

CCINP Physique et Chimie PSI 2019 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Margaux Galland (docteur en chimie) et Étienne Martel (ENS Paris-Saclay) ; il a été relu par Alexandre Herault (professeur en CPGE), Valentin Raban (professeur en CPGE), Augustin Long (professeur en CPGE) et Stéphane Ravier (professeur en CPGE).

Ce problème est consacré au domaine de l'automobile et explore plusieurs parties du programme. Chaque partie est articulée autour d'un aspect de la conduite ou de la conception d'une voiture. Le sujet est composé de quatre parties indépendantes.

- La première partie s'ouvre avec quelques résultats de mécanique des fluides à établir. Puis on étudie l'influence d'un aileron arrière sur la tenue de route.
- La deuxième partie du sujet aborde le thème de l'alimentation électrique des véhicules à travers l'étude des propriétés du plomb et de l'accumulateur au plomb. Dans un premier temps, le diagramme E-pH du plomb est étudié ainsi que la stabilité du plomb dans l'eau. La solubilité du plomb dans l'acide sulfurique et l'examen de l'accumulateur au plomb sont ensuite abordés. Le fonctionnement en mode générateur et son optimisation sont étudiés à travers l'oxydoréduction.
- Dans une troisième partie, deux aspects liés à la sécurité routière sont examinés. On débute par une résolution de problème. Il s'agit d'étudier la distance de freinage d'un véhicule qui a eu un accident. Tout à fait dans l'esprit des programmes, ces questions proposent et développent une modélisation simple mais cohérente pour obtenir la valeur d'une grandeur importante dans ce genre de situation, la vitesse initiale du véhicule juste avant l'accident. Les contrôles d'alcoolémie sont abordés à travers l'étude d'un dosage oxydimétrique par la méthode de Cordebar. Cette partie invitait les candidats à prendre des initiatives sur la base d'une exploitation de résultats peu guidée.
- L'ultime partie de ce sujet étudie des aspects liés aux communications d'une automobile. Il y est question de modulation en amplitude puis en fréquence. La première sous-partie, plus simple que le reste, permet de répondre à plusieurs questions avec des connaissances directement tirées du cours et des séances de travaux pratiques effectuées pendant l'année. Le traitement de la modulation en fréquence, un peu plus technique, permet de bien comprendre comment un signal peut être modulé expérimentalement. Enfin, la dernière sous-partie propose deux questions assez simples sur le cours concernant les plasmas.

D'une longueur raisonnable, ce problème n'est pas de difficulté homogène. Certaines questions appellent des réponses très courtes et directement tirées du cours, tandis que d'autres requièrent des développements et des calculs plus approfondis. Notons également qu'il y a quelques applications numériques à faire sans calculatrice, ce qui n'est pas nécessairement difficile – à condition de s'être entraîné.

INDICATIONS

Partie I

- 2 Utiliser un raisonnement énergétique.
- 4 Appliquer un bilan au système ouvert (compris entre les sections A'B' et CD) qui est en régime permanent.

Partie II

- 11 On étudie la solubilité dans l'acide sulfurique qui contient déjà des ions SO_4^{2-} . Que peut-on dire de la concentration de ces derniers ? Penser également à bien vérifier l'hypothèse à la fin.
- 13 Utiliser la loi de Nernst sur chaque électrode.
- 20 À chaque étape de ce titrage indirect et en retour, bien noter la quantité de matière et la concentration des différentes espèces. Lorsqu'une réaction a lieu, déterminer quelle espèce est limitante.

Partie III

- 17 Estimer la distance d'arrêt sur la photo puis appliquer un théorème énergétique pour relier cette distance à la vitesse initiale. Négliger les frottements de l'air.

Partie IV

- 23 Utiliser la formule de trigonométrie donnée et transformer tous les produits de cosinus en sommes, afin de pouvoir interpréter le résultat en termes de contributions spectrales.
- 28 Utiliser la figure 10, afin d'exprimer étape par étape les potentiels du montage en fonction des potentiels plus en amont du circuit. La formule trigonométrique donnée en fin d'énoncé permet enfin de conclure.
- 32 Le but de cette question est l'établissement d'ordre de grandeur, il faut donc estimer plutôt que connaître la taille d'une antenne d'un dispositif GPS.

PHYSIQUE CHIMIE ET AUTOMOBILE

I. ASPECTS AÉRODYNAMIQUES

1 Les zones d'écoulement laminaire sont caractérisées par des lignes de courant peu perturbées et régulières, ce qui correspond aux zones situées loin et autour de la voiture (hormis à l'arrière de celle-ci).

Un écoulement est turbulent si le mouvement des particules de fluide est très désordonné dans le temps et dans l'espace. La turbulence est localisée à l'arrière de la voiture.

Le coefficient aérodynamique, également appelé coefficient de traînée, dépend du rapport d'aspect de l'objet ainsi que du nombre de Reynolds Re défini par $Re = \rho V L / \eta$, avec ρ la masse volumique du fluide, η sa viscosité dynamique et V et L respectivement la vitesse et la dimension caractéristiques de l'écoulement.

À l'arrière de la carrosserie, les flux d'air laminaires ne suivent plus le profil du véhicule. Ceci est une illustration du phénomène de décollement de la couche limite qui induit de la turbulence dans cette zone qui est l'origine première de la traînée. Pour une sphère, on peut étudier les variations de C_x en fonction de Re . On constate alors autour de $Re \approx 3 \times 10^5$ une chute conséquente et rapide du coefficient aérodynamique appelée crise de traînée, phénomène qui fut étudié et expliqué par Prandtl en faisant intervenir la notion de transition de la couche limite d'un état laminaire à turbulent.

2 Étudions la voiture de masse m et de vitesse $\vec{v} = v \vec{e}_x$ dans le référentiel \mathcal{R} supposé galiléen. Ce système, noté (S), est soumis à son poids, vertical, ainsi qu'à la réaction de la chaussée qui est normale au sol puisque les frottements entre les pneumatiques et la route sont négligés. Ces deux actions sont de fait normales au vecteur vitesse de la voiture et par conséquent, de ces deux forces, aucune ne développe de puissance. Il reste enfin à considérer les frottements avec l'air qui sont modélisées par la force de traînée donnée par l'énoncé selon

$$\vec{F}_x = -\frac{C_x \rho_0 S V^2}{2} \vec{e}_x$$

Appliquons le théorème de la puissance cinétique au système (S) dans le référentiel \mathcal{R}

$$\frac{dE_c}{dt} = P + \vec{F}_x \cdot \vec{v}$$

En considérant que la voiture se déplace à une vitesse v_{\max} constante, on obtient que l'énergie cinétique ne varie pas soit

$$P = \frac{C_x \rho_0 S}{2} V^2 v_{\max}$$

L'air environnant est supposé au repos, si bien que $V = v_{\max}$. Finalement,

$$P = \frac{C_x \rho_0 S}{2} v_{\max}^3$$

soit

$$v_{\max} = \left(\frac{2P}{C_x \rho_0 S} \right)^{1/3}$$

Numériquement,

$$v_{\max} = \left(\frac{2 \times 62,5 \times 10^3}{0,33 \times 1,2 \times 2,5} \right)^{1/3} = 50 \text{ m.s}^{-1} = 180 \text{ km.h}^{-1}$$

Cet ordre de grandeur paraît tout à fait cohérent. La valeur obtenue est une limite théorique maximale puisque les forces de frottements avec la route ont été négligées.

En accord avec l'énoncé, le calcul a été mené en négligeant tout frottement entre le sol et les pneumatiques. Pourtant, c'est bien ce mécanisme d'interaction entre les roues et la chaussée qui permet à la voiture d'avancer. En fait, dans ce modèle, ce sont les forces dissipatives dues aux effets de déformation des pneus au contact de la route qui sont négligées ; les frottements solides assurent en pratique une conversion parfaite entre la puissance mécanique sur l'arbre moteur et le mouvement de translation uniforme de la voiture.

3 La consommation, exprimée en litre pour 100 km, notée C , est proportionnelle à l'énergie E utilisée par le moteur qui est elle-même proportionnelle à la puissance P et au temps de parcours $\tau = L/V \propto 1/V$, donc

$$C \propto E \propto P \tau$$

Finalement on obtient, en remarquant que la puissance est proportionnelle à V^3 d'après la question précédente

$$C \propto V^2$$

donc

$$x = 2$$

4 La masse M (respectivement M') correspond à la masse de l'air compris entre les sections AB et CD (respectivement entre les sections $A'B'$ et $C'D'$). La conservation de la masse implique $M = M'$. Notons désormais

$$\begin{cases} M = dm_1 + M_{A'B'CD} \\ M' = M'_{A'B'CD} + dm_2 \end{cases}$$

Comme l'écoulement est stationnaire, $M_{A'B'CD} = M'_{A'B'CD}$. On en déduit

$$dm_1 = dm_2$$

L'écoulement étant incompressible, le débit volumique se conserve sur le tube de courant dont la surface de section est constante, ainsi

$$v_1 S_e = v_2 S_e$$

ou encore

$$v_1 = v_2$$

5 Notons Σ le système ouvert compris entre les sections $A'B'$ et CD . À l'instant t , la quantité de mouvement initiale, notée $\vec{p}(t)$ est donnée par

$$\vec{p}(t) = d\vec{p}_1 + \vec{p}_\Sigma(t)$$

avec $d\vec{p}_1$ la quantité de mouvement de la masse dm_1 et $\vec{p}_\Sigma(t)$ celle liée à la masse contenue dans Σ . À l'instant $t+dt$, on a de même, avec $d\vec{p}_2$ la quantité de mouvement associée à la masse dm_2 ,

$$\vec{p}(t+dt) = d\vec{p}_2 + \vec{p}_\Sigma(t+dt)$$