

DS1 : Ascenseurs de Vaujany

Les réponses seront exclusivement reportées sur le document réponses.
Aucun autre document ne sera corrigé. Le sujet est à conserver.

I Présentation du système

La station de Vaujany est située dans le massif de l'Oisans, à environ 50 km de Grenoble (Isère). Le village est implanté sur un coteau en pente. Pour relier les différentes infrastructures du village-station, deux ascenseurs y ont été implantés en complément des différents escalateurs. Ces ascenseurs sont réalisés par la société Skirail (groupe Poma).

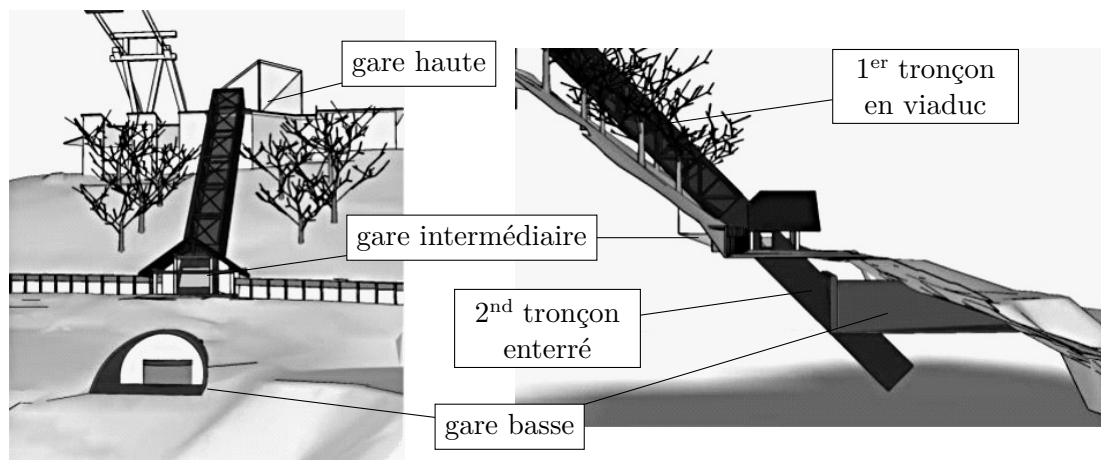


FIGURE 1 : Disposition des gares et des tronçons vue de face et de côté

Le système dispose d'une partie aérienne en viaduc entre la gare haute et la gare intermédiaire et d'une partie dans une gaine enterrée entre la gare intermédiaire et la gare basse (FIGURE 1). Le système comprend deux ascenseurs indépendants, qui circulent en parallèle. Chacun est relié à un contrepoids. Les cabines ont une capacité de 18 places.

Chacune des cabines d'ascenseur circule sur une voie composée d'une structure métallique (DT1 page 8) servant :

- de surface de roulement aux 4 roues de la cabine ;
- à guider le contrepoids ;
- à guider la nappe de câbles ;
- à supporter les différents capteurs de positionnement.

Objectif

L'objectif de cette étude est de montrer la pertinence de ce mode de transport d'un point de vue environnemental, d'étudier la consigne de déplacement de la cabine et d'analyser les performances du mouvement de la cabine à partir de résultats de simulation.

Un extrait du cahier des charges est fourni sous forme de diagramme d'exigences (FIGURE 5 page 7).

Q1. Proposer un diagramme de contexte pour ce système en phase d'exploitation.

Q2. Proposer un diagramme de cas d'utilisation pour ce système en phase d'exploitation.

La structure interne de l'ascenseur est définie par des extraits du diagramme de définition de blocs (FIGURE 6 page 7) et du diagramme de bloc interne (FIGURE 7 page 7).

Q3. À partir de ces diagrammes, compléter les chaînes d'énergie et d'information du document réponse en précisant le nom des composants ainsi que leur fonction respective.

II Évaluation de l'impact environnemental de l'ouvrage

Objectif

Comparer l'impact environnemental d'un transport par ascenseur à celui d'un transport par véhicule automobile.

La problématique du stationnement dans le cœur du village-station, couplée à celle de la pollution atmosphérique rend nécessaire de comparer le transport par véhicule automobile à celui par ascenseur.

Afin de proposer un service de qualité aux usagers, la station a fait le choix d'un fonctionnement du système en « tandem ». Cela permet d'avoir en permanence une cabine en attente en gare haute et la seconde en gare basse. Donc, lors d'un déplacement d'une cabine avec des passagers, la seconde cabine effectue le trajet en sens inverse.

Un relevé statistique des allers-retours des deux cabines d'ascenseurs a été réalisé entre les gares haute et basse (FIGURE 2). Un aller-retour des deux cabines correspond à deux allers-retours d'une cabine.

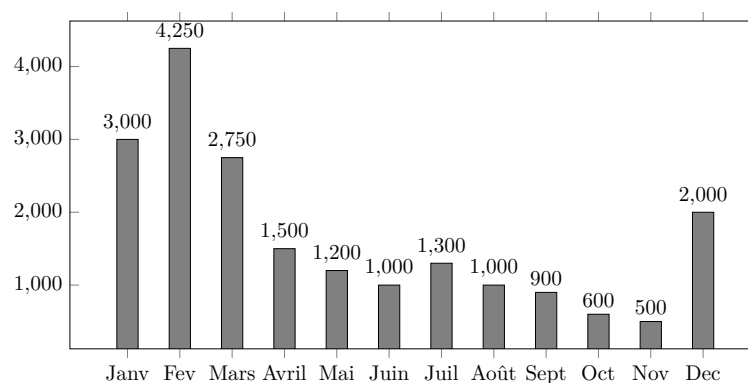


FIGURE 2 : nombre d'allers-retours des deux cabines

Données et hypothèses :

- la route entre la gare haute et la gare basse a une longueur de 1 km ;
- la consommation énergétique moyenne du système pour un trajet aller-retour est de $0,5 \text{ kW} \cdot \text{h}$;
- le nombre moyen de passagers par aller-retour des deux cabines est de 6 personnes ;
- le nombre moyen de passagers sur l'année par trajet en véhicule automobile est de 3 personnes ;
- l'émission de CO_2 en France pour une production d'électricité de $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ électrique est de 90 g équivalent CO_2 ;
- le taux d'émission de CO_2 moyen $T_{em\text{CO}_2}$ d'un véhicule automobile en France est de $115 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1}$.

Q4. Déterminer le nombre moyen de passagers transportés en une année entre les deux gares (montée ou descente).

Q5. En déduire, le nombre équivalent de trajets (aller ou retour) en véhicule automobile.

Q6. Déterminer la masse de CO_2 annuelle rejetée par les deux moyens de transport et conclure la satisfaction de l'exigence 11.

III Confort des passagers

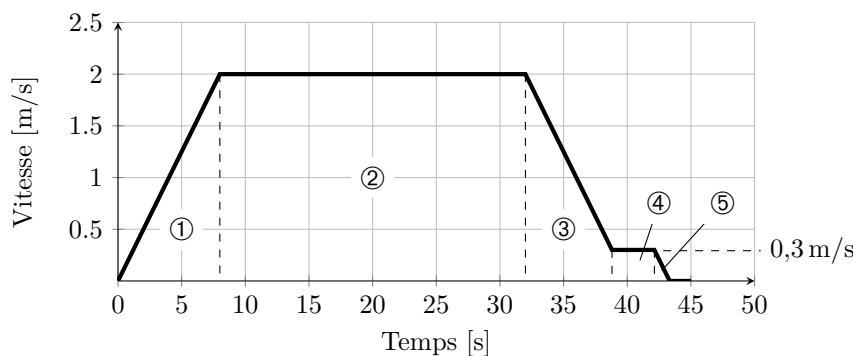
Objectif

Analyser et valider les solutions mises en œuvre pour assurer le confort des passagers.

La norme NF EN 81-22 précise les règles de sécurité pour la construction et l'installation des ascenseurs électriques inclinés (entre 15° et 75°). Elle impose, en service normal et pour tous les cas de charge :

- une vitesse maximale de $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ pour une charge de 3000 kg ;
- une composante horizontale suivant l'axe $(O, \vec{x})$ (DT1 page 8) de l'accélération a_{max} subie par les passagers pendant le démarrage inférieure en valeur absolue à $0,1g$. L'accélération de la pesanteur a pour valeur $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Le graphe des vitesses théoriques de la cabine sur l'axe $(O, \vec{x}_r)$ (DT1 page 8) dans le référentiel terrestre pour un trajet de la gare basse à la gare haute est défini sur la FIGURE 3.



phase	début	fin
①	$t = 0$	$t_1 = 8 \text{ s}$
②	$t = t_1$	$t_2 = 32 \text{ s}$
③	$t = t_2$	$t_3 = 38,8 \text{ s}$
④	$t = t_3$	$t_4 = 42,13 \text{ s}$
⑤	$t = t_4$	$t_5 = 43,33 \text{ s}$

FIGURE 3 : Profil de la commande en vitesse de la cabine d'ascenseur

Q7. Calculer pour chacune des phases l'accélération de la cabine a_{cab} sur l'axe $(O, \vec{x}_r)$ et tracer son évolution temporelle.

Q8. Déterminer la valeur de l'accélération horizontale suivant l'axe $(O, \vec{x})$ pour les phases ①, ③ et ⑤. Conclure sur la validation de l'exigence 14.

IV Simulation du comportement de la cabine d'ascenseur

Objectif

Caractériser et valider le comportement de la cabine à partir d'une simulation.

IV.1 Modélisation du comportement de la cabine d'ascenseur

La modélisation multi-physique du comportement de la cabine est représentée sur le schéma-bloc acausal du document réponse DR 1.

Q9. Repasser en rouge les liens et composants qui permettent de justifier que le comportement de la cabine est asservi. Préciser la nature de la grandeur physique qui est asservie.

Le logiciel associé à la réalisation du modèle multi-physique ne dispose pas de bloc permettant de modéliser directement le fait que le mouvement de la cabine se fait sur une pente inclinée.

Q10. Expliquer, brièvement, les différences de l'influence du poids dans le comportement de la cabine entre un mouvement horizontal et un mouvement en pente.

Q11. En déduire l'expression de la force à prendre en compte dans la modélisation, en fonction de la masse m de la cabine, de l'accélération de la pesanteur g et de l'angle d'inclinaison des rails β (voir DT1 page 8).

IV.2 Simulation du comportement de la cabine soumise un signal test

Avant de simuler le comportement du système avec la consigne réelle (FIGURE 3), il est nécessaire de tester le modèle avec un signal simple. Les courbes du document réponse DR 2 présentent la réponse indicielle du système à une consigne de vitesse unitaire pour des correcteurs proportionnels de gain K_1 et K_2 (avec $K_2 > K_1$).

Q12. Déterminer les performances du système pour chaque correcteur.

Q13. Conclure sur la validation des exigences 161 à 165 (sauf 162).

Une étude supplémentaire sur les correcteurs a permis de valider un choix de correcteur qui sera utilisé dans la suite du sujet.

IV.3 Simulation du comportement de la cabine en phase de montée

Le comportement de la cabine a été simulé lors d'une phase de montée. Les résultats de cette simulation sont donnés sur le document réponse DR 3 où la courbe en pointillés correspond à la consigne de vitesse.

Q14. Tracer et déterminer l'erreur en réponse à une rampe (erreur de trainage) ainsi que l'erreur en réponse à un échelon (erreur statique) de la cabine et conclure sur la validation des exigences 161 et 162.

Q15. À partir du profil de vitesse (FIGURE 3), déterminer la distance d_i parcourue par la cabine durant chaque phase i et en déduire la distance totale parcourue en fin de parcours.

Q16. Reporter les distances théoriques de la question précédente sur l'évolution simulée de la position et tracer l'évolution théorique du déplacement de la cabine suivant l'axe $(O, \vec{x}_r)$.

Q17. Expliquer succinctement les différences constatées sur le déplacement et conclure sur la validation de l'exigence 13.

IV.4 Optimisation de la consigne en vitesse de la cabine

Le cahier des charges remis au constructeur de l'ascenseur impose une durée de parcours entre la gare haute et la gare basse (hors temps de chargement, déchargement et ouverture/fermeture des portes) inférieure à une minute. Pour respecter cette contrainte et accroître le confort des passagers, il a été choisi de programmer le variateur de vitesse du moteur de la poulie motrice avec une loi de commande optimisée, tracée en pointillé sur la FIGURE 4.

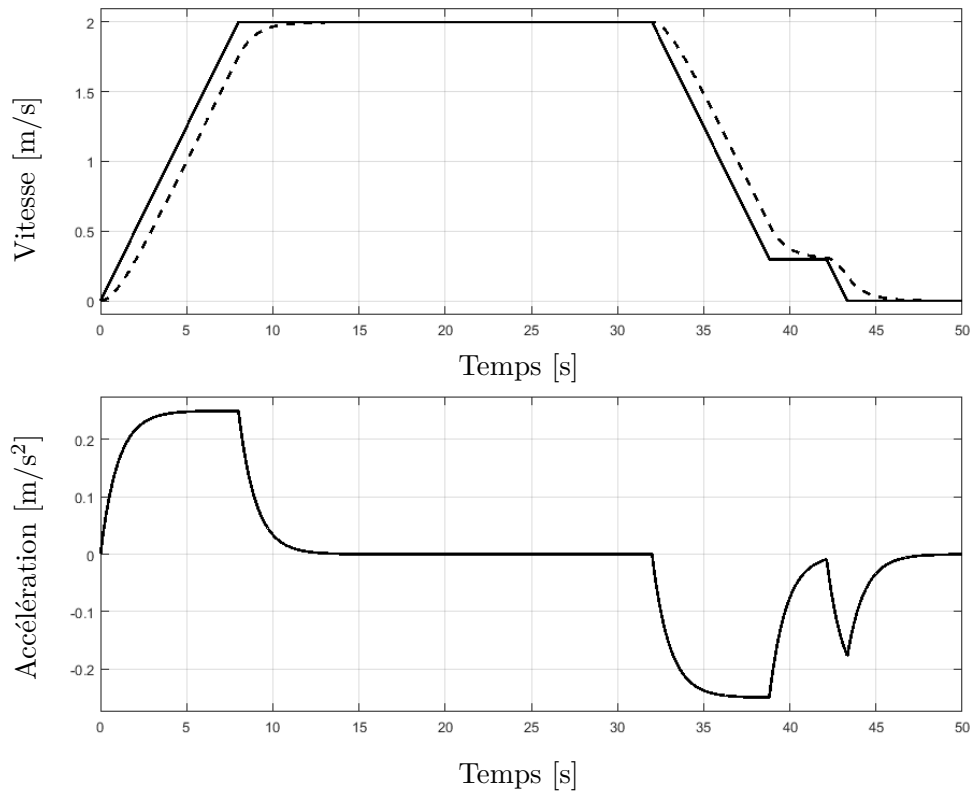


FIGURE 4 : Évolutions de la consigne de vitesse améliorée et de l'accélération associée

Q18. En analysant ces courbes, expliquer en quoi la loi de commande optimisée apporte du confort aux passagers. Déterminer les effets induits sur le temps de trajet de la cabine. Conclure quant à la solution retenue pour le déplacement de la cabine vis-à-vis du confort et de la norme en vigueur.

V Modélisation du système

Dans cette partie, on souhaite mettre en place un modèle mathématique de chaque consituant afin de mieux choisir le correcteur.

V.1 Description de l'asservissement

La consigne $v_c(t)$ est convertie par un adaptateur en une valeur numérique $n_c(t)$. Cette valeur numérique est comparée à l'aide d'un comparateur à l'image $n_m(t)$ de la vitesse angulaire du moteur $\omega_m(t)$ obtenue par un capteur pour former l'écart $\varepsilon(t)$. Cet écart est ensuite modulé par le correcteur amplificateur qui délivre une tension $u_m(t)$ au moteur. Le moteur entraîne ensuite le réducteur dont la vitesse de rotation de l'axe de sortie relié à la poulie est notée $\omega_p(t)$. La cabine est finalement reliée à la courroie du système poulie-courroie qui va se déplacer à la vitesse $v(t)$.

Q19. Réaliser un schéma-blocs fonctionnel de cet asservissement.

V.2 Modélisation du système poulie-courroie

La poulie possède un rayon $R = 0,75$ m sur laquelle la courroie se déplace sans glisser.

Q20. Déterminer la relation entre la vitesse de rotation de la poulie et la vitesse de translation de la courroie sous la forme $v(t) = K_{pc}\omega_p(t)$.

V.3 Modélisation du moteur

Le moteur à courant continu est caractérisé par trois équations couplées :

- équation électrique (modélisation par circuit RL) : $u_m(t) = e(t) + R_m i(t)$;
- équations de couplage magnétique : $C_m(t) = k_c i(t)$ et $e(t) = k_e \omega_m(t)$.

On note $u_m(t)$ la tension d'alimentation, $i(t)$ le courant, $C_m(t)$ le couple fourni par le moteur, $\omega_m(t)$ la vitesse de rotation du moteur, R_m , k_c et k_e les constantes caractéristiques du moteur électrique.

À ces trois équations vient s'ajouter une équation mécanique qui caractérise la dynamique de l'ensemble des pièces en mouvement : $J_{eq} \frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t)$ avec $C_r(t)$ couple résistant et J_{eq} l'inertie équivalente.

Q21. Montrer que le modèle du moteur peut se mettre sous la forme d'une équation différentielle du premier ordre : $\tau_m \frac{d\omega_m(t)}{dt} + \omega_m(t) = K_{m1} u_m(t) + K_{m2} C_r(t)$ où vous donnerez les constantes τ_m , K_{m1} et K_{m2} en fonction des caractéristiques du moteur.

La figure document réponse DR 4 donne la réponse à une tension du moteur sous forme d'un échelon d'amplitude 100 V. Le système étant équilibré, on supposera que pour cet essai le couple résistant $C_r(t)$ est nul.

Q22. Identifier les paramètres τ_m et K_{m1} en laissant les traits de construction sur la figure document réponse DR 4.

V.4 Modélisation de l'adaptateur

On donne les équations supplémentaires suivantes :

- le réducteur est modélisé par un gain K_r : $\omega_p(t) = K_r \omega_m(t)$
- l'adaptateur est modélisé par un gain K_a : $n_c(t) = K_a v_c(t)$
- le capteur est modélisé par un gain K_{cod} : $n_m(t) = K_{cod} \omega_m(t)$

Afin d'avoir un système correctement asservi, il faut que l'écart $\varepsilon(t) = n_c(t) - n_m(t)$ soit proportionnel à l'erreur $v_c(t) - v(t)$. **Q23.** Déterminer la relation entre les gains K_a , K_{cod} , K_r et K_{pc} .

V.5 Modèle complet

On suppose que le correcteur est de type proportionnel de gain K_c : $u_m(t) = K_c \varepsilon(t)$.

Q24. Déterminer l'équation différentielle globale reliant la consigne $v_c(t)$ et le couple résistant $C_r(t)$ à la vitesse $v(t)$ en la mettant sous forme canonique et en identifiant les paramètres de la forme canonique en fonction des paramètres du système K_a , K_{cod} , K_r , K_{pc} , K_c , K_{m1} , K_{m2} et τ_m .

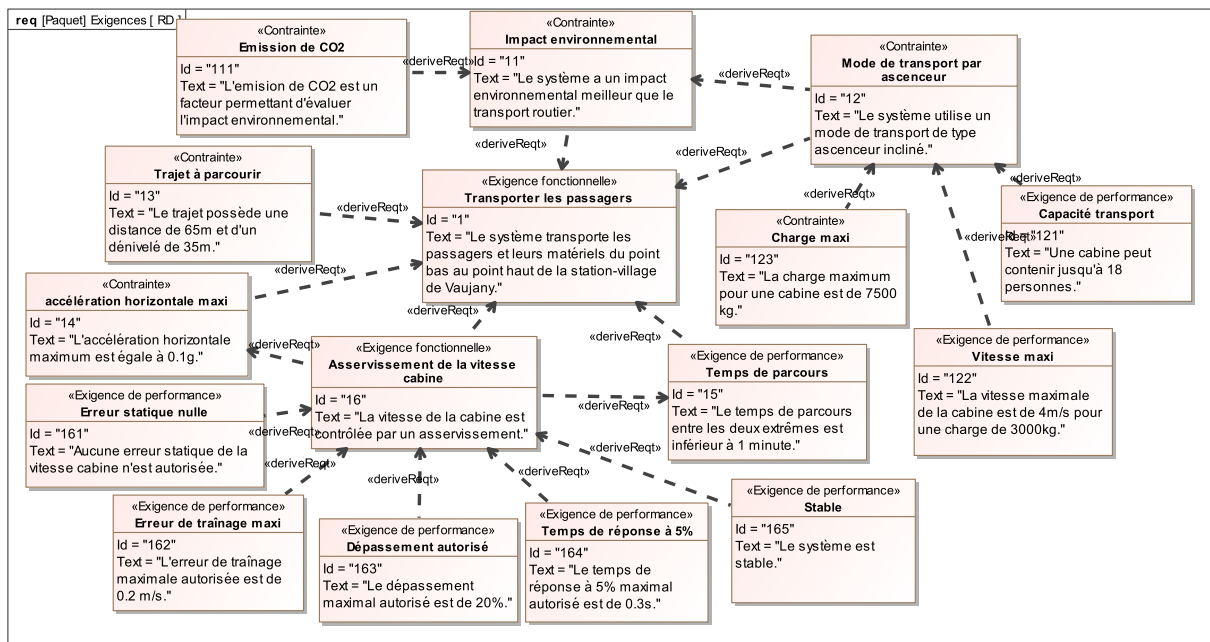


FIGURE 5 : Diagramme d'exigences extrait du cahier des charges

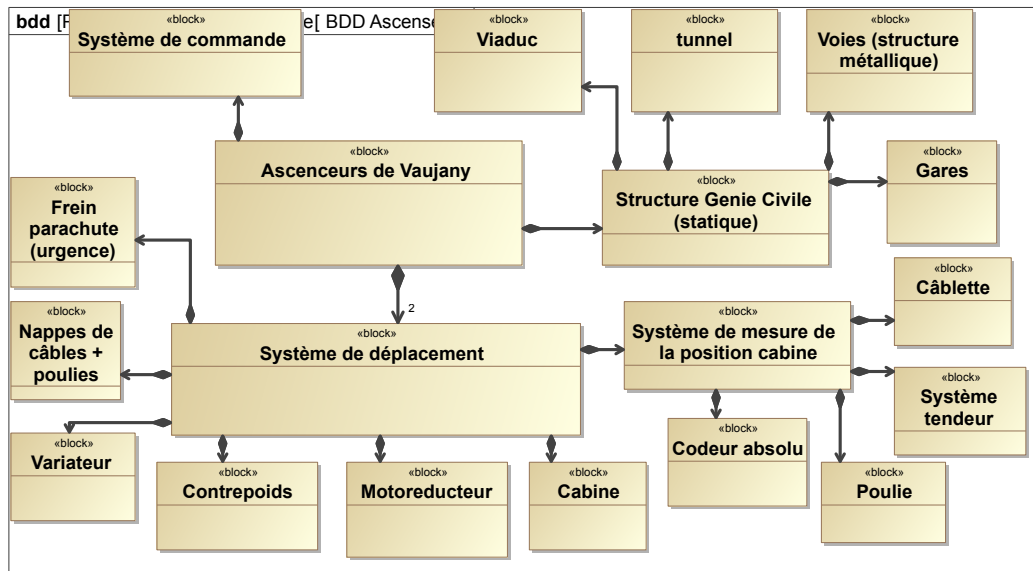


FIGURE 6 : Diagramme de définition de blocs

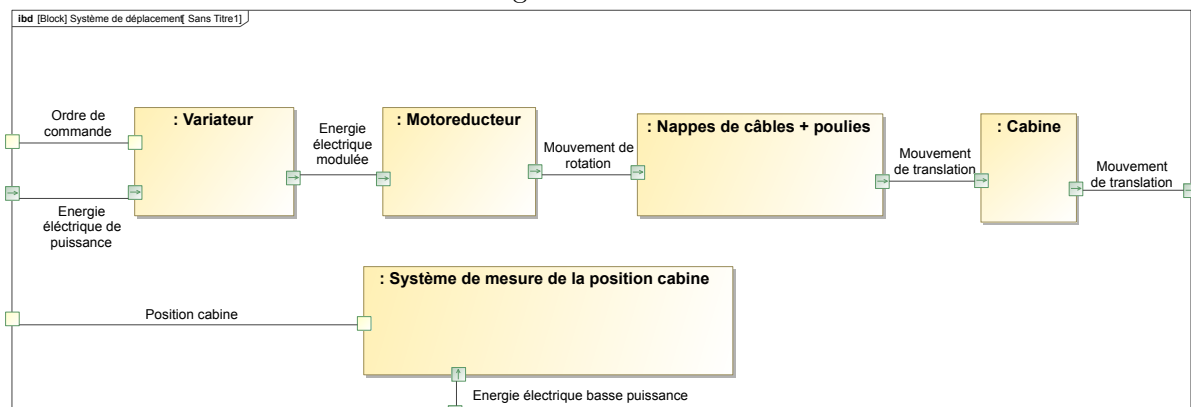
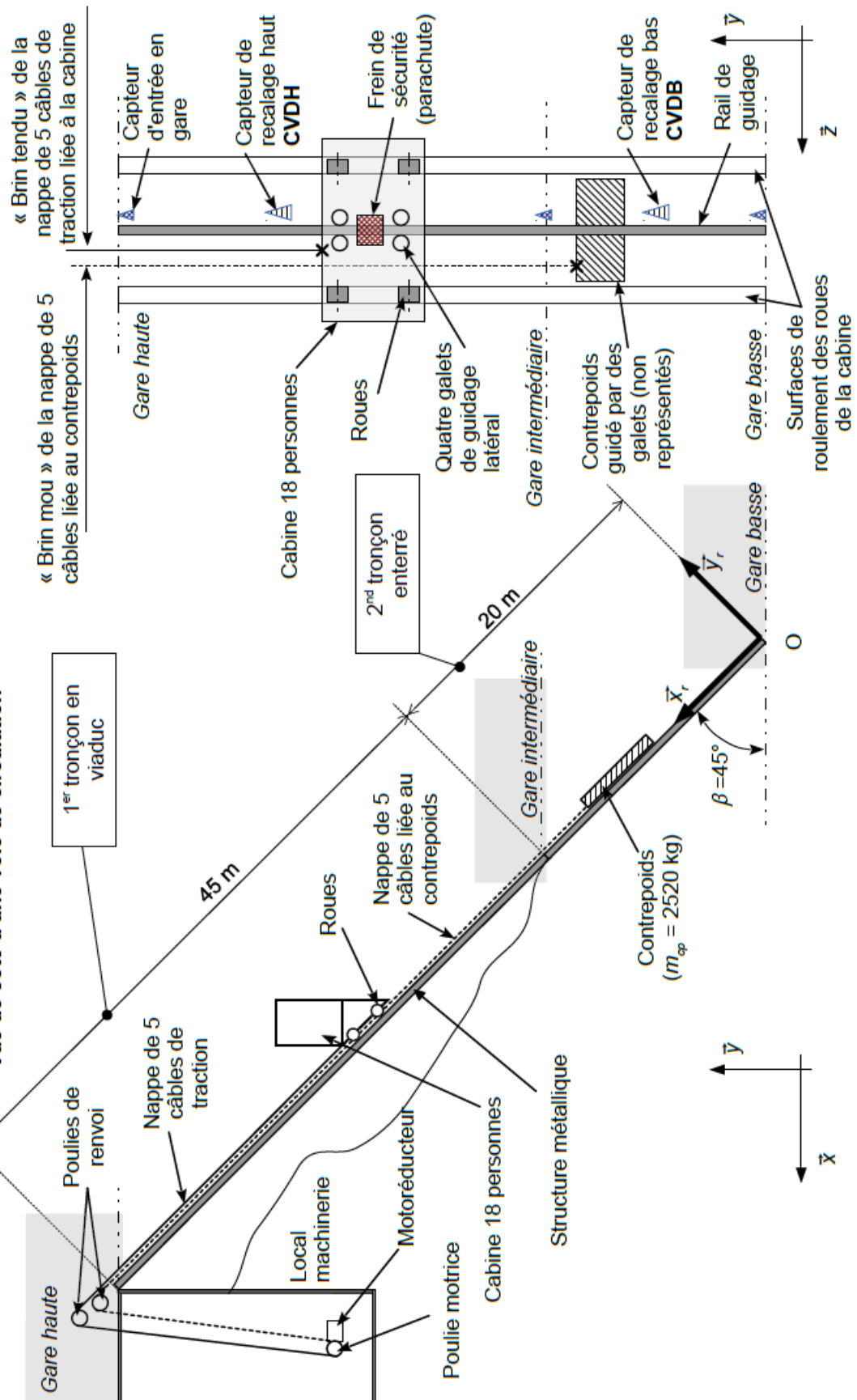


FIGURE 7 : Diagramme de bloc interne du système de déplacement

Document technique DT1.

Vue de coté d'une voie de circulation

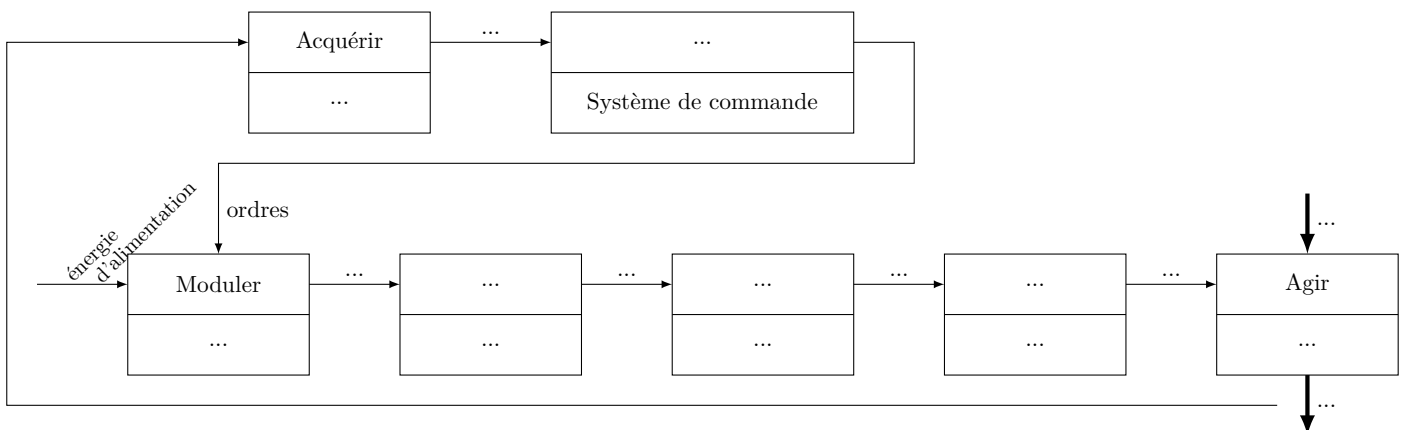


DOCUMENT RÉPONSES

Q1 : Diagramme de contexte (en exploitation).

Q2 : Diagramme de cas d'utilisation.

Q3 : Chaînes d'énergie et d'information.

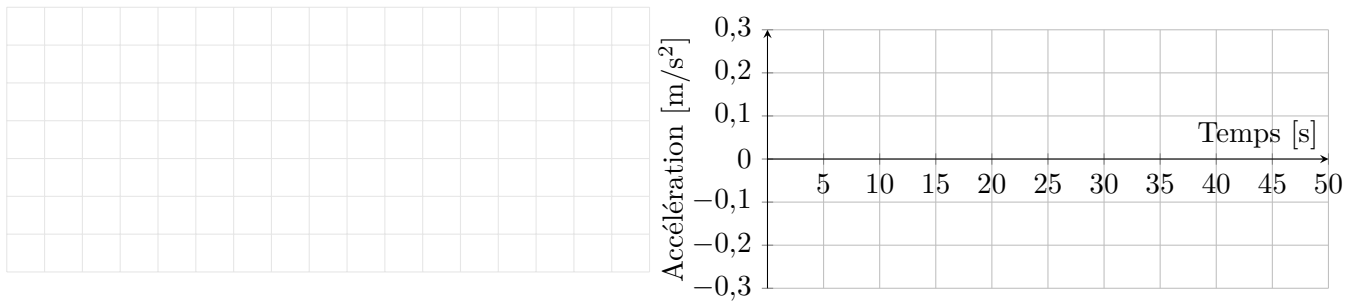


Q4 : Nombre de passagers transportés entre les deux gares sur une année.

Q5 : Nombre équivalent de trajets en voiture.

Q6 : Masse annuelle de CO₂ rejetée pour les deux moyens de transport.

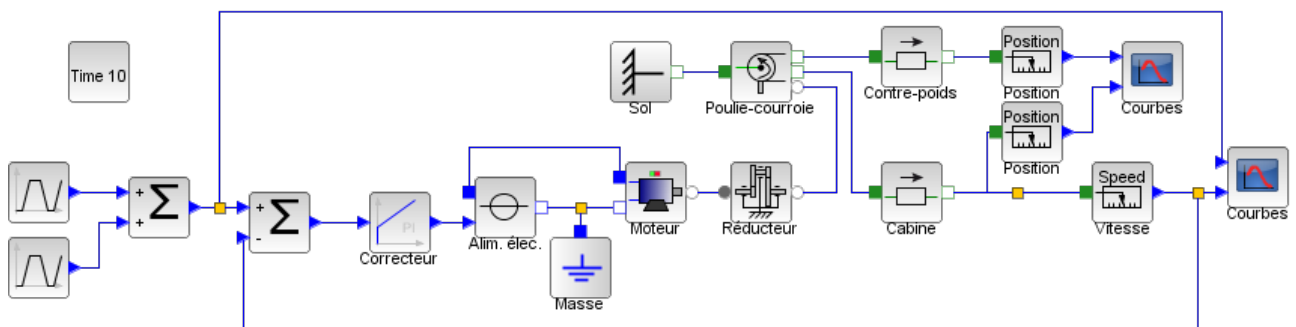
Q7 : Accélérations pour chaque phases et tracé de l'évolution temporelle de l'accélération.



Q8 : Accélération horizontale et conclusion.



Q9 : Justification d'un système asservi.



DR 1 : Modélisation multi-physique de la cabine d'ascenseur



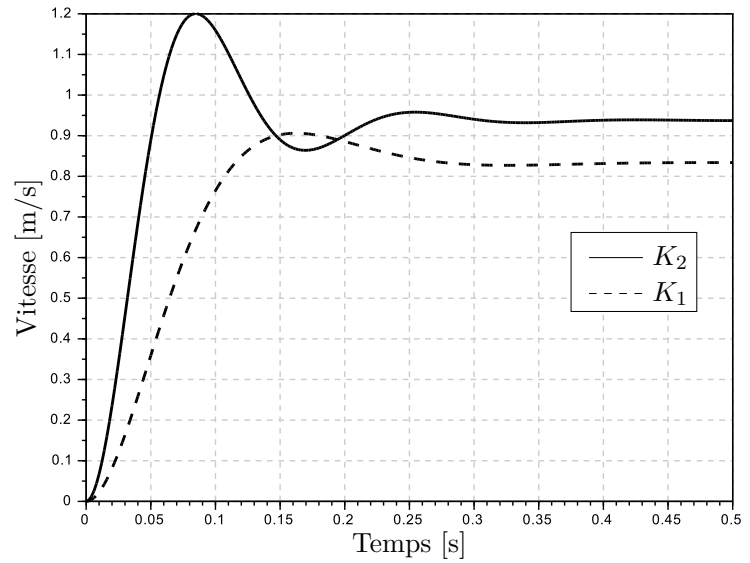
Q10 : Influence de la pente sur le travail du poids.



Q11 : Expression de la force de la pesanteur sur l'ascenseur en pente.



Q12 : Performances pour les deux correcteurs.

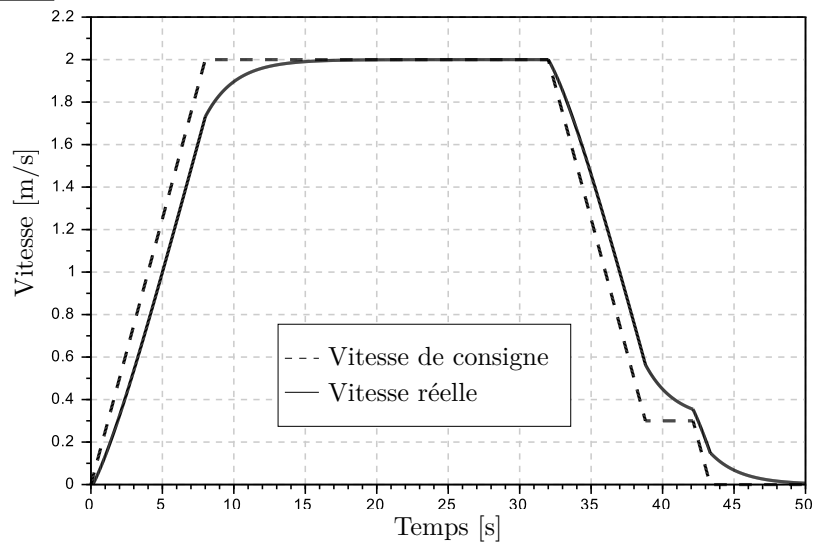


DR 2 : Réponse en vitesse à une consigne $v_0 = 1$ m/s

Q13 : Validation des exigences 161 à 165.



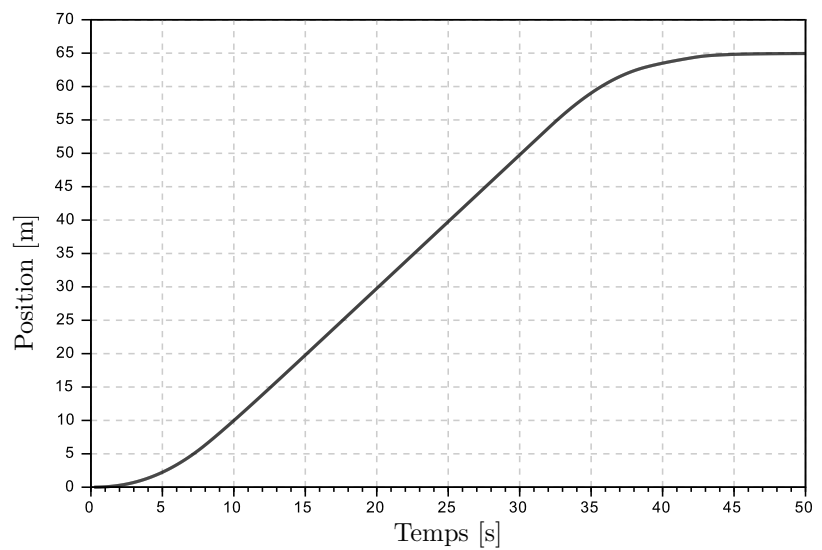
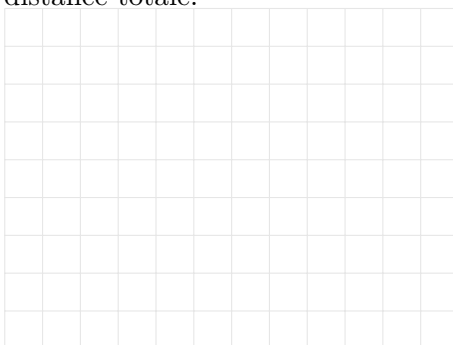
Q16 : Évolution temporelle théorique de la position.



Q14 : Erreur statique et de traînage.



Q15 : Distances d_i des phases et distance totale.



DR 3 : Réponse du système en phase de montée

Q17 : Explication des différences et validation de l'exigence 13.

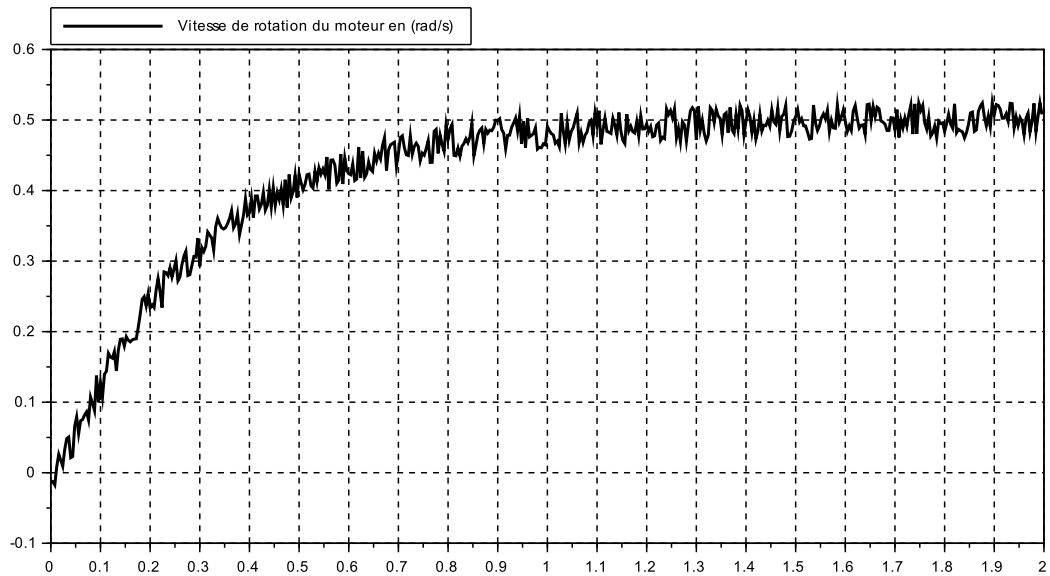
Q18 : Amélioration sur le confort et conclusion.

Q19 : Schéma-blocs fonctionnel de l'asservissement.

Q20 : Détermination du gain du système poulie-courroie.

Q21 : Détermination de l'équation différentielle du moteur.

Q22 : Identification des paramètres de l'équation différentielle du moteur.



DR 4 : Réponse à un échelon d'amplitude 100 V du moteur



Q23 : Détermination de la relation entre les coefficients K_a , K_{cod} , K_r et K_{pc} .



Q24 : Détermination de l'équation différentielle globale du système.

