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 2018 • Code sujet : **CA51PHC** • Durée : **3 heures** • Coefficient : **4**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. **Distribution et consommation d'énergie électrique de la papeterie** (3 questions) — **Page 3**
2. **Étude de l'installation de cogénération de la papeterie** (4 questions) — **Page 5**
3. **Alimentation et variateurs de vitesse de moteurs** (3 questions) — **Page 7**
4. **Test de la qualité de la pâte à papier** (3 questions) — **Page 9**
5. **Carte de conditionnement pour capteur de température** (2 questions) — **Page 10**
6. **Ce qu'il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ)** (Synthèse & Q&A Examen) — **Page 11**

Sujet officiel (PDF) : https://btscira.fr/assets/annales/bts-cira/E5.1 - Analyse physico-chimique d'un procédé et de son environnement/2018/BTS CIRA - E5.1 - Analyse physico-chimique d'un procédé et de son environnement - Session 2018 - 1-Sujet.pdf

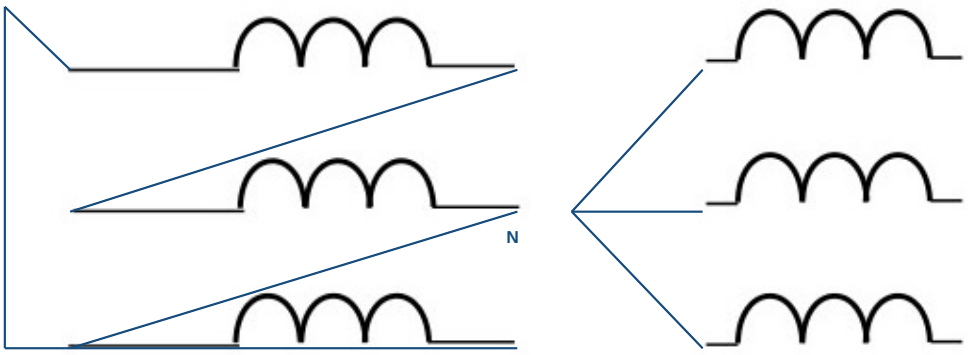
1. Distribution et consommation d’énergie électrique de la papeterie

La papeterie est alimentée par un réseau triphasé et utilise plusieurs transformateurs pour ses équipements de production et ses utilités. Les questions portent sur le couplage et le rapport de transformation d’un transformateur triphasé, puis sur le courant absorbé par un transformateur monophasé.

Question Q1. Compléter le document réponse 1 en réalisant un couplage triangle au primaire et étoile au secondaire.

Au primaire, fermer les trois bobines en triangle : relier l’extrémité droite de chaque bobine à l’extrémité gauche de la suivante, puis fermer la boucle. Au secondaire, relier ensemble une extrémité de chacune des trois bobines pour former le point étoile (neutre). Les trois extrémités libres constituent les sorties de phase. Les connexions sont reportées sur le document réponse.

Couplage triangle au primaire et étoile au secondaire



✓ RÉPONSE À RETENIR

Primaire : triangle. Secondaire : étoile, avec un point commun.

Question Q2. En vous appuyant sur le document A1, déterminer le nombre de spires de chaque bobine du secondaire.

Pour le primaire triangle et le secondaire étoile, le tableau A1 donne $\mathbf{m = N_2/(\sqrt{3}\, N_1)}$, tandis que $\mathbf{m = U_2/U_1}$. Ainsi, $\mathbf{N_2 = (690/20\,000) \times \sqrt{3} \times 3\,360 \approx 200{,}78}$. Le nombre de spires par bobine doit être entier : on retient donc environ 201 spires pour chaque bobine secondaire.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Chaque bobine secondaire comporte environ 201 spires.

Question Q3. Pour un transformateur monophasé parfait de puissance apparente nominale 6 000 VA, alimenté sous 400 V et fournissant 230 V, vérifier que l'intensité efficace absorbée au primaire est légèrement inférieure à l'intensité nominale. La charge a un facteur de puissance de 0,90 et une puissance active totale de 5 100 W.

La charge absorbe une puissance active de 5 100 W avec un facteur de puissance de 0,90, donc sa puissance apparente vaut **S = 5 100/0,90 = 5 666,7 VA**. Pour un transformateur parfait, le courant primaire est **$I_1 = S/U_1 = 5\,666,7/400 \approx 14,17$ A**. Le courant nominal vaut **$I_1N = 6\,000/400 = 15$ A**. Le courant absorbé est donc légèrement inférieur au courant nominal.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> $I_1 \approx 14,17$ A, légèrement inférieur à $I_1N = 15$ A.

2. Étude de l’installation de cogénération de la papeterie

L’installation valorise la biomasse pour produire de la vapeur, qui se détend dans une turbine à contrepression entraînant un alternateur avant d’alimenter les cylindres sécheurs. Les documents et le diagramme de Mollier servent à estimer la puissance électrique, la part des besoins couverte et le rendement global du dispositif.

Question Q4. Indiquer les transformations d’énergie réalisées respectivement par la chaudière, la turbine et l’alternateur.

La chaudière convertit l’énergie chimique de la biomasse en énergie thermique, transmise à l’eau pour produire la vapeur. Dans la turbine, la vapeur se détend et cède son énergie au rotor : l’énergie de la vapeur devient énergie mécanique de rotation. L’alternateur transforme ensuite cette énergie mécanique en énergie électrique. La vapeur conserve enfin une utilité thermique pour le chauffage des cylindres sécheurs.

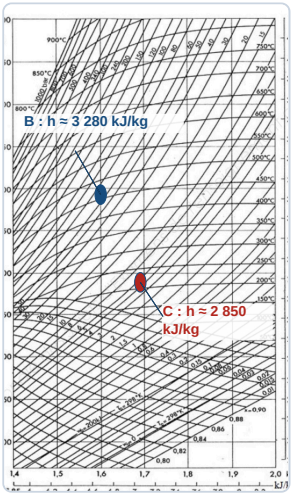
✓ RÉPONSE À RETENIR

Chaudière : énergie chimique en énergie thermique ; turbine : énergie de la vapeur en énergie mécanique ; alternateur : énergie mécanique en énergie électrique.

Question Q5. Calculer la puissance électrique fournie par le groupe turboalternateur et déterminer si elle suffit à couvrir les besoins électriques de la papeterie. Si elle ne suffit pas, indiquer le pourcentage de ces besoins qui est couvert. Vérifier que le travail fourni par la turbine vaut 430 kJ·kg⁻¹.

Le diagramme de Mollier donne approximativement h_B = 3 280 kJ·kg⁻¹ et h_C = 2 850 kJ·kg⁻¹. Le travail massique fourni est donc 3 280 − 2 850 = 430 kJ·kg⁻¹. Le débit massique vaut 133 000/3 600 kg·s⁻¹. Avec le rendement de l’alternateur de 0,90, la puissance électrique produite est le débit multiplié par le travail massique et par ce rendement. Comparée aux besoins de 26,8 MW, elle est insuffisante et en couvre environ 53,3 %.

États B et C lus sur le diagramme de Mollier



✓ RÉPONSE À RETENIR

Travail massique : 430 kJ·kg⁻¹. Puissance électrique : 14,3 MW, soit environ 53,3 % des besoins.

Question Q6. Calculer le rendement électrique global du cogénérateur et montrer qu'il est inférieur à 20 %.

La chaudière cède au fluide une puissance thermique de 105 MW. Avec un rendement de 84 %, la puissance fournie par la biomasse est donc 105/0,84 = 125 MW. Le rendement électrique global rapporte la puissance électrique produite à cette puissance primaire : 14,2975/125 × 100. Le résultat est inférieur à 20 %. Ce rendement tient compte de la conversion de l'énergie de la biomasse en électricité, et non de la chaleur utile encore fournie au procédé.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le rendement électrique global est d'environ 11,4 %, donc inférieur à la limite de 20 %.

Question Q7. Dire si la faiblesse du rendement électrique global du cogénérateur permet de remettre en cause l'utilité de ce dispositif.

Non. Le rendement électrique ne suffit pas à évaluer l'intérêt de cette cogénération. La priorité de l'installation est de fournir au procédé papetier la vapeur nécessaire, qui chauffe ensuite les cylindres sécheurs. La production électrique est un apport complémentaire, obtenu au cours de la détente de la vapeur. En outre, la biomasse valorise des résidus ligneux souvent disponibles à proximité et à faible coût.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Non : le dispositif fournit aussi la chaleur nécessaire au procédé et valorise des résidus ligneux, malgré un rendement électrique modeste.

3. Alimentation et variateurs de vitesse de moteurs

Des moteurs asynchrones de la papeterie sont alimentés par des variateurs comprenant redressement, filtrage et onduleurs M.L.I. Les figures montrent les points de mesure et les spectres de tension, ainsi que les caractéristiques du moteur et de sa charge mécanique.

Question Q8. Indiquer la signification du sigle M.L.I.

M.L.I. signifie **modulation de largeur d'impulsions**.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> Modulation de largeur d'impulsions.

Question Q9. En argumentant clairement vos choix, associer à chacun des points d'observation M1, M2, M3 et M4 le spectre de tension A, B, C ou D correspondant.

Point	Spectre	Repère
M1	B	Réseau alternatif à 50 Hz.
M2	C	Tension redressée, avec ondulation à 300 Hz.
M3	D	Tension continue après filtrage.
M4	A	Tension M.L.I. à la sortie de l'onduleur.

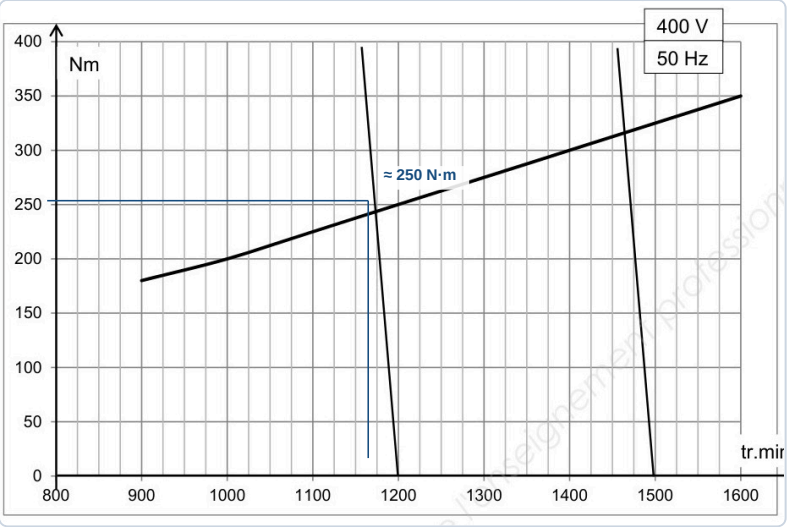
Le redresseur triphasé crée une ondulation à six fois la fréquence du réseau. Le filtre l'atténue avant que l'onduleur produise la tension M.L.I.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> M1 : B ; M2 : C ; M3 : D ; M4 : A.

Question Q10. Lorsque l'ensemble moteur-charge tourne à 1 175 tr·min⁻¹, déterminer la puissance mécanique Pu développée par le moteur, son glissement g, la fréquence f de l'alimentation produite par l'onduleur et la puissance électrique Pel fournie par l'onduleur, sachant que le rendement du moteur est de 82 % pour ce fonctionnement.

À 1 175 tr·min^{-1}, la courbe de charge indique un couple d'environ 250 N·m. Ainsi, $P_u \approx 250 \times 2\pi \times 1\,175 / 60 =$ 30,8 kW. La courbe moteur donne une vitesse de synchronisme de 1 200 tr·min^{-1} : $g = (1\,200 - 1\,175) / 1\,200 \approx$ 2,1 %. Le moteur tétrapolaire a deux paires de pôles, donc $f = 1\,200 \times 2 / 60 = 40$ Hz. Enfin, $P_{el} = P_u / 0{,}82 \approx$ 37,5 kW.

Lecture du couple à 1 175 tr·min⁻¹



✓ RÉPONSE À RETENIR

P_u ≈ 30,8 kW ; g ≈ 2,1 % ; f = 40 Hz ; P_{el} ≈ 37,5 kW.

4. Test de la qualité de la pâte à papier

La qualité de la pâte est évaluée par dosage des ions permanganate restés en solution après leur réaction avec la lignine, puis par dosage iodométrique du diiode formé. Le résultat permet de comparer l'indice kappa à la limite définie pour l'appellation « papier permanent ».

Question Q11. Indiquer comment repérer l'équivalence lors de l'étape B.2.

L'empois d'amidon est bleu foncé tant qu'il reste du diiode. À l'équivalence, tout le diiode a réagi avec les ions thiosulfate : la coloration bleue disparaît durablement.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Équivalence : disparition durable de la coloration bleu foncé.

Question Q12. Calculer la valeur limite de la chute de burette V_2E de solution de thiosulfate de sodium permettant de déterminer si le papier peut recevoir l'appellation « papier permanent ». Vérifier d'abord que la quantité de matière d'ions permanganate n'ayant pas réagi avec 3 g de pâte vaut $1{,}2 \times 10^{-3}$ mol et que la quantité de matière d'ions thiosulfate ayant réagi vaut $6{,}0 \times 10^{-3}$ mol.

Pour 3,0 g de pâte, la limite kappa = 5 correspond à 15 mL de permanganate à 0,020 mol·L^{-1} consommés. Il en reste donc $1{,}5 \times 10^{-3} - 3{,}0 \times 10^{-4} = 1{,}2 \times 10^{-3}$ mol. Selon les réactions, cela forme $3{,}0 \times 10^{-3}$ mol de diiode, consommant $6{,}0 \times 10^{-3}$ mol de thiosulfate. À 0,30 mol·L^{-1}, le volume limite est 20 mL. La norme exige kappa < 5.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $V_{2E,lim}$ = 20 mL. Le critère kappa est respecté si V_{2E} > 20 mL.

Question Q13. Une pâte analysée provoque une chute de burette supérieure à la valeur limite trouvée à la question précédente. Déterminer si le papier fabriqué avec cette pâte mérite l'appellation « papier permanent ».

Une chute supérieure à 20 mL indique davantage de permanganate résiduel, donc moins de permanganate consommé par la lignine. L'indice kappa est alors inférieur à 5 : la pâte satisfait le critère kappa. Toutefois, les autres critères de la norme (pH, réserve alcaline et résistance à la déchirure) ne sont pas évalués ici.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le critère kappa est satisfait. La conformité complète au papier permanent ne peut être établie sans vérifier les autres critères.

5. Carte de conditionnement pour capteur de température

Une sonde Pt100 intégrée au bobinage statorique d'un moteur est raccordée à une carte de conditionnement par une liaison quatre fils de 120 m. À partir du schéma et de la relation résistance-température, il faut établir la tension mesurée puis régler le zéro et l'amplification pour satisfaire le cahier des charges du CAN.

Question Q14. Exprimer la tension UD = V⁺ - V⁻ aux bornes d'entrée du conditionneur en fonction de l'intensité I_0, puis calculer sa valeur pour une température mesurée de 58 °C.

Les fils de mesure ne sont parcourus par aucun courant significatif : leur chute de tension est négligeable. Ainsi, $U_D = I_0 R(T)$. À 58 °C, $R(58) = 100(1 + 3{,}85 \times 10^{-3} \times 58) = 122{,}33\ \Omega$, donc $U_D = 1{,}0 \times 10^{-3} \times 122{,}33 = 0{,}12233\ \text{V}$.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> À 58 °C : $U_D = 0{,}12233\ \text{V}$, soit 122,33 mV.

Question Q15. Déterminer l'amplification A et la tension Vzéro du conditionneur afin de satisfaire le cahier des charges. Vérifier notamment que la tension de sortie est nulle à 0 °C et égale à 5 V à 100 °C.

1. À 0 °C, $U_D = 0{,}001 \times 100 = 0{,}100\ \text{V}$. Comme $U'_D = U_D - V_{zéro}$, il faut $V_{zéro} = 0{,}100\ \text{V}$ pour obtenir une sortie nulle.
2. À 100 °C, $U_D = 0{,}001 \times 138{,}5 = 0{,}1385\ \text{V}$. La tension après soustraction vaut $0{,}0385\ \text{V}$. Pour obtenir $V_s = 5\ \text{V}$, on choisit $A = 5/0{,}0385 \simeq 129{,}87$. Le CAN fournit alors 1000 pas de 5,0 mV.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $V_{zéro} = 0{,}100\ \text{V}$, $A \simeq 129{,}87$. Sorties : 0 V à 0 °C et 5,00 V à 100 °C.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2018)

Bilan de l'épreuve : Cette épreuve U51 du BTS Contrôle industriel et régulation automatique, session 2018, porte le code CA51PHC, dure 3 heures et a un coefficient 4. À partir d'installations de papeterie, elle évalue les transformateurs, la cogénération biomasse, les moteurs et variateurs, le dosage d'oxydoréduction pour contrôler la pâte, ainsi que le conditionnement d'une mesure de température par Pt100.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- Le rapport de transformation triphasé dépend du nombre de spires et des couplages étoile ou triangle au primaire et au secondaire.
- La puissance électrique d'un turboalternateur se déduit du débit massique, du travail massique de la turbine et du rendement de l'alternateur.
- Dans le dosage, 1 mol de diiode réagit avec 2 mol d'ions thiosulfate selon $I_2 + 2\ S_2O_3^{2-} \rightarrow S_4O_6^{2-} + 2\ I^-$.
- Dans le domaine indiqué, une Pt100 suit la relation $R(T) = 100(1 + 3{,}85 \times 10^{-3}T)\ \Omega$.

Points de vigilance & attentes du jury

- Distinguer les tensions entre phases des tensions aux bornes des bobines selon le couplage du transformateur.
- Convertir le débit massique en $kg \cdot s^{-1}$ avant de calculer la puissance produite.
- Lire les figures avec précision et conserver les unités lors de l'exploitation des spectres et caractéristiques.
- Respecter les coefficients stœchiométriques et relier le résultat du dosage au critère d'indice kappa.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment calculer la puissance électrique produite par le groupe turboalternateur ?

Convertissez le débit massique en $kg \cdot s^{-1}$, puis multipliez-le par le travail massique de la turbine pour obtenir la puissance mécanique. Multipliez ensuite cette puissance par le rendement de l'alternateur pour obtenir la puissance électrique.

Q : Comment exploiter la réaction entre le diiode et le thiosulfate ?

L'équation indique qu'une mole de diiode réagit avec deux moles d'ions thiosulfate. À l'équivalence, l'empois d'amidon perd sa coloration bleu-foncé, car le diiode a été consommé.

Q : Le sujet donne-t-il un barème détaillé et combien de temps dure l'épreuve ?

L'épreuve dure 3 heures et son coefficient est 4. Aucun barème détaillé par question n'est imprimé dans le sujet. La qualité de rédaction, la structuration de l'argumentation et la rigueur des calculs sont explicitement valorisées.

Q : Quelles exigences de méthode et de présentation sont indiquées ?

Le sujet valorise une rédaction claire, une argumentation structurée et des calculs rigoureux. Si une donnée semble manquante ou erronée, il faut formuler les hypothèses nécessaires et les justifier clairement.

Sujet officiel associé (PDF) : https://btscira.fr/assets/annales/bts-cira/E5.1 - Analyse physico-chimique d'un procédé et de son environnement/2018/BTS CIRA - E5.1 - Analyse physico-chimique d'un procédé et de son environnement - Session 2018 - 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.