

LA FORMULE 1 A LA POINTE DE LA TECHNOLOGIE

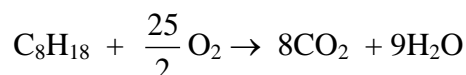
PARTIE A - LA FORMULE 1 HYBRIDE

A.1. Le moteur à combustion

A.1.1 Formule brute de l'iso-octane

La formule brute de l'iso-octane est : C_8H_{18}

A.1.2 Equation de combustion de l'iso-octane



A.1.3 Calcul de la masse molaire de l'iso-octane et de la quantité de matière consommée lors d'une course.

$$M_{\text{iso-octane}} = 8 \times 12 + 18 \times 1 = 114 \text{ g.mol}^{-1}$$

On a la relation :

$$n_{\text{iso-octane}} = \frac{m_{\text{iso-octane}}}{M_{\text{iso-octane}}} = \frac{100 \times 10^3}{114} = 877 \text{ mol}$$

A.1.4 Calcul de la quantité de matière de dioxyde de carbone

	C_8H_{18}	+	$\frac{25}{2} O_2$	→	$8CO_2$	+	$9H_2O$
Etat initial	877		Excès		0		0
Etat intermédiaire x	$877 - x$		Excès		8x		9x
Etat final	0		Excès		7016		7893

Le réactif limitant est l'heptane (le dioxygène est en excès), $877 - x = 0$ donc $x = 877 \text{ mol}$

$$n_{CO_2} = 8x = 8 \times 877 = 7,02 \times 10^3 \text{ mol}$$

A.1.5 Calcul de la masse de dioxyde de carbone libérée

On a la relation :

$$m_{CO_2} = n_{CO_2} \times M_{CO_2} = 7,02 \times 10^3 \times 44 = 3,09 \times 10^5 \text{ g} = 309 \text{ kg}$$

A.1.6 Détermination de la classe énergétique d'une formule 1

On détermine la masse de dioxyde de carbone produite par kilomètre parcouru.

$$m_{CO_2} = \frac{309}{305} = 1,013 \text{ kg.km}^{-1} = 1013 \text{ g.km}^{-1}$$

Cette valeur est bien supérieure à 250 g.km^{-1} , donc, d'après le document D3 la voiture est bien au niveau G.

A.1.7 Calcul maximal d'iso-octane consommé lors d'une course par une formule 1

D'après les données de la question A.1.3, la voiture peut embarquer au maximum 100 kg de carburant. De plus, d'après le document D4, la masse volumique du carburant est $\rho_{\text{essence}} = 714 \text{ kg.m}^{-3}$.

On a la relation :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{donc} \quad V = \frac{m}{\rho} = \frac{100}{714} = 0,14 \text{ m}^3 = 140 \text{ L}$$

A.1.8 Calcul du volume consommé en essence pour effectuer une course de 305 km.

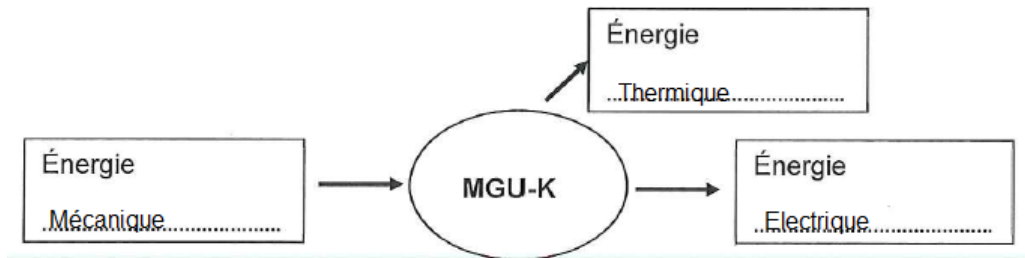
D'après l'énoncé, la consommation est de 56 L pour 100 km donc pour 305 km, la consommation sera de :

$$V = \frac{56 \times 305}{100} = 170,8 \text{ L}$$

Lorsque le réservoir est plein, le volume correspondant est de 140 L. Or pour effectuer une course dont la distance est de 305 km, le volume nécessaire est de 170,8 L. Donc la formule 1 n'a pas assez d'énergie chimique pour finir une course.

A.2. A.2. Récupération de l'énergie

A.2.1. Document réponse DR1, avec les énergies mises en jeu par le MGU-K lors d'une phase de freinage.

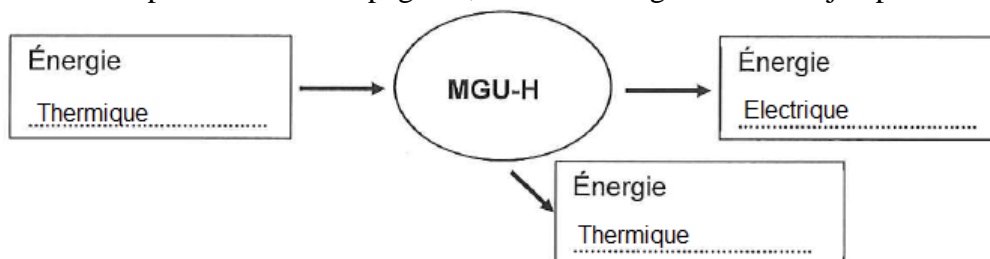


A.2.2. Calcul de la durée minimale, en secondes (s), de freinage, Δt_f , par tour dont a besoin la Formule 1 pour atteindre cette charge maximale.

On a la relation :

$$E = P \times \Delta t \quad \text{donc} \quad \Delta t = \frac{E}{P} = \frac{2 \times 10^6}{120 \times 10^3} = 16,7 \text{ s}$$

A.2.3 Document réponse DR1 de la page 18, avec les énergies mises en jeu par le MGU-H.



A.3. Performances mécaniques du véhicule

A.3.1. Calcul de la durée pour effectuer un tour par Kimi Räikkönen.

On a la relation :

$$v = \frac{d}{t} \quad \text{donc} \quad t = \frac{d}{v} = \frac{4,655}{205,2} = 0,0227 \text{ h} = 1,36 \text{ min} = 1 \text{ min } 21,7 \text{ s}$$

Cette durée est inférieure à celle de Sebastian Vettel donc Kimi Räikkönen a été plus rapide que Sebastian Vettel.

A.3.2. L'aérodynamique est la branche de la physique qui étudie l'influence de l'air sur la vitesse des véhicules. En effet, bien qu'incolore, inodore et d'une densité relativement faible, l'atmosphère terrestre se comporte comme un milieu visqueux qui freine le mouvement des véhicules en circulation. Plus précisément, l'atmosphère terrestre génère une force physique qu'on appelle force de frottements de l'air ou traînée.

A.3.2.a Calculer du coefficient de traînée, C_x , d'une Formule 1

D'après l'énoncé, $T = 430 \text{ daN} = 4300 \text{ daN}$ et $v = 313 \text{ km.h}^{-1}$ donc :

$$v = \frac{313}{3,6} = 86,9 \text{ m.s}^{-1}$$

D'après le document D5, on a la relation :

$$T = \frac{1}{2} \times \rho_{\text{air}} \times S \times C_x \times v^2 \quad \text{donc} \quad C_x = \frac{2T}{\rho_{\text{air}} \times S \times C_x \times v^2} = \frac{2 \times 430 \times 10}{1,18 \times 1,6 \times 86,9^2} = 0,6$$

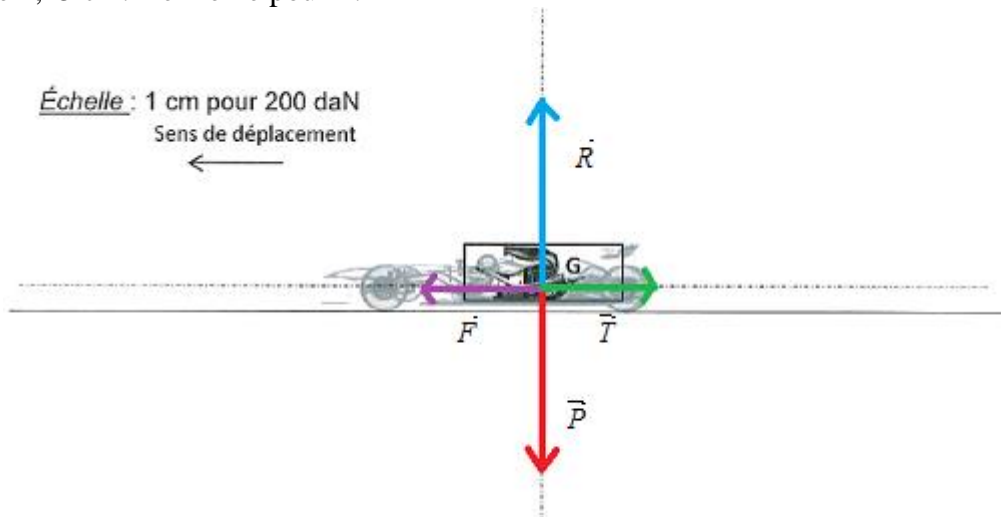
A.3.2.b D'après le document D5, plus le coefficient de traînée est faible, meilleur est l'aérodynamisme. Le C_x de la Renault Clio est inférieure à celui de la formule 1. Donc la formule 1 a donc un moins bon aérodynamisme.

A.3.3 Représentation des forces appliquées sur la formule.

A la fin de la ligne droite, la vitesse est constante et la trajectoire est une droite donc le mouvement est rectiligne uniforme. Alors les forces se compensent.

Donc \vec{P} et \vec{R} ont la même valeur et sont opposées. Ceci est également le cas pour \vec{T} et \vec{F} .

La valeur de P est de 690 daN donc avec l'échelle proposée, la longueur du vecteur sera de 3,45 cm. R aura la même longueur. T a une valeur de 430 daN donc avec l'échelle proposée, la longueur du vecteur sera de 2,15 cm. De même pour F.



A.3.4 Calcul de la puissance mécanique, $P_{\text{méca}}$, de la force motrice.

En fin de ligne droite, la vitesse est de 313 km.h^{-1} donc de $86,9 \text{ m.s}^{-1}$ et la force motrice de $4,30 \text{ kN}$ donc de 4300 N .

D'après l'énoncé, on a la relation :

$$P_{\text{méca}} = F \times v = 4300 \times 86,9 = 3,74 \times 10^5 \text{ W} = 374 \text{ kW}$$

La puissance est inférieure à 560 kW , donc le moteur n'est pas en régime maximal.

A.3.5 Le travail mécanique des forces de freinage, W_{frein} , sera un travail résistant car le freinage s'oppose au mouvement. L'unité du travail est le joule (J).

A.3.6 Calcul du travail mécanique, W , des forces mises en jeu pour un arrêt complet du véhicule.

La vitesse initiale du véhicule (en A) est de $86,9 \text{ m.s}^{-1}$ et la vitesse finale (en B) est de 0 m.s^{-1} .

D'après le document D6, on a la relation :

$$W_{\text{fext}} = E_{CB} - E_{CA} = \frac{1}{2} m v_B^2 - \frac{1}{2} m v_A^2 = 0 - \frac{1}{2} \times 702 \times (86,9)^2 = -2,65 \times 10^6 \text{ J} = -2,65 \text{ MJ}$$

Si le système de récupération MGU-K absorbe $2,00 \text{ MJ}$, l'énergie qu'il faut encore dissiper par frottement dans les freins est de $0,65 \text{ MJ}$.

PARTIE B - LA FORMULE E, DE LA F1 MAIS 100 % ÉLECTRIQUE !

B.1. Performances électriques de la batterie

B.1.1 Calcul de la capacité (appelée aussi charge électrique), C_1 , de la batterie principale en ampère-heure (A.h).

La durée de charge est de 90 min donc 1,5 h.

On a la relation :

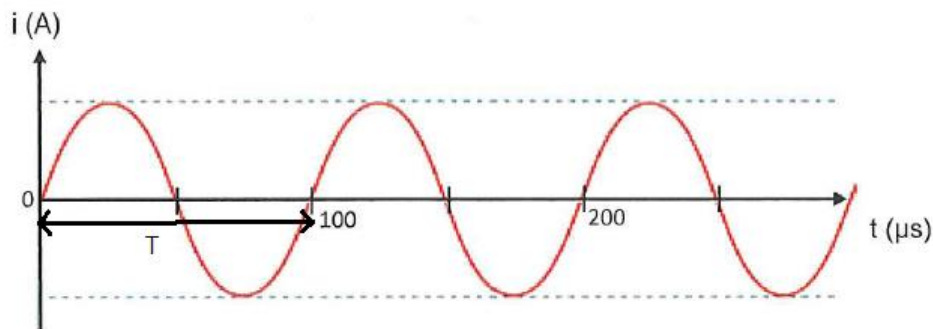
$$C_1 = I \times \Delta t = 128 \times 1,5 = 192 \text{ A.h}$$

B.1.2 La batterie ne peut alimenter directement le moteur à courant alternatif de la Formule E. L'emploi d'un onduleur est donc nécessaire.

B.1.2.a La fonction de l'onduleur dans la chaîne énergétique allant de la batterie au moteur est de convertir le courant continu en courant alternatif.

B.1.2.b Calcul de la fréquence, f , de ce courant

D'après le document D7, la période T de ce signal est de $100 \mu\text{s}$ c'est-à-dire $1 \times 10^{-4} \text{ s}$.



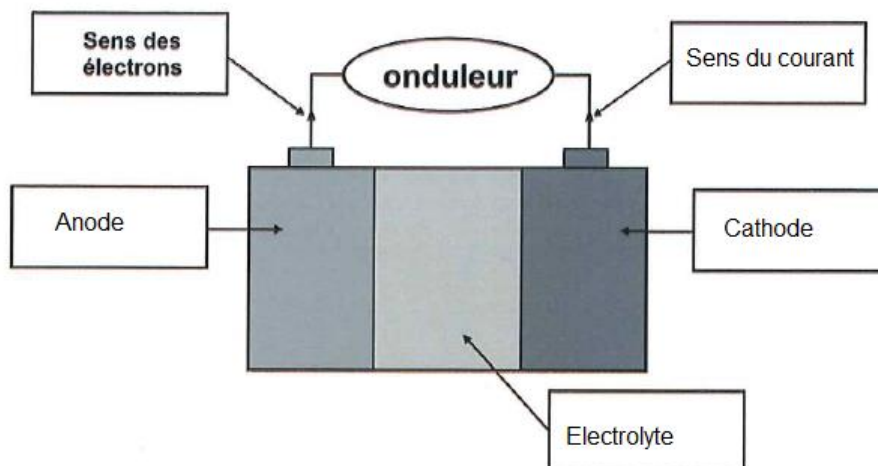
On a la relation :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1 \times 10^{-4}} = 1 \times 10^4 \text{ Hz}$$

B.1.2.c Le courant, i , débité par l'onduleur correspond au spectre en fréquence n°1 car le signal de l'onduleur est d'une seule sinusoïdale. Le spectre en fréquence ne sera donc constitué que par une seule fondamentale et ne comportera pas d'harmoniques.

B.1.3 Schéma du document réponse DR3 avec les quatre termes.

Le sens du courant est opposé à celui des électrons. Donc le courant part de la borne positive (cathode) vers la borne négative (anode).



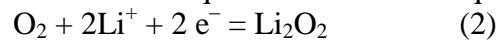
B.1.4 Une nouvelle génération de batteries rechargeables, jouissant d'une autonomie largement supérieure à celles en vigueur actuellement, devrait apparaître dans les prochaines années.

B.1.4.a Ecriture de la demi-équation d'oxydation du lithium, Li, qui a lieu à l'anode.

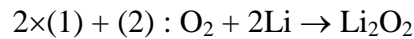
A l'anode, il se produit une oxydation donc on a la demi-équation suivante :



B.1.4.b Ecriture de la demi-équation de réduction qui a lieu à la cathode :



B.1.4.c Écriture de l'équation globale équilibrée d'oxydoréduction.



B.1.5 Le lithium est un produit dangereux car, d'après les pictogrammes, il est inflammable et corrosif.

B.2 Performances mécaniques du moteur

B.2.1 L'unité de l'intensité du champ magnétique B est le tesla (T).

B.2.2

B.2.2.a Calcul de la vitesse angulaire, Ω (en rad.s^{-1}), du rotor

D'après l'énoncé, la vitesse de rotation N est de 4000 tr.min^{-1} .

$$\Omega = \frac{4000 \times 2\pi}{60} = 418,7 \text{ rad.s}^{-1}$$

B.2.2.b Calcul de la puissance mécanique, P_{moteur} , fournie par le moteur en kilowatts.

D'après l'énoncé, on a la relation :

$$P_{\text{moteur}} = T \times \Omega = 140 \times 418,7 = 5,86 \times 10^4 \text{ W} = 58,6 \text{ kW}$$

B.2.3 Calcul des puissances électriques absorbées, P_{a1} et P_{a2} , pour différents moteurs.

On a la relation :

$$\eta_1 = \frac{P_{\text{moteur}}}{P_{a1}} \quad \text{donc} \quad P_{a1} = \frac{P_{\text{moteur}}}{\eta_1} = \frac{60}{0,9} = 66,7 \text{ kW}$$

$$\eta_2 = \frac{P_{\text{moteur}}}{P_{a2}} \quad \text{donc} \quad P_{a2} = \frac{P_{\text{moteur}}}{\eta_2} = \frac{60}{0,95} = 63,2 \text{ kW}$$

B.2.4 Les vitesses au cours du temps, mesurées après le départ d'une Formule E, sont reportées sur le graphique du document D10.

B.2.4.a Calcul de l'accélération, a_{FE} , de la Formule E.

Sur le document D10, on choisit deux points sur la droite. Par exemple, Point A (50 ms ; $1,8 \text{ km.h}^{-1}$) et Point B (300 ms ; 10 km.h^{-1})

$$\Delta t = 300 - 50 = 250 \text{ ms} = 0,25 \text{ s}$$

$$\Delta v = 10 - 1,8 = 8,2 \text{ km.h}^{-1}$$

$$\Delta v = \frac{8,2}{3,6} = 2,28 \text{ m.s}^{-1}$$

On a la relation :

$$a_{FE} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{2,28}{0,25} = 9,1 \text{ m.s}^{-2}$$

B.2.4.b Calcul et comparaison des durées nécessaires pour passer de 0 à 100 km.h⁻¹ pour une Formule 1 et une Formule E en admettant que les accélérations restent constantes.

$$\Delta v = 100 \text{ km.h}^{-1} = \frac{100}{3,6} = 27,8 \text{ m.s}^{-1}$$

On a la relation :

$$\text{Formule E : } a_{FE} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \text{donc} \quad \Delta t = \frac{\Delta v}{a_{FE}} = \frac{27,8}{9,1} = 3,05 \text{ s}$$

$$\text{Formule 1 : } a_{F1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \text{donc} \quad \Delta t = \frac{\Delta v}{a_{F1}} = \frac{27,8}{13,9} = 2 \text{ s}$$

Pour passer de 0 à 100 km.h⁻¹, la formule 1 met moins de temps que la formule E.

B.3 Performances acoustiques

B.3.1 L'unité qui a pour symbole « dB » est le décibel. On mesure le niveau sonore avec un sonomètre.

B.3.2 Calcul de l'intensité sonore I.

D'après l'énoncé, le niveau sonore L est de 140 dB.

D'après l'énoncé, on a la relation :

$$I = 1 \times 10^{-12} \times 10^{\left(\frac{L}{10}\right)} = 1 \times 10^{-12} \times 10^{\left(\frac{140}{10}\right)} = 100 \text{ W.m}^{-2}$$

Cette intensité T est supérieure au seuil de 10 W.m⁻², il faut donc s'équiper de protections auditives.

B.3.3 Dans les mêmes conditions, l'intensité sonore reçue lors des qualifications d'une Formule E vaut I_{FE} = 1,0 × 10⁻⁴ W.m⁻².

B.3.3.a Calcul du niveau sonore correspondant.

D'après l'énoncé, on a la relation :

$$L = 10 \times \log\left(\frac{I}{1 \times 10^{-12}}\right) = 10 \times \log\left(\frac{1 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-12}}\right) = 80 \text{ dB}$$

D'après le tableau, la durée maximale d'exposition est de 8h.

B.3.3.b Calcul de la différence de niveau sonore, ΔL, entre une Formule 1 et une Formule E.

Formule 1 : L_{F1} = 140 dB

Formule E : L_{FE} = 80 dB

Donc ΔL = 140 - 80 = 60 dB.

PARTIE C - UN SPORT SOUS HAUTE SURVEILLANCE

C.1. Les radiocommunications

C.1.1 Domaine d'appartenance de l'onde radiophonique.

$$f = 1,00 \times 10^{10} \text{ Hz} = 10,0 \text{ GHz.}$$

D'après le document D11, cette onde radiophonique appartient au domaine SHF.

C.1.2 Calcul de la longueur de l'antenne quart d'onde.

D'après le document D12, on a la relation :

$$c = \lambda \times f \quad \text{donc} \quad \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{1 \times 10^{10}} = 3 \times 10^{-2} \text{ m}$$

D'après le document D13, la longueur de l'antenne doit être égale au quart de la

longueur d'onde :

$$l = \frac{3 \times 10^{-2}}{4} = 7,5 \times 10^{-3} \text{ m} = 7,5 \text{ mm}$$

C.2. Avant la course.

C.2.1 Calcul de l'intensité de la force F exercée par chacun des quatre pneus.

Le poids de la monocoque est réparti sur les quatre pneus.

On a la relation :

$$P = m \times g = 702 \times 9,81 = 6,9 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F = \frac{P}{4} = \frac{6,9 \times 10^3}{4} = 1,7 \times 10^3 \text{ N}$$

C.2.2. Pour la mesure de la pression réalisée, l'étendue de mesure EM est de 0 + 1,600 bar donc EM = 1,600 bar. Le digit est la plus petite valeur que l'appareil peut afficher donc 0,001 bar. L'incertitude est donc :

$$\text{Incertainude} = \frac{0,25}{100} \times 1,600 \pm 0,001 = 0,004 \pm 0,001 \text{ bar}$$

On a donc une incertitude de 0,003 bar ou de 0,005 bar.

$$P_{\text{mesue}} = 1,348 \pm 0,003 \text{ bar} \quad \text{ou} \quad P_{\text{mesue}} = 1,348 \pm 0,005 \text{ bar}$$

Dans les deux cas, la valeur minimale de 1,350 bar est comprise dans l'intervalle d'incertitude précédent donc la voiture est autorisée à démarrer.

C.2.3. Si le pneu a crevé, sa pression absolue est égale à la pression atmosphérique, donc égale à 1,00 bar.

C.3 En course

C.3.1 Document réponse DR4 à compléter.

- Lors de la course, la température des pneus **augmente**.....
- Lors de la course, l'énergie interne du gaz de gonflage..... **augmente**.....
- Lors de la course, la pression des pneus **augmente**.....
- En supposant que la masse du véhicule reste identique lors de la course, la surface de contact du pneu avec la route **diminue**.....
- Lors de la course, l'adhérence du pneu **diminue**.....

C.3.2 Le débit maximum doit être de 100 kg.h⁻¹ c'est-à-dire :

$$q_m = \frac{100 \times 10^3}{3600} = 27,8 \text{ g.s}^{-1}$$

Or, d'après le document D17, cette valeur maximale a été dépassée (29 g.s⁻¹) donc l'écurie doit être sanctionnée.