Dynamique

Partie 2 : Théorème de l'énergie puissance

TRAVAUX DIRIGÉS

Table des matières

1. SYSTEME DE MESURE DE CAVITÉ SOUTERRAINE 1
2. DEPLOIEMENT DU PARC ECHELLE D'UN CAMION DE POMPIER 4
3. UN GRAND CLASSIQUE : VEHICULE A MOTORISATION EMBARQUÉE 7



1. SYSTEME DE MESURE DE CAVITÉ SOUTERRAINE

Objectif

Proposer un modèle dynamique à l'aide du théorème de l'énergie puissance afin de choisir un moteur pour garantir les temps de cycle : la sonde doit pouvoir remonter par pas de 50 cm en 1,5s.

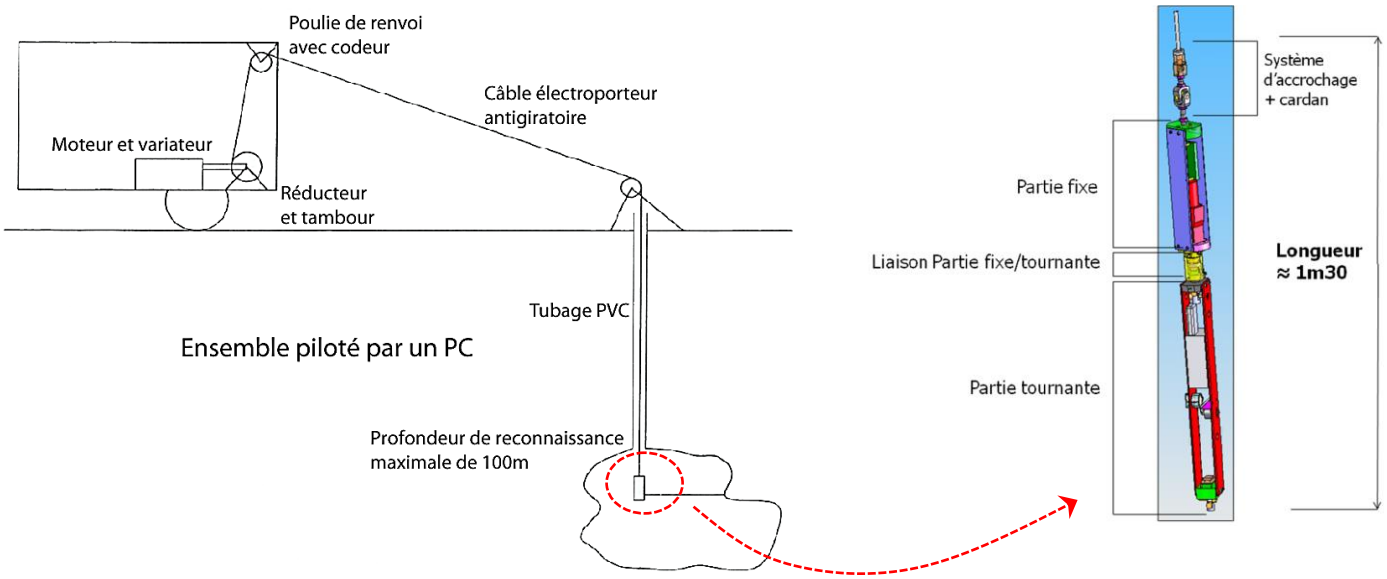
Mise en situation

Le système étudié permet la visualisation 3D par télémétrie LASER de cavité sous-terraine. Il est utilisé par le Centre d'Expertise du Bâtiment des Travaux Publics (CEBTP).

Le système de mesure est composé de deux parties :

— le treuil, composé d'un motoréducteur et d'un variateur permettant la montée et la descente de la sonde dans le trou de forage,

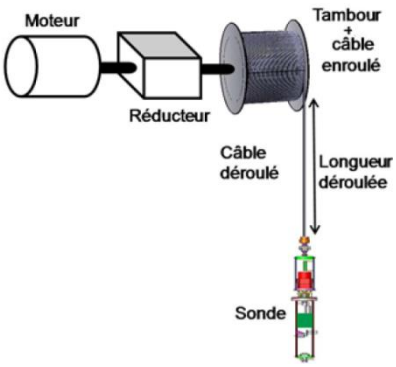
— la sonde permettant l'acquisition de la forme de la cavité, comme illustré sur la figure ci-dessous.



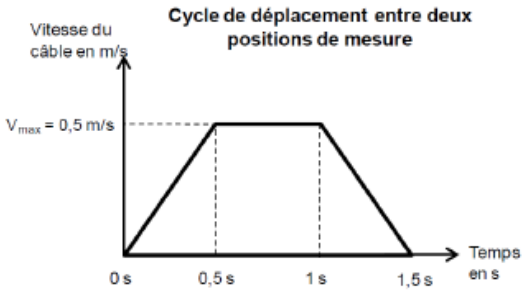
Description de la chaîne de puissance

Alimentation autonome	Variateur	Moteur asynchrone triphasé	Réducteur
S = 1,5 KVA U = 230 V ; 50 Hz Monophasé	U/f constant type ATV31	Couple : Cm Vitesse de rotation : ωm Glissement nominal : gn Inertie arbre moteur : $J_m = 1{,}3.10^{-3}$ kg.m²	Non réversible. Rapport de réduction : r=58,6 Rendement : η = 0,74 Inertie du reducteur ramené sur l'arbre de sortie : $J_{red} = 1{,}8.10^{-3}$ kg.m²

Tambour	Câble enroulé	Câble déroulé	sonde
Inertie tambour : $J_t = 1{,}37$ kg.m² Vitesse de rotation ωr Densité de l'acier : $\rho_t = 7\,800$ kg.m^{-3}	Inertie câble enroulé sur tambour : Jc Diamètre d'enroulement : d	Longueur câble déroulé: Lc Masse linéïque : $\rho_l = 0{,}368$ kg.m^{-1}	Masse : Ms = 5,6 kg



La mesure se fait tous les 50 cm en remontant. Le profil de vitesse est donné :



Hypothèses d'étude :

— diamètre d'enroulement du câble constant et égal à 0,4 m pour toute cette partie du sujet ;

— liaisons parfaites.

Questions

Q1. Vérifier que pour la loi de vitesse ci-dessus, le déplacement est bien de 50 cm.

Q2. A l'aide du théorème de l'énergie puissance appliqué à un système qui sera clairement identifié, déterminer l'équation littérale faisant intervenir le couple moteur nécessaire àla remontée de la sonde. Mettre la relation sous la forme :

$$J_{eq}\,\frac{d\omega_m}{dt} = \eta\, C_m - C_{req}$$

Avec J_{eq} l'inertie équivalente ramenée sur l'axe moteur et C_{req} le couple résistant équivalent ramené sur l'axe moteur. J_{eq} sera exprimé en fonction de J_m, J_{red}, J_t, J_c, L_c, M_s, ρ_l, r, d.
C_{req} sera exprimé en fonction de L_c, M_s, ρ_l, r, d, g et des données numériques nécessaires.
g est l'accélération de la pesanteur ($g = 9{,}81\ m \cdot s^{-2}$).

Les valeurs de J_{eq} et C_{req} varient suivant l'enroulement du câble. Le tableau donné fournit leurs valeurs pour le câble enroulé et déroulé.

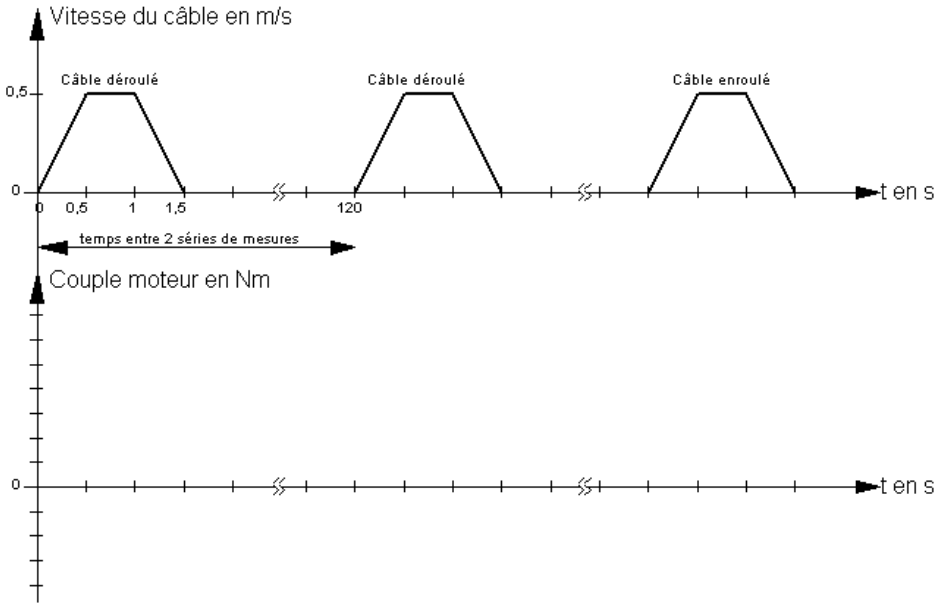
	J_{eq} (kg · m²)	C_{req} (N · m)
Câble enroulé	0,0034	0,2
Câble déroulé	0,0031	2,7

Q3. A partir de l'expression trouvée dans la question précédente, déterminer la puissance du moteur nécessaire en régime permanent pour l'entraînement du treuil. Faire le calcul « câble enroulé » et « câble déroulé ».

Q4. En vous appuyant sur le document technique DT1 donné ci-après, choisir le moteur.

Q5. Calculer le couple moteur nécessaire pour assurer le démarrage C_{md} et le freinage C_{mf} dans les cas « câble enroulé » et « câble déroulé ». Vérifier que ces couples sont compatibles avec le moteur choisi.

Q6. Tracer sur le document réponse ci-dessous l'allure du couple moteur lorsde la montée en fonction du temps pour les différentes phases de fonctionnement.



DT1 : Moteur synchrone

LSMV

0,18 à 132 kW



Réseau 400 V - 50 Hz
Couplage du moteur : Y 400 V

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_n kW	Vitesse nominale N_n mn^{-1}	Couple nominal M_n Nm	Couple maximal M_m Nm	Courant à vide I_o A	Intensité nominale I_n (400V) A	Facteur de puissance Cos φ	Rendement η %	Moment d'inertie J kg.m²	Masse IM B3 kg
LSMV 71 L	0,18	1455	1,19	4,8	0,65	0,67	0,57	69	0,000675	5,4
LSMV 71 L	0,25	1450	1,68	5,9	0,85	0,91	0,58	70	0,000675	5,4
LSMV 71 L	0,37	1452	2,44	7,7	0,96	1,0	0,60	71	0,00065	7,9
LSMV 80 L	0,55	1420	3,7	8,2	1,25	1,65	0,71	68	0,0013	8,2
LSMV 80 L	0,75	1435	4,9	15	1,43	2	0,71	77	0,0024	11
LSMV 90 SL	1,1	1445	7,2	17	1,93	2,5	0,82	79	0,0039	17
LSMV 90 L	1,5	1435	9,9	23	1,54	3,2	0,84	80	0,0049	17
LSMV 100 L	2,2	1440	14,6	39,2	2,27	4,7	0,83	81	0,0071	24
LSMV 100 L	3	1430	19,4	56,4	3,1	6,3	0,82	81	0,0071	24

2. DEPLOIEMENT DU PARC ECHELLE D'UN CAMION DE POMPIER

Objectif

Déterminer le couple que l'actionneur doit fournir pour déployer le parc échelle télescopique d'un camion de pompier.

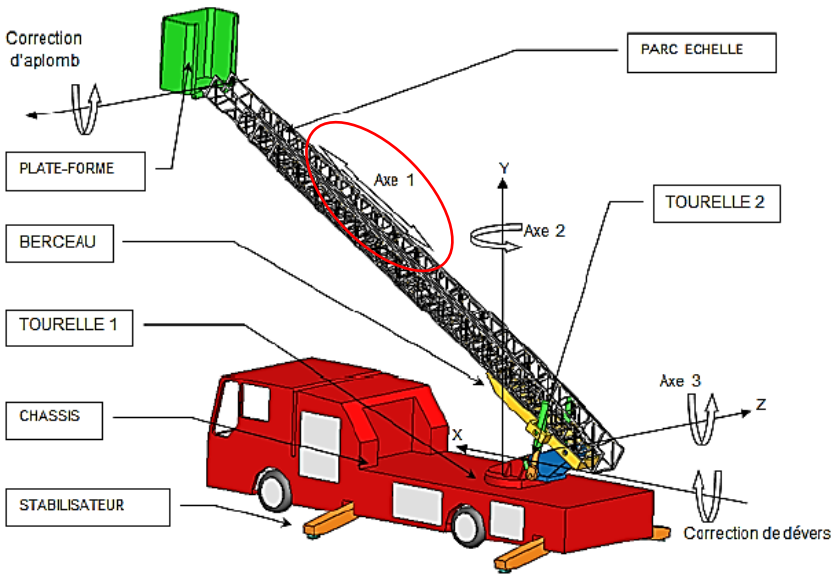
Mise en situation



Le parc échelle d'un camion de pompier est illustré ci-dessous.

Le camion est un E.P.A.S. (Echelle Pivotante Automatique à commande Séquentielle). Ce système conçu et commercialisé par la société CAMIVA.

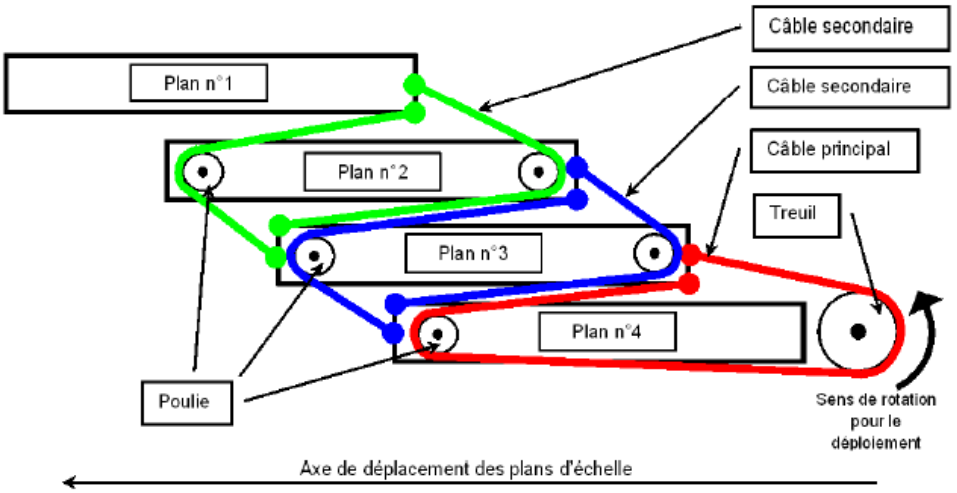
Il permet de déplacer une plate-forme pouvant recevoir deux personnes et un brancard le plus rapidement possible et en toute sécurité pour intervenir sur des situations délicate située en hauteur (immeuble, arbre…).



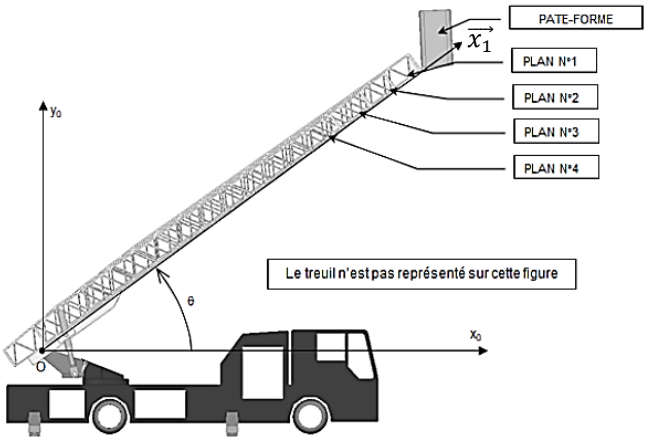
Principe du déploiement

Le système de déploiement de l'échelle permet la translation de la plate-forme suivant l'axe 1. L'objet de cette partie est de définir la puissance motrice nécessaire pour ce mouvement.

Le parc échelle est constitué de quatre plans numérotés de 1 à 4 : La plate-forme est montée sur le plan n°1 ; le plan n°4 est solidaire du berceau. Lors du déploiement du parc échelle, un treuil met en mouvement le câble principal qui entraîne le plan n°3 du parc échelle. Les plans n°1 et n°2 seront déployés grâce au mouvement du plan n°3 et aux câbles secondaires.



Remarque : La figure précédente montre les plans du parc échelle les uns au-dessus des autres pour faciliter la lecture. En réalité, ils sont les uns dans les autres et tous les brins de câbles sont donc parallèles à l'axe de déplacement des plans d'échelle.



Puissance du treuil

On suppose que le système de commande du déploiement permet d'obtenir une loi de vitesse de la plate-forme trapézoïdale :

— une première phase de mouvement uniformément accéléré, d'accélération Γ_0 ;

— une deuxième phase de mouvement uniforme, de vitesse V_0 ;

— une dernière phase de mouvement uniformément décéléré, d'accélération $-\Gamma_0$.

On note$R_0(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{z_0})$ le repère lié au châssis et $R_1(\overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{y_1}, \overrightarrow{z_0})$ le repère lié auberceau.Le parc échelle est redressé d'un angle θ constant par rapport à l'horizontale. Les plansdu parc échelle ont tous la même masse notée M. Leur centre de gravité sera noté G_i,i étant le numéro du plan. Chaque plan du parc échelle se translate par rapport au châssis, suivant$\overrightarrow{x_1}$à une vitesse deux fois plus grande que le plan suivant :

$\overrightarrow{V(P, plan(\imath)/R_0)} = 2.\overrightarrow{V(P, plan(\imath+1)/R_0)}$.

Le guidage des plans les uns par rapport aux autres engendre des efforts s'opposants aux mouvements que l'on modélisera par un glisseur dont le module de la résultante sera notéF constant.

La plate-forme de centre de gravité G_P a une masse notée m, et se translate par rapport au châssis suivant $\overrightarrow{x_1}$ à une vitesse notée $V(t)$.

Un treuil de rayon R, tournant à une vitesse de rotation notéeω, entraîne le câbleprincipal dont les extrémités sont fixées au plan n°3 (voir figure précédente montrant le déploiement des plans). Le moment d'inertie du treuil par rapport à son axe de rotation, sera noté I. Le moment ducouple moteur exercé par l'ensemble moto réducteur hydraulique sera noté C.

Q1. Déterminez l'énergie cinétique galiléenne de la plate-forme et des quatre plans du parc échelle en fonction de $V(t)$ et des différentes masses.

Q2. Déterminez l'énergie cinétique galiléenne du treuil en fonction de $V(t)$.

Q3. Déterminez la puissance des actions extérieures à l'ensemble {treuil, parc-échelle, plate-forme} en fonction de $V(t)$.

Q4. Déterminez la puissance des actions intérieures de ce même ensemble en fonction de $V(t)$.

Q5. En déduire le moment du couple moteur nécessaire pendant la première phase de mouvement.

3. UN GRAND CLASSIQUE : VEHICULE A MOTORISATION EMBARQUÉE



Objectif

Etablir la loi de mouvement d'un véhicule dont la motorisation est embarquée.

Description

Les exemples de véhicules à motorisation embarquée ne manquent guère : voiture, moto, train, camion, métro… et même vélo si on considère l'humain comme la motorisation !

Les transports suivants ne possèdent pas de motorisation embarquée mais localisée au sol : téléphérique, télésiège, ascenseur, monte-charge…

Nous étudierons la motorisation d'une moto (1) se déplaçant en ligne droite selon la direction et le sens $+\vec{x}$. $\vec{y}$est la perpendiculaire à la route (0).

Le repère $R_0(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{z_0})$ est galiléen. $\overrightarrow{x_0}$ est horizontal.

Les efforts résistants à l'avancement d'un véhicule sont :

- L'action de l'air appelée force de trainée : $\overrightarrow{F_t} = -F_t.\vec{x}$ avec $F_t = \frac{1}{2}\rho S C_x V^2$ (ρ=masse volumique de l'air, S=surface frontale projetée de l'ensemble roulant, C_x=coefficient de pénétration dans l'air).
- Les efforts globaux dus au roulement pneu/sol : $\overrightarrow{F_r} = -F_r.\vec{x}$ avec $F_r = \mu.Mg$ (μ : coefficient constant positif)
- Le rendement de la chaîne cinématique de transmission de puissance du moteur aux roues (engrenages, guidage en pivot…) : η.
- La projection du poids sur la direction d'avancement quand le véhicule est en pente.

Grandeurs physiques, notations

- Masse moto : M ; Diamètre des roues : D
- Vitesse moto : V ; accélération moto : Γ (par rapport à la route)
- Moment d'inertie des roues par rapport à leur axe de révolution : I ; vitesse de rotation des roues ω_r.
- Couple du moteur : C_{mot} ; Vitesse de rotation moteur : ω_{mot} ; Puissance moteur P_{mot}
- Rapport de transmission global moteur-roue : $k_{trans} = \frac{V}{\omega_{mot}}$
- Pente de la route : tan α ; $\alpha = (\overrightarrow{x_0}, \vec{x}) = (\overrightarrow{y_0}, \vec{y})$
- Action mécanique du sol sur une roue : roulement sans glissement et modélisée par le torseur : $\{F_{0\to av}\} = \begin{Bmatrix} T_{av}.\vec{x} + N_{av}.\vec{x} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_{I_{av}}$ pour la roue avant. Modèle identique pour roue arrière : indice « ar » dans la notation.

Questionnaire

Q1. Faire un dessin appliqué de la situation sur un format A5 (une demi page) : moto sur pente en montée, repères, points I_{av} et I_{ar}, O_{av} et O_{ar} (centre des roues). Actions normale et tangentielle T et N aux roues, etc…

On isole l'ensemble $E = \{moto\}$.

Q2. Calculer l'énergie cinétique de la moto (munie de ses roues !) dans le repère galiléen. L'exprimer en fonction de la vitesse V de la moto. Déduire la masse équivalente rapportée au châssis de la moto.

Q3. Calculer la puissance de l'action mécanique du sol sur la roue avant $\{F_{0\to av}\}$ dans le référentiel galiléen, $P(0 \to av/R_0)$: faire deux calculs par les torseurs, exprimés en I_{av} puis en O_{av}. Ainsi vous vérifierez que la puissance (et le comoment des torseurs) ne dépend évidemment pas du point choisi pour l'expression des torseurs !

Q4. Calculer les puissances intérieures à E.

Q5. Calculer les puissances extérieures à E.

Q6. Appliquer le théorème de l'énergie puissance puis exprimer le couple moteur C_{mot} en fonction de V, Γ et des diverses constantes.

On donne les valeurs numériques ci-dessous.

$M =$	310 kg	$\mu =$	0,015
$D =$	60 cm	$S.C_x =$	0,5 m^2
$\rho =$	0,9 kg/m^3	$\eta =$	0,85
K_{trans} : pour le 5è rapport	Pour une vitesse de 100km/h, le régime moteur est 3330 tr/min.		

Q7. Calculer $K_{trans} = \frac{V}{\omega_{mot}}$.

Q8. Calculer le couple moteur nécessaire pour que la moto roule à vitesse constante sur une pente en montée à 5%, à une vitesse de 100 km/h.

Q9. Même question dans une descente à 5%.

Q10. Pour quelle pente (en descente) le moteur devient « freineur » ?