

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SÉRIE SCIENTIFIQUE

ÉPREUVE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Session 2014

Durée de l'épreuve : 4 heures

Coefficient 4,5 pour les candidats ayant choisi un enseignement de spécialité autre que sciences de l'ingénieur.

Coefficient 6 pour les candidats ayant choisi l'enseignement de sciences de l'ingénieur comme enseignement de spécialité.

Aucun document autorisé

Calculatrice autorisée, conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999



Rénovation du réseau de transports urbains de Dijon

Constitution du sujet

- **texte** pages 3 à 15
 1. *Problématique générale*
 2. *Analyse du besoin*
 3. *Dijon à l'heure de l'éco-mobilité*
 4. *Analyse de la solution retenue bus hybride et tramway pour limiter la consommation d'énergie*
 5. *Étude du centre d'exploitation*
 6. *Production de chauffage à partir des eaux usées*
 7. *Conclusion sur la problématique du sujet*
- **documents techniques**..... pages 16 à 22
- **documents réponses**..... pages 23 à 25

Le sujet comporte 28 questions

Les documents réponses DR1 à DR3 (pages 23 à 25) sont à rendre avec les copies.

1. Problématique générale

L'accessibilité et la mobilité sont des préoccupations incontournables dans la gestion et le développement des agglomérations.

Le projet d'aménagement urbain du Grand Dijon porte sur la réorganisation du réseau de transport collectif, mais son impact est plus large : il conduit à une redéfinition des espaces publics et à une rénovation de certains bâtiments.

Dans ce cadre, l'étude proposée permet d'évaluer la pertinence de certaines solutions choisies par la communauté urbaine de Dijon pour limiter la consommation d'énergie en adaptant les moyens de transport, en utilisant l'énergie solaire et en optimisant la production de chauffage.

2. Analyse du besoin

Le réseau de transports en commun du Grand Dijon (agglomération de Dijon regroupant 24 communes et 250 000 habitants) était assuré jusqu'en 2012 par sept lignes de bus.

Malgré une fréquence de passage des bus importante (quelques minutes entre deux bus) et des horaires de circulation étendus (de 6 h du matin à minuit), le niveau de saturation était atteint avec 150 000 voyageurs transportés quotidiennement. La densification de la circulation urbaine sur Dijon entraînait par conséquent, une baisse de la vitesse moyenne des bus (voir figure 1).

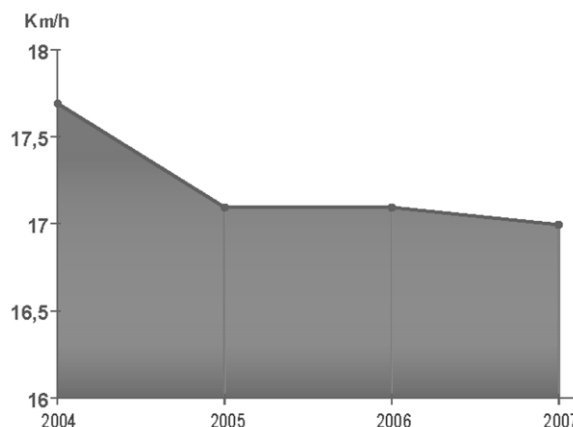


Figure 1 : évolution de la vitesse moyenne sur le réseau de bus

Toutefois, ce réseau de bus permettait à 95 % des habitants de disposer d'une ligne à moins de 300 m de chez eux.

Au cours des réflexions menées en vue de la rénovation et de l'amélioration du réseau de transports, le choix s'est porté sur la création de deux lignes de tramway desservant les axes prioritaires (zones à forte densité de population, équipements collectifs, services, commerces), et sur la mise en place de lignes de bus hybrides (alimentés en carburant et électricité). Ces changements permettent une augmentation des possibilités de transport, tout en conservant la proximité de réseau pour les usagers. Le nouveau réseau transporte 220 000 passagers par jour. Grâce à des couloirs de circulation réservés, la vitesse moyenne sur les lignes de tramway est de $19 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Objectif de cette partie : **analyser** les choix de modes de transport retenus.

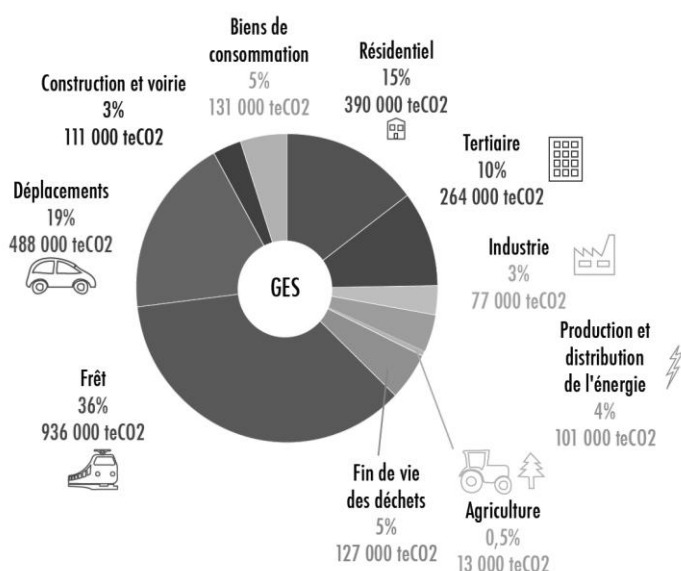
Q1. Lister les avantages procurés par la mise en place des deux lignes de tramway. **Justifier** le maintien d'un réseau de bus.

3. Dijon à l'heure de l'éco-mobilité

Dans le cadre de la stratégie nationale du développement durable (SNDD), et en accord avec les objectifs nationaux sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre et de la maîtrise des consommations énergétiques, l'agglomération du Grand Dijon s'est engagée dans la réalisation du bilan carbone de ses activités.

Un bilan carbone est un diagnostic complet permettant d'estimer les émissions de gaz à effet de serre (GES) engendrées directement et indirectement par une activité. L'objectif étant, une fois le constat établi, de déterminer un plan d'action visant à réduire ces émissions, et de contribuer ainsi à la lutte contre le changement climatique.

Les objectifs de réduction d'émissions de GES à l'horizon 2020 prévoient une réduction de 42 % des émissions du secteur des transports, dont près de 10 % du seul fait des mesures de réorganisation des mobilités (rénovation du réseau de transports et incitation à l'usage des transports en commun).



En 2005, un bilan carbone de référence a été établi à l'échelle du Grand Dijon. Les résultats de cette étude montrent que les déplacements de personnes représentent 19 % des émissions de GES (voir figure 2) soit 488 000 teCO₂ (tonne équivalent CO₂).

Au moment de l'étude, les déplacements annuels représentaient 5×10^9 km·passager.

Parmi ces déplacements, 53 % étaient réalisés en voiture, le reste en bus.

Figure 2 : émissions de GES par le Grand Dijon en 2005

Remarque : le km·passager correspond à un déplacement d'un km par passager. Ainsi le transport de 20 passagers sur un parcours de 10 km équivaut à un déplacement de 200 km·passager.

Objectif de cette partie : **justifier** la nécessité de développer les transports en commun.

Q2. Vérifier, d'après les données précédentes (déplacements annuels et part de la voiture dans les déplacements), que les émissions de GES dues aux déplacements s'élevaient à 488 000 teCO₂ en 2005, sachant que les rejets de CO₂ par km·passager sont de 140 g pour un trajet en voiture, contre 50 g pour un trajet en bus.

Grâce à la réorganisation des mobilités, la part de la voiture devrait passer à 40 %.

Q3. Calculer la nouvelle valeur des dégagements de GES dans ce scénario de réduction de la part de la voiture, avec des déplacements annuels inchangés. **Évaluer**, sous la forme d'un pourcentage, la baisse par rapport à la valeur de 2005. **Conclure** sur la possibilité d'atteindre l'objectif d'une baisse de plus de 10 % des émissions de GES dans le secteur des transports, par une réorganisation des modes de déplacement en ville.

Q4. À partir des données du document technique DT1, **calculer** la consommation d'énergie de la flotte de bus Divia avant l'arrivée du tramway (2009) et après l'arrivée des bus hybride (2013). **Déterminer**, en kW·h et sous la forme d'un pourcentage, l'économie d'énergie réalisée.

Le document technique DT1 indique les caractéristiques de la flotte de véhicules du réseau de transport public en 2009 et en 2013.

Q5. À partir du document technique DT1, **déterminer** la quantité annuelle de CO₂ émise par passager transporté en 2009 et en 2013. **Conclure** quant à l'objectif annoncé du Grand Dijon de faire baisser notablement les émissions de GES dues aux déplacements.

4. Analyse de la solution retenue « bus hybride et tramway » pour limiter la consommation d'énergie

Objectifs de cette partie : vérifier l'économie d'énergie annoncée par les constructeurs pour ces nouveaux modes de transport de passagers. Analyser les écarts entre des résultats mesurés sur le réel et ceux issus d'une simulation d'un modèle multi-physique.

Étude de la récupération d'énergie des bus hybrides

Le fabricant des bus hybrides Heuliez utilise deux dispositifs d'économie d'énergie : la récupération d'énergie lors des freinages et la coupure du moteur lors des arrêts (système « Start and Stop »).

Dans la suite, l'étude se limite uniquement à la récupération d'énergie lors des freinages du véhicule. Heuliez annonce que ce dispositif permet d'économiser environ 20 % d'énergie.

L'étude portera sur la ligne « LIANE 7 ». Le profil du parcours est présenté sur la figure 3. Pendant ce trajet le bus doit s'arrêter 11 fois. La distance moyenne entre les arrêts est de 355 m. Le bus fait des allers-retours sur cette ligne.

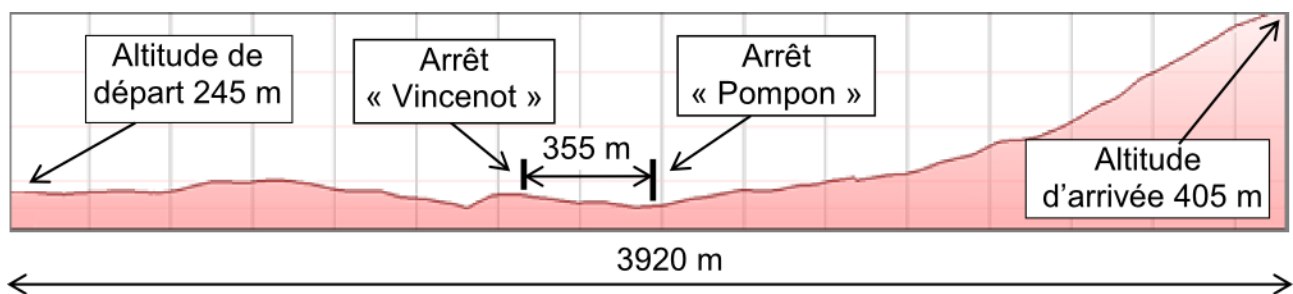


Figure 3 : profil du parcours de la LIANE 7

Q6. Le document réponse DR1 représente les différentes phases d'un parcours de bus entre deux arrêts. **Repérer**, sur ce document, les phases : freinage (FR), arrêt (AR), vitesse constante (VC), accélération (AC).

Entre les deux arrêts « Vincenot » et « Pompon » le bus circule dans un couloir prioritaire. Il répond à la loi de vitesse simplifiée représentée sur la figure 4.

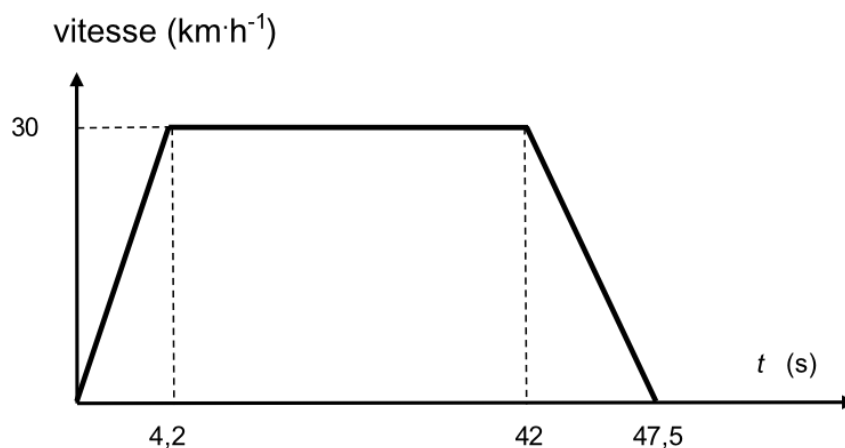


Figure 4 : profil de la vitesse du bus hybride

Configuration pour tous les bus (gasoil, GNV, hybride)

Caractéristiques pour un bus en configuration normale :

- 26 places assises + conducteur + 50 places debout ;
- masse à vide : 12 000 kg ;
- masse d'un passager : 70 kg en moyenne.

Q7. Pour une configuration normale du bus, **calculer** l'énergie cinétique E_c du bus, lorsqu'il roule en translation à la vitesse constante de $30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Pendant les phases d'accélération et de vitesse constante, le moteur thermique (diesel) entraîne une génératrice qui va produire du courant pour alimenter le moteur électrique et charger les batteries du bus (voir document technique DT2).

Pendant la phase de freinage, l'énergie cinétique du bus est transformée par la transmission en énergie mécanique E_M . Le rendement de la transmission prend en compte les pertes dues à la résistance au roulement du bus et les frottements de l'air. Le moteur électrique va devenir générateur et va charger les batteries avec une énergie électrique E_{ch} . La figure 5 présente une partie de la chaîne d'énergie.

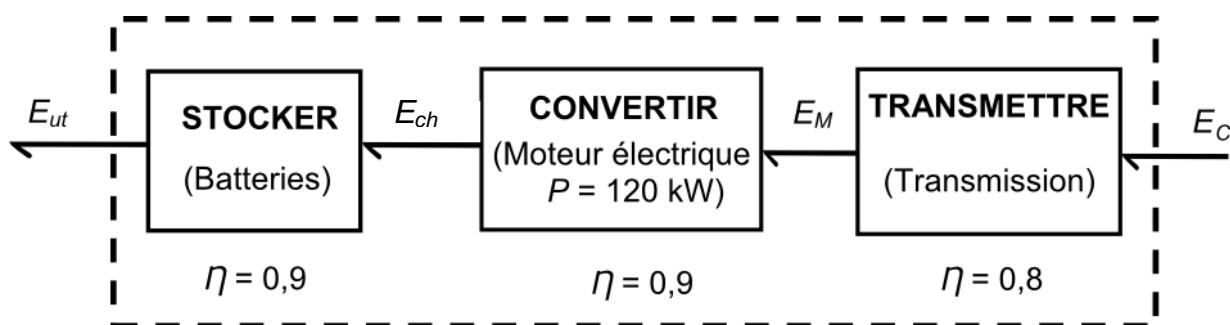


Figure 5 : chaîne d'énergie partielle

Q8. **Calculer** l'énergie électrique utilisable E_{ut} générée lors de chaque arrêt du bus, suite à un parcours à vitesse constante de $30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; E_{ut} sera exprimée en kilojoule (kJ).

Un calcul a permis de déterminer l'énergie électrique consommée par le moteur électrique pendant la phase d'accélération $E_{acc} = 1,15 \times 10^3 \text{ kJ}$.

Au cours de la phase à vitesse constante, le moteur électrique du bus consomme 15 % de sa consommation à puissance nominale.

La puissance électrique consommée par le moteur en régime nominal vaut $P = 120 \text{ kW}$.

Q9. **Calculer** l'énergie électrique, notée E_{vc} , fournie par le moteur électrique pendant la phase où le bus roule à vitesse constante (voir figure 4). **Calculer** sur le tronçon Vincenot-Pompon, le gain d'énergie récupérée au freinage par rapport à l'énergie dépensée pour le déplacement. Le résultat sera exprimé sous la forme d'un pourcentage.

Q10. **Conclure** sur l'économie d'énergie annoncée par le constructeur. **Préciser** qualitativement ce qu'il advient de l'économie d'énergie pour une distance beaucoup plus grande entre les arrêts. **Justifier** le choix de ce type de bus pour une utilisation urbaine.

Étude de la récupération d'énergie des rames du tramway (document technique DT2)

Alstom, le fabricant du tramway, a développé un système de récupération de l'énergie pendant la phase de freinage. Ainsi, le moteur de traction génère de l'électricité pendant les phases de freinage. L'énergie produite est restituée aux caténaires et peut donc être réutilisée par une autre rame.

Important : pour bénéficier de l'apport énergétique produit par le freinage d'une rame venant en sens inverse, la distance entre les rames doit être inférieure à 100 m.

Si aucune rame ne se situe à moins de 100 m, l'énergie de freinage ne pourra pas être réutilisée. Il faut alors transformer l'énergie électrique en énergie thermique par l'intermédiaire de résistances. On parle alors de freinage « rhéostatique ».

Pour les arrêts d'urgence et pour stopper totalement les rames, les bogies sont équipés de freins mécaniques.

Le document réponse DR2 présente différents chemins suivis par l'énergie pour quatre phases de fonctionnement différentes.

Q11. Compléter le document réponse DR2 en indiquant le nom correspondant aux phases A, B et D, sachant que la phase C correspond à un freinage mécanique.

Pour minimiser la dépense d'énergie au démarrage et bénéficier au mieux de l'énergie produite lors du freinage d'une rame venant en sens inverse (rame 2), la gestion du cycle de démarrage de la rame à l'arrêt (rame 1) est gérée par l'algorithme présenté à la figure 6.

T_1 : durée de présence en station de la rame 1 à l'arrêt.

T_2 : durée précédant l'arrivée en station de la rame 2.

Le bloc « Démarrer » est un sous-programme qui déclenche le départ de la rame.

Règle de fonctionnement : la rame 1 démarre lorsque la rame 2 est située à moins de 100 m de la station. La durée de l'arrêt en station doit être au minimum de 20 secondes et au maximum de 60 secondes.

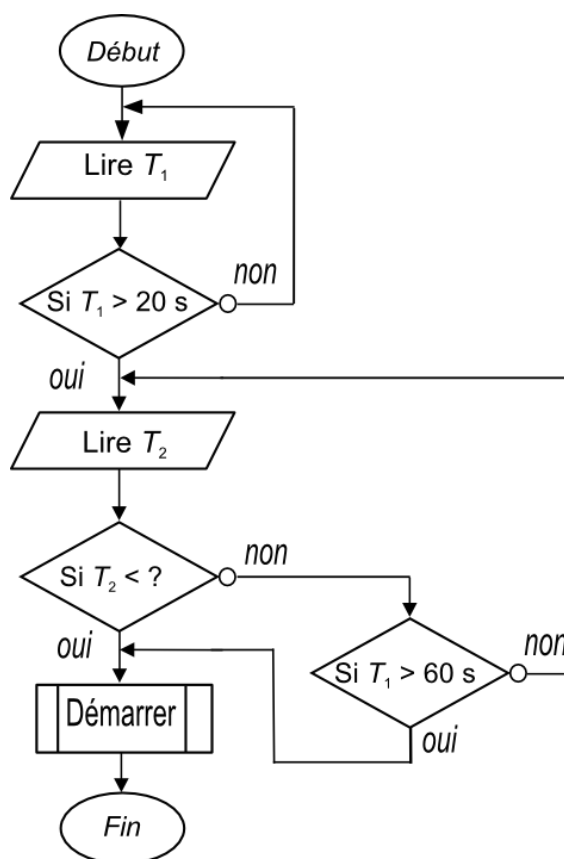


Figure 6 : algorithme de la gestion du démarrage d'une rame de tramway

Q12. D'après les courbes du document réponse DR1, **évaluer** la durée mise par une rame pour parcourir les 100 m précédant son arrêt en station. **Faire** apparaître les tracés sur la figure du document réponse DR1. **Compléter** sur copie la condition de test « si $T_2 < ?$ » de la figure 6.

Le dossier technique DT3 présente un modèle multi-physique d'un bogie d'une rame de tramway dont la constitution est précisée sur le document technique DT2.

La figure 7 présente les valeurs de la tension et du courant dans les caténaires. Les courbes sont obtenues par simulation, pour un trajet au profil plat et sans vent avec les caractéristiques cinématiques données dans le document réponse DR1.

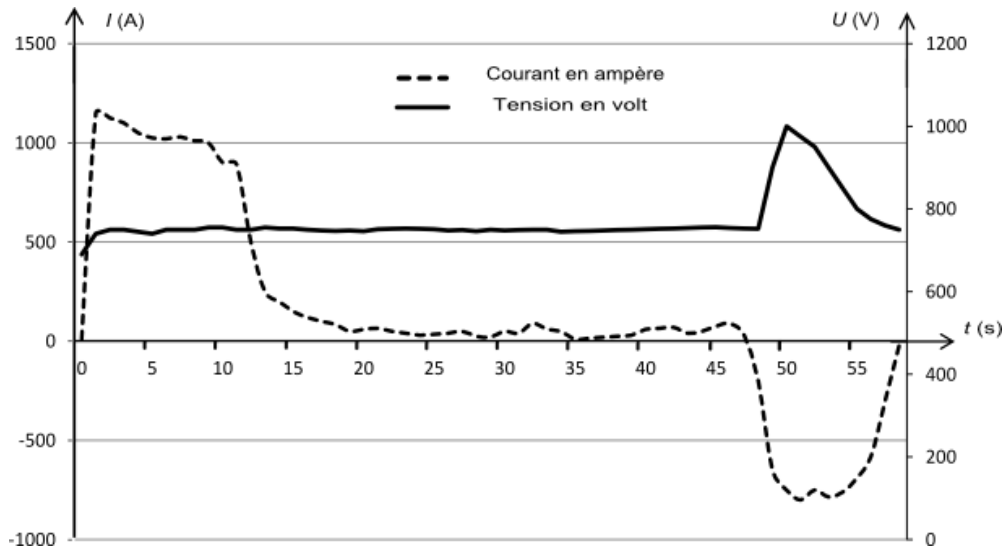


Figure 7 : courbes de la tension et du courant en fonction du temps

Q13. À partir des courbes de la figure 7, **relever** la durée de la zone de freinage avec récupération, et **indiquer** l'instant où la puissance récupérée est maximale. **Estimer** cette valeur de puissance.

Les courbes de la figure 8 présentent la puissance échangée avec les caténaires à partir du modèle et des données réelles fournies par l'exploitant du réseau de tramway.

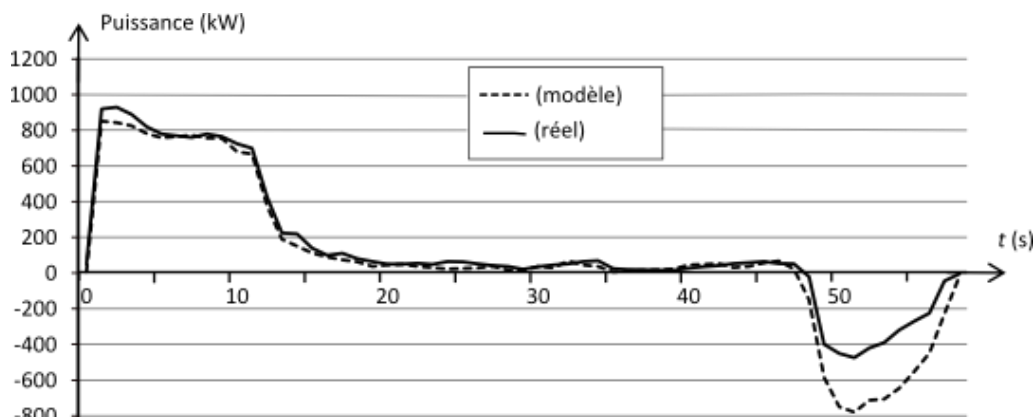


Figure 8 : courbes de la puissance réelle et de la puissance simulée échangée avec les caténaires

Soit E_{r0} l'énergie récupérable déterminée à partir du modèle, soit E_{r1} l'énergie récupérable obtenue à partir de mesures réelles.

Q14. À partir des courbes de la figure 8, **décrire** l'évolution de l'écart entre la courbe de puissance du modèle et celle du système réel pendant les différentes phases de fonctionnement. E_{r0} est-elle proche de E_{r1} ? E_{r0} est-elle surestimée ou sous-estimée? **Justifier** la réponse. **Identifier** des paramètres qui ont pu être incorrectement pris en compte lors de l'élaboration du modèle.

5. Étude du centre d'exploitation

Un réseau de transport composé de 33 rames de tramway et de 215 bus nécessite un centre d'exploitation. À Dijon, le centre d'exploitation du nouveau réseau de transport a été installé dans les anciens locaux de la SNCF, idéalement situés près des voies.



L'un des objectifs a été de conserver le patrimoine architectural des 10 000 m² d'anciens locaux. 20 000 m² de nouveaux bâtiments y ont été ajoutés. L'ensemble accueille l'administration, le stockage des rames, le poste de pilotage centralisé, la maintenance...

Figure 9 : anciens bâtiments et centre d'exploitation réhabilité

Objectifs de cette partie : vérifier que la structure des bâtiments permet l'installation de panneaux solaires. **Déterminer** la production de la centrale solaire.

La réhabilitation de l'ancien bâtiment a été l'occasion d'installer des panneaux photovoltaïques sur les toits dont la pente est orientée au sud.

La charpente du bâtiment (voir figure 11) est constituée d'un ensemble de structures métalliques appelées « fermes », espacées de six mètres. La couverture du bâtiment est réalisée par des tôles en acier galvanisé.



Figure 10 : vue générale du centre d'exploitation

Pour vérifier la résistance d'une charpente, l'étude doit être menée dans des conditions extrêmes appelées : état limite ultime (ELU).

Pour la zone géographique de Dijon, les charges extrêmes dues à la neige sont de 600 N·m⁻².

Pour vérifier la résistance de la structure, il faut évaluer la tenue de l'élément le plus faible. Une étude préliminaire a permis de localiser l'élément le plus sollicité qui est la poutrelle repérée dans le document technique DT4.

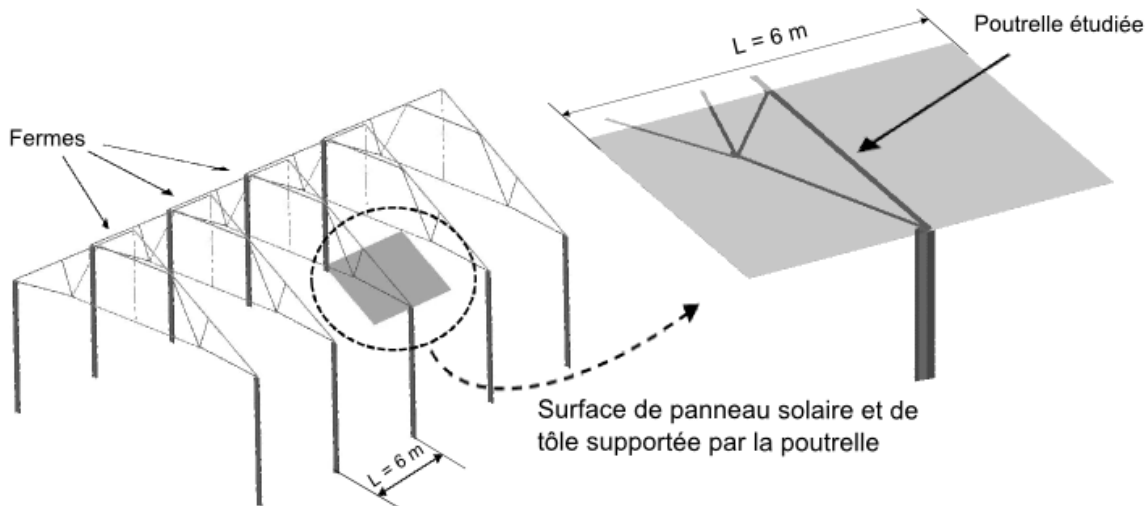
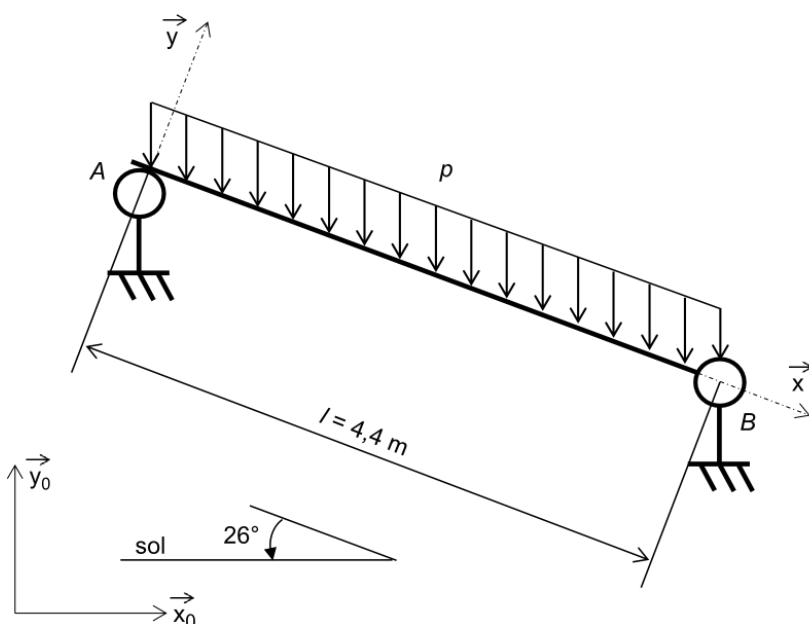


Figure 11 : architecture de la structure

Hypothèses simplificatrices : les charges appliquées seront réparties uniformément sur toute la longueur de la poutrelle. Le poids de la poutrelle est négligé par rapport aux autres actions. Le problème est considéré comme plan.

Prendre $\|\vec{g}\| = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Q15. À partir du descriptif précédent, de la figure 11, des documents techniques DT4 et DT5, **calculer** la surface de panneau solaire que supporte la poutrelle étudiée. **Calculer** le poids de la neige, des panneaux et des tôles sur cette surface. **Calculer** le poids total correspondant à l'état limite ultime et **calculer** la norme de sa composante suivant \vec{y} . À partir de cette dernière valeur, **déduire** la charge linéique maximale p ($\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$) supportée par la poutrelle.



La poutrelle est inclinée d'un angle de 26° par rapport au sol.

Ses appuis sur la structure peuvent être modélisés, en première approche, par une liaison sphère plan de normale (A, \vec{y}) et par une liaison pivot d'axe (B, \vec{z}).

Le chargement p induit des sollicitations de compression et de flexion dans la poutrelle. Par la suite la compression sera négligée.

Figure 12 : modélisation de la poutrelle et des conditions aux limites

Le cahier des charges impose à la poutrelle de vérifier les deux critères ci-dessous.

Critère	Grandeur à vérifier	Niveau
Contrainte	CS : coefficient de sécurité	CS = 2
Déplacement	U_y : déplacement maximal admissible	$U_y < \frac{l}{200}$

l est la distance entre les liaisons de la poutre avec la structure.

- $M_{f_{Max}}$: moment de flexion maximal (N·mm) ;
- p : charge linéique (N·mm⁻¹) ;
- l : longueur de la poutre (mm) ;

$$M_{f_{Max}} = \frac{p \cdot l^2}{8}$$

- σ_{max} : contrainte normale (MPa) ou (N·mm⁻²) ;
- W_{x-x} : module de flexion de la section (mm³) ;

$$\sigma_{max} = \frac{M_{f_{Max}}}{W_{x-x}}$$

- Re : limite élastique du matériau (en MPa) ;
- CS : coefficient de sécurité.

$$\sigma_{max} \leq \frac{Re}{CS}$$

Q16. Calculer le moment de flexion maximal $M_{f_{Max}}$ (le résultat sera exprimé en N·mm).

La poutre est un IPE 180 (voir document technique DT4).

Q17. À partir des caractéristiques de la poutre données dans le document technique DT4, **calculer** la contrainte σ_{max} pour cette poutrelle. Le résultat sera exprimé en MPa. **Conclure** sur la résistance de la poutrelle.

Q18. À partir du tableau ci-dessus, **calculer** le déplacement maximal admissible U_y . Le résultat sera exprimé en mm.

Le document technique DT4 fournit un modèle numérique de la déformée de la poutrelle sous charge extrême de la neige, des panneaux solaires et des tôles.

Q19. À partir des résultats donnés par la simulation (voir document technique DT4), **vérifier** la validation du critère de déplacement. **Conclure** sur le respect des critères.

Évaluation de la production de la centrale solaire

La puissance du rayonnement solaire reçu par le module photovoltaïque s'évalue avec la relation suivante :

$$P = E_e \times S$$

- P : puissance (en W) ;
- E_e : éclairement énergétique (en $W \cdot m^{-2}$) ;
- S : surface des cellules du module photovoltaïque (en m^2).

La puissance électrique délivrée par les panneaux photovoltaïques installés (TE 2200 version 240 W) est de 240 W pour un éclairement de $1\,000\, W \cdot m^{-2}$.

Q20. À l'aide des dimensions fournies dans le document technique DT5, **déterminer** le rendement d'un panneau solaire.

L'installation solaire comporte 5 074 panneaux. À Dijon, l'énergie solaire disponible sur une année complète pour une orientation au sud optimale et une inclinaison de 26° est de $1\,177\, kW \cdot h \cdot m^{-2}$.

Q21. Calculer l'énergie annuelle produite par l'ensemble des modules solaires en toiture en considérant le rendement calculé constant quelles que soient les conditions d'ensoleillement.

L'énergie électrique produite par les modules en toiture est convertie par des onduleurs en courant alternatif adapté au réseau électrique. Le rendement des onduleurs est de 97 %. Les pertes de puissance dues aux chutes de tension sont évaluées à 6 %.

Q22. Déterminer l'énergie fournie par la centrale solaire au réseau électrique.

La production annuelle d'énergie de la centrale solaire, annoncée par l'installateur, devrait être de $1\, GW \cdot h \cdot an^{-1}$. Soit l'équivalent du besoin de 500 foyers.

Q23. Comparer la valeur annoncée par l'installateur à la valeur obtenue précédemment. **Évaluer** et **discuter** de l'écart entre ces deux valeurs.

6. Production de chauffage à partir des eaux usées

Objectifs de cette partie : **vérifier** que la production de chauffage par le dispositif « Degrés Bleus » est une source d'énergie renouvelable réalisant des économies conséquentes et **étudier** un point de fonctionnement de la régulation.

Les bâtiments d'exploitation du réseau de transport sont chauffés par un système de récupération de chaleur sur un réseau d'eaux usées domestiques sous une rue proche.

Les eaux usées ont la particularité de conserver une température stable comprise entre 12 °C et 17 °C. Cette température constitue une source d'énergie qui sera exploitée en hiver grâce à un échangeur placé au fond des canalisations d'eaux usées domestiques. Cet échangeur permet de récupérer les calories des eaux usées et de les transférer à un fluide caloporteur (liquide qui permet le transport de chaleur entre deux éléments). Ce fluide alimente une pompe à chaleur qui assure le chauffage du bâtiment. Une étude préalable avait estimé que les besoins de chauffage pouvaient être couverts à 80 % par ce dispositif, appelé « Degrés Bleus »

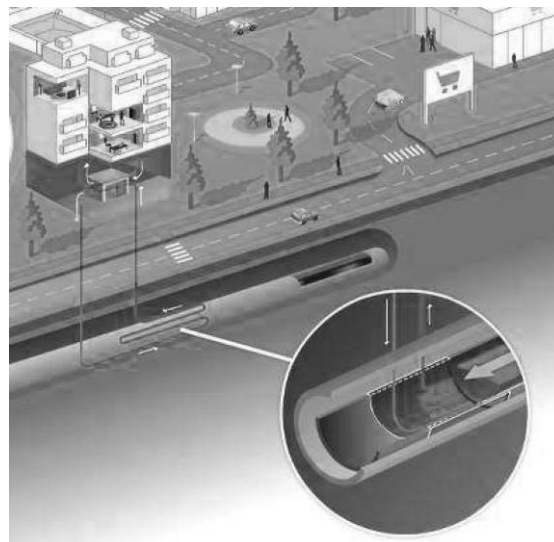


Figure 13 : récupération de chaleur des eaux usées

Q24. Repérer, en les entourant ou en les surlignant sur le document réponse DR3, les trois éléments qui suivent :

- l'échangeur de chaleur, constitué de plaques en inox qui permettent de transférer les calories des eaux usées au fluide caloporteur. Il garantit la séparation du réseau de chauffage de celui des eaux usées ;
- le fluide caloporteur qui récupère les calories des eaux usées et les achemine jusqu'à la pompe à chaleur. Il circule en boucle fermée de l'intérieur des échangeurs à la chaufferie du bâtiment. Il est constitué d'eau glycolée dont la température passe de 4 °C à 8 °C au contact de l'échangeur ;
- la pompe à chaleur qui concentre les calories prélevées de façon à élever la température jusqu'à ce qu'elle soit suffisante (entre 50 °C et 63 °C) pour le chauffage du bâtiment.

Cette technique permet d'obtenir un rendement de 50 % supérieur aux autres énergies renouvelables et d'économiser jusqu'à 60 % de gaz à effet de serre.

Les besoins énergétiques annuels en chauffage pour les ateliers sont de 2 100 MW·h. La courbe annuelle des modes de chauffage (document technique DT6) indique, sur une année, les modes de chauffage utilisés (puissance et source de chauffage).

Q25. Estimer, à partir de cette courbe de distribution annuelle, la part réelle de « Degrés Bleus » dans la production de chauffage. **Expliquer** la méthode utilisée. **Calculer et commenter** l'écart avec l'étude préalable.

Régulation de chauffage des planchers

La fonction de la vanne trois voies, repérée dans le document réponse DR3, est de mélanger à l'eau chaude du départ planchers une certaine quantité d'eau refroidie du retour planchers. Le contrôle de ce mélange permet de réguler la température des locaux. L'ouverture et la fermeture de la vanne sont pilotées par un servomoteur. Le servomoteur est commandé par un signal électrique (tension de 0 à 10 V) fourni par le régulateur. Ce régulateur est intégré dans une armoire de gestion technique du bâtiment (GTB) utilisant le réseau de terrain KNX.

Q26. À partir de la caractéristique fournie dans le document technique DT6, **déterminer** la valeur de la tension de commande que le régulateur doit fournir au servomoteur de la vanne trois voies, pour une demande de charge de 40 %.

Le réseau de terrain KNX permet au régulateur de transmettre une donnée numérique au servomoteur. Cette donnée est convertie en tension pour commander le servomoteur.

Le message KNX destiné au servomoteur comprend au total 200 bits transmis successivement (transmission série). La vitesse de transmission des données est de $9\,600 \text{ bits}\cdot\text{s}^{-1}$.

Q27. En vue de la transmission, **convertir** la valeur analogique de tension déterminée à la question précédente en une valeur binaire codée sur 8 bits (pleine échelle de 0 V à 10 V). **Calculer**, à partir du document technique DT7, la durée de transmission du télégramme KNX entre le régulateur et le servomoteur. **Commenter** le résultat en indiquant si cette durée est compatible avec la régulation du chauffage des locaux.

7. Conclusion sur la problématique du sujet

Objectif de cette partie : **proposer** une synthèse du travail réalisé.

Q28. **Établir** un tableau récapitulatif des avantages des solutions présentées dans ce sujet. À partir de ce tableau, **conclure** sur la pertinence des choix de la communauté urbaine du Grand Dijon.

Document technique DT1

Type de moteur / carburant	Nombre de bus	Distance parcourue en km	Consommation Carburant en L	Densité d'énergie en kW·h·L ⁻¹	Consommation d'énergie en kW·h
Thermique Gasoil	140	6 418 890	2 984 784	10,1	30 146 318
Thermique GNV	65	4 081 110			24 925 282

Consommations du parc de bus Divia en 2009

Type de carburant	Nombre de bus	Distance parcourue en km	Consommation Carburant en L	Densité d'énergie en kW·h·L ⁻¹	Consommation d'énergie en kW·h
Thermique Gasoil	113	5 518 605	2 566 151	10,1	25 918 127
Hybride Gasoil	102	4 981 395	1 594 047	10,1	16 099 874

Consommations du parc de bus Divia en 2013

Type de moteur / carburant	Nombre de bus	Distance parcourue en km	Facteur d'émission en kg de CO ₂ par km	Emission de CO ₂ en kg	Nombre de voyageurs transportés
Thermique Gasoil	140	6 418 890	1,43	9 179 013	
Thermique GNV	65	4 081 110	0,12	489 733	
Total				9 668 746	36 millions

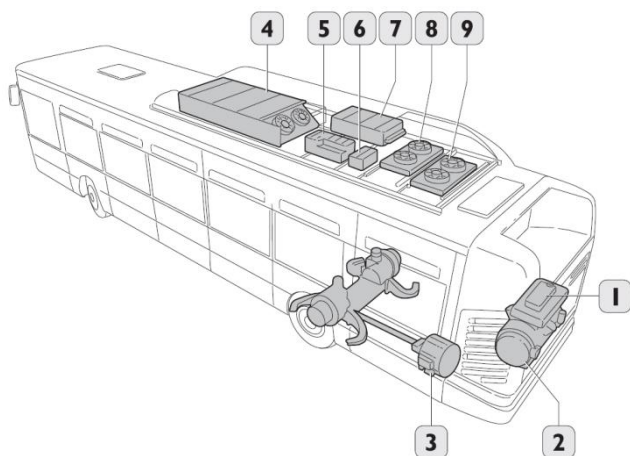
Facteurs d'émissions (production et combustion) des différents bus en 2009

Type de moteur / carburant	Nombre de véhicules	Distance parcourue en km	Facteur d'émission en kg de CO ₂ par km	Emission de CO ₂ en kg	Nombre de voyageurs transportés
Thermique Gasoil	113	4 289 395	1,41	6 048 047	
Hybride Gasoil	102	4 518 605	0,98	4 428 233	
Tramway	33	1 992 000	0,31	617 520	
Total				11 116 292	48 millions

Facteurs d'émissions (production et combustion) des différents bus en 2013

Document technique DT2

Caractéristiques des bus hybrides

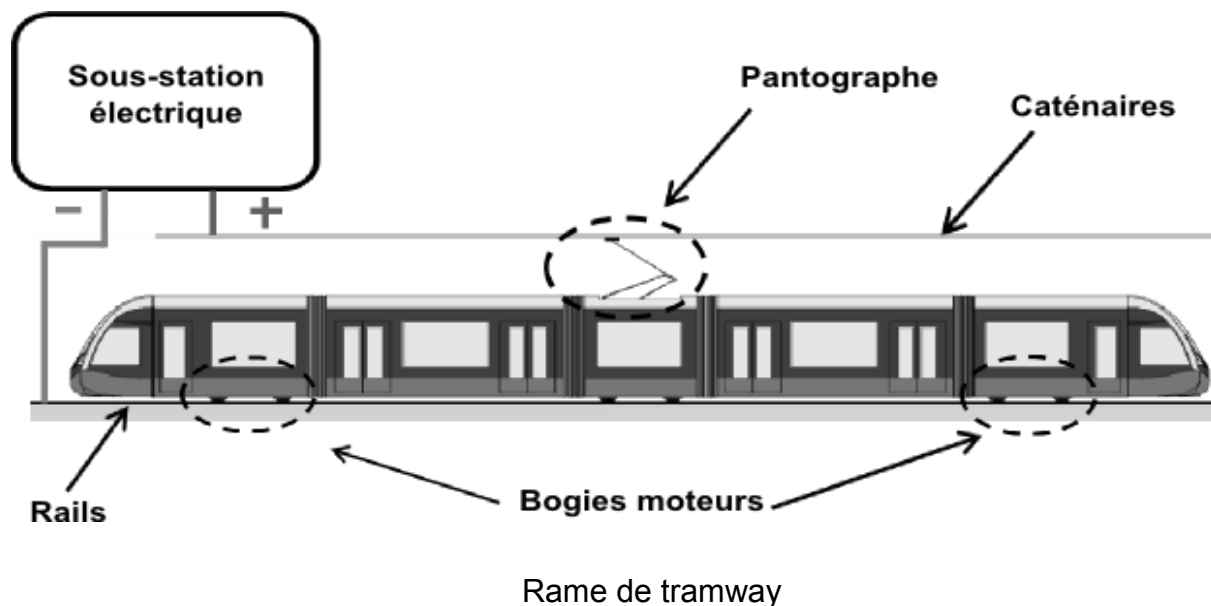


- 1 – Moteur thermique diesel
- 2 – Génératrice électrique
- 3 – Moteur électrique
- 4 – Système de stockage de l'énergie
- 5 – Convertisseur 600 Vcc / 28 Vcc
- 6 – Boîtier électronique – gestion de traction
- 7 – Système de contrôle de puissance
- 8 – Système de refroidissement du système électronique
- 9 – Système de refroidissement du moteur de traction

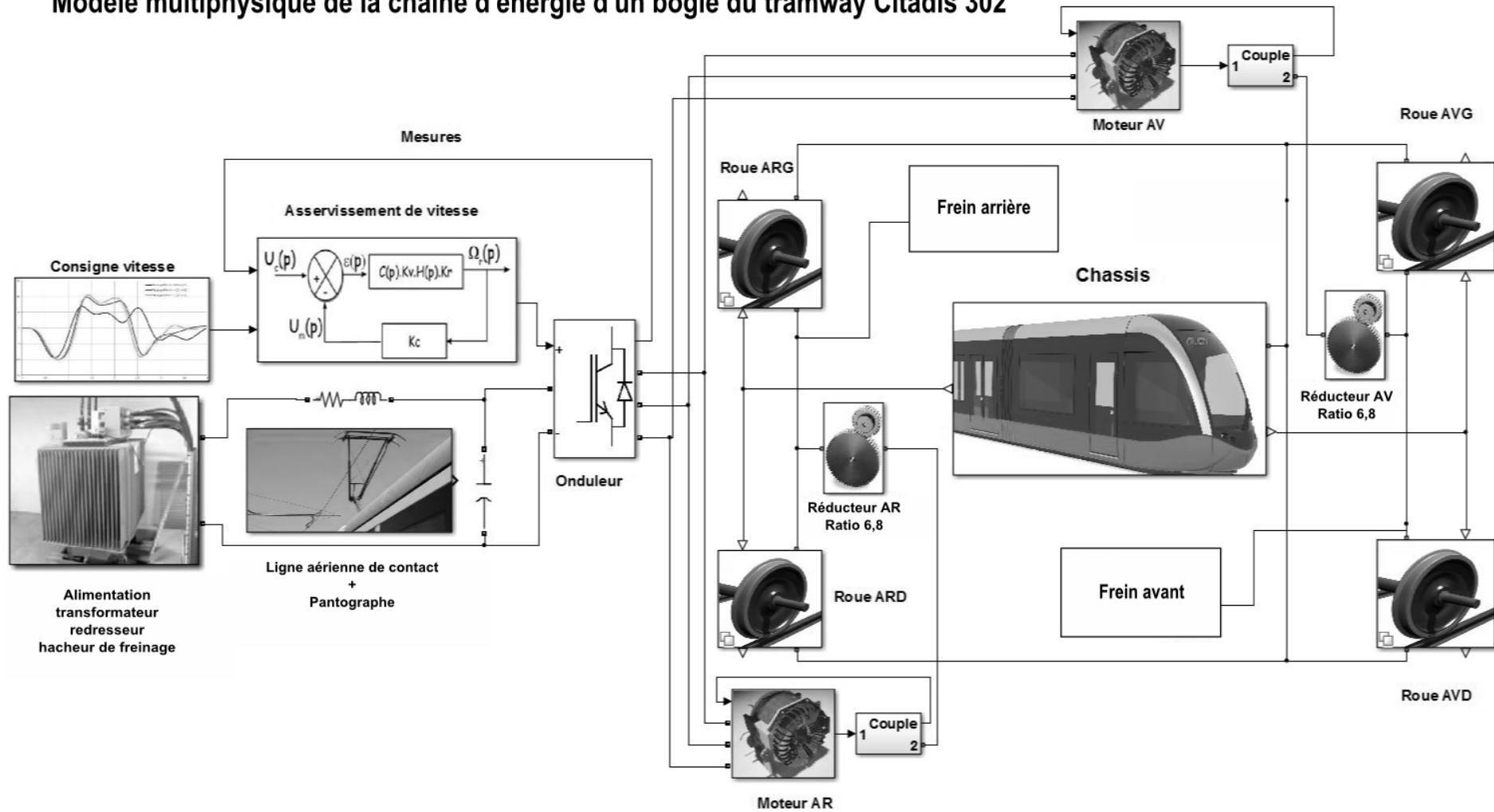
Caractéristiques d'une rame de tramway

- masse de 40 tonnes à vide pour une longueur de 32,7 m et une largeur de 2,4 m ;
- vitesse maximale en situation commerciale de $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (possibilité d'atteindre la vitesse de $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) ;
- espace réservé aux voyageurs de 42 places assises et jusqu'à 237 voyageurs ;
- 2 bogies moteurs composés chacun de 2 moteurs à aimant permanent de 120 kW et de 2 freins mécaniques. Les moteurs sont alimentés par des onduleurs et la transmission de l'effort de traction se fait par engrenage avec une réduction de $K = 1 / 6,8$.

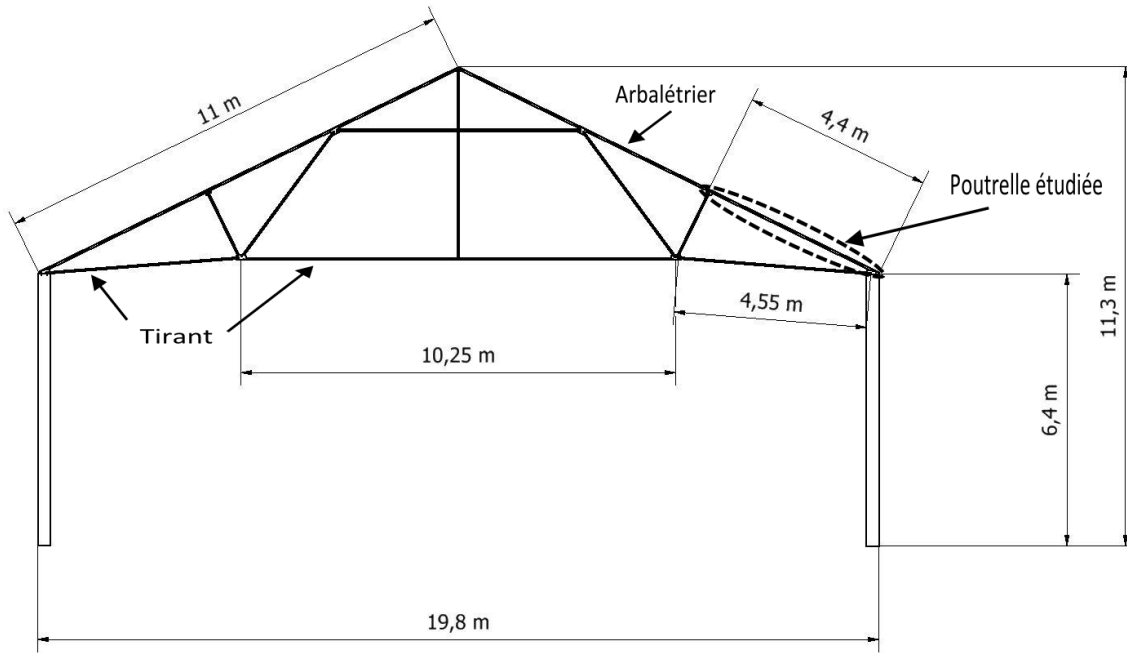
L'alimentation électrique de la rame se fait par des sous-stations électriques. Elles sont composées d'un transformateur et d'un redresseur. Les caténaires et le pantographe permettent l'acheminement du courant électrique à bord de la rame. Le retour du courant s'effectue par le rail (voir ci-dessous).



Modèle multiphysique de la chaîne d'énergie d'un bogie du tramway Citadis 302



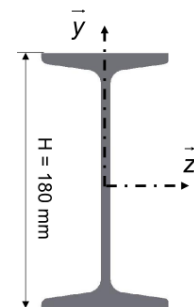
Document technique DT4



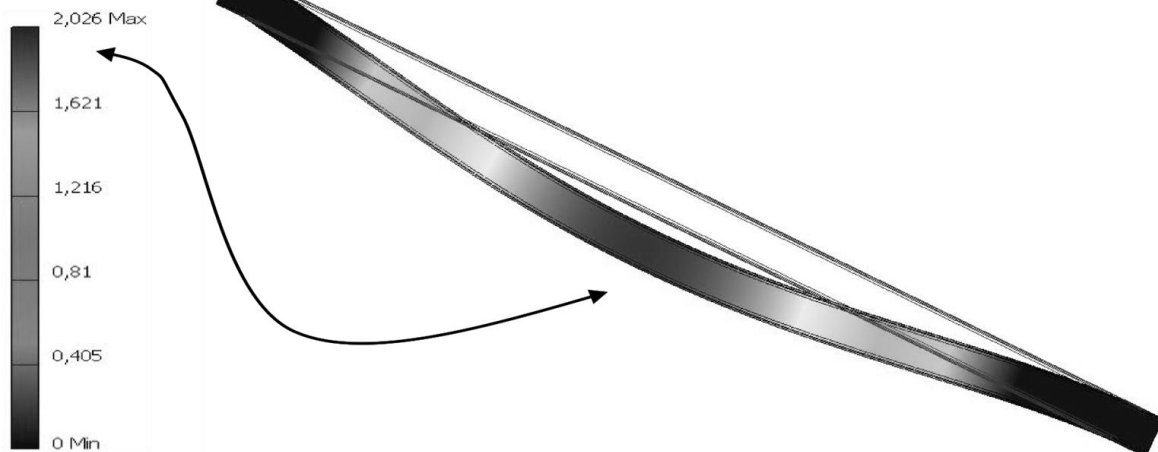
Ferme en treillis dit de « Polonceau »

Caractéristiques de la poutre IPE 180

- longueur : $l = 4,4 \text{ m}$;
- matériau : acier doux ;
- limite élastique : $Re = 207 \text{ MPa}$;
- module de flexion de la section : $W_{x-x} = 149 \text{ cm}^3$.



Type : Déplacement
Unité : mm



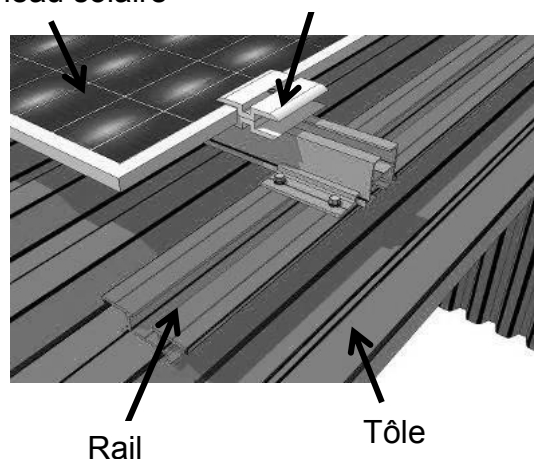
Déformée de la poutrelle sous charge extrême

Document technique DT5

Caractéristiques des panneaux solaires

Les panneaux solaires sont assemblés sur une structure en acier (rails/poutres) par l'intermédiaire de blocs de fixation. Les rails étant bloqués sur les tôles du toit de la charpente métallique.

Panneau solaire Bloc de fixation



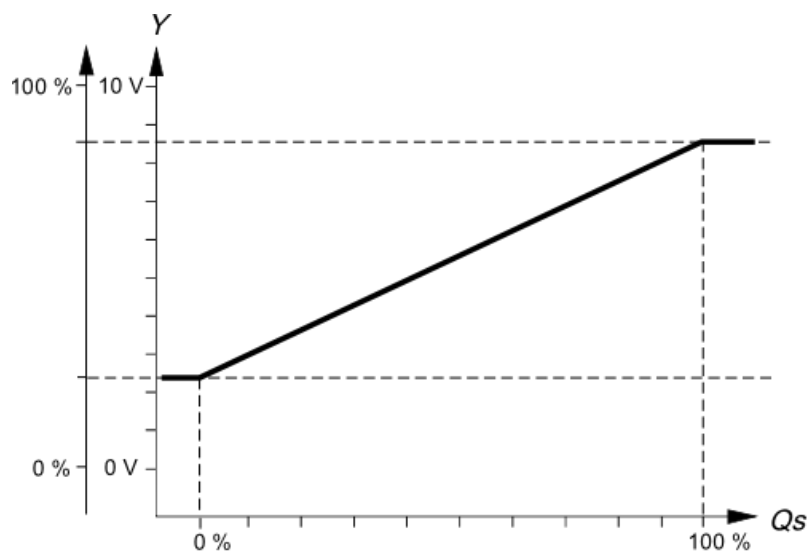
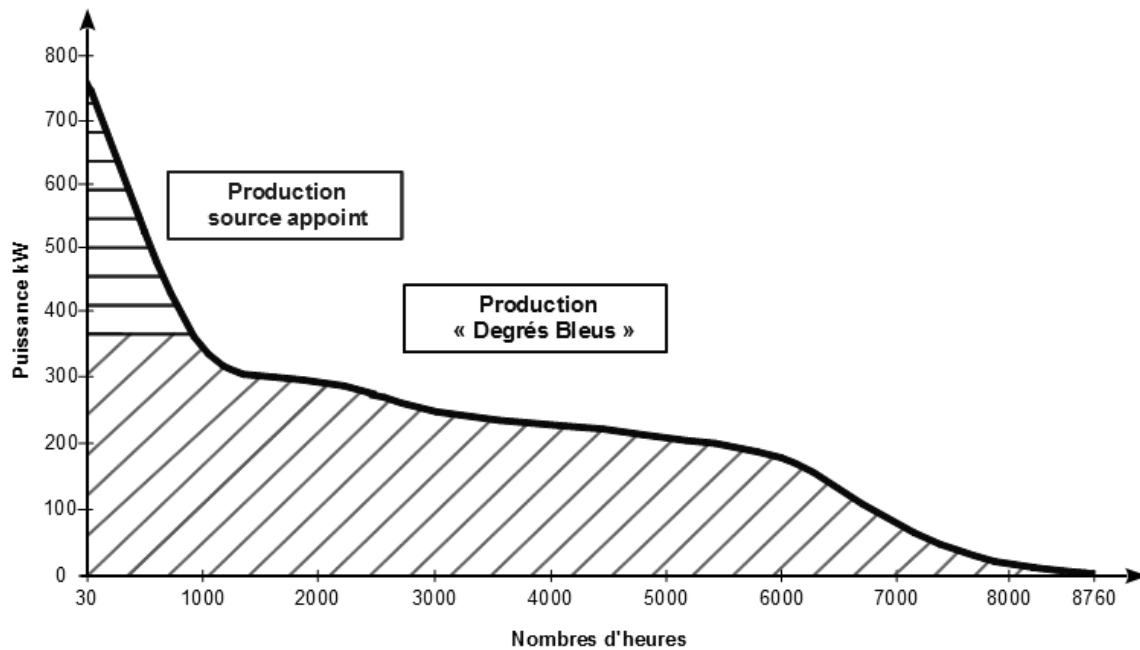
Masse surfacique de l'ensemble (panneaux solaires, rail, bloc de fixation)	25	kg·m ⁻²
Masse surfacique des tôles	8	kg·m ⁻²

Caractéristiques électriques	TE 2000				TE 2200				
Puissance typique	180	190	200	210	200	210	220	230	240
Puissance minimale (W)	175	185	195	205	195	205	215	225	235
Puissance maximale (W)	185	195	205	215	205	215	225	235	245
Limite de classe de puissance Wc	-5 / +5 Wc				-5 / +5 Wc				
Limite de classe de puissance %	±2,78%	±2,63%	±2,50%	±2,38%	±2,50%	±2,38%	±2,27%	±2,17%	±2,08%
Tension à puissance max. Vpm (V)	26,3	26,5	26,7	26,9	29,3	29,5	29,7	29,9	30,1
Intensité à puissance max. Ipm (A)	6,9	7,2	7,5	7,8	6,9	7,2	7,5	7,8	8
Tension circuit ouvert Voc (V)	32,5	32,7	32,9	33,1	35,9	36,2	36,5	36,8	37
Courant de court circuit Isc (A)	7,6	7,8	8	8,2	7,6	7,8	8	8,2	8,3
Cellules									
Taille	156 x 156 mm				156 x 156 mm				
Disposition	54 cellules / 6 x 9				60 cellules / 6 x 10				
Garantie									
Garantie de production	25 ans - 80 % de la puissance minimale / 10 ans en milieu maritime								

Tests réalisés dans les conditions standards STC : Ensoleillement 1000 W/m²; Am 1,5; Température 25°C

Document technique DT6

Distribution annuelle des modes de chauffage



Q_s : demande de charge du régulateur

Y : tension (0 - 10 V) de commande du servomoteur

Caractéristique de pilotage du servomoteur

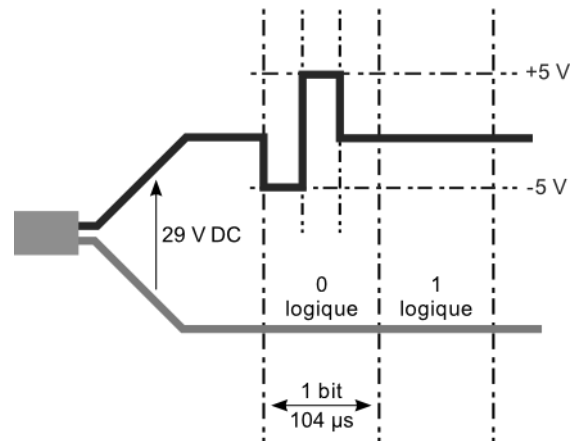
Document technique DT7

Le mode de transmission est un mode série différentiel.

Codage utilisé :

0 logique, signal alternatif d'amplitude 5 V, superposé à une tension continue de 29 V ;

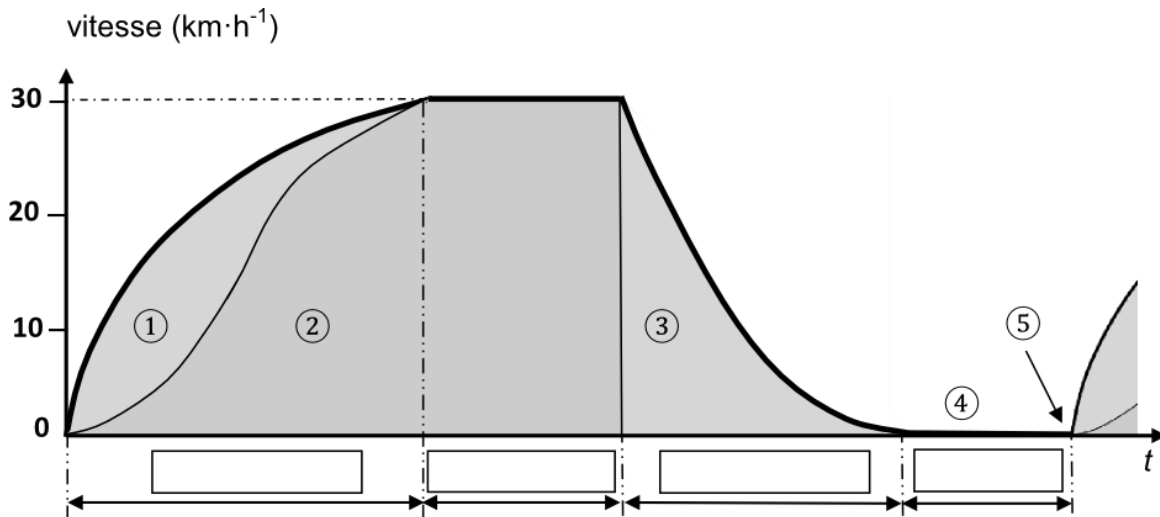
1 logique, absence de signal.



Document réponse DR1

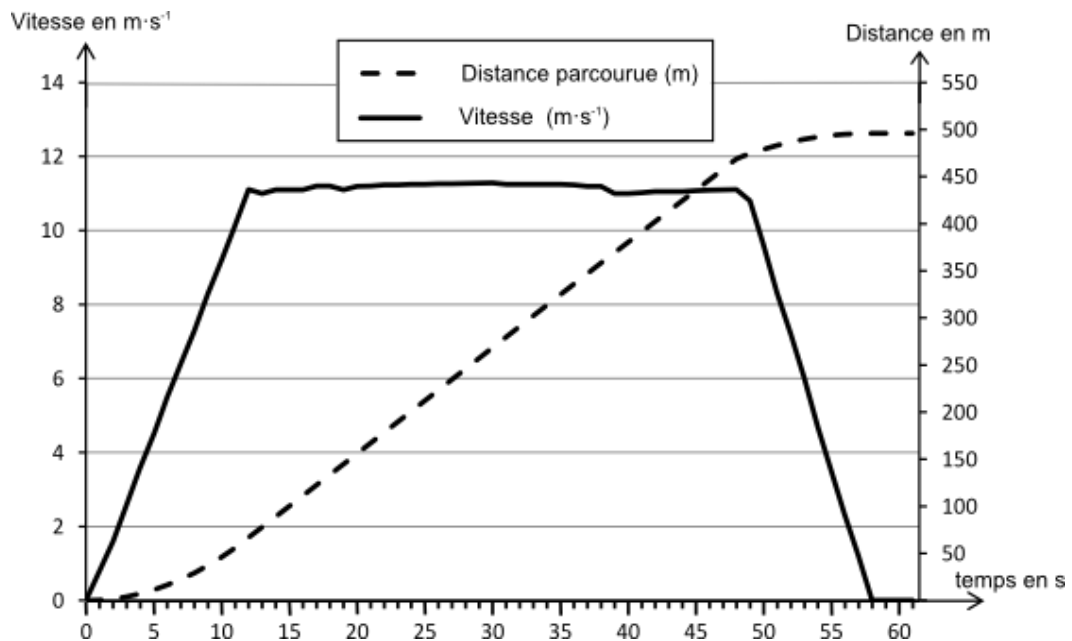
Q6.

Zone 1 : puissance fournie par les batteries
 Zone 2 : puissance fournie par le moteur thermique via la génératrice
 Zone 3 : charge des batteries
 Zone 4 : moteur thermique à l'arrêt
 Zone 5 : démarrage du moteur thermique



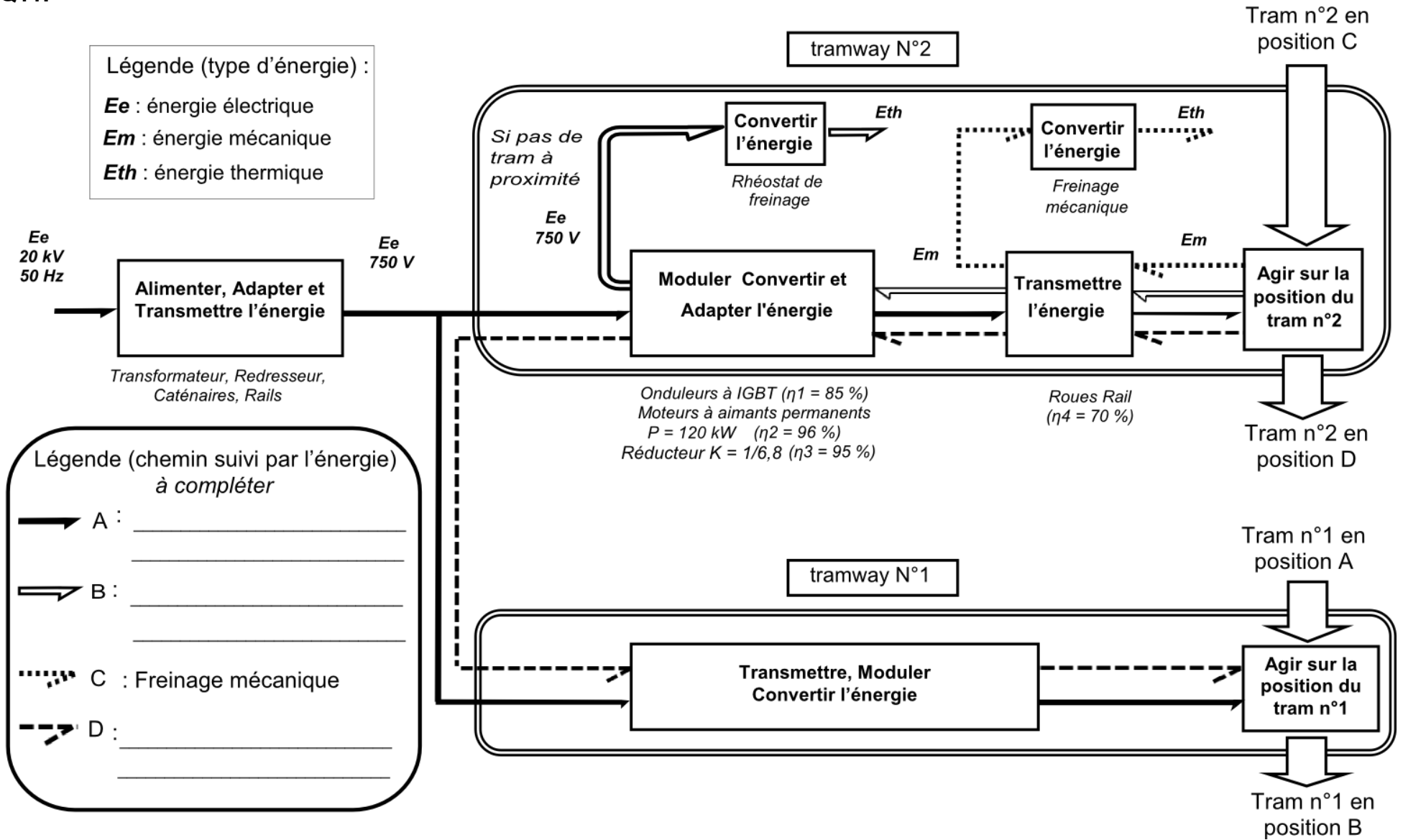
Phases d'utilisation du bus hybride

Q12.



Caractéristique de déplacement d'une rame de tramway

Document réponse DR2
Q11.



Document réponse DR3

Q24.

