

# SY80 – Finale – Automne 2024

Daniela CHRENKO

13 janvier 2025

Prénom		Nom	
--------	--	-----	--

## Information générale

Merci de répondre sur cette feuille, de manière bien lisible.

Les différentes parties du final sont autonome, il n'est pas nécessaire de répondre en ordre chronologique.

Il est possible de répondre en mot de clé, tant que la réponse est claire.

Chaque valeur numérique doit être un résultat d'un calcul présenté et complété par son unité.

## Matériel

Tout document interdit, calculatrice autorisée.

Toute coopération et utilisation d'équipement numérique (ordinateur, téléphone, tablette ...) interdite.

## Partie 1 :

# Dimensionnement chaîne de traction bus : Hybridation Pile à Combustible et Batterie Lithium Ion

Cet exercice est en lien avec un fait divers :

La nuit du 1<sup>ere</sup> au 2<sup>eme</sup> janvier 2025 les sept bus pile à hydrogène de l'Optymo à Belfort ont pris feu, probablement par suite d'un problème technique. Les sept bus étaient complètement détruits avec un dommage d'environ 4 million €.

<https://www.republicain-lorrain.fr/faits-divers-justice/2025/01/02/l-incendie-d-un-depot-provoque-la-destruction-de-sept-bus-a-hydrogene>



Figure 1: Bus Hydrogène Van Hool pour Optymo, Belfort

## Section 1 : Positionnement générale (3 points)

Les bus à hydrogène sont une application rependue des piles à combustible dans le monde du transport et en conséquent intéressant à étudier plus en détail.

### **Question 1 (1 points) :**

Expliquer brièvement pourquoi un bus urbain utilisant de pile à combustible semble une solution pertinente.

### **Question 2 (1 points) :**

Quel type de pile à combustible sera, selon vous, utilisé dans un tel bus ? (Explication bref.)

**Question 3 (1 points) :**

Pourquoi l'étude s'applique à un bus hybride et pas à un bus uniquement équipé d'une pile à combustible ?

Objectif du travail est d'effectuer le dimensionnement du bus.

**Section 2 : Analyse des besoins (5 points)**

**Informations générales**

On propose d'associer une batterie Lithium Ion avec un système pile à combustible pour une application de type autobus urbain. La batterie sera utilisée en complément de puissance lors des phases d'accélération et récupère la totalité de l'énergie cinétique, lors de phase de freinage, la pile à combustible sera à l'arrêt. Lors des phases d'accélération, la puissance de la pile à combustible croît linéairement jusqu'à sa puissance maximale dès le départ du bus. A puissance constant, seul la pile à combustible est utilisée à sa puissance maximale.

La transmission se fait aux roues arrière. La pile à combustible et les batteries fournissent de l'énergie au moteur électrique.

**Cycle de conduite**

On donne le cycle de référence suivant représentant la puissance globale à la roue. Le bus fait environ 240km par jour.

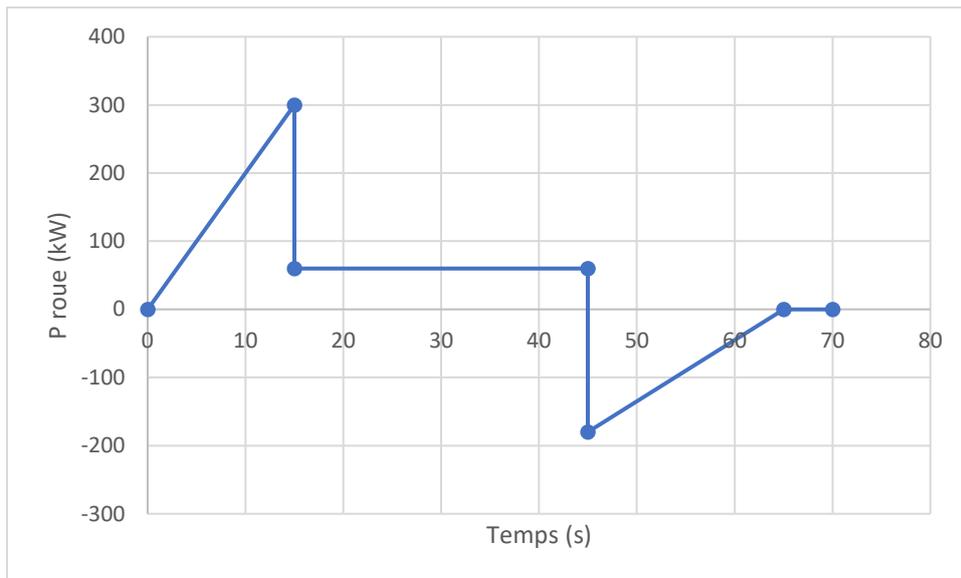


Figure 2: Cycle de conduit – puissance

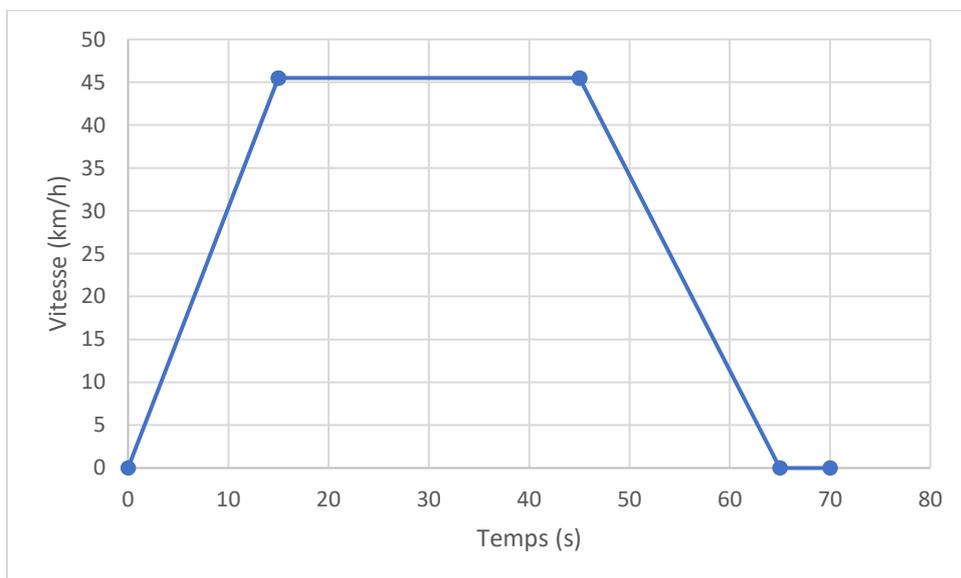


Figure 3: Cycle de conduit - vitesse

Les paramètres principaux du véhicule et des conditions environnementales sont présentés en Tableau 1.

Tableau 1: Caractéristiques bus

Caractéristique	Unité	Valeur
<b>Rendement de moteur électrique + convertisseur associé</b>	-	0,9
<b>Rendement de système pile à combustible</b>	-	0,5
<b>Auxiliaires de système pile à combustible par rapport à la puissance électrique fournie</b>	-	0,2

<b>Rendement convertisseur pile à combustible</b>	-	0,92
<b>Rendement de batterie Li-ion</b>	-	1
<b>Densité massique batterie Li-ion</b>	Wh/kg	150
<b>Densité volumétrique batterie Li-ion</b>	Wh/L	250
<b>Densité de puissance batterie Li-ion</b>	W/kg	2000
<b>Pression réservoir</b>	bar	350
<b>Hydrogène</b>	MJ/kg	120
<b>Hydrogène à 350 bar et 20°C</b>	kg/m <sup>3</sup>	23.86
<b>Densité de puissance empilement (stack) pile à combustible</b>	kW/kg	3.5

**Question 4 (1 point) :**

Calculer la distance parcourue par cycle :

**Question 5 (2 points) :**

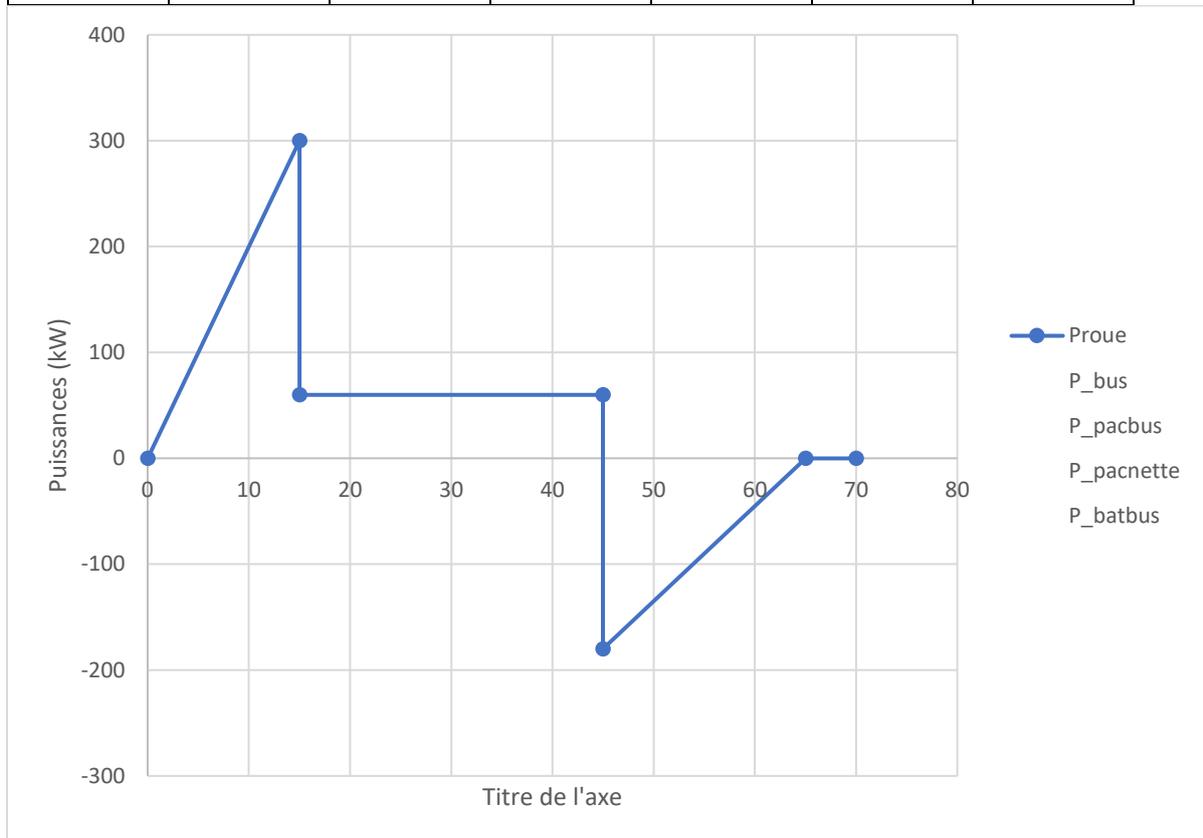
Donner le schéma de principe détaillé de la chaîne de traction du bus. Indiquer les composants clés, indiquer les liaisons (mécanique, électrique, monophasé, triphasé), indiquer les rendements si connus et donner des noms clairs aux puissances clés qui seront utilisés à la suite des calculs.

**Question 6 (2 points) :**

Représenter dans le tableau et sur le graphique ci-dessous la puissance (kW) à l'entrée du moteur électrique (P\_Elecbus), à la sortie de batterie (P\_Batbus) et à la sortie de système pile à combustible avant et après le convertisseur (P\_Pacbus et P\_Pacnette).

Tableau 2 : Puissances

Temps(s)	Proue (kW)	Vitesse (km/h)	P_Elecbus (kW)	P_pacbus (kW)	P_pacnette (kW)	P_batbus (kW)
0	0	0				
15	300	45.5				
15	60	45.5				
45	60	45.5				
45	-213	45.5				
65	0	0				
70	0	0				



### Section 3 : Dimensionnement de batterie Li-ion (3 points)

#### **Question 7 (1 point) :**

Déterminer l'énergie de batterie fournie lors des phases d'accélération. Déterminer également sa masse. Conclure.

#### **Question 8 (1 point) :**

Calculer la puissance maximale qui peut être fournie par une batterie avec une masse de 3.6kg. Quelle masse sera nécessaire pour fournir une puissance de 261kW ?

#### **Question 9 (1 point) :**

Par cycle de conduite la batterie doit fournir 300kJ, la distance d'un cycle est 600m. Quelle est la masse de la batterie nécessaire pour une journée de travail ? Calculer également le volume. Conclure sur votre résultat en lien avec la réponse à la question 8.

### Section 3 : Dimensionnement système Pile à Combustible (4 points)

#### **Question 10 (1 point) :**

Quelle énergie doit être fournie par la pile à combustible par cycle et sur la journée ? (On admet que la puissance brute à fournir par la pile à combustible en vitesse constante est de 90,6kW.)

#### **Question 11 (1 point) :**

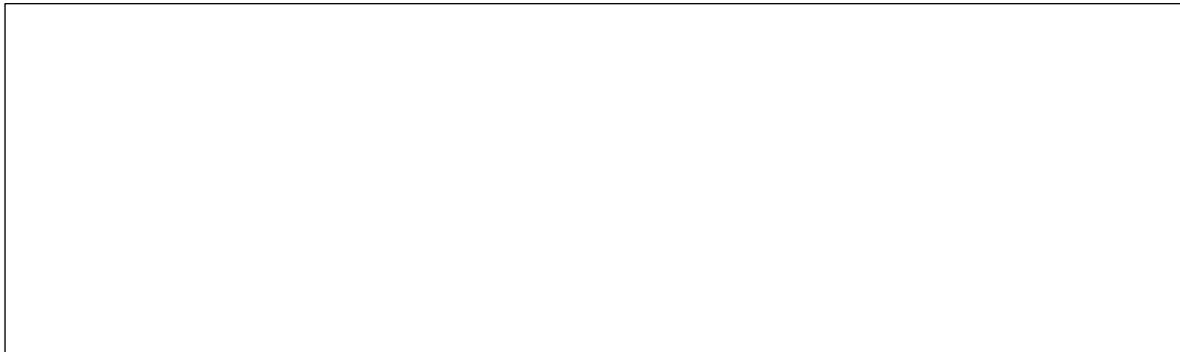
Considérons le rendement du système pile à combustible et la consommation des auxiliaires, quelle quantité d'énergie doit être fournie par hydrogène par jour ? Quelle quantité est-ce que ça représente en kg et en L à 350 bar ? (Vous pouvez considérer une énergie électrique fournie par la pile à combustible de 1,36GJ.)

#### **Question 12 (1 point) :**

Quel sera le volume du stack pile à combustible dans les conditions données ? Quelle sera le volume du système pile à combustible, sachant que les auxiliaires ajoutent 50% de masse par rapport au stack.

**Question 13 (1 point) :**

Conclure sur les volumes des composants de la chaine de traction et des emplacements disponibles dans un bus.

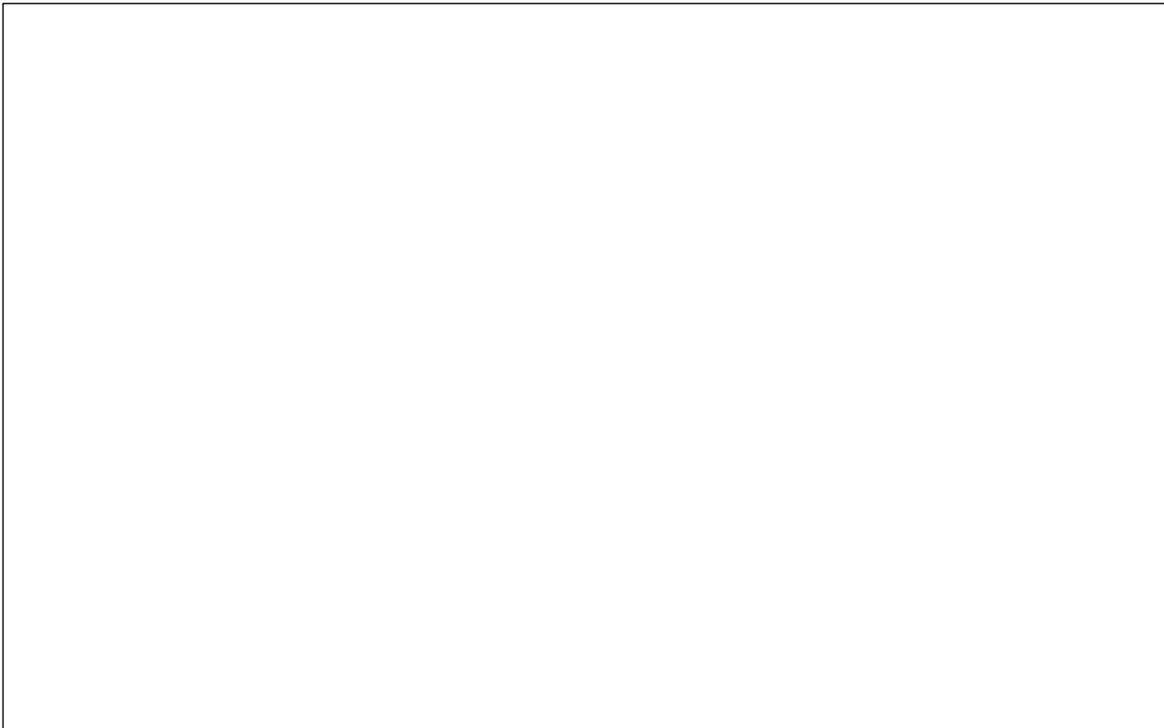


## Partie 2 : Projet

Vous avez effectué un projet pendant une grande partie du semestre. Cette partie vise à présenter en grand lignes votre projet.

**Question 14 (3 points) :**

Donner le nom de votre projet et donner le schéma de principe détaillé de la chaine de traction électrique étudié durant votre projet. Indiquer et nommer les composants clés, indiquer les liaisons (mécanique, électrique, monophasé, triphasé).



**Question 13 (2 points) :**

Donner quelques valeurs numériques de votre projet. Indiquer clairement de quelle valeur il s'agit, le valeur et l'unité associé.

