

SM 58 – EXAMEN FINAL A18

BUS URBANWAY HYBRID IVECO

DONNÉES TECHNIQUES

Le sujet de l'étude concerne la chaîne de traction mise en œuvre dans les bus hybrides commercialisés par IVECO et utilisés aujourd'hui dans plusieurs agglomérations européennes. Cette étude est décomposée en plusieurs parties indépendantes. Le véhicule est basé sur une architecture hybride série illustrée en Figure 2



Figure 1 : bus IVECO Urbanway Hybrid

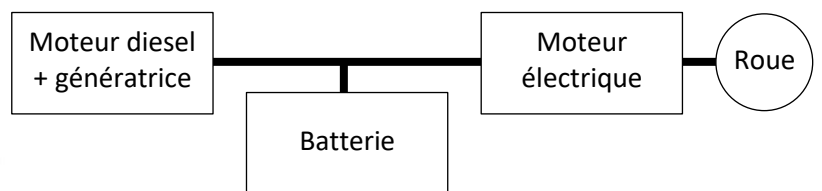


Figure 2 : schéma simplifié de l'architecture du bus hybride

Les données techniques du bus sont les suivantes.

- **Caractéristiques mécaniques**

- Longueur : 12 m
- Surface frontale : 8,8 m²
- Cx : 0,5
- Masse moyenne en roulage : 18 000 kg
- Coefficient de roulement total : 0,03
- Densité de l'air : 1,3 kg/m³
- Vitesse maximale : 70 km/h
- Pont arrière (différentiel) : rapport de réduction de 1/4,2 (= vitesse roue / vitesse entrée pont)
- Réducteur entre le moteur électrique et le pont arrière : rapport de 1/2,5 (= vitesse sortie réducteur / vitesse moteur électrique)
- Dimension des pneumatiques 275/70 R 22,5 soit un diamètre de roue de 956 mm

- **Moteur électrique de traction et son onduleur associé**

- Moteur synchrone triphasée à aimants permanents :
 - Puissance maximale de 175 kW
 - Couple maximal de 3300 Nm de 0 tr/min à la vitesse de base (point où nous avons Pmax et Cmax).
- Onduleur triphasé à IGBT
- L'ensemble moteur et onduleur a un rendement constant de 85 %
- Poids de l'ensemble : 110 kg

- **Auxiliaires (climatisation, compresseur pneumatique et divers équipements)**

- Puissance moyenne consommée sur le réseau 24 V sur un cycle : 14,25 kW
- Hacheur entre le bus DC et la batterie : puissance maximale 30 kW, rendement 95%

- **Batterie Li-Ion**

- Energie maximale : 11 kWh,
- Tension nominale du pack batterie : 663 V
- Puissance maximale : 200 kW
- Rendement faradique : 100%
- Caractéristique d'une cellule:
 - Tension nominale : 3,4 V
 - Capacité C : 8,3 Ah
 - Résistance interne : négligée
 - Courant de décharge maximal : 110 A
 - Durée de vie : 3000 cycles à 85% de DoD
 - Densité d'énergie : 140 Wh/kg

- **Groupe électrogène**

- Moteur diesel Tector 7
 - Puissance maximale : 214 kW à 2500 tr/min
 - Couple maximal : 1000 Nm à 1700tr/min
 - Poids : 250 kg
 - Réservoir de 200 litres
 - Gasoil : PCI = 11 834 Wh/kg, densité = 845 kg/m³
 - La Figure 3 donne la carte des isorendements du moteur thermique

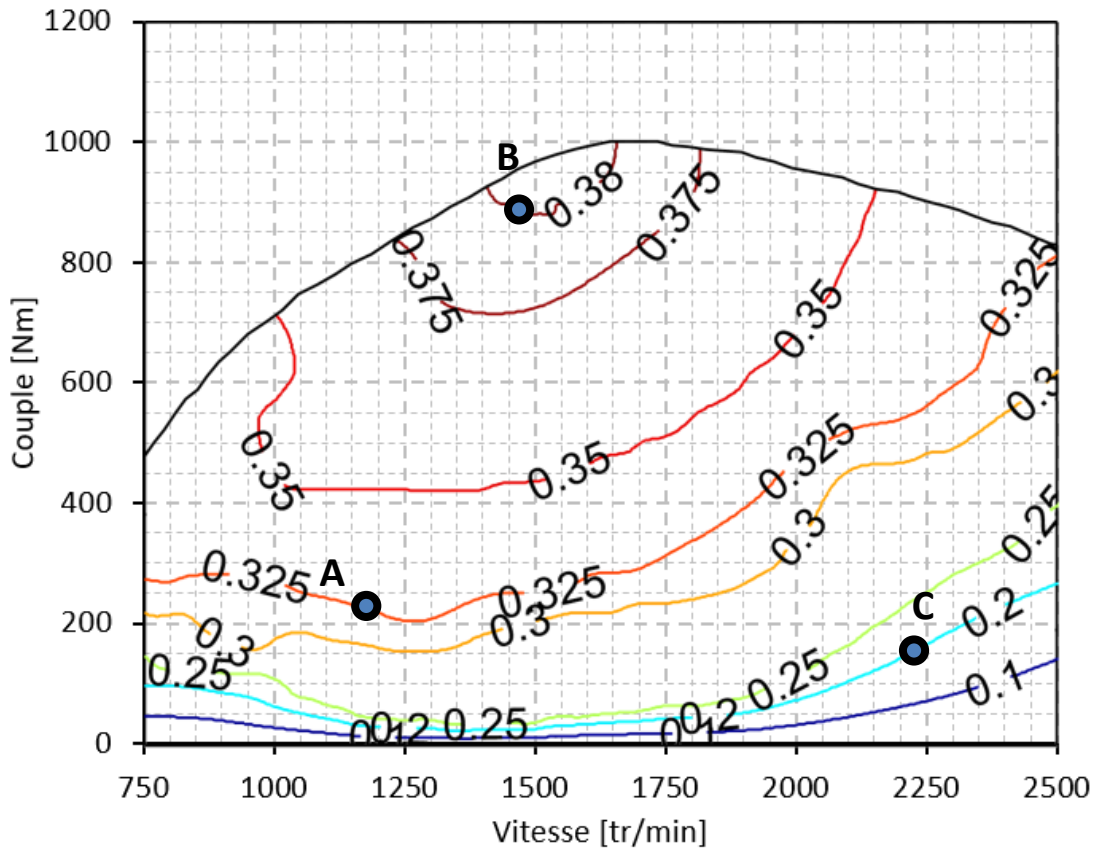


Figure 3 : carte d'isorendements du moteur diesel

- Génératrice électrique et redresseur associé
 - Machine synchrone triphasée à aimants permanents connectée directement au moteur diesel. Carte de rendement donnée en Figure 4.
 - Puissance mécanique maximale : 140 kW
 - Redresseur commandé à IGBT, rendement 100%.
 - Poids de l'ensemble : 90 kg

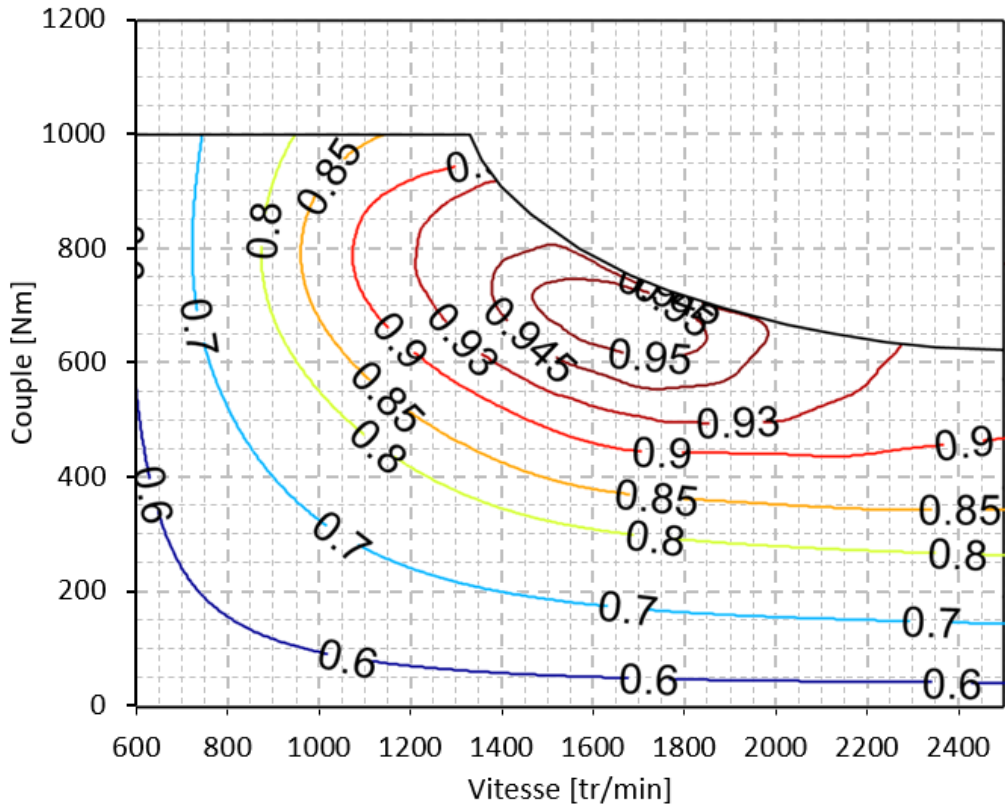


Figure 4 : carte d'isorendements de la génératrice électrique

On rappelle que la puissance correspondant à la force de résistance à l'avancement d'un véhicule, avec v sa vitesse (en m/s), est donnée par l'équation du principe fondamental de la dynamique présentée ci-dessous:

$$P_m = v \left(M_v \frac{dv}{dt} + \frac{1}{2} \rho_{\text{air}} v^2 S C_x + M_v g \sin \alpha + M_v g C_r \cos \alpha \right)$$

Pour l'étude nous prendrons en considération le cycle détaillé ci-dessous, correspondant à un parcours entre 2 stations (roulage à plat).

- Phase 1 : accélération constante de 0 à 13 km/h pendant 2 secondes
- Phase 2 : accélération constante de 13 à 40 km/h pendant 18 secondes
- Phase 3 : roulage à vitesse stabilisée de 40 km/h pendant 48 secondes
- Phase 4 : freinage de 40 à 0 km/h en 7 secondes. 50 % de la puissance de freinage sera assurée par le moteur électrique
- Phase 5 : vitesse nulle pendant 15 secondes
- Un trajet « aller » entre les terminus de la ligne du bus correspond à 20 cycles de suite. On effectuera 6 trajets aller et retour sur la ligne par jours.

Le Tableau 1 ci-dessous présente les caractéristiques de cellules Kokam à utiliser uniquement pour la partie 3 (conversion du bus en version tout électrique).

Tableau 1 : caractéristiques des cellules constituant le pack batterie

Electrical Characteristics				
Items	Specification			Remarks
Rated Capacity	40Ah			Charge@0.2C, 23±3 °C Discharge@0.2C, 23±3 °C
Energy Density	149Wh/kg			
Energy Density ⁽¹⁾	280Wh/L			
Impedance	Max. 0.80mΩ			AC @1kHz
Weight	Max. 990g			
Cell Dimension [Maximum]	Width ^(A)	226mm		Unfolded
	Length ^(B)	227mm		Except for tab length
	Thickness ^(C)	10.3mm		0.5kgf/cm ² , 3.7±0.1V
Voltage	Average	3.7V		
	Lower limited	2.7V		
	Upper Limited	4.2V		
Current [Maximum]	Charge	Cont.	120A (3C)	@23±3 °C
		Discharge	Cont.	320A (8C)
		Peak	600A (15C)	<10sec , > SOC 50%
Cycles @1C/1C, to 80% of Capacity	up to 4,000			80% DOD or 3.4~4.1V (@23±3 °C)
Certification	UL, UL Japan(S-Mark)			

(1) Volume calculated excluding tabs.

Common Specifications			
Charging Temperature ⁽²⁾	0 ~ 10 °C	< 0.3C	Pre-charging range
	10 ~ 35 °C	< 3C	Rapid charging range
	35 ~ 45 °C	< 1C	Charging range
Discharging Temperature ⁽³⁾	-10 ~ 55 °C		
Storage Temperature	-20 ~ 25 °C	1year	@60±25% R.H. SOC 50 ±5%
	25 ~ 40 °C	3months	
	40 ~ 60 °C	< 1week	

(2) 0 °C ↓ or 45 °C ↑: Charge Protection Temperature (Shut down required)

(3) -10 °C ↓ or 55 °C ↑: Discharge Protection Temperature (Shut down required)

SM 58 – EXAMEN FINAL A18 – DOCUMENT RÉPONSE

NOM :

PRÉNOM :

Tous documents autorisés - Calculatrice autorisée - Dictionnaires numériques interdits

1. Partie 1 : étude de la chaîne de traction

- 1.1 Réaliser ci-dessous un schéma **propre et détaillé** de la chaîne de traction du véhicule faisant apparaître les sources d'énergies, les différentes machines, les différents équipements mécaniques et électriques ainsi que les convertisseurs de puissance.



- 1.2 Connaissant la vitesse maximale du véhicule, déterminez la vitesse maximale de rotation du moteur électrique.



- 1.3 En prenant en considération une allure de courbe de couple standard de machine électrique (zone à couple constant jusqu'à la vitesse de base puis zone à puissance constante), tracez sur la Figure 5 l'allure de la courbe de couple maximal du moteur électrique en fonction de la vitesse de rotation.

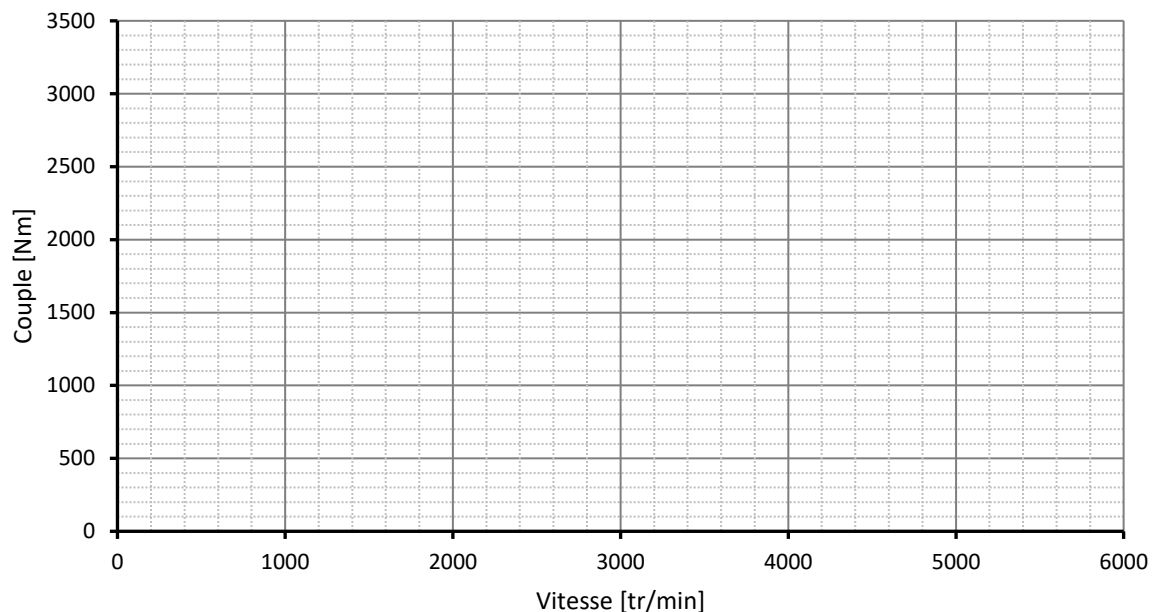


Figure 5 : courbe de couple maximal du moteur électrique

- 1.4 Le véhicule fonctionne sur la batterie (groupe électrogène à l'arrêt) avec un état de charge satisfaisant. En considérant que la puissance varie linéairement lors des phases d'accélération et de freinage, complétez le Tableau 2 ci-dessous.

Phases	Temps (s)	Vitesse (km/h)	Distance parcourue (m)	P roue (kW)	P batterie (kW)	Energie batterie (Wh)
1		0				
		13				
2		13				
		40				
3		40				
		40				
4		40				
		0				
5		0				
		0				
			Distance totale (m)		Energie totale (Wh)	

Tableau 2

1.5 Sur la Figure 6 ci-dessous tracez la courbe de la puissance batterie en fonction du temps.

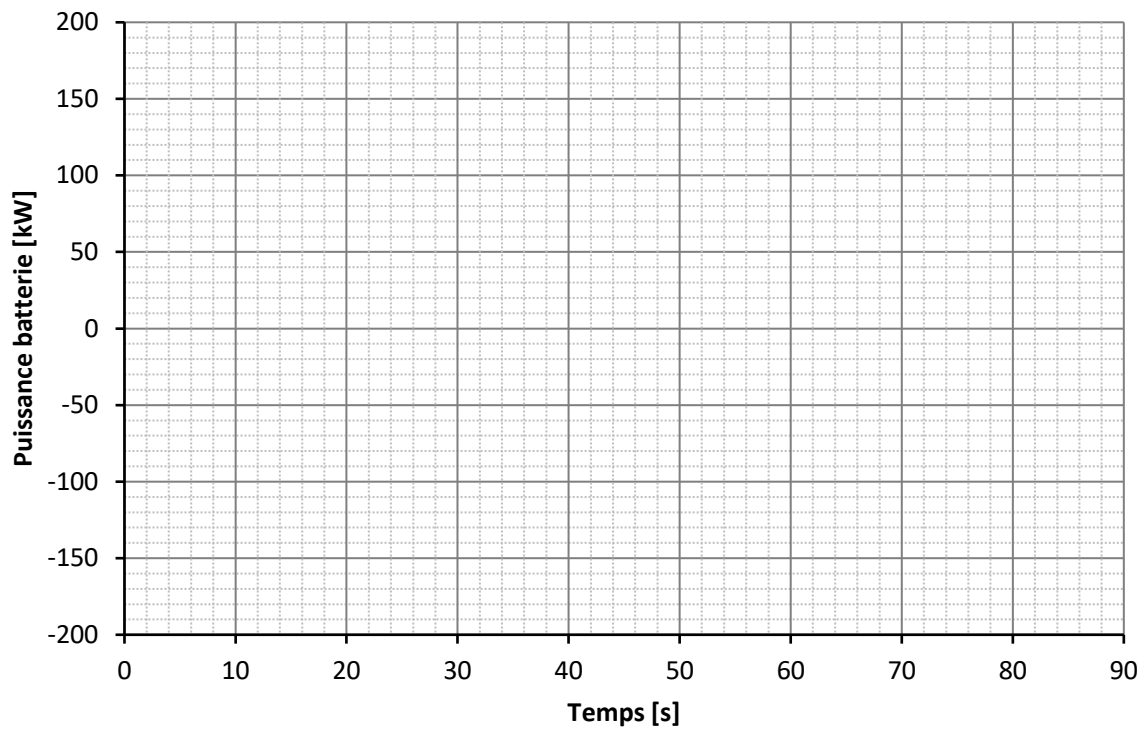


Figure 6 : puissance batterie

1.6 Groupe électrogène

1.6.1. Donnez la consommation spécifique en g/kWh obtenue aux points A, B et C présents sur la carte d'isorendements du moteur Tector donnée en Figure 3.

1.6.2. Au meilleur point de fonctionnement de la génératrice, déterminez à partir de la Figure 4 :

- la vitesse de rotation de la génératrice,
- le couple mécanique de la génératrice,
- la puissance électrique que peut fournir la génératrice,
- la consommation de carburant du moteur diesel en litre/heure à ce point de fonctionnement.

2. Partie 2 : gestion d'énergie

Données et hypothèses à utiliser pour cette partie :

- L'énergie électrique consommée sur un cycle entre 2 stations est de 2 kWh, phases de freinage récupératif et consommation des auxiliaires incluses.
- La vitesse moyenne est de 28 km/h.
- La puissance nécessaire à l'avancement du véhicule et aux auxiliaires est supposée constante sur tout le cycle.
- La variation d'état de charge (SOC) de la batterie est limitée entre 50 % et 90 % afin de conserver une durée de vie raisonnable.

La gestion d'énergie du bus est basée sur un mode thermostat :

- Lorsque la batterie aura besoin d'être rechargée, on fera fonctionner la génératrice du groupe électrogène au point de fonctionnement suivant : vitesse de 1500 tr/min et couple de 800 Nm. A ce point de fonctionnement le moteur thermique a une consommation spécifique de 225 g/kWh.
- Lorsque la batterie sera chargée, on arrêtera le moteur thermique.

2.1 Calculez le temps de décharge et de recharge de la batterie en secondes.

2.2 Sachant qu'à $t = 0$ seconde la batterie à un SOC de 90 %, tracez sur la Figure 7 la variation de puissance de la batterie et de la puissance électrique du groupe électrogène.

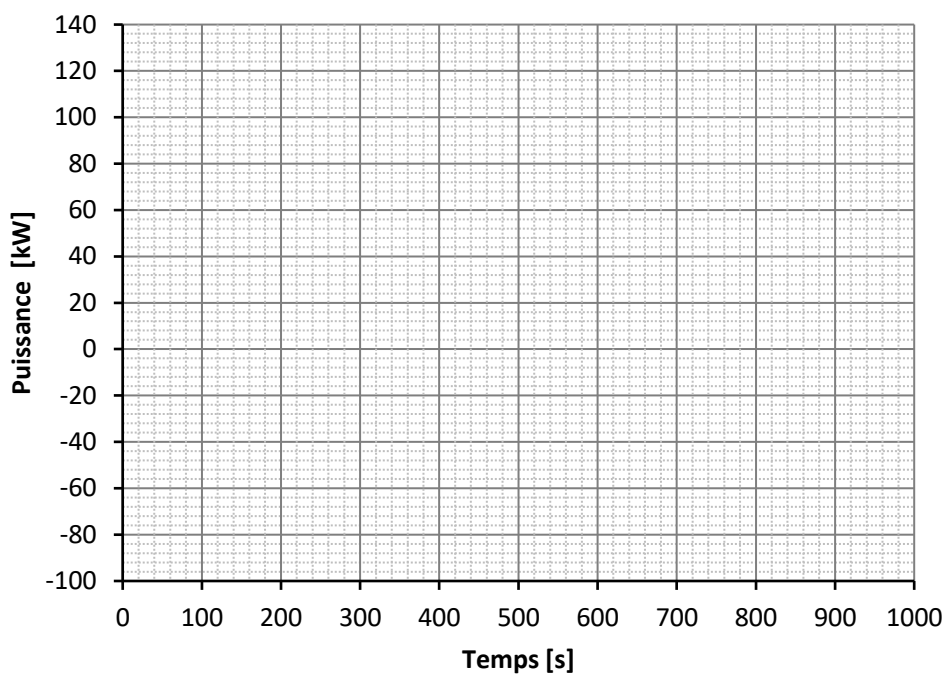


Figure 7 : puissance batterie et puissance électrique GE

2.3 A partir de l'énergie fournie par le moteur thermique sur un cycle de charge et décharge de la batterie, calculez la consommation en litres de gasoil pour 100 km du bus.

2.4 Quelle sera alors l'autonomie du véhicule ? Est-elle suffisante par rapport aux cahier des charges du parcours ?

3. Partie 3 : étude de la batterie

3.1 Calculez le nombre de cellules qui composent la batterie. Déterminez le poids de la batterie.

3.2 Conversion du bus hybride en véhicule tout électrique

On suppose toujours que l'énergie électrique consommée sur un cycle entre 2 stations est de 2 kWh, phases de freinage récupératif et consommation des auxiliaires incluses. Le temps de pause à chaque terminus est de 20 minutes avant de redémarrer un trajet.

On souhaite convertir le bus en véhicule tout électrique. Pour cela on utilisera des cellules Kokam dont les caractéristiques sont détaillées dans le Tableau 1.

Discutez de la possibilité de réaliser la conversion en bus électrique en prenant en considération notamment les problématiques de masse, durée de vie, capacités du chargeur, stratégie de recharge, etc.

