



## DETE304: Transports et Inter-Modalité

Rapport du BE-PROPULSION AUTOMOBILE

Coline van Leeuwen  
Shiwen Sun

7 MARS 2022



Université  
Fédérale  
Toulouse  
Midi-Pyrénées

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Question 1 : Calcul du régime moteur</b>	<b>3</b>
1.1	Pour chacun des 6 rapports de transmission, calculer le rapport des régimes de rotation moteur/roue $r_{\text{moteur\_roue}}$ [-] ( $\Rightarrow$ valeurs globales) . . . . .	3
1.2	En déduire sur tout le profil de mission le régime de rotation du moteur $N_{\text{mot}}$ [tr/min] en tenant compte du régime de ralenti : le régime moteur ne peut pas être inférieur au régime de ralenti ( $\Rightarrow$ tracé temporel). . . . .	3
<b>2</b>	<b>Question 2 : Calcul des efforts résistifs</b>	<b>4</b>
2.1	Calculer sur tout le profil de mission les 4 efforts résistifs $F_{\text{pente}}$ [N], $F_{\text{aero}}$ [N], $F_{\text{rr}}$ [N], $F_{\text{meca}}$ [N] ( $\Rightarrow$ tracés temporels). A noter : lorsque la vitesse est nulle, alors $F_{\text{rr}}$ et $F_{\text{meca}}$ sont nulles. . . . .	4
2.1.1	Calcul de $F_{\text{pente}}$ . . . . .	4
2.1.2	Calcul de $F_{\text{aero}}$ . . . . .	5
2.1.3	Calcul de $F_{\text{rr}}$ . . . . .	5
2.1.4	Calcul de $F_{\text{meca}}$ . . . . .	6
2.2	En déduire l'effort résistif total $F_{\text{resistif}}$ [N] ( $\Rightarrow$ tracé temporel). . . . .	6
<b>3</b>	<b>Question 3 : Calcul des masses</b>	<b>7</b>
3.1	Calculer sur tout le profil de mission la masse équivalente des inerties en rotation $M_{\text{eq}}$ [kg] ( $\Rightarrow$ tracé temporel). . . . .	7
3.2	En déduire la masse totale à entraîner $M$ [kg] ( $\Rightarrow$ tracé temporel). . . . .	8
<b>4</b>	<b>Question 4 : Calcul de l'effort total</b>	<b>8</b>
4.1	Calculer sur tout le profil de mission l'accélération du véhicule $a$ [m.s <sup>-2</sup> ] ( $\Rightarrow$ tracé temporel). Le schéma de dérivation à utiliser est le suivant : $dX/dt(t) = (X(t) - X(t-1))/dt$ . . . . .	8
4.2	En déduire l'effort total associé $F_{\text{tot}}$ [N] ( $\Rightarrow$ tracé temporel). . . . .	9
<b>5</b>	<b>Question 5 : Calcul du couple effectif moteur</b>	<b>10</b>
5.1	Calculer sur tout le profil de mission le besoin en effort de traction $F_{\text{traction}}$ [N] ( $\Rightarrow$ tracé temporel). . . . .	10
5.2	En déduire le couple nécessaire à la roue $C_{\text{roue}}$ [N.m] ( $\Rightarrow$ tracé temporel). . . . .	10
5.3	En déduire le couple effectif moteur nécessaire $C_{\text{mot}}$ [N.m] ( $\Rightarrow$ tracé temporel). . . . .	11
5.4	En déduire la puissance effective moteur $P_{\text{mot}}$ [kW] et la puissance de traction $P_{\text{traction}}$ [kW] ( $\Rightarrow$ tracés temporels). . . . .	12
<b>6</b>	<b>Question 6 : Calcul du rendement effectif, de la consommation et du CO2</b>	<b>13</b>
6.1	Calculer sur tout le profil de mission le débit de carburant $q_{\text{carb}}$ [mg/s] ( $\Rightarrow$ tracé temporel). . . . .	13
6.2	En déduire la puissance chimique introduite sous forme de carburant $P_{\text{carb}}$ [kW] ( $\Rightarrow$ tracé temporel). . . . .	13
6.3	En déduire le rendement effectif du moteur $\text{rend}_e$ [-]. . . . .	14
6.4	Calculer la consommation en carburant sur ce cycle $C$ [L/100km] ( $\Rightarrow$ valeur globale). . . . .	14
6.5	Calculer l'énergie introduite sous forme de carburant $E_{\text{carb}}$ [kW.h] ( $\Rightarrow$ valeur globale). . . . .	15
6.6	Calculer l'émission de CO2 du véhicule sur ce cycle $\text{CO}_2$ [g/km] ( $\Rightarrow$ valeur globale). . . . .	15
<b>7</b>	<b>Question 7 : Evaluation de l'adaptation moteur/véhicule/boite sur ce cycle</b>	<b>15</b>
7.1	Représenter les points de fonctionnement moteur utilisés dans le plan régime / couple, en positionnant la courbe de pleine charge. . . . .	15
7.2	Conclure. . . . .	15

<b>8</b>	<b>Question 8 : Evaluation du potentiel de récupération d'énergie à la décélération</b>	<b>16</b>
8.1	Calculer sur tout le profil de mission la puissance de traction lorsque l'effort de traction est positif(demande de couple positif du conducteur) $P_{traction\_ap}$ [kW] et la puissance de traction lorsque l'effort de traction est négatif (demande de couple négatif du conducteur) $P_{traction\_an}$ [kW] ( $\Rightarrow$ tracés temporels). . . . .	16
8.2	En déduire l'énergie de traction lorsque le conducteur demande un couple positif $E_{traction\_ap}$ [kW.h] et lorsque le conducteur demande un couple négatif $E_{traction\_an}$ [kW.h] ( $\Rightarrow$ valeurs globales). . . . .	17
8.3	En supposant un rendement global de conversion de l'énergie mécanique vers électrique, de stockage et de restitution à la roue de 80%, calculer l'énergie disponible à la roue $E_{traction\_elec}$ [kW.h] si l'intégralité de l'énergie de traction lorsque le conducteur demande un couple négatif $E_{traction\_an}$ est récupérée ( $\Rightarrow$ valeur globale). . . . .	17
8.4	En déduire l'énergie de traction restant à fournir par le moteur thermique $E_{traction\_therm}$ [kW.h] ( $\Rightarrow$ valeur globale). . . . .	17
8.5	Connaissant l'énergie introduite sous forme de carburant $E_{carb}$ [kW.h], déterminer le rendement de traction thermique lorsque le conducteur demande un couple positif $rend_{traction\_therm}$ [-] ( $\Rightarrow$ valeur globale). . . . .	18
8.6	En déduire l'énergie à introduire sous forme de carburant $E_{carb\_hyb}$ [kW.h] en supposant que le moteur thermique n'a plus qu'à fournir l'énergie $E_{traction\_therm}$ [kW.h] ( $\Rightarrow$ valeurs globales). . . . .	18
8.7	En déduire finalement l'économie en énergie introduite sous forme de carburant $eco\_E_{carb}$ [kW.h], la réduction de consommation de carburant $eco\_V_{carb}$ [L] et la réduction de consommation $eco\_C$ [L/100km] ( $\Rightarrow$ valeurs globales). . . . .	18

## Table des figures

1	Régime de rotation du moteur $N_{mot}$ . . . . .	4
2	Effort résistif $F_{pente}$ . . . . .	5
3	Effort résistif $F_{aero}$ . . . . .	5
4	Effort résistif $F_{rr}$ . . . . .	6
5	Effort résistif $F_{meca}$ . . . . .	6
6	Effort résistif $F_{resistif}$ . . . . .	7
7	Masse équivalente $M_{eq}$ . . . . .	7
8	Masse totale à entraîner $M$ . . . . .	8
9	Accélération du véhicule $a$ . . . . .	9
10	Effort total $F_{tot}$ . . . . .	9
11	Besoin en effort de traction $F_{traction}$ . . . . .	10
12	Couple nécessaire à la roue $C_{roue}$ . . . . .	11
13	Couple effectif moteur nécessaire $Ce_{mot}$ . . . . .	11
14	Puissance effective moteur $Pe_{mot}$ . . . . .	12
15	Puissance de traction $P_{traction}$ . . . . .	12
16	Débit de carburant $q_{carb}$ . . . . .	13
17	Puissance chimique introduite sous forme de carburant $P_{carb}$ . . . . .	14
18	Courbe pleine charge et points de fonctionnement . . . . .	15
19	Puissance de traction lorsque l'effort de traction est positif $P_{traction\_ap}$ . . . . .	16
20	Puissance de traction lorsque l'effort de traction est négatif $P_{traction\_an}$ . . . . .	17

## Introduction : Objectif du BE

La connaissance du profil de mission d'un véhicule (vitesse véhicule et rapport engagé, pente du parcours, masse embarquée) permet de remonter aux points de fonctionnement moteur utilisés. Cette étape autorise, par la suite, d'évaluer des grandeurs macroscopiques (consommation en carburant, émissions de polluants, etc.) ou de servir de donnée d'entrée à d'autres activités. Ce calcul est donc incontournable dans le développement d'un moteur afin d'assurer un dimensionnement correct de tous les composants et une bonne adéquation entre la mise au point du moteur et les objectifs de performances. L'objectif de ce BE est de réaliser cette étape sur un profil de mission donné. En complément, le gain potentiel apporté par une électrification permettant de récupérer l'énergie perdue en décélération sera évalué.

Nous avons utilisé **Python** comme outil de calcul.

## 1 Question 1 : Calcul du régime moteur

### 1.1 Pour chacun des 6 rapports de transmission, calculer le rapport des régimes de rotation moteur/roue $r\_moteur\_roue$ [-] ( $\Rightarrow$ valeurs globales).

Pour chacun des 6 rapports de transmission, le rapport des régimes de rotation moteur/roue se calcule grâce à la  $V1000$  correspondante :

$$r\_moteur\_roue = \frac{2 * \pi * 60 * R\_roue}{V1000} \quad (1)$$

Finalement, nous avons obtenu les résultats :

$r\_moteur\_roue\_1$	13.275
$r\_moteur\_roue\_2$	7.755
$r\_moteur\_roue\_3$	4.962
$r\_moteur\_roue\_4$	3.473
$r\_moteur\_roue\_5$	2.606
$r\_moteur\_roue\_6$	1.995

TABLE 1 – Les rapports des régimes de rotation moteur/roue

### 1.2 En déduire sur tout le profil de mission le régime de rotation du moteur $N\_mot$ [tr/min] en tenant compte du régime de ralenti : le régime moteur ne peut pas être inférieur au régime de ralenti ( $\Rightarrow$ tracé temporel).

Pour le régime de rotation du moteur  $N\_mot$ , à chaque instant  $i$  :

$$N\_mot[i] = \frac{1000 * v\_veh[i]}{V1000[i]} \quad (2)$$

$V1000[i]$  correspond à la  $V1000$  du rapport à l'instant  $i$ .

Si  $rapport[i] = 0$  ou  $N\_mot \leq N\_ralenti$  alors  $N\_mot = N\_ralenti$ . En effet le régime moteur ne peut pas être inférieur au régime de ralenti.

Nous obtenons le régime de rotation du moteur pour tout le profil de mission :

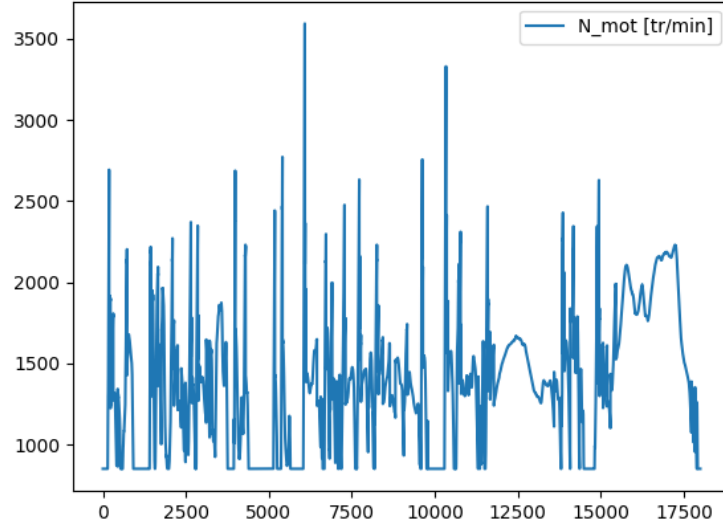


FIGURE 1 – Régime de rotation du moteur  $N\_mot$

NB : pour toute la suite de ce BE,  $i$  correspond à un instant. C'est une ligne dans un tableau Excel, ou un indice dans nos arrays Python.

## 2 Question 2 : Calcul des efforts résistifs

**2.1 Calculer sur tout le profil de mission les 4 efforts résistifs  $F\_pente$  [N],  $F\_aero$  [N],  $F\_rr$  [N],  $F\_meca$  [N] ( $\Rightarrow$  tracés temporels). A noter : lorsque la vitesse est nulle, alors  $F\_rr$  et  $F\_meca$  sont nulles.**

Pour simplifier les formules, à chaque instant  $i$  nous avons calculé  $theta$  l'angle de la pente en radian.

### 2.1.1 Calcul de $F\_pente$

Ici rien de bien compliqué. La pente est nulle pendant tout le cycle donc il est normal qu'on observe un effort nul.

$$F\_pente[i] = M\_veh * g * \sin(theta[i]) \quad (3)$$

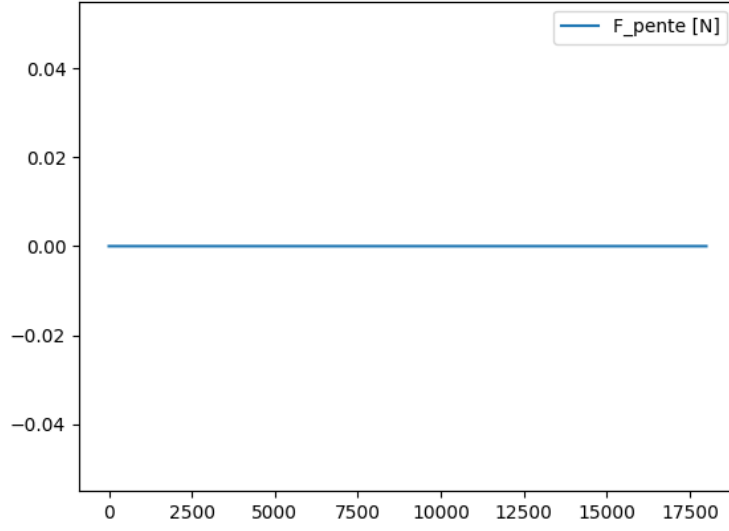


FIGURE 2 – Effort résistif  $F\_pente$

### 2.1.2 Calcul de $F\_aero$

On prend soin de convertir  $v\_veh$  en m/s.

$$F\_aero[i] = 0.5 * rho\_air * (v\_veh[i])^2 * SCx \quad (4)$$

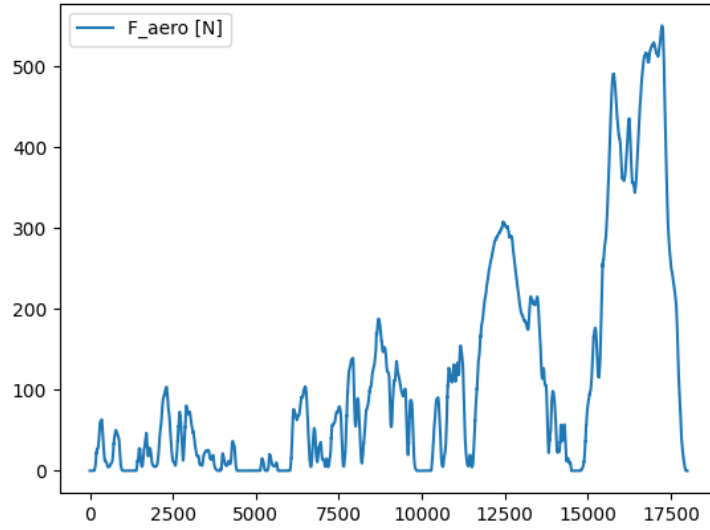


FIGURE 3 – Effort résistif  $F\_aero$

### 2.1.3 Calcul de $F\_rr$

Si  $v\_veh[i] = 0$  alors  $F\_rr[i] = 0$ . Il n'y a pas de résistance au roulement s'il n'y a pas de roulement !

Sinon :

$$F\_rr[i] = M\_veh * g * \cos(theta[i]) * Crr * 0.001 \quad (5)$$

Le facteur 0.001 est là car  $M_{veh}$  est en kg et  $Crr$  est en kg/tonnes.

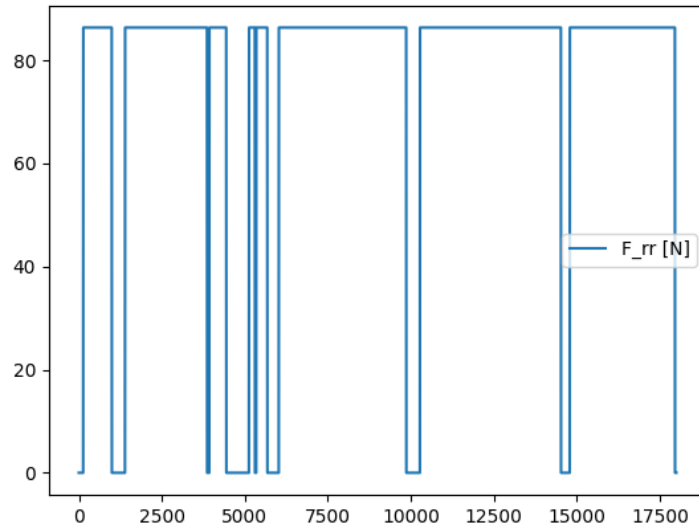


FIGURE 4 – Effort résistif  $F_{rr}$

#### 2.1.4 Calcul de $F_{meca}$

Si  $v_{veh}[i] = 0$  alors  $F_{meca}[i] = 0$ . Sinon  $F_{meca}[i] = F_{meca\_cte}$ .

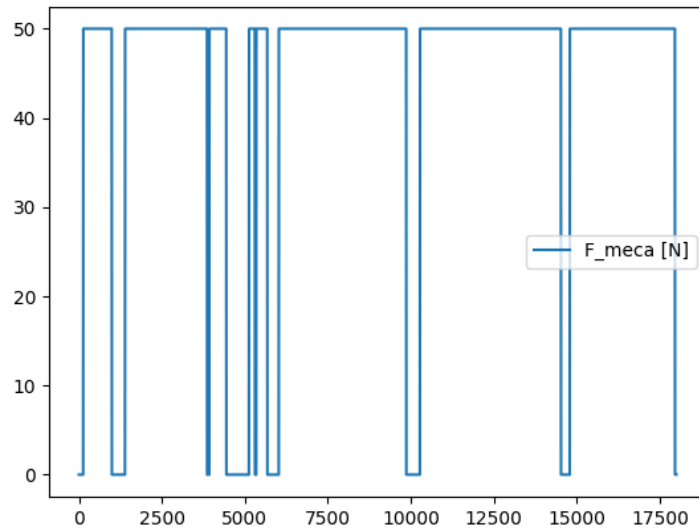


FIGURE 5 – Effort résistif  $F_{meca}$

## 2.2 En déduire l'effort résistif total $F_{resistif}$ [N] ( $\Rightarrow$ tracé temporel).

Pour l'effort résistif à chaque instant :

$$F_{resistif}[i] = F_{pente}[i] + F_{aero}[i] + F_{rr}[i] + F_{meca}[i] \quad (6)$$

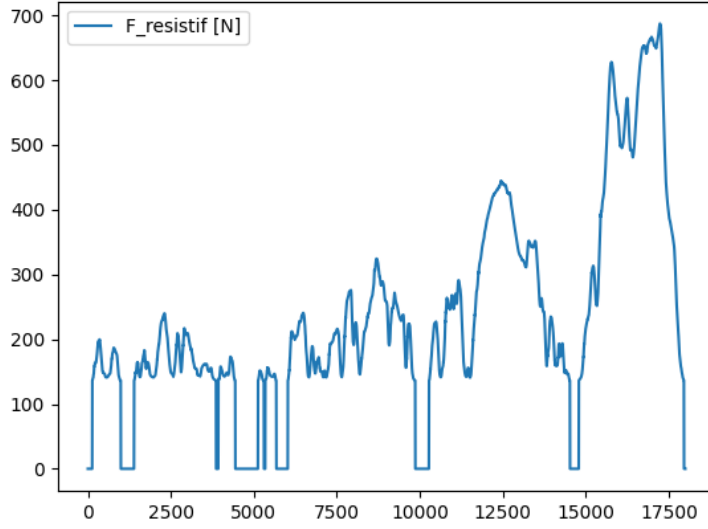


FIGURE 6 – Effort résistif  $F_{\text{resistif}}$

### 3 Question 3 : Calcul des masses

#### 3.1 Calculer sur tout le profil de mission la masse équivalente des inerties en rotation $M_{\text{eq}}$ [kg] ( $\Rightarrow$ tracé temporel).

Pour la masse équivalente des inerties en rotation, à chaque instant :

$$M_{\text{eq}}[i] = I * \text{rend\_trans} * \left( \frac{r_{\text{moteur\_roue}}[i]}{R_{\text{roue}}} \right)^2 \quad (7)$$

$r_{\text{moteur\_roue}}[i]$  correspond au rapport des régimes de rotation moteur/roue pour le rapport de transmission enclenché à l'instant  $i$ .

Nous obtenons pour résultat le graphe suivant.

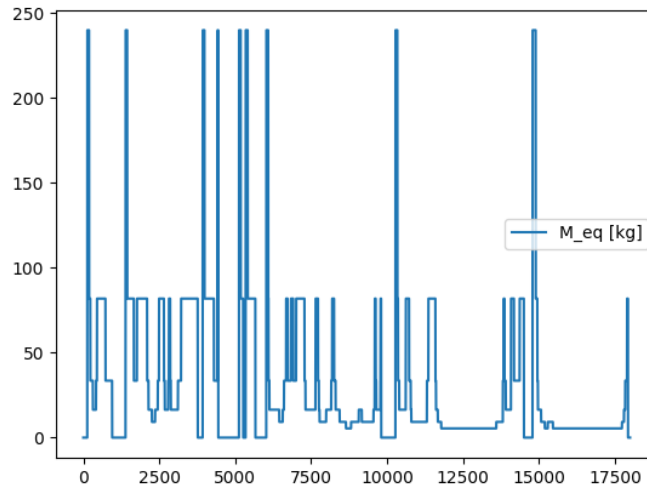


FIGURE 7 – Masse équivalente  $M_{\text{eq}}$



### 3.2 En déduire la masse totale à entraîner $M$ [kg] ( $\Rightarrow$ tracé temporel).

Pour la masse totale à entraîner à chaque instant :

$$M[i] = M\_veh + M\_eq[i] \quad (8)$$

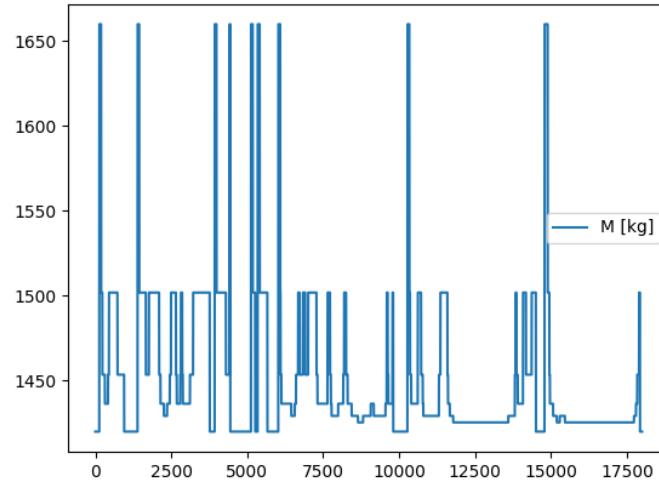


FIGURE 8 – Masse totale à entraîner  $M$

## 4 Question 4 : Calcul de l'effort total

**4.1 Calculer sur tout le profil de mission l'accélération du véhicule  $a$  [m.s-2] ( $\Rightarrow$  tracé temporel). Le schéma de dérivation à utiliser est le suivant :**  
$$dX/dt(t) = (X(t) - X(t - 1))/dt.$$

A l'instant  $i = 0$ , l'accélération est considérée nulle. Ensuite :

$$a = \frac{v\_veh[i] - v\_veh[i - 1]}{dt} \quad (9)$$

Avec  $dt$  l'écart en temps entre deux prises de mesures, à 0.1 secondes dans cet exercice.

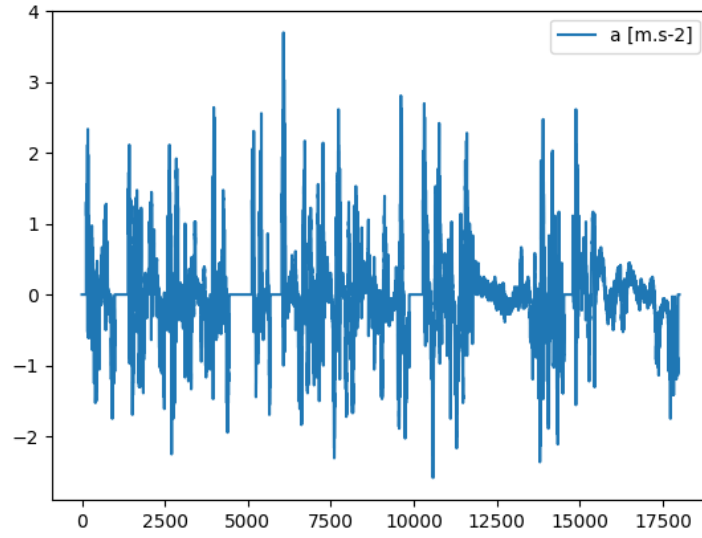


FIGURE 9 – Accélération du véhicule a

#### 4.2 En déduire l'effort total associé $F\_tot$ [N] ( $\Rightarrow$ tracé temporel).

Pour l'effort total associé à chaque instant :

$$F\_tot[i] = M[i] * a[i] \quad (10)$$

Nous obtenons le résultat de l'effort total sur tout le profil de mission :

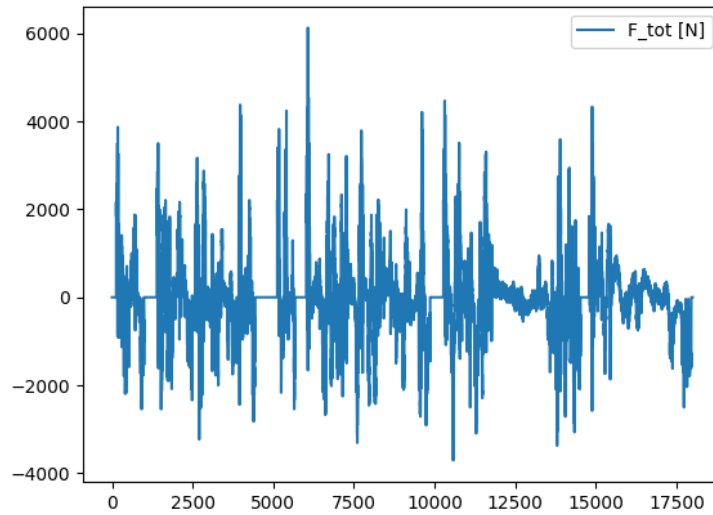


FIGURE 10 – Effort total  $F\_tot$

## 5 Question 5 : Calcul du couple effectif moteur

### 5.1 Calculer sur tout le profil de mission le besoin en effort de traction $F\_traction$ [N] ( $\Rightarrow$ tracé temporel).

Pour le besoin en effort de traction à chaque instant :

$$F\_traction[i] = F\_tot[i] + F\_resistif[i] \quad (11)$$

Nous obtenons le besoin en effort de traction sur tout le profil de mission :

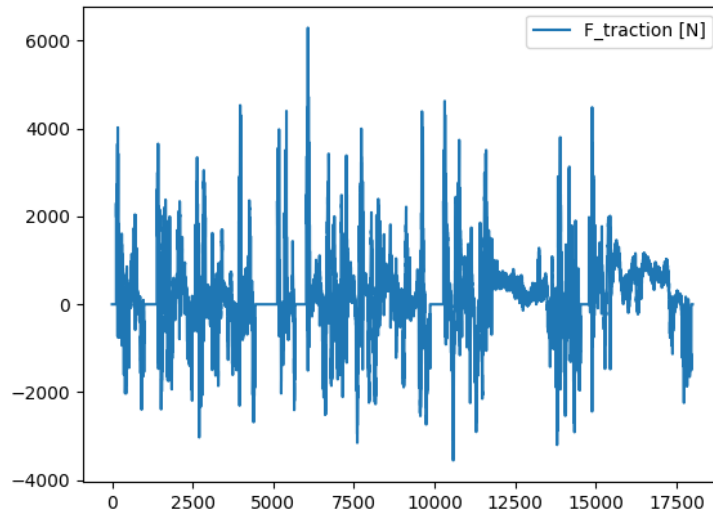


FIGURE 11 – Besoin en effort de traction  $F\_traction$

### 5.2 En déduire le couple nécessaire à la roue $C\_roue$ [N.m] ( $\Rightarrow$ tracé temporel).

Pour le couple nécessaire à la roue à chaque instant  $i$  :

$$C\_roue[i] = F\_traction[i] * R\_roue \quad (12)$$

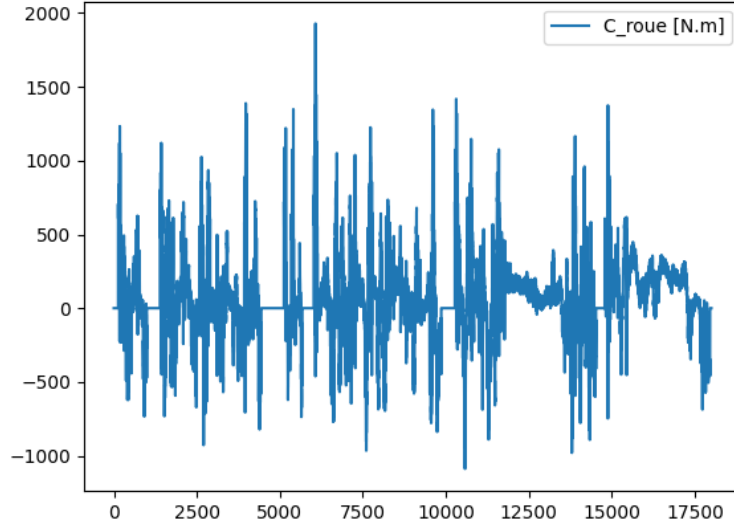


FIGURE 12 – Couple nécessaire à la roue  $C_{roue}$

### 5.3 En déduire le couple effectif moteur nécessaire $Ce_{mot}$ [N.m] ( $\Rightarrow$ tracé temporel).

Si  $rapport[i] = 0$  alors  $Ce_{mot}[i] = 0$ . Sinon :

$$Ce_{mot}[i] = \frac{C_{roue}[i]}{r_{moteur\_roue}[i] * rend_{trans}} \quad (13)$$

$r_{moteur\_roue}[i]$  correspond au rapport des régimes de rotation moteur/roue pour le rapport de transmission enclenché à l'instant  $i$ .

Nous obtenons le couple effectif moteur nécessaire sur tout le profil de mission :

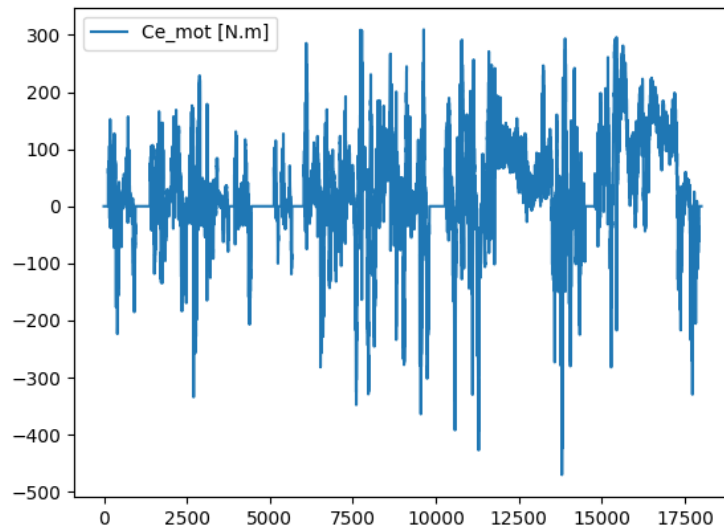


FIGURE 13 – Couple effectif moteur nécessaire  $Ce_{mot}$

#### 5.4 En déduire la puissance effective moteur $Pe\_mot$ [kW] et la puissance de traction $P\_traction$ [kW] ( $\Rightarrow$ tracés temporels).

Pour simplifier les formules, nous avons calculé  $\omega\_mot$ , la vitesse de rotation du moteur en  $rad/s$ , à chaque instant.

On a alors :

$$Pe\_mot[i] = \frac{|Ce\_mot[i]| * \omega\_mot[i]}{1000} \quad (14)$$

$$P\_traction[i] = \frac{|F\_traction[i]| * v\_veh[i]}{1000} \quad (15)$$

On divise par 1000 pour obtenir des kW et non des W. Pour  $P\_traction$ , on a convertit  $v\_veh$  en m/s.

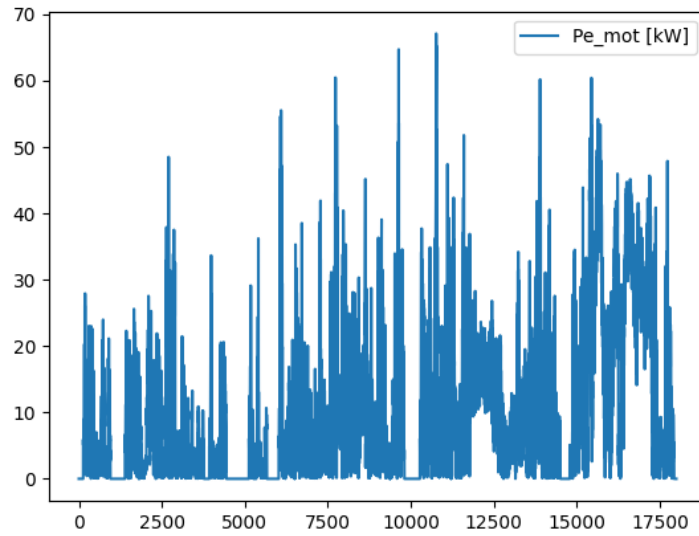


FIGURE 14 – Puissance effective moteur  $Pe\_mot$

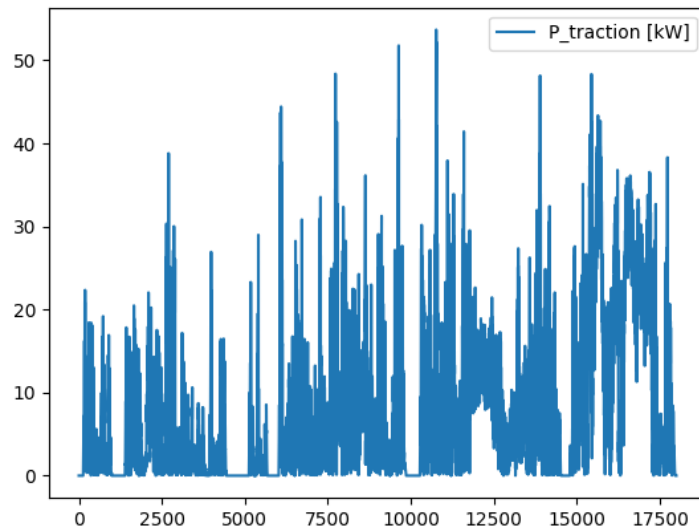


FIGURE 15 – Puissance de traction  $P\_traction$

## 6 Question 6 : Calcul du rendement effectif, de la consommation et du CO2

### 6.1 Calculer sur tout le profil de mission le débit de carburant $q\_carb$ [mg/s] ( $\Rightarrow$ tracé temporel).

On convertit le débit de carburant de mg/cp à mg/s.

$$q\_carb[i] = \frac{q\_carb\_mgcp[i] * n\_cyl * N\_mot[i]}{2} \quad (16)$$

On a convertit  $N\_mot$  en tours par seconde.

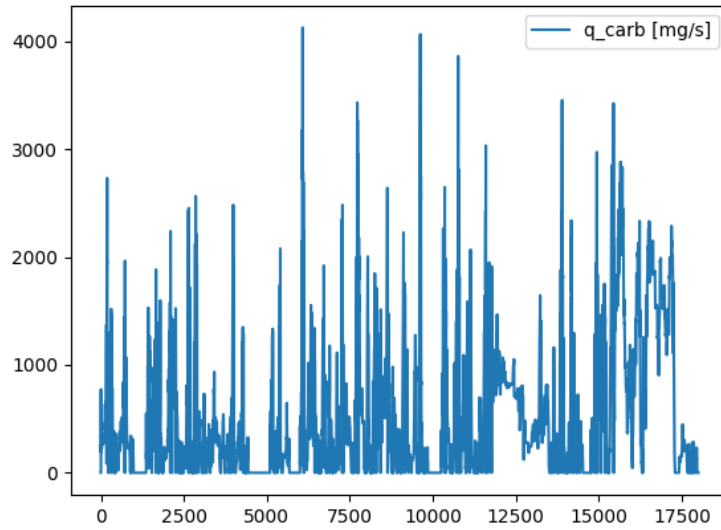


FIGURE 16 – Débit de carburant  $q\_carb$

### 6.2 En déduire la puissance chimique introduite sous forme de carburant $P\_carb$ [kW] ( $\Rightarrow$ tracé temporel).

Pour la puissance chimique introduite sous forme de carburant à chaque instant  $i$  :

$$P\_carb[i] = \frac{q\_carb[i] * PCI}{1000} \quad (17)$$

On divise par 1000 pour obtenir des kW et non des W.

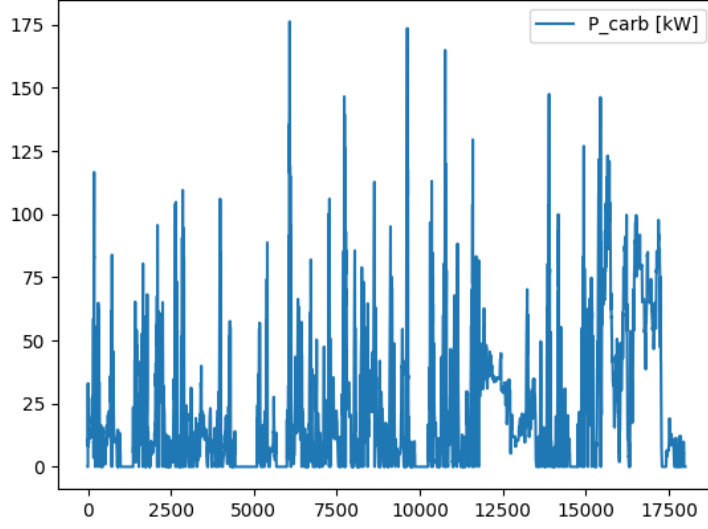


FIGURE 17 – Puissance chimique introduite sous forme de carburant  $P_{carb}$

### 6.3 En déduire le rendement effectif du moteur $rend\_e$ [-].

Ici on intègre  $Pe\_mot$  ainsi que  $P\_carb$ , et le rapport des deux donne  $rend\_e$ .

$$rend\_e = \frac{\sum_i Pe\_mot}{\sum_i P\_carb} \quad (18)$$

On obtient un rendement effectif du moteur de **0.46**.

### 6.4 Calculer la consommation en carburant sur ce cycle $C$ [L/100km] ( $\Rightarrow$ valeur globale).

Tout d'abord, nous calculons la masse totale de carburant consommée sur tout le trajet, en kg.

$$masse\_carburant\_totale = \frac{\sum_i q\_carb[i] * dt}{1000000} \quad (19)$$

Ce 1000000 permet de passer d'une masse en mg à une masse en kg.

Ensuite on convertit en litres :

$$masse\_carburant\_litres = \frac{masse\_carburant\_totale}{rho\_carb} * 1000 \quad (20)$$

On calcule la distance parcourue pendant le cycle, en km (on pense à convertir la vitesse du véhicule en km/s) :

$$distance\_totale = \sum_i (v\_veh[i] * dt) \quad (21)$$

Finalement, on obtient la consommation en litres aux 100 km :

$$C = \frac{conso\_carburant\_totale * 100}{distance\_totale} \quad (22)$$

En conclusion, la consommation en carburant sur ce cycle est **4.754 L/100km**.

### 6.5 Calculer l'énergie introduite sous forme de carburant $E_{carb}$ [kW.h] ( $\Rightarrow$ valeur globale).

Pour l'énergie introduite sous forme de carburant, on pense à convertir les MJ en kWh.

$$E_{carb} = PCI * masse\_carburant\_totale \quad (23)$$

En conclusion, l'énergie introduite sous forme de carburant vaut **10.813 kW.h**.

### 6.6 Calculer l'émission de CO2 du véhicule sur ce cycle CO2 [g/km] ( $\Rightarrow$ valeur globale).

On calcule les masses molaires du carburant et du CO2 :

$$M_{CH_Y} = M_C + Y * M_H \quad (24)$$

$$M_{CO_2} = M_C + 2 * M_O \quad (25)$$

On calcule, en grammes, la masse de carburant par km.

$$masse\_carburant\_au\_km = \frac{masse\_carburant\_totale}{distance\_totale} * 1000 \quad (26)$$

Finalement, nous obtenons l'émission de CO2 du véhicule sur ce cycle :

$$CO_2 = \frac{masse\_carburant\_au\_km * M_{CO_2}}{M_{CH_Y}} = 124.147 [g/km] \quad (27)$$

En conclusion, l'émission de CO2 du véhicule sur ce cycle est **124.147 g/km**.

## 7 Question 7 : Evaluation de l'adaptation moteur/véhicule/boite sur ce cycle

### 7.1 Représenter les points de fonctionnement moteur utilisés dans le plan régime / couple, en positionnant la courbe de pleine charge.

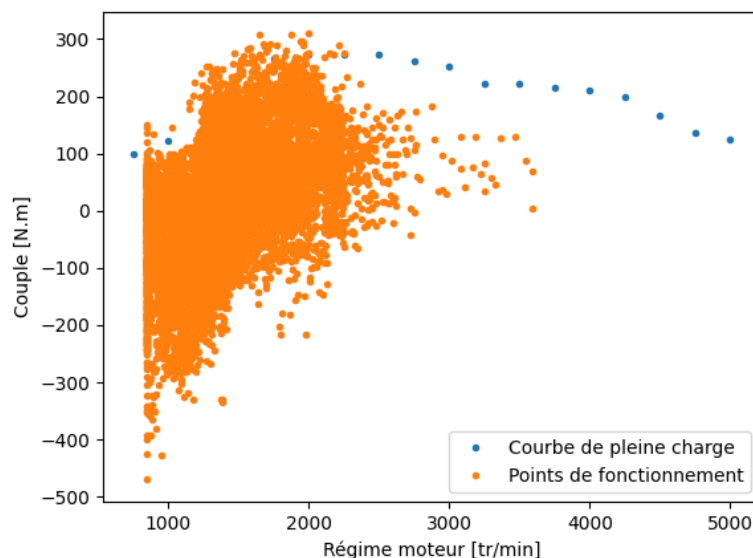


FIGURE 18 – Courbe pleine charge et points de fonctionnement

### 7.2 Conclure.

Le cycle couvre une faible partie du champ moteur.

Parfois on dépasse les performances maximales, c'est étrange.



## 8 Question 8 : Evaluation du potentiel de récupération d'énergie à la décélération

- 8.1 Calculer sur tout le profil de mission la puissance de traction lorsque l'effort de traction est positif (demande de couple positif du conducteur)  $P\_traction\_ap$  [kW] et la puissance de traction lorsque l'effort de traction est négatif (demande de couple négatif du conducteur)  $P\_traction\_an$  [kW] ( $\Rightarrow$  tracés temporels).

Pour la puissance de traction lorsque l'effort de traction est positif :

$$P\_traction\_ap[i] = \begin{cases} P\_traction[i] & \text{si } F\_traction[i] \geq 0 \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases} \quad (28)$$

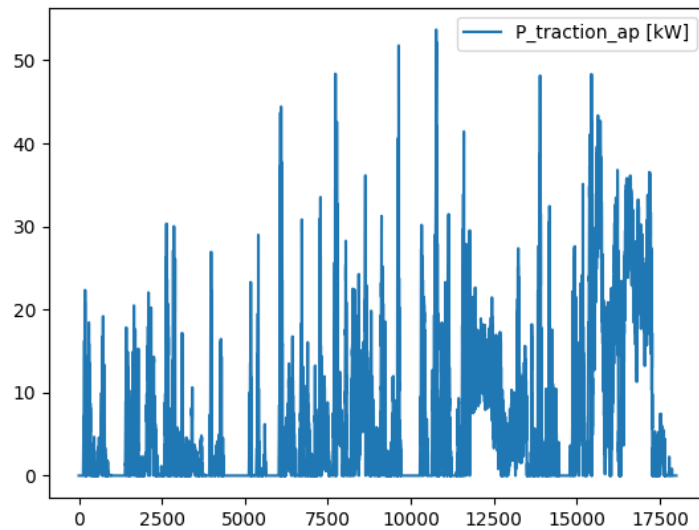


FIGURE 19 – Puissance de traction lorsque l'effort de traction est positif  $P\_traction\_ap$

Pour la puissance de traction lorsque l'effort de traction est négatif :

$$P\_traction\_an[i] = \begin{cases} 0 & \text{si } F\_traction[i] \geq 0 \\ P\_traction[i] & \text{sinon.} \end{cases} \quad (29)$$

Nous obtenons la puissance de traction lorsque l'effort de traction est négatif sur tout le profil de mission :

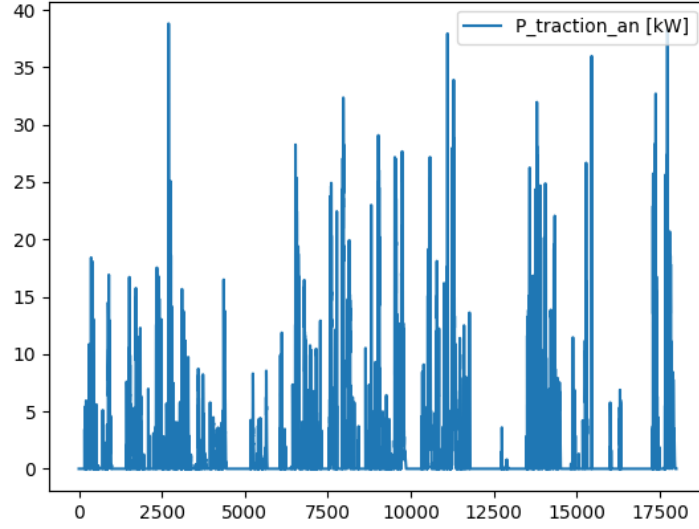


FIGURE 20 – Puissance de traction lorsque l'effort de traction est négatif  $P\_traction\_an$

## 8.2 En déduire l'énergie de traction lorsque le conducteur demande un couple positif $E\_traction\_ap$ [kW.h] et lorsque le conducteur demande un couple négatif $E\_traction\_an$ [kW.h] ( $\Rightarrow$ valeurs globales).

Pour calculer  $E\_traction\_ap$ , on intègre  $P\_traction\_ap$  :

$$E\_traction\_ap = \sum_i P\_traction\_ap[i] * dt \quad (30)$$

On a fait attention à convertir  $dt$  en heures.

En conclusion, l'énergie de traction lorsque le conducteur demande un couple positif est **3.118 kW.h**.

De même lorsque le conducteur demande un couple négatif :

$$E\_traction\_an = \sum_i P\_traction\_an[i] * dt \quad (31)$$

En conclusion, l'énergie de traction lorsque le conducteur demande un couple négatif est **0.847 kW.h**.

## 8.3 En supposant un rendement global de conversion de l'énergie mécanique vers électrique, de stockage et de restitution à la roue de 80%, calculer l'énergie disponible à la roue $E\_traction\_elec$ [kW.h] si l'intégralité de l'énergie de traction lorsque le conducteur demande un couple négatif $E\_traction\_an$ est récupérée ( $\Rightarrow$ valeur globale).

Pour l'énergie disponible :

$$E\_traction\_elec = 0.8 * E\_traction\_an \quad (32)$$

En conclusion, l'énergie disponible est **0.677 kW.h**.

## 8.4 En déduire l'énergie de traction restant à fournir par le moteur thermique $E\_traction\_therm$ [kW.h] ( $\Rightarrow$ valeur globale).

Pour l'énergie de traction restant à fournir par le moteur thermique :

$$E\_traction\_therm = E\_traction\_ap - E\_traction\_elec \quad (33)$$

En conclusion, l'énergie de traction restant à fournir par le moteur thermique est **2.440 kW.h**.

**8.5 Connaissant l'énergie introduite sous forme de carburant  $E_{carb}$  [kW.h], déterminer le rendement de traction thermique lorsque le conducteur demande un couple positif  $rend\_traction\_therm$  [-] ( $\Rightarrow$  valeur globale).**

Pour le rendement de traction thermique lorsque le conducteur demande un couple positive :

$$rend\_traction\_therm = \frac{E\_traction\_ap}{E\_carb} \quad (34)$$

En conclusion, le rendement de traction thermique lorsque le conducteur demande un couple positif est **0.288**.

**8.6 En déduire l'énergie à introduire sous forme de carburant  $E_{carb\_hyb}$  [kW.h] en supposant que le moteur thermique n'a plus qu'à fournir l'énergie  $E\_traction\_therm$  [kW.h] ( $\Rightarrow$  valeurs globales).**

Pour l'énergie à introduire sous forme de carburant :

$$E\_carb\_hyb = \frac{E\_traction\_therm}{rend\_traction\_therm} \quad (35)$$

En conclusion, l'énergie à introduire sous forme de carburant est **8.463 kW.h**.

**8.7 En déduire finalement l'économie en énergie introduite sous forme de carburant  $eco\_E\_carb$  [kW.h], la réduction de consommation de carburant  $eco\_V\_carb$  [L] et la réduction de consommation  $eco\_C$  [L/100km] ( $\Rightarrow$  valeurs globales).**

Pour l'économie en énergie introduite sous forme de carburant :

$$eco\_E\_carb = E\_carb - E\_carb\_hyb \quad (36)$$

En conclusion, l'énergie à introduire sous forme de carburant est **2.350 kW.h**.

On calcule l'économie de consommation de carburant en masse (kg) :

$$eco\_carburant\_masse = \frac{eco\_E\_carb}{PCI} \quad (37)$$

On a pensé à convertir les MJ de  $PCI$  en kWh.

On peut alors convertir la masse en volume :

$$eco\_V\_carb = \frac{eco\_carburant\_masse}{rho\_carb} * 1000 \quad (38)$$

Et on obtient une économie de carburant de **0.237 litres**.

On convertit en L/100km :

$$eco\_C = \frac{eco\_V\_carb}{distance\_totale} * 100 \quad (39)$$

Soit une économie de consommation de **1.033 L/100km !**