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

Physique

Session 2003 • Code sujet : **CNPHY** • Durée : **Non indiquée**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. Étude d'une turbine à gaz (9 questions) **Page 3**

2. Étude d'une propulsion électrique de secours (11 questions) **Page 7**

3. Ce qu'il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ) (Synthèse & Q&A Examen) **Page 11**

Sujet officiel (PDF) : https://btscicn.fr/assets/annales/bts-cicn/E3 - Mathématiques - Sciences physiques/2003/BTS CICN - E3 - Mathématiques - Sciences physiques - Session 2003 - 1-Sujet.pdf

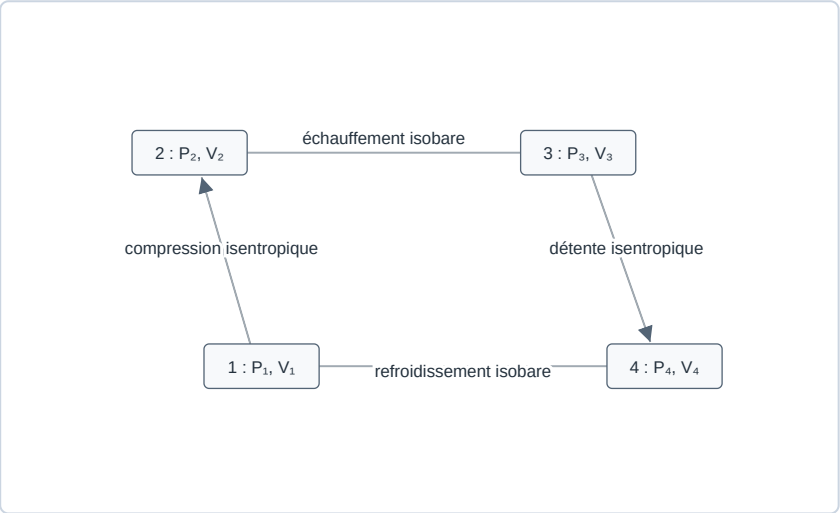
1. Étude d’une turbine à gaz

Le système étudié est une turbine à gaz fonctionnant selon un cycle idéal réversible, modélisé pour une mole de gaz parfait. Les questions portent sur la représentation du cycle, ses échanges thermiques et son travail, puis sur l’optimisation et le calcul de performances à partir de données numériques.

Question 1. Tracer qualitativement le cycle étudié sur un diagramme de Clapeyron, avec le volume molaire V en abscisse et la pression P en ordonnée.

Le cycle se parcourt dans l’ordre **1 → 2 → 3 → 4 → 1**. Les transformations 2 → 3 et 4 → 1 sont isobares : elles sont horizontales sur le diagramme. La compression 1 → 2 diminue le volume et augmente la pression ; la détente 3 → 4 fait l’inverse. Ces deux branches sont isentropiques. Le schéma ci-dessous est qualitatif, avec V croissant vers la droite et P croissant vers le haut.

Cycle qualitatif dans le diagramme de Clapeyron



Volume molaire V croissant vers la droite et pression P croissant vers le haut. Schéma qualitatif.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Cycle 1 → 2 → 3 → 4 → 1 : deux isobares et deux isentropiques.

Question 2. Exprimer, en fonction des températures T1, T2, T3 et T4 aux extrémités du cycle, la chaleur totale Q échangée au cours d’un cycle, en utilisant Q = Q12 + Q23 + Q34 + Q41.

Pour une mole, les étapes isentropiques n’échangent pas de chaleur, donc $Q_{12} = Q_{34} = 0$. Lors d’une transformation isobare, la chaleur reçue vaut $C_p\Delta T$. On compte positivement la chaleur reçue par le gaz ; les variations de température sont donc prises dans le sens de chaque transformation.

Transformation	Chaleur échangée
1 → 2	0
2 → 3	$C_p(T_3 - T_2)$
3 → 4	0
4 → 1	$C_p(T_1 - T_4)$

La chaleur totale est la somme des deux échanges isobares.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $Q = C_p(T_3 - T_2 + T_1 - T_4)$.

Question 3. En déduire, par application du Premier Principe, que le travail W échangé au cours du cycle peut s'écrire W = Cp · (T2 + T4 - T1 - T3).

Sur un cycle, le gaz revient à son état initial : ΔU = 0. Avec la convention du sujet, le travail W est le travail reçu par le gaz et le Premier Principe s'écrit ΔU = Q + W. Ainsi, W = −Q. En remplaçant Q par l'expression obtenue à la question précédente, puis en regroupant les termes, on retrouve la forme demandée. Un W négatif correspond à un travail fourni par le gaz.

$W = -C_p(T_3 - T_2 + T_1 - T_4)$.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $W = C_p(T_2 + T_4 - T_1 - T_3)$.

Question 4. À partir de l'équation des gaz parfaits et de la relation isentropique P · V^y = constante, démontrer que T2/T1 = T3/T4 = α^((γ-1)/γ).

Pour une mole, l'équation des gaz parfaits donne PV = RT. En la combinant à PV^{γ} = constante, on obtient $T \propto P^{(\gamma-1)/\gamma}$ le long d'une isentropique. Sur 1 → 2, le rapport de pression vaut $P_2/P_1 = \alpha$. Sur 3 → 4, les étapes intermédiaires étant isobares, $P_3/P_4 = P_2/P_1 = \alpha$. La même loi donne les deux rapports de température.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $T_2/T_1 = T_3/T_4 = \alpha^{(\gamma-1)/\gamma}$.

Question 5. En déduire la relation W(T2) = Cp · (T2 + T3 · T1/T2 - T1 - T3).

La relation de la question 4 implique $T_2/T_1 = T_3/T_4$. En isolant T_4, on obtient $T_4 = T_1T_3/T_2$. On substitue directement cette expression dans le travail du cycle établi à la question 3. Cette substitution exprime W uniquement en fonction de T_2, les températures T_1 et T_3 étant fixées.

$W(T_2) = C_p(T_2 + T_1T_3/T_2 - T_1 - T_3)$.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $W(T_2) = C_p(T_2 + T_1T_3/T_2 - T_1 - T_3)$.

Question 6. Montrer que, lorsque T1 et T3 sont constantes, le travail fourni à l'alternateur est maximal pour T2 = √(T3 · T1).

Le travail fourni à l'alternateur est −W. Pour le maximiser, il faut donc minimiser $W(T_2)$. À partir de la relation précédente, $dW/dT_2 = C_p(1 - T_1T_3/T_2^2)$. L'annulation donne $T_2^2 = T_1T_3$. Comme $d^2W/dT_2^2 = 2C_pT_1T_3/T_2^3 > 0$, W est minimal en ce point.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le travail fourni à l'alternateur est maximal pour $T_2 = \sqrt{(T_1T_3)}$.

Application numérique

Question 7a. Avec T1 = 293 K, P1 = 1 bar, T3 = 1233 K et γ = 1,40, calculer la température T2.

La question 6 donne la température optimale $T_2 = \sqrt{(T_1T_3)}$. En utilisant les températures fournies, exprimées en kelvins :

$T_2 = \sqrt{(293 \times 1233)} = 601{,}06$ K.

La pression P_1 et l'exposant γ ne sont pas nécessaires à ce calcul. On arrondit le résultat au kelvin, précision adaptée aux données de l'énoncé.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $T_2 \approx 601$ K.

Question 7b. Avec les données fournies, calculer le rapport de compression α.

La relation isentropique du compresseur donne $T_2/T_1 = \alpha^{(\gamma-1)/\gamma}$. En isolant α, on élève le rapport des températures à la puissance γ/(γ−1) :

$\alpha = (T_2/T_1)^{\gamma/(\gamma-1)} = (\sqrt{(293 \times 1233)}/293)^{1,40/(1,40-1)} \approx 12,36$.

Le rapport de compression est sans unité. Ici, T_2 est la valeur optimale calculée à la question 7a.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> $\alpha \approx 12,4$.

Question 7c. Avec les données fournies, calculer le rendement théorique du cycle $\eta = -W/Q_{23}$.

La chaleur reçue pendant l'échauffement isobare vaut $Q_{23} = C_p(T_3 - T_2)$. À l'optimum, $T_4 = T_2$; le travail fourni à l'alternateur est donc $-W = C_p(T_1 + T_3 - 2T_2)$. Les capacités thermiques s'éliminent dans le quotient. Avec les températures données et T_2 optimal :

$\eta = (1233 + 293 - 2\sqrt{(293 \times 1233)})/(1233 - \sqrt{(293 \times 1233)}) \approx 0,513$.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> $\eta \approx 0,513$, soit 51,3 %.

2. Étude d’une propulsion électrique de secours

Le sujet présente la propulsion de secours d’un navire porte-conteneurs par une machine synchrone alimentée par un groupe électrogène, avec démarrage progressif par autotransformateur. Il étudie aussi les caractéristiques de vitesse de la machine et son circuit d’excitation alimenté par un pont redresseur triphasé.

Démarrage de la machine synchrone

Question 1. Repérer les constituants du circuit de puissance représentés page 4 et compléter le tableau n°1 du document réponse.

Les repères du schéma donnent les correspondances suivantes. C4 désigne la machine synchrone et C6 le transformateur associé au circuit d’excitation.

Constituant	Repère
Sectionneur porte-fusibles	C1
Relais différentiel de protection thermique	C2
Autotransformateur	C3
Transformateur	C6
Machine synchrone	C4
Redresseur	C5

Tableau 1 complété

1	contacteurs	sectionneur porte fusible	relais différentiel de protection thermique	auto - transformateur	transformateur	machine synchrone	redresseur
	KM1, KM2, KM3, KM4, KM5	C1	C2	C3	C6	C4	C5

✓ RÉPONSE À RETENIR

C1 : sectionneur porte-fusibles ; C2 : protection thermique ; C3 : autotransformateur ; C4 : machine synchrone ; C5 : redresseur ; C6 : transformateur.

Question 2. Justifier la présence d’une cage d’écureuil sur le rotor de la machine synchrone ainsi que la fermeture du circuit inducteur sur une résistance.

À l’arrêt, le rotor ne peut pas fournir de couple moyen en fonctionnement synchrone. La cage d’écureuil crée alors un couple asynchrone qui accélère le rotor. Le circuit inducteur, fermé sur une résistance pendant cette phase, limite la tension induite et protège le bobinage. Quand la vitesse est proche du synchronisme, l’inducteur est alimenté pour accrocher le réseau.

✓ RÉPONSE À RETENIR

La cage assure le démarrage asynchrone ; la résistance protège l’inducteur des surtensions.

Question 3. Expliquer pourquoi il faut démarrer le moteur sous tension réduite.

Le démarrage sous tension réduite limite le courant d'appel et le couple de démarrage, ce qui réduit les contraintes imposées au moteur et au réseau.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Pour limiter le courant d'appel et les contraintes sur le moteur et le réseau.

Question 4. Préciser l'état ouvert ou fermé des contacteurs KM1 à KM5 à la fin de chacune des trois étapes du démarrage et compléter le tableau n°2 du document réponse.

Les états ci-dessous correspondent aux configurations successives du démarrage : autotransformateur, inductances en série, puis alimentation directe. 0 signifie ouvert et 1 fermé.

Fin de l'étape	KM1	KM2	KM3	KM4	KM5
1	0	1	0	1	0
2	0	0	1	1	0
3	1	0	0	0	1

Tableau 2 complété

2	contacteurs	KM1	KM2	KM3	KM4	KM5
	fin de la 1re étape	0	1	0	1	0
	fin de la 2e étape	0	0	1	1	0
	fin de la 3e étape	1	0	0	0	1

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> KM1 à KM5 : étape 1, 0-1-0-1-0 ; étape 2, 0-0-1-1-0 ; étape 3, 1-0-0-0-1.

Question 5. Pour une fréquence du réseau triphasé f = 60 Hz et une vitesse de synchronisme ns = 1800 tr/min, déduire le nombre de pôles de la machine synchrone.

La vitesse de synchronisme vérifie $\mathbf{n_s = 120\ f\ /\ p}$, avec *p* le nombre de pôles. Ainsi, **p = 120 × 60 / 1800 = 4**. Le résultat est un nombre entier de pôles, conforme à la construction d'une machine synchrone.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> La machine synchrone possède 4 pôles.

Question 6. En fin d'étape n°2, le moteur atteint la vitesse n = 1710 tr/min. En déduire son glissement.

Le glissement est le rapport entre l'écart de vitesse et la vitesse de synchronisme : **$g = (n_S - n) / n_S$**. Avec les vitesses en tr/min données dans le sujet, **$g = (1800 - 1710) / 1800 = 0{,}050$**.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le glissement vaut 5 %.

Question 7. Lorsque le moteur tourne à la vitesse de synchronisme et que son nombre de pôles est fixé, expliquer comment est réalisée la variation de vitesse du navire étudié.

Le moteur reste à sa vitesse de synchronisme puisque la fréquence et le nombre de pôles sont fixes. La vitesse du navire se règle donc en modifiant le pas de l'hélice variable.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> La vitesse du navire varie par réglage du pas de l'hélice.

Question 8. Pour un navire équipé d'une hélice à pales fixes et d'un moteur synchrone autopiloté, justifier l'utilisation d'un onduleur.

Avec des pales fixes, le réglage de la vitesse du navire nécessite de faire varier la vitesse du moteur. L'onduleur modifie la fréquence d'alimentation et donc la vitesse de synchronisme du moteur autopiloté.

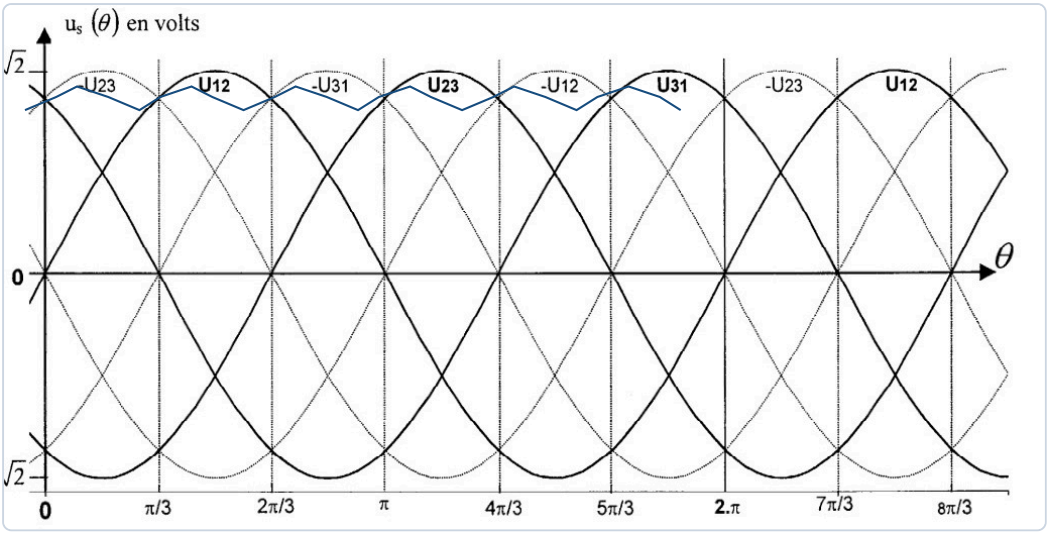
> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> L'onduleur fait varier la fréquence, donc la vitesse du moteur entraînant l'hélice fixe.

Circuit d'excitation

Question 9. Sur la figure n°3 du document réponse, dessiner l'allure de la tension de sortie us(θ) du pont de diodes triphasé sur une période, pour $0 \leq \theta \leq 2\pi$.

Le pont de diodes délivre à chaque instant la différence entre la phase la plus élevée et la phase la plus basse : la tension de sortie est donc l'enveloppe supérieure des six tensions composées. Sur le document réponse, cette enveloppe reste positive et comporte six pulsations par période.

Tension de sortie du pont triphasé



✓ **RÉPONSE À RETENIR**

Enveloppe redressée positive à six pulsations sur $0 \le \theta \le 2\pi$.

Question 10. Le bobinage inductif d'excitation C4 a une résistance Rs = 6 Ω. En utilisant la relation fournie pour la tension moyenne de sortie du pont, calculer l'intensité moyenne <is> du courant débité par le pont.

La tension composée efficace du réseau vaut 110 V. La relation du sujet donne $\langle u_S \rangle = 3 \times 110\sqrt{2} / \pi \approx 148{,}5$ **V**. En régime établi, la tension moyenne aux bornes de l'inductance est nulle ; ainsi $\langle i_S \rangle = \langle u_S \rangle / R_S \approx 148{,}5 / 6 = 24{,}8$ **A**.

✓ **RÉPONSE À RETENIR**

$\langle i_S \rangle \approx 24{,}8$ A.

Question 11. Indiquer quel autre type de pont permettrait d'ajuster l'intensité moyenne <is> à une consigne.

Il faut remplacer le pont de diodes non commandé par un pont redresseur commandé. En réglant l'angle d'amorçage des thyristors, on ajuste la tension moyenne de sortie et donc le courant moyen d'excitation.

✓ **RÉPONSE À RETENIR**

Un pont redresseur commandé à thyristors.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2003)

Bilan de l'épreuve : Sujet de physique repéré CNPHY, session non indiquée dans les pages fournies; durée et coefficient non imprimés. Il porte sur le cycle idéal d'une turbine à gaz et la propulsion électrique de secours d'un navire. Les compétences évaluées sont l'analyse thermodynamique, l'optimisation du travail, l'étude du démarrage d'une machine synchrone et l'analyse d'un redresseur triphasé.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- Pour un gaz parfait en transformation isentropique, P · V^γ reste constant et γ = Cp/Cv.
- Le cycle comporte deux transformations isentropiques et deux transformations isobares.
- La vitesse de synchronisme vérifie ns = 120 f/N, avec ns en tr/min et N le nombre de pôles.
- Un pont de diodes triphasé redresse les tensions composées et fournit une tension de sortie à six pulsations par période.

Points de vigilance & attentes du jury

- Respecter le sens des transformations et placer correctement isobares et isentropiques sur le diagramme P-V.
- Conserver une convention de signe cohérente pour les chaleurs et le travail dans le Premier Principe.
- Distinguer vitesse réelle et vitesse de synchronisme pour calculer le glissement.
- Pour le redressement triphasé, repérer les tensions composées successivement conductrices et les intervalles angulaires.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment exploiter les transformations du cycle pour calculer les échanges thermiques ?

Pour une mole de gaz parfait à capacités thermiques constantes, une transformation isobare s'évalue avec Q = Cp ΔT. Dans une transformation isentropique réversible, l'échange thermique est nul. Additionnez les contributions en respectant la convention de signe utilisée.

Q : Comment déterminer le nombre de pôles à partir de la fréquence et de la vitesse de synchronisme ?

Utilisez ns = 120 f/N lorsque la vitesse est en tours par minute et la fréquence en hertz. Réarrangez en N = 120 f/ns, puis vérifiez que le résultat correspond à un nombre entier pair de pôles.

Q : Le sujet indique-t-il une durée, un coefficient ou une répartition des points ?

Les pages fournies ne précisent ni durée, ni coefficient, ni barème chiffré. Elles présentent les questions et un document réponse avec des tableaux et une figure à compléter. Il ne faut donc pas attribuer de points non imprimés.

Q : Comment représenter et exploiter la tension de sortie du pont triphasé ?

Repérez les tensions composées qui conduisent successivement et représentez leurs portions positives sur la période demandée. Pour le calcul du courant moyen d'excitation, utilisez la relation de tension fournie et la résistance indiquée.

Sujet officiel associé (PDF) : https://btscicn.fr/assets/annales/bts-cicn/E3 - Mathématiques - Sciences physiques/2003/BTS CICN - E3 - Mathématiques - Sciences physiques - Session 2003 - 1-Sujet.pdf
Ressources BTS Conception et Industrialisation en Construction Navale : 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.