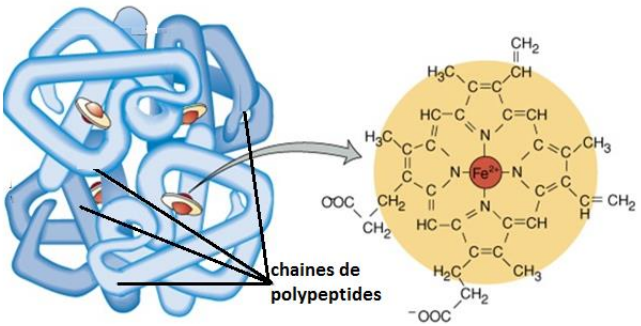
Les ions ferreux essentiels pour le transport du dioxygène dans le sang (10 points)

Transportées par les globules rouges, les molécules d'hémoglobine assurent, par la circulation sanguine, l'apport du dioxygène aux différents organes des animaux vertébrés.



Hémoglobine *Hème*

D'après *https://slideplayer.com/slide/7662391/*

L'hémoglobine est un assemblage de quatre sous-unités qui abritent chacune une structure chimique particulière nommée hème. Chaque hème contient un ion ferreux Fe^{2+}. Cet ion ferreux Fe^{2+} est responsable de la fixation d'une molécule de dioxygène.

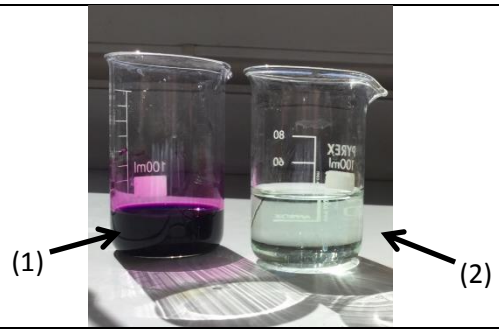
Certains polluants ou toxines présents dans le sang peuvent oxyder les ions ferreux Fe^{2+} en ions ferriques Fe^{3+} qui n'ont pas la capacité de fixer le dioxygène. Il est donc important que l'élément fer de l'hème ne soit pas oxydé et reste sous la forme d'ion Fe^{2+}.

Dans cet exercice, on étudie d'abord l'oxydation des ions ferreux en ions ferriques. Ensuite, une méthode de dosage de l'hémoglobine dans le sang et le traitement d'une carence en fer sont abordés.

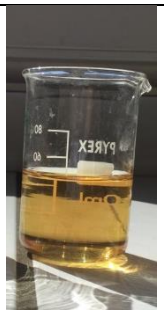
1. Oxydation des ions ferreux.

Une expérience est menée en laboratoire pour illustrer la capacité de l'ion permanganate à oxyder les ions ferreux.

Dans un bécher contenant 40 mL d'une solution de sulfate de fer(II) ($Fe^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$) de concentration en quantité de matière égale à $2{,}5\times10^{-1}$ mol·L^{-1}, on introduit 20 mL d'une solution aqueuse de permanganate de potassium ($K^+(aq) + MnO_4^-(aq)$) de concentration en quantité de matière $1{,}0\times10^{-1}$ mol·L^{-1} contenant aussi des ions H^+. Les solutions avant mélange et après le mélange ont été photographiées et figurent ci-dessous.



Solution de permanganate de potassium (1) et solution de sulfate de fer (2) avant introduction de la solution (1) dans (2).



Solution obtenue après mélange des deux solutions.

Données :

- La présence des espèces chimiques citées dans le tableau ci-dessous confère une coloration à une solution aqueuse.

Espèce chimique	Fe^{2+}	Fe^{3+}	MnO_4^-	Mn^{2+}
Coloration de la solution aqueuse	Verdâtre	Orangée	Violacée coloration intense	Incolore

➢ Couples oxydant/réducteur :
- $Fe^{3+}(aq)/Fe^{2+}(aq)$;
- $MnO_4^-(aq)/Mn^{2+}(aq)$ dont la demi-équation électronique s'écrit :
  $MnO_4^-(aq) + 8\ H^+(aq) + 5\ e^- = Mn^{2+}(aq) + 4\ H_2O(\ell)$.

1.1. À l'aide des observations, montrer qu'une transformation chimique a bien eu lieu.
1.2. Identifier les oxydants et les réducteurs consommés et ceux qui sont produits.
1.3. On souhaite modéliser la transformation par une réaction oxydant-réducteur.

1.3.1. Écrire la demi-équation électronique du couple $Fe^{3+}(aq)/Fe^{2+}(aq)$.

1.3.2. Vérifier que l'équation de la réaction oxydant-réducteur modélisant la transformation chimique s'écrit : $MnO_4^-(aq) + 5\ Fe^{2+}(aq) + 8\ H^+(aq) \rightarrow Mn^{2+}(aq) + 5\ Fe^{3+}(aq) + 4\ H_2O\ (\ell)$.

1.3.3. Justifier, à l'aide des données, que $MnO_4^-(aq)$ et $Fe^{2+}(aq)$ sont introduits en proportions stœchiométriques dans le mélange initial.

Cette modélisation de la transformation sert de support pour rédiger un programme en langage python. Ce programme permet de visualiser l'évolution des quantités de matière des ions permanganate et des ions ferreux dans le système précédent en fonction de l'avancement de la réaction noté *x*.

Extrait du programme rédigé en langage python :

```
ni_MnO4 = 2.0  # quantité de matière initiale de permanganate MnO4- en mmol
ni_Ferreux = 10 # quantité de matière initiale d'ions Fe2+ en mmol
ni_Ferrique = 0 # quantité de matière initiale d'ions Fe3+ en mmol
ni_Mn2 = 0 # quantité de matière initiale d'ions Mn2+ en mmol
# H20 solvant (non simulé)
# H+ large excès (non simulé)

n_MnO4=[ni_MnO4]
n_Ferreux=[ni_Ferreux]
n_Ferrique=[ni_Ferrique]
n_Mn2=[ni_Mn2]

avancement=[0]
x=0

while n_MnO4[-1]>=0 and n_Ferreux[-1]>=0:
    x=x+0.05
    n_MnO4.append((ni_MnO4 - 1*x))
    n_Ferreux.append(ni_Ferreux - 5*x)
    n_Mn2.append((ni_Mn2 + 1*x))
    avancement.append(x)

xmax=avancement[-1]
```

Représentations graphiques de l'évolution des quantités de matière calculées par le programme :

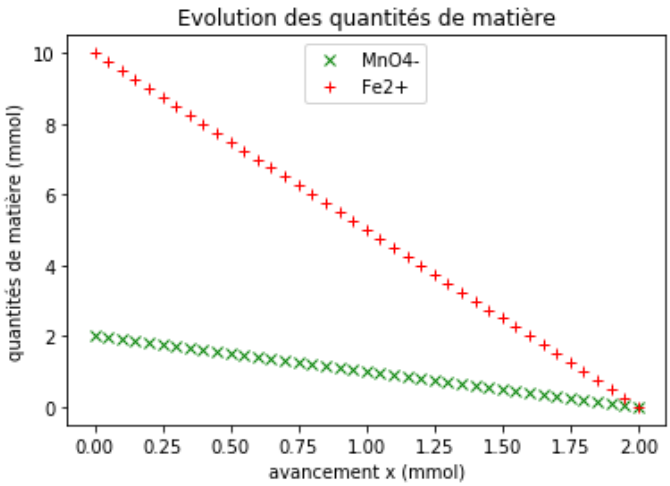


Figure 1 : Évolution des quantités de matière en fonction de l'avancement

1.4. Indiquer la ligne du programme codant l'information correspondant à une transformation totale. Justifier.
1.5. Établir un tableau d'avancement de la réaction et vérifier que la valeur de l'avancement maximal est compatible avec le tracé de la figure 1.
1.6. Déduire du tableau d'avancement l'expression de la quantité de matière des ions $Fe^{3+}(aq)$ en fonction de l'avancement.
1.7. Écrire l'instruction permettant de calculer la quantité de matière de $Fe^{3+}(aq)$ pour une valeur d'avancement x et proposer un numéro de ligne où elle pourrait être insérée dans le programme.
1.8. Reproduire la figure 1 sur votre copie et tracer la représentation graphique de l'évolution de la quantité de matière d'ions $Mn^{2+}(aq)$ et celle de la quantité de matière d'ions $Fe^{3+}(aq)$.

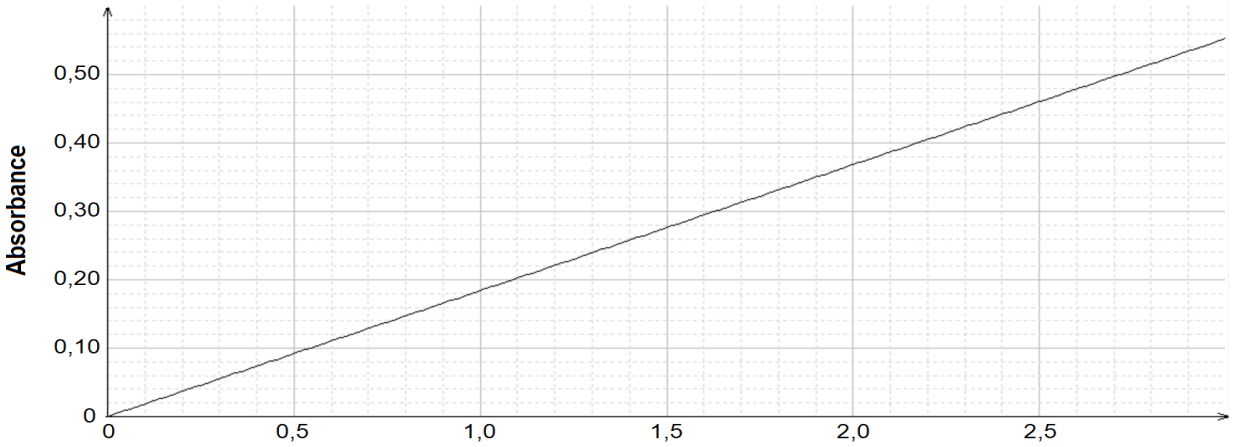
2. Dosage hémoglobine et traitement d'une carence en fer

Quand l'organisme souffre d'une carence en fer, les hèmes contenus dans les globules rouges qui contiennent des ions Fe^{2+} ne sont plus suffisamment nombreux. Le taux d'hémoglobine est alors trop faible pour assurer une oxygénation normale des organes. Un dosage du taux d'hémoglobine permet de diagnostiquer une éventuelle carence et de prescrire un traitement adapté aux besoins.

Principe du dosage de l'hémoglobine dans le sang par la « méthode de Drabkin »
Le réactif de Drabkin permet de transformer l'hémoglobine d'un échantillon de sang en cyanméthémoglobine. On réalise ensuite un dosage spectrophotométrique de la cyanméthémoglobine dans l'échantillon analysé.

Protocole simplifié du dosage :

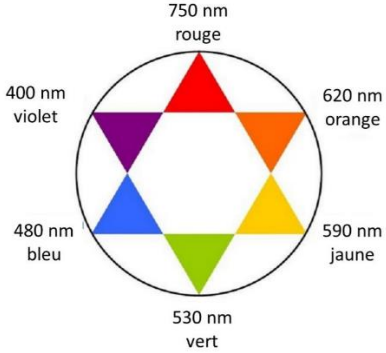
- ajout de 5 mL du réactif de Drabkin dans 20 µL d'échantillon de sang analysé ;
- mesure de l'absorbance *A* de la solution obtenue à une longueur d'onde de 546 nm ;
- ajout de 5 mL du réactif de Drabkin dans 20 µL d'échantillons de référence de concentrations connues en hémoglobine. Mesures d'absorbances et tracé d'une droite d'étalonnage (figure 2).



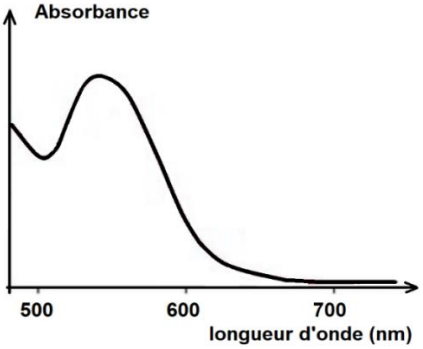
D'après https://www.studocu.com/fr-be/document/haute-ecole-louvain-en-hainaut
Figure 2

Données

- Cercle chromatique :



- Spectre d'absorption d'une solution aqueuse de cyanméthémoglobine :



D'après basicmedicalkey.com

- Masses molaires :
  - hémoglobine : M(Hb) = 64×10^3 g·mol^{-1} ;
  - soufre : M(S) = 32,0 g·mol^{-1} ; oxygène : M(O) = 16,0 g·mol^{-1} ; fer : M(Fe) = 55,8 g·mol^{-1}.

- **Tableau de référence de diagnostic d'une carence en fer**

Concentrations en masse en hémoglobine du sang permettant de diagnostiquer une carence en fer :

Taux d'hémoglobine en g par litre de sang	Taux normaux	Carence légère	Carence modérée	Carence sévère
Homme (> 15 ans)	135 - 175 g/L	110 - 130 g/L	80 - 110 g/L	< 80 g/L
Femme (>15 ans)	115 - 155 g/L	100 - 110 g/L	70 - 100 g/L	< 70 g/L

Rapport 2016 de l'Organisation mondiale de la santé (OMS)
« Évaluation de l'importance de la malnutrition par carence en micronutriments sur le plan de la santé publique »

- **Recommandations pour le traitement d'une carence en fer :**

Dans le cas d'une carence en fer chez les femmes, le traitement préconisé est un apport quotidien équivalent à 50 mg d'ions Fe^{2+} en carence légère et à 100 mg pour une carence modérée. Chez les hommes, l'apport doit être de 100 mg pour une carence légère et 200 mg pour une carence modérée.

Rapport 2016 de l'Organisation mondiale de la santé (OMS)

- **Extrait de l'étiquette d'un médicament pour traiter une carence en fer :**
  - comprimés pour traitement curatif ou préventif d'une carence en fer ;
  - principe actif : Fer sous forme de sulfate ferreux desséché ($FeSO_4$) ;
  - composition : Sulfate ferreux desséché 136,00 mg par comprimé.

Extrait étiquette Timoférol

2.1. Prévoir la teinte d'une solution aqueuse de cyanméthémoglobine.
2.2. Expliquer le choix de la longueur d'onde de mesure d'absorbance.
2.3. Un échantillon de sang d'une femme est analysé par la méthode de Drabkin et l'absorbance mesurée est de A = 0,26.
2.3.1. Indiquer si une carence en fer est diagnostiquée.
2.3.2. Proposer un traitement adapté en déterminant le nombre de comprimés à prescrire par jour.

Étude d'un véhicule électrique (10 points)

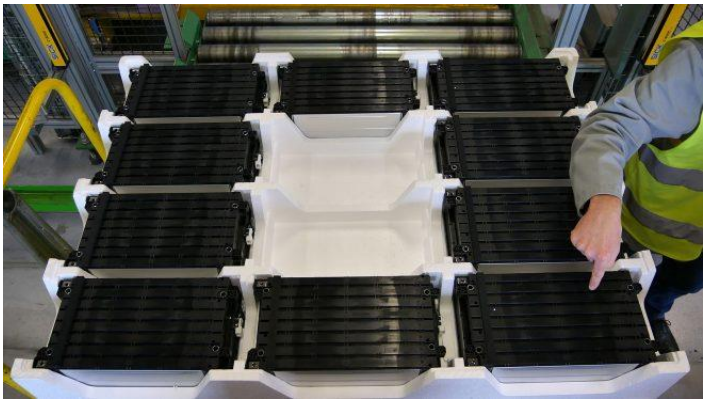
Les voitures électriques deviennent des nouveaux acteurs du transport en représentant une alternative à l'utilisation des énergies fossiles. Elles présentent l'avantage de ne pas émettre de dioxyde de carbone lors de leur utilisation. L'achat de véhicules électriques ne cesse d'augmenter ces dernières années.
L'objectif de cet exercice est d'étudier la charge de la batterie d'un véhicule électrique à partir d'une borne de recharge et sa décharge lors de la circulation du véhicule sur une autoroute.

1. Étude de la charge du véhicule électrique avec une borne de recharge

Le propriétaire d'une voiture électrique veut charger la batterie de son véhicule alors que la jauge d'autonomie de la batterie indique 20 %. Pour cela il utilise une borne de recharge fournissant une puissance constante de 7,40 kW en délivrant un courant électrique d'intensité constante de 32,0 A.

➢ Les batteries lithium-ion

Les batteries utilisées couramment dans les véhicules électriques, mais également dans d'autres applications comme les téléphones portables, sont de type lithium-ion. Elles présentent l'avantage d'une très grande énergie massique comprise entre 90 $Wh \cdot kg^{-1}$ et 180 $Wh \cdot kg^{-1}$. De plus, ces batteries, même partiellement déchargées, délivrent toujours la même puissance, permettant une utilisation dans les mêmes conditions quel que soit le niveau de charge.



Des cellules constitutives d'une batterie d'un véhicule électrique de 41 kWh
D'après https://www.automobile-propre.com/flins-visite-usine-fabrication-production-renault-zoe/

➢ Quelques caractéristiques du véhicule électrique étudié

BATTERIE	
Énergie utilisable (kWh)	41
Technologie	lithium-ion
Tension totale (V)	400
Nombre de cellules	192
Masse de la batterie (kg)	305
MASSE DU VÉHICULE À VIDE (kg)	1480

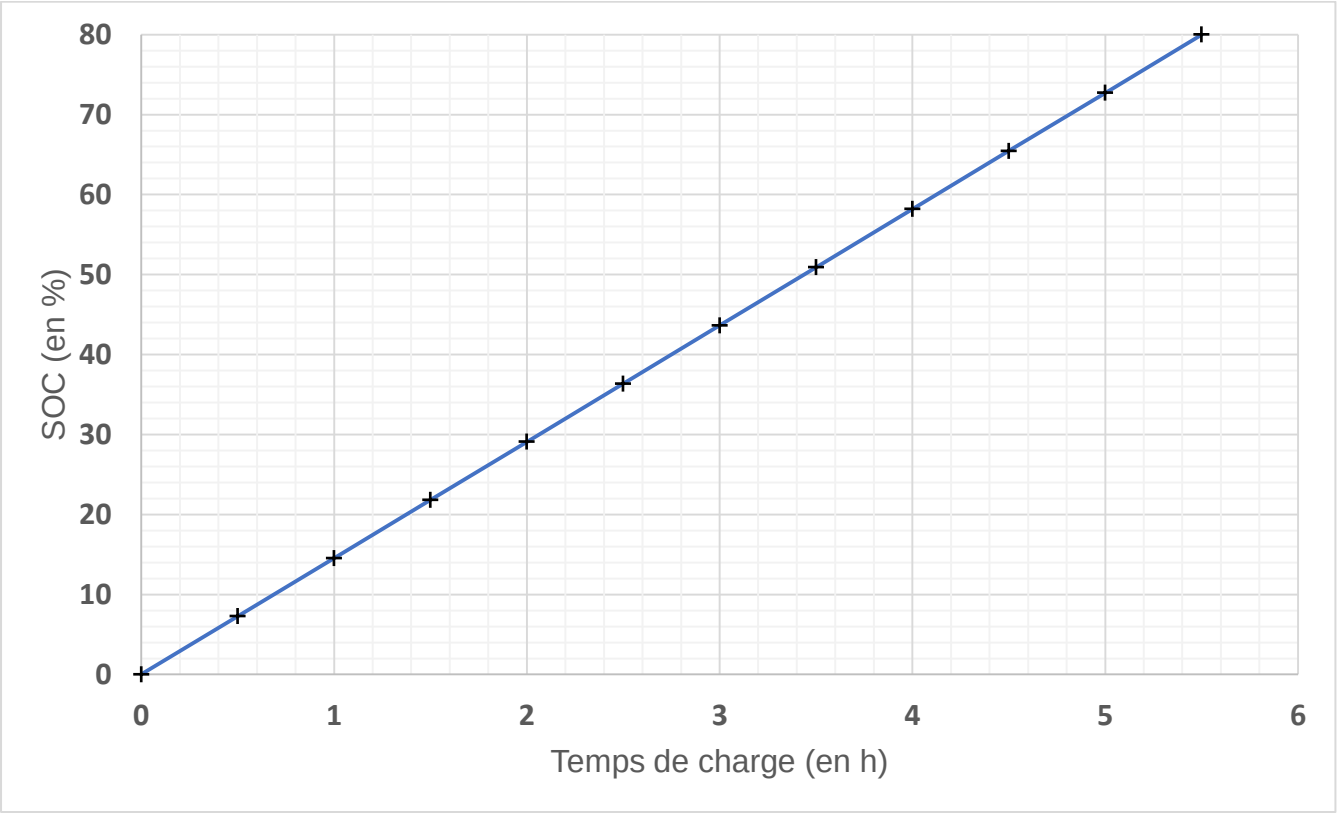
D'après brochure du site *https://www.renault.fr/vehicules/vehicules-electriques/zoe.html*

➢ État de charge d'une batterie d'un véhicule électrique

Le SOC (State Of Charge) représente l'état de charge d'une batterie qui varie de 0 % (batterie « vide ») à 100 % (batterie entièrement chargée). Le SOC est directement lié à l'énergie emmagasinée par la batterie. L'énergie maximale que peut emmagasiner la batterie représente son énergie utilisable.

$$\text{SOC} = \frac{\text{énergie emmagasinée par la batterie}}{\text{énergie maximale que peut emmagasiner la batterie}} \times 100$$

➢ **Évolution du SOC (entre 0 et 80 %) en fonction du temps de charge pour la borne de recharge utilisée**



D'après https://www.recharge-electrique.com/definition-wallbox-electrique/ https://www.renault.fr/vehicules/vehicules-electriques/zoe/batterie-recharge.html

➢ **Données**

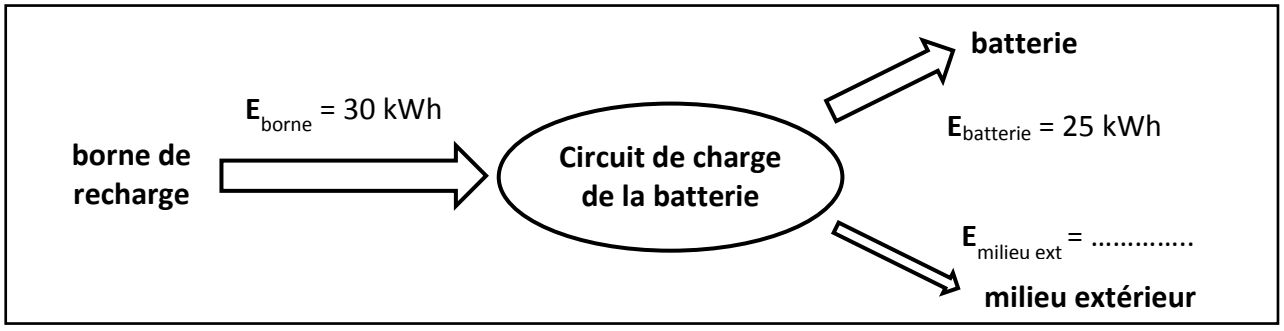
- 1,0 Wh = 3,6 $\times 10^3$ J

1.1. Calculer l'énergie massique maximale de la batterie de la voiture à partir des caractéristiques du véhicule électrique. Commenter.

1.2. Montrer que l'énergie emmagasinée par la batterie lors de sa charge pour passer d'un SOC de 20 % à 80 % vaut environ 25 kWh.

1.3. Définir le rendement de la charge, puis le calculer. Commenter cette valeur.

On peut schématiser la conversion d'énergie du circuit de charge de la batterie lorsque le véhicule passe d'un SOC de 20 % à un SOC de 80 % de la manière suivante :



1.4.1. Donner la valeur manquante du schéma ci-dessus (sans le recopier sur la copie) en expliquant votre démarche.

L'énergie libérée vers le milieu extérieur est due à la présence d'une résistance R_{charge} dans le circuit de charge.

1.4.2. En déduire la valeur de la résistance R_{charge}. Commenter.

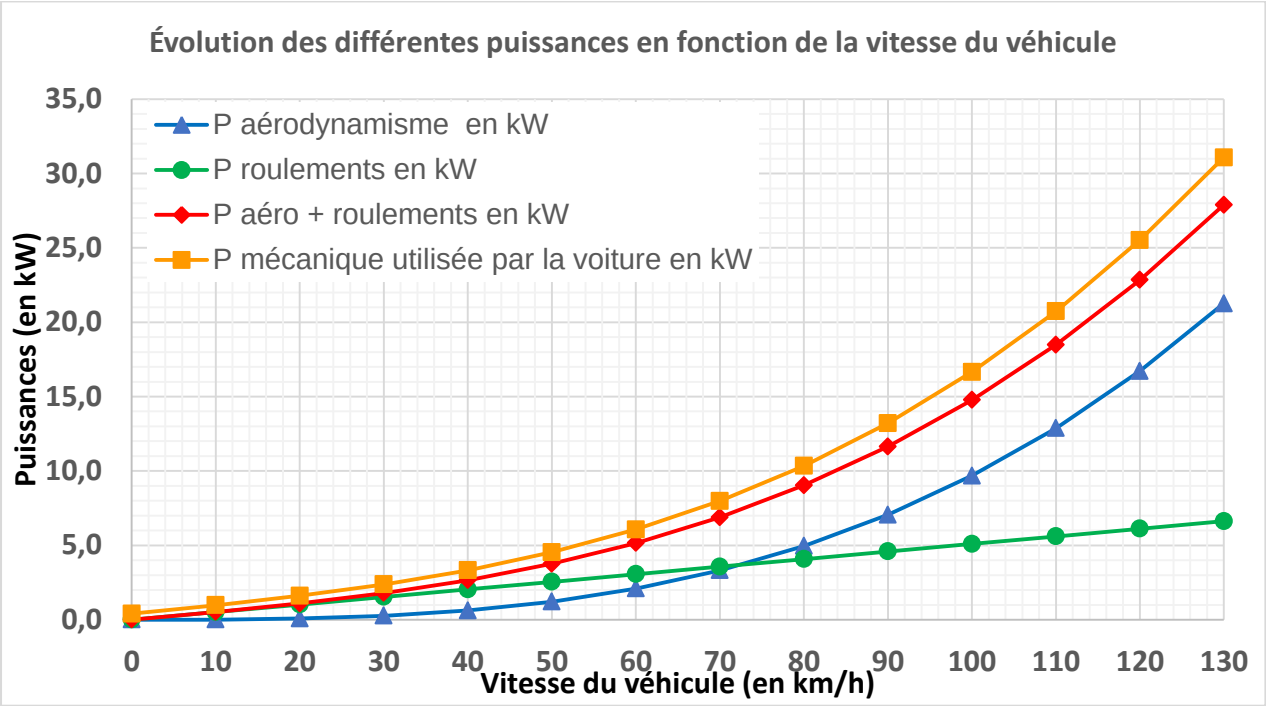
2. Décharge de la batterie du véhicule électrique lors de son utilisation

Le propriétaire du véhicule électrique, dont la batterie est suffisamment chargée, emprunte une autoroute horizontale et roule à vitesse constante de 100 $km \cdot h^{-1}$ pendant une durée de 5,0 minutes.
On suppose que les accessoires de la voiture (climatisation, autoradio, électronique, navigateur, etc.) consomment une puissance constante de 400 W.

➢ Existence de frottements lorsque le véhicule roule

Lorsqu'une voiture roule à une vitesse donnée, il existe deux causes principales de dissipation de l'énergie mécanique fournie par le moteur : les frottements mécaniques en lien avec les différents mouvements associés au roulement de la voiture (parties mobiles liées à la transmission, roues, pneus, etc.) et les frottements fluides (ou aérodynamiques) liés au déplacement de l'air autour de la voiture. Les frottements fluides (ou aérodynamiques) dépendent de l'aérodynamisme de la voiture et leur action sur la voiture peut être modélisée par une force de frottement fluide (ou aérodynamique) de sens opposé à celui du vecteur vitesse de la voiture.

➢ Évolution des différentes puissances en fonction de la vitesse du véhicule



D'après https://www.amperes.be/2019/02/15/les-moteurs-electriques-sont-efficaces-meme-sur-autoroute/

2.1. Étude d'un programme de calculateur

Les voitures électriques sont généralement équipées d'un calculateur. Un exemple possible de codage d'un calculateur, lorsque la batterie possède un état de charge de 100 %, est proposé ci-dessous.

```
1   v=float(input("Entrez la vitesse moyenne habituelle du véhicule en km/h"))
2   D1=float(input("Entrez la distance à parcourir avec votre véhicule en km"))
3
4   #d représente la distance maximale théorique que peut parcourir le véhicule en fonction de la vitesse moyenne v
5   d=-2.913*v+530.2
6   D2=d-D1
7
8   if (d<D1):
9     print("si vous roulez à la même vitesse que d'habitude vous ne pourrez pas parcourir la distance prévue")
10
11  elif (d==D1):
12    print("votre batterie sera totalement déchargée à la fin de votre parcours si vous roulez à la vitesse moyenne
      habituelle")
13
14  else:
15    print("après votre voyage vous pourrez encore parcourir une distance de","%.2f"%(D2),"km")
```

2.1.1. Expliquer brièvement ce que calcule ce programme.

2.1.2. Modifier le programme afin de tenir compte de l'état de charge de la batterie.

2.2. Étude mécanique du déplacement de la voiture

On s'intéresse au système {voiture} en mouvement dans le référentiel terrestre.

2.2.1. Comparer, à la vitesse de 100 $km \cdot h^{-1}$, les différentes puissances intervenant dans le bilan énergétique du fonctionnement de la voiture.

2.2.2. Calculer la distance parcourue par la voiture pendant la durée du trajet étudié.

2.2.3. Calculer l'énergie dissipée par les frottements fluides (ou aérodynamiques) pendant la durée du trajet étudié. En utilisant la notion de travail, déduire, à cette vitesse, la valeur de l'intensité de la force modélisant les frottements fluides (ou aérodynamiques). Commenter.