

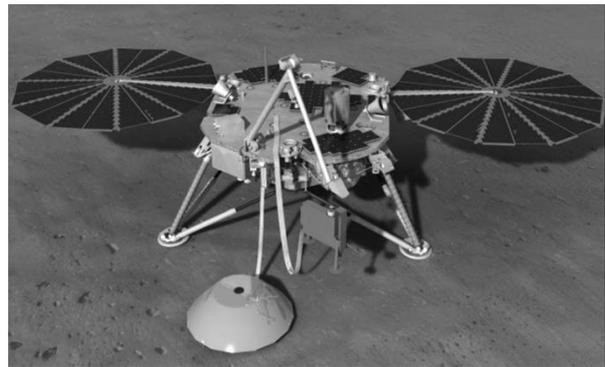
Ex 1 : Robot de la mission INSIGHT (extrait de CCINP 2019-MP)

L'étude proposée porte sur la réplique Terrestre¹ du système InSIGHT (**I**nterior exploration using **S**eismic **I**nvestigations, **G**eodesy and **H**eat **T**ransport), projet du CNES qui a pour but de déployer une station d'étude de la structure interne de la planète Mars.

La station de mesures devra effectuer une campagne de mesures de l'activité sismique afin d'établir des informations sur l'épaisseur de la croûte Marsienne, de ses manteaux et des zones de subduction voire des impacts des météorites.

Le support technologique de la mission est un atterrisseur similaire à celui de la mission Phoenix qui a été utilisé avec succès en 2007 pour étudier le sol glacé près du pôle nord de Mars.

L'atterrisseur InSight (**Figure 1**) emportera trois instruments à la surface de Mars pour regarder en détail pour la première fois les "statistiques vitales" de la planète :



- son pouls, activité interne, mesurée par l'instrument SEIS, basé sur un système de déploiement (DPL) ;
- sa température mesurée par l'instrument HP³ ;
- ses réflexes mesurés par l'instrument RISE.

Ensemble, les données fourniront des indices essentiels sur l'évolution non seulement de la planète Mars, mais aussi de toutes les planètes telluriques.

Figure 1– Projet InSIGHT

La **Figure 2** présente le diagramme partiel des exigences concernant le système de déploiement.

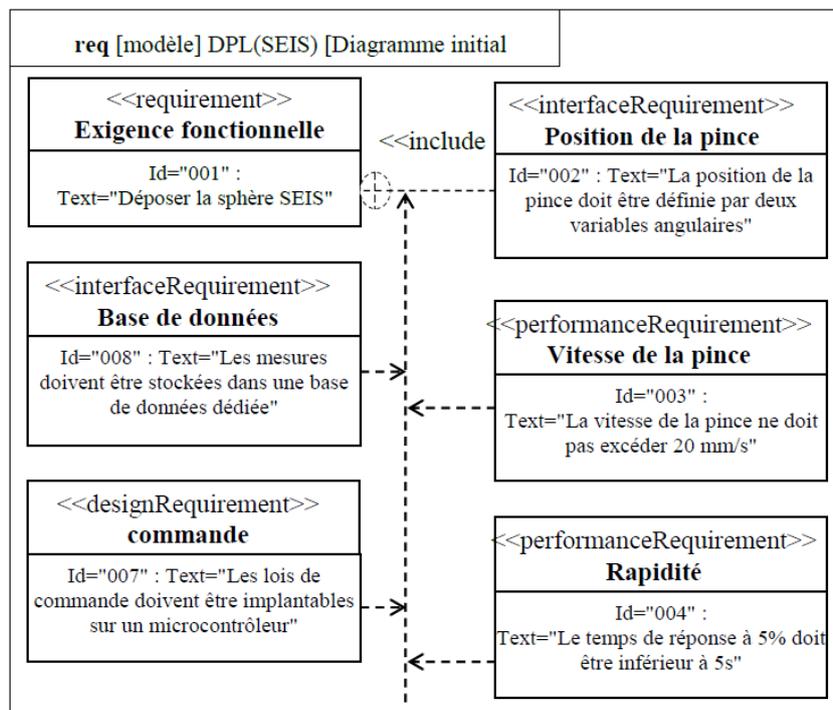


Figure 2 - Diagramme des exigences

¹ Utilisée sur Terre pour validation des différents sous-systèmes.

La **Figure 3** représente la structure du système de déploiement DPL.

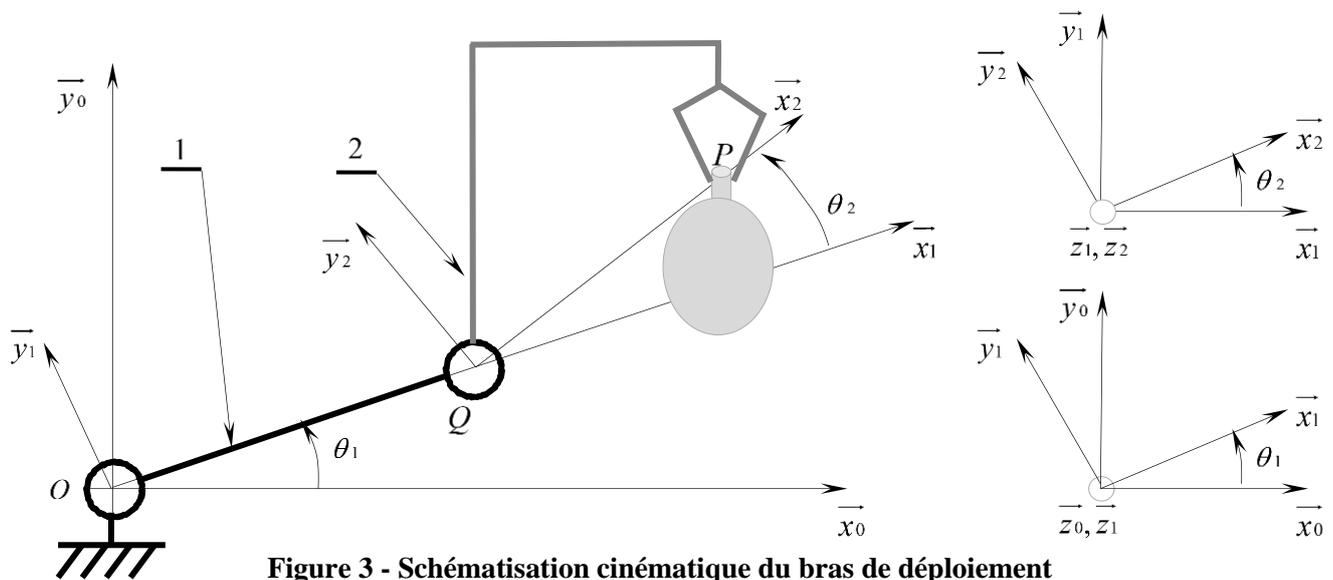


Figure 3 - Schématisation cinématique du bras de déploiement

Le bras de déploiement est constitué de :

0 : Bâti. de repère $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ fixe.

1 : Bras de repère $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$.

Mouvement (1/0) : rotation autour de (O, \vec{z}_0) .

Position (1/0) repérée par $(\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1) = \theta_1$; $\overline{OQ} = L\vec{x}_1$;

2 : Avant-bras de repère liée $R_2(Q, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$.

Mouvement (2/1) : rotation autour de (Q, \vec{z}_1) .

Position (2/1) repérée par $(\vec{x}_1, \vec{x}_2) = (\vec{y}_1, \vec{y}_2) = \theta_2$; $\overline{QP} = L\vec{x}_2$.

S : Sphère du SEIS.

- On considère que l'amplitude du mouvement (S/2) est très faible.
- Position (S/0) repérée par : $\overline{OP} = X_P(t)\vec{x}_0 + Y_P(t)\vec{y}_0$.

Objectif 1 : Validation des capacités de positionnement du système de déploiement

On souhaite vérifier « l'exigence 002 » afin que le point de préhension P du système de déploiement DPL puisse être défini à partir de deux coordonnées articulaires.

Q1. **Établir** la relation vectorielle entre X_P , Y_P , L et \vec{x}_0 , \vec{y}_0 , \vec{x}_1 , \vec{x}_2

Q2. **Projeter** la relation précédente selon \vec{x}_0 et \vec{y}_0 et donner les deux équations scalaires correspondantes.

Q3. **Exprimer** θ_1 et θ_2 en fonction de X_P , Y_P et L . Conclure quant au respect de « l'exigence 002 ».

Objectif 2 : Validation du non-dépassement de la vitesse de la sphère SEIS

On souhaite valider « l'exigence 003 » quand la sphère SEIS se déplace en translation afin de conserver toujours la même orientation.

Notation et spécifications :

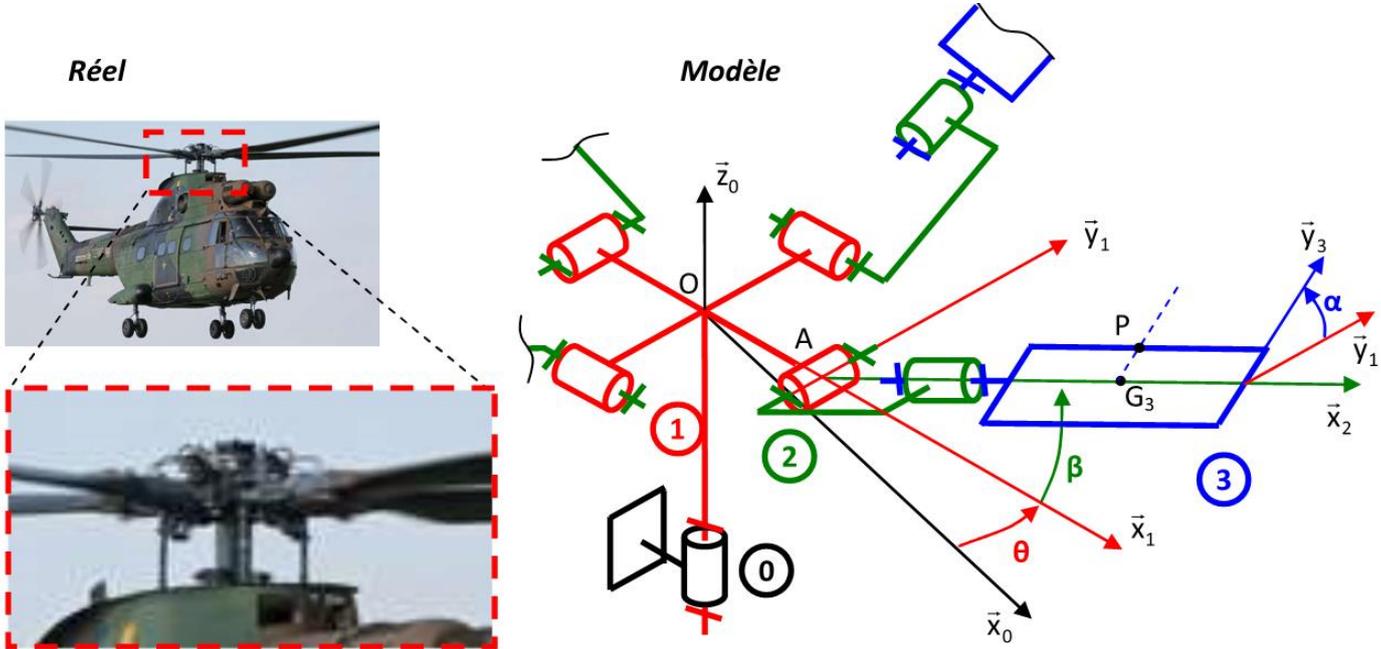
- $\vec{V}_{M,S/R}$ est le vecteur vitesse du point M appartenant au solide S par rapport à R .

Q4. Déterminer l'expression de la vitesse du point P , appartenant à l'avant-bras 2, par rapport à R_0 en fonction de θ_1, θ_2 et L .

Q5. Déterminer la valeur maximale du taux de rotation $\|\vec{\Omega}_{1/0}\|$ pour que l'avant-bras 2 suive un mouvement de translation circulaire (ce qui revient à maintenir toujours la même inclinaison de l'avant-bras 2) par rapport à R_0 en respectant « l'exigence 003 ».

Ex 2 : Rotor Principal d'Hélicoptère

La sustentation d'un hélicoptère est assurée par un rotor ou ensemble de pales tournant autour d'un axe vertical. Ce rotor, entraîné par un moteur, assure à la fois la sustentation et la propulsion de l'hélicoptère. Ce dernier est donc capable de vol stationnaire, de décollage et d'atterrissage vertical et de déplacement dans toutes les directions. Un rotor nécessaire à la stabilisation de l'appareil est placé à l'extrémité du fuselage.



Le schéma cinématique représente un modèle simplifié du rotor principal de l'hélicoptère. Il comprend :

- Le fuselage 0 auquel est lié le repère $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$.
- Le moyeu central 1 qui est en liaison pivot d'axe (O, \vec{z}_0) avec le fuselage 0. Le repère $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ est lié au moyeu central 1. L'angle $\theta = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$ paramètre la rotation du moyeu.

• Le pied de pale 2 qui est en liaison pivot d'axe (A, \vec{y}_1) avec le moyeu 1 avec $\vec{OA} = r \vec{x}_1$. Le repère $R_2(A, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$ est lié au pied de pale 2. L'angle $\beta = (\vec{x}_1, \vec{x}_2) = (\vec{z}_1, \vec{z}_2)$ est appelé l'angle de battement.

• La pale 3 qui est en liaison pivot d'axe (A, \vec{x}_2) avec le pied de pale 2. Le repère $R_3(A, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ est lié à la pale 3. L'angle $\alpha = (\vec{y}_2, \vec{y}_3) = (\vec{z}_2, \vec{z}_3)$ est appelé l'angle de pas.

Dans le cadre d'une étude, on cherche à obtenir la vitesse de la pale 3 au point G_3 (centre de gravité de la pale), tel que $\vec{AG}_3 = l \vec{x}_2$, dans son mouvement par rapport à 0. On note les différentes dimensions $r = 0,5 \text{ m}$ et $l = 2 \text{ m}$.

Pour des raisons de sécurité, il est nécessaire de limiter la vitesse au centre de gravité de la pale. **L'objectif de cette étude est de vérifier que, dans les différentes positions de la pale 3, la vitesse $\|\vec{V}_{G_3 \in 3/0}\|$ reste inférieure à 500 m/s.**

Question 1 : Réaliser le graphe des liaisons pour une des quatre pales

Question 2 : Réaliser le(s) figure(s) de changement de base

Question 3 : Déterminer l'expression du vecteur \vec{OG}_3

Question 4 : Donner les expressions des vitesses de rotations : $\vec{\Omega}_{1/0}$, $\vec{\Omega}_{2/1}$, $\vec{\Omega}_{3/2}$ et $\vec{\Omega}_{3/0}$.

Question 5 : Déterminer les expressions des trois vitesses suivantes : $\vec{V}_{G_3 \in 1/0}$, $\vec{V}_{G_3 \in 2/1}$ et $\vec{V}_{G_3 \in 3/2}$

Question 6 : En déduire l'expression du torseur cinématique de 3/0 au point G_3 .

Question 7 : Donner l'expression de $\|\vec{V}_{G_3 \in 3/0}\|$.

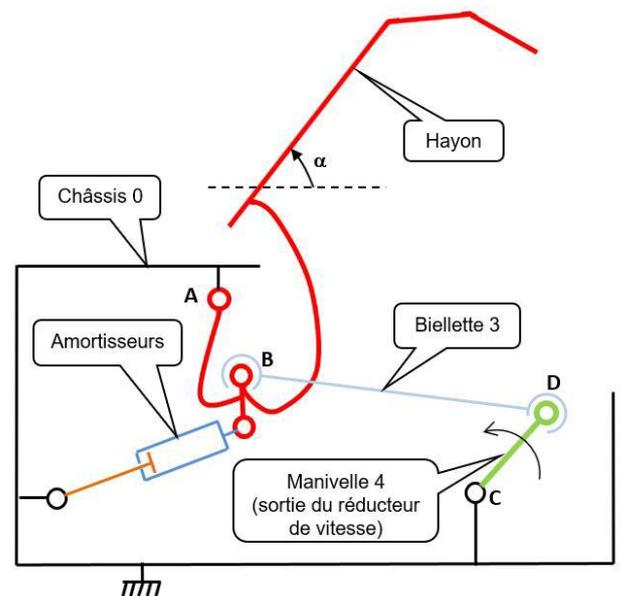
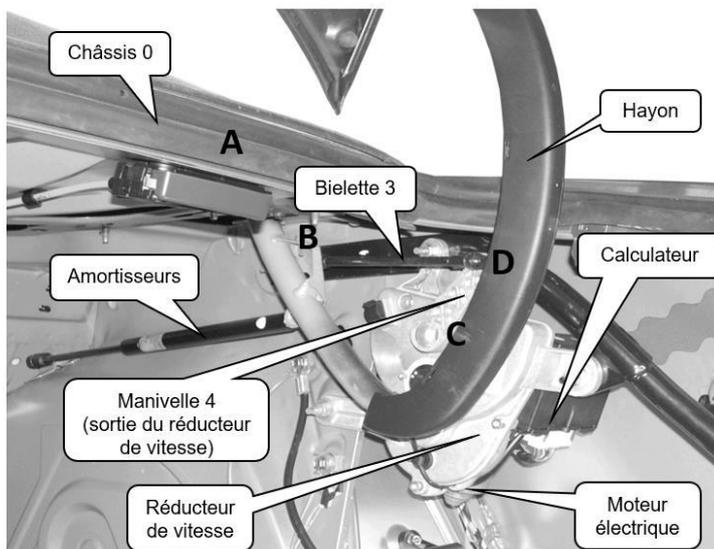
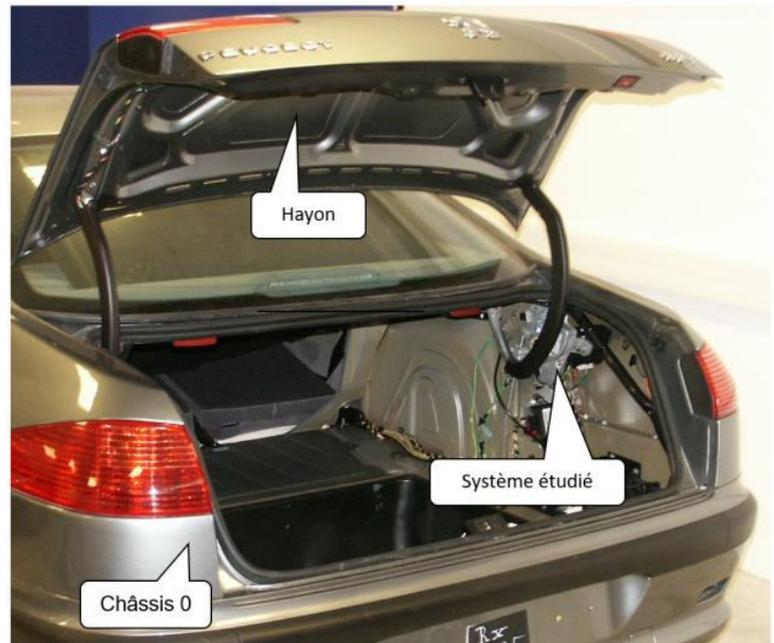
Question 8 : Déterminer l'angle β pour lequel la vitesse $\|\vec{V}_{G_3 \in 3/0}\|$ est maximale.

Question 9 : Vérifier que l'on respect bien le cahier des charges pour l'angle β (fixe) qui maximise $\|\vec{V}_{G_3 \in 3/0}\|$, lorsque le moyeu tourne à 1500 tr/min.

Ex 3 : Coffre motorisé d'une Peugeot 607

Certaines voitures Peugeot 607 sont dotées en série d'un système d'ouverture et de fermeture du hayon de coffre électrique. Ce système est constitué d'un moteur électrique de puissance nominale 150 W, dont la vitesse angulaire nominale N_m est égale à 3300 tr/min. La rotation du rotor de ce moteur est transmise au hayon par l'intermédiaire d'un réducteur de vitesse, puis d'un transmetteur « 4 barres » (CD-DB-BA-AC) dont une photo et un schéma cinématique sont donnés ci-dessous.

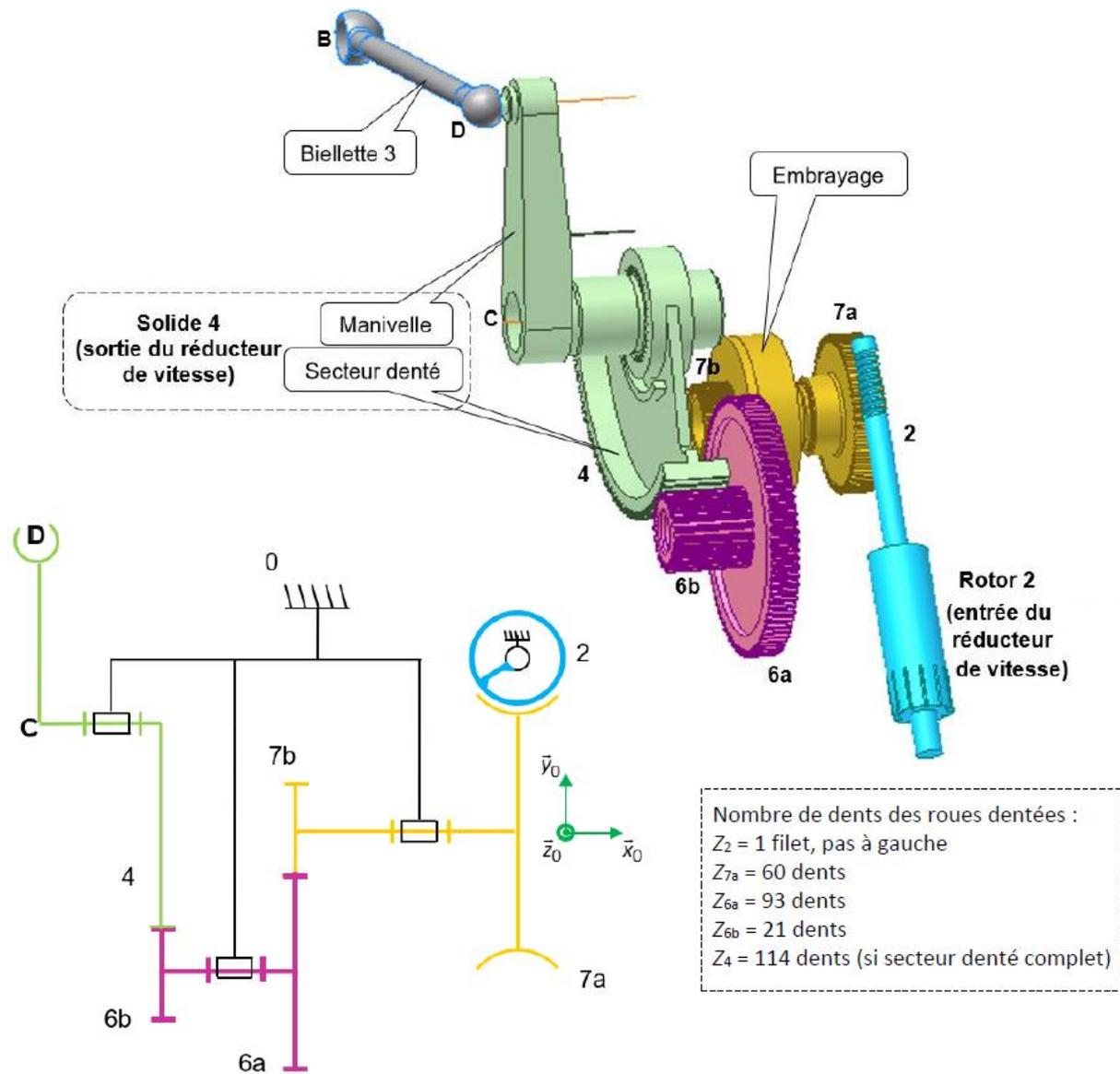
Ce transmetteur transmet le mouvement de rotation de la manivelle 4 (liée à l'axe de sortie du réducteur de vitesse) au hayon. L'ouverture du hayon est réalisée pour un angle de rotation de la manivelle 4 de $68,4^\circ$.



Une représentation 3D ainsi qu'un schéma cinématique du réducteur de vitesse sont donnés ci-dessous.

Le rotor 2 du moteur est solidaire de la vis de l'engrenage roue-vis sans fin. La biellette 3 est un constituant du transmetteur 4 barres défini précédemment.

Objectif : vérifier l'exigence du cahier des charges concernant le temps d'ouverture (ou de fermeture) du coffre (**entre 3 et 5 secondes**).



Question 1 : Parmi les différentes roues dentées, lesquelles doivent avoir le même module ?

Question 2 : Donner une expression de l'entraxe entre la pièce 6 et la pièce 7 a_{6-7} en fonction des rayons des roues dentées.

Question 3 : Sachant que l'entraxe a_{6-7} vaut 86 mm et que le module de la roue 7 vaut $m=2$ mm, déterminer le nombre de dents de la roue dentée 7b

Question 4 : Calculer le rapport de transmission de la roue-vis sans fin $\left| \frac{\omega_{7/0}}{\omega_{2/0}} \right|$

Question 5 : Calculer le rapport de transmission $\frac{\omega_{4/0}}{\omega_{7/0}}$

Question 6 : En déduire le rapport de transmission global $\left| \frac{\omega_{4/0}}{\omega_{2/0}} \right|$

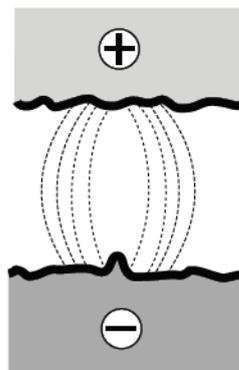
Question 7 : Déterminer la vitesse angulaire $N_{4/0}$ (en tr/min) si le moteur tourne à sa vitesse nominale.

Question 8 : Vérifier que l'on respect bien le cahier des charges.

Exe 4 : Transmetteur d'une machine de microfraisage par électro-érosion

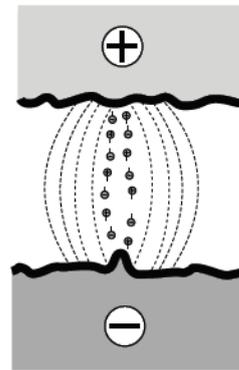
(inspiré de CCP 2018-TSI)

On s'intéresse dans cette exercice au train d'engrenages d'une machine de microfraisage par électroérosion. L'électro-érosion est un procédé d'usinage consistant à enlever de la matière par l'intermédiaire de décharges électriques entre deux électrodes immergées dans un fluide diélectrique (liquide ou gaz). L'une des électrodes constitue l'outil et l'autre la pièce à usiner. On donne ci-contre, les étapes successives d'enlèvement de matière par électro-érosion.



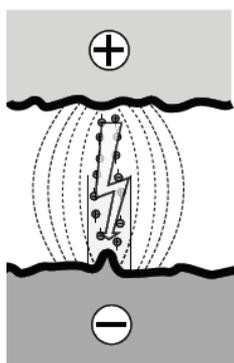
Création d'un champ électrique

①



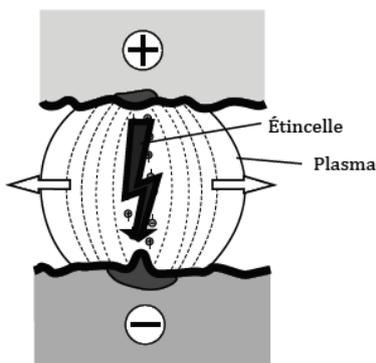
Formation d'un canal ionisé

②



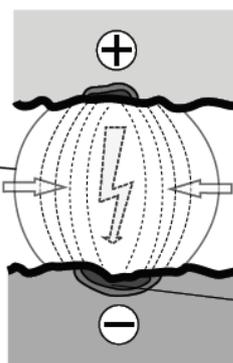
Claquage du diélectrique
Formation de l'étincelle
Passage du courant

③



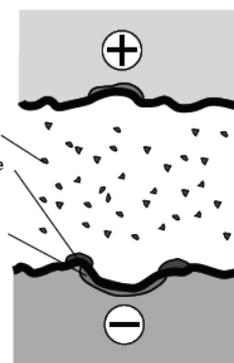
Création d'un plasma
($T \sim 8\ 000\ ^\circ\text{C}$ / $p \sim 40\ \text{bars}$)
Fusion locale de la matière

④



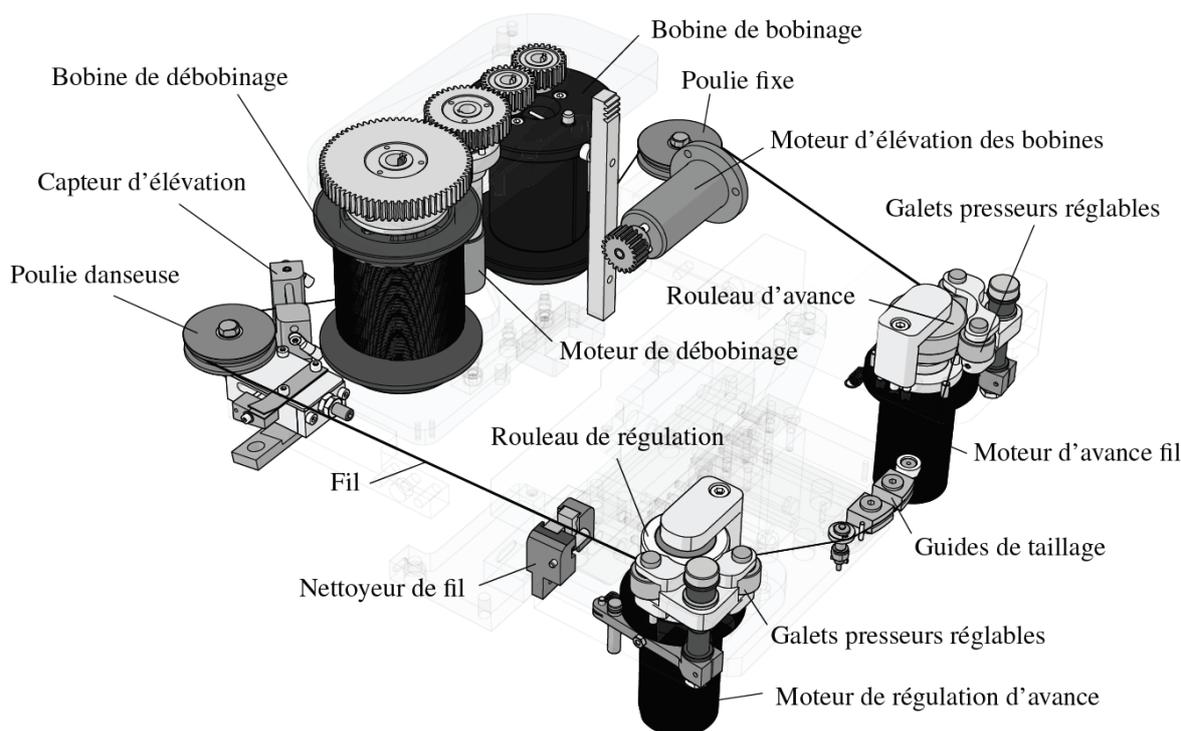
Chute du courant
Effondrement du plasma
Explosion de la matière fondue
(cratérisation)

⑤



Évacuation des débris
par le diélectrique
(matière, gaz, ...)

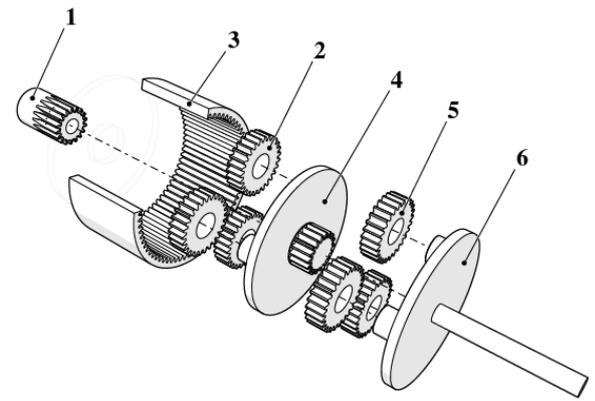
⑥



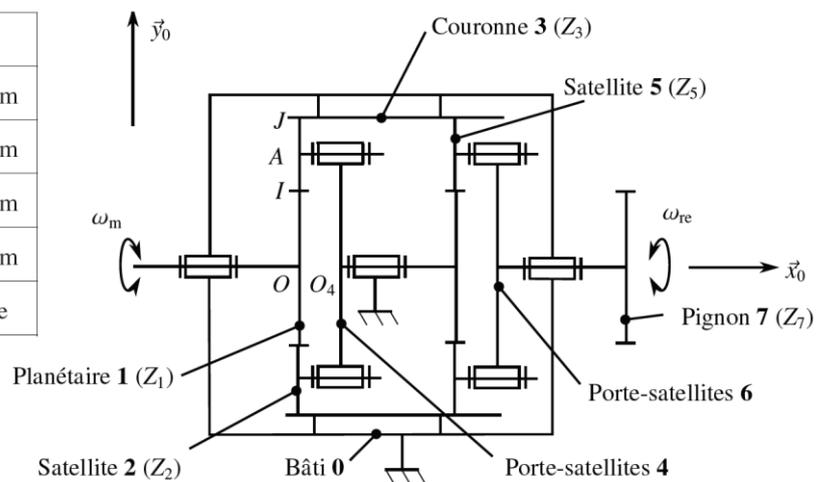
Dans le cadre de cette étude, on se concentre sur l'analyse d'une machine de microfraisage par érosion à fil SARIX SX-200. L'unité d'électro-érosion étudiée est alors constituée des différents éléments présentés ci-dessus.

Un motoréducteur électrique est utilisé pour le bobinage-débobinage du fil. La partie réducteur du motoréducteur est alors constituée d'un train épicycloïdal à double étage dont on donne une vue éclatée ci-contre.

Le schéma cinématique correspondant ainsi que les différentes caractéristiques des composants sont données ci-dessous.



Composant(s)	Nb de dents	Module
Planétaire 1	$Z_1 = 18$ dents	$m = 0,25$ mm
Satellites 2 et 5	$Z_2 = Z_5 = 27$ dents	$m = 0,25$ mm
Couronne 3	$Z_3 = 72$ dents	$m = 0,25$ mm
Porte-satellites 4	$Z_4 = 18$ dents	$m = 0,25$ mm
Porte-satellites 6	Pas de roue	Pas de roue



On considère $\vec{OI} = R_1 \vec{y}_0$

Afin de garantir un bon fonctionnement du système, le **cahier des charges** impose un **rapport de réduction compris entre 1/20 et 1/30**.

Question 1 : Sachant que les deux étages du réducteur sont identiques, déterminer les valeurs du rapport de réduction d'un étage permettant de satisfaire le cahier des charges.

Question 2 : Donner deux relations entre les différents diamètres des roues dentées permettant de garantir la coaxialité du planétaire 1, de la couronne 3 et du porte satellite 4.

Question 3 : Déterminer le rayon du planétaire 1 noté R_1 . En déduire la vitesse $\vec{V}_{I \in 1/0}$ uniquement en fonction de la vitesse de rotation du moteur ω_m (que l'on considère comme positive).

Question 4 : En déduire l'expression du torseur cinématique de 1/0 au point I en fonction de ω_m .

Question 5 : Calculer la raison λ d'un étage du train épicycloïdal.

Question 6 : Calculer le rapport de réduction d'un étage du train épicycloïdal.

Question 7 : En déduire le rapport de transmission global G_{red} .

Question 8 : Donner l'expression du torseur cinématique de 7/0 sur un point de l'axe de rotation de la pièce 7 en fonction de la vitesse de rotation du moteur ω_m .

Question 9 : Vérifier que l'on respecte bien le cahier des charges.