



AVIS IMPORTANT AUX CANDIDATS

Ce cahier d'examen est strictement personnel. Il ne doit comporter aucun signe distinctif.
Les réponses doivent être rédigées en noir ou en bleu.
Le non respect de l'une de ces recommandations peut conduire à l'attribution de la note ZERO à la copie.

Case à cocher si le
candidat est absent

☐

CONCOURS : **Biologie et Géologie**

EPREUVE DE : **Physique**

DATE : **08-06-2026 à 08 H 00**

DURÉE : **3 HEURES**

NOM :

PRÉNOM :

DATE DE NAISSANCE :

N° de C.I.N/PASSEPORT pour les étrangers :

SÉRIE :

IDENTIFIANT :

Signature des enseignants

Signature des enseignants	

Signature du candidat

Signature du candidat



Concours

Biologie & Géologie

Epreuve de Physique

Date : 08 Juin 2026

Heure : 8 H00

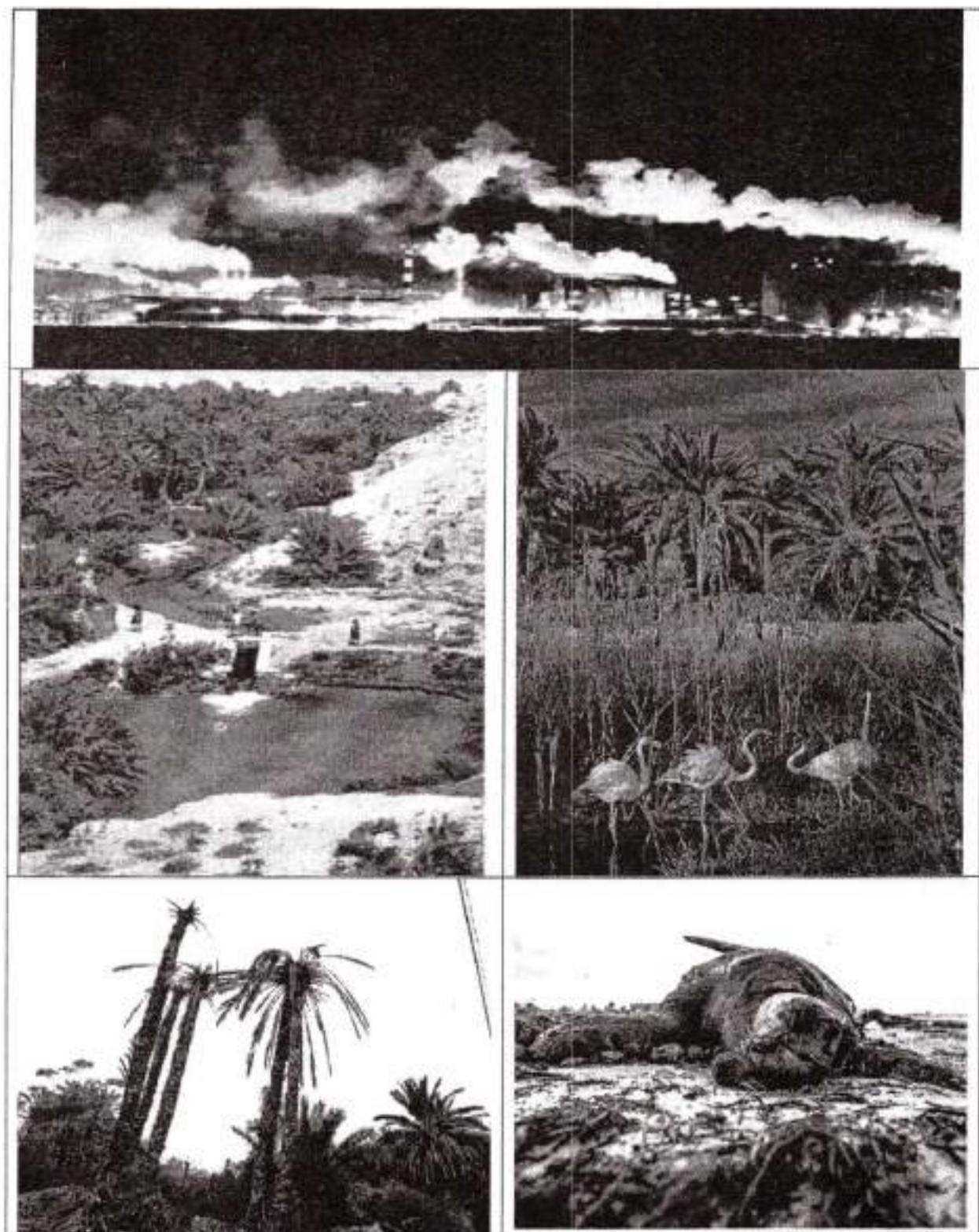
Durée : 3 H

- Cette épreuve comporte 18 pages.
- Il n'est fourni au candidat qu'une seule et unique copie qui doit être rendue à la fin de l'épreuve même sans réponses.
- L'usage d'une calculatrice non programmable est autorisé.
- L'épreuve comporte cinq parties indépendantes.
- Tout résultat fourni dans l'énoncé peut être admis et utilisé par la suite, même s'il n'a pas été démontré par le candidat.
- Les résultats numériques sans unité ou avec une unité fausse ne seront pas comptabilisés.
- 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 expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

EN HOMMAGE A UNE OASIS DISPARUE

Il est difficile d'exprimer par des mots la foule de sensations diverses qu'on éprouve en pénétrant dans l'oasis de Gabès. On marche d'enchantement en enchantement, de surprise en surprise, dans ce coin de pays sur lequel la baguette magique d'une fée paraît s'être étendue ...

J. Servonnet, F. Lafitte : *En Tunisie, le Golfe de Gabès en 1888.*



NE RIEN ÉCRIRE ICI

Première Partie : Q.C.M.

Cocher la ou les cases correspondant aux bonnes réponses.

Q1. La relation entre pression et altitude dans une atmosphère isotherme est :

- ☐ $P(z) = P_0 - \rho g z$
☐ $P(z) = P_0 \exp\left(-\frac{z}{H}\right)$
☐ $P(z) = P_0(1 + az)$
☐ $P(z) = \rho g z$

Q2. Le nombre de Reynolds, Re , caractérise

- ☐ le rapport entre forces visqueuses et forces d'inertie
 ☐ le rapport entre gravité et pression
☐ le comportement thermodynamique du fluide
 ☐ le rapport entre pression et viscosité

Q3. Une lentille convergente donne une image virtuelle si l'objet réel est placé sur l'axe optique

- ☐ dans le plan focale objet de la lentille
 ☐ loin du foyer objet
☐ entre le centre optique de la lentille et le foyer objet.
☐ impossible d'obtenir une image virtuelle avec une lentille convergente

Q4. La variation de l'énergie mécanique est égale au travail des forces extérieures

- ☐ conservatives seulement
 ☐ dissipatives seulement
 ☐ conservatives et dissipatives

Q5. Soit une OPPH acoustique qui se propage dans le sens croissant de l'axe de propagation dans un milieu de masse volumique ρ_0 avec la célérité c . l'impédance acoustique s'exprime comme :

- ☐ $Z = 1/\rho_0 c$
☐ $Z = \rho_0 c$
☐ $Z = \rho_0 / c$
☐ $Z = \rho_0 + c$

Q6. L'adaptation d'impédance entre deux milieux d'impédances acoustiques Z_1 et Z_2 est atteinte lorsque :

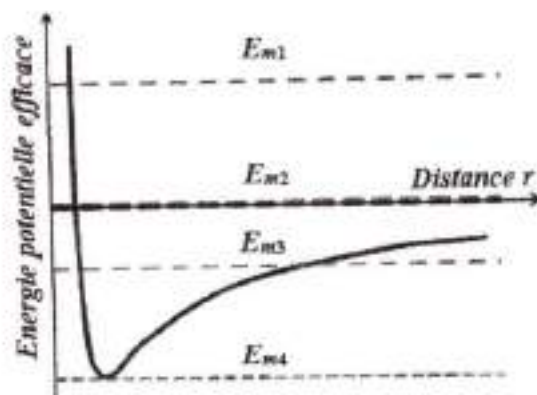
- ☐ $Z_1 = Z_2$
☐ $Z_1 \gg Z_2$
☐ $Z_1 \ll Z_2$
☐ $Z_1 Z_2 = 1$

Q7. Soit $\vec{F}$ une force, $\mathcal{E}_p$ une énergie et $W_{\vec{F}}$ le travail de $\vec{F}$. Si $\vec{F}$ est conservative alors

- ☐ elle dérive d'une énergie potentielle $\mathcal{E}_p$
☐ $\vec{F} = -\overrightarrow{\text{grad}}(\mathcal{E}_p)$
☐ $W_{\vec{F}}$ est égale à la variation de l'énergie mécanique

Q8. On donne la courbe de l'énergie potentielle efficace dans le champ de gravitation d'une planète. On donne aussi les énergies mécaniques de 4 satellites tournant autour de cette planète ; E_{m1} , E_{m2} , E_{m3} et E_{m4} . Lequel de ces satellites a une trajectoire circulaire ?

- ☐ E_{m1}
☐ E_{m2}
☐ E_{m3}
☐ E_{m4}



Deuxième Partie : Formation des nuages

Dans cette partie nous allons étudier le mécanisme de formation des gouttelettes de nuage dans l'atmosphère appelé mécanisme de nucléation. On commence par une étude thermodynamique simplifiée et on termine par illustrer qualitativement l'effet de la pollution industrielle sur la formation des nuages et la précipitation des pluies.

On considère une goutte d'eau liquide sphérique, de rayon r , formée dans une atmosphère humide. La goutte échange de la chaleur et de la matière avec le milieu extérieur maintenu à la température T_0 et la pression P_0 . Les travaux élémentaires réversibles mis en jeux au cours de la formation de la goutte, outre le travail des forces de pression δW_p , sont : le travail chimique $\delta W_\mu = \mu_g dn_g$ et le travail des forces de tension superficielle $\delta W_\sigma = \sigma d\Sigma$. μ_g , n_g , σ et Σ sont, respectivement, le potentiel chimique molaire, le nombre de moles, le coefficient de tension superficielle et la surface de la goutte d'eau liquide. On suppose que le liquide est incompressible, de volume molaire v_g . L'indice g est relatif à la goutte.

On donne, pour une sphère de rayon r , son volume $V_g = \frac{4}{3}\pi r^3$ et sa surface $\Sigma_g = 4\pi r^2$.

Q9. Exprimer les différentielles dn_g et $d\Sigma$ en fonction de dV , variation élémentaire du volume de la goutte. En déduire que la différentielle de l'énergie interne de la goutte s'écrit comme :

$$dU_g = \delta Q + \Pi_{eff} dV$$

avec $\Pi_{eff} = -P_0 + \mu_g/v_g + 2\sigma/r$ est la contrainte thermodynamique globale conjuguée à V . δQ étant la chaleur échangée entre la goutte et le milieu extérieur.

NE RIEN ÉCRIRE ICI

Q10. On définit l'énergie libre par $F = U - TS$. Exprimer la différentielle $dF_g(T, V)$ de l'énergie libre de la goutte en fonction de son entropie S_g et de Π_{eff} .

Q11. Lors d'une transformation réversible, on peut écrire $\delta Q = C_V dT + \lambda dV$. Donner une interprétation physique des coefficients C_V et λ . En déduire l'expression de la différentielle de l'entropie de la goutte $dS_g(T, V)$.

Q12. Montrer que : $\lambda = -T \left(\frac{\partial \pi_{eff}}{\partial T} \right)_V$, puis expliciter sa forme sachant que $\mu_g(T) \simeq A - B T$ et $\sigma(T) \simeq C - D T$ où A , B et D sont des constantes positives alors que C est une constante négative.

Q13. On considère une transformation adiabatique de la goutte. Montrer que l'équation différentielle liant la variation de la température à la variation du volume s'écrit :

$$\frac{dT}{dr} = \frac{-T}{C_V} \left(\frac{B}{v_g} + \frac{2D}{r} \right) 4\pi r^2$$

Q14. Résoudre cette équation pour une évolution entre (T_0, r_0) et $(T_0 + \Delta T, r_0 + \Delta r)$ sous l'hypothèse de petites variations $\Delta r \ll r_0$ et $\Delta T \ll T_0$. Interpréter physiquement le signe de ΔT selon que Δr est inférieur ou supérieur à zéro,

On donne les deux approximations de premier ordre au voisinage de zéro : $\ln(1+x) \approx x$ et $(1+x)^\alpha \approx 1 + \alpha x$.

Q15. Pour étudier l'évolution et l'équilibre d'une goutte d'eau dans les conditions atmosphériques, on introduit la fonction enthalpie libre généralisée G^* . Pour une goutte en contact avec l'atmosphère, considérée comme un réservoir de paramètres fixes (T_0, P_0, μ_0) , $G_g^* = U_g + P_0 V_g - T_0 S_g - \mu_0 n_g$. Exprimer la différentielle $dG_g^*(S_g, V_g, n_g)$. En déduire qu'à l'équilibre on a :

$$T_g = T_0 \quad , \quad p_g - P_0 = \frac{2\sigma}{r} \quad , \quad \mu_g = \mu_0.$$

Au cours d'une évolution monotherme et monobare, la formation d'une goutte de rayon r à l'état de saturation liquide à partir d'un état de vapeur à une pression p_v s'accompagne d'une variation de G^* égale à :

$$\Delta G_g^* = -\frac{4\pi r^3}{3v_g} RT \ln\left(\frac{p_v}{P_{sat}(T)}\right) + 4\pi\sigma r^2$$

$P_{sat}(T)$ est la pression de saturation de l'atmosphère à la température T . R est la constante des gaz parfaits. ΔG_g^* est désormais le potentiel thermodynamique de la formation de la goutte. On donne sur la **Figure 1** son allure pour $\frac{p_v}{P_{sat}(T)} > 1$.

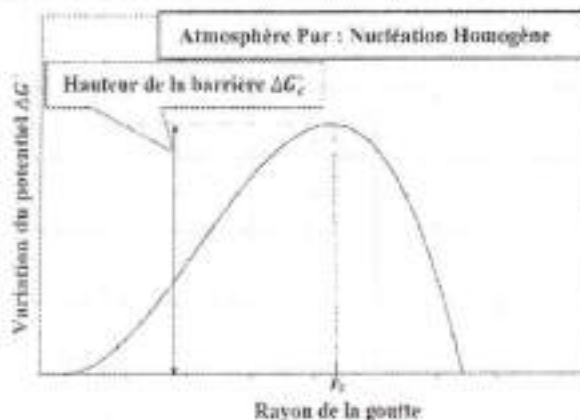


Figure 1. Courbe typique de la variation de l'enthalpie libre en fonction de rayon de la goutte d'eau au cours d'une nucléation homogène

Q16. Donner l'interprétation physique des extremums (minimums et maximums) sur une courbe d'énergie potentielle, ainsi que les conditions mathématiques correspondantes à chaque cas.

Q17. Donner l'expression de la position r_c du maximum de ΔG_g^* , puis l'expression de $\Delta G_g^*(r_c)$.

r_c , appelé rayon critique, est le rayon qu'une goutte (précurseur) doit atteindre pour pouvoir se développer jusqu'à une goutte de pluie. Pour cela, le précurseur de faible rayon, situé à gauche de r_c sur la courbe, doit tout d'abord surmonter la barrière énergétique $\Delta G_g^*(r_c)$.

NE RIEN ÉCRIRE ICI

Q18. Estimer la valeur du rayon r_c d'une goutte formée dans une atmosphère saturée : $p_v = P_{\text{sat}}(T)$. Déduire une estimation de $\Delta G_g^*(r_c)$. Conclure sur la faisabilité de la nucléation homogène sachant que dans les conditions réelles la pression de la vapeur ne peut pas dépasser $p_v = 1.02 P_{\text{sat}}(T)$.

En fait, dans la nature, la nucléation (formation des gouttelettes) ne peut être qu'hétérogène sur des centres de condensation dits aérosols. Les aérosols sont des particules neutres ou chargées électriquement, provenant de différentes sources naturelles ; sels marins, poussières de sables, activités volcaniques... et artificielles ; fumée, activités industrielles... Cependant, une concentration élevée des aérosols dans l'atmosphère peut avoir des effets néfastes sur la formation des nuages et sur la quantité de précipitation (pluies) enregistrée. Sur la **Figure 2** on donne 3 courbes de la variation ΔG^* en fonction du rayon de la goutte formée dans un volume fermé, contenant la même quantité de vapeur d'eau mais à 3 concentrations de particules chargées ; faible, modérée et excessive. La courbe 4 représente le cas d'une nucléation homogène.

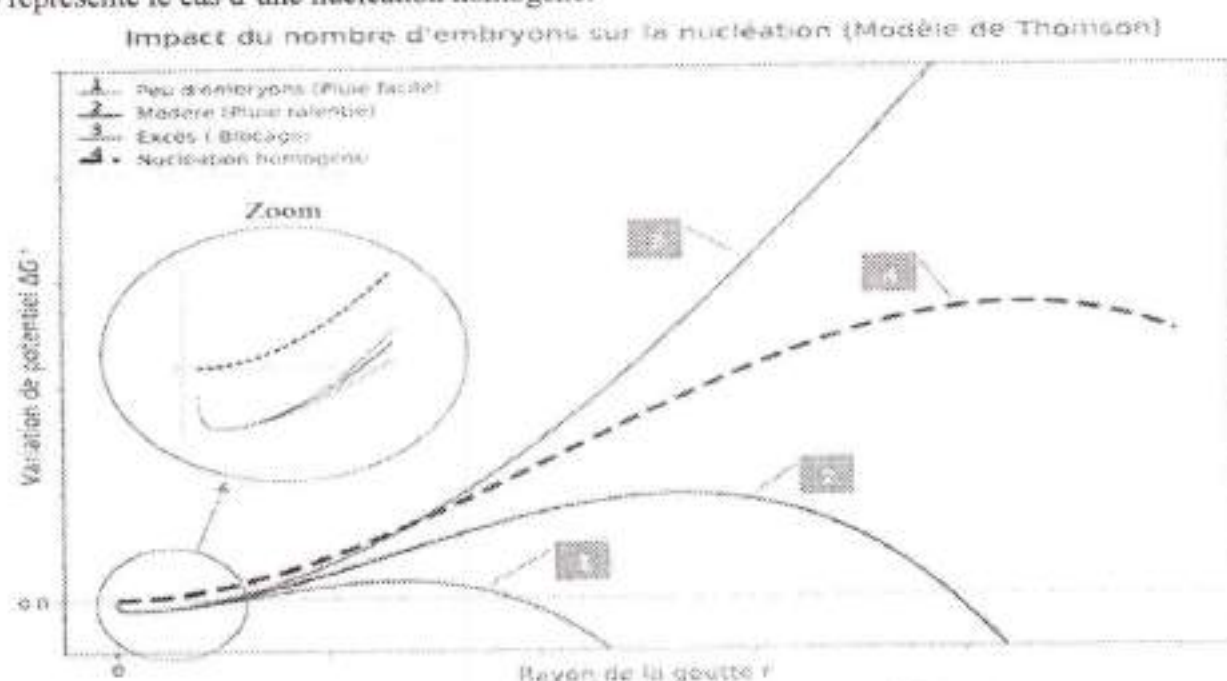


Figure 2. Variation de ΔG^* en fonction du rayon de la goutte

Q19. Discuter qualitativement l'allure de ces courbes et dire comment une pollution industrielle peut empêcher la précipitation des pluies.

Troisième Partie : Le phosphogypse

Le phosphogypse est un sous-produit solide résultant de la production d'acide phosphorique à partir de phosphate naturel. Chaque tonne d'acide phosphorique entraîne la production d'environ 5 tonnes de phosphogypse. Outre le sulfate de calcium di-hydraté, le phosphogypse contient des radionucléides (Uranium, Thorium, Radium), des métaux lourds, et peut libérer du HF, du H₂S et des particules fines sous certaines conditions environnementales.

Généralement, le phosphogypse est stocké dans des terrils à ciel ouvert. Cependant, dans certaines régions côtières, il est rejeté directement en mer, sous forme de suspension aqueuse. Les unités du groupe chimique tunisien en rejettent près de 4,5 à 5 millions de tonnes par an dans le golfe de Gabès. On se propose, dans ce problème, d'analyser le devenir physique de ce rejet, en s'intéressant à quelques conséquences environnementales de cette industrie. On adopte des modèles 1D et des hypothèses de milieu homogène.

Sédimentation des déchets solides du phosphogypse

Une fraction du phosphogypse rejeté, reste sous forme solide et finit par se déposer au fond de la mer. Pour étudier ce phénomène de sédimentation, on considère une particule sphérique, de rayon R et de masse volumique ρ_p , qui chute dans l'eau de masse volumique ρ_e et de viscosité dynamique η . Cette particule est soumise aux effets de son poids, $\vec{p}_p = m_p \vec{g}$, de la poussée d'Archimède, $\vec{F}_A = -m_e \vec{g}$ et la force du frottement visqueux de Stokes, $\vec{f} = -\alpha \vec{v}$. $\vec{v}$ est la vitesse de la particule, $\alpha = 6\pi\eta R$. $\vec{g}$ est l'accélération de la pesanteur.

On fera l'étude dans un repère d'axe vertical Oz orienté vers le haut.

Q20. Identifier les masses m_p et m_e intervenants dans les expressions du poids et de la poussée d'Archimède. Donner leurs expressions en fonction du volume et de la masse volumique associés. Quelle condition sur ρ_p et ρ_e permet la sédimentation des particules solides ? quelles sont les hypothèses de validité de la Loi de Stokes ?

NE RIEN ÉCRIRE ICI

Q21. En appliquant le principe fondamental de la dynamique à la particule solide trouver l'équation différentielle vérifiée par la vitesse de sédimentation $v(t)$.

Q22. Soit la condition initiale $v(t = 0) = 0$. Montrer que $v(t) = \frac{(m_p - m_e)g}{\alpha} \left(1 - \exp\left(-\frac{\alpha}{m_p} t\right) \right)$.

Q23. Montrer qu'au bout d'une durée t suffisante, la vitesse atteint une valeur maximale constante qu'on notera v_{limite} . Donner son expression. Discuter l'influence de R et ρ_p sur la vitesse limite et sur la rapidité d'accumulation au fond et l'impact sur l'étendue de la surface contaminée.

Q24. Calculer v_{limite} pour : $R = 50 \mu m$, $\rho_p = 2.3 \times 10^3 kg.m^{-3}$, $\rho_e = 10^3 kg.m^{-3}$, $\eta = 10^{-3} Pa.s$. Justifier que le régime de Stokes est applicable pour ces particules. On rappelle l'expression du nombre de Reynolds : $Re = \frac{\rho v R}{\eta}$.

Q25. On suppose que le débit des rejets solides est Q_s (en kg.s^{-1}) et que les particules se déposent uniformément sur une surface S . Exprimer la vitesse d'accumulation de l'épaisseur $h(t)$, en m.s^{-1} , du dépôt en fonction de Q_s , S et ρ_p .

Pour $Q_s = 1 \text{ kg.s}^{-1}$ (le groupe chimique tunisien rejette plus de 150 kg.s^{-1} dans le golfe de Gabès) et $S = 10^3 \text{ m}^2$, estimer $h(t)$ après 1 jour.

Q26. Soit $C(x, t)$ la densité volumique des particules solides. Montrer que le nombre de particules, ayant la vitesse v_{limite} , capables de traverser la section horizontale $d\Sigma = a dx$ (a est la dimension suivant l'axe Oy ; voir **Figure 3**) pendant l'intervalle de temps dt est :

$$\delta N = C(x, t) v_{\text{limite}} d\Sigma dt$$

En déduire l'expression du vecteur densité surfacique de courant de particules, $\vec{J}_s$, associé à la sédimentation.

Advection unidimensionnelle avec sédimentation

On s'intéresse ici au transport des particules solides dans la direction Ox , du courant d'eau, en combinant advection et sédimentation verticale.

Le courant d'eau est uniforme de vitesse $\vec{v}_e = v_0 \vec{e}_x$.

La vitesse de sédimentation des particules est

$$\vec{v}_s = -v_{\text{limite}} \vec{e}_z.$$

On considère un volume de contrôle de dimension

$dx \times a \times H$ (voir **Figure 3**). $\vec{J}_a$ est le vecteur densité de courant de particules associé à l'advection (écoulement de l'eau).

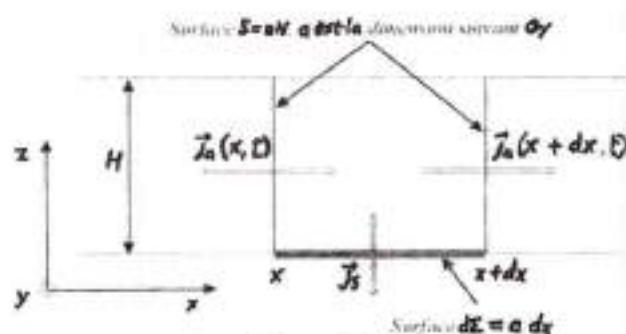


Figure 3.

Q27. Par analyse dimensionnelle trouver une relation entre J_a , $C(x, t)$ et v_0 . En déduire que $C(x, t)$ vérifie l'équation différentielle suivante (équation de conservation de la masse) :

$$\frac{\partial C(x, t)}{\partial t} = -v_0 \frac{\partial C(x, t)}{\partial x} - \frac{v_{\text{limite}}}{H} C(x, t)$$

NE RIEN ÉCRIRE ICI

Q28. Résoudre cette équation en régime stationnaire. On prendra $C(x=0) = C_0$.

Q29. On définit la longueur de pollution L comme la distance pour laquelle la concentration reste supérieure à un seuil $C_{\min}$. Exprimer L et calculer sa valeur numérique pour :

$$v_0 = 0.1 \text{ m.s}^{-1}, v_{\text{limit}} = 0.01 \text{ m.s}^{-1}, H = 10 \text{ m}, C_0/C_{\min} = 10.$$

Commenter l'influence relative de v_0 et v_{limit} sur l'extension de la pollution, notamment pour des particules de faibles tailles. (Se référer à la question Q23).

Diffusion des constituants nocifs à partir du dépôt sédimentaire

Après le dépôt des déchets solides de phosphogypse sur le fond marin, une partie des constituants nocifs (métaux lourds, éléments radioactifs ...) peut être progressivement libérée dans l'eau de mer. On s'intéresse ici au transfert de matière depuis la couche sédimentaire vers l'eau, en tenant compte à la fois de la diffusion dans le sédiment, de l'échange à l'interface solide-eau, et de la dynamique de la couche limite hydrodynamique au voisinage du fond.

Modélisation de la diffusion dans le sédiment : On considère une couche superficielle de sédiment de phosphogypse d'épaisseur e , supposée plane et homogène. On note $C_s(z, t)$ la concentration en éléments nocifs dans le sédiment. La coordonnée z étant orientée vers le haut, avec $z=0$ à l'interface sédiment-eau (Figure 4). La diffusion se fait donc dans le demi-espace $z < 0$. Le transport dans le sédiment est supposé purement diffusif, de coefficient de diffusion D_s . On note $\vec{j}_d = j_d(z, t)\vec{u}_z$ le vecteur densité de courant de particules associé à la diffusion.

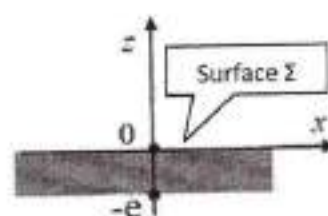


Figure 4.

Q30. Rappeler la loi de Fick.

À partir d'un bilan de matière entre les couches z et $z+dz$ et pendant l'intervalle du temps dt , établir l'équation différentielle que vérifie $C_s(z, t)$.

Q31. On donne les conditions aux limites suivantes :

- $z = -e$, $C_s(-e) = C_{s0}$
- $z = 0$, $J_d(0) = -D_s \frac{dC_s(z)}{dz} \Big|_{z=0} = k C_s(0)$ où k est le coefficient de transfert convectif.

Montrer que le profil de concentration en régime stationnaire, $C_s(z)$, s'écrit :

$$C_s(z) = \frac{C_0}{D_s + ke} (D_s - kz)$$

Au-dessus du sédiment, $z > 0$, l'écoulement de l'eau est cisailé (type écoulement plan de Couette). On modélise la vitesse par un profil linéaire dans une couche limite d'épaisseur δ (Figure 5):

- $\vec{v}(z) = v_0 \frac{z}{\delta} \vec{u}_x$; $0 < z < \delta$
- $\vec{v} = v_0 \vec{u}_x$; $z > \delta$

Q32. En mécanique de fluide, que représente le flux de vecteur vitesse à travers une surface. En déduire le débit volumique d'eau Q_v , s'écoulant à travers une section verticale de hauteur δ et de largeur a (selon l'axe Oy).

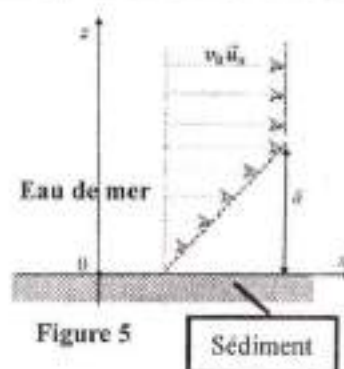


Figure 5

Sédiment

Q33. Pour une concentration massique moyenne uniforme et constante des polluants, $\bar{C}$, exprimer le débit massique, $\dot{m}$, des particules transportées par le courant d'eau dans la couche limite.

Quatrième Partie : Machines thermodynamiques : Turbine à vapeur

L'acide phosphorique produit par voie humide contient initialement entre 26 % et 32 % en masse de P_2O_5 (soit environ 35-45 % de H_3PO_4). Il est ensuite concentré par évaporation, presque au double, pour atteindre une teneur commerciale standard de 54 % de P_2O_5 . Une grande quantité de vapeur est ainsi générée. L'idée est d'exploiter cette vapeur « gratuite » pour produire de l'électricité à consommer dans l'usine même. L'énergie emmagasinée dans la vapeur à la sortie de la turbine reste disponible pour d'autres exploitations.

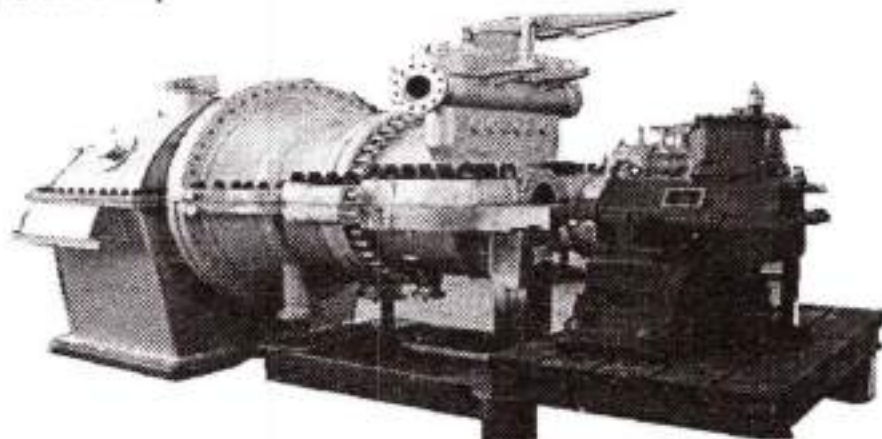


Photo d'une turbine à contre-pression

Le schéma simplifié du générateur à turbine est représenté sur la Figure 6.

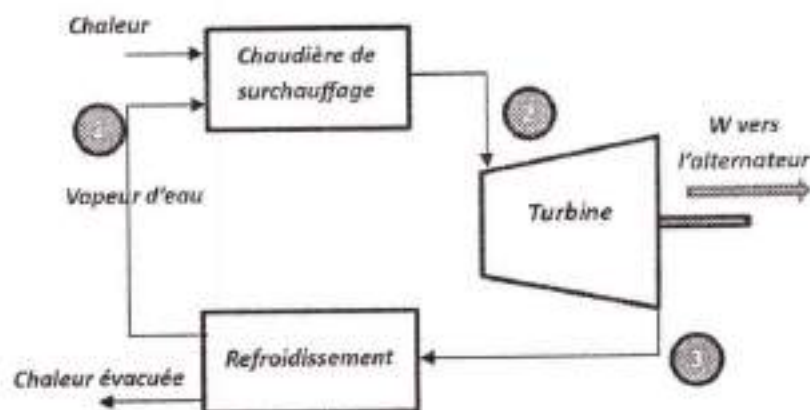


Figure 6 : Cycle thermodynamique

Dans la pratique la concentration de l'acide se fait sous vide pour abaisser la température d'ébullition et protéger l'équipement de la corrosion. Cependant, on va considérer que la vapeur à l'entrée de la machine est à pression atmosphérique et à $T=100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (vapeur saturante).

Les étapes successives du cycle *réversible* décrit par la vapeur sont les suivantes :

1→2 : Chauffage isochore de ($P_1 = 1\text{ bar}$; $T_1=373\text{ K}$) jusqu'à ($P_2=3.5\text{ bars}$; T_2)

2→3 : Détente *isentropique* de (P_2 ; T_2) jusqu'à la point ($P_3=P_1$; T_3).

3→1 : Refroidissement *isobare* du point (P_3 ; T_3) jusqu'à la point (P_1 ; T_1). Cette étape est fictive et introduite juste pour la fermeture du cycle. En réalité la vapeur à la sortie de la turbine sera envoyée pour des autres utilisations dans l'usine (chauffage des bâtiments, procédés chimiques ...).

La vapeur est considérée comme un gaz parfait de coefficient d'adiabate $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = 1.4$ et de capacité calorifique massique à pression constante $c_p = 2\text{ kJ.kg}^{-1}\text{.K}^{-1}$.

Le cycle est représenté dans le diagramme entropique de la Figure 7. T - température, s - entropie.

Q34. Placer les points 1, 2 et 3. Indiquer le sens du parcours du cycle. Représenter le cycle sur le diagramme PV.

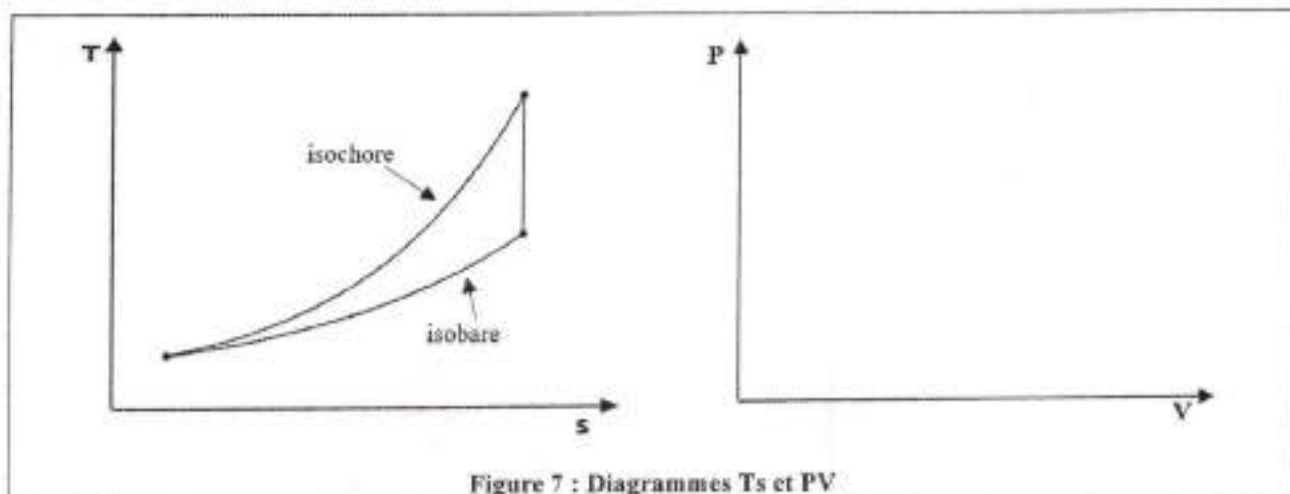


Figure 7 : Diagrammes Ts et PV

Pour la suite on introduit la grandeur adimensionnelle $\lambda = \frac{P_2}{P_1}$ appelée taux de compression.

Q35. Montrer que $T_2 = \lambda T_1$ et $T_3 = \lambda^{\frac{1}{\gamma}} T_1$.

Q36. En appliquant le premier principe de la thermodynamique à un système fermé, exprimer les chaleurs ; Q_{12} , Q_{23} , Q_{31} , échangées pendant les 3 étapes du cycle en fonction de c_p , c_v , T_1 , λ et γ .

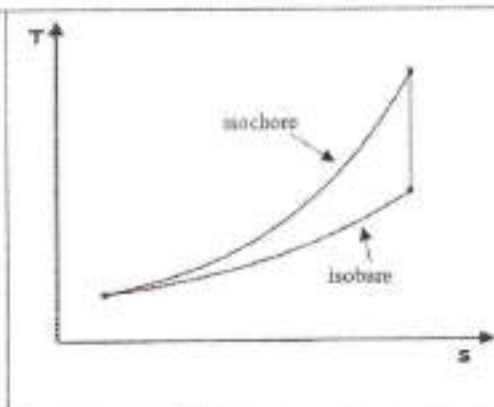
Q37. On définit le rendement thermique de la turbine par $\eta = \frac{-W_{\text{cycle}}}{\text{chaleur reçue par le gaz}}$. Exprimer η en fonction de Q_{12} et Q_{31} .

NE RIEN ÉCRIRE ICI

NE RIEN ÉCRIRE ICI

45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039 1040 1041 1042 1043 1044 1045 1046 1047 1048 1049 1050 1051 1052 1053 1054 1055 1056 1057 1058 1059 1060 1061 1062 1063 1064 1

Q39. Analyser la situation d'une détente irréversible (étape 2→3'). Placer le point 3' sur le diagramme Ts. Décrire qualitativement l'effet de l'irréversibilité sur le rendement de la machine.

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There is no handwriting or other markings on the paper.

L'automatisation des différents procédés industriels nécessite l'utilisation de différents types de capteurs (température, pression, etc...). Les dispositifs électroniques chargés du traitement des signaux en provenance de ces capteurs reçoivent des signaux parasites de différentes fréquences. On place alors aux entrées des systèmes d'acquisitions des filtres électriques. L'un de ces filtres est représenté à la **Figure 8**.

$$e(t) = E_0 \exp(j\omega t) \quad \text{et} \quad s(t) = S_0 \exp(j\omega t + \varphi).$$

Q40. Rappeler les expressions des impédances complexes de la bobine L , du résistor R et du condensateur C . En déduire leurs comportements limites aux basses et aux hautes fréquences.

Dipôle		Résistor	Bobine	Condensateur
Impédance complexe		-----	-----	-----
Comportement limite	$\omega = 0$	-----	-----	-----
	$\omega \rightarrow \infty$	-----	-----	-----

Q41. Donner les circuits équivalents aux basses et aux hautes fréquences. Déduire la nature du filtre.

Q42. Montrer que la fonction de transfert de ce filtre s'écrit sous la forme :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{s}(t)}{\underline{e}(t)} = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2 - j \frac{1}{Q} \frac{\omega_0}{\omega}}$$

où $\omega_0^2 = 1/LC$ est la pulsation propre et $Q = 1/RC\omega_0$ est le facteur de qualité du filtre.

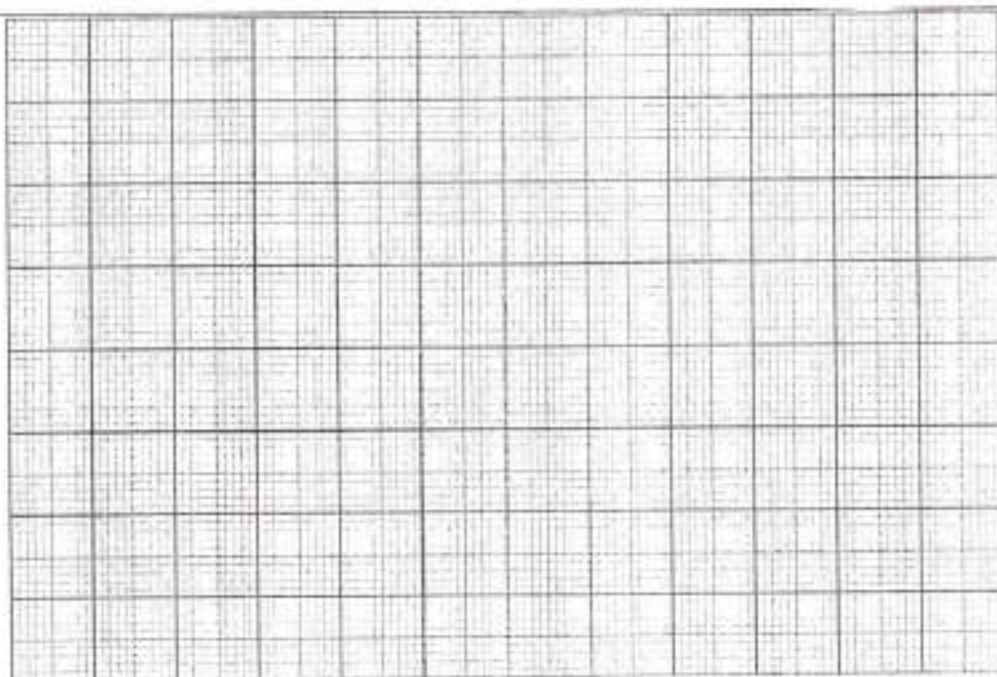
Quel est l'ordre de ce filtre ? Justifier.

Q43. Exprimer le module de la fonction de transfert. En déduire, en le justifiant, la condition sur Q pour que le filtre passe par un phénomène de résonance de tension.

Q44. Déterminer l'expression du gain en décibels $g_{dB}(\omega)$. En déduire les équations des asymptotes de g_{dB} aux basses et aux hautes fréquences.

Q45. Soit $Q = \frac{1}{\sqrt{2}}$. Exprimer la pulsation de coupure ω_c du filtre à $g_{dB}^{max} - 3dB$.

Q46. Pour $Q = \frac{1}{\sqrt{2}}$, tracer l'allure du diagramme de Bode en gain asymptotique et réel. Placer ω_c et ω_0 .



Fin de l'épreuve

NE RIEN ÉCRIRE ICI



