

**Sujet n°1 (version 1)**  
(Coefficient 8 – Durée 4 heures  
Aucun document autorisé – Calculatrice autorisée)

Partie 1 : Viaduc de la Savoureuse (sur la ligne TGV Est)	Partie 2 : Véhicule électrique F-City (assurant un service de type « Autolib » dans une gare TGV)
	

### La ligne grande vitesse Est

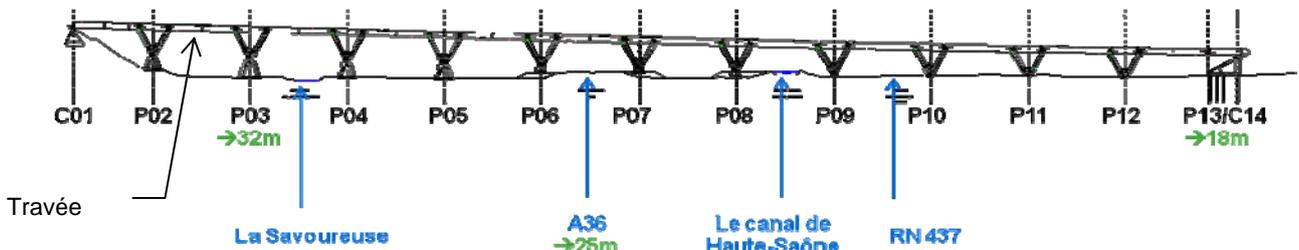
- sujet (mise en situation et questions à traiter par le candidat)
  - partie 1 (1 heure)      pages 2 à 5
  - partie 2 (3 heures)    pages 6 à 13
- documents techniques      pages 14 à 21
- documents réponses pages 21 à 22

Le sujet comporte deux parties indépendantes qui peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

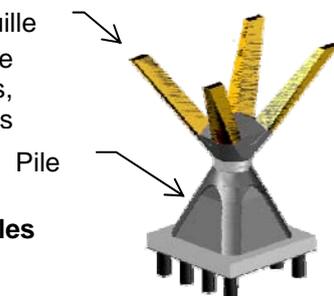
Les documents réponses DR1 à DR2 (pages 21 à 22) seront à rendre agrafés aux copies.

# 1. Première partie: LE VIADUC DE LA SAVOUREUSE.

La réalisation de la ligne à grande vitesse EST a nécessité la réalisation de nombreux viaducs et tunnels. Celui de la rivière « La Savoureuse » est de conception remarquable (voir page de garde). En effet, la vallée de la savoureuse relie les agglomérations de Montbéliard et Belfort et est empruntée par de nombreuses voies de communication (Autoroute A36, canal de la Haute Saône, RN437). Pour minimiser l'impact visuel du viaduc permettant le passage de la Ligne Grande Vitesse au dessus de la vallée, les architectes ont éliminé les ouvrages à haubans (câbles), trop voyants, au profit d'une infrastructure « aérée » s'appuyant sur 12 « tétrapodes » discrets.



Au final en prenant en compte les contraintes précédemment exposées, le viaduc est constitué de douze travées indépendantes de 45,55 mètres, appuyées aux extrémités sur deux des quatre béquilles de chacun des tétrapodes.



Remarque : 1Tétrapode = 1pile + 4 béquilles

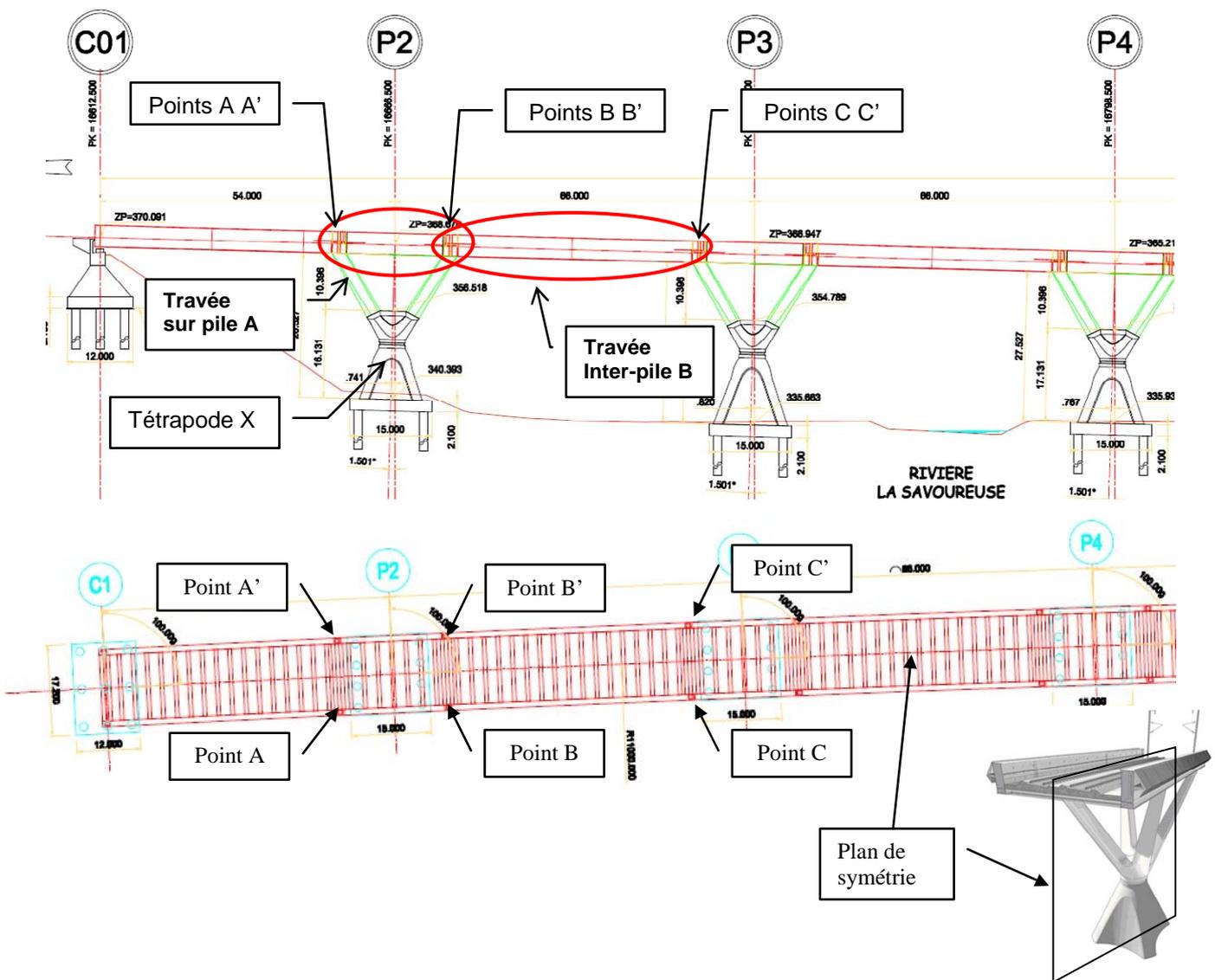
**Choix et problème technique :** comme le montrent les photos ci-dessous, des choix économiques et techniques ont contraint les ingénieurs à réaliser le viaduc par regroupements de six travées temporairement soudées entre elles. Chaque groupe de travées est tiré (lançage) par d'énormes vérins au dessus des tétrapodes concernés puis descendu en appui sur les béquilles et enfin segmenté (suppression des liaisons par soudures des travées). **Il reste alors à garantir que les efforts sur chaque pilier soient équilibrés.**



Zone de liaison des travées par soudure



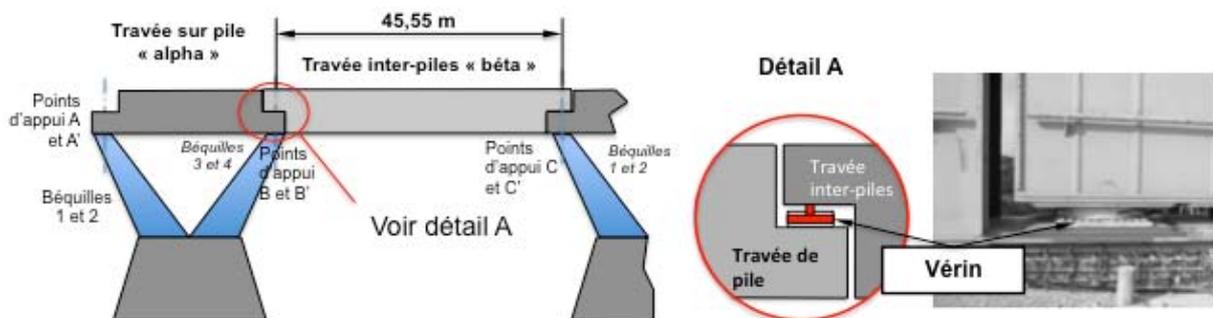
Le tablier du viaduc est constitué d'une succession de tronçons de deux longueurs différentes : les travées sur pile, situées à l'aplomb de chaque tétrapode, et les travées inter-piles, reliant deux tétrapodes.



**Hypothèse simplificatrice :** On admet que le viaduc présente une symétrie géométrique longitudinale passant par l'axe central de la voie. Cette hypothèse permet de mener le calcul de certains ordres de grandeur.

Mise en situation du modèle simplifié :

La modélisation proposée prend en compte deux travées consécutives ramenées dans le plan de symétrie longitudinal du viaduc.



Déroulement de la mise en appui : Suite à la phase de « lançage », chaque groupe de travées (alpha+beta) repose sur les béquilles de chaque tétrapode par l'intermédiaire de chaque « travée sur pile » alpha. Le

réglage des points d'appui A, A', B, B' permet de garantir leur coplanéité (les 4 points appartiennent à un même plan) et une répartition équilibrée de la masse de la travée « Alpha » sur ses 4 appuis.

Dans une seconde phase, les travées (*Alpha+Bêta*) sont dessoudées, libérant ainsi la travée « inter-pile » bêta qui va reposer sur les points BB' et CC' sans que l'on sache précisément si cette action est équitablement répartie sur chaque béquille.

Pour quantifier et exercer l'effort supporté par chaque béquille, on interpose un vérin hydraulique entre chaque appui inter-travées. Celui-ci aura un rôle de dynamomètre ( $F=P.S$ ). Par l'action sur les vérins, les efforts seront connus et équilibrés sur chaque béquille qui supporte alors la même charge (condition de résistance).

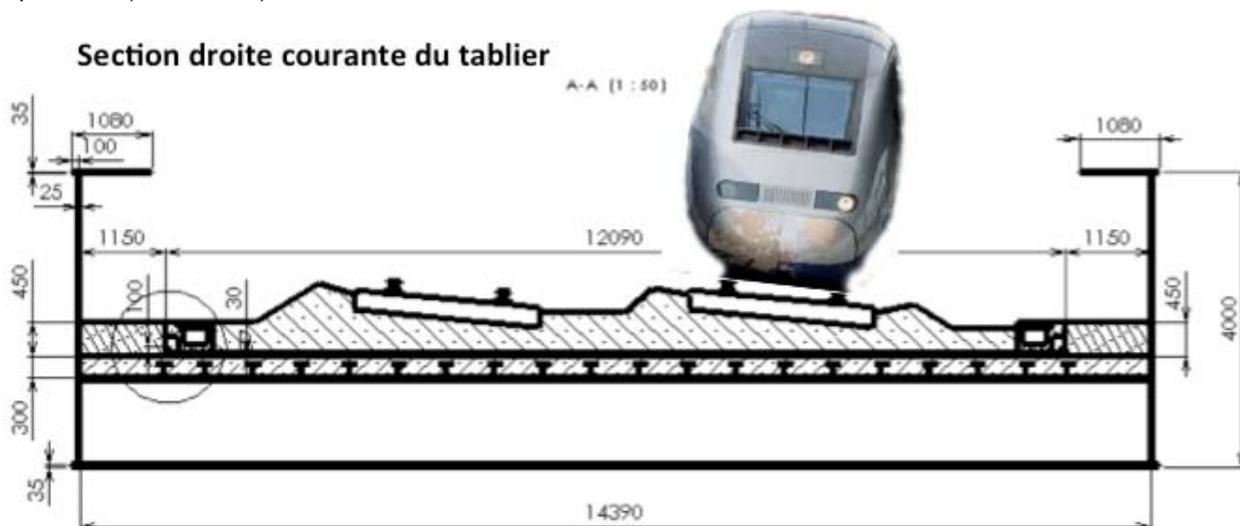
*Les vérins sont ensuite démontés et remplacés par des cales de réglage des bonnes épaisseurs.*

## 1. Calculs des charges :

L'objectif de cette partie est de calculer la charge de la travée P2-P3 du tablier, afin de déterminer l'effort à développer par les 4 vérins.

On donne ci-dessous la coupe transversale (section courante) d'une travée. Cette section est modélisée sur le document réponse DR1.

*Remarque :* bien que le tablier du viaduc soit horizontal, la voie est légèrement inclinée. C'est un virage relevé, car le viaduc s'inscrit dans une courbe de rayon 11 km. On atténue ainsi l'effet d'inertie dû à la vitesse importante ( $350 \text{ km.h}^{-1}$ ) du TGV.



Les données des matériaux utilisés (nature et dimensions) sont fournies sur le document réponse DR1.

### Question 1.1 (Voir DR 1)

Repérer, (sur la perspective document DR1), les éléments du tableau numérotés de 1 à 10.

### Question 1.2 (Voir DR 1)

Effectuer, en complétant le tableau du document réponse DR1 (cases grisées), le calcul des charges linéaires, pour les éléments ①, ⑥ et ⑨, en  $\text{kN.m}^{-1}$ . En déduire la charge linéaire totale, notée  $p$ , de la travée.

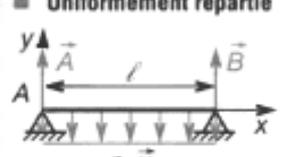
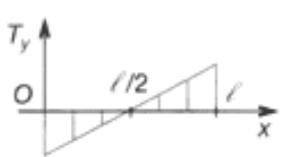
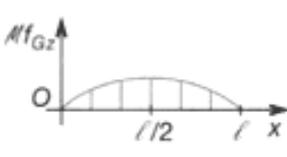
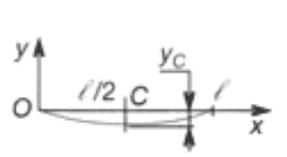
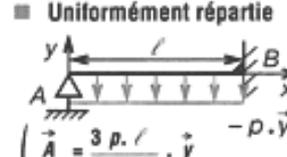
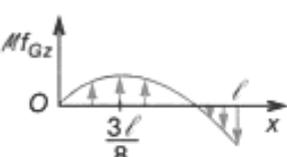
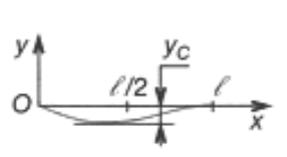
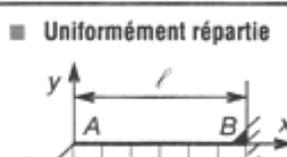
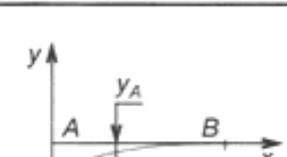
Calculer le poids total d'une travée « inter-pile ».

On assimile la travée à une poutre soumise à une charge uniformément répartie (le poids de l'ensemble).

#### Données à prendre en compte :

- Longueur d'une travée inter-piles = 45,55 m
- Module d'élasticité de l'acier  $E_{\text{acier}} = 210\,000 \text{ MPa}$

- Moment quadratique d'une section droite de la travée :  $I_{Gz} = 0,9 \text{ m}^4$

<p>■ Uniformément répartie</p>  $\begin{cases} \vec{A} = \vec{B} = \frac{p \cdot l}{2} \cdot \vec{y}; \vec{M}_A = \vec{0} \\ \vec{M}_B = \vec{0}; \vec{M}_B = \vec{0} \end{cases}$	 $T_y = +px - p \cdot l/2$ <p>en A : <math>T_y = -p \cdot l/2</math> en B : <math>T_y = p \cdot l/2</math></p>	 <p><math>Mf_{Gz}</math> max pour <math>x = l/2</math></p> $Mf_{Gz} / \max = \frac{p \cdot l^2}{8}$	 <p>Flèche en C : <math>x_C = \frac{l}{2}</math></p> $y_C = -\frac{5p \cdot l^4}{384 E \cdot I_{Gz}}$
<p>■ Uniformément répartie</p>  $\begin{cases} \vec{A} = \frac{3p \cdot l}{8} \cdot \vec{y} \\ \vec{B} = \frac{5p \cdot l}{8} \cdot \vec{y} \\ \vec{M}_B = -\frac{p \cdot l^2}{8} \cdot \vec{z} \end{cases}$	 $T_y = px - 3p \cdot l/8$ <p>en A : <math>T_y = -3p \cdot l/8</math> en B : <math>T_y = 5p \cdot l/8</math></p>	 <p><math>Mf_{Gz}</math> est max pour <math>x = \frac{3l}{8}</math></p> $Mf_{Gz} / \max = \frac{9p \cdot l^2}{128}$	 <p>Flèche en C : <math>x = \frac{l}{2}</math></p> $y_C = -\frac{p \cdot l^4}{192 E \cdot I_{Gz}}$
<p>■ Uniformément répartie</p>  <p><math>p</math> : coefficient de charge (N/m)</p> $\begin{cases} \vec{B} = p \cdot l \cdot \vec{y} \\ \vec{M}_B = -\frac{p \cdot l^2}{2} \cdot \vec{z} \end{cases}$	 <p>Effort tranchant max en B :</p> $T_{y \max} = p \cdot l$	 <p>Moment de flexion en B :</p> $Mf_{Gz} = -\frac{p \cdot l^2}{2}$	 <p>Flèche en A :</p> $y_A = -\frac{p \cdot l^4}{8 E \cdot I_{Gz}}$

### Question 1.3

À l'aide de l'extrait de formulaire ci dessus, **calculer** les actions de la travée « inter-pile » aux appuis et en **déduire** l'effort à régler dans chaque vérin du tétrapode lors de la mise en place sur les appuis définitifs.

Pour le confort des voyageurs (d'après les critères simplifiés du fascicule 2.01), la flèche maximale d'une travée doit être inférieure à 24 mm. Les conditions, les plus défavorables, correspondent à la présence de deux rames de TGV sur le viaduc ce qui donne une charge linéaire totale  $p_T = 378 \text{ kN.m}^{-1}$

### Question 1.4

À l'aide du document ci-dessus, **calculer** la flèche maximale  $f_M$  d'une travée. **Identifier** les éléments prépondérants de la structure (repérés de 1 à 10) qui évitent une flèche trop importante. **Justifier** votre réponse. **Conclure** quant au respect du confort des voyageurs.



## TRAVAIL DEMANDE.

### 2.1- Comment proposer le véhicule en libre-service ?

L'objectif de cette partie est d'analyser la solution retenue par le constructeur permettant de proposer le véhicule en libre-service.

#### Question 2.1.1

Énoncer le besoin principal qui a donné lieu à la création du véhicule F-City

#### Question 2.1.2 (Voir DT1)

À l'aide des diagrammes des exigences et des interactions du concept Vu-Log (donnés sur le document DT1), expliquer les étapes successives nécessaires à la prise d'un véhicule.

### 2.2 - Vérification de la vitesse du véhicule en montée.

L'objectif de cette partie est de vérifier que le véhicule F-City est capable d'atteindre une vitesse de  $10 \text{ km.h}^{-1}$  dans une montée en pente de 10% (tg  $\alpha = 0,1$ ) pour pouvoir facilement s'insérer dans un flot de circulation.

Afin de vérifier cette exigence ; il est proposé d'isoler le véhicule (1) en montée. La modélisation des actions mécaniques (forces) est donnée sur le document technique DT2.

#### Question 2.2.1 (Voir DT 2)

Identifier chacune des forces en justifiant leur provenance.

À partir de la modélisation proposée sur le document DT2, une étude dynamique simplifiée donne l'expression du couple sur l'essieu motorisé :  $T_{roues} = \lambda.m.g.\cos\alpha + R.m.a + R.m.g.\sin\alpha + R.F_{aéro}$  (avec m : masse du véhicule, a : accélération du véhicule, R rayon de la roue motrice).

On suppose que le véhicule roule en ligne droite. Le différentiel n'intervient pas dans la cinématique de la transmission. La vitesse des deux roues motrices est identique de même que la puissance transmise à chaque roue. La chaîne de transmission du véhicule est représentée sur le document technique DT2

#### Question 2.2.2 (Voir DT 2)

Établir l'expression littérale du rapport de réduction du réducteur  $k = \frac{\omega_{roue/0}}{\omega_{m/0}}$  en fonction du nombre de dents des différentes roues et pignons le constituant. Effectuer l'application numérique.

#### Question 2.2.3

Exprimer le couple moteur  $T_{mot}$  en fonction  $T_{roues}$  ; k et du rendement de la transmission  $\eta_T$ .

#### Question 2.2.4

Simplifier l'expression du couple moteur si on se place en régime établi (accélération nulle et  $V_{G\in l/0} = \text{Cste}$ ).

Faire l'application numérique, pour ce couple  $T_{mot}$  en tenant compte des données ci-dessous.

$$\|F_{aéro}\| = \frac{1}{2} \rho_{air} \cdot \|V_{G\in l/0}\|^2 \cdot C_X \cdot S \text{ avec :}$$

- Surface projetée pour maître couple :  $S = 2,1 \text{ m}^2$ ,

- Masse volumique de l'air :  $\rho_{air} = 1,2 \text{ kg.m}^{-3}$
- Coefficient aérodynamique :  $C_x = 0,37$
- Résistance au roulement :  $\lambda = 0,0104$
- Masse du véhicule :  $m = 870 \text{ kg}$
- Rayon de la roue  $R = 278 \text{ mm}$
- Pente de 10%.
- Rendement de la transmission  $\eta_T = 0,95$

### Question 2.2.5

Établir l'expression littérale la vitesse de rotation du moteur  $\omega_{m/0}$  en fonction de la vitesse linéaire  $V_{1/0}$  du véhicule. Effectuer l'application numérique pour la vitesse souhaitée ( $10 \text{ km.h}^{-1}$ ).

### Question 2.2.6

Conclure quant au respect de la première exigence.

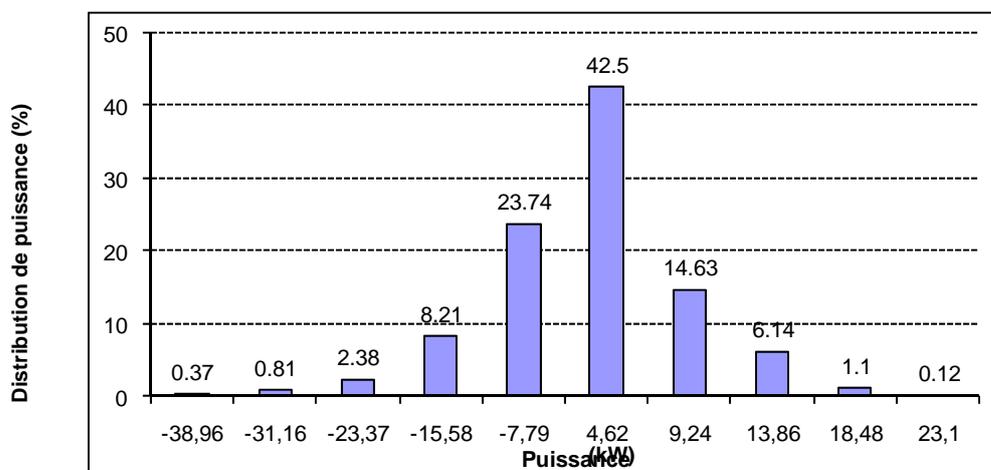
## 2.3 - Autonomie du véhicule.

L'objectif de cette partie est de vérifier une autonomie du véhicule de 100 km pour des déplacements dans le pays de Montbéliard dont le parcours type est de 10,6 km réalisé en 23 min.

### Question 2.3.1 (Voir DT 1)

Identifier, à l'aide du diagramme de bloc interne de la chaîne d'énergie du véhicule fourni document DT1, les composants qui réalisent les fonctions suivantes : « stocker » ; « distribuer » ; « convertir » ; « transmettre ».

La distribution de puissance relevée au niveau de l'essieu lors du parcours est donnée ci-dessous.



Cet histogramme représente le pourcentage du temps de parcours en fonction de différentes valeurs de la puissance transmise. Ainsi on peut dire que la puissance sur l'essieu a été de 4,62 kW pendant 42,5% du temps du parcours.

Le rendement de la chaîne d'énergie est identique et égal à 77% quel que soit le mode de transfert de l'énergie.

### Question 2.3.2

Calculer la valeur de la puissance moyenne  $P_{Bat}$  au niveau de la batterie pour ce parcours.

L'énergie fournie par la batterie pour ce parcours est de 0,985 kW.h, celle consommée par les accessoires lors du parcours est estimée à 96 Wh.

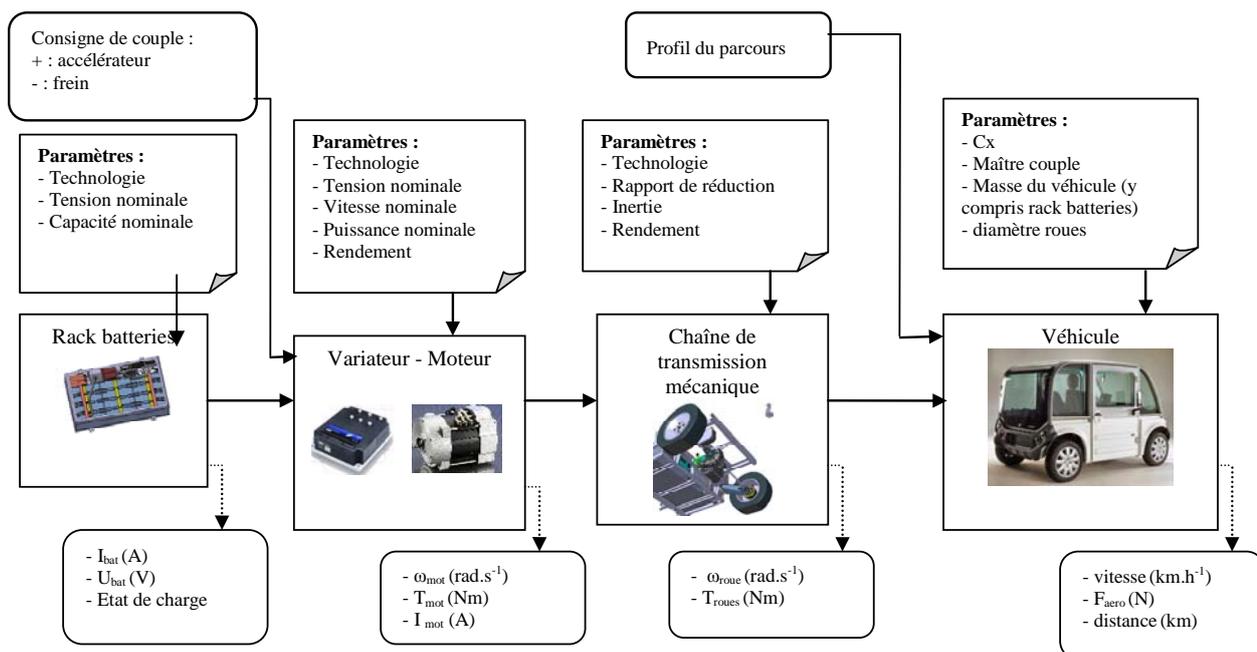
### Question 2.3.3

Pour des raisons de garantie « constructeur », la tolérance sur la profondeur de décharge des batteries est de 80 %.

**Calculer** l'énergie nécessaire pour effectuer 100 km. **Conclure** quant au respect de l'exigence sur l'autonomie du véhicule.

Pour des raisons de coût, le constructeur envisage de remplacer les batteries de type Ni-Mh par des batteries Acide-Plomb.

Afin de valider ce choix, une simulation est réalisée sous un logiciel d'analyse comportementale en prenant comme hypothèse le parcours type de 10,6 km. Le modèle retenu pour l'analyse comportementale est le suivant :



### Question 2.3.4

**Indiquer** les 2 paramètres à modifier pour passer du modèle de simulation « Ni-Mh » au modèle « Acide-Plomb ». **Proposer** un choix ou une valeur pour ces 2 paramètres. On rappelle que l'énergie massique de batteries au plomb est 2 fois moins importante que celle de batteries Ni-Mh.

Les fenêtres données page DT3 fournissent les résultats des simulations pour les 2 modèles établis.

### Question 2.3.5 (Voir DT 3)

**Indiquer** le seuil de charge du rack batterie pour chaque technologie à la fin du parcours de 10,6 km. **Calculer** l'autonomie du véhicule pour chaque modèle en tenant compte de la profondeur de décharge admise et **comparer** les résultats obtenus. **Conclure** quant à la faisabilité de ce projet par le constructeur si le critère principal retenu est le respect de l'autonomie de 100 km.

## 2.4 - Transmission de l'information du taux de charge batterie.

L'objectif de cette partie est de vérifier que l'information du taux de charge batterie du véhicule est transmise et traitée via le bus CAN avec d'autres tout en respectant une priorité. Des éléments d'informations sur le principe de ce bus sont donnés dans le document technique DT 4.

Dans le véhicule F-City, le bus CAN permet de transmettre de nombreuses informations. Lors d'un test, les 3 informations suivantes sont retenues : l'appui sur la pédale de frein, l'état de charge batterie et la détection de la fenêtre ouverte côté conducteur.



Pour assurer un bon confort des passagers, il convient d'atténuer le plus possible les fréquences indésirables.  
Hypothèse : le modèle d'étude retenu est réduit à un quart du véhicule.

Fréquence (Hz)	Sensation subjective	Tolérance
De 5 à 2,5	Tressautement pénible	Rapidement intolérable
De 2,5 à 1,4	Sec et sportif	À la limite du tolérable, fatigante à la longue
De 1,4 à 0,9	Confortable et moelleux	Bonne tolérance
De 0,9 à 0,7	Sensation « bateau »	Tendance aux malaises, nausées

**Dans cette étude, l'amortisseur sera considéré comme un filtre.**

### Question 2.5.1

**Préciser** quel serait le type de filtre idéal. En **faire** une représentation graphique. **Préciser** la valeur des fréquences de coupure.

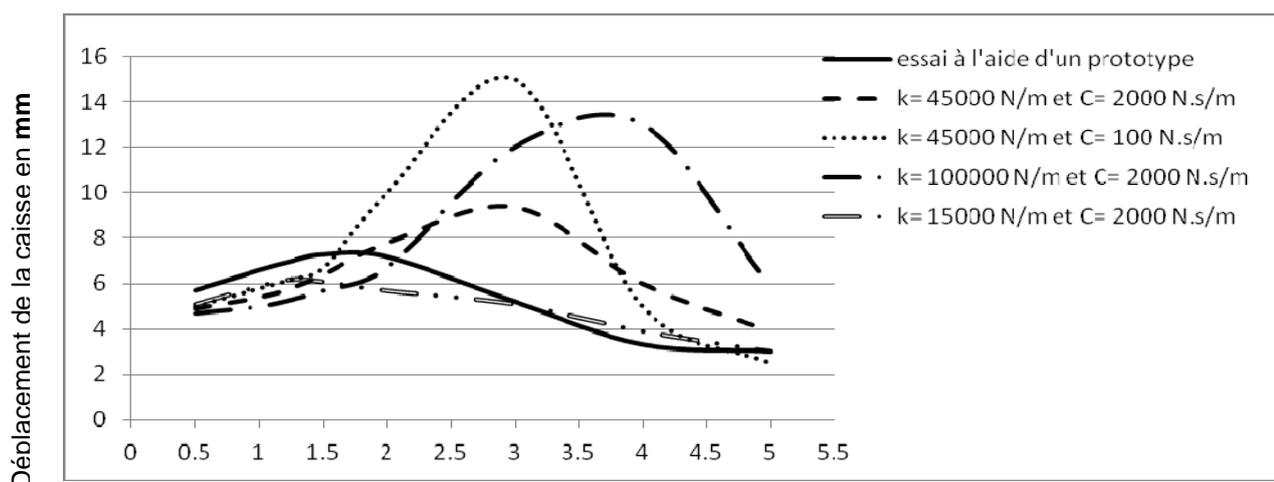
La réponse de la caisse du véhicule à une sollicitation fréquentielle dépend du réglage de la suspension. Des études par simulation sont réalisées pour rechercher la solution technologique la mieux adaptée. Pour ce faire, on applique un déplacement vertical d'amplitude 4mm (imposée par le prototype) de fréquence variant de 0.7Hz à 5Hz.

Caractéristiques :

- Amortisseur télescopique RECORD
  - Raideur : Raideur :  $k_{\text{amortisseur}} = 45000 \text{ N.m}^{-1}$
  - Coefficient d'amortissement :  $C_{\text{amortisseur}} = 2000 \text{ N.s.m}^{-1}$
  - Course : 284 mm
- Masses : ensemble « roue » (20 kg) et caisse (200 kg).

Les simulations du modèle numérique ont permis de relever les réponses de l'amortisseur pour différentes sollicitations de fréquences et en faisant varier k ainsi que C de l'amortisseur.

Résultats des essais :



### Question 2.5.2

**Comparer** les quatre courbes issues de la simulation numérique en argumentant. **Conclure** en identifiant la courbe qui répond au mieux aux conditions de confort. **Préciser** les valeurs optimales de k et C.

### Question 2.5.3

**Comparer** la courbe retenue à la question précédente avec celle issue des essais sur prototype et **identifier** les causes possibles justifiant les écarts.

## 2.6 - Vérification du choix du matériau par rapport aux contraintes techniques et environnementales.

Une étude assistée d'un logiciel de choix de matériaux montre que le bras de la F-city doit appartenir à la famille des alliages d'aluminium pour fonderie.

Problème posé : vérifier si l'alliage d'aluminium (*AlSiMg*) employé pour la fabrication (*moulage*) du bras est conforme ou non à quelques contraintes ciblées du cahier des charges (voir tableau ci-dessous).

*FC1 : résister au milieu extérieur*

*FC2 : tenir compte des impacts environnementaux*

*FC3 : être adapté au procédé de production*

Fonction	Sous fonction	Critères d'appréciation	Niveau d'acceptation	Indice de flexibilité
FC1	Résister à la corrosion	C1 : 10ans minimum	Corrosion protectrice	F1
FC2	Minimiser la masse	C2 : en regard aux conditions de résistance	$\rho$ < fonte-acier (6.8-8.1)	F0
	Minimiser l'empreinte carbone globale	C3 : tendre vers 8kg/kg	+2kg/KG	F1
	Être recyclable	C4 : 100%		F0
FC3	Être adapté à la production en séries renouvelables moyennes	C5 : moulable	Retrait maxi :5%	F0
			2000 pièces/mois	F0

**Indices de flexibilité** : 0 impératif ; 1 un peu négociable ; 2 négociable ; 3 très négociable

### Question 2.6.1 (Voir DT 5 – Voir DR 2)

À l'aide du document technique DT5, **compléter** le diagramme « radar » donné sur le document réponse DR2.

### Question 2.6.2 (Voir DR 2)

**Analyser** l'allure du diagramme « radar » et **conclure**.

Avant d'adopter l'alliage d'aluminium comme matériau pour la fabrication du bras arrière, une étude comparative d'impacts sur l'environnement (ACV) entre un bras en fonte et un en aluminium a été faite, voir l'extrait sur le document DT6.

### Question 2.6.3 (Voir DT6)

**Analyser** les résultats de l'empreinte CO<sub>2</sub> et l'énergie totale consommée des deux cas en répondant aux questions suivantes :

- Le choix de l'alliage d'aluminium vous paraît-il justifié au regard des résultats ? Pourquoi ?
- Quelle est la principale raison qui a contraint le concepteur à utiliser un alliage d'aluminium ?

## 2.7 - Conclusion sur le choix du véhicule

La gare TGV se trouve sur un site médian entre Belfort et Montbéliard. Afin de satisfaire une demande de ses usagers, la SNCF propose un service de location de véhicules électriques permettant de réaliser des trajets de courte distance.

La conception de ces véhicules doit pouvoir répondre complètement aux impératifs d'un concept « Autolib », à savoir :

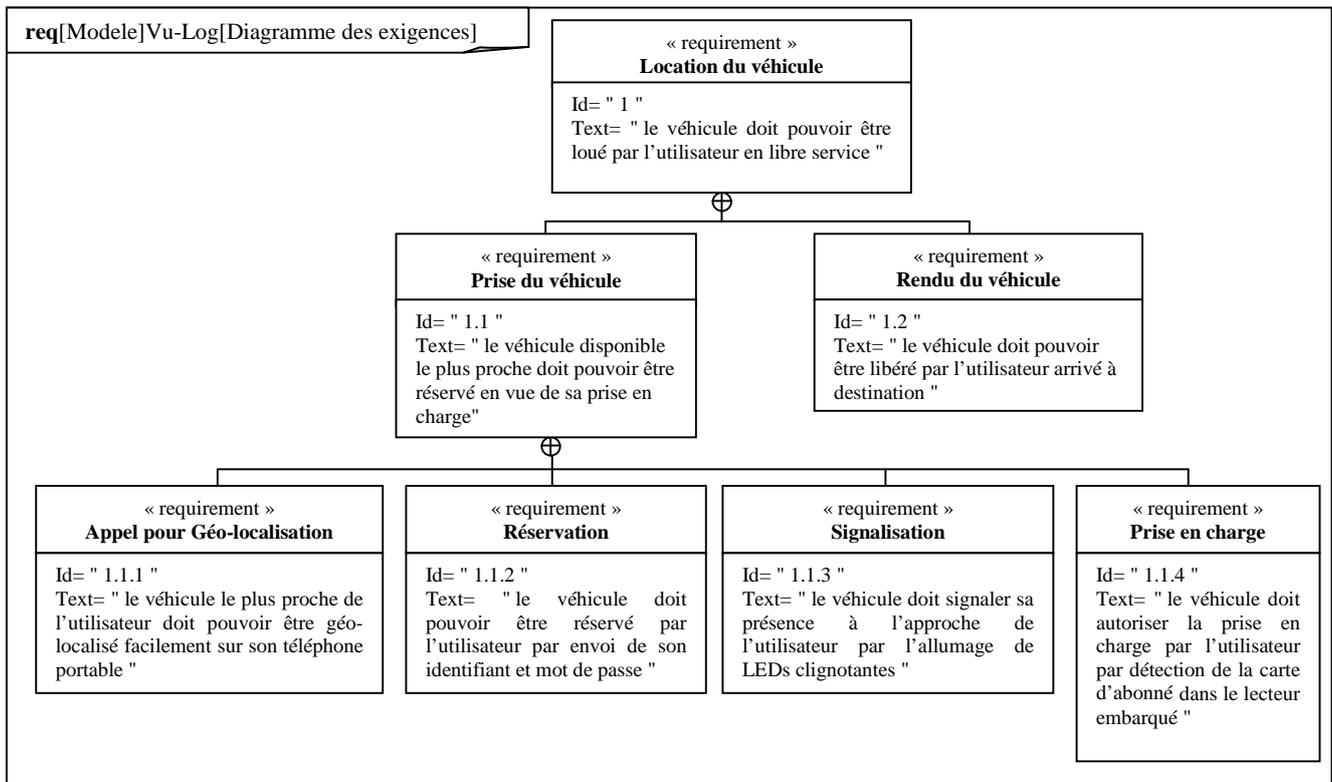
- un système de location actuel,
- des performances de conduite suffisantes,
- une autonomie adaptée à la situation,
- un système de gestion à distance des charges des batteries,
- un confort satisfaisant,
- un impact environnemental limité.

### Question 2.7.1

Au vu des analyses effectuées dans les différentes parties, **conclure** sur le choix de retenir le véhicule F-City pour le projet « Autolib ».

# Document technique DT1

## Diagramme des exigences du concept « Vu-log ».



## Diagramme des interactions du concept « Vu-log »

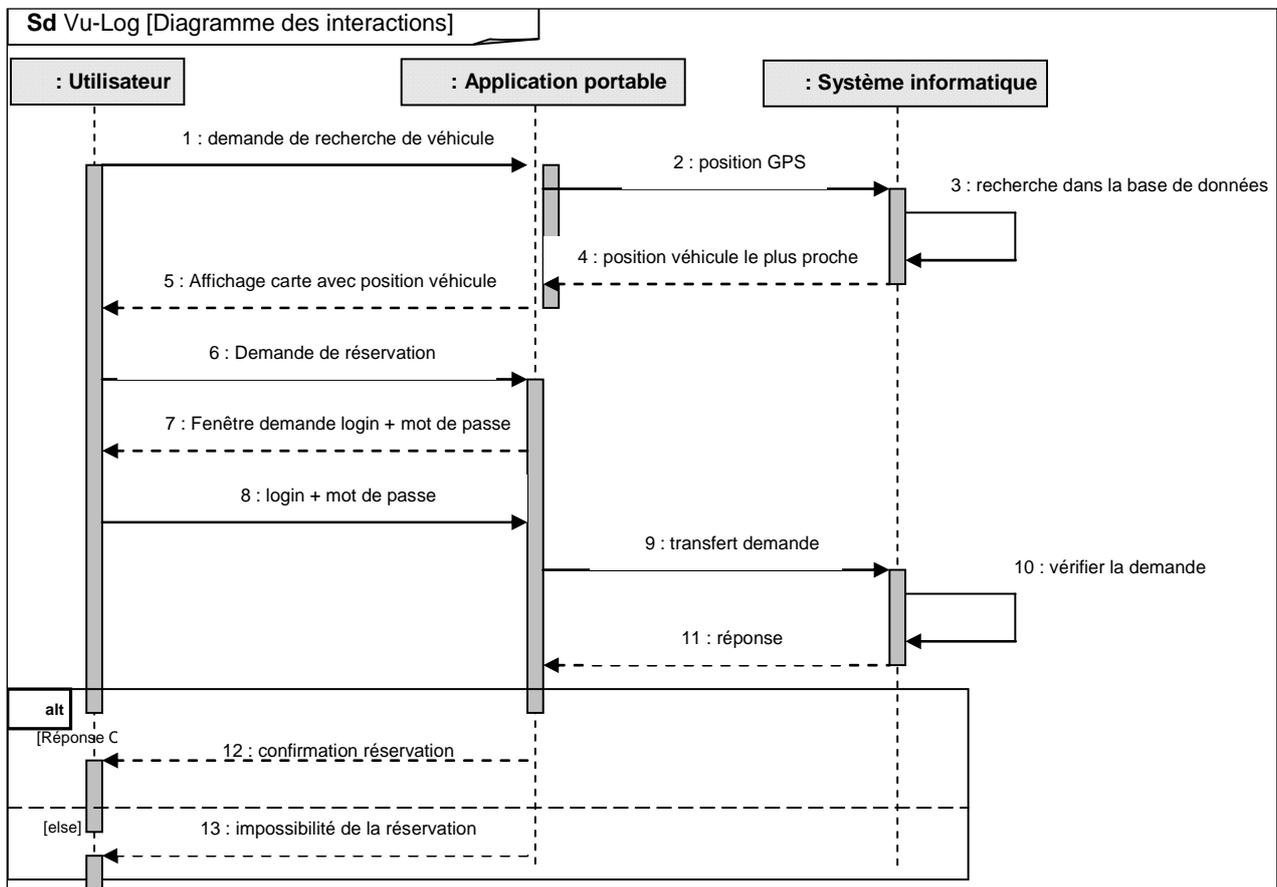
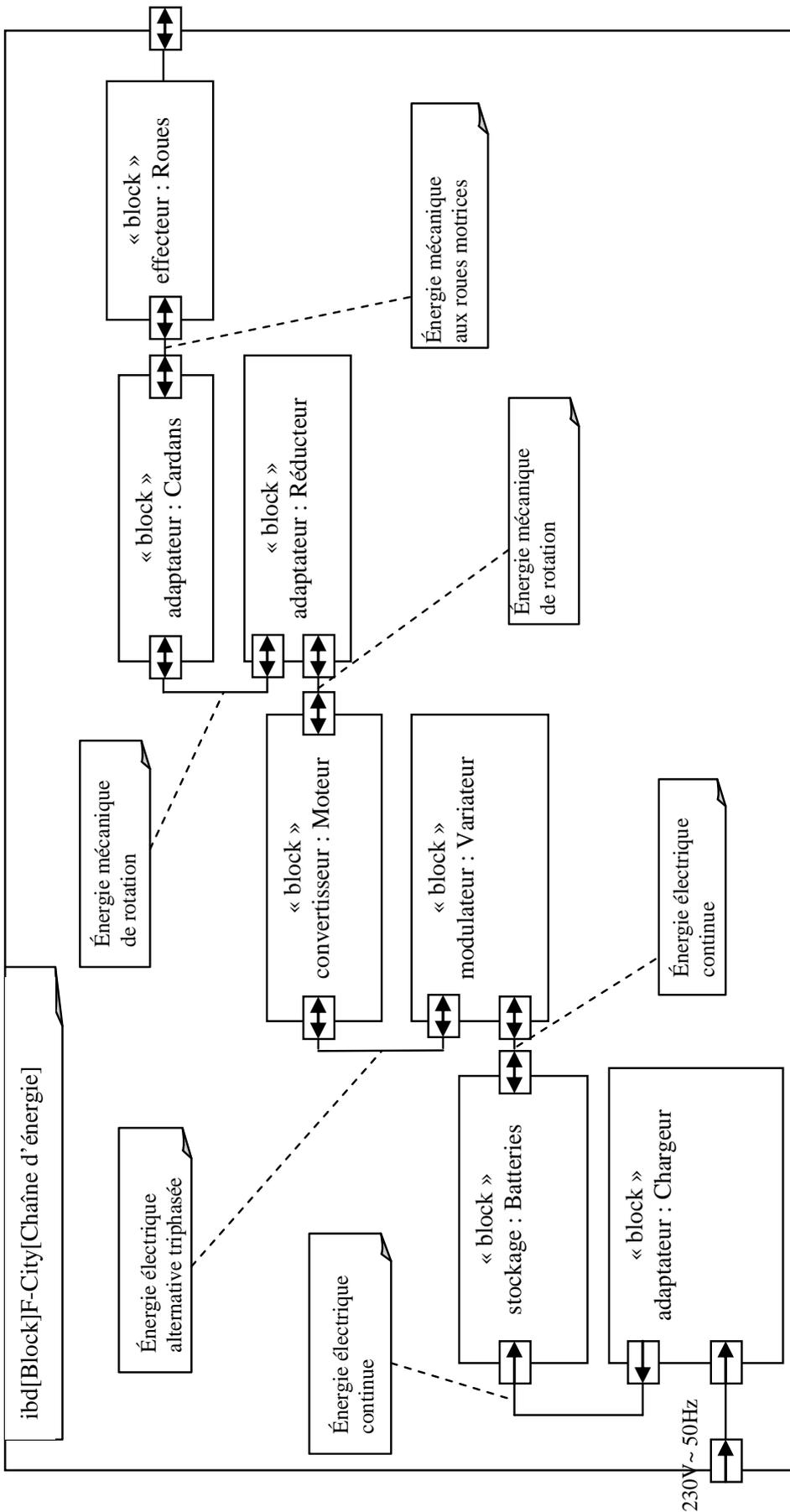
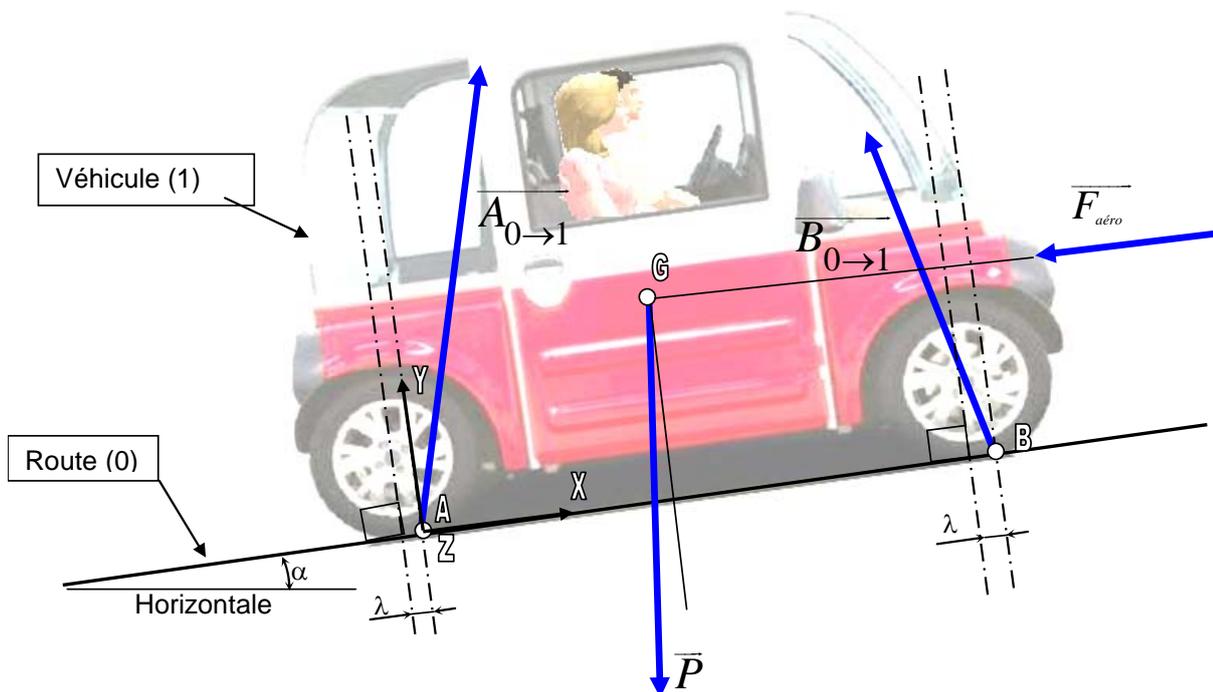


Diagramme de bloc interne « chaîne d'énergie véhicule F-City ».

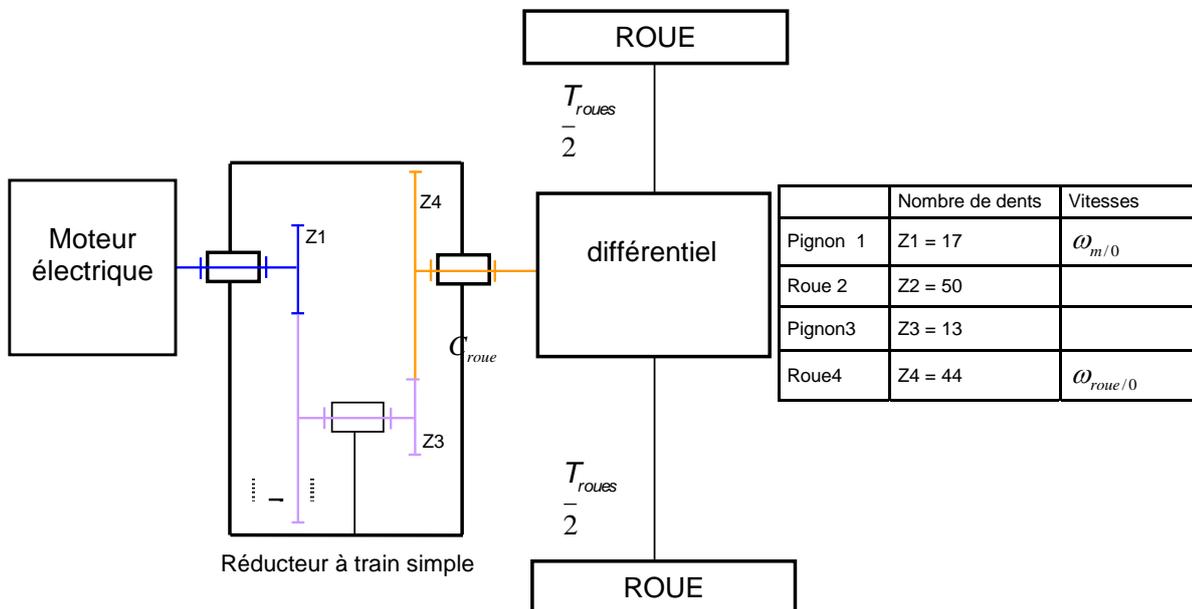


## Document technique DT2

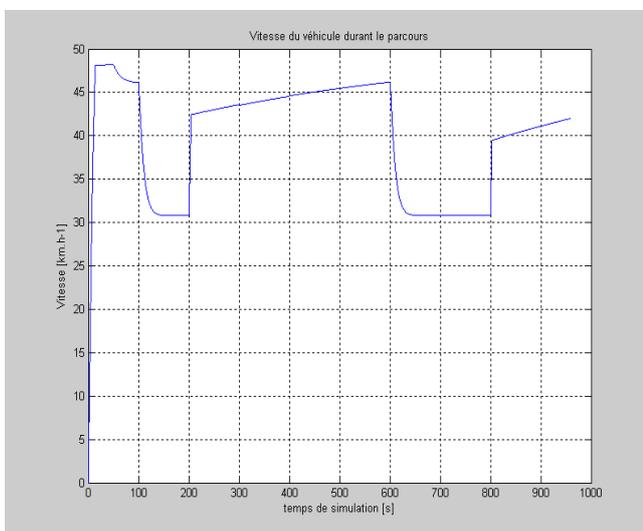
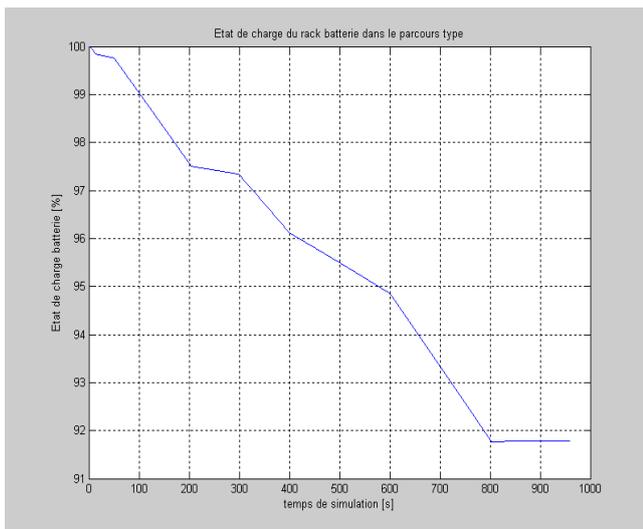
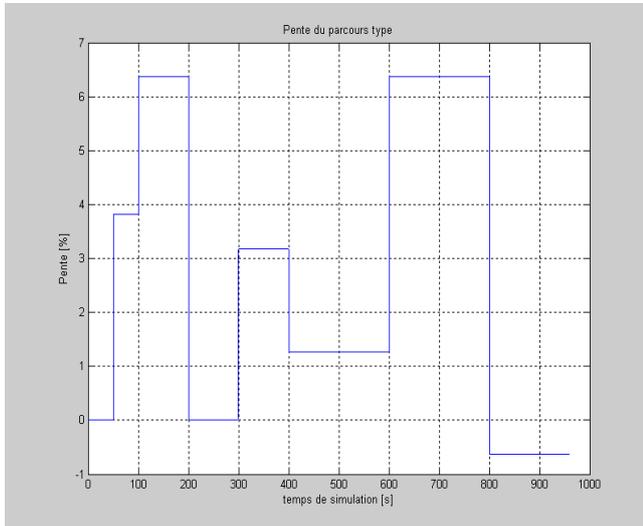
### Isolement du véhicule (1) en montée



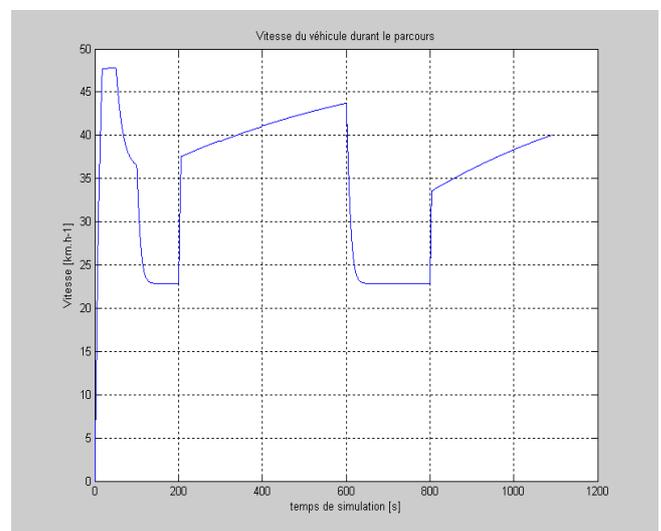
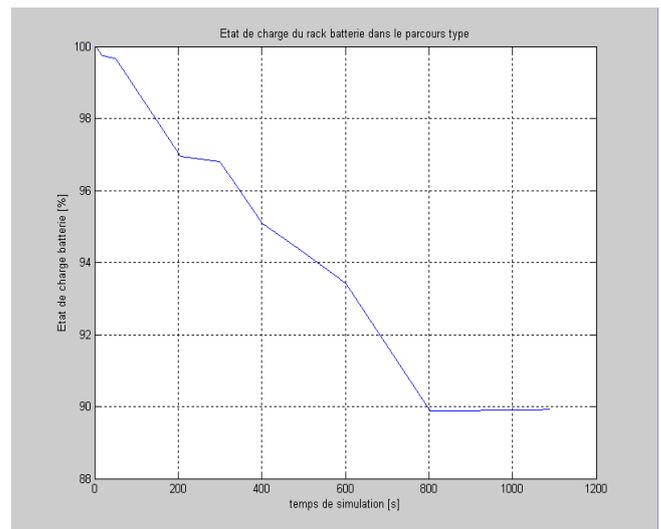
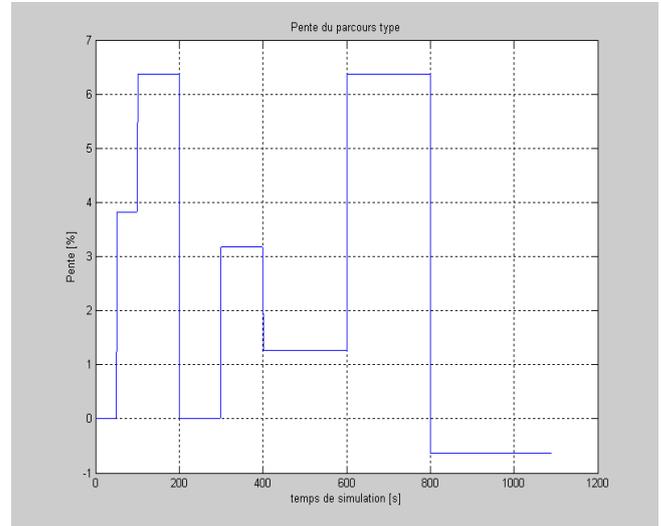
### Chaîne de transmission du véhicule.



## Résultats de la simulation avec un rack batteries NiMh

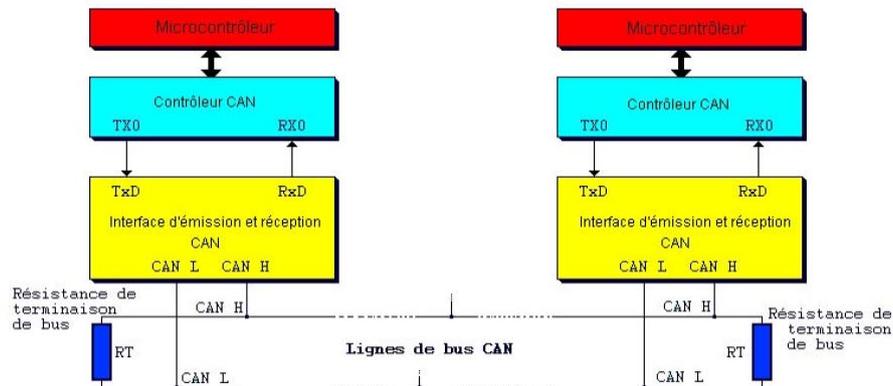


## Résultats de la simulation avec un rack batteries Plomb-acide

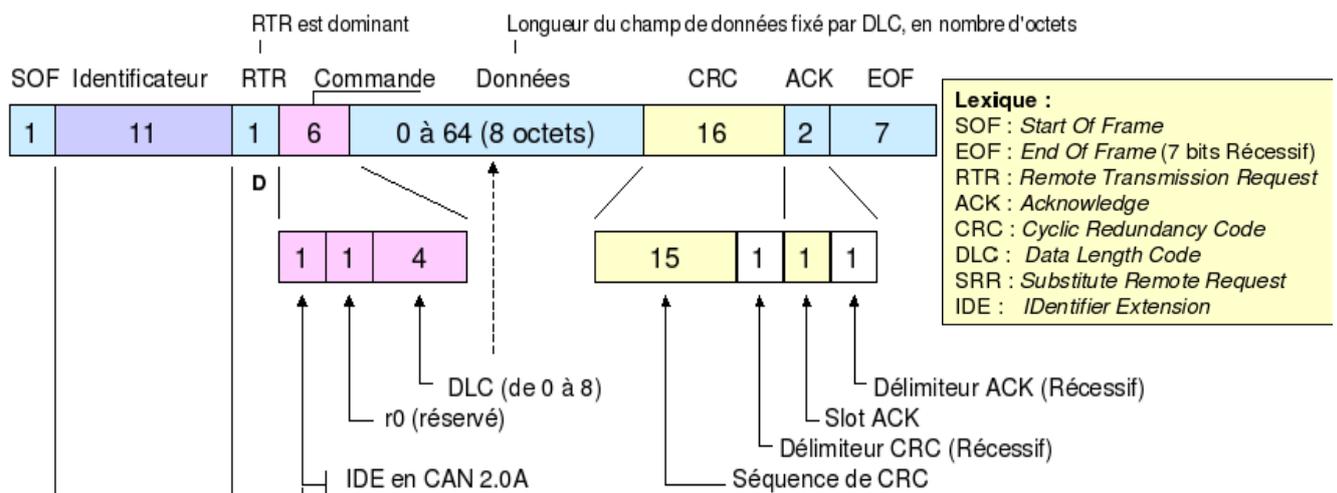


## Document technique DT4 : le bus CAN.

Le Bus CAN s'est rapidement imposé dans de très nombreux domaines de l'industrie. Il permet la transmission des informations entre les différentes unités de contrôle. Chaque unité assurant le multiplexage des informations à transmettre et leur sérialisation avant leur émission sur le bus.



Les informations numériques sont codées sous la forme de bits ou de paquets de bits, le tout formant une trame.



**Priorités :** en cas de demandes de prise du bus simultanées, les identificateurs de chaque message permettent aussi de définir quel message est prioritaire sur tel autre. C'est l'identifiant dont l'adresse est la plus faible qui est prioritaire.

## Document technique DT5

Nom de la pièce	Matériaux	Masse	volume	Limite d'élasticité
Bras arrière	AlSiM7Mg	4.0795 kg	0.0015222 m <sup>3</sup>	2.1e+008 N/m <sup>2</sup>

### Alliages d'aluminium pour fonderie

Presque tous les alliages d'aluminium pour la fonderie contiennent de 5 à 22 % de silicium (Si) – Le silicium rend l'alliage plus fluide de telle sorte qu'il remplit le moule et reproduit les détails fins même dans des sections peu épaisses. En ajoutant en plus du cuivre (Cu) ou du magnésium (Mg), on obtient des alliages qui se durcissent avec le temps. On utilise les alliages simples Al-Si pour les pièces de marine, la quincaillerie et les ustensiles de cuisine à cause de leur bonne résistance à la corrosion par l'eau salée ; on les utilise pour des pistons et la paroi des cylindres à cause de leur bonne conductivité thermique et de leur coefficient d'expansion faible. D'une manière générale, les alliages d'aluminium pour la fonderie ont une ductilité et une tenue mécanique plus faibles que les alliages utilisés pour le forgeage qui durcissent avec le temps – peu ont une résistance à la traction supérieure à 350 MPa. Ils sont très adaptés à la production en grandes séries.

#### Composition (résumé)

Al + 5 - 22% Si, parfois avec un peu de Cu, Mg ou Zn pour permettre le durcissement dans le temps.

#### Propriétés générales

Masse volumique	2.5e3	-	2.9e3	kg/m <sup>3</sup>
Prix	* 1.3	-	1.43	EUR/kg

#### Propriétés mécaniques

Module de Young	72	-	89	GPa
Limite élastique	50	-	330	MPa
Résistance en traction	65	-	386	MPa

#### Possibilités de traitement

Coulabilité (aptitude à être moulé)	4	-	5	} de 1 mauvais à 5 excellent
Formabilité	3	-	4	
Usinabilité	4	-	5	

#### Production du matériau primaire: énergie, CO2 et eau

Énergie intrinsèque, production primaire	203	-	238	MJ/kg
Empreinte CO2, production primaire	12	-	13.1	kg/kg

#### Mise en œuvre du matériau: énergie

Énergie de moulage	* 2.17	-	2.62	MJ/kg
Energie d'usinage conventionnel (par unité de poids enlevée)	* 4.85	-	5.87	MJ/kg

#### Mise en œuvre du matériau: empreinte CO2

Moulage CO2	* 0.13	-	0.157	kg/kg
Forgeage, laminage CO2	* 0.199	-	0.24	kg/kg
Usinage conventionnel CO2 (par unité de poids enlevée)	* 0.388	-	0.47	kg/kg
Usinage non conventionnel CO2 (par unité de poids enlevée)	* 2.33	-	2.82	kg/kg

#### Recyclage du matériau: énergie, CO2 et fraction recyclée

Recyclable	vrai			
Énergie intrinsèque, recyclage	18.3	-	21.4	MJ/kg
Empreinte CO2, recyclage	1.08	-	1.18	kg/kg
Réutilisable	Vrai			
Traitement en décharge	Vrai			
Ressource renouvelable?	Faux			

#### L'Environnement

Le minerai d'aluminium est abondant. Il faut beaucoup d'énergie pour en extraire l'aluminium. Il est facilement recyclé.

## Document technique DT6

Nom du modèle: bras.sldprt

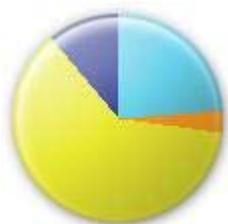
Matériau: Fonte ductile

Masse : 10807.64 g

Type de fabrication: Moulage au sable et usinage

### Impact sur l'environnement (extrait)

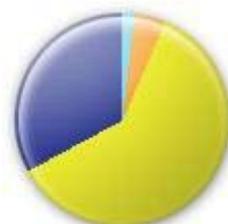
Empreinte carbone



30.53 kg CO<sub>2</sub>

Matériau:	3.38 kg CO <sub>2</sub>
Fabrication:	18.86 kg CO <sub>2</sub>
Utilisation:	1.03 kg CO <sub>2</sub>
Fin de vie:	7.26 kg CO <sub>2</sub>

Énergie totale consommée



313.30 MJ

Matériau:	103.06 MJ
Fabrication:	190.25 MJ
Utilisation:	14.58 MJ
Fin de vie:	5.41 MJ

Nom du modèle: bras.sldprt

Matériau: AISi7Mg

Masse : 4109.95 g

Type de fabrication: Moulage au sable et usinage

### Impact sur l'environnement (extrait)

Empreinte carbone



61.06 kg CO<sub>2</sub>

Matériau:	56.10 kg CO <sub>2</sub>
Fabrication:	3.25 kg CO <sub>2</sub>
Utilisation:	0.39 kg CO <sub>2</sub>
Fin de vie:	1.31 kg CO <sub>2</sub>

Énergie totale consommée

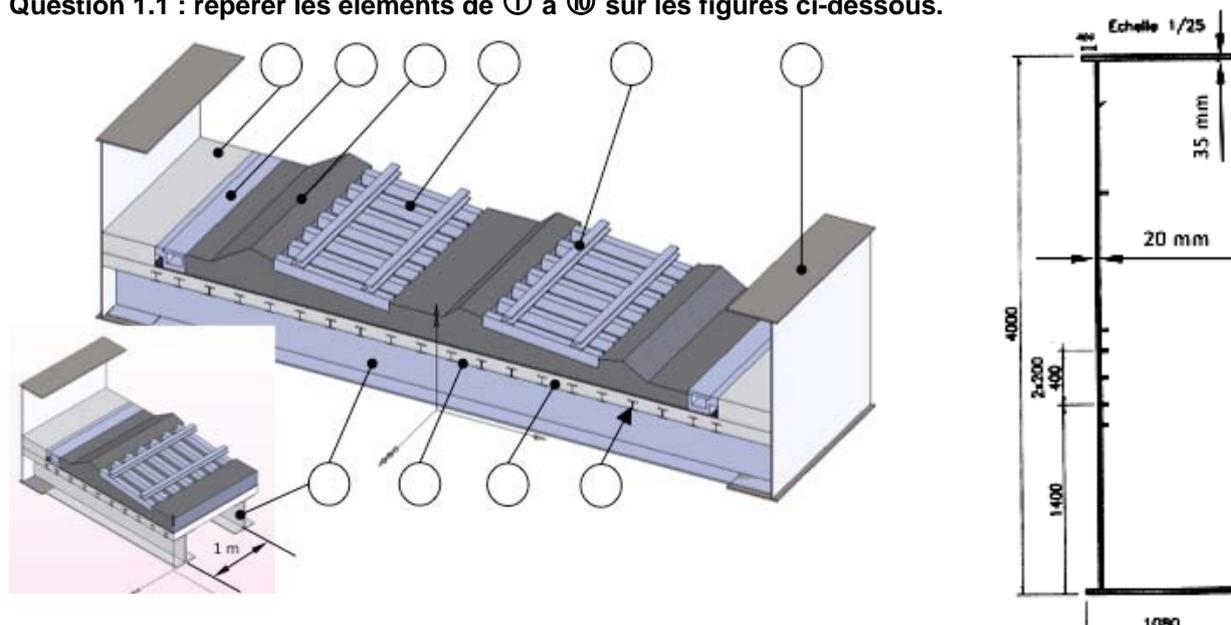


769.60 MJ

Matériau:	701.15 MJ
Fabrication:	61.57 MJ
Utilisation:	5.54 MJ
Fin de vie:	1.34 MJ

## Document réponse DR1

Question 1.1 : repérer les éléments de ① à ⑩ sur les figures ci-dessous.



Question 1.2 : Compléter le tableau ci dessous pour calculer la charge totale

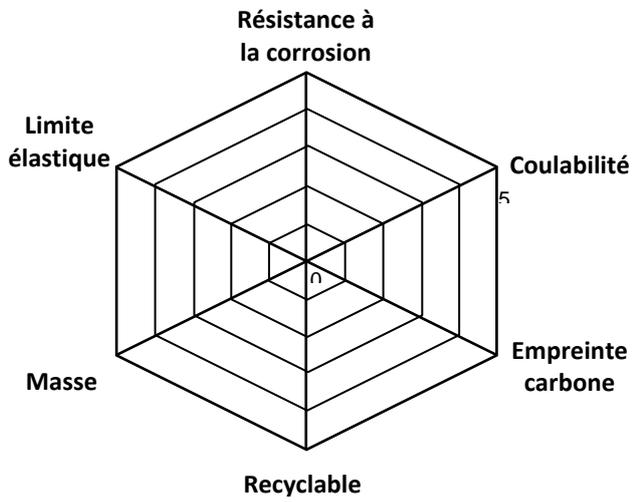
Tableau de calcul de la charge					
Rep	Désignations	Dimensions	Nb	Charge linéaire unitaire	Charge linéaire totale par repère
1	Profilés HEA 200	Pour 1 m linéaire	20	$0,4 \text{ kN.m}^{-1}$	
2	Dalle en béton armé	Largeur 14,39 m et épaisseur 0,30 m	1	$108 \text{ kN.m}^{-1}$	108
3	Longrines en béton armé	Pour 1 m linéaire		$13 \text{ kN.m}^{-1}$	
4	Film d'étanchéité	Pour 1 m linéaire	1	$8,5 \text{ kN.m}^{-1}$	8,5
5	Caniveaux techniques	Pour 1 m linéaire		$2,5 \text{ kN.m}^{-1}$	
6	Ballast de masse volumique moyenne $\gamma_{\text{ballast}} = 20 \text{ kN.m}^{-3}$	Épaisseur moyenne : 0,60 m sur une largeur de 10,8 m	1		
7	Rails	Pour 1 m linéaire		$0,6 \text{ kN.m}^{-1}$	
8	Traverses de voies en béton armé	Par voie pour 1 m linéaire		$4,7 \text{ kN.m}^{-1}$	
9	Poutres principales Masse volumique $\gamma_{\text{acier}} = 78 \text{ kN.m}^{-3}$	Voir section ci-dessus	2		
10	Entretoises	Longueur 14,39 m		$14 \text{ kN.m}^{-1}$	
<b>Charge linéaire totale p</b>					
<b>Poids total d'une travée inter-pile</b>					
On ne prendra pas en compte les corniches, goujons, raidisseurs des poutres principales et les poteaux caténaïres.					

## Document réponse DR2

### Question 2.6.1

Echelle de notation de 0 à 5 du centre vers l'extérieur du diagramme

<b>Notes- appréciation</b>	0 - mauvais	1 - faible	2 - médiocre	3- acceptable	4 - bon	5 - excellent
----------------------------	-------------	------------	--------------	---------------	---------	---------------



### Question 2.6.2 Conclusion :

---

---

---

---

---

---