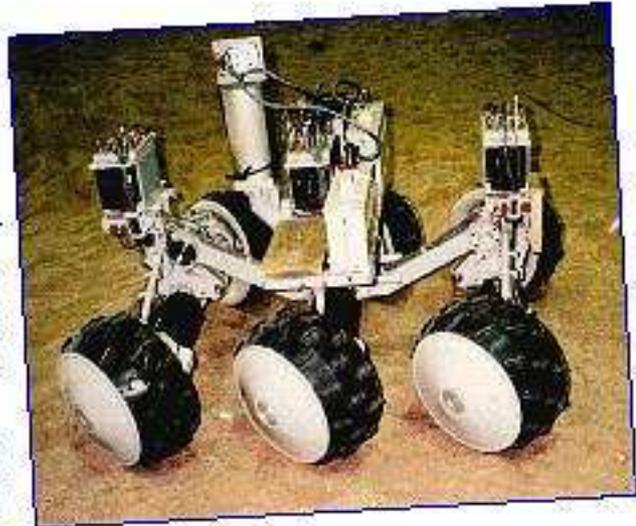


Robot d'exploration martienne IARES

Dans le cadre de l'exploration du système planétaire, le C.N.E.S. (Centre National d'Etudes Spatiales) développe un prototype de véhicule martien comportant des capacités de large autonomie.

Le robot IARES a été conçu pour étudier la composition chimique de la surface de la planète Mars. Les principaux composants de ce robot sont:



- un corps, appelé 'Warm Electronic Box', dont la fonction est d'assurer la liaison entre les divers composants. Il supporte les batteries qui sont chargées par des capteurs solaires. Il protège également l'électronique embarquée des agressions extérieures.
- une tête périscopique orientable dont la fonction est d'orienter le système de vision appelé 'Pancam' (Panoramic Camera) qui se trouve à 1,40 m de hauteur. Ce dernier fournit une vue en 3 dimensions de l'environnement. Le traitement des images acquises par les caméras du système Pancam permet à IARES de réaliser une cartographie des terrains et donc de trouver de manière autonome son chemin en évitant les obstacles. Cette autonomie de déplacement est renforcée par l'utilisation de quatre caméras de direction situées sur le corps.
- un bras articulé, dont la fonction est d'amener quatre outils (une foreuse, un microscope et deux spectromètres) à proximité d'une roche à étudier. L'étude de la roche par ces quatre outils se fait par des carottages horizontaux.
- six roues, animées chacune par un motoréducteur, dont la fonction est d'assurer le déplacement de IARES sur un sol caillouteux.
- un système de communication et des antennes hautes et basses fréquences, dont la fonction est de permettre à IARES de communiquer avec la Terre.

Modèle mécanique proposé

Le châssis est constitué de trois corps (voir figures 2 du document annexe): un corps avant et un corps arrière reliés à un corps central par un système de bielles permettant une mobilité indépendante de ces trois corps dans le plan longitudinal. Chaque corps possède deux roues liées par un système de suspension active (figure 3).

Pour simplifier l'étude, on considérera les trois corps et leurs liaisons dans le plan longitudinal comme un seul solide indéformable appelé plate-forme et noté S_p (repère $R_p(O_p; \vec{x}_p, \vec{y}_p, \vec{z}_p)$). À cette plate-forme sont liés 6 sous-ensembles (suspension-roue). L'ensemble est appelé véhicule (figure 4).

Les mouvements du véhicule sont étudiés dans le repère $R_0(O_0; \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ lié au sol et supposé galiléen. L'axe $(O_0; \vec{z}_0)$ est vertical ascendant.

Les sous-ensembles suspension-roue sont tous identiques; chacun de ses constituants pourra, si nécessaire, être affecté d'un indice i variant de 1 à 6 indiquant le numéro de la sous-structure (figure 4).

Pour le sous-ensemble i (i variant de 1 à 6)

Le solide S_{1i} , appelé biellette inférieure, est en liaison pivot d'axe $(A_i; \vec{x}_p)$ par rapport à la plate-forme S_p . Un moteur, lié à S_p , assure la rotation de S_{1i} par rapport à S_p .

Le solide S_{2i} , appelé fourchette, est en liaison pivot d'axe $(B_i; \vec{x}_p)$ par rapport à la biellette inférieure S_{1i} . $A_iB_i = L\vec{v}_i$ (L est la longueur du segment).

Le solide S_{1i} , appelé biellette supérieure, est en liaison pivot d'axe $(B_i; \vec{x}_p)$ par rapport à la fourchette S_{2i} et en liaison pivot d'axe $(A_i; \vec{x}_p)$ par rapport à la plate-forme S_p . $BB_i = 2.h\vec{z}_p$.

Les centres des liaisons A_i, B_i, B_i', A_i' sont les sommets d'un parallélogramme déformable.

Le solide S_{3i} , appelé axe, est en liaison pivot d'axe $(C_i; \vec{z}_p)$ par rapport à la fourchette S_{2i} . $BC_i = h\vec{z}_p$.

Un moteur, lié à S_{3i} , assure la rotation de S_{3i} par rapport à S_{2i} .

Le solide S_{4i} , appelé roue, est en liaison pivot d'axe $(D_i; \vec{q}_i)$ par rapport à l'axe S_{3i} , et en contact ponctuel avec le sol en un point P_i . Un moteur, lié à S_{4i} , assure la rotation de S_{4i} par rapport à S_{3i} .

$$\vec{CD}_i = d.\vec{q}_i \quad \vec{DM}_i = r.\vec{r}_i \quad \vec{D_iP_i} = -r.\vec{z}_{op}$$

Segment	Variable articulaire	Valeurs admissibles	Longueur (m)
S_{1i}	θ_i ($i=1, 2, 3$)	$(-30^\circ, 30^\circ)$	$L = 0,35$
	θ_i ($i=4, 5, 6$)	$(150^\circ, 210^\circ)$	
S'_{1i}	$\theta'_i = \theta_i$ ($i=1, 2, 3$)	$(-30^\circ, 30^\circ)$	$L = 0,35$
	$\theta'_i = \theta_i$ ($i=4, 5, 6$)	$(150^\circ, 210^\circ)$	
S_{2i}	-	-	$2.h = 0,10$
S_{3i}	ϕ_i ($i=1, 2, 3$)	$(-40^\circ, 40^\circ)$	
	ϕ_i ($i=4, 5, 6$)	$(140^\circ, 220^\circ)$	
S_{4i}	ψ_i		$r = 0,20$

Les positions des points A_i dans le repère R_p ($O_p; \vec{x}_p, \vec{y}_p, \vec{z}_p$) lié à la plate-forme sont données par les coordonnées suivantes : $A_i = (a_i, b_i, -h)$.

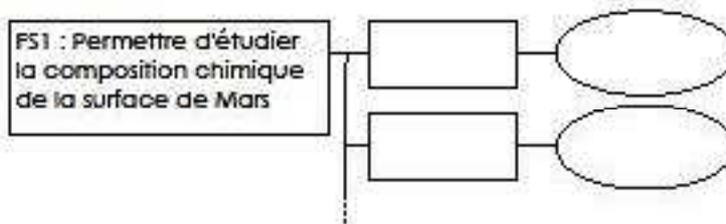
A_1 ($a, b, -h$)	A_4 ($-a, -b, -h$)
A_2 ($0, b, -h$)	A_5 ($0, -b, -h$)
A_3 ($-a, b, -h$)	A_6 ($a, -b, -h$)

Questions

Aspect Fonctionnel

Question 1 : Exprimer, par le moyen de votre choix, le besoin satisfait par ce système.

Question 2 : Recopier le diagramme FAST ci-dessous et compléter toutes les fonctions techniques et solutions techniques de IARES.



Fonction « Assurer le déplacement » : étude cinématique d'un sous-ensemble «suspension-roue»

Cette partie traite d'un seul sous-ensemble «suspension-roue»: par souci de simplification, l'indice i caractérisant ce sous-ensemble sera omis dans cette partie.

Préliminaire

On s'intéresse à la vitesse d'un point M de la roue par rapport à la plate-forme en fonction des variables articulaires (θ, ϕ, ψ)

Rappel: $\vec{O_pA} = a.\vec{x}_p + b.\vec{y}_p$, $\vec{AB} = L.\vec{v}$, $\vec{BC} = h.\vec{z}_p$, $\vec{CD} = d.\vec{q}$, $\vec{DM} = r.\vec{r}$.

Question 3 : Mouvements relatifs des solides S_j , ($j=1, 2, 3, 4$).

Caractériser le mouvement (donner son nom) de $1/p$ (p comme « plateforme ») et donner l'expression du torseur cinématique :

$V_{1/p} : \begin{Bmatrix} \vec{\Omega}_{1/p} \\ \vec{V}(A,1/p)_A \end{Bmatrix}$ en fonction de θ_1 et des données géométriques. En déduire l'expression de $\vec{V}(B,1/p)$ en fonction de θ_1 et des données géométriques.

Question 4 : L'ensemble $(p, 1, 1', 2)$ constitue un parallélogramme déformable. La géométrie de cet ensemble impose que les bases $B_1 : (\bar{x}_1, \bar{y}_1, \bar{z}_1)$ et $B_2 : (\bar{x}_2, \bar{y}_2, \bar{z}_2)$ soient confondues. En écrivant que $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$, $\bar{y}_1 = \bar{y}_2$, $\bar{z}_1 = \bar{z}_2$, et en dérivant ces relations dans la base B_1 , montrer que $\vec{\Omega}_{2/p} = \vec{0}$. En déduire la nature du mouvement de 2 par rapport à p.

Question 5 : Déduire de la question précédente l'expression de $V_{2p} : \begin{Bmatrix} \vec{\Omega}_{2/p} \\ \vec{V}(C,2/p)_C \end{Bmatrix}$ en fonction de θ_1 et des données géométriques.

Question 6 : Donner l'expression de $\vec{V}(C,3/2)$ puis de $\vec{V}(D,4/3)$. En déduire l'expression de $\vec{V}(M,4/p)$ en fonction de $\theta_1, \phi_1, \psi_1, \dot{\psi}_1$ et des données géométriques.

Commande du Mouvement de la plate-forme par rapport au sol

Le véhicule est supposé rouler sur une surface plane ; toutes les roues sont maintenues en contact avec le sol et les orientations des roues ($\phi_i = cte$) sont fixes par rapport à la plate-forme :

$i = 1, 2, 3$	$\theta_i = 0$	$\dot{\theta}_i = 0$	$\dot{\phi}_i = 0$
$i = 4, 5, 6$	$\theta_i = \pi$	$\dot{\theta}_i = 0$	$\dot{\phi}_i = 0$

On souhaite imposer à la plate-forme p un torseur cinématique par rapport au sol 0 de la forme

$$V_{p0} : \begin{Bmatrix} \vec{\Omega}_{p/0} = \dot{\phi}_0 \bar{z}_0 \\ \vec{V}(O_p, p/0) = V_0 \bar{x}_0 \end{Bmatrix}_{O_p} \quad \text{avec } \bar{z}_0 = \bar{z}_p = \bar{z}_{Op}.$$

On cherche dans ces conditions les paramètres de position ϕ_i et les vitesses articulaires $\dot{\psi}_i$ permettant un roulement **sans glissement** entre les roues et le sol, et ce dans le but de commander les motorisations utiles.

Question 7 : A partir de l'expression de $\vec{V}(M,4/p)$, en tenant compte des conditions du tableau ci-dessus, et en notant que $D\vec{P} = -r \cdot \bar{z}_{Op}$, donner l'expression du vecteur vitesse $\vec{V}(P,4/0)$ pour chaque roue 4 au point de contact P entre cette roue 4 et le sol en fonction de $V_0, \dot{\phi}_0, \psi_i$ et des données géométriques.

Question 8 : Traduire, sans développer aucun calcul, le non glissement en P de 4 sur le sol 0. Donner, toujours sans faire le calcul, les opérations (calcul vectoriel) qu'il faudrait effectuer pour obtenir :

- les paramètres de position ϕ_i en fonction de $V_0, \dot{\phi}_0$ et des données géométriques ;
- les vitesses articulaires $\dot{\psi}_i$ en fonction de $\dot{\phi}_0$, des paramètres de position ϕ_i et des caractéristiques géométriques.

Scénario de braquage des roues

On souhaite toujours imposer à la plate-forme p un torseur cinématique par rapport au sol 0 de la forme

$$V_{p0} : \begin{Bmatrix} \vec{\Omega}_{p/0} = \dot{\phi}_0 \bar{z}_0 \\ \vec{V}(O_p, p/0) = V_0 \bar{x}_0 \end{Bmatrix}_{O_p} \quad \text{avec } \bar{z}_0 = \bar{z}_p = \bar{z}_{Op}.$$

Soit I le Centre Instantané de Rotation (CIR) du mouvement plan de S_p par rapport à R_0 : c'est le point à vitesse nulle du mouvement de S_p par rapport à R_0 .

Question 9 : Montrer que \vec{l} est donné par $\vec{l} = \rho \vec{\gamma}_P$ et calculer ρ en fonction de V_0 et $\dot{\phi}_0$.

Question 10 : Compléter la figure 2 de la représentation schématisée du véhicule vu de dessus dans le plan $(O_p; \vec{x}_p, \vec{y}_p)$ du document réponse I-a, dans les conditions suivantes :

- il y a roulement sans glissement entre chaque roue et le sol R_0 ;
- \vec{l} est tel que $\rho > 0$;
- En s'inspirant du modèle de la figure 1 qui représente le véhicule en position « ligne droite ».

Représenter sur ce schéma le CIR I choisi, les six roues, les points P_i , les vecteurs unitaires \vec{q}_i et les angles ϕ pour i variant de 1 à 6, sans vous préoccuper des contraintes de butée (limitation angulaires physiques des angles ϕ de braquage des roues).

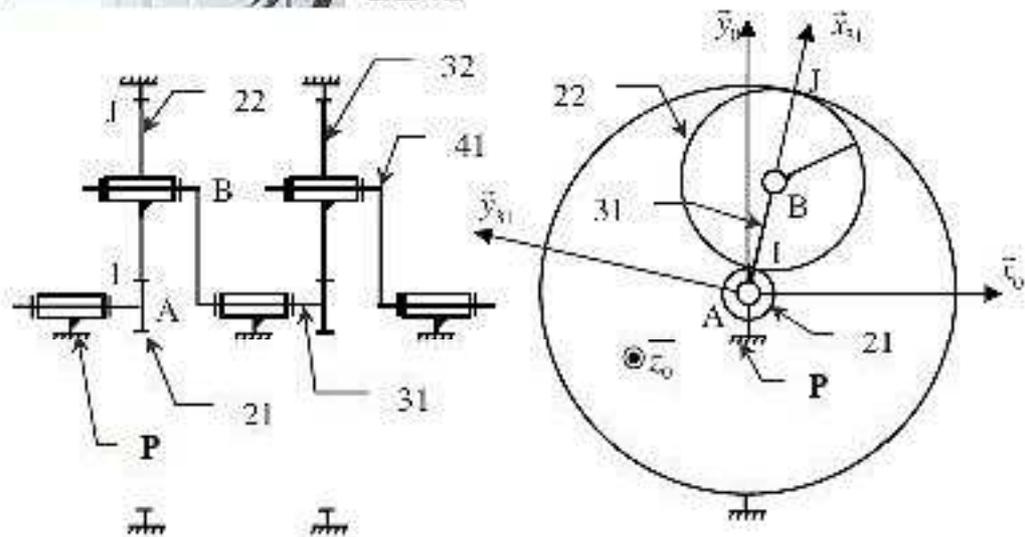
Etude du réducteur de vitesse



La fonction « transmettre » de la chaîne d'énergie d'une roue est réalisée par un train d'engrenages épicycloïdal composé de deux trains identiques placés en série (on dit deux « étages » de réduction).

Seul le premier train épicycloïdal est représenté et paramétré dans le plan (\vec{x}_0, \vec{y}_0) de la figure ci-dessous. La roue dentée 21 (premier planétaire), la roue dentée 0 (second planétaire dont les dents sont taillées sur le bâti 0) et la roue dentée 22 (satellite) ont respectivement pour rayon primitifs R_{21} , R_0 et R_{22} . Le solide 31 est le porte satellite.

Le moteur électrique de traction entraîne la roue d'entrée 21, et la roue du véhicule est encastree sur le bras 41.



Données :

$$\vec{AB} = (R_{21} + R_{22}) \vec{x}_{31}, \quad \vec{AJ} = R_0 \vec{x}_{31}, \quad \vec{AI} = R_{21} \vec{x}_{31}, \quad \vec{IB} = \vec{BJ} = R_{22} \vec{x}_{31}$$

$$\vec{\Omega}_{21/0} = \omega_{21/0} \vec{z}_0, \quad \vec{\Omega}_{31/0} = \omega_{31/0} \vec{z}_0, \quad \vec{\Omega}_{22/31} = \omega_{22/31} \vec{z}_0.$$

Question 11 : Déterminer le rapport des vitesses du premier « étage » de réduction, $\frac{\omega_{31/0}}{\omega_{21/0}}$, en fonction de R_{21} et R_{22} .

Question 12 : Trouver la relation liant R_{21} , R_0 et R_{22} , et faire l'application numérique pour $R_{21} = 13 \text{ mm}$ et $R_{22} = 81 \text{ mm}$.

Question 13 : En déduire le rapport de réduction global du train à deux « étages » : $\frac{\omega_{41/0}}{\omega_{21/0}}$.

Document Réponse

Echelle de représentation : 1/14

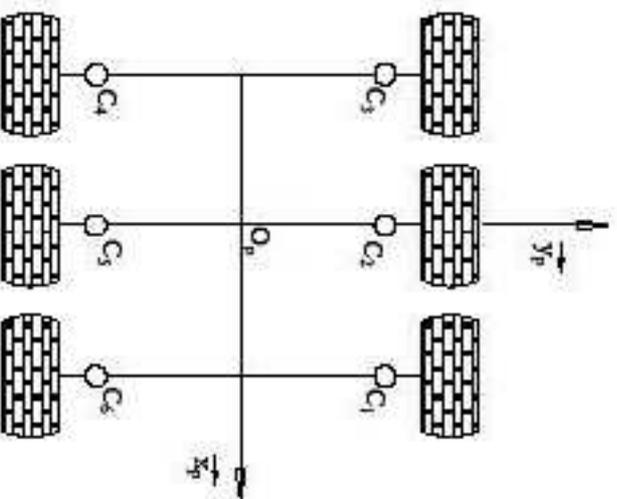


Figure 1 (position « ligne droite »)

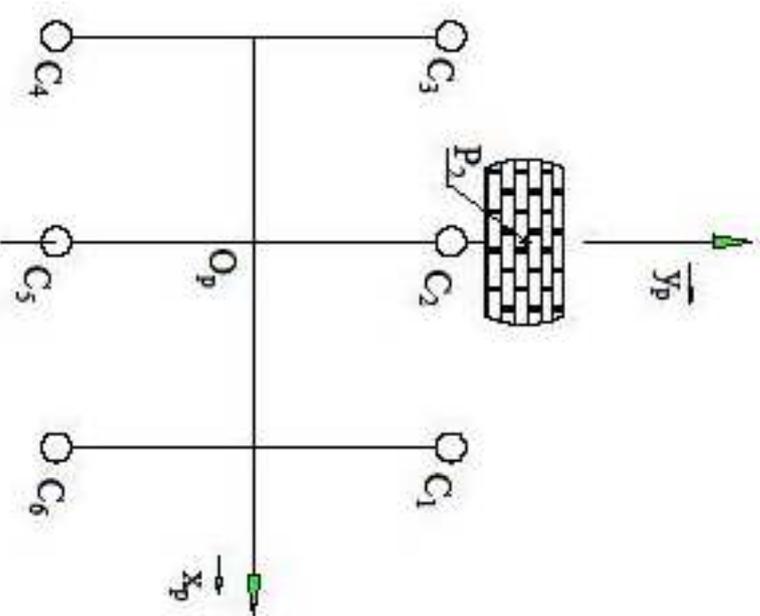
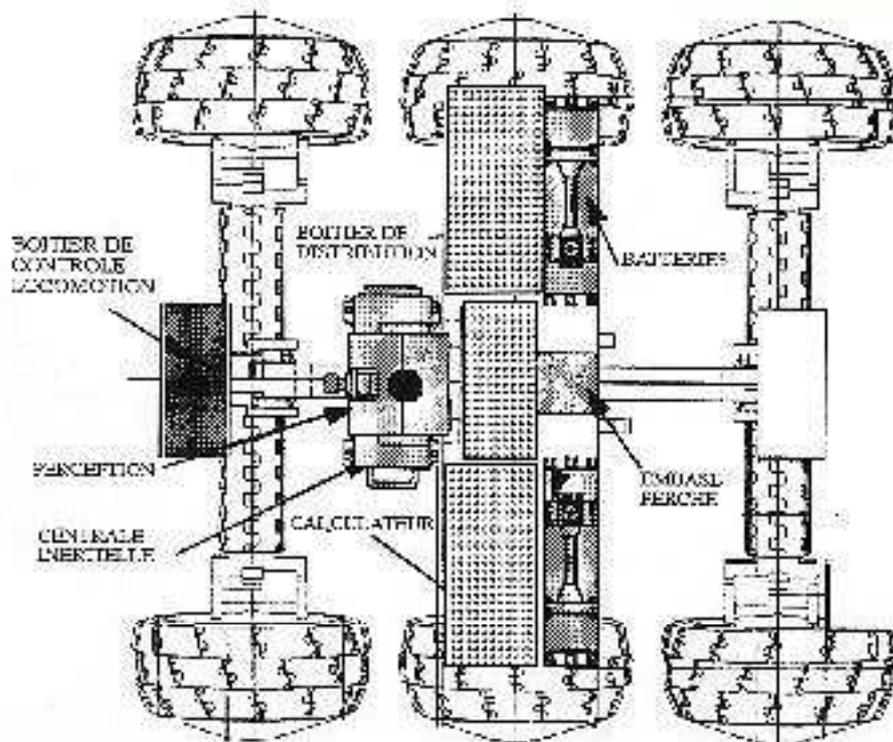
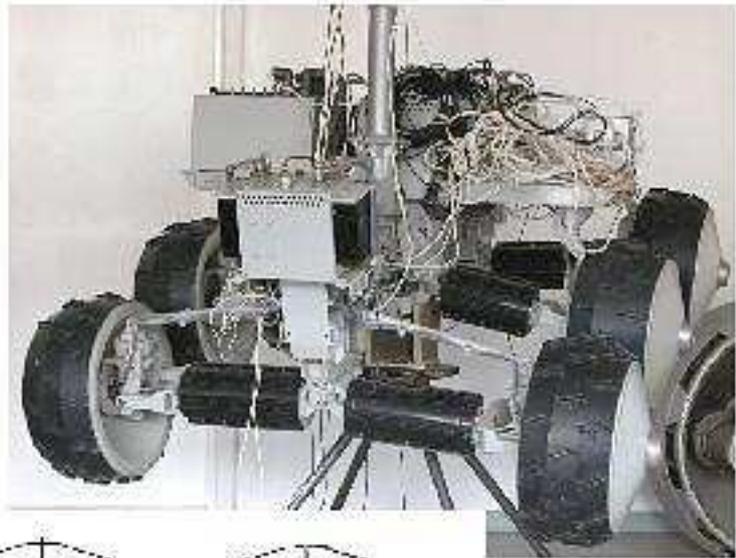
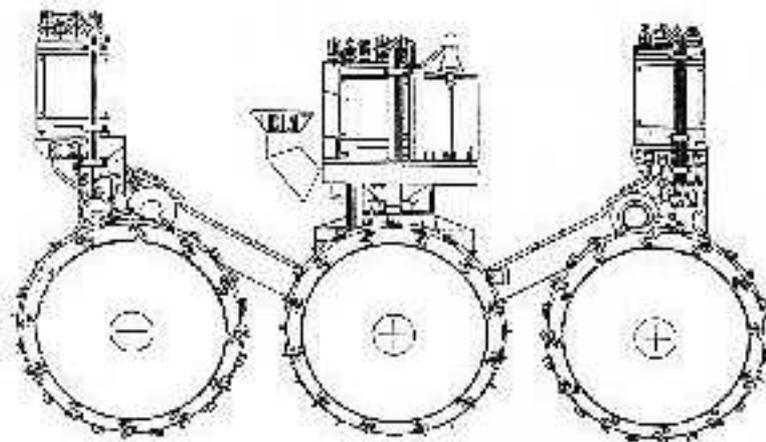


Figure 2

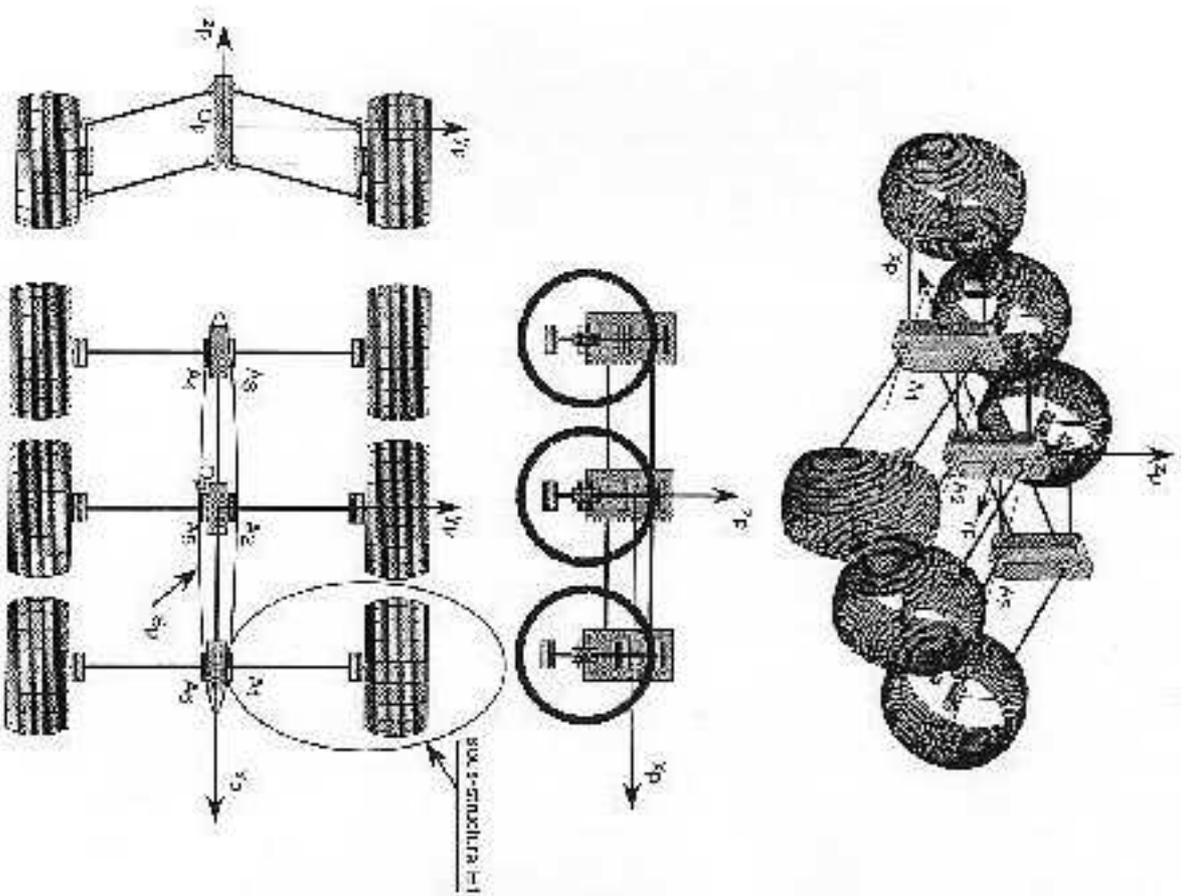
Documents Annexes



Figures 1:
architecture



Figures 2 : modèle cinématique



Robot marçien : CINÉMATIQUE

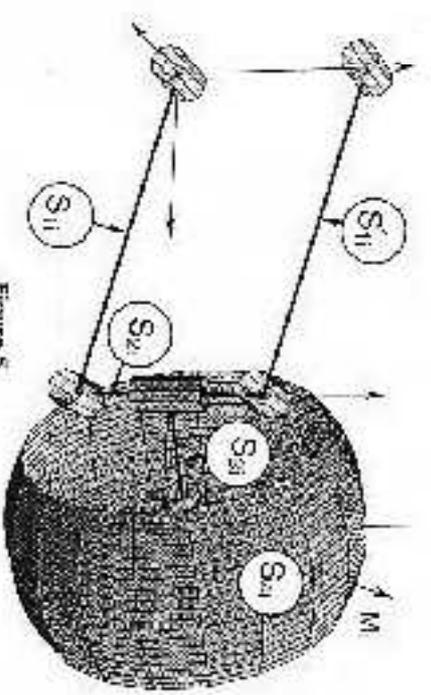
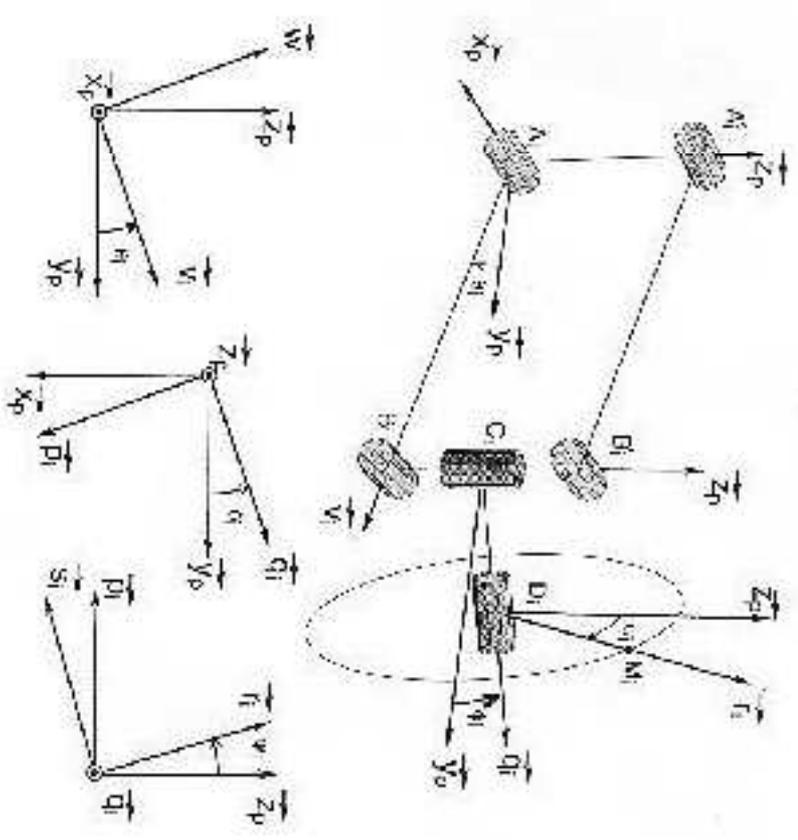


Figure 5



$\vec{O}_p A = a \cdot \vec{x}_p + b \cdot \vec{y}_p$, $\vec{O}_p B = L \cdot \vec{y}_p$, $\vec{O}_p C = h \cdot \vec{z}_p$, $\vec{C}D = d \cdot \vec{q}_1$, $\vec{D}M = r \cdot \vec{r}_i$, avec a, b, L, h, d, r des constantes positives