrifuge

Une pompe transfère l'eau de lavage de la cuve 1 à la cuve 2 en passant par l'échangeur, et doit compenser les pertes de charge du circuit. La caractéristique de la pompe et les données nominales de deux moteurs asynchrones triphasés servent à étudier le débit, la puissance et le choix du moteur.

Partie B

Question Q3. À l'aide du document A3, et sachant que la somme des pertes de charge régulières et singulières dans les canalisations est de 2 mCE, déterminer les pertes de charge totales entre les cuves 1 et 2.

Le document A3 indique une perte de charge de 11 mCE dans l'échangeur. Les pertes régulières et singulières des canalisations valent au total 2 mCE. Ces deux contributions se cumulent sur le trajet de l'eau entre les cuves : la pompe doit donc fournir une hauteur manométrique compensant leur somme. On obtient $\Delta H_{\text{totale}} = 11 + 2 = 13\,\text{mCE}$. Cette valeur servira à lire le débit sur la caractéristique de la pompe.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Pertes de charge totales entre les cuves : 13 mCE.

Question Q4. À l'aide du document B1, déterminer le débit volumique QV de la pompe centrifuge et préciser s'il est conforme au résultat attendu.

Sur la courbe B1, pour une hauteur manométrique de 13 mCE, la lecture graphique donne un débit d'environ 60 m³·h⁻¹. Le débit de référence donné pour l'essai est 1000 L·min⁻¹. Converti en m³·h⁻¹, il vaut $1000 \times 60/1000 = 60\,\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. Le débit lu sur la courbe est donc conforme au résultat attendu, à la précision permise par la lecture graphique.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $Q_V \approx 60\,\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$, conforme au débit attendu de 1000 L·min⁻¹.

Question Q5. Pour une section droite de canalisation de surface S = 10 × 10⁻³ m², déterminer la vitesse moyenne v de l'eau qui s'écoule dans les canalisations.

La vitesse moyenne s'obtient en divisant le débit volumique par la section de la canalisation. Le débit lu précédemment doit d'abord être converti en m³·s⁻¹ : $Q_V = 60/3600$. La section donnée vaut $S = 10 \times 10^{-3} = 0{,}01\,\text{m}^2$. Ainsi, $v = Q_V / S = (60/3600)/0{,}01$. Cette vitesse correspond à la valeur moyenne dans la conduite, calculée avec le débit de fonctionnement déterminé sur la caractéristique de la pompe.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Vitesse moyenne de l'eau : $v \approx 1{,}67\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Question Q6. À l'aide des documents B2 et B3, déterminer la puissance hydraulique de la pompe, choisir en le justifiant le moteur qui peut l'entraîner, puis déterminer et justifier le couplage des enroulements statoriques pour un raccordement au réseau 230 V/400 V.

La hauteur de pompe est de 13 mCE. Avec l'eau de masse volumique $1000\,\mathrm{kg\cdot m^{-3}}$ et $g = 10\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$, la charge correspond à $\Delta P = \rho g H = 130\,000\,\mathrm{Pa}$. La puissance hydraulique vaut alors $P_{\mathrm{hydr}} = Q_V \Delta P$, avec le débit converti en m³·s⁻¹.

Moteur	Puissance utile nominale	Choix
1	1,5 kW	Insuffisante
2	2,4 kW	Retenu

La puissance utile du moteur 2 dépasse la puissance hydraulique calculée. Sur le réseau 230/400 V, la tension entre phases est 400 V : le moteur prévu pour 400 V en étoile doit donc être couplé en étoile.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> $P_{\mathrm{hydr}} \approx 2{,}17\,\mathrm{kW}$. Moteur 2, couplage étoile sous 400 V.

Question Q7. À l'aide du document B3, déterminer en régime nominal, pour le moteur asynchrone choisi, le nombre de paires de pôles p, le glissement gN, le rendement ηN en supposant une puissance absorbée Pa = 3,0 kW, et le moment du couple utile TU en supposant une vitesse angulaire Ω = 151 rad·s⁻¹.

À 50 Hz, la vitesse nominale de 1440 tr·min⁻¹ est proche de la vitesse synchrone correspondante, 1500 tr·min⁻¹. Elle indique un moteur à quatre pôles, soit deux paires de pôles. Le glissement est l'écart relatif entre vitesses synchrone et nominale. Le rendement demandé utilise la puissance utile nominale du moteur 2 et la puissance absorbée fournie. Le couple utile se calcule avec la puissance utile et la vitesse angulaire imposée.

1. $n_s = 60 \times 50/2 = 1500\,\mathrm{tr\cdot min^{-1}}$, donc $p = 2$.
2. $g_N = (1500 - 1440)/1500 = 0{,}04$.
3. $\eta_N = 2{,}4/3{,}0 = 0{,}80$ et $T_U = 2400/151$.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> $p = 2$ paires de pôles ; $g_N = 4\,\%$; $\eta_N = 80\,\%$; $T_U \approx 15{,}9\,\mathrm{N\cdot m}$.

3. Analyse du pH et conditionnement du signal

La mesure du pH par électrode sert à suivre l'alcalinité de l'eau traitée et à réguler la coagulation-floculation. Le signal de l'électrode est conditionné par un montage électronique puis numérisé par un convertisseur analogique-numérique de 8 bits.

Partie C

Question Q8. En vous appuyant sur le document C1, déterminer l'équation de la caractéristique de la tension Ve délivrée par l'électrode en fonction du pH.

Sur le document C1, la droite passe par (pH = 6 ; Ve = 60 mV) et (pH = 7 ; Ve = 0 mV). Sa pente est donc (0 - 60)/(7 - 6) = -60 mV par unité de pH. Avec le point à pH = 7, l'ordonnée à l'origine vaut 0 - (-60 × 7) = 420 mV. La tension Ve étant exprimée en millivolts, la caractéristique s'écrit directement sous forme affine.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Ve (mV) = -60 × pH + 420, soit Ve (V) = -0,060 × pH + 0,420.

Question Q9. À l'aide des documents C1 et C2, déterminer la valeur de la résistance ajustable R3 permettant d'obtenir Vs = 2,0 V lorsque le pH vaut 7,0.

1. À pH = 7, le document C1 indique Ve = 0 V.
2. Pour l'amplificateur inverseur, Vs = -(R2/R1)Ve -(R2/R3)E. Le premier terme est donc nul et E = -10 V : 2,0 = -(10/R3) × (-10).
3. On en déduit R3 = (10 × 10)/2,0 = 50 kΩ.

Le réglage demandé est ainsi déterminé par le terme de décalage du montage.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> R3 = 50 kΩ.

Question Q10. Sachant que Vs = a × pH + b, déterminer les constantes a et b à l'aide des documents C1 et C2.

Le montage donne Vs = -(R2/R1)Ve -(R2/R3)E. D'après le document C2, R2/R1 = 10. En utilisant R3 = 50 kΩ et E = -10 V, le terme de décalage vaut +2 V, donc Vs = -10Ve + 2. Avec Ve = -0,060 × pH + 0,420 V, on obtient Vs = -10(-0,060 × pH + 0,420) + 2. L'identification avec Vs = a × pH + b donne a et b.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> a = 0,60 V par unité de pH et b = -2,20 V.

Question Q11. À l'aide du document C3, déterminer le quantum q du convertisseur analogique-numérique de 8 bits, dont la tension d'entrée varie de −2,5 V à +2,6 V.

Un convertisseur de 8 bits possède $2^8 = 256$ niveaux. L'étendue de tension d'entrée est la différence entre les deux limites indiquées dans le document C3 : 2,6 - (-2,5) = 5,1 V. Le quantum correspond à cette étendue divisée par le nombre de niveaux, soit q = 5,1/256 = 0,019921875 V. On exprime généralement ce résultat avec trois chiffres significatifs.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> q ≈ 0,0199 V, soit 19,9 mV.

Question Q12. À l'aide du document C3, déterminer le nombre binaire N en sortie du convertisseur lorsque la tension d'entrée Vs vaut 1,20 V.

1. On repère la tension par rapport à la borne basse : (1,20 - (-2,5))/q = 3,70/0,019921875 ≈ 185,73.
2. Le code entier le plus proche est 186 en décimal. La conversion de 186 en binaire donne 10111010, complété sur 8 bits.

Ce résultat correspond à l'arrondi au code numérique le plus proche.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> N = 10111010_2 (186_{10}).

4. Traitement de l'eau de la cuve 2 et titrage du TAC

L'eau de lavage est traitée dans la cuve 2 par ajout de chlorure ferrique, et sa teneur en ions hydrogénocarbonate est étudiée. Les questions portent sur la concentration et la solubilité du $FeCl_3$, les équilibres carbonatés et le titrage du titre alcalimétrique complet.

Partie D

Question Q13. La solution de traitement contient 40 % en masse de $FeCl_3$ et a une masse volumique $\rho = 1400\ kg \cdot m^{-3}$. Calculer sa concentration massique Cm en soluté ainsi que sa concentration molaire C.

Pour 1 L de solution, la masse totale vaut 1 400 g. La fraction massique de $FeCl_3$ étant de 0,40, la masse de soluté est 0,40 × 1 400 = 560 g, soit $C_m = 560\ g \cdot L^{-1}$. La masse molaire de $FeCl_3$ vaut 56,0 + 3 × 35,5 = 162,5 $g \cdot mol^{-1}$. Donc C = 560/162,5.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $C_m = 560\ g \cdot L^{-1}$; $C \approx 3{,}45\ mol \cdot L^{-1}$.

Question Q14. À l'aide du document D1, préciser s'il y aura précipitation du $FeCl_3$.

À 20 °C, le document D1 indique une solubilité du $FeCl_3$ de $920\ g \cdot L^{-1}$. La solution préparée contient $560\ g \cdot L^{-1}$, donc sa concentration est inférieure à cette limite : le $FeCl_3$ reste dissous. Il faut distinguer cela de la réaction de traitement donnée dans le sujet, qui forme un précipité de $Fe(OH)_3$.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Pas de précipitation du $FeCl_3$: $560 < 920\ g \cdot L^{-1}$. La réaction de traitement forme toutefois $Fe(OH)_3(s)$.

Question Q15. À l'aide du document D2, indiquer l'espèce chimique carbonée prédominante si le pH de l'eau de lavage vaut 7,3.

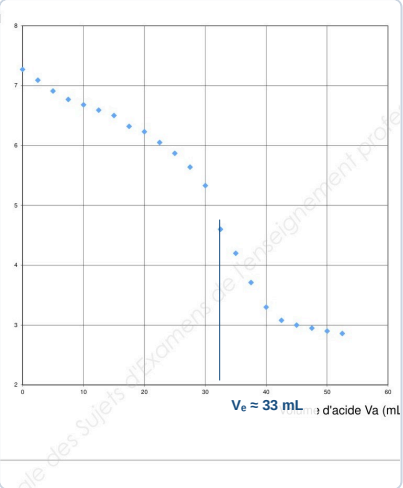
Le document D2 donne $pK_{A1} = 6{,}4$ pour le couple $CO_2, H_2O/HCO_3^-$, et $pK_{A2} = 10{,}3$ pour le couple HCO_3^-/CO_3^{2-}. Comme 6,4 < 7,3 < 10,3, l'espèce intermédiaire entre ces deux équilibres est prédominante.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> L'espèce carbonée prédominante est l'ion hydrogénocarbonate HCO_3^-.

Question Q16. Un volume de 100,0 mL d'eau de lavage, en présence de vert de bromocrésol, est titré par une solution d'acide chlorhydrique de concentration CA = 0,020 mol·L⁻¹. À l'aide du document D3 et de la courbe du document réponse 1, déterminer le titre alcalimétrique complet TAC en degrés français (°f).

Le point d'équivalence se lit au milieu du saut de pH sur la courbe, vers $V_E \approx 33$ mL. La réaction entre HCO_3^- et H_3O^+ est de proportion 1:1 : $n(HCO_3^-) = 0{,}020 \times 0{,}033$ mol. Dans 0,1000 L, cela donne la concentration en hydrogénocarbonate. Sa masse molaire est $1{,}0 + 12{,}0 + 3 \times 16{,}0 = 61{,}0$ g·mol^{-1}. D'après D3, 1 °f correspond à 12,2 mg·L^{-1} de HCO_3^-.

Lecture du volume à l'équivalence



✓ RÉPONSE À RETENIR

TAC ≈ 33 °f.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2019)

Bilan de l'épreuve : Cette épreuve U51 du BTS Contrôle industriel et régulation automatique, session 2019, code CA51PHC, dure 3 heures et possède un coefficient 4. Elle porte sur une installation de lavage et de traitement des eaux liées à la production de carbonate de sodium. Les compétences évaluées concernent les échanges thermiques, les pompes et moteurs, le conditionnement et la conversion des signaux, ainsi que les équilibres et dosages chimiques.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- La puissance thermique d'un fluide s'évalue avec $P = Qv \times \rho \times c \times |\Delta\theta|$, en utilisant des unités cohérentes.
- Pour un échangeur à contre-courant, la différence moyenne logarithmique s'appuie sur les écarts de température aux deux extrémités.
- La puissance hydraulique d'une pompe est $Phydr = Qv \times \Delta P$, avec Qv en $m^3 \cdot s^{-1}$ et ΔP en Pa.
- Entre pKA1 = 6,4 et pKA2 = 10,3, l'ion hydrogénocarbonate HCO_3^- est l'espèce carbonée prédominante.

Points de vigilance & attentes du jury

- Convertir débits et volumes dans des unités compatibles avant les calculs.
- Pour l'échangeur à contre-courant, associer correctement les températures aux deux extrémités.
- Lire conjointement le débit et la hauteur manométrique sur la caractéristique de la pompe.
- Pour le titrage, relever le volume à l'équivalence sur la courbe et appliquer la stœchiométrie de la réaction.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment calculer la puissance cédée par l'eau de lavage ?

Convertissez le débit volumique en $m^3 \cdot s^{-1}$, puis utilisez $P = Qv \times \rho \times c \times |\Delta\theta|$. L'écart de température correspond au refroidissement de l'eau de lavage et le résultat s'exprime en watts.

Q : Comment choisir le moteur et son couplage sur un réseau 230 V/400 V ?

Comparez la puissance utile requise à celles des moteurs proposés, puis vérifiez leurs tensions assignées. Pour un réseau 230 V/400 V, le choix étoile ou triangle dépend de la tension composée et des indications du tableau.

Q : Le sujet impose-t-il un temps de travail pour chaque partie ?

Aucune durée par partie n'est imposée. Répartissez les trois heures entre les quatre parties, prévoyez du temps pour les calculs et les vérifications, et réservez une marge aux questions qui demandent une argumentation structurée.

Q : Quels éléments de présentation sont valorisés dans les réponses ?

Pour certaines questions, le sujet valorise la qualité de rédaction, la structure de l'argumentation, la rigueur des calculs et les initiatives. Présentez les données, la relation utilisée, les unités et une conclusion claire.

Sujet officiel associé (PDF) : https://btscira.fr/assets/annales/bts-cira/E5.1 - Analyse physico-chimique d'un procédé et de son environnement/2019/BTS CIRA - E5.1 - Analyse physico-chimique d'un procédé et de son environnement - Session 2019 - 1-Sujet.pdf
Ressources BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique : Toutes les annales & corrigés • Fiches de révision complètes • Simulateur de notes d'examen

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.