Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV©

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
www.formav.co/explorer

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2023

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

ÉNERGIES ET ENVIRONNEMENT

Durée de l'épreuve : **4 heures**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 31 pages numérotées de 1/31 à 31/31.

Constitution du sujet :

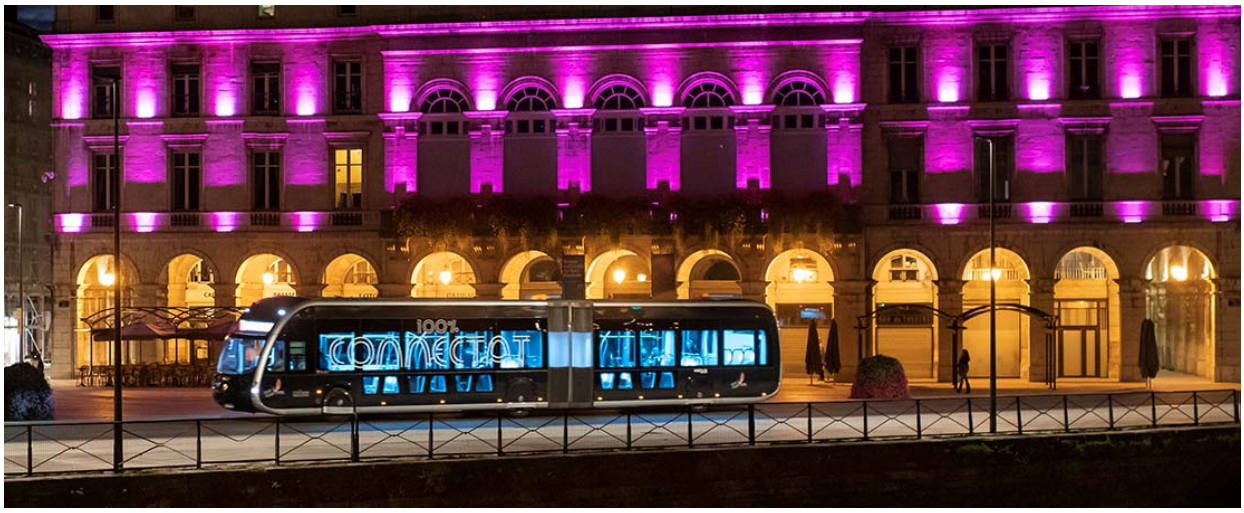
Partie commune (durée indicative 2h30)	12 points
Partie spécifique (durée indicative 1h30)	8 points

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.
Ces 2 parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.
Tous les documents réponses, mêmes vierges, sont à rendre obligatoirement avec la copie.

PARTIE commune (2,5h) ..... 12 points

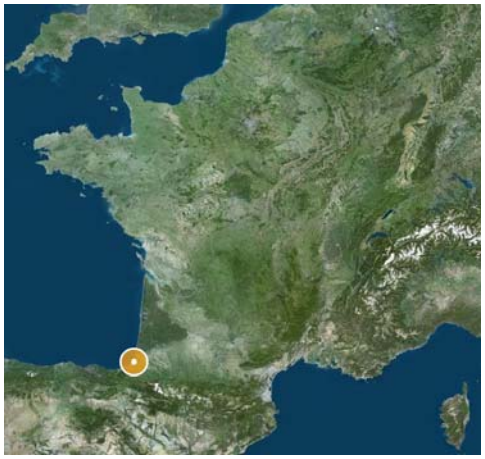
Le Trambus du Pays Basque



- **Présentation de l'étude et questionnement**..... pages 3 à 8
- **Documents techniques DT1 à DT7** ..... pages 9 à 15
- **Documents réponses DR1 à DR3** ..... pages 16 à 17

Mise en situation

Le Trambus du Pays Basque est un projet reposant sur deux lignes de 25,2 kilomètres au total, traversant les communes de Bayonne, Anglet et Biarritz.





Ces trois communes représentent ensemble une population d'environ 160 000 habitants.

Le problème de la circulation des véhicules dans l'agglomération est récurrent. C'est pourquoi cette dernière a décidé de mettre en place un nouveau service de transport en commun : le Trambus.

Les véhicules de ce projet, développé par la société IRIZAR, installée dans le Pays Basque espagnol, sont des Bus à Haut Niveau de Service (BHNS), 100% électrique, qui fonctionnent exclusivement sur batteries.

Ils sont régulièrement rechargés à chaque terminus par des infrastructures dédiées de charge rapide (3 à 5 minutes). Ce procédé est appelé « biberonnage ».



Le projet inclus la construction de trois parcs relais, situés aux terminus, permettant aux usagers de garer leurs voitures et d'utiliser ce moyen de transport « propre » et rapide.

Travail demandé

Problématique générale : comment le Trambus s'inscrit dans une démarche de développement durable ?

Partie 1 : le Trambus est-il pertinent d'un point de vue sociétal ?

Une étude de mobilité a été réalisée durant l'été 2015, une partie de ces résultats est présentée dans le DT1. Cette étude a été menée dans le but d'envisager une offre de transport en commun alternative. Elle a débouché sur la mise en place d'un Trambus composé de deux lignes nommées T1 et T2.

À partir du DT1 - 1/2 et DT1 - 2/2.

Question 1.1 DT1	**Relever** les arguments démontrant l'urgence d'augmenter l'offre de transport en commun. **Relever** les enjeux du programme du Trambus.
Question 1.2 DT1	**Calculer** l'augmentation de population due aux touristes lors de la première quinzaine du mois d'août. **Indiquer** le mode de transport privilégié par les touristes pour venir sur l'agglomération. **Donner** la part en pourcentage de ce dernier.
Question 1.3 DT1, DR1	Un projet de construction d'un quatrième parking est à l'étude. À partir du DT1, **proposer** sur le DR1 une implantation de ce dernier. **Justifier**, à l'aide du DT1, l'emplacement des parkings relais au vu des origines des véhicules transitant par l'agglomération.
Question 1.4	**Conclure** sur la pertinence du projet du Trambus d'un point de vue sociétal.

Partie 2 : le Trambus en agglomération est-il pertinent d'un point de vue écologique ?

Le choix des bus électriques permet de respecter au maximum l'environnement en réduisant les émissions polluantes dues au bus diesel.

En moyenne, un bus parcourt 200 km par jour. Les constructeurs ont défini l'analyse du cycle de vie des différents types d'autobus sur une durée de vie de 12 ans.

Question 2.1 | En 12 années de 365 jours chacune, **déterminer** la distance parcourue par un bus.

Rappel : $gCO_2e \cdot km^{-1}$ = gramme de CO_2 émis par km.

Question 2.2
DT2

À partir du graphique du DT2, **relever** la quantité de CO_2 par kilomètre émise par un bus diesel.

Pour la distance définie à la question 2.1, **déterminer** la quantité de CO_2 (en tonnes) émise par un bus diesel.

Question 2.3
DT2

À partir du graphique du DT2, **relever** la quantité de CO_2 par kilomètre émise par un bus électrique de type VEB.

Pour la distance définie à la question 2.1, **déterminer** la quantité de CO_2 (en tonnes) émise par un bus électrique de type VEB.

Question 2.4
DT2

Durant un cycle de vie complet, **déterminer** le gain en non-émission de CO_2 d'un bus électrique de type VEB par rapport à un bus diesel.

Question 2.5
DT2

Citer les avantages qui favorisent le choix d'un bus électrique de type VEB par rapport à un bus diesel.

Conclure sur la pertinence du choix du Trambus d'un point de vue écologique.

Partie 3 : le Trambus est-il la meilleure solution d'un point de vue économique ?

L'agglomération espère attirer huit millions de voyageurs par an sur le réseau du Trambus.

Question 3.1
DR 2

Calculer le nombre moyen de voyageurs qui vont transiter chaque jour sur le réseau du Trambus.

Sur le document réponse, **reporter** cette valeur sur l'axe concerné du graphique.

Une étude économique a permis de comparer deux modes de transport électrique : le tramway et le Trambus. Celle-ci vous est présentée dans le DR2.

Question 3.2
DR 2

Pour le nombre de voyageurs calculé à la question précédente, **relever** le coût, pour l'agglomération, d'un voyageur et ceci pour chaque mode de transports.

Question 3.3 | **Conclure** sur la pertinence du projet du Trambus d'un point de vue économique.

Partie 4 : les apports d'énergie électrique sont-ils suffisants pour que les véhicules puissent effectuer les trajets aller-retour quotidiens ?

L'énergie électrique nécessaire au déplacement des véhicules est stockée dans des batteries. La recharge complète des batteries est effectuée au dépôt durant la nuit. Des recharges partielles (biberonnage) sont opérées à chaque terminus durant 5 minutes par l'intermédiaire d'une borne de recharge rapide (voir DT3).

La distance entre les deux terminus Bayonne Marrac et Tarnos Garròs est de 13,3 km. La desserte est assurée par huit véhicules.

L'étude suivante définit l'énergie quotidienne nécessaire pour un bus, afin de rendre le service demandé dans les conditions les plus sévères pour la journée du vendredi.

Question 4.1
DT4 | À partir des horaires définis pour la journée du vendredi, **démontrer** que l'ensemble de véhicules effectue une soixantaine de trajets aller-retour.

Question 4.2 | **Déterminer** le nombre de trajets aller-retour effectué par chaque véhicule (arrondir le résultat au nombre entier supérieur).

Déterminer le nombre de km parcouru par chaque véhicule dans ce cas.

Pour la suite, la distance journalière parcourue par un véhicule sera arrondie à 200 km.

Question 4.3
DT5 | À partir du document technique, **déterminer** l'énergie en kW·h que chaque véhicule doit stocker pour parcourir la distance journalière, dans les conditions climatiques les plus sévères.

Le constructeur indique qu'une batterie peut stocker une énergie de 50 kW·h.

Question 4.4 | **Déterminer** le nombre de batteries nécessaires pour stocker l'énergie totale calculée à la question précédente.

La vue de dessus du véhicule est présentée sur le document technique DT6. Les batteries ne sont pas superposables mais posées côte à côte.

Question 4.5
DT6 | **Déterminer** le nombre maximal de batteries positionnables sur le toit à l'emplacement prévu.

Conclure sur la faisabilité de la solution technique et **justifier** la nécessité du biberonnage.

Le biberonnage permet de recharger partiellement les batteries à chaque terminus durant cinq minutes grâce à un système de pantographe implanté sur le toit. Chaque borne de recharge délivre une puissance égale à 500 kW (voir document DT3).

L'énergie nécessaire pour un trajet d'un terminus à l'autre est estimée à 47 kW·h.

Question 4.6 | **Déterminer** l'énergie (en kW·h) apportée à l'ensemble des batteries durant l'arrêt au terminus. **Comparer** ce résultat avec la consommation sur un trajet.

En début de journée, la recharge étant complète, l'énergie stockée par l'ensemble des batteries est égale à 150 kW·h. Chaque véhicule effectue huit trajets aller-retour par jour.

Question 4.7 | **Déterminer** la charge restant dans la batterie en fin de journée.

Question 4.8 | **Conclure** sur la capacité des véhicules à parcourir les huit trajets aller-retour quotidiens.

Partie 5 : le design de la borne suffit-il à sa propre stabilité ?

Dans cette étude, il va être question de la borne de recharge rapide aux terminus en bout de ligne (Voir photo ci-contre).



Le centre de gravité a comme coordonnées dans le repère (O, x, y) : G (1830, 2090) - voir document DR3.

Le point A modélise, dans le plan de l'étude, le centre de la liaison mécanique de l'action du sol sur la borne : A (2500, 0).

Question 5.1

DR3

À l'aide du schéma de la borne de recharge sur le document réponse DR3, **identifier** le centre de gravité (G), parmi les trois points proposés G1, G2 et G3.

Le poids propre de la borne constitue la charge prépondérante à laquelle elle est soumise. Son enveloppe est composée d'une structure en tôle laquée.

Données

- Masse de l'enveloppe : 144 kg
- Masse des éléments internes à cette borne : 120 kg
- Accélération de la pesanteur : g = 9,81 $m \cdot s^{-2}$

Question 5.2 DR3	**Calculer** le poids (P) de la borne complète puis **représenter** cet effort sur le document réponse. Échelle de représentation : 1 cm → 500 N

Une distance existe entre le centre de gravité et la droite verticale passant par le point A (pied de la borne).

Question 5.3 DR3	À l'aide des coordonnées du centre de gravité G et du point A, **déterminer** la cote séparant G et A en projection sur l'axe x. **Représenter** cette cote sur le document réponse DR3.

Pour garantir l'équilibre de la borne, l'action mécanique du sol sur la borne doit s'opposer à l'action du poids de la borne sur le sol.

Question 5.4	**Déterminer** le type de liaison qui peut permettre de réaliser cette condition d'équilibre.

Partie 6 : le Trambus s'inscrit-il dans une démarche de développement durable ?

Question 6.1 DT7	En synthèse, **conclure** sur le bien-fondé du choix d'un bus électrique d'un point de vue développement durable puis sur la plus-value qu'apporte le système de biberonnage.

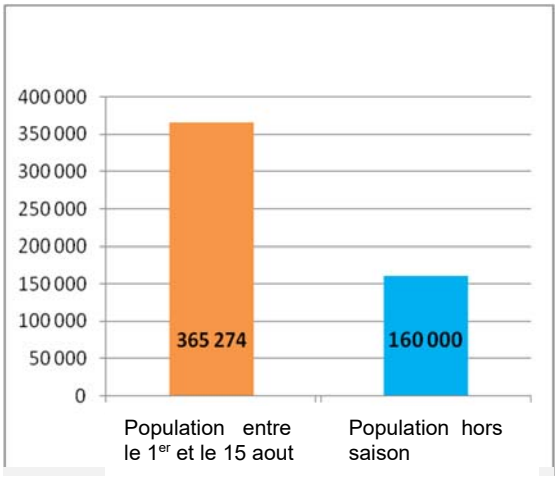
DT1 – 1/2 : étude sur la mobilité (année 2015)

Si rien n'est fait, le territoire de l'agglomération bayonnaise comptera 30% de voitures en plus dans 10 ans. Cette situation conduira inéluctablement, d'ici quelques années, à un engorgement des voies de circulation automobile. C'est pourquoi, dès 2009, les élus ont décidé d'engager une politique volontariste en matière de transports collectifs.

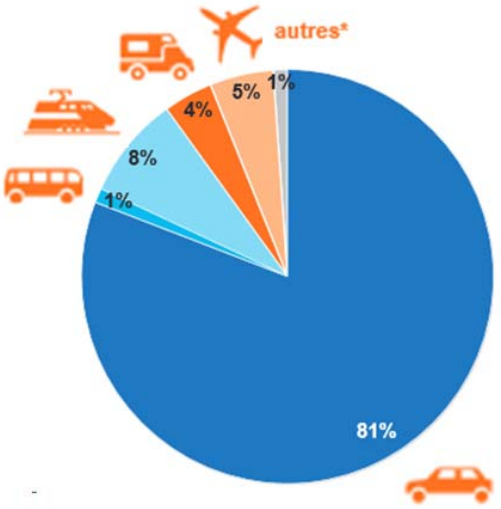
L'objectif est de proposer une offre alternative à la voiture, en mettant en œuvre un nouveau système de mobilité, dans lequel la voiture conserve sa place, mais ne se positionne plus en mode unique. Les élus souhaitent favoriser le report modal de la voiture vers des modes de transport plus responsables et lutter ainsi contre la congestion urbaine. Avec le programme Trambus, les élus espèrent enrayer la logique de « tout voiture » et instaurer une autre culture du déplacement sur le territoire.

Les enjeux du programme Trambus sont multiples :

- maintenir la qualité de vie, véritable atout du territoire, en luttant contre la dégradation engendrée par l'utilisation massive de la voiture (bruit, pollution, embouteillages…) ;
- proposer une solution alternative et fiable de déplacement, même aux heures de pointe ou en pleine saison estivale ;
- offrir une solution de déplacement à budget maitrisé et favoriser la complémentarité des différents modes alternatifs (bus, vélo, marche à pied…).

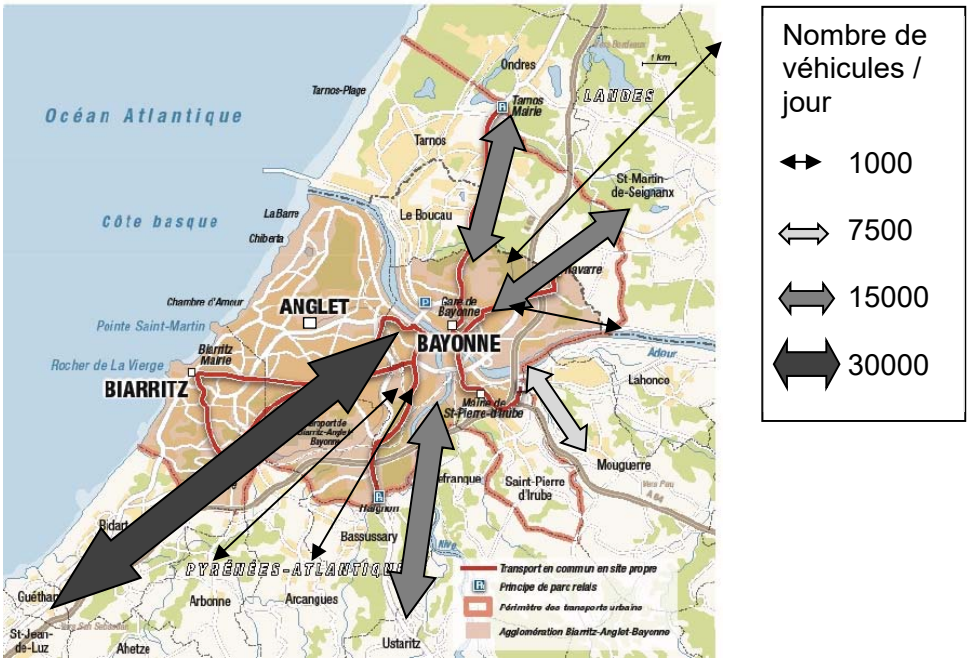


Nombre de personnes présentes sur l'agglomération bayonnaise



Modes de transports privilégiés par les touristes pour venir sur l'agglomération bayonnaise

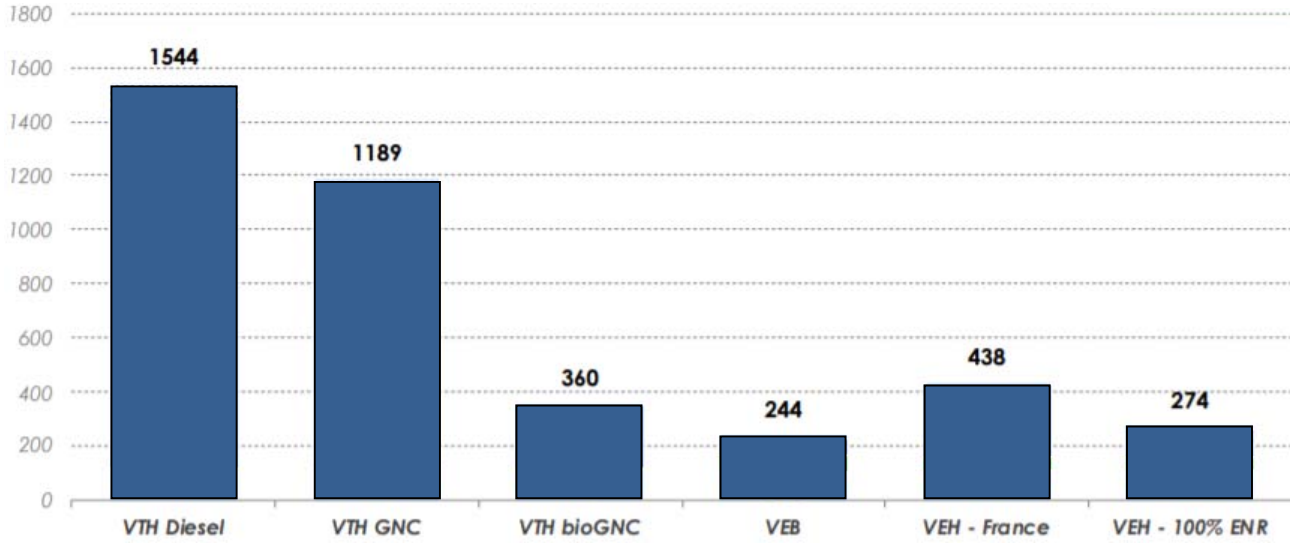
Nombre et origine des véhicules transitant par l'agglomération



DT2 : empreinte carbone suivant le type d'autobus

Glossaire :

- VTH : Véhicule Thermique
- VEB : Véhicule Électrique à Batteries
- VEH : Véhicule à Hydrogène (pile à combustible)
- GNV / GNC / GNL : Gaz Naturel Véhicule / Comprimé / Liquéfié



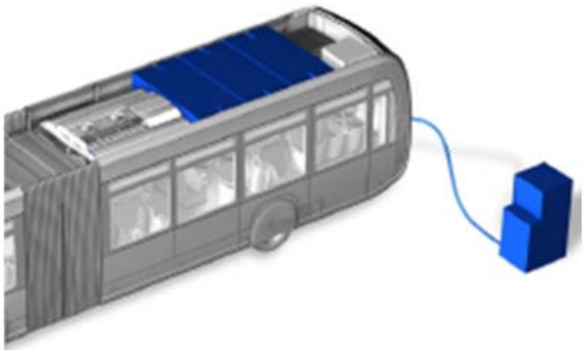
Empreinte carbone moyenne ($gCO_2e \cdot km^{-1}$) sur la durée de vie d'un autobus en France
Les valeurs indiquées correspondent à la totalité des émissions par type de véhicule
Source : Analyse carbone 4

Dans une actualité mise en ligne sur son site en date du 12 novembre 2018, la fédération européenne pour le transport et l'environnement se réjouit de la position de l'Europe en faveur des autobus électriques, et souligne que ces véhicules sont dès aujourd'hui financièrement plus avantageux pour la collectivité que les modèles diesel. À condition de prendre en compte les coûts sanitaires liés aux pollutions atmosphérique et sonore, mais aussi l'impact sur le climat de l'exploitation de ces engins.
Analyste chez Transport & Environnement, Lucien Mathieu indique dans une conclusion qui paraît sans appel : « Les bus électriques sont le meilleur choix à tous les égards. En phase de roulage, ils ne dégagent aucune émission de CO_2 et sont silencieux, confortables et économiques ».
Auteur : Philippe Schwoerer

DT3 : recharge des batteries

La recharge des batteries est effectuée en plusieurs temps :

- une charge lente complète au dépôt par prise Combo2 durant la nuit. La puissance fournie par le chargeur est égale à 50 kW. Le temps de charge est estimé à 3h ;



- des recharges rapides partielles par pantographe à chaque terminal de la ligne. La borne de recharge est implantée au terminal et fournit une puissance de 500 kW. Le temps de charge correspondant au temps d'arrêt du bus est de 5 min.



DT4 : horaires de la ligne T2

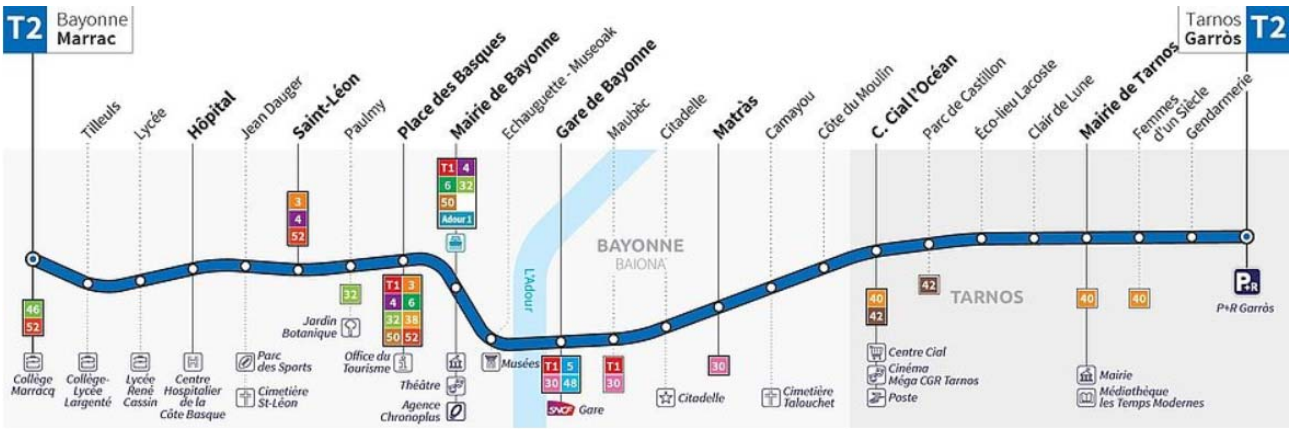
T2

Bayonne Marrac

↕

Tarnos Garròs

Du lundi au vendredi	Le samedi	Le dimanche
De 6h à 7h Toutes les 20 mn	De 6h à 7h Toutes les 30 mn	De 7h30 à 14h Toutes les 1h15
De 7h à 19h Toutes les 15 mn	De 7h à 14h Toutes les 20 mn	De 14h à 20h30 Toutes les 45 mn
De 19h à 00h Toutes les 30 mn	De 14h à 19h Toutes les 15 mn	
	De 19h à 00h Toutes les 30 mn	

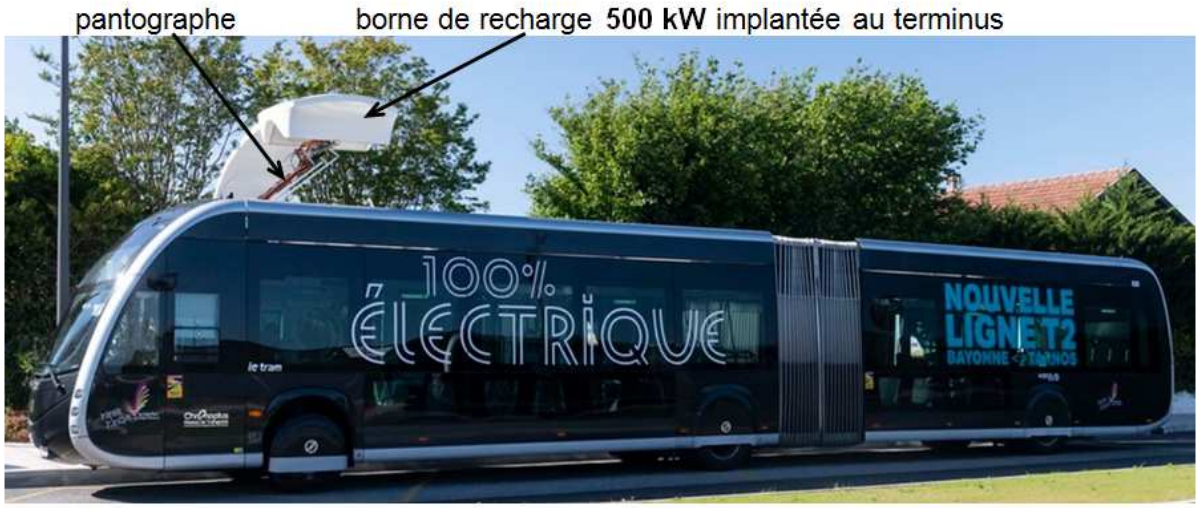


DT5 : taux de consommation

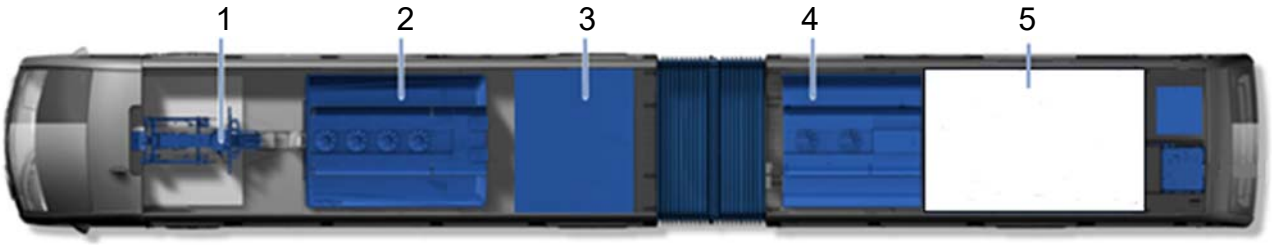
Le constructeur indique les taux de consommation d'un véhicule à km équivalent selon les sources de données.

	Consommation théorique (données constructeur/km)		
	Conditions climatiques moyennes (20- 25°C) à mi charge	**Conditions climatiques moyennes (20-25°C) à pleine charge**	**Conditions climatiques sévères (T°>35°C) et pleine charge**
Taux moyen ($kW \cdot h \cdot km^{-1}$)	2,55	3,2	3,7

DT6 : implantation du matériel sur le véhicule.



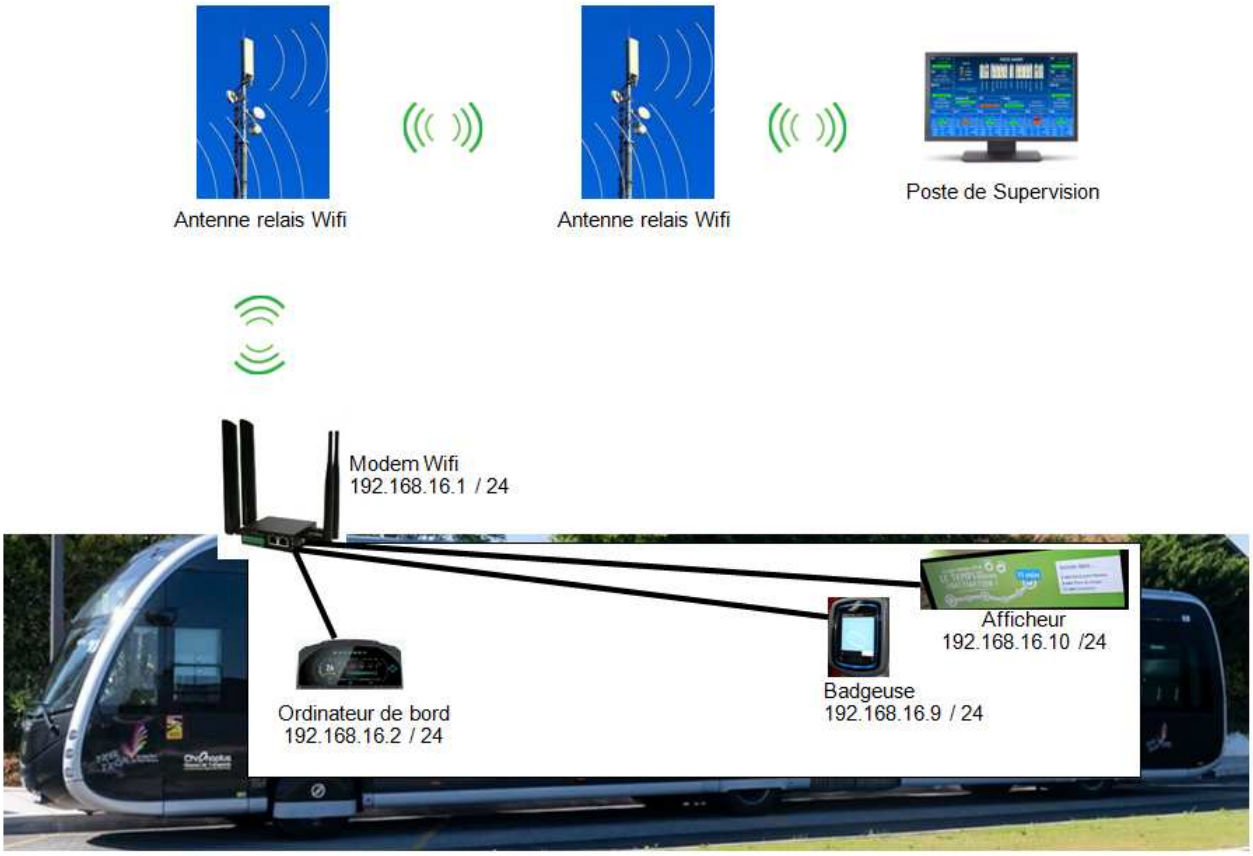
Véhicule en vue de dessus :



Taille d'une batterie représentée à l'échelle : batterie

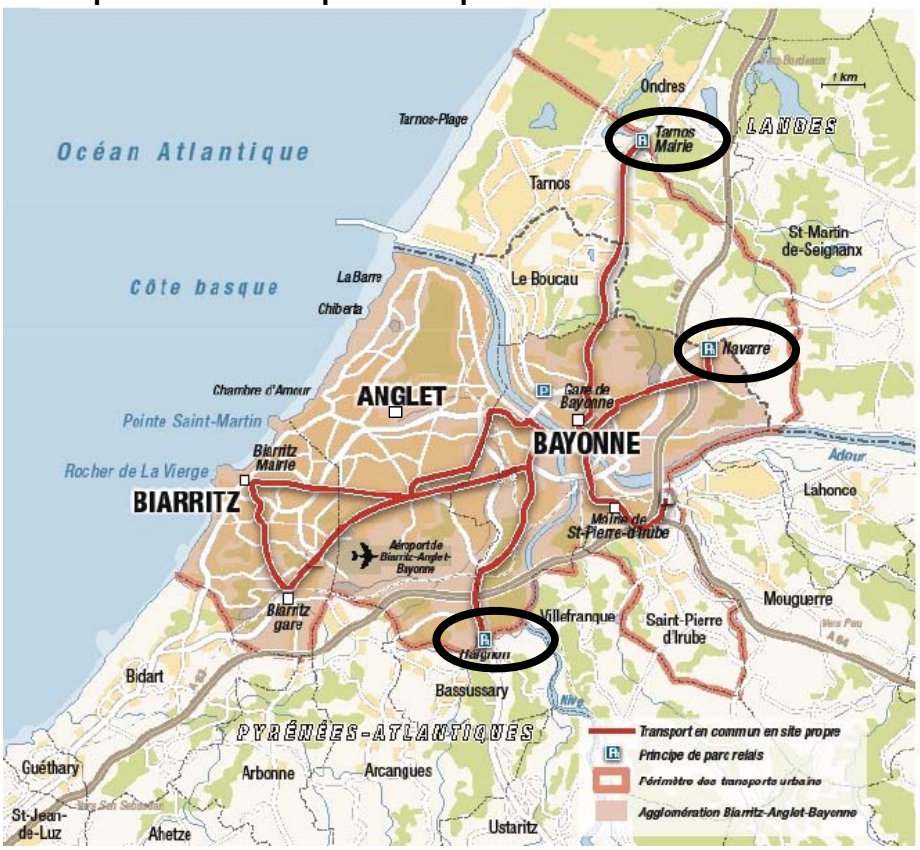
- repère 1 : pantographe pour recharge au terminus
- repères 2 et 4 : systèmes de refroidissement
- repère 3 : matériel auxiliaire
- repère 5 : zone réservée pour l'implantation des batteries alimentant le moteur de traction

DT7 : plan du réseau informatique du Trambus



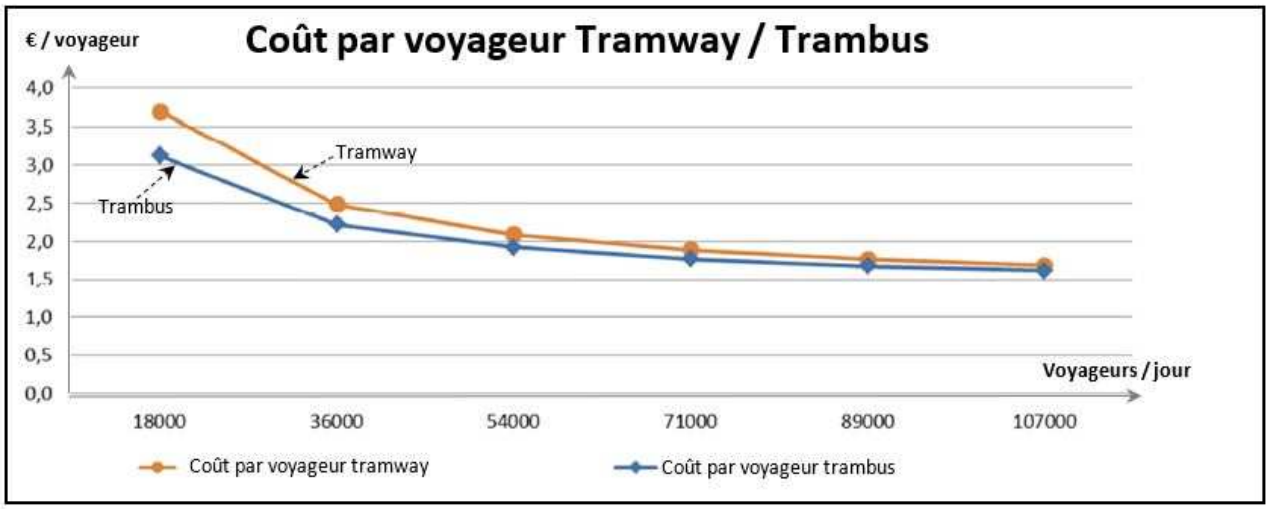
DOCUMENT RÉPONSES DR1

Implantation d'un quatrième parc relais



DOCUMENT RÉPONSES DR2

Coût par voyageur tramway / TramBus



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

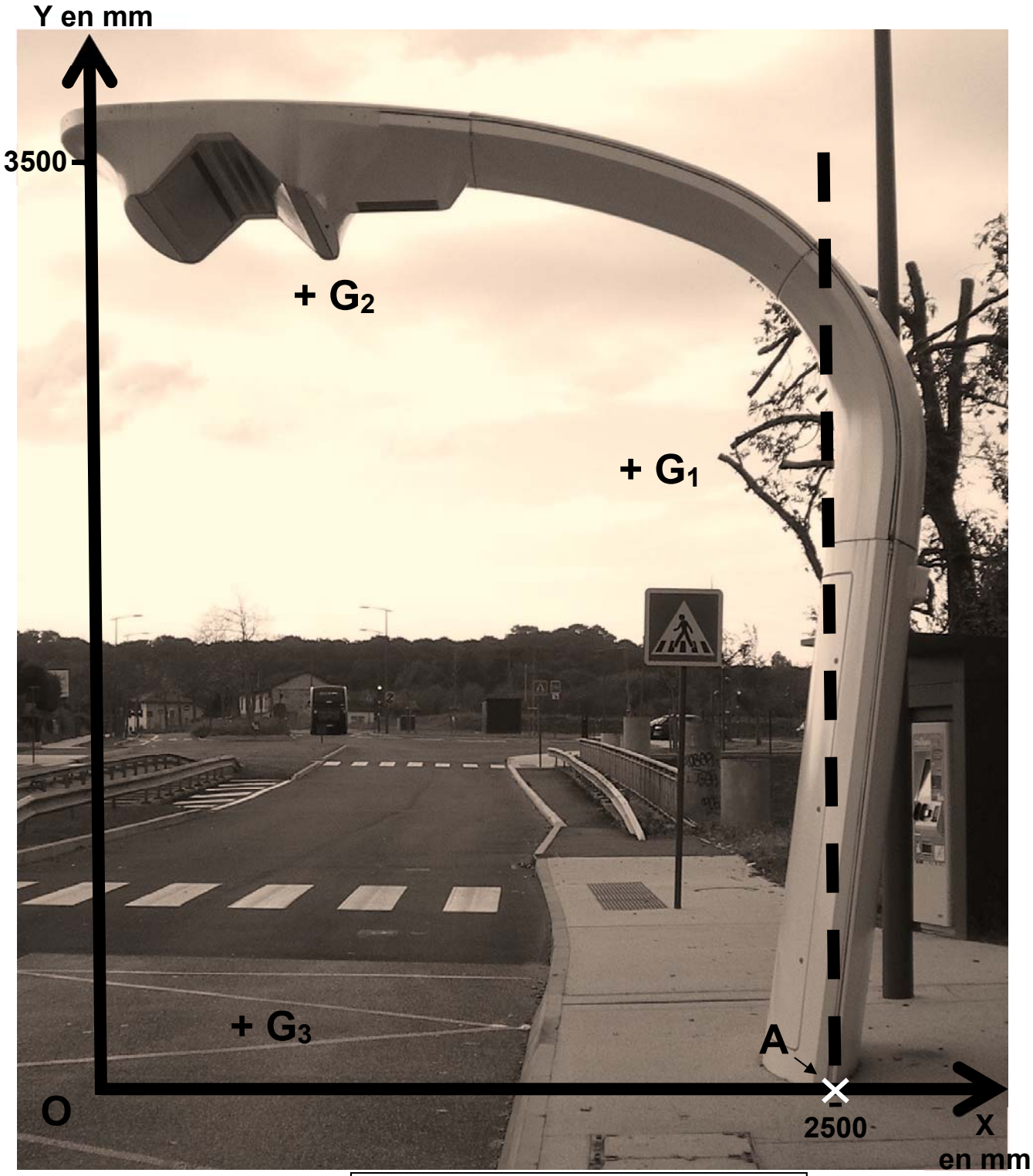
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DOCUMENT RÉPONSES DR3

Schéma simplifié de la borne de recharge



Échelle : 1/20ème

Projection du point de fixation

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

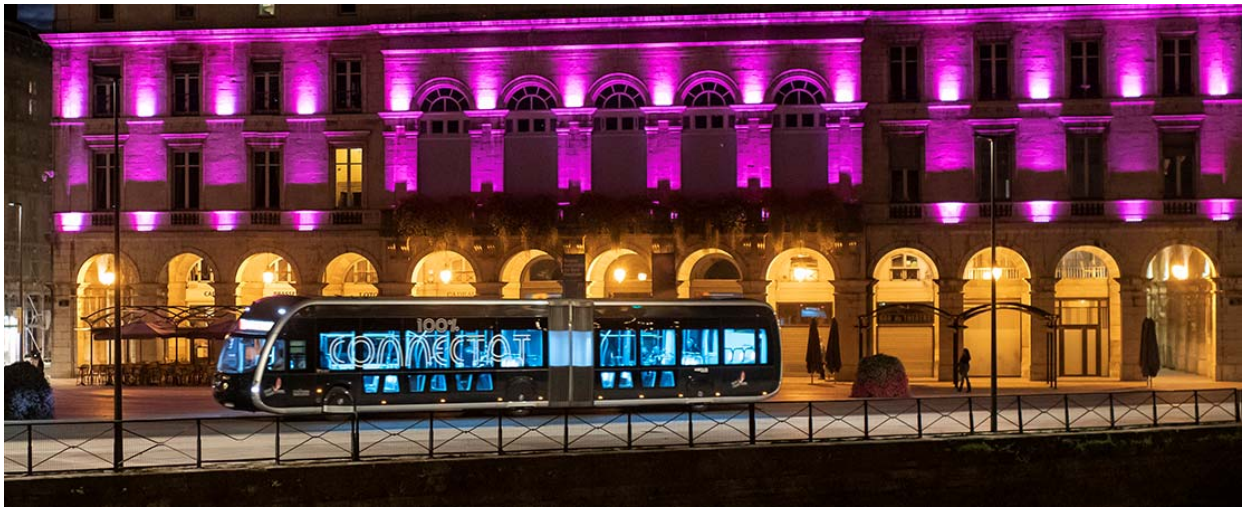
Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

PARTIE enseignement spécifique (1,5h) ..... 8 points

Énergies et Environnement

Trambus au Pays Basque



- **Présentation de l'étude et questionnement.....** pages 19 à 23
- **Documents techniques DTS1 à DTS6** ..... pages 24 à 29
- **Documents réponses DRS1 à DRS4** ..... pages 30 à 31

Partie A : la puissance du moteur est-elle suffisante pour déplacer le véhicule dans les conditions les plus sévères ?

Les caractéristiques du moteur électrique doivent permettre le déplacement du véhicule dans les conditions les plus sévères c'est-à-dire lorsque le bus est en charge (masse) maximale et qu'il se déplace sur un dénivelé maximal.

Question A.1 DRS1	Sur la chaîne de puissance de la motorisation, **repasser** : • en rouge, le flux d'énergie électrique ; • en vert, le flux d'énergie mécanique.

La puissance utile du moteur est égale à 240 kW.

En considérant que le moteur fonctionne dans ses conditions nominales et à partir des informations notées sur la chaîne de puissance :

Question A.2 DRS1	**Déterminer** la valeur de la puissance P_{roues} développée au niveau des roues. **Reporter** cette valeur sur la chaîne de puissance.

Question A.3 DRS1	**Déterminer** les valeurs de la puissance P_{a_moteur} absorbée par le moteur et celle de la puissance P_{batt} délivrée par les batteries dans ce cas. **Reporter** ces valeurs sur la chaîne de puissance.

Le cahier des charges fonctionnel stipule qu'à pleine charge m_{max} (masse maximale) et pour une côte de 18%, le bus doit pouvoir atteindre la vitesse de 12 $km \cdot h^{-1}$.
Dans ces conditions, la force de traction est égale à 53 150 N.
La vitesse étant faible, nous négligerons les pertes dues aux frottements de l'air.

Question A.4	**Déterminer** la valeur de la puissance P_{roue_max} qui doit être développée au niveau des roues dans ce cas.

Question A.5 DRS1	En comparant avec les résultats notés sur le DRS1, **conclure** sur le choix des caractéristiques du moteur du point de vue de sa puissance.

Partie B : les caractéristiques des batteries sélectionnées admettent-elles une conduite saccadée dans les conditions les plus sévères ?

En agglomération, une vitesse moyenne relativement faible avec de nombreuses accélérations et décélérations favorise les motorisations électriques des véhicules permettant la récupération d'énergie lors des décélérations.

Question B.1 DTS1 DRS2	À partir du comparatif des batteries, **compléter** le tableau en indiquant les avantages et les inconvénients de chacune des batteries suivantes : • Plomb - acide ; • Lithium – ion • Lithium - Titanate

Des recharges partielles (biberonnage) sont opérées à chaque terminus durant 5 minutes par l'intermédiaire de bornes de recharge rapide.

Question B.2 DTS1 DRS2	**Justifier**, en argumentant votre réponse, le choix de batteries en lithium – titanate pour alimenter les autobus du Trambus.

Un cycle de fonctionnement entre deux stations est représenté sur le document DTS3.

Question B.3 DTS3 DRS3	Sur le document réponse, **compléter** le tableau en indiquant l'action réalisée par l'autobus à chaque phase d'un cycle entre deux stations.

Lorsque l'autobus décélère, le transfert d'énergie est inversé : les effets d'inertie conduisent à ce que le moteur devienne générateur. Cette énergie est alors récupérée par les batteries. L'étude suivante définira si le mode de conduite souple ou saccadé influe sur la consommation et donc sur l'autonomie du véhicule. Les calculs seront effectués sur une route horizontale pour la phase de décélération et d'arrêt à l'approche d'une station lorsque le véhicule roule à une vitesse initiale v = 50 km·h^{-1}.

Question B.4 DTS2	**Démontrer** que la masse maximale du véhicule est m_{max} = 31 200 kg.

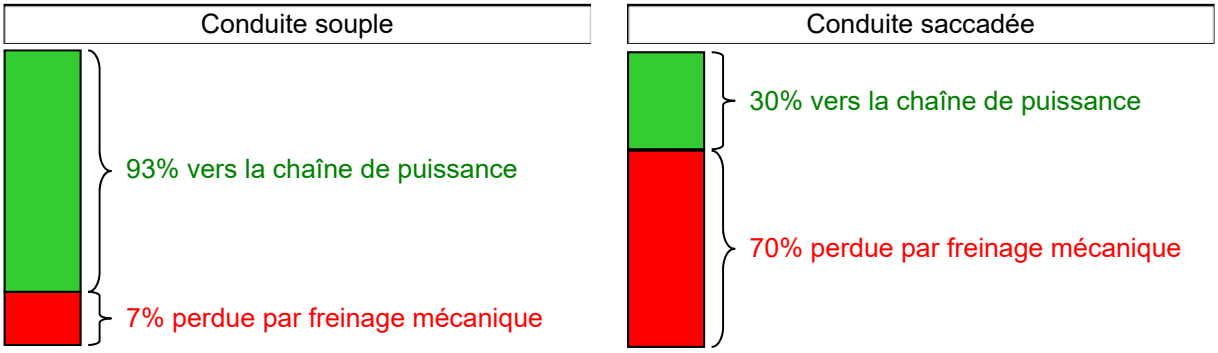
On donne l'expression de l'énergie cinétique : $E_C = \frac{1}{2} \times m \times v^2$

Question B.5	Lors d'une décélération d'une vitesse de 50 km·h^{-1} à 0 km·h^{-1}, **déterminer** la valeur de l'énergie cinétique E_C (en J, puis en W·h) emmagasinée par le bus.

Suivant le mode de conduite, cette énergie cinétique est partiellement restituée vers la chaîne de puissance :

- pour un mode de conduite souple, le conducteur prévoit l'arrêt à l'avance : 93% de l'énergie cinétique sont transférés vers la chaîne de transmission mécanique et électrique ; les 7% restants sont évacués en chaleur par le freinage mécanique lors de l'arrivée à la station ;
- lors d'une conduite saccadée, le conducteur effectue des freinages brusques : 30% de l'énergie cinétique sont transférés vers la chaîne de transmission mécanique et

électrique ; 70% de l'énergie sont évacués en chaleur par le système de freinage mécanique.



En récupération d'énergie, le rendement global de la chaîne de puissance est estimé à $\eta_{global} = 78\%$.

Question B.6	Lors d'une décélération avec un mode de conduite souple**, déterminer** la valeur : • de l'énergie cinétique E_{C_souple} (en W·h) restituée vers la chaîne de puissance ; • de l'énergie électrique $E_{elec_bat_souple}$ (en W·h) restituée aux batteries.
Question B.7	Lors d'une décélération avec un mode de conduite saccadée**, déterminer** la valeur : • de l'énergie cinétique $E_{C_saccadé}$ (en W·h) restituée vers la chaîne de puissance ; • de l'énergie électrique $E_{elec_bat_saccadé}$ (en W·h) restituée aux batteries.

Des relevés ont été effectués durant un trajet d'un terminus à l'autre dans les conditions les plus sévères et avec un mode de conduite souple :

- l'énergie finale absorbée est égale à $E_{trajet_souple} = 47\ kW{\cdot}h$;
- cette valeur prend en compte la somme des énergies $E_{récup_souple} = 14\ kW{\cdot}h$ récupérée par les batteries lors des décélérations.

Question B.8 DRS4	**Reporter** les différentes valeurs précédentes sur le document DRS4. **Déterminer** la valeur de l'énergie $E_{traction}$ délivrée par les batteries pendant les démarrages et les déplacements à vitesse constante du véhicule. **Reporter** la réponse sur le DRS4.

En conduite saccadée, la somme des énergies récupérées lors des décélérations durant un trajet est égale à $E_{récup_saccadé} = 4{,}6\ kW{\cdot}h$.
On considère que l'énergie absorbée $E_{traction}$ pendant les phases d'accélération et de déplacement à vitesse constante est identique, quel que soit le mode de conduite.

Question B.9 DRS4	**Déterminer** la valeur de l'énergie $E_{trajet_saccadé}$ nécessaire pour réaliser un trajet en conduite saccadée. **Reporter** la réponse sur le DRS4.

À chaque terminus, les batteries sont rechargées partiellement pendant 5 minutes par une borne de recharge (biberonnage) avec une énergie de 42 kW·h.
Chaque véhicule effectue 8 trajets aller-retour par jour soit 16 trajets d'un terminus à l'autre ; les énergies nécessaires pour un trajet aller et un trajet retour sont identiques. En début de journée, l'énergie stockée dans les batteries est égale à $E_{bat_init} = 150\ kW{\cdot}h$.

Question B.10	**Vérifier** si le véhicule peut effectuer les 16 trajets dans ces conditions. Sans augmenter la capacité des batteries, **proposer** une solution dans le cas contraire.

Partie C : les caractéristiques des composants constituant les stations de recharge aux terminus permettent-elles de délivrer la puissance de charge nécessaire ?

La connexion entre la source d'énergie électrique de recharge et le bus est effectuée par l'intermédiaire d'un pantographe.

Question C.1 DTS4	En vous aidant du document technique, **indiquer** un avantage et un inconvénient de la solution : • du pantographe embarqué ; • du pantographe inversé.

Question C.2	**Justifier**, en argumentant votre réponse, le choix de la solution avec pantographe embarqué sur chacun des 8 bus circulant sur la ligne T2.

Une des caractéristiques des batteries est la capacité exprimée en A·h.
La formule liant la capacité, l'énergie stockable et la tension de la batterie est :

$$E \text{ (en W·h)} = U \text{ (en V)} \times C \text{ (en A·h)}$$

Question C.3 DTS2	**Déterminer** la valeur de la capacité totale C_{tot} de l'ensemble des batteries.

Les constructeurs conseillent de recharger les batteries lithium – titanate avec un courant équivalent à une fois la valeur de la capacité (1C).

Exemple : batterie 30 A·h → courant = 30 A

Ces batteries admettent aussi des taux de recharge élevés avec un courant équivalent à 4 fois la valeur de la capacité (4C).

Question C.4 DTS2	**Déterminer** la valeur du courant I_{4C} de recharge maximal théorique des batteries avec un taux équivalent à 4C. **Déterminer** la valeur du courant I_{borne} délivré par la borne de recharge au terminus. **Comparer** les valeurs et **conclure**.

Le schéma électrique de la borne de recharge implantée au terminus est représenté sur le document DTS5.
Pendant la charge, les batteries doivent être alimentées sous une tension $U_{charge} = 700\ V$.

Question C.5 DTS5	**Indiquer** le nom du composant repéré A2. **Préciser** sa fonction dans le montage.

Question C.6 DTS6	Sur la documentation technique, **relever** les valeurs de la tension et du courant en sortie du composant A2. **Comparer** ces valeurs avec celles nécessaires pour la charge des batteries. **Conclure** sur la pertinence des caractéristiques du composant A2.

Question C.7 DTS5	**Indiquer** le nom du composant repéré T2. **Préciser** sa fonction dans le montage.

Question C.8 DTS5, DTS6	Sur la documentation technique, **relever** les valeurs : • de la puissance et de la tension en sortie du composant T2 ; • de la puissance et de la tension en entrée du composant A2. **Comparer** ces valeurs entre elles. **Conclure** sur la pertinence des caractéristiques du composant T2.

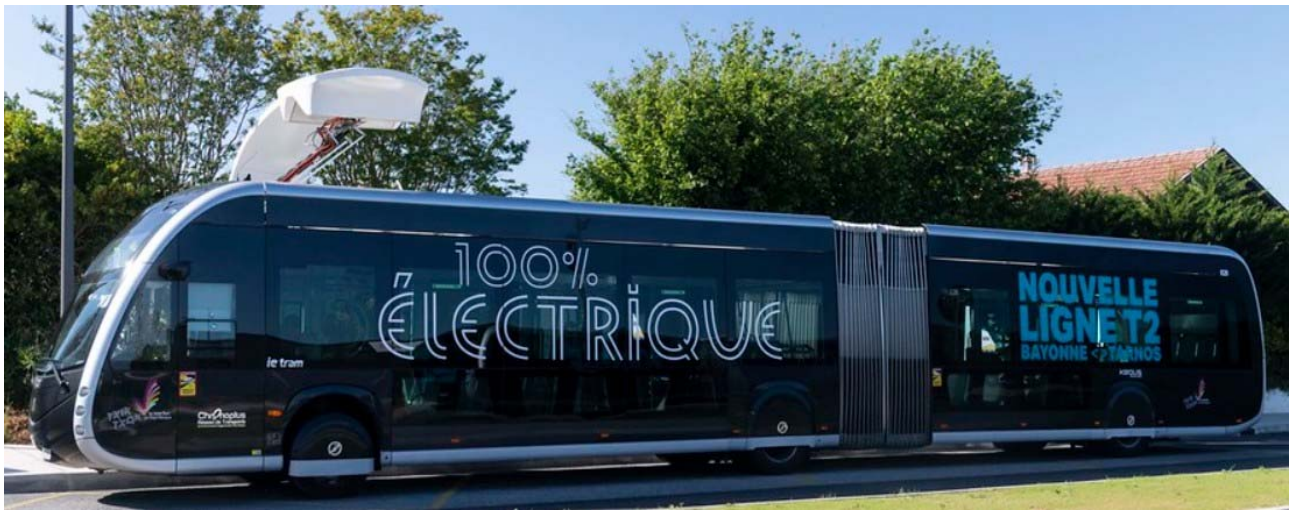
DTS1 : tableau comparatif des technologies des batteries

Type	Densité massique en $W \cdot h \cdot kg^{-1}$	Puissance en pointe en $W \cdot kg^{-1}$	Durée de vie (nombre de recharges)	Autodécharge par mois
Plomb/acide	30-50	700	400 – 1 200	5 %
Ni-Cd	45-80	?	2 000	> 20 %
Ni-MH	60-110	900	1 500	> 30 %
Ni-Zn	70-80	1000	> 1 000	> 20 %
Li-ion	150-190	1500	500 – 1 000	10 %
Li-Po	100-130	250	200 - 300	10 %
Li-PO4 (lithium phosphate)	120-140	800	2 000	5%
LMP (lithium métal polymère)	110	320	4 000	5%
Li-Titanate	80	3000	30 000	10%

Nota : la puissance en pointe ($W \cdot kg^{-1}$) représente les pointes de puissance que peut délivrer la batterie durant un instant sans la détériorer.

Batterie Lithium Titanate :
Cette batterie admet d'être rechargée en moins de 6 minutes, grâce à sa stabilité thermique avec des électrodes en lithium titane et une structure interne résistante aux courts-circuits (point éclair élevé), qui permettent d'utiliser des courants forts sans risques d'explosion. Elle supporte jusqu'à 30 000 cycles de charge/décharge, pour une durée de vie moyenne de 12 ans.

DTS2 : données techniques d'un bus



Données générales.

- Longueur : 18 730 mm (3 essieux)
- Largeur : 2 550 mm
- Hauteur maximale : 3 400 mm

Propulsion : moteur électrique.

- Fabricant : Alconza, Irizar Group
- Puissance nominale utile : 240 kW
- Couple nominal : 2 300 N·m
- Capacité de traction : compris avec des côtes maximales de 18%

Stockage d'énergie.

- Technologie des batteries : Lithium Titanate
- Tension nominale : 625 V
- Energie nominale totale : 150 kW·h (chaque batterie : 50 kW·h ; 625V)
- Charge lente : 50 kW par prise Combo au dépôt de nuit
- Charge rapide : 500 kW par pantographe aux terminus

Zones passagers.

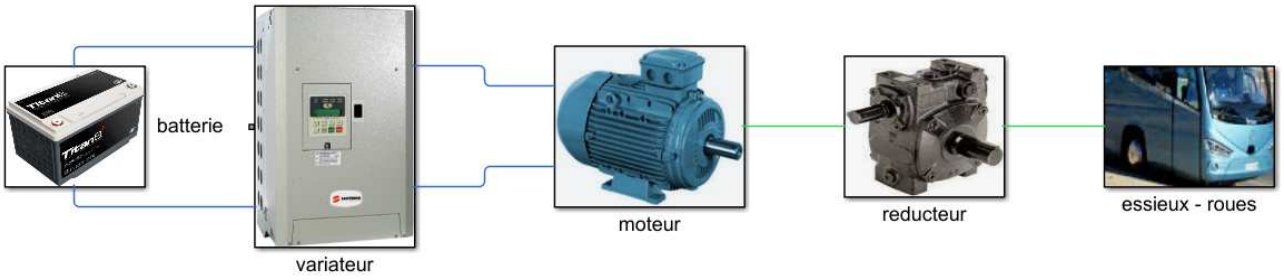
- Nombres de passagers max : 155
- Zones fauteuils roulants : 1 ou 2

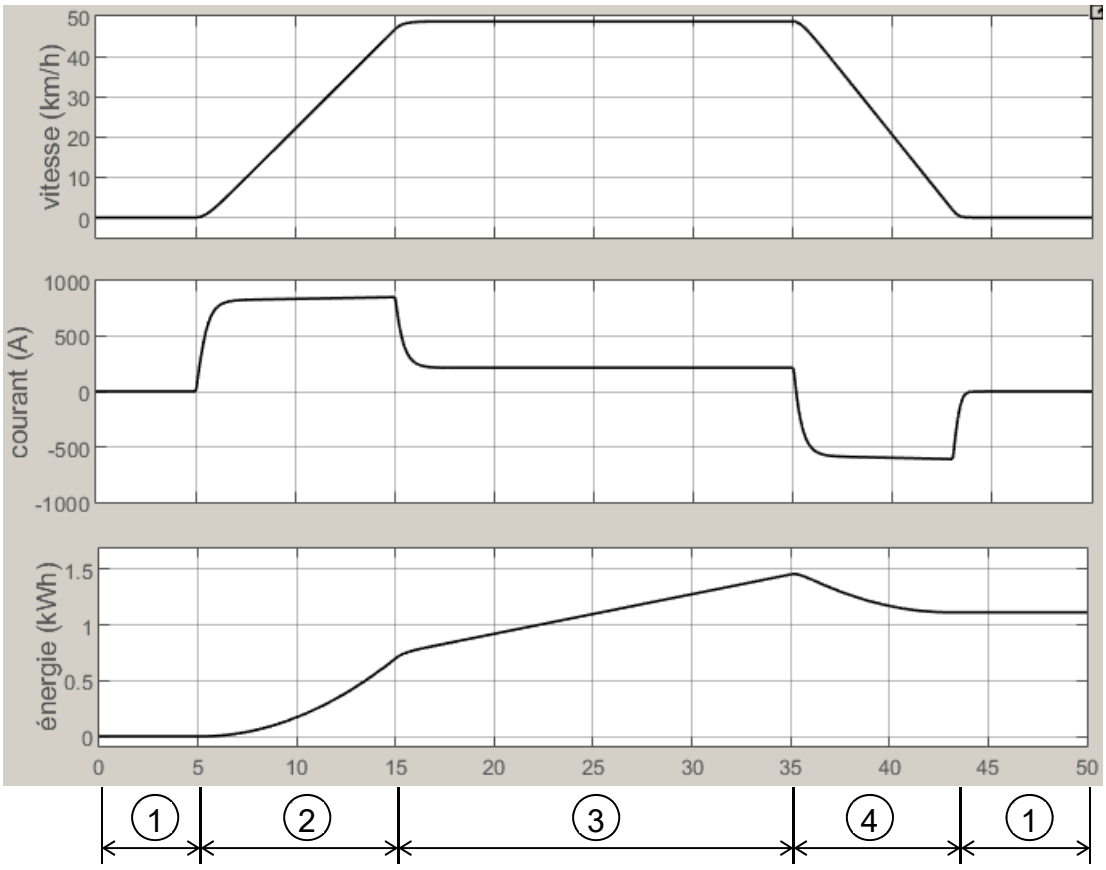
Masses (bus à 3 essieux).

- Masse maximum essieu avant : 8 200 kg
- Masse maximum essieu milieu : 10 000 kg
- Masse maximum essieu arrière : 13 000 kg

Ces valeurs correspondent au bus à pleine charge.

DTS3 : simulation d'un cycle de fonctionnement entre 2 stations





DTS4 : types de pantographes

Des recharges partielles des batteries sont effectuées aux terminus.
Il existe deux types de pantographes :

- les pantographes embarqués ;



L'alimentation électrique est raccordée au connecteur fixé sur un mat de charge fixe au terminus.



Chaque bus est doté d'un pantographe (coût d'installation plus important).
De masse 80 kg, il est fixé sur le toit du bus.
En cas de panne, seul un bus est concerné par le défaut.

À l'arrivée du bus au terminus, le conducteur fait déployer le pantographe.

- les pantographes inversés (intégrés dans l'infrastructure du terminus).



L'alimentation électrique est raccordée au pantographe fixé sur un mat au terminus.
Une panne de ce pantographe affecte tous les bus de la ligne.



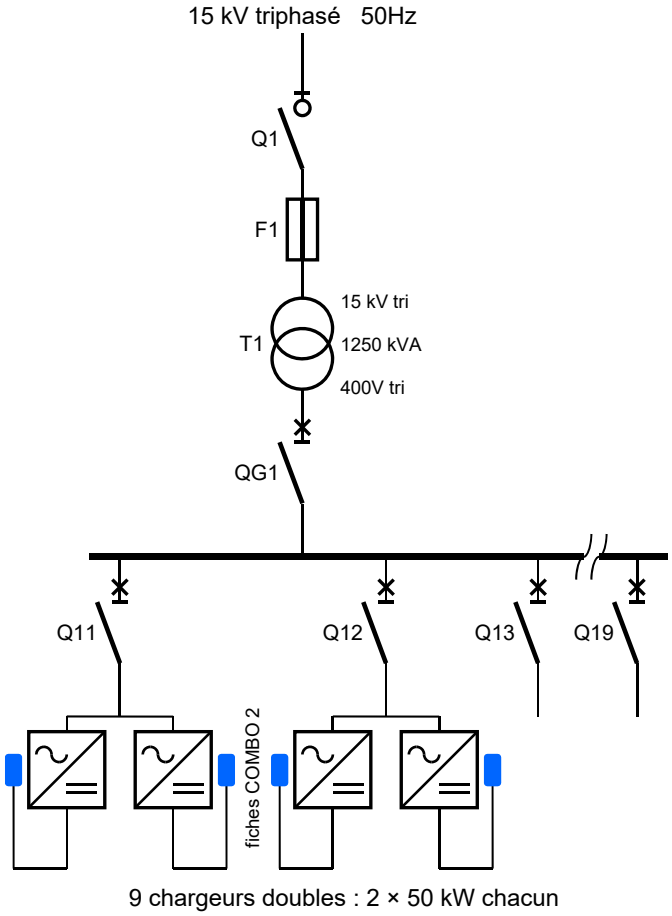
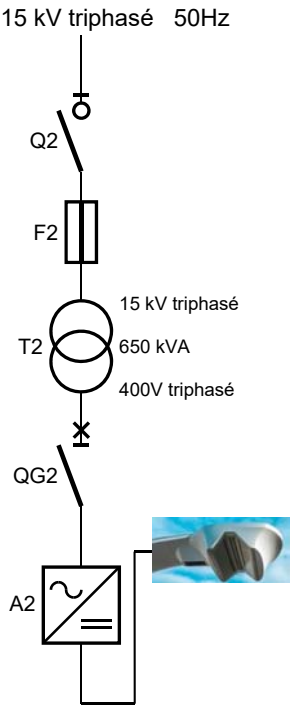
Le connecteur est fixé sur le toit du bus (4 kg).

À l'arrivée du bus au terminus, le conducteur fait déployer le pantographe.

DTS5 : infrastructures des stations de charge

Les infrastructures de charge des batteries sont de deux types :

- Une charge lente de nuit au dépôt : le dépôt est équipé de neuf chargeurs doubles, d'une puissance nominale 2 x 50 kW chacun, permettant de charger simultanément et en quelques heures les 18 rames des lignes T1 et T2. Chaque chargeur est muni de deux sorties DC qui permettent de charger deux bus en même temps. La charge s'effectue par câble via la prise COMBO 2 femelle située à l'arrière du bus.
- Des charges partielles rapides au terminus : la ligne de Trambus T2 compte deux stations de charge rapide fonctionnant de manière identique. La charge s'effectue par le pantographe amovible situé sur le toit du véhicule qui se connecte au mât de charge raccordé au chargeur situé dans le local de charge. La puissance nominale de charge est égale à 500 kW.

Charge lente au dépôt	Charge rapide au terminus
 9 chargeurs doubles : 2 × 50 kW chacun	
	

DTS6 : spécifications techniques des redresseurs

Charge lente au dépôt.

La référence des redresseurs installés au dépôt est ECID50X.

DONNÉES D'ENTRÉE	
Tension AC	400 V AC 3ph + N
Puissance AC max.	102 kVA
Courant max. entrée	163 A
Fréquence	50 Hz
DONNÉES DE SORTIE	
Puissance sortie (Pnom)	2 × 50 kW
Plage tension de sortie (Vnom)	480 – 800 V DC
Courant max.	2 × 105 A
DONNÉES GÉNÉRALES	
Température de fonctionnement	-20 °C à +50 °C
Dimensions (h × l × p)	1800 × 800 × 800
Poids	1000 kg
Indice de Protection (IP)	IP54
Protection mécanique (IK)	IK10

Extrait de la fiche technique du redresseur ECID50X

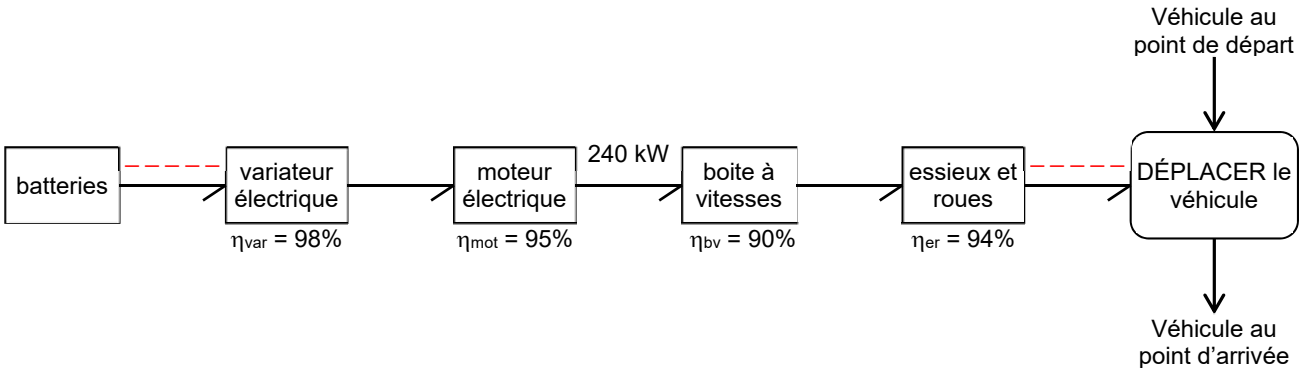
Charge rapide aux terminus.

La référence des redresseurs installés à chaque terminus est indoor I2E 500 kW.

DONNÉES D'ENTRÉE	
Tension AC	400 V AC 3ph + N
Puissance AC max.	550 kVA
Courant max. entrée	1200 A
Fréquence	50 Hz
DONNÉES DE SORTIE	
Puissance sortie (Pnom)	500 kW
Plage tension de sortie (Vnom)	450 – 875 V DC
Courant max.	1000 A
DONNÉES GÉNÉRALES	
Température de fonctionnement	-10 °C à +50 °C
Dimensions (h × l × p)	2000 × 2800 × 750
Poids	2350 kg
Indice de Protection (IP)	IP20

Extrait de la fiche technique du redresseur indoor I2E 500 kW

DRS1 : chaîne de puissance



DRS2 : comparatif des technologies des batteries

Type de batterie	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
Plomb/Acide		
Li-ion		
LI-Titanate		

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

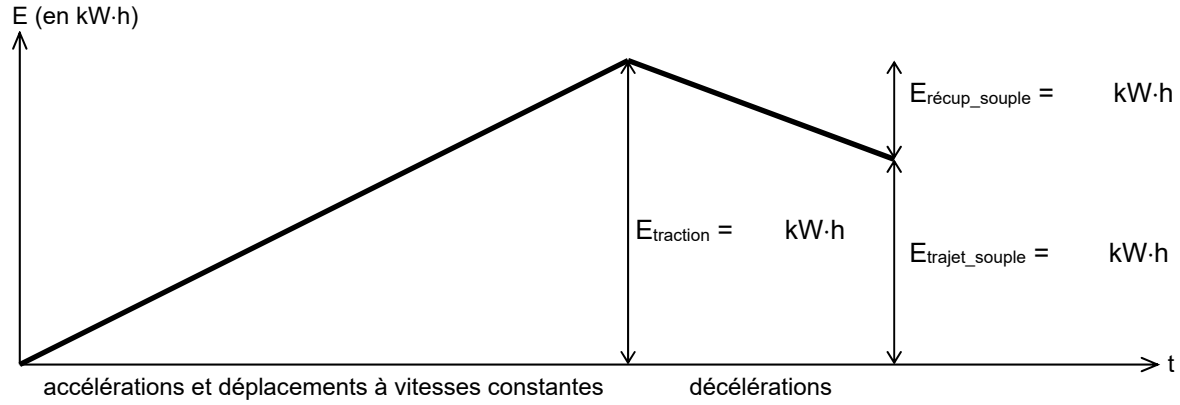
1.2

DRS3 : cycle de fonctionnement entre deux stations

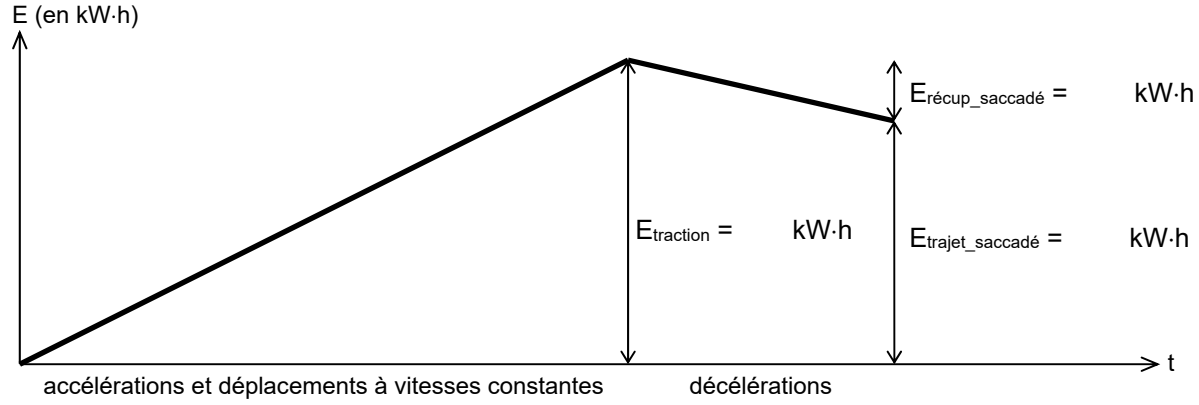
Phase	Action réalisée par le véhicule
1	
2	
3	
4	

DRS4 : récupération de l'énergie cinétique lors des freinages

Bilan des énergies dans le cas d'une conduite souple :



Bilan des énergies dans le cas d'une conduite saccadée :



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.