Concours National Commun (CNC), Maroc

Session 2010, filière TSI

Physique I

Durée : 4 heures

Ce que traite le sujet

- 1re partie, 1.1 : miroir parabolique et absorbeur
- 1re partie, 1.2 : le moteur Stirling
- 2e partie, 2.1 : principe de la conversion électromécanique
- 2e partie, 2.2 : adaptation d'impédance
- 3e partie : production d'énergie électrique par l'effet photovoltaïque
- 3e partie, 3.4 : branchement sur une charge
- 3e partie, 3.5 : associations de panneaux solaires

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/cnc/tsi/2010/physique1

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

ROYAUME DU MAROC

Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement Supérieur,
de la Formation des Cadres et de la Recherche Scientifique

Présidence du Concours National Commun
Ecole Supérieure des Industries du Textile et de l'Habillement
ESITH

Concours National Commun d'admission aux Grandes Écoles d'Ingénieurs ou assimilées Session 2010

ÉPREUVE DE PHYSIQUE I

Filière **TSI**

Durée 4 heures

Cette épreuve comporte 7 pages au format A4, en plus de cette page de garde
L'usage de la calculatrice est *autorisé*

L'énoncé de cette épreuve comporte 7 pages.
L'usage de la calculatrice est autorisé.

On veillera à une présentation claire et soignée des copies. Il convient en particulier de rappeler avec précision les références *des questions abordées.*

Conversion de l'énergie solaire en électricité

Dans le cadre du développement durable, on s'intéresse à la création de petites unités de production électrique à partir d'énergies renouvelables. Le problème traite quelques aspects de la conversion d'énergie solaire en électricité. La première partie étudie la conversion thermodynamique, la deuxième étudie la conversion d'énergie mécanique en énergie électrique et la troisième traite l'utilisation des cellules photovoltaïques. Les trois parties sont largement indépendantes. Aucune connaissance spécifique sur le rayonnement thermique n'est nécessaire pour traiter ce problème.

Dans les applications numériques, qui ne doivent pas être négligées, une attention particulière sera prêtée au nombre de chiffres à utiliser pour afficher les résultats. Ce nombre, qui dépend en général du niveau de précision recherché, ne doit en aucun cas dépasser le nombre de chiffres significatifs permis par les données. La valeur numérique de toute grandeur physique doit être accompagnée de son unité dans le système international des unités (SI).

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

1ère partie

Unité de production électrique solaire " dish-stirling "

Le schéma de principe d'une unité standard de production électrique par voie thermodynamique, appelée " dish-stirling ", est donnée sur la figure 1 se compose :

- d'un miroir parabolique qui concentre le rayonnement solaire sur un absorbeur que l'on représentera par un disque circulaire placé perpendiculairement à l'axe optique du miroir,
- d'un moteur Stirling dont la source chaude est l'absorbeur ; le moteur est refroidi à l'air ou à l'eau,
- d'une génératrice entraînée par le moteur,
- d'un système de poursuite pour orienter l'axe du miroir vers le Soleil en permanence (non représenté sur la figure).

On admettra la loi STEFAN suivante : un échantillon de matière émet chaque seconde, par rayonnement, l'énergie $\sigma T^4 ds$, où ds est un élément de surface de l'échantillon. La constante $\sigma = 5,67.10^{-8}\ W.m^{-2}.K^{-4}$ est appelée constante de STEFAN, et T sa température absolue.

1.1. Miroir parabolique et absorbeur

Pour assurer un bon rendement du moteur Stirling, il est nécessaire d'obtenir une température de la source chaude (l'absorbeur) élevée. Pour cela, on concentre le rayonnement solaire incident à l'aide d'un miroir parabolique dont le rayon d'ouverture vaut $R_p = 4,5\ m$ et de distance focale $f = 5\ m$.

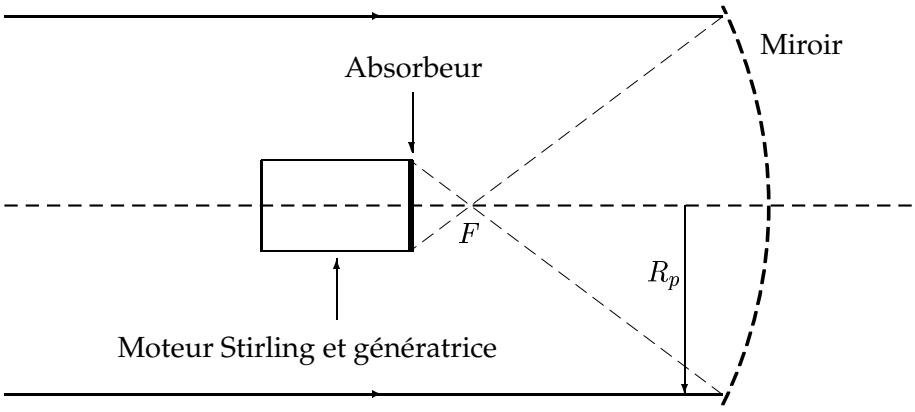


Figure 1: Schéma de principe d'une unité de production électrique solaire "dish-stirling".

1.1.1. Donner la définition optique du foyer d'un miroir parabolique.

Pour simplifier, on modélise par la suite le miroir parabolique par un miroir sphérique que l'on suppose utiliser dans le cadre de l'approximation de GAUSS.

1.1.2. Rappeler les conditions de l'approximation de GAUSS.

1.1.3. Déterminer, dans le cadre de l'approximation de GAUSS, la position du foyer d'un miroir sphérique concave de centre C, de sommet S et de rayon $R = CS$.

1.1.4. Le Soleil étant vu sous un diamètre apparent $\alpha = 30$ minutes d'arc, dessiner l'image du Soleil par le miroir. On fera apparaître sur le tracé, la construction de l'image de deux points diamétralement opposés du bord du disque solaire. Calculer numériquement le diamètre d de l'image.

1.1.5. Quelle est la puissance P_0 du rayonnement solaire captée par le miroir pour un éclairement $E = 800\ W.m^{-2}$? Faire l'application numérique.

1.1.6. Pour des raisons de tenue thermique, l'éclairement du matériau constituant l'absorbeur est limité par un facteur de concentration en puissance $F_C = 2500$ (rapport de la puissance surfacique au niveau de l'absorbeur à celle au niveau du miroir). Calculer le rayon R_a de l'absorbeur en fonction de R_p et F_C. Faire l'application numérique.

1.1.7. A quelle distance a du foyer faut-il placer l'absorbeur de rayon R_a pour qu'il soit entièrement éclairé ? Effectuer l'application numérique.

1.1.8. D'une part, l'absorbeur réfléchit une fraction $r = 0,18$ du rayonnement qu'il reçoit et d'autre part, il émet de l'énergie par rayonnement vers l'extérieur suivant la loi de STEFAN. En dernier lieu, il transmet une puissance P_t au moteur Stirling. La température de la surface de l'absorbeur étant $T_a = 1040\ K$.

1.1.8.1. Faire le bilan de puissance pour l'absorbeur et montrer que l'expression de la puissance P_t transmise au moteur Stirling s'écrit sous la forme :

$$P_t = (1 - r)P_0 - \sigma T_a^4 S_a$$

S_a étant la surface de l'absorbeur.

1.1.8.2. Calculer numériquement la puissance P_t transmise au moteur Stirling.

1.2. Le moteur Stirling

Le moteur Stirling est un moteur étanche à gaz interne et à source de chaleur externe. Le gaz interne (air, hélium ou hydrogène), de quantité de matière n moles, subit un cycle de transformations que l'on supposera réversibles :

- **AB** détente isotherme à $T_c = 900\ K$,
- **BC** refroidissement isochore à volume $V = V_1$ dans un régénérateur qui stocke l'énergie échangée,
- **CD** compression isotherme à $T_f = 300\ K$,
- **DA** réchauffement isochore à volume $V = V_2$ dans le régénérateur qui lui restitue l'énergie stockée pendant la transformation **BC**.

Le gaz sera assimilé à un gaz parfait. On donne la constante $R = 8,314\ SI$.

1.2.1. Écrire l'équation d'état du gaz et en déduire l'unité de la constante R.

1.2.2. Dans un diagramme de Clapeyron représentant la pression en fonction du volume, dessiner le cycle décrit par le gaz.

1.2.3. Exprimer, en fonction des données les quantités de chaleur échangées au cours des quatre transformations Q_{AB}, Q_{BC}, Q_{CD} et Q_{DA} en précisant leur signe. On note C_v la capacité thermique molaire à volume constant du gaz.

1.2.4. En utilisant le premier principe, calculer le travail W fourni par le gaz au cours d'un cycle en fonction de n, R, T_c, T_f et du rapport volumétrique $x = \dfrac{V_1}{V_2}$.

1.2.5. On donne $x = 2,3$; $n = 0,40\ mol$; calculer numériquement W et Q_{AB}.

1.2.6. Définir le rendement théorique r_{th} du moteur et le calculer. Pour quelle raison ce rendement n'est-il jamais atteint ?

1.2.7. Le diagramme de Clapeyron du moteur Stirling réel nous donne $W = -790\ J$ et $Q_{AB} = 2180\ J$.

1.2.7.1. Calculer le rendement réel du moteur.

1.2.7.2. Le moteur effectue 1080 cycles par minute, en déduire la puissance du moteur.

1.2.7.3. Quelle est la puissance fournie par l'absorbeur au moteur ? Comparer cette valeur à la puissance P_t calculée au 1.1.8.2..

2ème partie

Transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique

La conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique est effectuée par une génératrice électrique appelée alternateur. Le rotor de l'alternateur est accouplé directement à l'arbre du moteur Stirling.

2.1. Principe de la conversion électromécanique

Une représentation simplifiée d'un alternateur, dit monophasé, est donnée sur la figure 2-a. Il comporte un cadre rectangulaire C_1 sur lequel on a enroulé N spires. Ce cadre tourne dans un

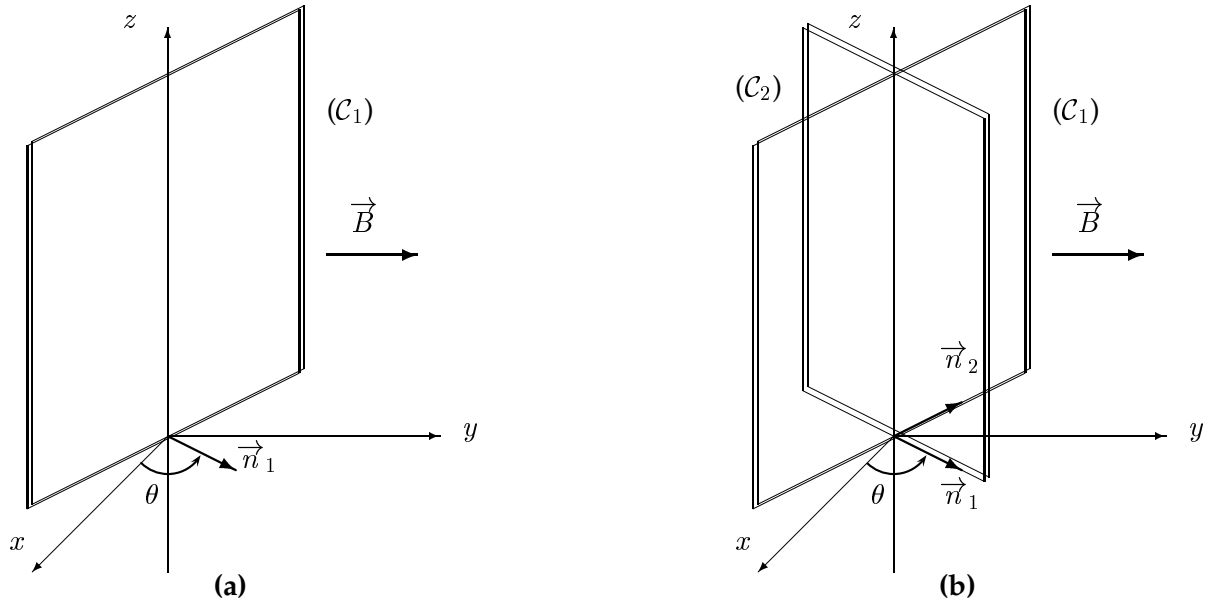


Figure 2: Schéma de principe de l'alternateur

champ magnétique uniforme et constant $\overrightarrow{B} = B\ \overrightarrow{e}_y$ autour de son axe de symétrie Δ que l'on prend comme axe Oz. On note $\overrightarrow{n}_1$ le vecteur normal, ce qui oriente le sens de parcours du cadre. On note θ l'angle orienté $\theta = (\overrightarrow{e}_x, \overrightarrow{n}_1)$. Le cadre est entraîné par l'axe du moteur Stirling et tourne à la vitesse angulaire $\Omega = \dot{\theta}$. On prendra par la suite : $\Omega = 1080$ tours par minute.

2.1.1. Établir l'expression du flux ϕ_1 du champ magnétique à travers une spire de C_1 en fonction de S_c surface du cadre, B et θ.

2.1.2. Il apparaît aux extrémités de l'enroulement des N spires de C_1, une force électromotrice e_1 que l'on exprimera en fonction de S_c, N, B, θ et $\dot{\theta}$. Préciser en particulier sa pulsation ω_e en fonction de la vitesse de rotation Ω de la machine.

2.1.3. L'enroulement de résistance R_c et d'inductance propre L, est connecté à une charge résistive de résistance R. Représenter le circuit électrique équivalent ; on prendra soin de faire apparaître l'orientation du circuit et le sens de la f.é.m. et du courant i_1 qui le parcourt. Donner l'expression de i_1. On pourra poser $\underline{Z}_c = R_c + j\,L\omega_e$ l'impédance équivalente de l'enroulement, avec $j^2 = -1$.

2.1.4. On rappelle que le moment des forces de LAPLACE s'exerçant sur le circuit C_1 baignant dans un champ magnétique $\overrightarrow{B}$ uniforme vaut :

$$\overrightarrow{\Gamma}_1 = \overrightarrow{M}_1 \times \overrightarrow{B}$$

où $\overrightarrow{M}_1 = N\ i_1\ S_c\ \overrightarrow{n}_1$ est le moment magnétique du cadre C_1.

On notera J le moment d'inertie par rapport à l'axe Δ du cadre C_1 et de l'arbre du moteur dont il est solidaire. On supposera que les liaisons avec l'axe sont parfaites.

2.1.4.1. Calculer le moment $\overrightarrow{\Gamma}_1$ des forces de LAPLACE que subit le cadre C_1.

2.1.4.2. Par application du théorème du moment cinétique par rapport à l'axe Δ, trouver une équation différentielle en θ reliant $\overrightarrow{\Gamma}_1$ et le moment $\overrightarrow{\Gamma}_M = \Gamma_M\ \overrightarrow{e}_z$ des actions exercées par le moteur sur la partie tournante.

2.1.5. En régime permanent, la vitesse angulaire Ω est constante. Déterminer l'expression de $\langle \Gamma_M \rangle$, la valeur moyenne dans le temps de Γ_M. En déduire la puissance mécanique moyenne P_m fournie par le moteur à la génératrice.

2.1.6. Déterminer, en régime permanent, la puissance moyenne électrique P_e mise en jeu dans la génératrice de f.e.m. e_1. Conclure.

2.2. Adaptation d'impédance

Un second cadre identique C_2, solidaire du premier et s'en déduisant par une rotation de $+\frac{\pi}{2}$, complète le dispositif (figure 2-b). On notera $\overrightarrow{n}_2$ le vecteur normal à ce second cadre. L'ensemble forme ce qu'on appelle un alternateur diphasé. On néglige l'inductance mutuelle entre les deux enroulements.

2.2.1. Exprimer la f.é.m. e_2 qui apparaît aux bornes de C_2.

2.2.2. Les deux cadres C_1 et C_2 sont connectés à une charge d'utilisation d'impédance $\underline{Z}_u = R_u + j\ X$.

2.2.2.1. Représenter le circuit électrique équivalent.

2.2.2.2. Le circuit précédent peut être représenté par le schéma équivalent de la figure 3. Établir les expressions de e en fonction de e_1 et e_2, et de Z_e en fonction de $\underline{Z}_c$.

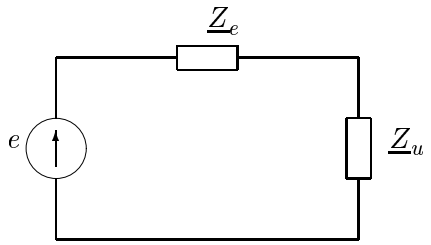


Figure 3: Schéma équivalent de l'alternateur associé à une charge.

2.2.3. Déterminer l'expression de la puissance moyenne P_c délivrée à la charge.

2.2.4. A quelles conditions la puissance P_c est-elle maximale ? Commenter.

3ème partie

Production d'énergie électrique par l'effet photovoltaïque

Une autre utilisation de l'énergie solaire est la production d'énergie électrique par des cellules photovoltaïques.

Le comportement d'une cellule photovoltaïque (ou panneau solaire) peut être étudié par le montage de la figure 4 où l'on dispose d'une résistance variable étalonnée R et d'un voltmètre supposé idéal.

On obtient alors les courbes caractéristiques $I_i = f(U_i)$, de la figure 5, données pour une cellule de surface $S = 1\,m^2$ relativement à trois éclairements E différents :

- $E_1 = 800\ W.m^{-2}$ (éclairement solaire maximal)
- $E_2 = 200\ W.m^{-2}$ (ciel voilé)
- $E_3 = 100\ W.m^{-2}$ (ciel gris)

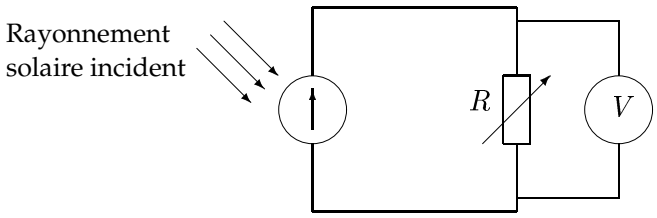


Figure 4: Montage pour l'étude de la caractéristique d'un panneau solaire.

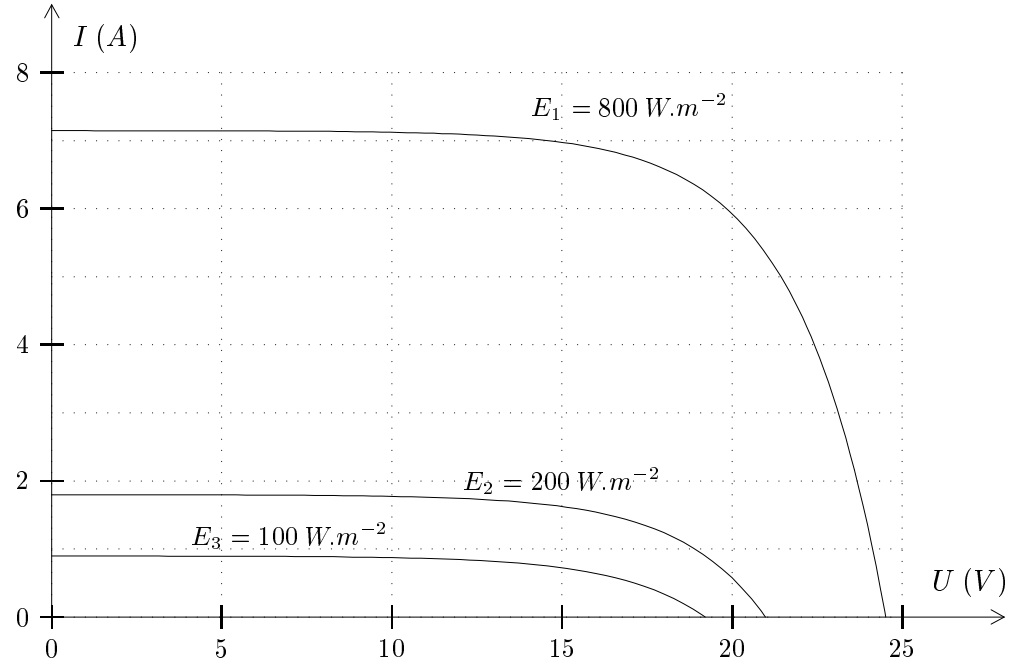


Figure 5: Caractéristiques d'un panneau solaire à différents éclairements.

Les courbes sont complétées par le tableau donnant les tensions U_i, pour les différents éclairements E_i, en fonction de R.

$R\ (\Omega)$	∞	80	40	20	15	10	5	3	2	0,5
$U_1(V)$	24,5	24,3	24,25	24	23,8	23,5	22	17,9	14,2	3,54
$U_2(V)$	21	20,6	20,1	19	18	15,4	8,6	5,3	3,5	0,88
$U_3(V)$	19,2	18,5	17,5	14,8	12,5	8,9	4,3	2,64	1,8	0,45

3.1. Montrer que la mesure de la tension U suffit à établir la courbe caractéristique.

3.2. De quelle puissance électrique maximale peut-on disposer dans chaque cas ; donner alors les valeurs de l'intensité I_{max} et de la tension U_{max} correspondantes dans chaque cas. On pourra utiliser une solution graphique ou numérique et un résultat comportant deux chiffres numériques suffira.

3.3. Les caractéristiques expérimentales sont bien modélisées par la fonction :

$$I = I_0 \left(\exp\left(\frac{U}{U_0}\right) - 1 \right) + A.E$$

On supposera, ce qu'on vérifiera à posteriori, que les intersections des caractéristiques avec l'axe horizontal correspondent à des valeurs de U largement supérieures à U_0.

3.3.1. Déterminer les valeurs numériques du courant du court-circuit I_{cc} correspondantes à chaque éclairement. En déduire la valeur de A.

3.3.2. Déterminer les valeurs numériques de la tension du circuit ouvert U_{co} correspondantes à chaque éclairement. En déduire les valeurs numériques de U_0 et I_0.

Pour la suite, on se place sur la courbe d'éclairement maximal ($E_1 = 800\ W.m^{-2}$).

3.4. Branchement sur une charge

3.4.1. Le panneau solaire étant couplé à un ventilateur, assimilé à une résistance de $22\,\Omega$.

3.4.1.1. Déterminer la tension aux bornes du ventilateur et le courant qui le traverse. On précisera avec soin la méthode utilisée.

3.4.1.2. En déduire la puissance P_v reçue par le ventilateur et le rendement du panneau correspondant.

3.4.2. On se propose maintenant de charger une batterie $\{12\,V, 1\,\Omega\}$. On suppose qu'au début, elle est complètement déchargée.

3.4.2.1. Que représentent les deux grandeurs entre accolades ?

3.4.2.2. Déterminer la tension aux bornes de la batterie, le courant qui la traverse et la puissance qu'elle reçoit au début de la charge. Comparer cette puissance à la puissance maximale délivrée par le panneau.

3.4.2.3. Sur la batterie, on lit qu'elle contient $8\ Ah$. Que représente cette grandeur ?

3.4.2.4. Quel est le temps nécessaire pour charger cette batterie ?

3.5. Associations de panneaux solaires

On veut construire une centrale solaire pouvant fournir une puissance électrique de $100\ kW$.

3.5.1. De quel nombre de cellules élémentaires de $1\ m^2$ faut-il disposer si chaque cellule fournit sa puissance maximale ?

3.5.2. Si on utilise des branches de $n_s = 50$ cellules placées en série, de quelle tension pourra-t-on disposer ? On suppose la résistance des connexions négligeables.

3.5.3. On place $n_p = 20$ des branches précédentes en parallèle. Quelle sera l'intensité globale qu'on pourra obtenir de l'ensemble ?

3.5.4. Quelle est alors la puissance maximale théorique disponible de cette centrale ? Déterminer alors le rendement de la centrale. Commenter.

3.5.5. Quelle est la résistance qui permet d'utiliser cette puissance, c'est-à-dire qui optimise le fonctionnement ? La comparer à celle d'une cellule élémentaire de $1\ m^2$.

FIN DE L'ÉPREUVE

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de TSI chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Optique géométrique et formation des images
- Grandeurs, unités, analyse dimensionnelle et ordres de grandeur
- Conversion électromécanique : machine à courant continu
- Régime sinusoïdal forcé
- Dynamique des solides et des systèmes : principe fondamental, stratégie d'isolement, équilibrage dynamique
- Circuits électriques dans l'ARQS
- Fonctions usuelles et lecture des graphes
- Alimentation en énergie et stockage de l'énergie

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/cnc/tsi