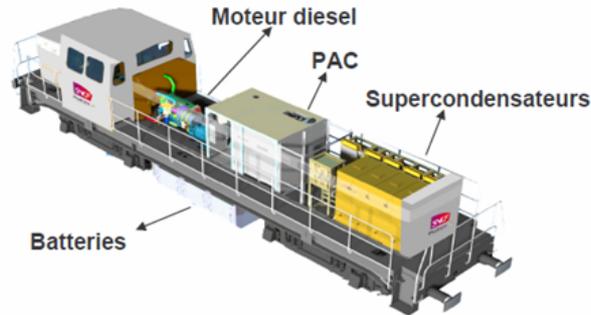


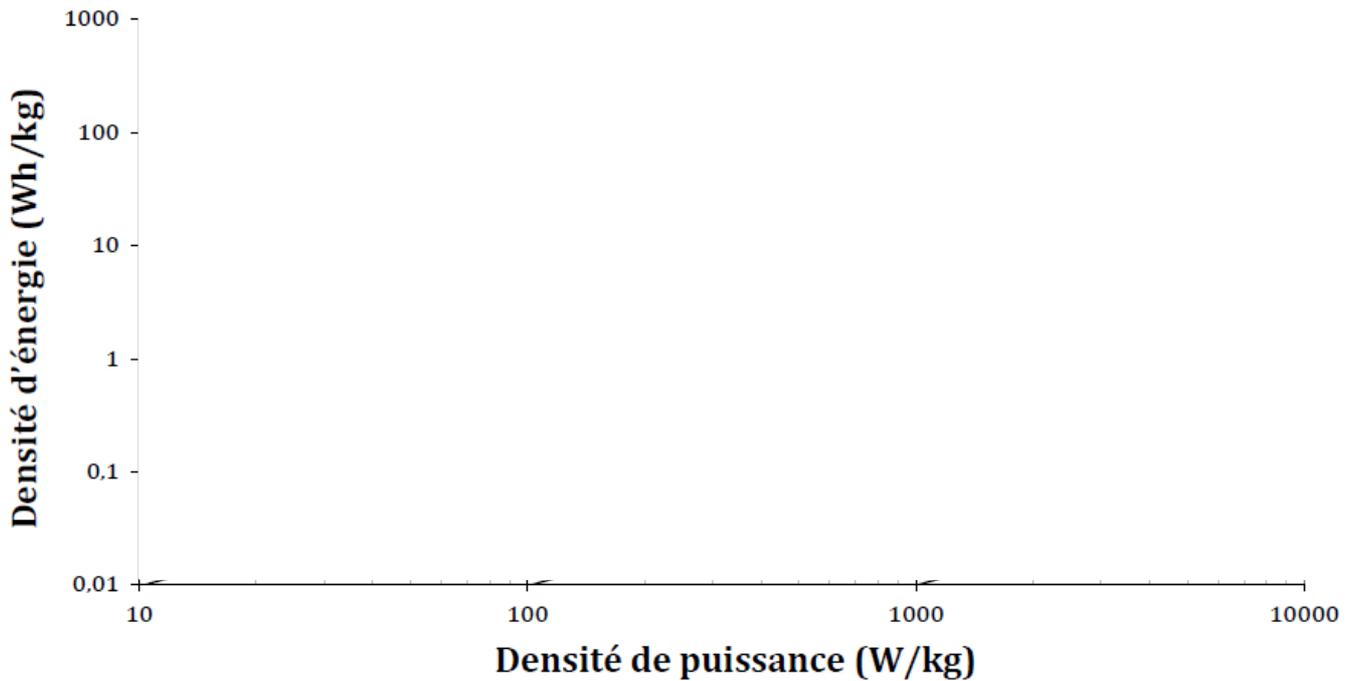
MODULE FERROVIAIRE

EXAMEN - PARTIE B : HYBRIDATION DES LOCOMOTIVES

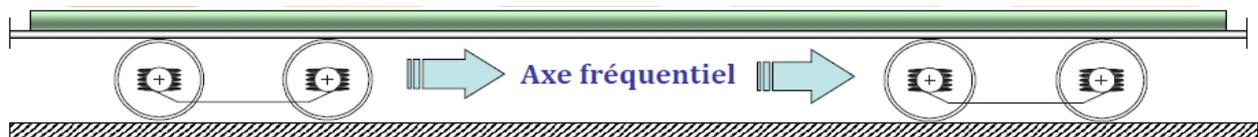


1. Connaissances générales pour l'hybridation des locomotives ferroviaires (8 points).

- Donnez les technologies ainsi que leurs avantages et inconvénients permettant d'hybrider une locomotive.
- Positionnez dans le plan de Ragone les technologies pour l'hybridation.



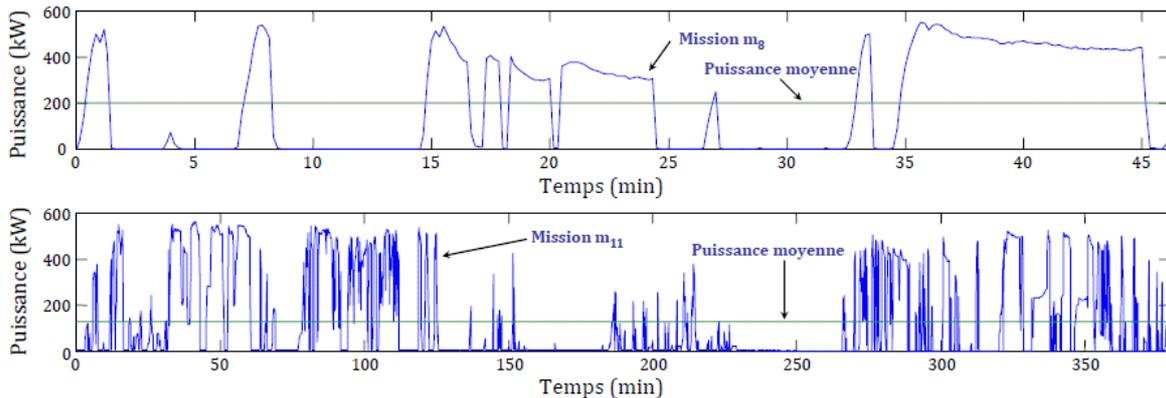
- Positionnez dans le plan fréquentiel les technologies pour l'hybridation.



d) Rappelez la définition de l'indicateur de potentiel d'hybridation et complétez le tableau suivant.

Identifiant	Durée (min)	V_{max} (km/h)	V_{moy} (km/h)	P_{moy} (kW)	P_{max} (kW)	PHP (%)
Mission 1	272	44	7	81	477	
Mission 2	302	83	9	200	564	
Mission 3	404	61	16	89	967	
Mission 4	155	318	280	6431	8516	

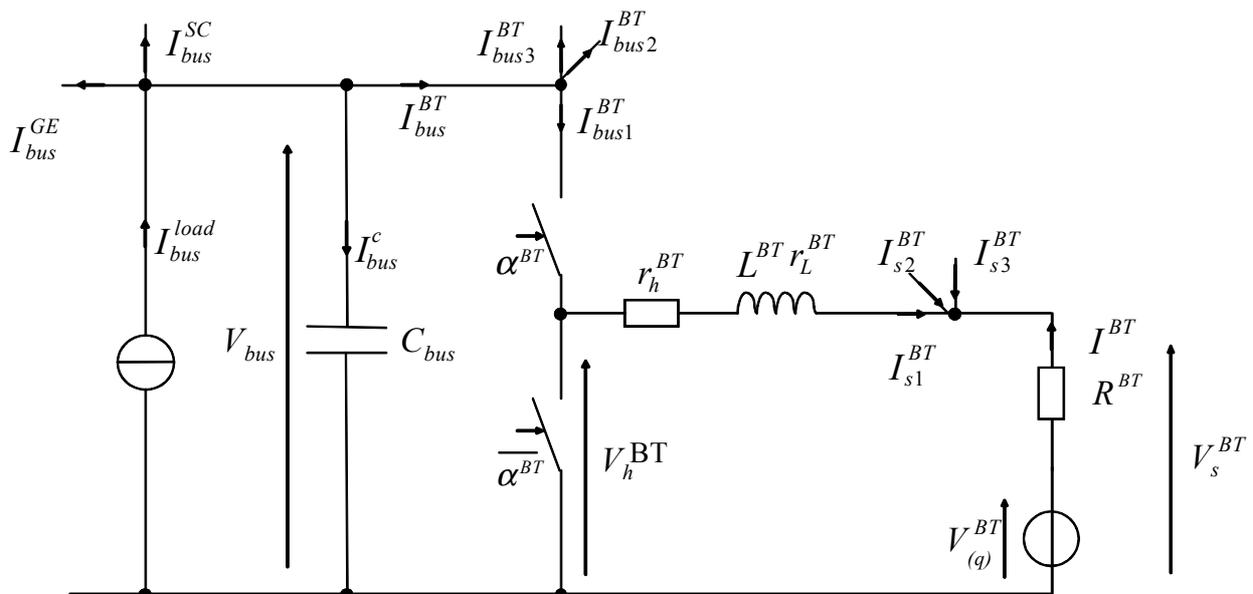
e) Analysez les profils de missions suivants puis proposez une association composée de deux technologies maximum pour hybrider chacun des profils.



Choix d'hybridation	Mission 8	Mission 11
Technologie 1		
Technologie 2		

f) A partir de l'approche fréquentiel proposer une méthodologie permettant de concevoir une locomotive hybride composée d'une pile à combustible, d'un module de batteries et d'un volant d'inertie.

2. Modélisation d'un module de batteries associé à un hacheur DC/DC (6 points).



Caractéristiques du système : On précise que le hacheur est constitué de 3 bras en parallèle. Dans toute l'étude on considère $I_{bus}^{GE} = I_{bus}^{SC} = 0$, $V_{bus} = 500V$, $C_{bus} = 32,4mF$, $r_h^{BT} = 206m\Omega$, $L^{BT} = 600\mu H$, $r_L^{BT} = 6,5m\Omega$. Le module de batteries est composé de 300 batteries associées en série dont les caractéristiques sont les suivantes : $r^{BT} = 0,3m\Omega$, la tension à vide $v^{BT}(q) = 1,11.q^3 - 1,82.q^2 + 1,06.q + 0,99$ (fonction empirique).

- Tracez l'allure de la tension V_h^{BT} en fonction du temps pour un rapport cyclique de 75%.
- Donnez l'expression de la valeur moyenne de la tension V_h^{BT} en fonction de α^{BT} et V_{bus} et la relation entre le courant I_{bus1}^{BT} , α^{BT} et I_{s1}^{BT} .
- Donnez l'expression de I_{s1}^{BT} en fonction de $V_h^{BT} - V_S^{BT}$, r_h^{BT} , r_L^{BT} et L^{BT} .
- Donnez la relation de V_S^{BT} en fonction de $V^{BT}(q)$, I^{BT} et R^{BT} .
- Etablissez le schéma bloc du hacheur et du module de batteries.

3. Commande du hacheur DC/DC associé au module de batteries (6 points).

- Complétez sur le schéma bloc du hacheur, la structure de commande du système permettant de contrôler le courant I_{s1}^{BT} en utilisant un régulateur PI de la forme : $k_p + \frac{k_i}{p}$.
- Déterminez la fonction de transfert en boucle ouverte de la commande du hacheur du module de batterie.
- A partir de la question précédente établissez la fonction de transfert en boucle fermée du système

commandé puis identifiez la fonction à un système du second ordre :
$$\frac{G}{1 + \frac{2\xi}{\omega_n} \cdot P + \frac{1}{\omega_n^2} \cdot P^2} .$$

- Calculez la valeur des correcteurs k_p^{BT} et k_i^{BT} pour un amortissement $\xi = 0,7$ et $\omega_n = 2\pi \cdot 100Hz$.
- Complétez votre commande pour contrôler le courant I_{bus1}^{BT} à partir du courant I_{s1}^{BT} .