

SM 58 – EXAMEN FINAL P17

NOM :

PRÉNOM :

Aucun document autorisé - Calculatrice autorisée - Dictionnaires numériques interdits

Etude d'un véhicule hybride à pile à combustible

Cette étude est décomposée en trois parties indépendantes traitant du dimensionnement de la chaîne de traction, de la gestion d'énergie et du bilan du puits à la roue du véhicule. Il s'agit d'un véhicule basé sur le segment type familiale compacte du marché européen. Le schéma de l'architecture du véhicule est présenté en Figure 1.

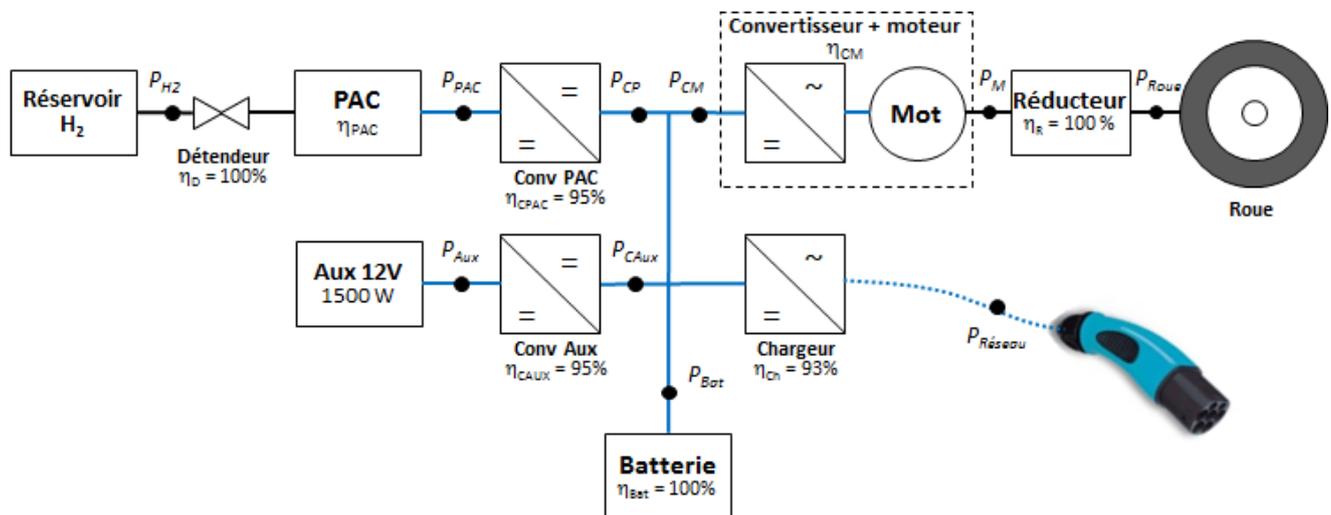


Figure 1 : architecture du véhicule

Description du système :

- On dispose d'une pile à combustible de puissance maximale de 45 kW dont la caractéristique de rendement η_{PAC} est donnée sur la Figure 3. On rappelle le pouvoir calorifique inférieur de l'hydrogène qui est de 102 MJ/kg et sa densité volumique qui est de 0,09 kg/m³ à 1 bar et 20 °C.
- Le réservoir d'hydrogène a une pression maximale de 700 bars et le détendeur qui lui est associé a un rendement η_D de 100 %. Lorsque la pile à combustible sera en fonctionnement, on l'utilisera en mode thermostat avec une variation de puissance P_{PAC} de sortie comprise entre 3 kW et 40 kW. On négligera les phases transitoires et de mise en température de la PAC. Une fois que la PAC a été mise en service, elle sera utilisée jusqu'à la coupure totale du véhicule (donc à 3 kW ou 40 kW).
- Le convertisseur Conv PAC permet de contrôler la puissance délivrée par la pile. Il a un rendement η_{CPAC} de 95 %.
- La propulsion du véhicule est assurée par un ensemble convertisseur + moteur dont la caractéristique globale de rendement η_{CM} est donnée en Figure 4.
- La batterie utilisée a un rendement de 100 %, sa densité d'énergie est de 130 Wh/kg. Elle dispose d'une énergie de 16 kWh à sa charge maximale (100 % de SOC). Elle peut être rechargée par le réseau 230 VAC

(cout de l'électricité : 0,14 €/kWh) via un chargeur de rendement $\eta_{Ch} = 93\%$. La batterie est utilisée comme suit :

- Charge depleting : mode tout électrique, la PAC n'est pas utilisée ($P_{PAC} = 0\text{ W}$) : le SOC batterie variera de 95 % à 25 %. Tant que le SOC n'atteint pas 25 %, la PAC n'est pas mise en service.
 - Charge sustaining : mode utilisé lors du fonctionnement hybride avec la PAC variant entre 3 kW et 40 kW : le SOC batterie variera entre 25 et 35 %. La PAC n'est pas arrêtée.
 - Pour retrouver un SOC maximal, la batterie devra être rechargée par le réseau 230 VAC.
- Les auxiliaires du véhicule consomment 1500 W en continu et sont alimentés en 12 V, tension fournie par le convertisseur auxiliaire qui a un rendement η_{CAUX} de 95 %.
 - Le véhicule va effectuer plusieurs fois le cycle de vitesse et puissance représenté sur la Figure 2. Aucune énergie ne sera récupérée lors des phases de freinage.
 - La relation entre la vitesse de la voiture V [km/h] et la vitesse de rotation du moteur électrique N [tr/min] est donnée par la relation $N/V = 50$.

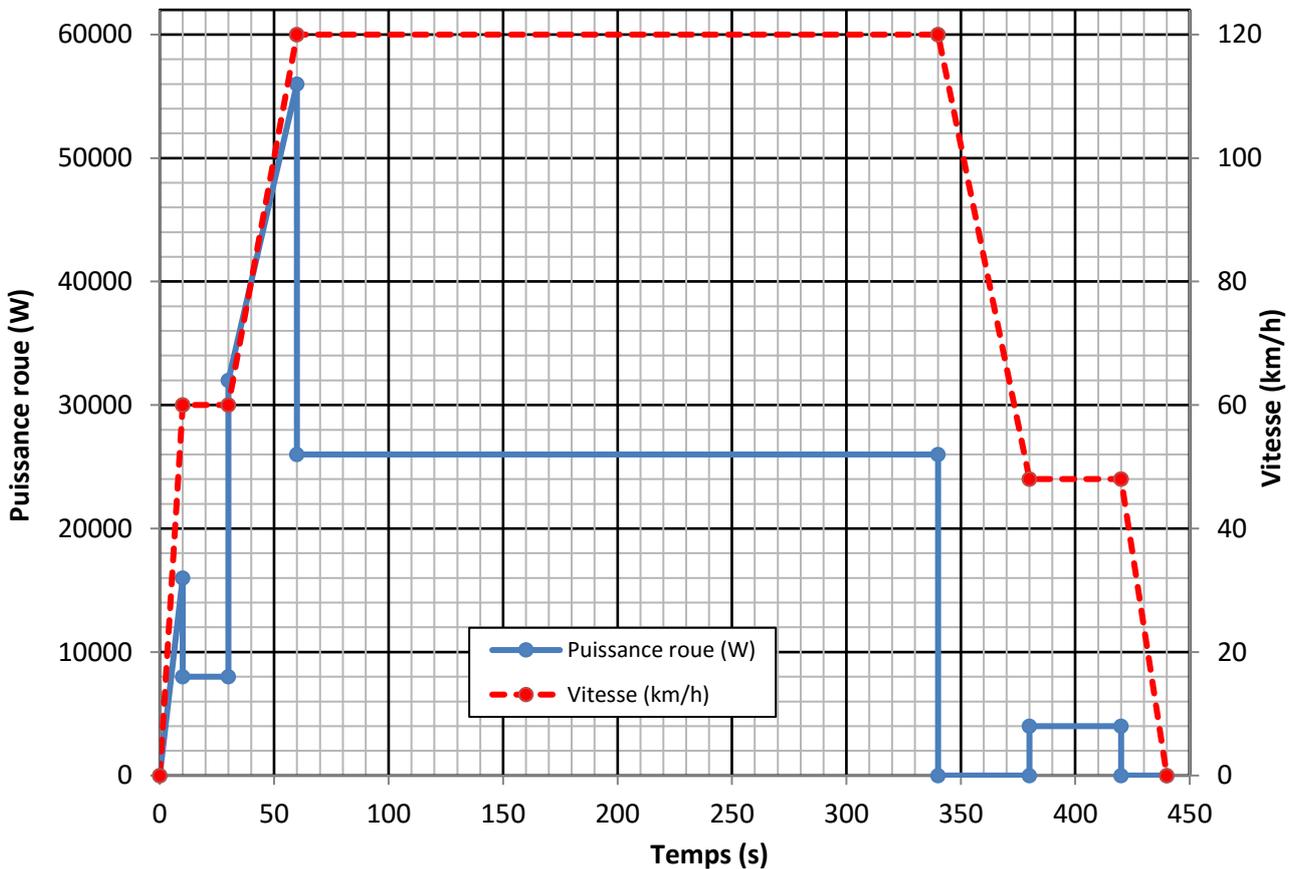


Figure 2 : puissance à la roue et vitesse du véhicule sur le cycle

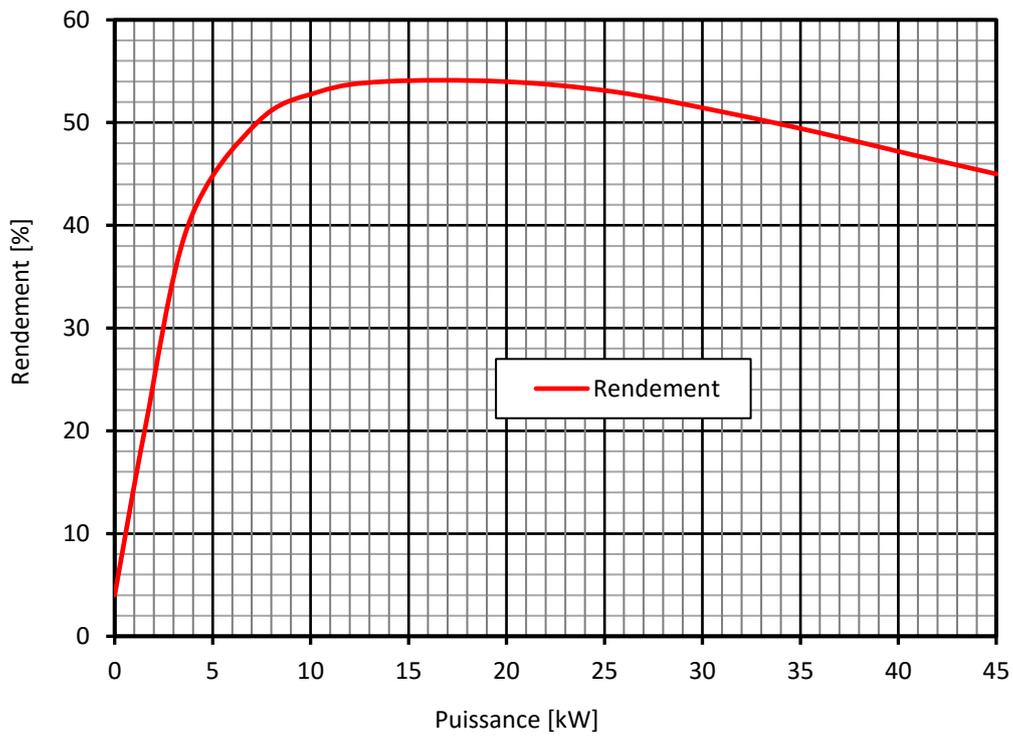


Figure 3: caractéristique de rendement η_{PAC} du système pile à combustible de 45 kW

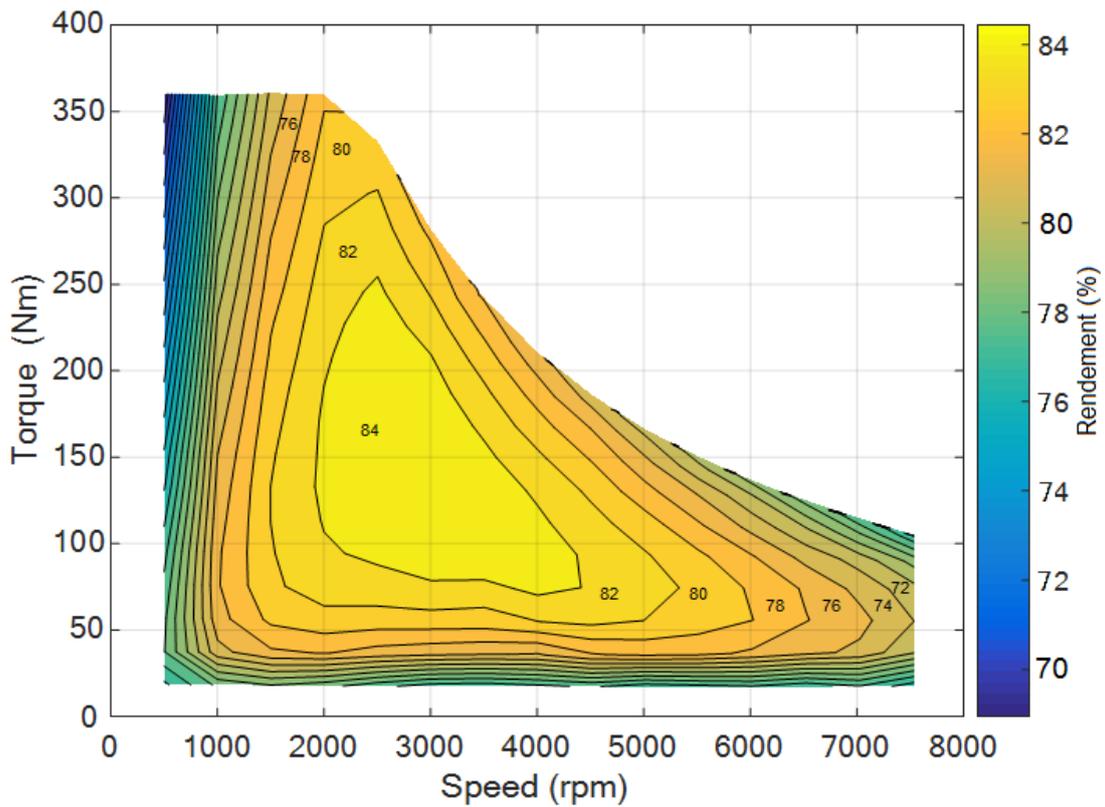


Figure 4: caractéristique de rendement η_{CM} de l'ensemble convertisseur + moteur électrique

1. Partie 1 – Etude de la chaine de traction – 5 points

1.1 A partir de la Figure 4 déterminez approximativement la puissance mécanique maximale fournie par l'arbre du moteur électrique (point P_M).

1.2 Complétez le Tableau 1.

Temps (s)	Vitesse (km/h)	Vitesse moteur (tr/min)	Proue (W)	Couple moteur (Nm)	Rendement η_{CMR} (%)	Puissance P_{CM} (W)	Energie au point P_{CM} (kWh)	Distance parcourue (m)
0	0		0					
10	60		16000					
10	60		8000		72			
30	60		8000		72			
30	60		32000					
60	120		56000					
60	120		26000					
340	120		26000					
340	120		0					
380	48		0					
380	48		4000		72			
420	48		4000		72			
420	48		0					
440	0		0					

Tableau 1

- 1.3 Déterminer l'énergie totale (en Wh) consommée sur un cycle et la puissance moyenne au point P_{CM} de la Figure 1 (on ne prendra pas en compte les variations intermédiaires du rendement η_{CMR} , et on utilisera directement les valeurs calculées dans le Tableau 1).

- 1.4 Calculer la distance totale parcourue et la vitesse moyenne sur le cycle.

- 1.5 Calculer la valeur de la puissance au point P_{CAUX} (voir Figure 1) et en déduire l'énergie consommée par les auxiliaires (en Wh) sur le cycle en ce même point.

- 1.6 A partir des résultats précédents, calculez la distance qui sera possible de parcourir avec la batterie seule ($PAC = 0 W$).

2. Partie 2 – Gestion d'énergie – 5 points

Pour la suite de l'étude nous ne prendrons plus en compte les variations de puissances de P_{CM} sur le cycle et nous utiliserons la valeur suivante : P_{CM} moyenne sur le cycle = 25 kW.

- 2.1 En sachant que la batterie est chargée initialement à 95 % et en vous basant sur la description du fonctionnement de la batterie et de la PAC, représentez sur la Figure 5 la variation du SOC de la batterie (en %) ainsi que la courbe de la puissance batterie au point P_{Bat} . Vous indiquerez proprement sur le graphique les valeurs des temps (en s) de basculement entre chaque état de fonctionnement et la valeur de la puissance batterie correspondante.

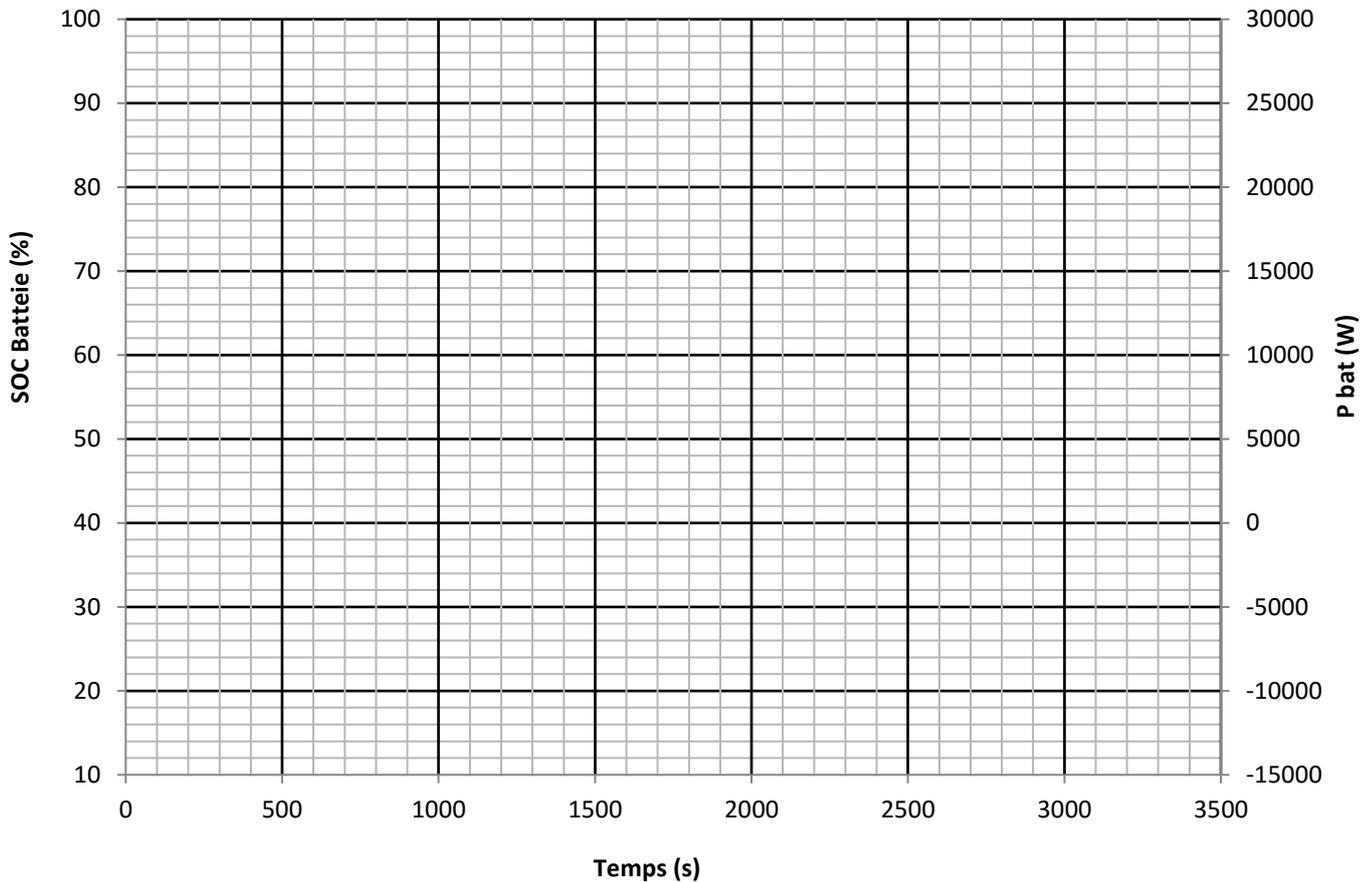


Figure 5 : courbes SOC et puissance batterie

- 2.2 A $t = 3500$ s, le véhicule est arrêté puis connecté au réseau 230 VAC pour recharger la batterie. Combien coutera la recharge en € ?

- 2.3 Calculer la consommation d'hydrogène en kg pour un temps de conduite total de 3500 secondes. Quel volume en litre cela représente à une pression de 700 bars ?

3. Partie 3 – Bilan du puits à la roue – 4 points

Pour la suite de l'étude **on utilisera dorénavant les données suivantes** :

- Recharge de la batterie par le réseau : **besoin de 10 kWh** au niveau de la prise 230 VAC
- Recharge en hydrogène : **besoin de 8 kWh** à stocker dans le réservoir
- Rendement global du véhicule pour chaque énergie utilisée
 - Réservoir H₂ → roue : 38 %
 - Batterie → roue : 75 %

Nous souhaitons comparer 2 solutions de production d'énergie et 2 solutions de production d'électricité ayant toutes un rendement global et leur bilan CO₂. Le Tableau 2 donne un bilan des rendements et émissions de CO₂ de différentes sources d'énergie et de leur transformation.

	Rendement	Grammes CO ₂ équivalent/MJ
Gaz naturel → électricité (pipe line 4000 km)		
Extraction	0.95	7.2
Transport	0.74	28.1
Distribution	0.98	1.1
Centrale	0.54	104.6
Transport électricité	0.97	0

	Rendement	Grammes CO ₂ équivalent/MJ
Gaz naturel (pipeline 7000 km) → H₂		
Extraction	0.95	7.2
Transport	0.74	28.1
Distribution	0.98	1.1
Reformage	0.66	86.6
Compression	0.81	10

Nucléaire → électricité		
Approvisionnement	0.62	4.07
Centrale	0.32	0.3
Transport électricité	0.97	0

Electricité → H₂		
Electrolyse	0.65	0
Compression	0.86	8.6
Distribution	0.98	1

Tableau 2 : rendements et émissions CO₂ de différentes sources d'énergie

3.1 Compléter le Tableau 3 en donnant pour chacun des 4 cas le bilan rendement, émissions de CO₂ ainsi que le total d'énergie primaire utilisé.

		Bilan puits → réservoir		Bilan réservoir → roue		Bilan puits → roue		Energie primaire totale nécessaire (Wh)
		Rendement (%)	CO ₂ (g/kWh)	Rendement (%)	CO ₂ (g/kWh)	Rendement (%)	CO ₂ (g/kWh)	
Cas 1	Production H2 par gaz naturel							
	Production Electricité par gaz naturel							
Cas 2	Production H2 par gaz naturel							
	Production Electricité par nucléaire							
Cas 3	Production H2 par nucléaire + électrolyse							
	Production Electricité par gaz naturel							
Cas 4	Production H2 par nucléaire + électrolyse							
	Production Electricité par nucléaire							

Tableau 3 : bilan rendement et émissions CO₂

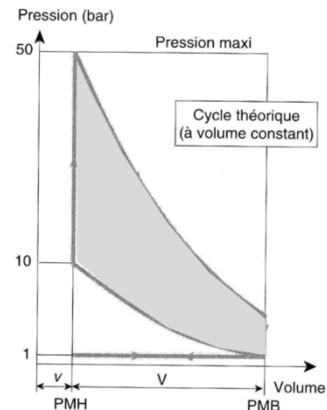
3.2 Quelles autres sources pourrait-on utiliser pour « alimenter » ce véhicule prenant en considération leur rendement et les émissions de CO₂ ? Justifiez.

Question de cours – 6 points

Règles du jeu :

- Mettre une croix dans la colonne OUI ou NON
- Réponse correcte : +0,2 point
- Réponse fausse : - 0,1 point
- Pas de réponse : 0 point

	Questions	OUI	NON
1	Un moteur Diesel est un moteur à allumage commandé.		
2	Dans un moteur Diesel, la combustion s'opère par propagation de la flamme dans un mélange homogène.		
3	La cylindrée d'un moteur est égale au volume balayé par le piston entre PMB et PMH, et multipliée par le nombre de cylindres.		
4	Les abréviations PMB et TDC désignent la même chose.		
5	On désigne par PME la pression moyenne extérieure (nécessaire au système de contrôle moteur puisqu'elle influence la masse volumique de l'air admis dans le moteur)		
6	Les efforts de résistance aérodynamique d'un véhicule varient proportionnellement au carré de la vitesse.		
7	La cylindrée du moteur est proportionnelle à la course.		
8	La CSE du moteur est influencée par la charge du moteur.		
9	La température à atteindre pour obtenir l'allumage d'un mélange air-carburant ne dépend que de la pression.		
10	D'après le deuxième principe de la thermodynamique, un moteur thermique est capable de transformer intégralement l'énergie provenant de la source chaude en travail mécanique.		
11	Les meilleurs moteurs thermiques actuels présentent un rendement réel de l'ordre de 60%.		
12	Un des éléments s'opposant à l'utilisation d'un rapport volumétrique élevé est le phénomène de cliquetis.		
13	Sur le diagramme P-V du cycle Beau De Rochas théorique (ci-contre), le travail mécanique fourni par le moteur est proportionnel à l'aire grisée.		
14	Avec les notations de la question précédente, le rapport volumétrique est donné par la relation $(V+v)/V$?		



15	Les pertes par pompage correspondent aux pertes de charge générées par les mouvements d'entrée et de sortie des gaz.		
16	Le couple d'un moteur est égal à la puissance divisée par la vitesse de rotation.		
17	Le schéma ci-contre représente le cycle thermodynamique théorique d'un moteur Diesel.		
18	Plus la température à l'admission est élevée, plus le moteur a un bon rendement.		
19	Le rendement théorique dépend de plus de paramètres sur un moteur Diesel que sur un moteur essence.		
20	Dans le cycle théorique du moteur Diesel, la combustion s'effectue à pression constante.		
21	La suralimentation consiste à augmenter la masse volumique de l'air admis dans le moteur.		
22	Dans un turbocompresseur, le rôle de la turbine est d'augmenter la pression de l'air d'admission.		
23	Le transport routier est le principal contributeur aux émissions de gaz à effet de serre.		
24	Le transport routier est le principal contributeur aux émissions de NOx en France.		
25	Pour une voiture roulant à 130 km/h, la force de résistance aérodynamique est supérieure à la force de résistance au roulement.		
26	On peut se passer de boîte de vitesse et d'embrayage sur un véhicule électrique.		
27	On peut se passer de boîte de vitesse et d'embrayage sur un véhicule hybride à architecture parallèle.		
28	On peut se passer de boîte de vitesse et d'embrayage sur un véhicule hybride à architecture série.		
29	La densité de puissance des moteurs électriques synchrones à aimants permanents est supérieure à celle des moteurs thermiques à combustion interne.		
30	Le bilan en émission de CO ₂ d'un véhicule hybride rechargeable dépend du mix énergétique d'une zone géographique.		