

# BACCALAUREAT GENERAL

Session 2007

Série S - Sciences de l'Ingénieur

## ETUDE D'UN SYSTEME PLURITECHNIQUE

Coefficient : 4      Durée de l'épreuve : 4 heures

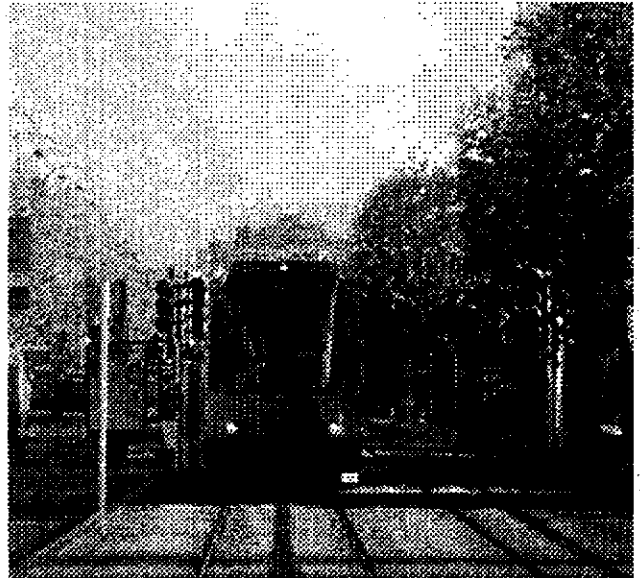
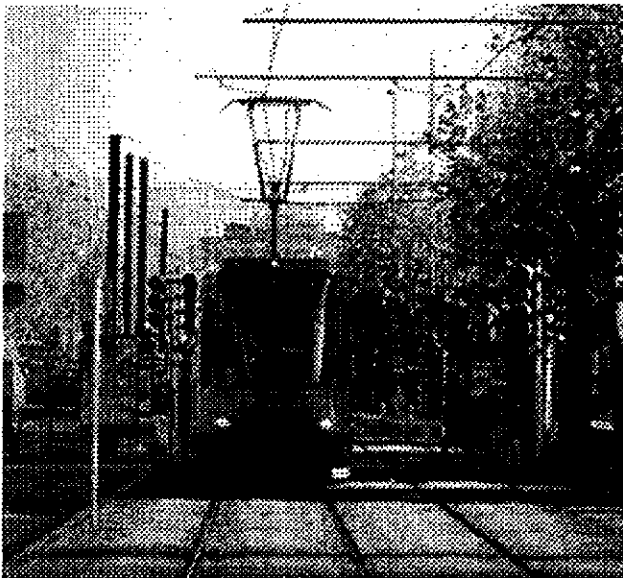
*Aucun document n'est autorisé.*

*Le matériel autorisé comprend toutes les calculatrices de poches, y compris les calculatrices programmables alphanumériques ou à écran graphique, à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante, conformément à la circulaire n°99-181 du 16 novembre 1999.*

**Les réponses sont à donner sur les documents réponse et sur feuille de copie.**

**Les différentes parties sont indépendantes, il est toutefois conseillé de les traiter dans l'ordre.**

### TRAMWAY : ALIMENTATION PAR LE SOL



#### Composition du sujet et sommaire :

##### Un dossier relié comprenant :

- |   |                     |
|---|---------------------|
| • Une présentation du système et des problèmes à traiter :  | Durée<br>conseillée |
| La partie A : Comment assurer la protection électrique des personnes aux abords d'une voie alimentée par le sol ? | 30 minutes          |
| La partie B : Validation des procédures de changement de mode d'alimentation                                      | 30 minutes          |
| La partie C : Validation du choix des ressorts des patins frotteurs   | 60 minutes          |
| La partie D : Vérification des capacités de l'énergie embarquée   | 30 minutes          |
| La partie E : Validation du choix des liaisons série de supervision et de maintenance                             | 40 minutes          |
| La partie F : Définition d'une solution de montage de galets  | 30 minutes          |
| • Un dossier "DOCUMENTS TECHNIQUES" : DT1, DT2, DT3   |                     |
| • Un dossier "DOCUMENTS RÉPONSE" : DR1 à DR4  |                     |

**La phase d'appropriation du système pluri technique passe par la lecture attentive de l'ensemble du sujet. Il est fortement conseillé de consacrer au moins 20 minutes à cette phase de découverte.**

## PRESENTATION DU SYSTEME

Depuis plus d'un siècle, les transports en commun permettent de déplacer à coûts réduits les habitants des villes ou agglomérations.

Constructeur du tramway de BORDEAUX, la société ALSTOM, a innové en concevant l'apport en énergie par un rail d'Alimentation Par le Sol (APS), entièrement intégré à la plate-forme de roulement, dégagant ainsi les perspectives et préservant le patrimoine architectural.

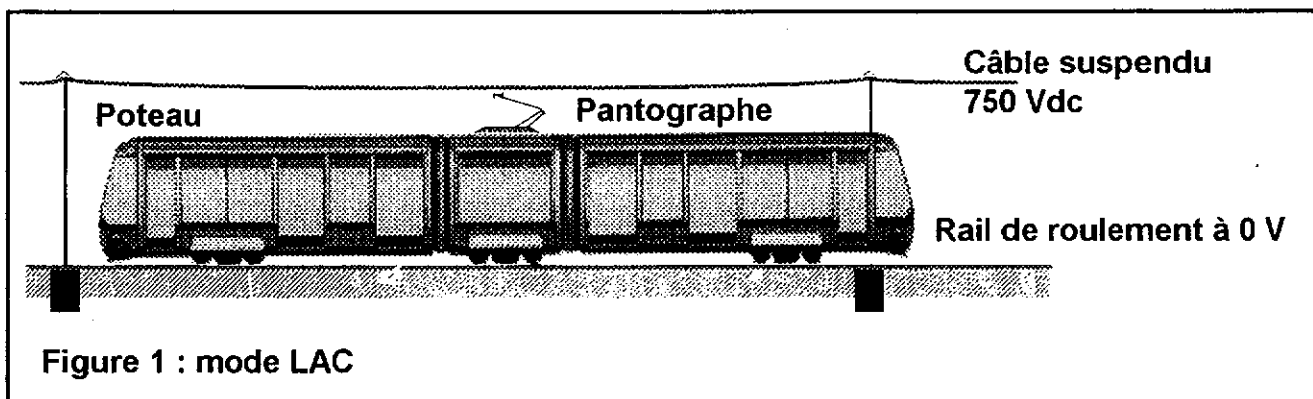
Le surcoût d'installation d'un tronçon d'APS a conduit, sur une même ligne de tramway, à combiner deux modes d'alimentation, la Ligne Aérienne de Contact (LAC) et l'APS pour des secteurs choisis.

Quel que soit le mode d'alimentation électrique du tramway, celui ci doit avoir les mêmes caractéristiques de fonctionnement :

- accélérations, freinage, vitesse commerciale ;
- possibilité de retournement des rames grâce à 2 postes de conduite ;
- compatibilité du système avec toutes les lignes de tramway, y compris en des points particuliers comme des croisements et aiguillages ;

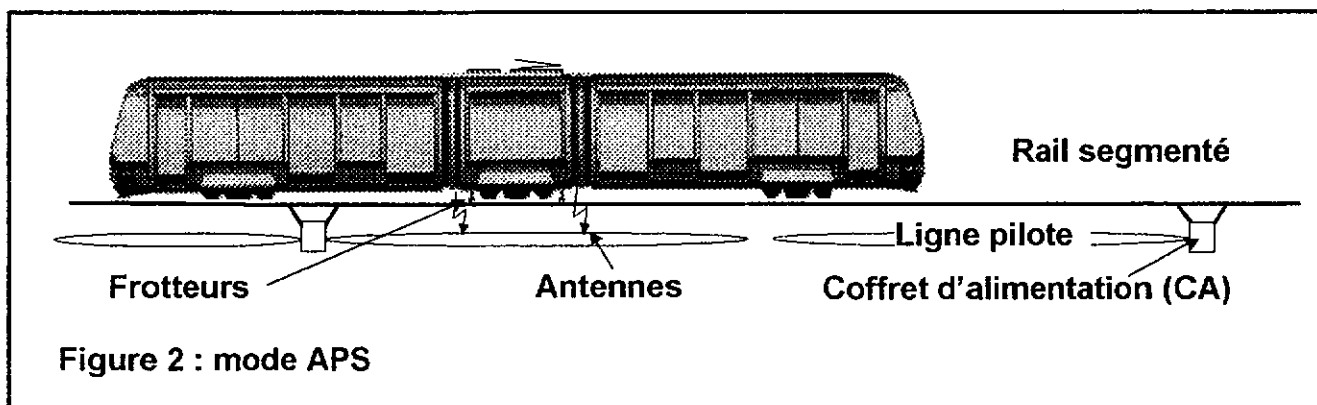
tout en respectant les critères de sécurité électrique envers les personnes.

**Mode LAC** : le moteur est alimenté en 750 Vdc par un câble suspendu, la connexion au câble se fait par l'intermédiaire d'un pantographe, le retour du courant se fait par les rails de roulement à 0 V.

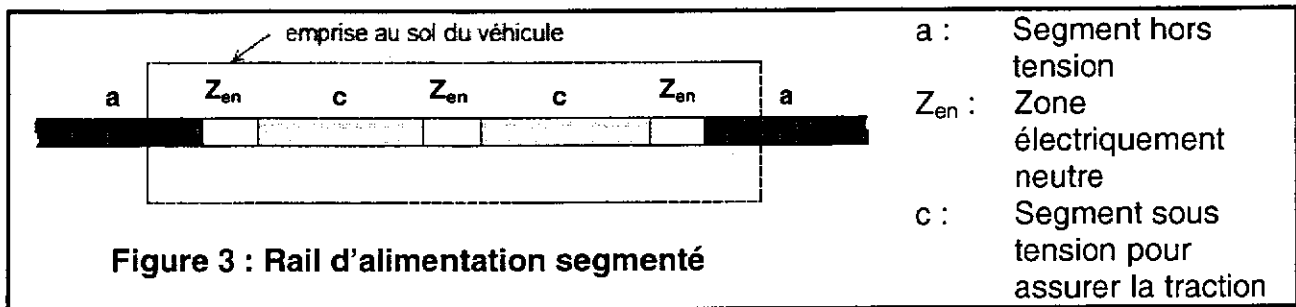


**Mode APS** : le moteur est alimenté en 750 Vdc par un rail segmenté intégré à la plate-forme de roulement, la connexion au rail se fait par l'intermédiaire de 2 patins frotteurs, le retour du courant se fait par les rails de roulement à 0 V.

A l'approche d'une rame, celle-ci émet un signal radio, par l'intermédiaire d'antennes reliées aux frotteurs, autorisant ou non l'alimentation du segment par le coffret (CA) par l'intermédiaire de la ligne pilote.



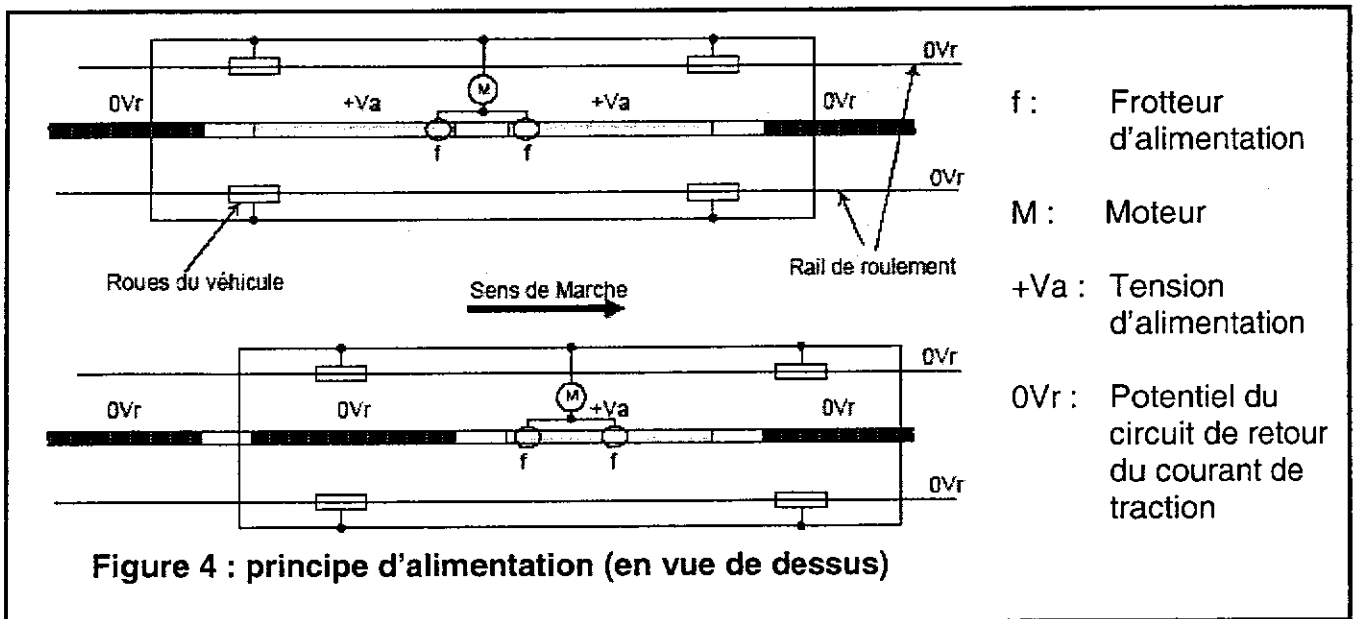
Pour des raisons évidentes de sécurité, le rail d'alimentation intégré à la plate-forme de roulement est segmenté afin que seule la zone sous la rame soit sous tension (voir Figure 3).



Hors présence de la rame, les segments sont mis hors tension et reliés au potentiel 0 V. Dans son état par défaut, le rail d'alimentation est donc inerte et ne présente aucun risque électrique pour le public ou les autres véhicules.

Chaque segment, séparé de ses voisins par une zone électriquement isolée, est utilisé successivement pour amener le courant en fonction de la position instantanée de la rame. Ce courant est capté par l'intermédiaire de 2 patins frotteurs situés au milieu de la rame.

Le principe d'alimentation d'un véhicule en énergie est illustré par la Figure 4.



L'objectif de l'étude est de valider :

- le fonctionnement des différents modes d'alimentation du tramway (LAC et APS) ;
- les solutions techniques retenues, en référence à un Cahier des Charges fonctionnelles (CdCf) afin de garantir la protection électrique des personnes, le captage optimal du courant par le patin et le démarrage possible des rames en tout point de la ligne APS (grâce à une batterie embarquée dans un « coffre secours »).

## **A – COMMENT ASSURER LA PROTECTION ELECTRIQUE DES PERSONNES AUX ABORDS D'UNE VOIE ALIMENTEE PAR LE SOL ?**

Afin de garantir la protection électrique des personnes le CdCf impose que seuls les segments situés sous l'emprise au sol de la rame soient mis sous tension.

L'objectif de cette partie est d'identifier et de valider certaines caractéristiques des solutions technologiques développées pour assurer la protection électrique des personnes aux abords d'une voie alimentée par le sol.

A-1) Compléter, sur le document réponse DR1, le schéma de l'alimentation séquentielle des segments de rail du tramway pour les positions 2 et 3.

A-2) A partir des éléments des figures 3 et 4, écrire la condition entre la longueur de la Zone électriquement neutre  $Z_{en}$  et la distance  $D_f$  séparant les 2 patins frotteurs garantissant une alimentation continue de la rame.

A-3) A partir des éléments des figures 3 et 4, écrire la condition entre la longueur de la Zone électriquement neutre  $Z_{en}$ , la longueur de la rame  $L_{rame}$  et la longueur d'un segment de rail  $L_{rail}$  assurant la protection électrique des personnes aux abords d'une voie alimentée par le sol.

A-4) La vitesse maximale du tramway en exploitation  $V_{max}$  est de 60 km/h. A partir des seuls éléments du DT1 définir, en fonction de la longueur de sécurité piétons et donc de  $L_1$  et  $L_2$ , la durée disponible  $T_{max}$  pour couper l'alimentation d'un segment de rail après le passage du tramway.

Sachant que la durée effective de mise en sécurité varie de 245 à 275 ms, conclure sur l'aspect sécurité du CdCf.

## **B – VALIDATION DES PROCEDURES DE CHANGEMENT DE MODE D'ALIMENTATION**

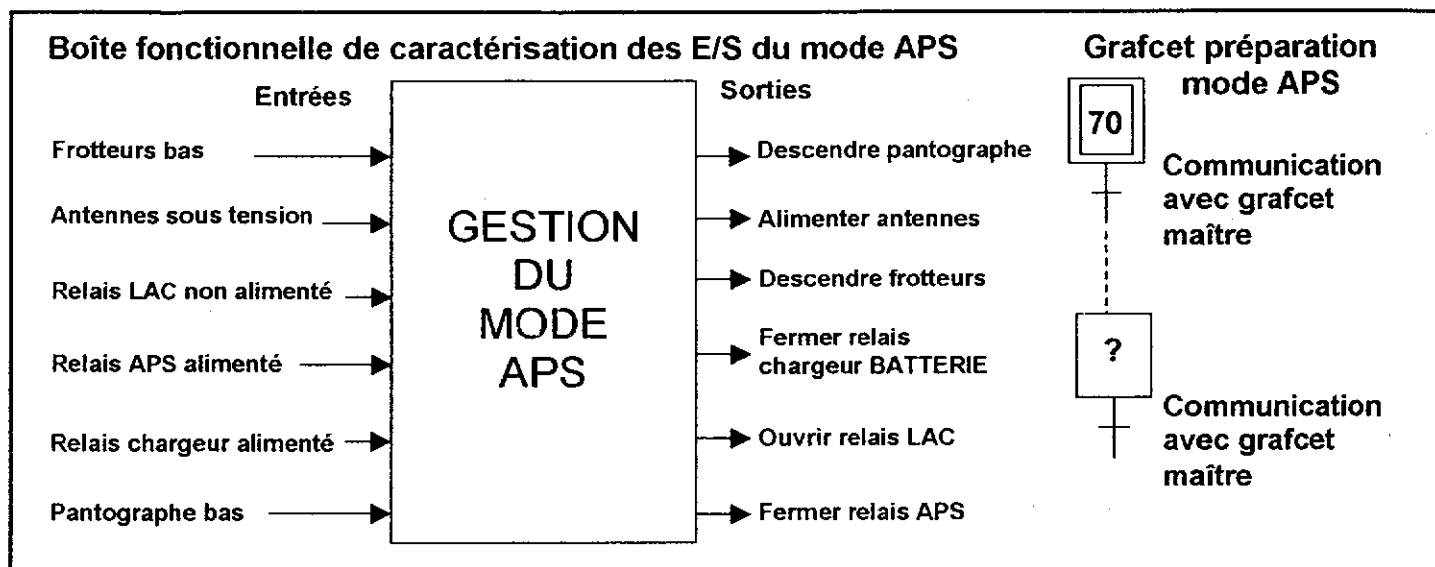
L'objectif de cette partie est d'appréhender le fonctionnement des différents modes d'alimentation du tramway à partir des éléments du DT2.

B-1) Compléter, sur le document réponse DR2, les solutions constructives du FAST partiel de la fonction de service FP : ALIMENTER LE TRAMWAY.

B-2) Définir les réceptivités manquantes associées aux transitions t10, t60 et t67 (voir DT2) correspondant à la synchronisation entre le grafcet maître et le grafcet préparation mode LAC.

B-3) A partir de la boîte fonctionnelle ci-après (et en vous inspirant du grafcet préparation mode LAC), établir la structure linéaire du grafcet préparation mode APS.

REMARQUE : On fera particulièrement attention à ce que la rame ne soit pas alimentée simultanément par les 2 modes d'alimentation et à minimiser le temps pendant lequel la rame n'est pas alimentée.



### C – VALIDATION DU CHOIX DES RESSORTS DES PATINS FROTTEURS

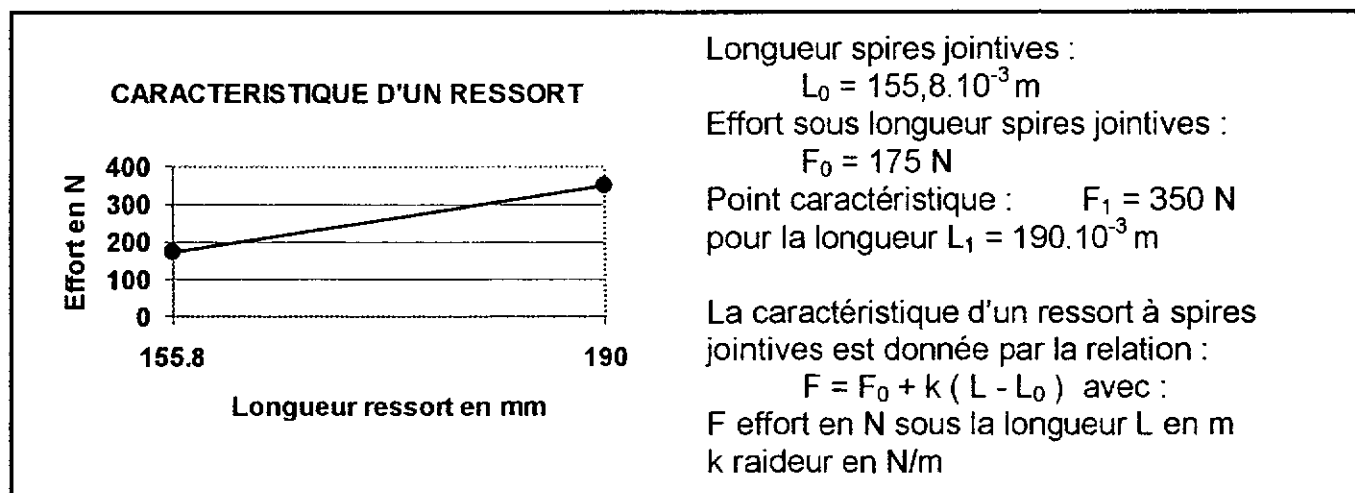
Afin d'assurer le captage du courant électrique au contact entre le rail et le patin frotteur, le CdCf impose un effort presseur minimal du patin sur le rail de 150 N.

Cet effort résulte de l'action de 2 ressorts de tractions sur un parallélogramme déformable (voir DT3 et DR3).

L'objectif de cette étude est de valider le choix des ressorts de traction équipant les patins frotteurs conçu par la société FERRAZ pour le compte d'ALSTOM.

C-1) Déterminer l'effort  $F_n$  des 2 ressorts quand le patin est en position nominale.

- Données :



Déterminer  $k$ . En déduire l'effort  $F_n$  des 2 ressorts quand le patin est en position nominale (voir DT3), soit  $L_{\text{nominale}} = 176 \text{ mm}$ .

C-2) Déterminer, en suivant la procédure ci-dessous, l'effort du patin sur le rail quand celui-ci est en position nominale.

- Hypothèses :

le problème est plan, les liaisons sont parfaites, le poids des pièces est négligeable, l'axe 6 est en liaison pivot d'axe (C,  $\bar{z}$ ) avec le patin 7, le bras 9 et le ressort 2.

- Données : l'action du rail sur le patin passe par D et est inclinée de  $8^\circ$  (frottement fonte sur fonte  $f = 0,15$ )

- toutes les constructions graphiques se feront sur le DR3

- Procédure de détermination pour le patin en position nominale,  $L_{nominale} = 176 \text{ mm}$ ,

a ) Etudier l'équilibre du bras 10.

Après application du PFS en déduire la direction de l'action du bras 10 sur le patin 7.

b ) Etudier l'équilibre du patin frotteur 7.

Après application du PFS, en déduire par une résolution graphique la direction de l'action de l'axe 6 sur le patin 7.

c ) Justifier les deux affirmations suivantes :

- la direction de l'action du bras 9 sur l'axe 6 est donnée par la droite (AC) ;

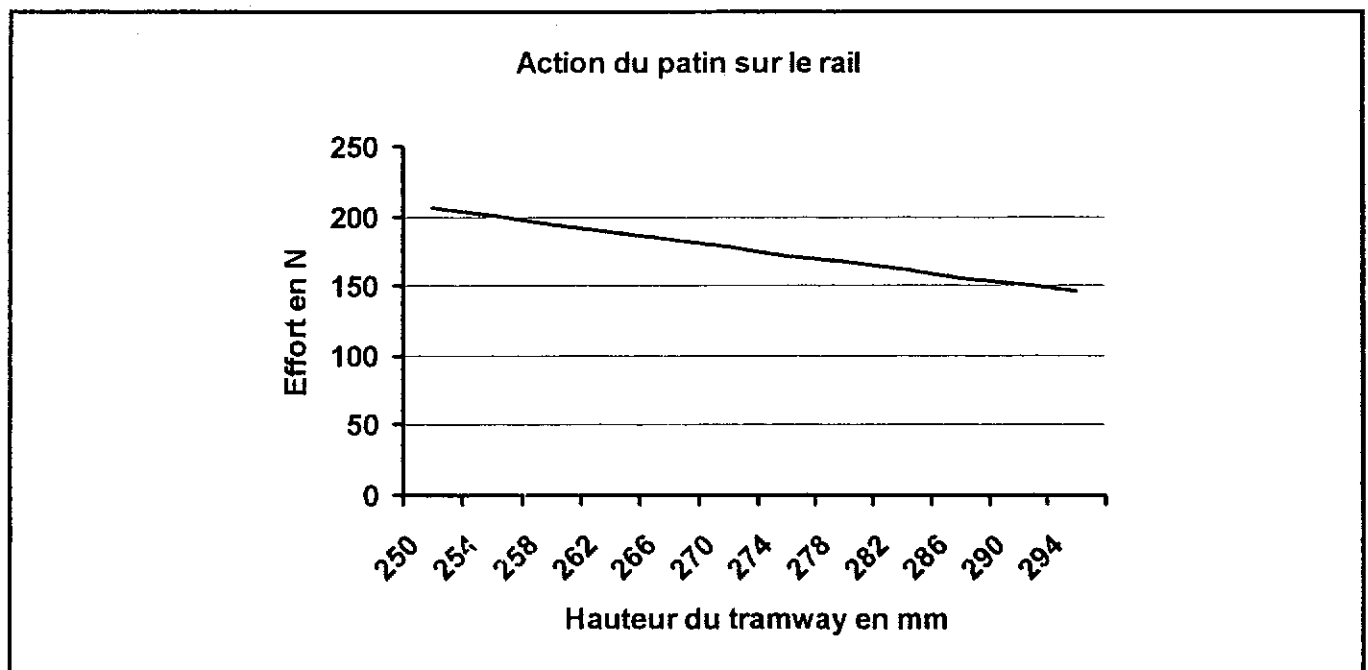
- la direction de l'action des ressorts 2 sur l'axe 6 est donnée par la droite (BC) .

d ) Etudier l'équilibre de l'axe 6.

Après application du PFS, déduire par une résolution graphique l'action de l'axe 6 sur le patin 7.

e ) Déduire par une résolution graphique de l'équilibre du patin 7, l'action du rail sur le patin 7. Conclure vis à vis du CdCf pour cette position.

C-3) La courbe suivante, établie à l'aide d'un logiciel de simulation mécanique, donne la norme de l'action du patin sur le rail en fonction de la hauteur du tramway (hauteur variant en fonction de l'usure des roues et de la masse transportée, de la hauteur détendue à la hauteur nominale voir DT3) :



Conclure quand au respect du CdCf vis à vis de l'effort presseur du patin 7 sur le rail.

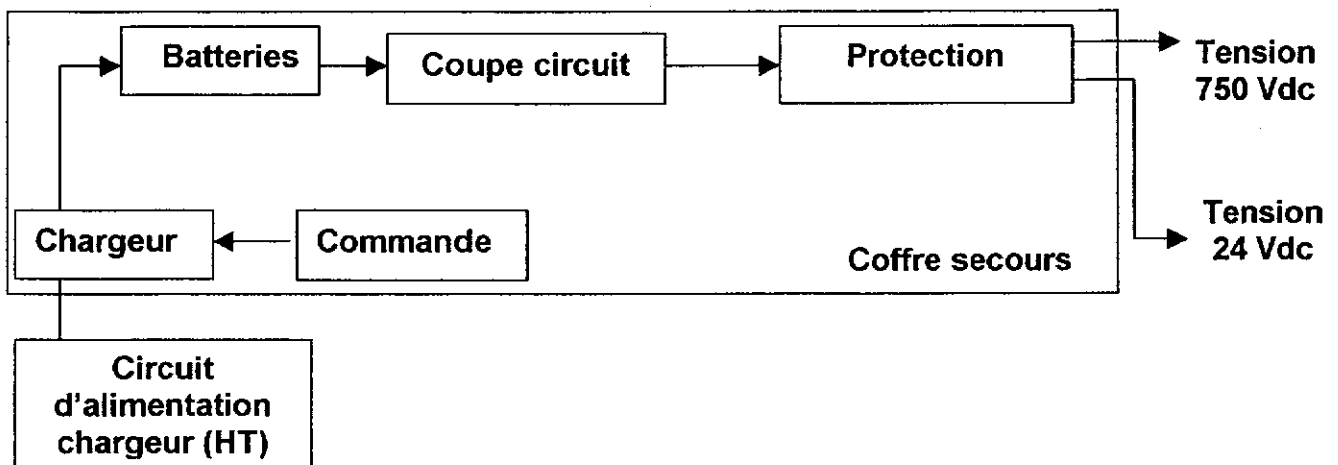
## D – VERIFICATION DES CAPACITES DE L'ENERGIE EMBARQUEE

Le CdCf stipule que, en cas de défaut d'alimentation de deux segments consécutifs sur une zone d'arrêt, l'énergie embarquée dans le « coffre secours » doit permettre le déplacement du tramway jusqu'au troisième segment.

Le CdCf stipule en outre que dans ce cas, la puissance de traction est bridée pour limiter la consommation des batteries qui doivent fournir l'énergie électrique nécessaire au déplacement.

L'objectif de cette partie est de vérifier que l'énergie embarquée est suffisante pour assurer au tramway un déplacement correspondant à une distance équivalente à deux segments du système APS, soit 19 m ( $2 L_{\text{rail}} + 2 Z_{\text{en}}$ ).

Le « coffre secours » peut être représenté par le schéma synoptique ci-dessous :



Le « coffre secours » est capable de fournir deux tensions pour les deux circuits équipant une rame tramway :

- d'une part l'alimentation principale assurant la traction du tramway sur la ligne : tension de 750 Vdc en débitant un courant moyen de décharge de 250 A, avec un courant maximal de 316 A ;
- d'autre part l'alimentation des circuits auxiliaires (circuit de commande, poste de conduite, etc...) : tension de 24 Vdc en débitant un courant moyen de 30 A.

La capacité nominale de chaque batterie d'accumulateur est de 15 A.h

D-1) Le « coffre secours » est composé de bacs associant des batteries d'accumulateurs pour délivrer chacun une tension de 36 Vdc. Déterminer le nombre de bacs nécessaire dans une rame ainsi que leur association.

D-2) En fonction des données précédemment décrites, calculer la puissance moyenne totale fournie par le « coffre secours » à une rame. Que peut-on dire de la puissance mise en jeu dans les circuits auxiliaires ?

La capacité réelle du « coffre secours » étant de 80% de la capacité nominale, calculer l'autonomie exprimée en durée permettant l'alimentation du circuit principal.

D-3) La vitesse moyenne de déplacement d'une rame de tramway étant de 8 km/h, calculer la durée d'un cycle de déplacement de 19 m et conclure sur l'efficacité du « coffre secours » embarqué par rapport à sa fonction.

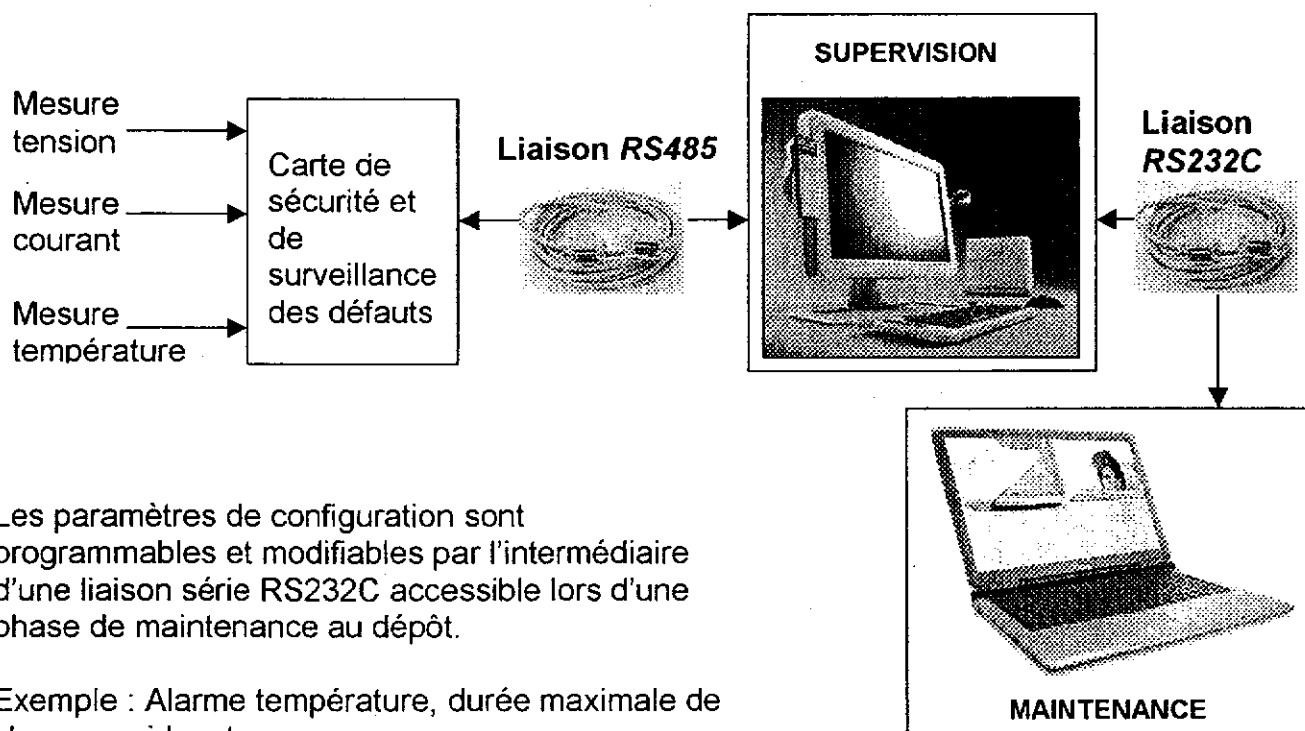
## E – VALIDATION DU CHOIX DES LIAISONS SERIE DE SUPERVISION ET DE MAINTENANCE

Une supervision embarquée permet la surveillance et l'enregistrement des paramètres batterie (tension batterie, courant de charge, courant de décharge, température batterie, etc.) dans chacune des cabines de pilotage (une à chaque extrémité de la rame) via une liaison série RS485.

L'ensemble des paramètres enregistrés est récupéré via une liaison RS232C afin d'assurer la maintenance préventive des batteries d'accumulateurs.

L'objectif de cette étude est de justifier la liaison de série RS485 pour la surveillance après avoir étudié le fonctionnement de la liaison RS232C pour la maintenance.

On donne ci-après le schéma synoptique de la supervision embarquée et de la liaison de maintenance.

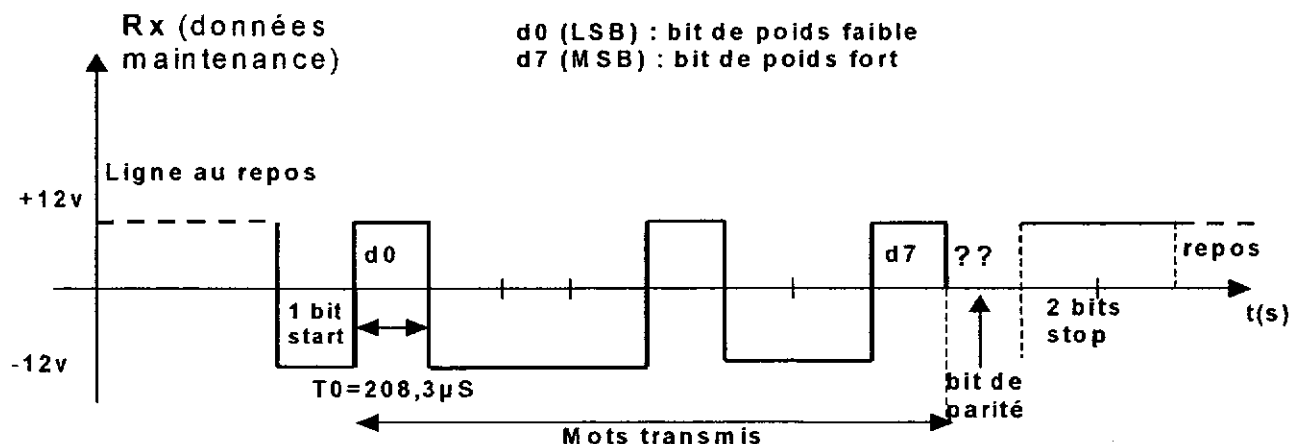


Les paramètres de configuration sont programmables et modifiables par l'intermédiaire d'une liaison série RS232C accessible lors d'une phase de maintenance au dépôt.

Exemple : Alarme température, durée maximale de charge rapide, etc ...

On donne ci-dessous un exemple de chronogramme de liaison série RS232C.

On rappelle que la ligne au repos est équivalente à un zéro logique.





## Étude du fonctionnement de la liaison RS232C

E-1) Définir le mot de données transmis en binaire puis en hexadécimal.

E-2) Définir la vitesse maximale de transmission en bits/s.

E-3) On utilise le bit de parité pour contrôler l'exactitude du message transmis. En parité paire, le mot complet (8 bits de données + 1 de parité) doit contenir un nombre pair de 1. Pour le mot précédemment transmis, définir le bit de parité pour une parité paire. En déduire le protocole complet de cette liaison sous la forme (vitesse..., nombre de bits de données..., nombre de bits start..., nombre de bits stop..., parité...). En déduire l'efficacité (rapport entre nombre de bits utiles et nombre de bits transmis) de la transmission pour cette liaison série.

## Justification de la liaison série RS485

E-4) A partir du tableau comparatif des caractéristiques des liaisons RS232C et RS485 ci-dessous, justifier le choix de la liaison RS485 pour la supervision embarquée.

	<i>RS232C</i>	<i>RS485</i>
Niveaux	$\pm 12 \text{ V}$	2 fois (0V / +5 V)
Sensibilité	$\pm 3 \text{ V}$	$\pm 0,2 \text{ V}$
Débit max.	19200 bits/s	10 Mbits/s
Multipoint	non	oui
Immunité aux ondes électromagnétiques parasites	faible	correcte

## F – DEFINITION D'UNE SOLUTION DE MONTAGE DE GALETS

L'objectif de cette partie est de définir une solution constructive pour la liaison entre le galet 5 et le levier de levage 8 (voir DT3 et DR3).

Les réponses sont à porter sur le document réponse DR4.

Lors de la phase de relevage du bras 9, la rentrée de la tige du vérin 3 provoque la rotation du levier 8, jusqu'au contact entre le galet 5 et le bras 9, entraînant ainsi la remontée du patin 7.

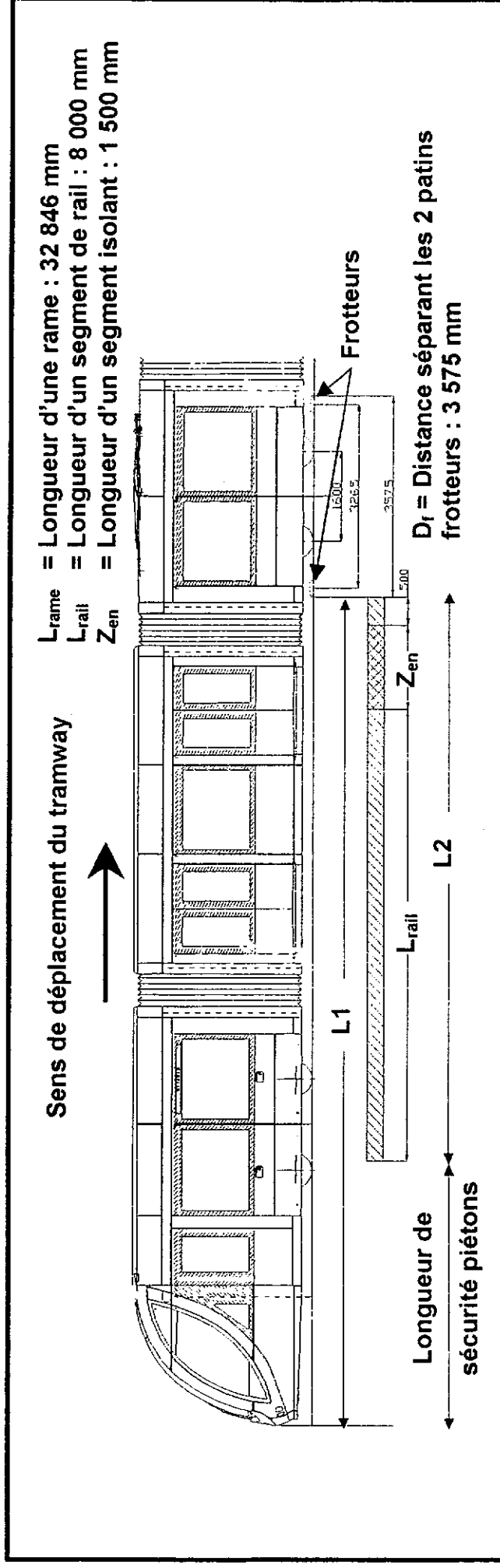
F-1) Identifier les caractéristiques de la liaison pivot entre le galet 5 et le levier de levage 8.

F-2) Proposer un croquis de la liaison entre le galet 5 et le levier de levage 8 en y indiquant les conditions fonctionnelles (jeux et ajustements) permettant de définir votre solution.

On fera l'hypothèse d'un chargement radial du galet 5 et on recherchera une solution économique.

## DOCUMENT TECHNIQUE DT1

Quelques dimensions du tramway et du rail segmenté :



Sur le tramway, la distance entre le dernier frotteur et l'extrémité du tramway est donnée par :

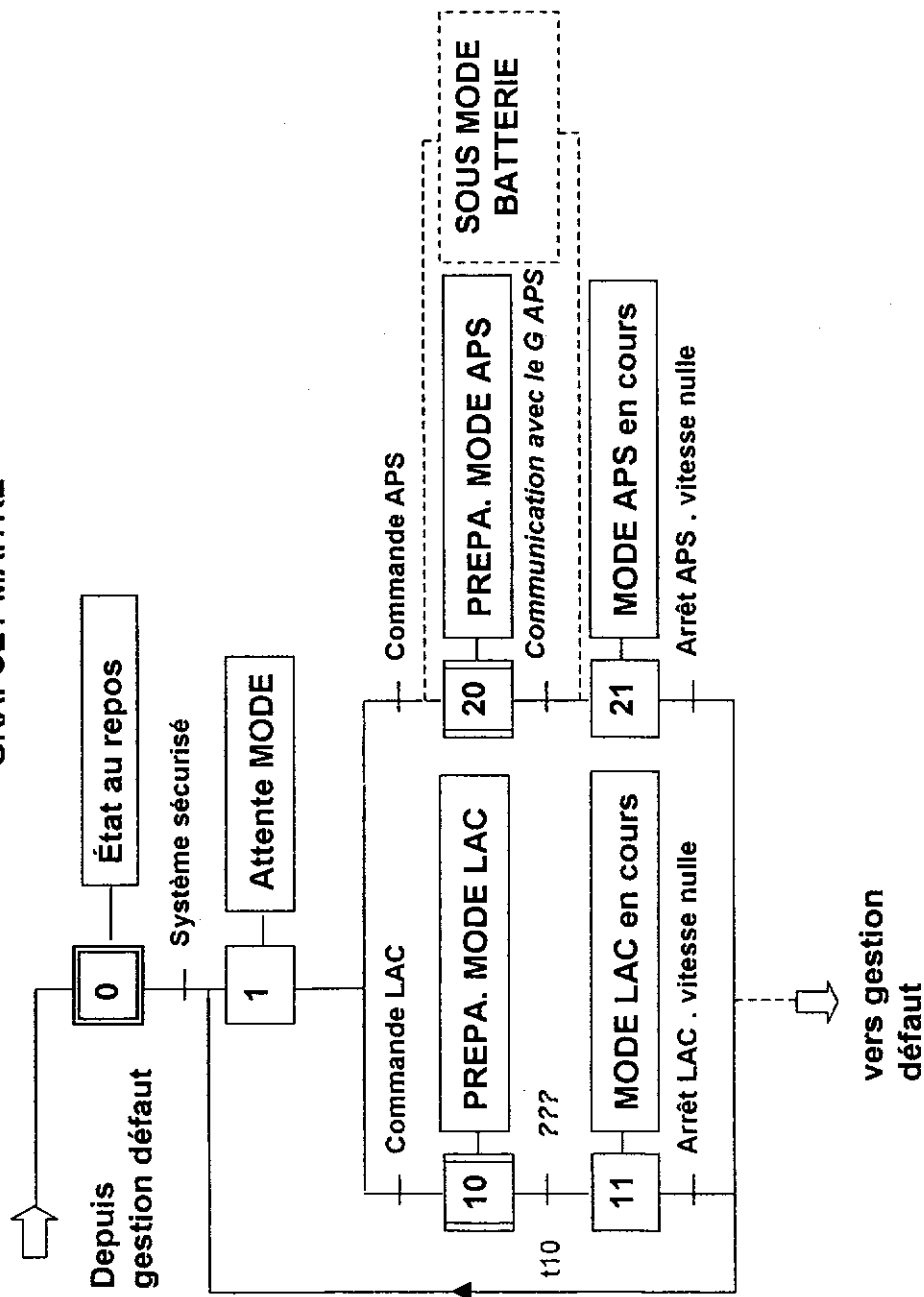
$$L1 = L_{rame}/2 - D_f/2$$

$$L1 = (32\,846 / 2) - (3\,575 / 2) \text{ soit } 14\,635 \text{ mm.}$$

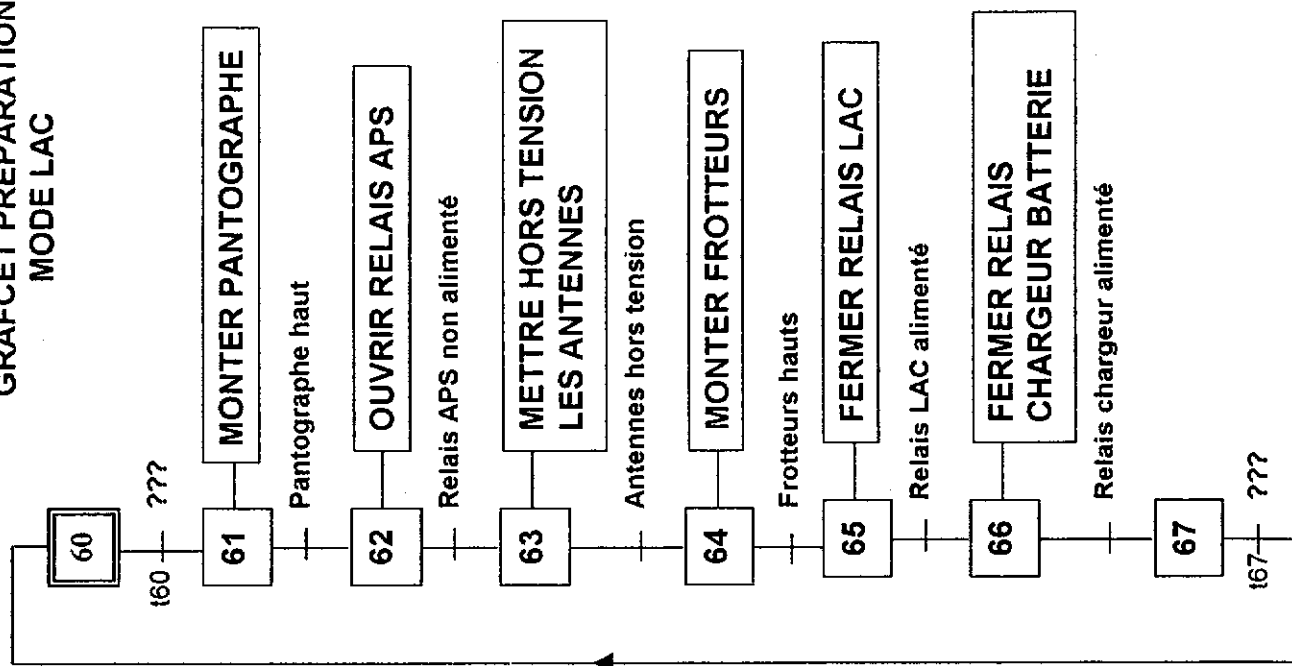
Sur la voie, la distance, entre le point de séparation du couplage train sol (par la ligne pilote) et l'extrémité du segment conducteur considéré est donnée par :

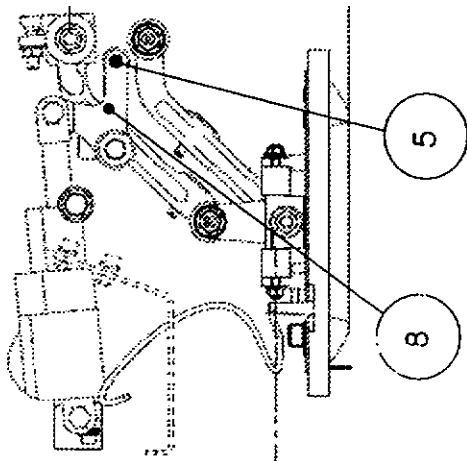
$$L2 = 500 \text{ mm (limite de réception des antennes)} + 1\,500 \text{ mm } (Z_{en}) + 8\,000 \text{ mm } (L_{rail}) \text{ soit } 10\,000 \text{ mm}$$

## GRAFCET MAITRE

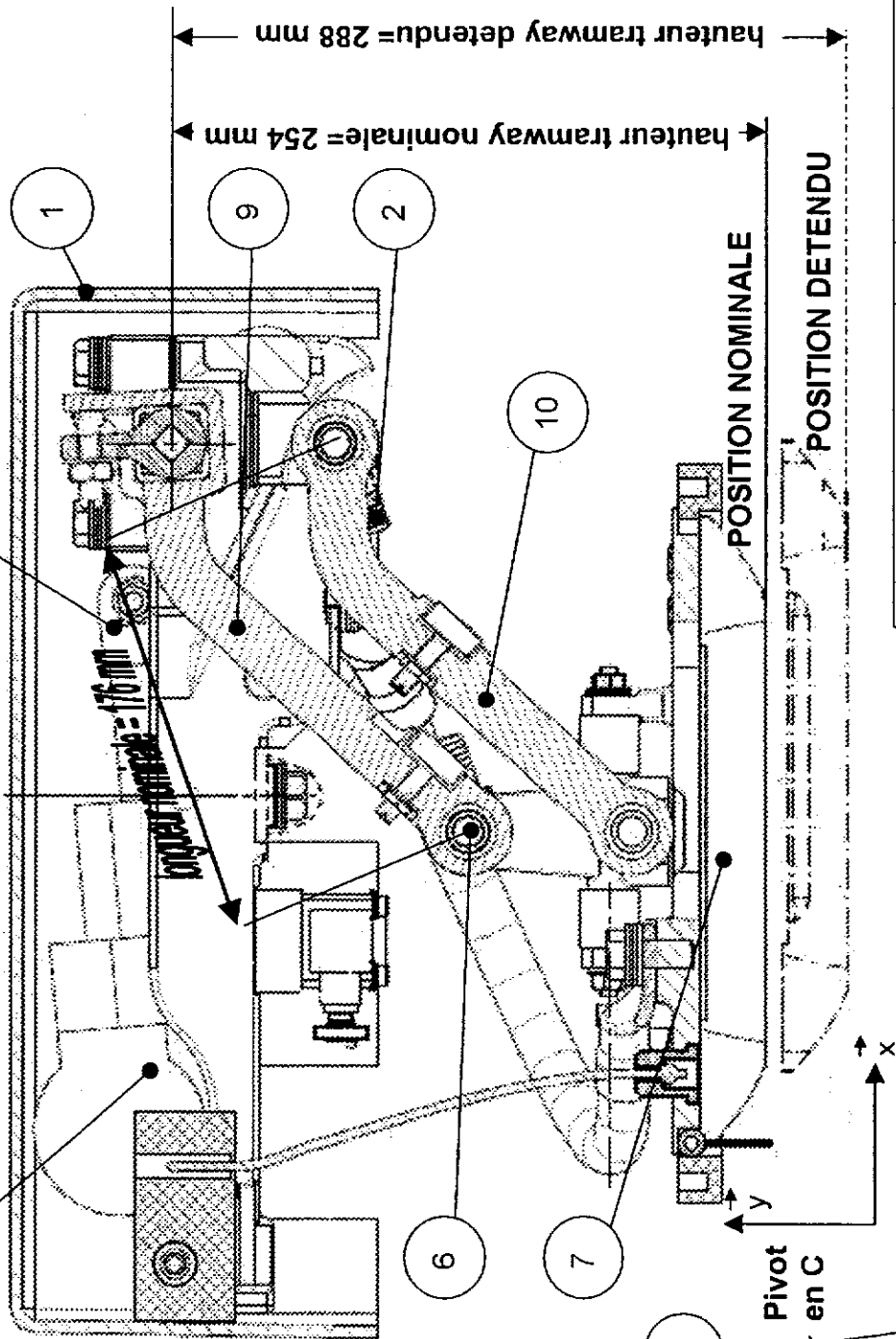
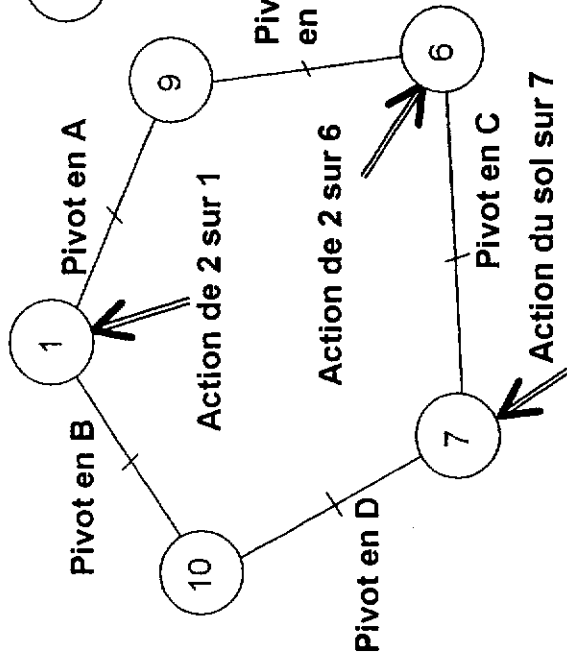


**REM : Le sous mode BATTERIE ne sera pas détaillé (partie en pointillé).**  
 La gestion des défauts ne sera pas traitée dans les grafquets de fonctionnement.

GRAFCET PRÉPARATION  
MODE LAC



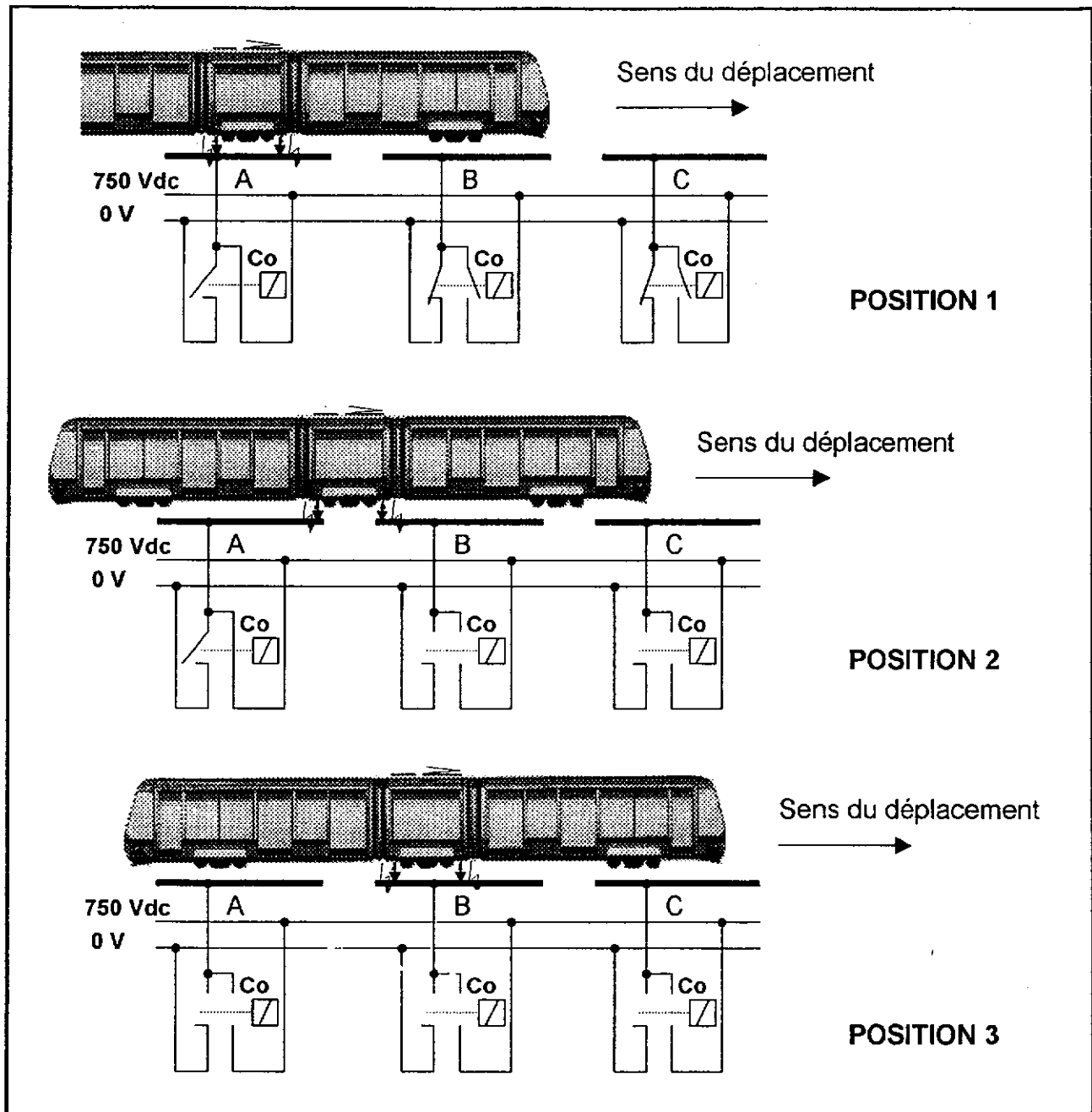
GRAPHE DES LIAISONS PARTIEL

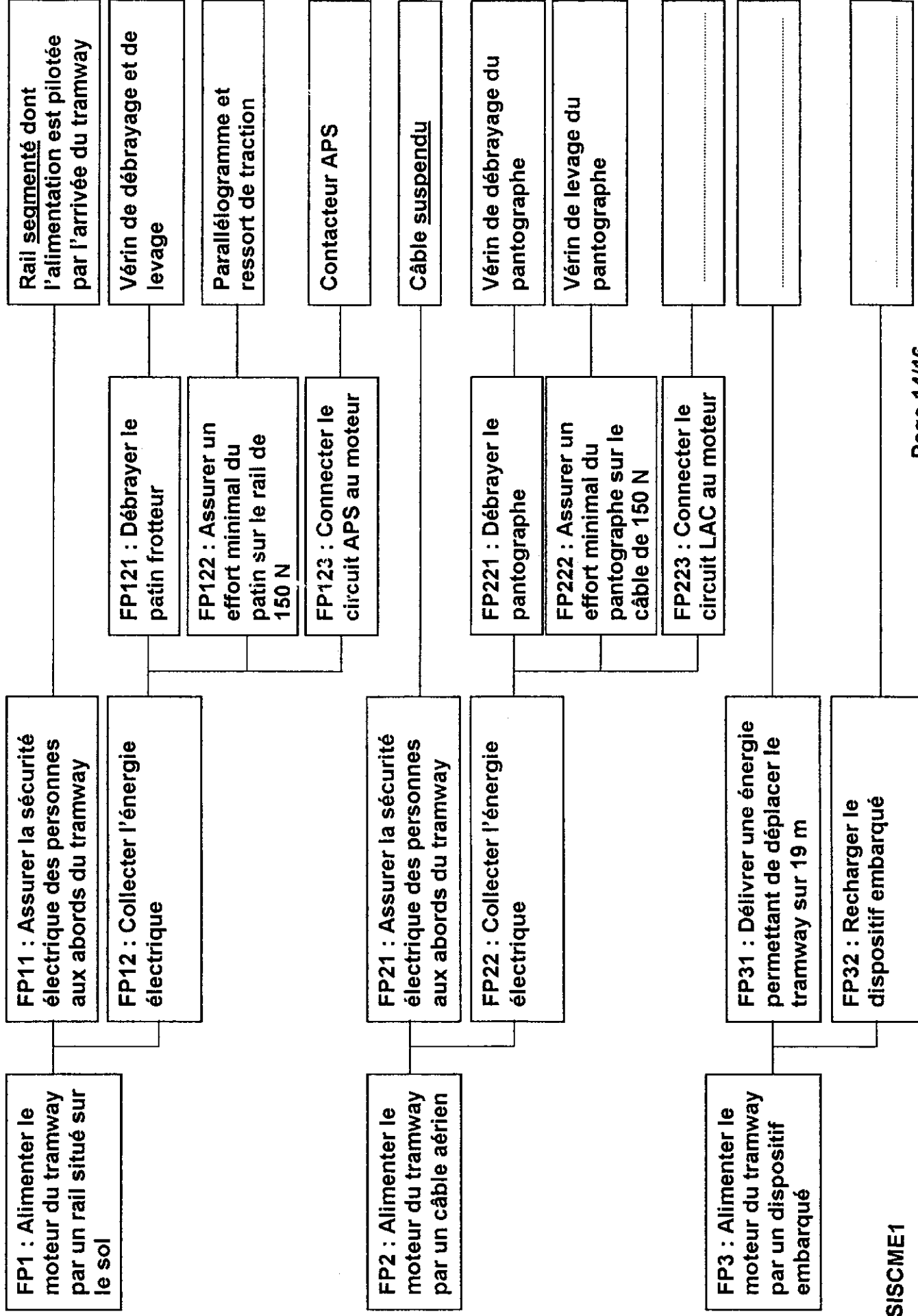


1	Châssis tramway	6	Axe
2	Ressort	7	Patin
3	Tige vérin	8	Levier de levage
4	Corps vérin	9	Bras supérieur
5	galet	10	Bras inférieur

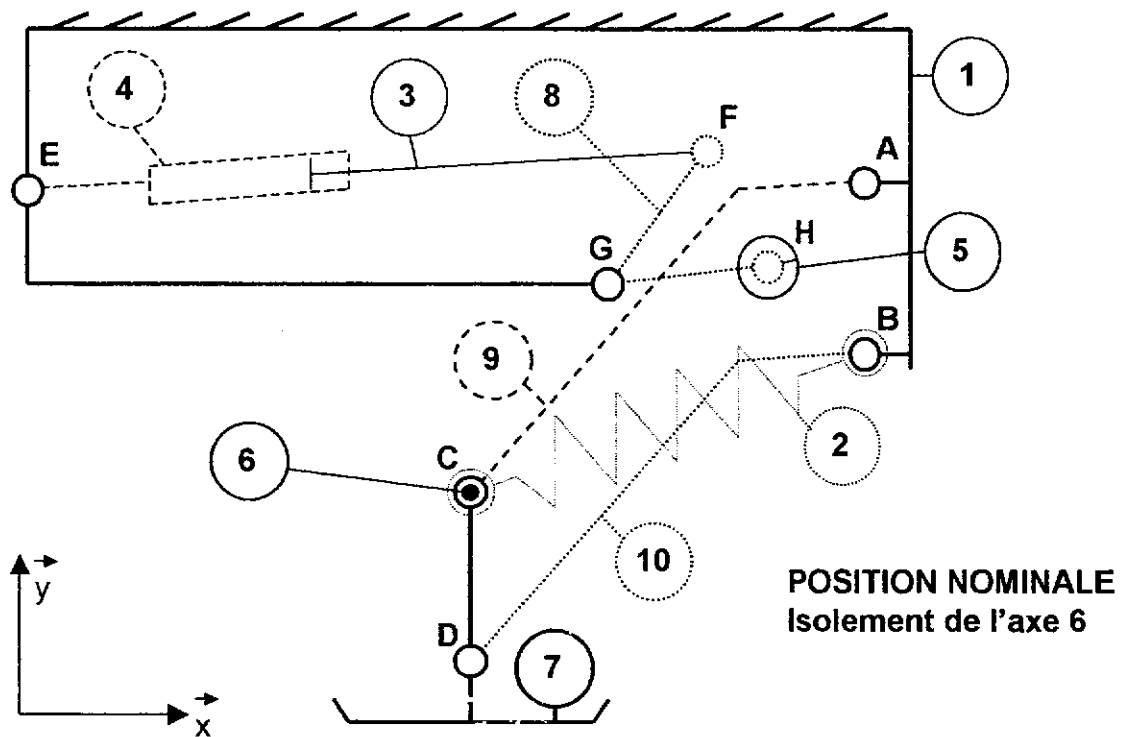
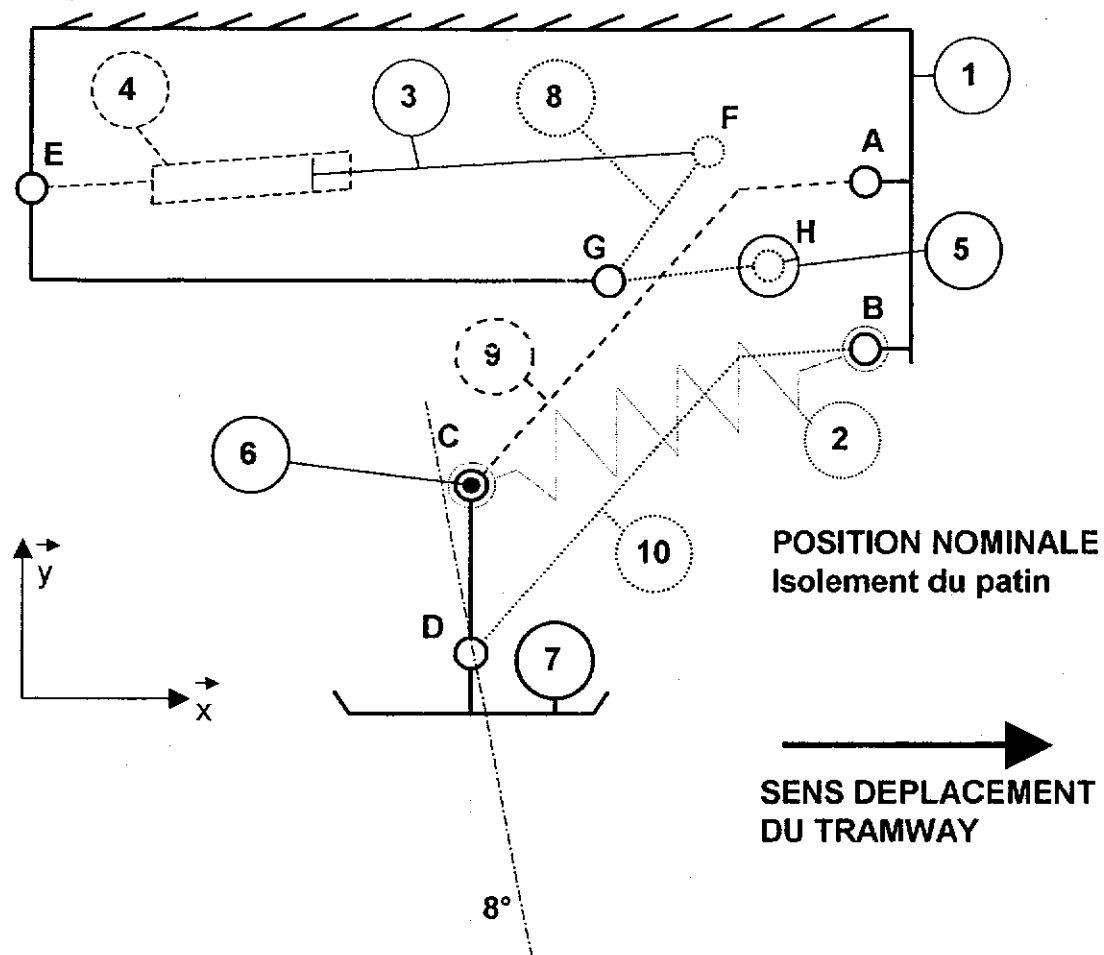
# DOCUMENT REPONSE DR1

A-1) Compléter le schéma de l'alimentation séquentielle des segments de rail.





C-2)



## DOCUMENT REPONSE DR4

**F-1) Identifier, en rayant les mentions inutiles, les caractéristiques de la liaison pivot entre le galet 5 et le levier de levage 8.**

Liaison galet/levier	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="width: 10px; height: 100%; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> <div style="width: 10px; height: 100%; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> </div>	Complète	ou	Partielle
		Rigide	ou	Elastique
		Permanente	ou	Démontable

**F-2) Proposer un croquis de la liaison entre le galet 5 et le levier de levage 8 en y indiquant les conditions fonctionnelles (jeux et ajustements) permettant de définir votre solution.**

On fera l'hypothèse d'un chargement radial du galet 5 et on recherchera une solution économique.

