

## 1. Évaluation de l'impact environnemental de l'ouvrage

**Objectif de cette partie :** Comparer l'impact environnement de l'utilisation d'un transport par ascenseur par rapport à un transport par véhicule automobile.

**Q1. Déterminer** le nombre  $N_{A-R_{cabine}}$  d'aller-retours de cabine réalisés sur une année compte tenu des données fournies. En **déduire** le nombre  $N_{passagers}$  de passagers transportés entre les deux gares (montée ou descente) par ce moyen de transport. On suppose que toute personne montée en gare haute redescend ensuite.

**Calculer** le nombre équivalent  $N_{trajets}$  de trajets (aller ou retour) en véhicule automobile.

À l'analyse du graphique figure 2 :

$$N_{A-R_{cabine}} = 40000 \text{ trajets AR}$$

Comme en moyenne il y a 6 personnes par cabine :

$$N_{passagers} = N_{A-R_{ascenseur}} \times 6 \times 2 = 480000 \text{ personnes}$$

Sachant que pour un transport en voiture il y a en moyenne 3 personnes par voiture :

$$N_{trajets} = \frac{N_{passagers}}{3} = \frac{480000}{3} = 160000$$

**Q2. Calculer** la masse  $M_{Rejets_{auto}}$  de CO<sub>2</sub> annuelle rejetée par le transport automobile, puis la masse  $M_{Rejets_{ascenseur}}$  de CO<sub>2</sub> annuelle rejetée par le transport par ascenseur.

À partir de  $\rho_{emCO_2} = 115 \text{ g km}^{-1}$  nous pouvons calculer la masse de CO<sub>2</sub> rejetée :

Distance parcourue en voiture :

$$d_{auto} = N_{trajets} \times 1 = 160\,000 \text{ km}$$

$$M_{Rejets_{auto}} = d_{auto} \times \rho_{emCO_2} = 160\,000 \times 115 = 18\,400\,000 \text{ g CO}_2 = 18,4 \text{ t CO}_2$$

Connaissant la consommation pour un trajet AR : 0,5 kWh ainsi que 1 kWh électrique génère 90 g d'équivalent CO<sub>2</sub>, nous sommes en mesure de déterminer la masse de CO<sub>2</sub> rejeté émis par l'ascenseur :

$$M_{Rejets_{ascenseur}} = 40\,000 \times 0,5 \times 90 = 1\,800\,000 \text{ g CO}_2 = 1,8 \text{ t CO}_2$$

**Q3. Conclure** sous la forme d'un texte de quelques lignes sur la pertinence de l'installation d'un tel ouvrage.

L'installation de l'ascenseur permet de limiter grandement les rejets en CO<sub>2</sub> par rapport au transport automobile. De plus ce mode de transport limite l'impact du problème de stationnement au cœur de la station en repoussant les véhicules au bas de la station.

## 2. Confort des passagers

**Q4. Caractériser** la nature du mouvement de chaque phase de ce déplacement.

Voir DR1

**Q5. Calculer**, pour chacune des phases, l'accélération  $a_{cab}$  de la cabine sur l'axe  $(O, \vec{x}_r)$ . **Tracer** sur le document DR1 le graphe des accélérations sur l'axe  $(O, \vec{x}_r)$  dans le référentiel terrestre.

À partir de l'équation en vitesse pour un mouvement rectiligne uniformément accéléré :

$$v(t) = at + v_0 \text{ donc } a = \frac{v(t) - v_0}{t}$$

donc pour la phase 1 :

$$\text{à } t = t_1 = 8 \text{ s} \quad v_0 = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \text{ et } v_1 = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \text{ donc } a_1 = \frac{(v_1 - v_0)}{t_1} = \frac{2 - 0}{8} = 0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

donc pour la phase 3 :

$$\text{à } t_2 = 32 \text{ s} \quad v_2 = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; t_3 = 38,8 \text{ s} \quad v_3 = 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \text{ donc}$$

$$a_3 = \frac{v_3 - v_2}{t_3 - t_2} = \frac{0,3 - 2}{38,8 - 32} = -0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

donc pour la phase 5 :

$$\text{à } t_4 = 42,13 \text{ s} \quad v_4 = 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; t_5 = 43,33 \text{ s} \quad v_5 = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \text{ donc}$$

$$a_5 = \frac{v_5 - v_4}{t_5 - t_4} = \frac{0 - 0,3}{43,33 - 42,13} = -0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Voir sur la figure du DR1

**Q6. Calculer** la composante horizontale, sur l'axe  $(O, \vec{x})$ , de l'accélération dans les phases 1, 3 et 5 définies sur le document DR1. **Commenter** les transitions entre chacune des phases de ce mouvement en terme de confort pour les passagers et vis à vis de la norme en vigueur.

L'accélération maximale de la cabine est :  $a_{cab} = 0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

En projection sur l'axe  $\vec{x}$  de la cabine :  $a_{maxi} = a_{cab} \cos 45 = 0,25 \times \cos 45 = 0,177 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ,

$$\text{soit } a_{maxi} = \frac{0,177}{9,81} = 0,018 \text{ g}$$

La norme est respectée puisque :

- la vitesse de déplacement est toujours inférieure à  $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ;
- l'accélération subie par les passagers pendant le démarrage ou de la décélération est inférieure à  $0,1 \text{ g}$ .

**Q7.** En analysant ces courbes, **expliquer** en quoi la loi de commande optimisée apporte du confort aux passagers. **Déterminer** les effets que cela induit 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.

Le lissage de la courbe d'accélération évite les changements brusques au niveau des accélérations et les sensations « d'à-coup » pour les passagers.

En revanche on constate que le temps du trajet est légèrement plus long, mais il reste inférieur à 1 minute.

La solution permet un trajet pendant lequel l'utilisateur ne ressentira pas les effets des « à-coups », les accélérations et décélération sont inférieures à la valeur fixée par la norme.

**Q8. Calculer** en centimètres la distance parcourue par la cabine lorsque le codeur tourne d'un tour. **Vérifier** que la résolution du codeur est très largement suffisante.

1 tour de codeur correspond à 1 tour de poulie ; déplacement cabine pour 1 tour de poulie :  $D_{pr} = 200$  cm.

On désire une résolution minimale de 1 cm. La résolution angulaire du codeur doit être supérieure à  $2000$  points par tour (63 pts/tr) ; la position angulaire du codeur est définie sur 14 bits soit  $2^{14}$  points par tour (16 384 pts/tr), donc très supérieure à ce qui est nécessaire.

**Q9. Calculer** le nombre de tours effectués par l'axe du codeur lors d'un trajet complet de la cabine (65 m) ; le calcul sera fait avec une précision à  $10^{-2}$  près. En supposant, pour simplifier, que le codeur absolu est à 0 lorsque la cabine est en gare de départ, **exprimer** en binaire les valeurs de  $N_t$  et  $N_a$  fournies par le codeur lorsque la cabine atteint la gare d'arrivée. **Vérifier** que l'étendue de mesure du codeur est suffisante.

Le codeur fera  $\frac{6500}{200} = 103,45$  tours pour un trajet de 65 m ; cela correspond à 103 tours ( $N_t = 0000\ 0110\ 0111$  en binaire) et  $0,45 \times 16384 = 7373$  points ( $N_a = 01\ 1100\ 1100\ 1101$ )

Étendue de mesure du codeur :

- $E_c = N_{tmax} \times 200 = 2^{12} \times 200 = 257\ 359$  cm soit plus de 2573 m pour un besoin de 65 m ;
- également : Pour 65 m, le format du nombre  $N_t$  est de 7 bits, inférieur au format de 12 bits donné par le codeur ;

... l'étendue de mesure est donc largement suffisante.

**Q10. Calculer** la durée  $T_2$  minimale écoulée entre deux réceptions d'informations de position par l'automatisme. **En déduire** la distance  $D_{T_2}$  parcourue par la cabine pendant ce temps, à la vitesse nominale  $V_{cab/rail} = 2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . **Vérifier** que la rapidité de transmission de l'information de position est compatible avec la résolution imposée.

$$T_2 = (t_f - t_0) + t_p ; (t_f - t_0) = 27 \frac{1}{400 \times 10^3} = 67,5\ \mu\text{s} ; T_2 = 88,5\ \mu\text{s} ;$$

$$D_{T_2} = V_{cab/rail} \times T_2 = 2 \times 88,5 \times 10^{-6}\ \text{m} ;$$

$D_{T_2} = 0,177\ \text{mm} \ll 1\ \text{cm}$  donc la rapidité de transmission est compatible avec la

résolution imposée, car très largement supérieure à ce qui est nécessaire.

### 3. Sécurité des passagers

**Objectif de cette partie :** valider les solutions techniques qui permettent d'assurer la sécurité des passagers en cas de glissement des câbles ou de leur rupture.

**Q11.** À partir l'algorithme de surveillance, calculer l'intervalle de tolérance ?.

$tolérance = (position\ CVD) - MAXI\ ou\ MINI\ donc\ \pm 40\ cm$

**Q12.** Indiquer, en le justifiant, l'état logique de la sortie ALARM lorsque l'image de la position de la cabine (POSCA) est de 5530 cm quand celle-ci passe devant le détecteur CVDH en montée.

POSCA est en dehors de l'intervalle de tolérance [5560 ; 5640] (CVDH=1 et POSCA<5560) donc ALARM = 1.

**Q13.** En observant les résultats de la simulation (figure 9), vérifier à partir du calcul des composantes horizontale et verticale de l'accélération, la conformité de l'amortisseur par rapport à la norme NF EN 81-22 (voir DT3).

$$a_H = a_G \times \cos \varnothing = -14 \times 0,707 = -9,89\ m/s^2$$

$$a_H > 0,5 \times g$$

$$a_V = a_G \times \sin \varnothing = -14 \times 0,707 = -9,89\ m/s^2$$

$$a_V \sim 1 \times g$$

La contrainte la plus défavorable correspond à la composante horizontale. Comme celle-ci est supérieure à  $0,5 \times g$ , il faut vérifier que la durée correspond à une accélération supérieure à  $1 \times g$  n'exécède pas 40 ms.

Sur la courbe zoomée, on relève une accélération de  $-11\ m/s^2$  soit  $a_H = 0,8 \times g$ .

La norme est respectée.

**Q14.** Exprimer de façon littérale le calcul permettant d'obtenir, à partir des 3 clichés et en fonction de  $\Delta t$ , les vitesses moyennes durant les intervalles de temps  $[t_1 ; t_2]$  et  $[t_2 ; t_3]$ . Ces vitesses sont notées  $v_{12}$  et  $v_{23}$ . Indiquer sous quelle condition ces vitesses moyennes sont très proches des vitesses instantanées.

En considérant que les instants de la prise des clichés soient rapprochés ( $\Delta t$  petit)

$$v_{12} = \frac{x_{t2} - x_{t1}}{\Delta t} ; v_{23} = \frac{x_{t3} - x_{t2}}{\Delta t}$$

En considérant que  $\Delta t$  tend vers 0, alors le calcul de la vitesse moyenne est très proche de la vitesse instantanée.

**Q15.** Dans l'hypothèse où  $v_{12}$  et  $v_{23}$  sont les vitesses instantanées du mobile à deux instants décalés de  $\Delta t$ , exprimer le calcul permettant d'obtenir l'accélération moyenne.

De la même manière on peut calculer l'accélération moyenne sur une durée du

mouvement  $\Delta t : a_{moy} = \frac{V_{23} - V_{12}}{\Delta t}$

**Q16.** En comparant les allures des deux courbes, **justifier** la validité de la méthode vidéo.

Le traitement vidéo de l'essai permet d'obtenir une image relativement fidèle de l'accélération. Le décalage observé est lié au mode de calcul vu à la question 14.

La méthode est globalement valide. La durée  $\Delta t$  semble donc être suffisamment petite pour que l'accélération moyenne calculée soit proche de l'accélération instantanée mesurée.

**Q17.** En analysant la courbe de vitesse de la cabine, rappelée sur le document réponse DR2, **retrouver**, par calcul, les valeurs de l'accélération au début de l'analyse vidéo, aux instants 33 ms, 66 ms et 0,1 s. **Conclure** sur la conformité de l'amortisseur mis en place.

L'accélération  $a_0$  calculée à partir de l'analyse vidéo est inférieure à celle trouvée par simulation donc l'amortisseur mis en place rend l'équipement conforme à la norme.

#### 4. Augmentation du flux de passagers

##### Détermination du nombre de passagers supplémentaires possibles

**Q18.** **Vérifier** que la longueur  $L$  peut être allongée de 28 cm de chaque côté. **Calculer** alors la nouvelle surface et **en déduire** le nombre de passagers supplémentaires.

De chaque côté on peut donc ajouter la longueur  $L_{su} = (0,60 - 0,40) \times \sqrt{2} = 0,283 \text{ m}$

D'où la nouvelle longueur  $L_1 = L + 2 \times 0,20 \times \sqrt{2} \sim 2,36 \text{ m}$

Nouvelle surface au sol :  $S = L \times l = 2,36 \times 1,60 \sim 3,78 \text{ m}^2$  (au lieu de  $2,88 \text{ m}^2$ )

Nombre de passagers permis avec cette surface :  $N = E \left( \frac{3,78}{0,16} \right) = 23$ , soit une augmentation de capacité de 5 personnes.

**Q19.** **Calculer** la masse totale maximale  $M_T$  que doit supporter le câble avec la nouvelle cabine.

$$M_c = M + 8 \times (236 - 180) = 1800 + 8 \times 56 = 1800 + 448, \text{ soit } M_c = 2248 \text{ kg}$$

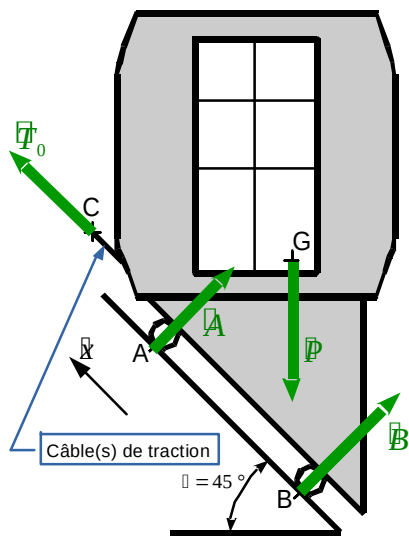
$$M_p = 23 \times 80, \text{ soit } M_p = 1840 \text{ kg}$$

$$M_T = 4088 \text{ kg}$$

**Q20.** En isolant l'ensemble {cabine + passagers + roues}, **placer** et **définir** sur le document DR2 tous les efforts qui s'exercent sur l'ensemble lorsqu'il démarre.

Voir DR2

**Q21.** En appliquant le théorème de la résultante dynamique en projection sur la direction  $\vec{x}_r$ , **calculer** l'effort de traction exercé par l'ensemble des câbles.



Application du P.F.D. en translation :

$$\vec{T}_0 + \vec{A} + \vec{B} + \vec{P} = (M_T) \vec{a}$$

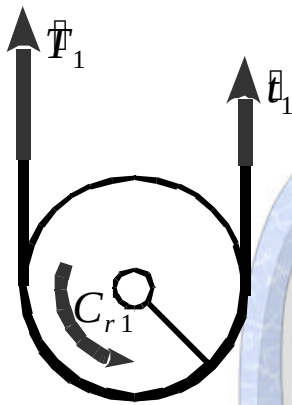
En projection sur  $\vec{x}$  il vient :  $T_0 - P \sin \alpha = M_T a$   
avec  $P = (M_T) g$

$$\text{soit } T_0 = (M_T)(g \sin \alpha + a)$$

Numériquement :

$$T_0 = 4088 \times (9,81 \times \sin 45^\circ + 0,25) \text{ soit } T_0 \sim 30000 \text{ N}$$

### Validation de la transmission actuelle



**Q22. Vérifier** que la condition d'adhérence (non-glissement) du câble sur la poulie motrice est satisfaite lors du démarrage de l'ascenseur.

On doit vérifier  $\frac{T_1}{t_1} < e^{f\alpha} = 2,57$  Or  $\frac{T_1}{t_1} = \frac{30600}{21200} = 1,44 < 2,57$ .

On est donc assez loin du glissement.

**Q23. Appliquer** à la poulie, le théorème du moment dynamique en projection sur l'axe de sortie du réducteur ( $K, \vec{z}$ ) et **en déduire** le couple  $C_{red}$  que doit exercer l'ensemble « moteur+réducteur » lors du démarrage de l'ascenseur.

$$C_{red} - (T_1 - t_1) r_p = 0$$

$$\text{d'où } C_{red} = (30600 - 21200) \times 0,375$$

$$\text{Soit } C_{red} \sim 3525 \text{ N}\cdot\text{m}$$

**Q24. Calculer**, en prenant en compte le rendement, le couple moteur  $C_m$  nécessaire au démarrage de l'ascenseur.

On prend un couple résistant  $C_{red} = 3525 \text{ N}\cdot\text{m}$  sur la poulie.

$$\text{Le couple moteur } C_m \text{ vaut donc } C_m = \frac{C_{red}}{\eta_r} \times r = \frac{3525}{0,82} \times \frac{2}{49} = 175 \text{ N}\cdot\text{m}$$

**Q25. Calculer** le couple moteur  $C_m$  en régime permanent, et **conclure** quant à la nécessité ou non de changer le moteur si la capacité de la cabine est augmentée.

À vitesse uniforme, le couple que doit fournir le moteur pour déplacer la cabine chargée et son contrepoids vaut:

$$C_m = \frac{C_{red}}{r} \times r = \frac{(28400 - 22000)}{0,82} \times \frac{2}{49} \times 0,375 = 120 \text{ N}\cdot\text{m} .$$

Le moteur pourra mettre en mouvement ce nouvel ensemble puisqu'il est capable de fournir un couple maximal de  $294 \text{ N}\cdot\text{m}$  et que le démarrage nécessite un couple de  $175 \text{ N}\cdot\text{m}$ ,

En régime permanent le moteur doit fournir un couple de  $120 \text{ N}\cdot\text{m}$  pour un couple nominal de  $147 \text{ N}\cdot\text{m}$

Il n'est donc pas nécessaire de changer de moteur.

## 5. Synthèse et perspective d'amélioration du bilan énergétique

**Q26.** Proposer un ou plusieurs types de capteurs permettant au système d'être informé sur l'affluence en temps réel.

Un système vidéo permettrait d'avoir une image de l'affluence en entrée et sortie de cabine.

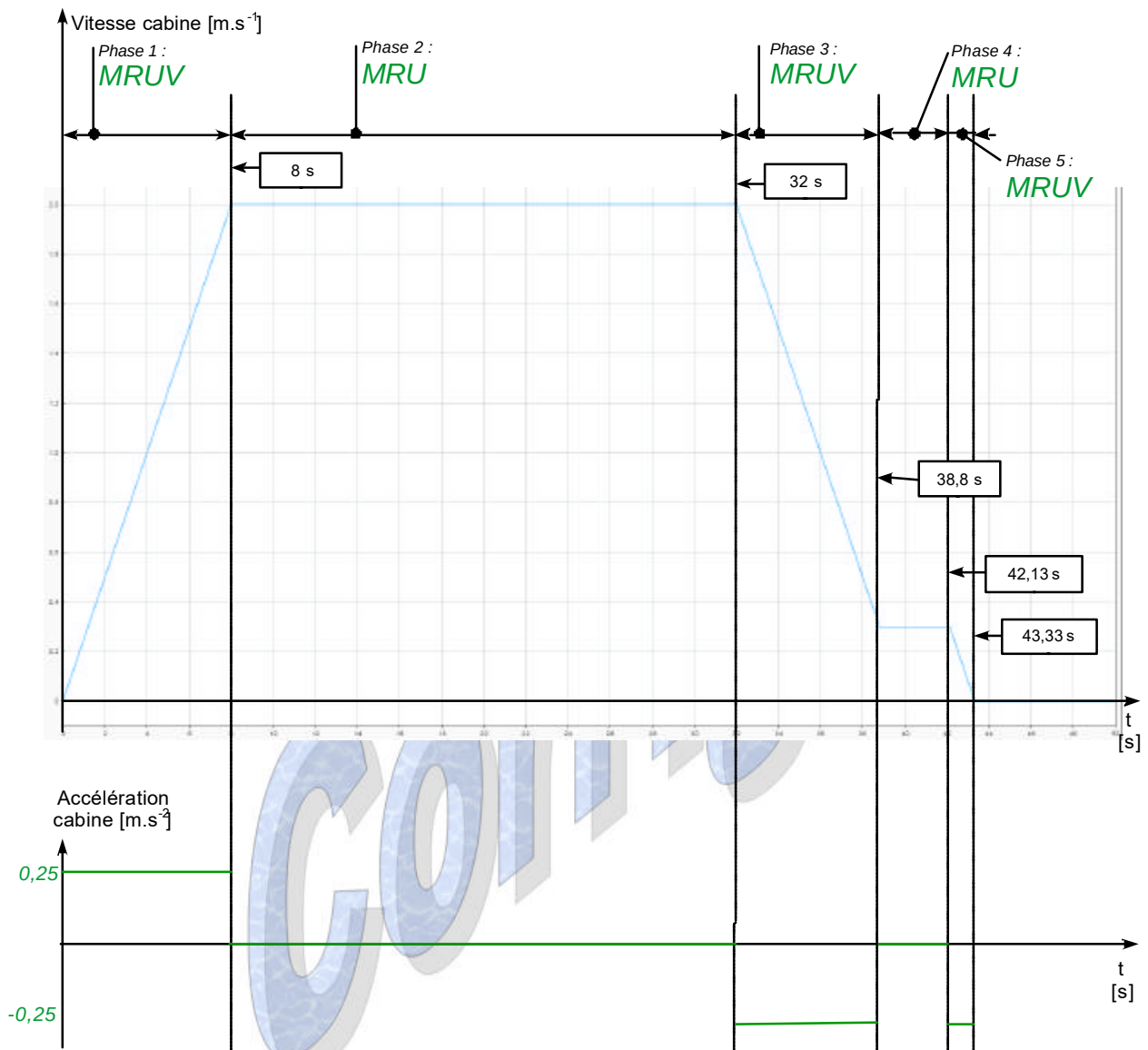
Un système de pesage intégré à la cabine permettrait de connaître par simple mesure du poids une image du nombre de personnes...

**Q27.** **Déduire** de ces simulations l'intérêt présenté par l'adoption de ce mode de fonctionnement et l'impact sur le confort des usagers (temps d'attente, temps de trajet,...).

Écart de consommation :  $\frac{347004 - 380160}{380160} = -0,087$  soit une économie de 8,7 %.

L'économie d'énergie réalisée étant inférieure à 10 %, l'adoption d'un mode économique ne s'avère pas très intéressante.

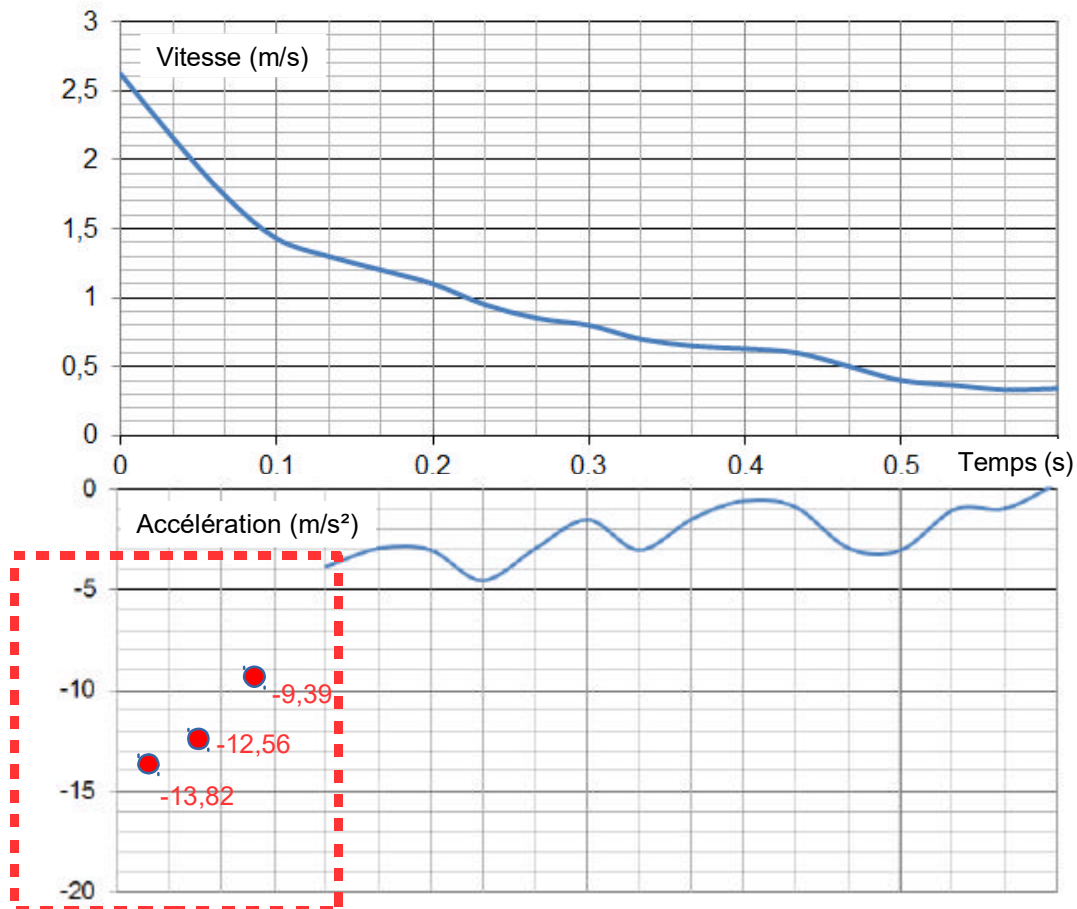
## Document réponse DR1.





## Document réponse DR2.

Q17 :



Q20 :

