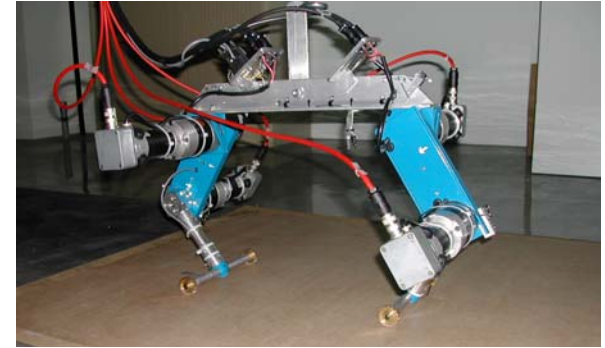
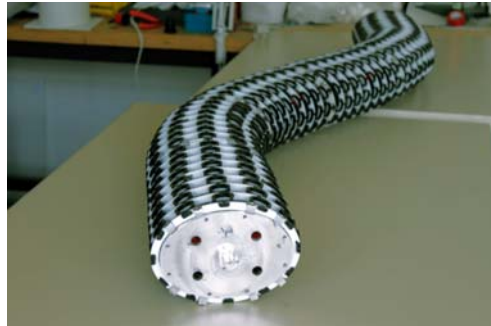
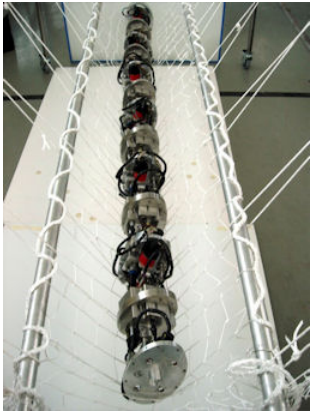


Détail du poignet



Robot semi-quad

Robot Orthoglide 3 axes et 5 axes (brevets)



Robot Anguille (ANR RAAMO)



Robot parallèle à actionnement variable (ANR SIROPA)

Nantes Variable Actuation Robot

D. Chablat , S. Caro, P. Wenger, P. Lemoine, S. Briot, G. Ecorchard

Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes

Damien.Chablat@irccyn.ec-nantes.fr

SIROPA project presentation

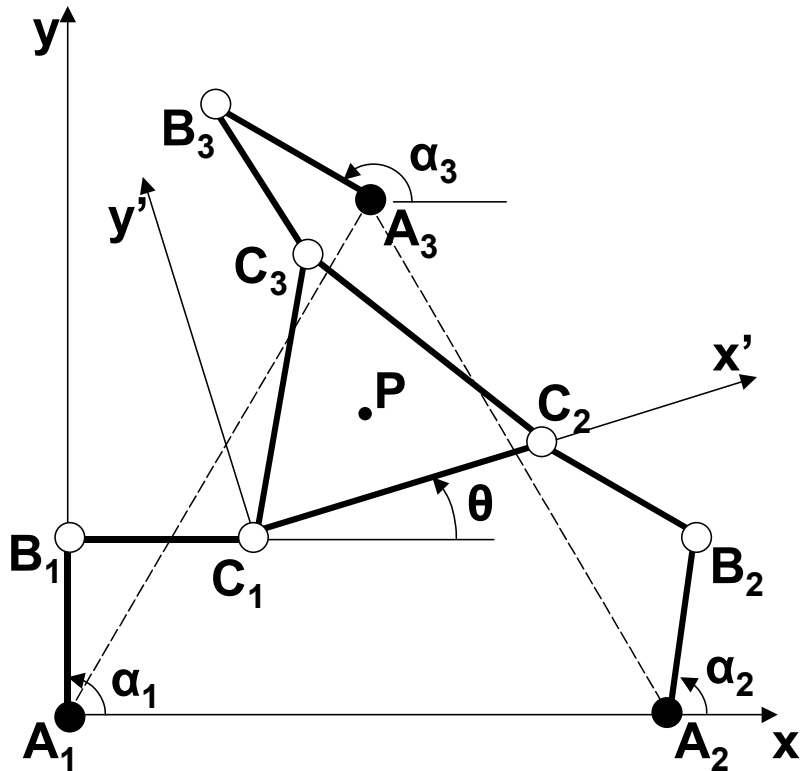


- **Remplacer les robots sériels par des robots parallèles.**
- **Problèmes:**
 - Espace de travail restreint
 - Singularités à l'intérieur de l'espace de travail
 - Perte de contrôle de l'effecteur
 - Non homogénéité des performances dans l'espace de travail
- **Note:**
 - Pour une même architecture, les singularités dépendent de la localisation des actionneurs.
- **Idée originale**
 - Arakelian, V., Briot, S. and Glazunov, V. (2007)., “Increase of Singularity-Free Zones in the Workspace of Parallel Manipulators Using Mechanisms of Variable Structure”, Mech. Mach. Theory.

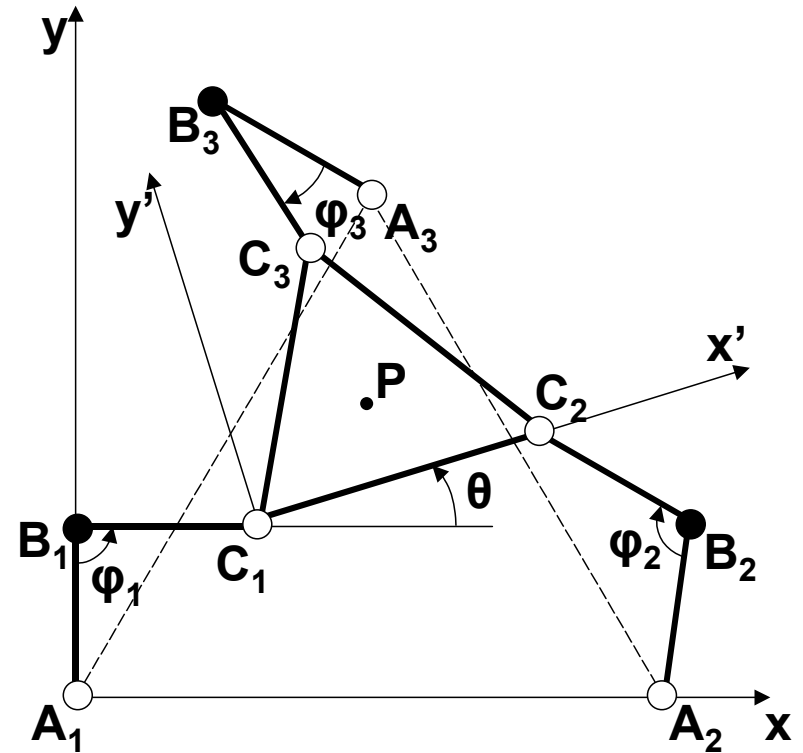


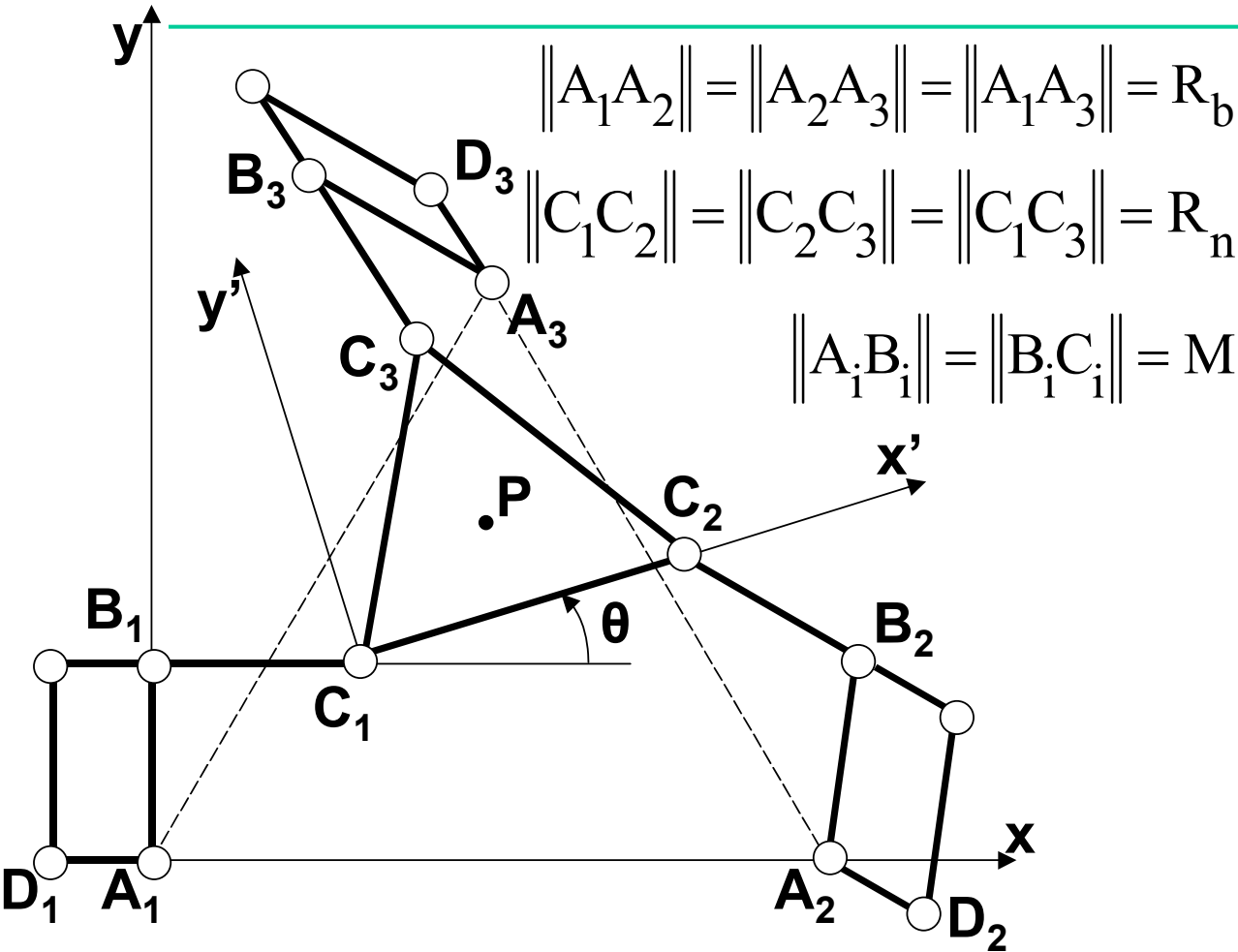
Validation du principe

I- Mécanismes 3-RRR



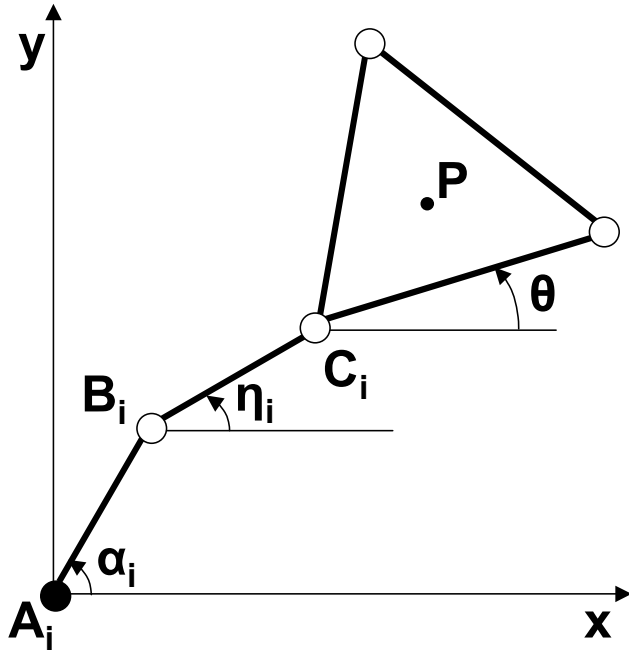
II- Mécanismes 3-RRR





$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$
$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$
$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$
$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$
$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$
$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$
$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$
$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$
$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$

8 combinaisons possibles d'actionnement

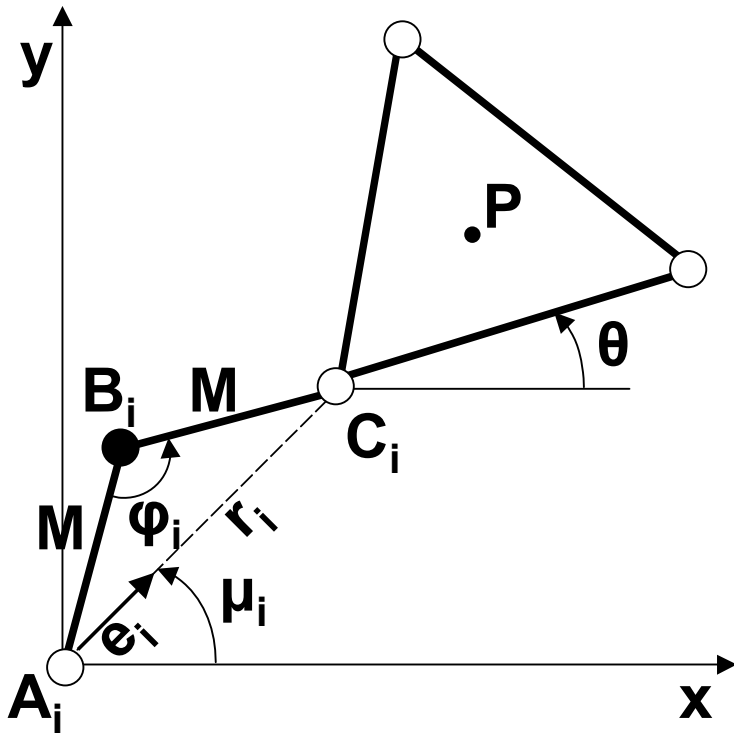


$$t = \begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}$$

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} \dot{\alpha}_1 \\ \dot{\alpha}_2 \\ \dot{\alpha}_3 \end{bmatrix}$$

$$\dot{p} = \dot{\alpha}_i \mathbf{E} (b_i - a_i) + \dot{\eta}_i \mathbf{E} (c_i - b_i) + \dot{\theta} \mathbf{E} (p - c_i)$$

$$(c_i - b_i)^T \dot{p} - (c_i - b_i)^T \mathbf{E} (p - c_i) \dot{\theta} = (c_i - b_i)^T \mathbf{E} (b_i - a_i) \dot{\alpha}_i$$



$$t = \begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}$$

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} \dot{\phi}_1 \\ \dot{\phi}_2 \\ \dot{\phi}_3 \end{bmatrix}$$

$$\dot{p} = \dot{c}_i + \dot{\theta} \mathbf{E} (p - c_i)$$

$$\dot{p} = \dot{r}_i \mathbf{e}_i + \dot{\mu}_i \mathbf{E} (c_i - a_i) + \dot{\theta} \mathbf{E} (p - c_i)$$

$$(c_i - a_i)^T \dot{p} - (c_i - a_i)^T \dot{\theta} \mathbf{E} (p - c_i) = M^2 \sin \phi_i \dot{\phi}_i$$

■ Mécanisme RRR1-RRR2-RRR3 :

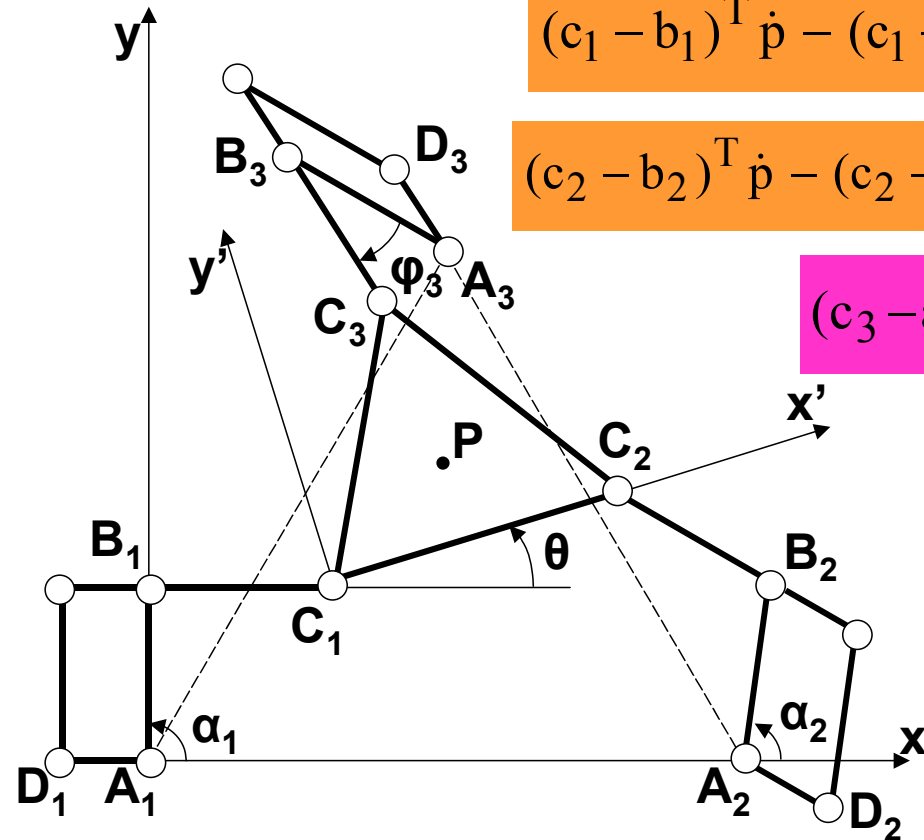
(jambes 1 et 2 actionnées par les segments A1B1 et A2B2 ,
puis la jambe 3 actionnée par le segment A3D3)

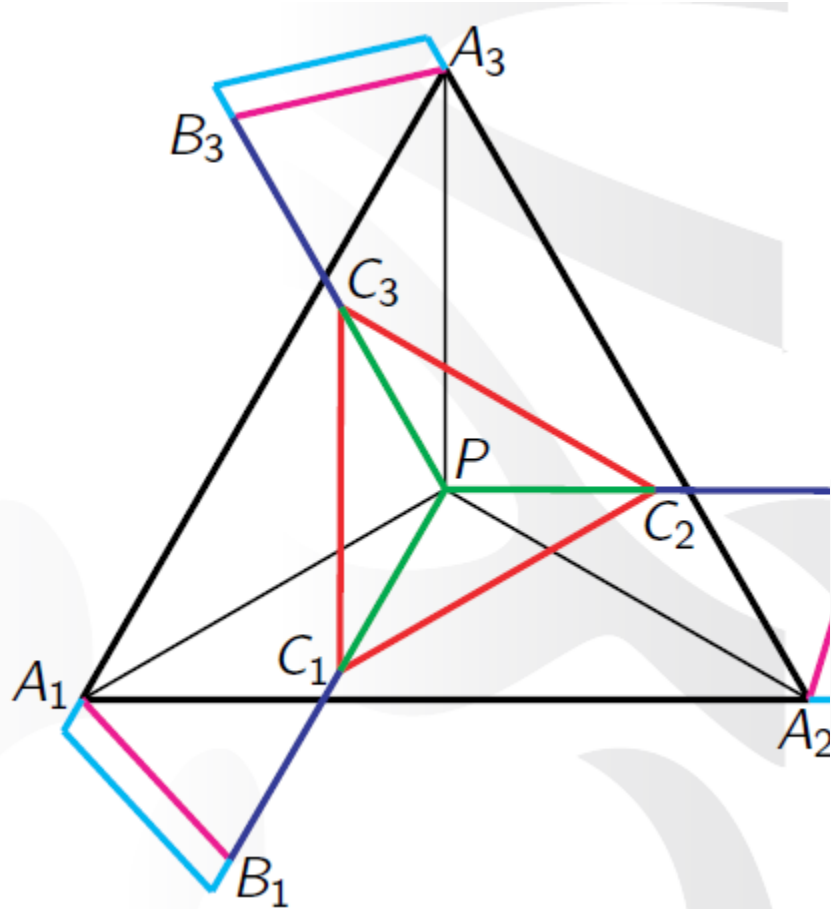
$$(c_1 - b_1)^T \dot{p} - (c_1 - b_1)^T E (p - c_1) \dot{\theta} = (c_1 - b_1)^T E (b_1 - a_1) \dot{\alpha}_1$$

$$(c_2 - b_2)^T \dot{p} - (c_2 - b_2)^T E (p - c_2) \dot{\theta} = (c_2 - b_2)^T E (b_2 - a_2) \dot{\alpha}_2$$

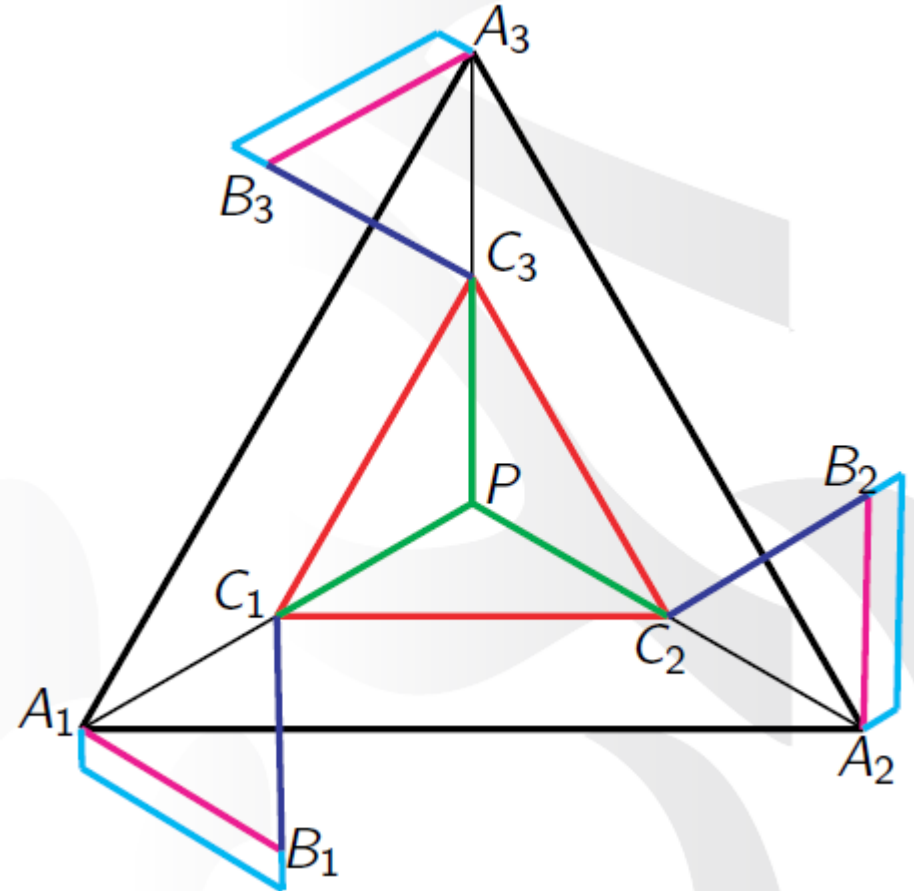
$$(c_3 - a_3)^T \dot{p} - (c_3 - a_3)^T \dot{\theta} E (p - c_3) = M^2 \sin \varphi_3 \dot{\varphi}_3$$

$$K = J_A J_B^{-1}$$





3-RRR



3-RRR

- Normalisation de \mathbf{J}_A en divisant sa dernière colonne Rb :

$$\bar{\mathbf{K}} = \bar{\mathbf{J}}_A \mathbf{J}_B^{-1}$$

- Conditionnement d'une matrice \mathbf{M} :

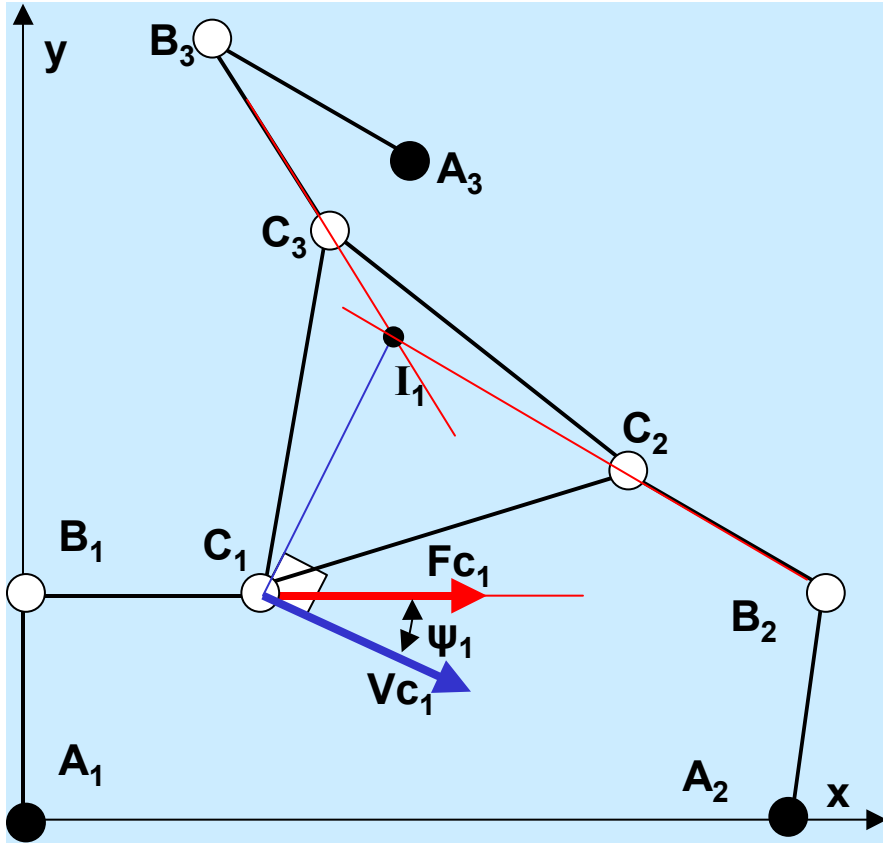
$$\kappa(\mathbf{M}) = \sqrt{\frac{\sigma_i}{\sigma_s}}$$

σ_i plus petite valeur singulière de \mathbf{M}

σ_s plus grande valeur singulière de \mathbf{M}

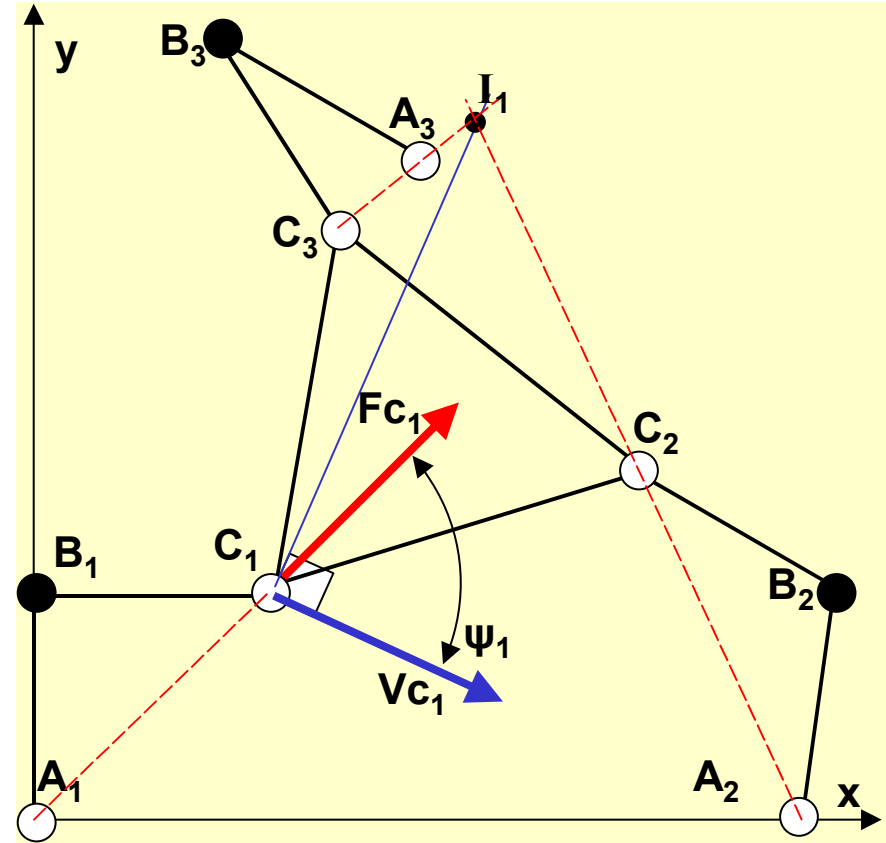
$$0 \leq \kappa \leq 1$$

$0 = \kappa$: singularité



Mécanisme 3-RRR

$$0 \leq \psi \leq 90^\circ$$



Mécanisme 3-RRR

$$\psi = 90^\circ : \text{singularité}$$

- Simulation à orientation fixe de la plate-forme : $\theta=0$ et $\theta=17.5^\circ$
- Zone en noire : inaccessible, lieux des singularités
- Zone en blanc : lieux de points optimums

$$R_b = 10$$

$$R_n = 5$$

$$M = 3$$

Angle de pression	Conditionnement	Code couleur
Inférieur à 15	Supérieur à 0.3	Blanc
De 15 à 30	De 0.2 à 0.3	Vert
De 30 à 45	De 0.1 à 0.2	Jaune
De 45 à 60	De 0.05 à 0.1	Magenta
De 60 à 75	De 0.02 à 0.05	Bleu
Supérieur à 75	Inférieur à 0.02	Noir

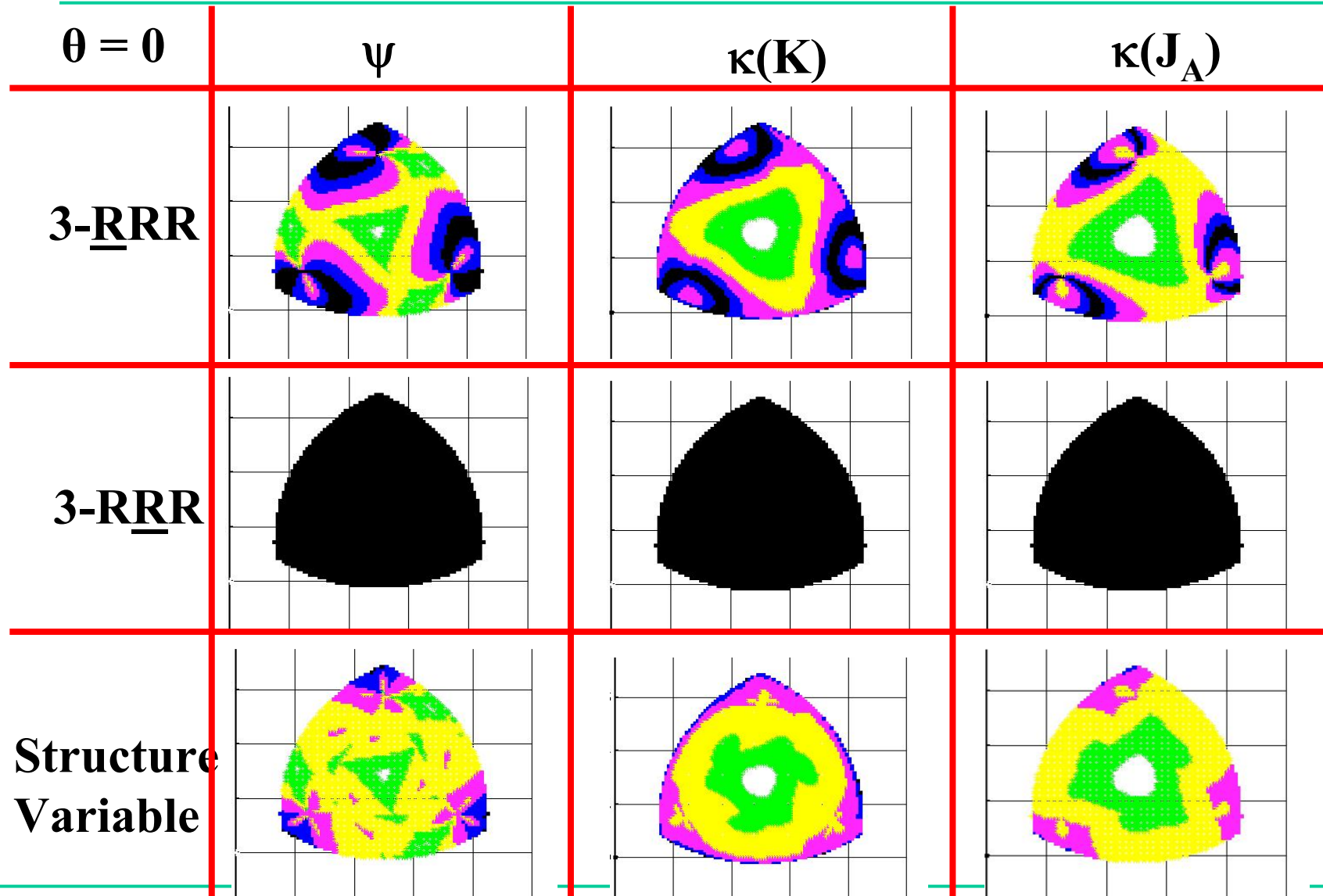
$\theta = 0$	ψ	$\kappa(K)$	$\kappa(J_A)$
$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$	85%	72%	84%
$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$	65%	61%	66%
$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$	71%	69%	60%
$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$	0%	0%	0%
Structure Variable	~100%	99%	~100%

Pourcentage de zone sans singularité dans l'espace de travail

$$75^\circ \leq \psi$$

$$0.05 \geq \kappa$$

$\theta = 17.5^\circ$	ψ	$\kappa(K)$	$\kappa(J_A)$
$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$	83%	80%	88%
$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$	72%	73%	75%
$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$	71%	68%	62%
$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$	72%	66%	52%
Structure Variable	100%	~100%	~100%



■ Critères utilisés

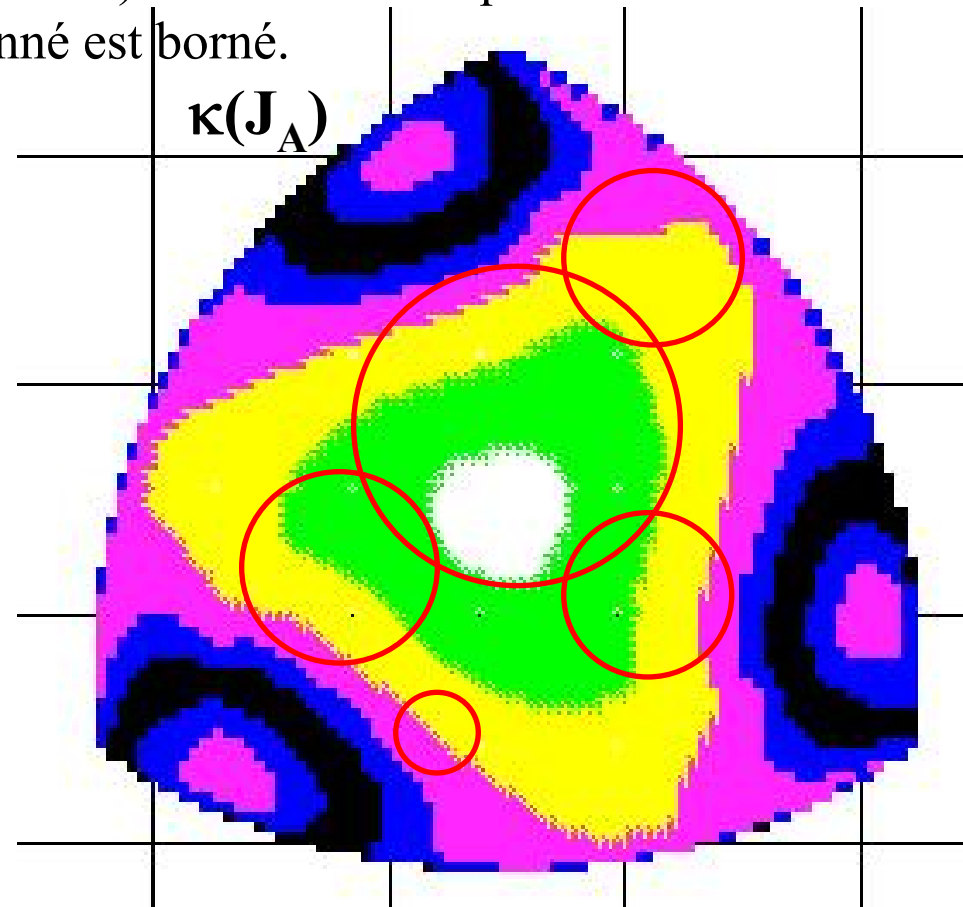
- L'EDR est une portion de l'espace de travail exempt de singularités, ayant une forme régulière (cube, sphère...) à l'intérieur duquel un indice de performance cinétostatique donné est borné.

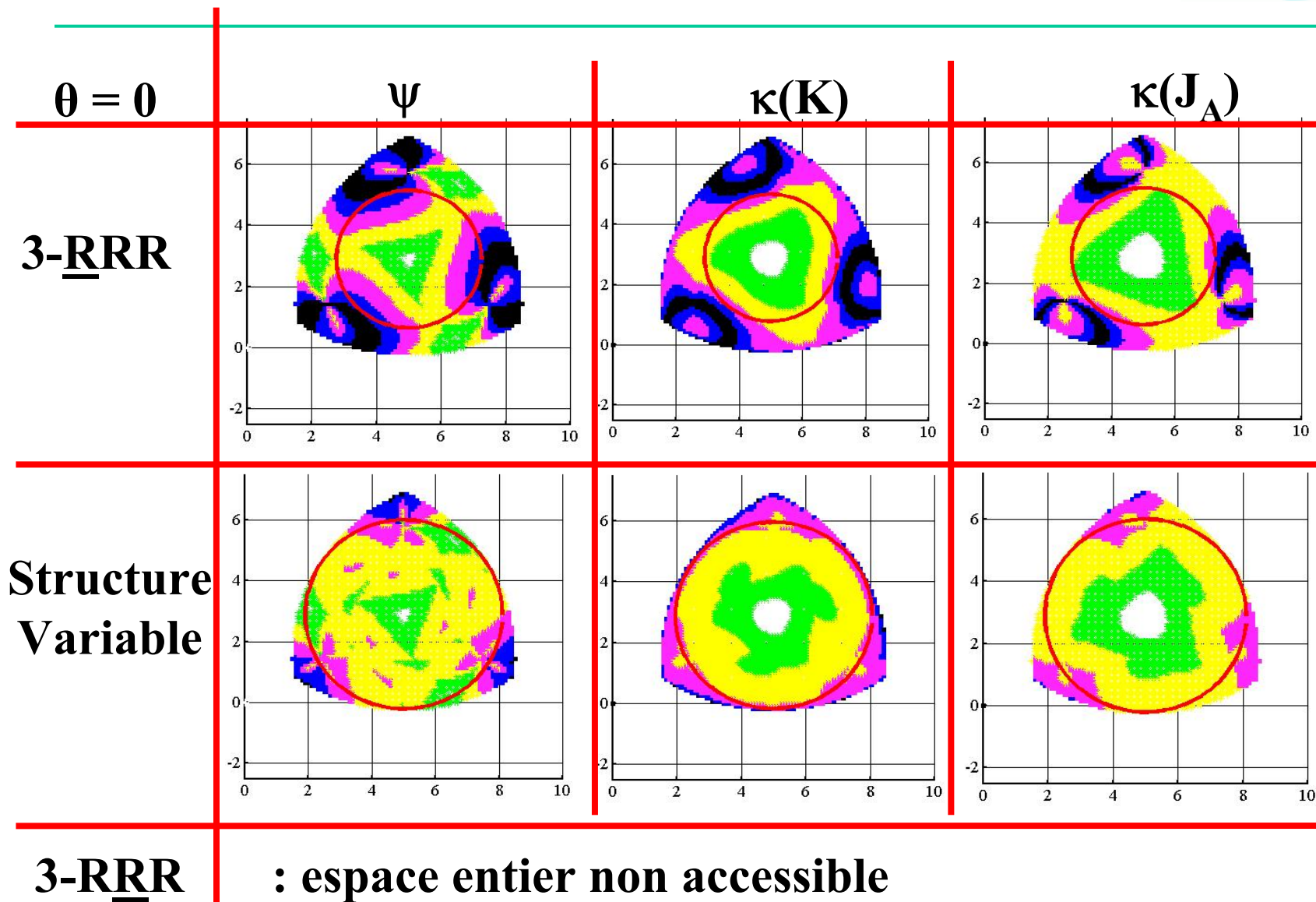
■ Pour déterminer l'EDR :

- La forme régulière,
- L'indice de performance cinétostatique ψ (déterminant, conditionnement, raideur, ...),
- Les bornes de ψ .

$$75^\circ \leq \psi$$

$$0.05 \geq \kappa$$





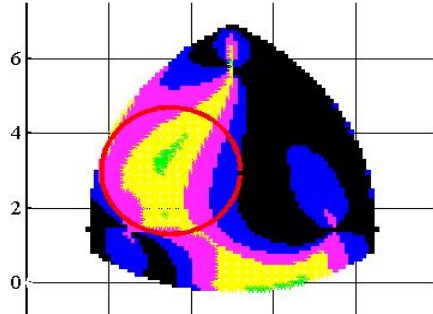
$\theta = 0$

ψ

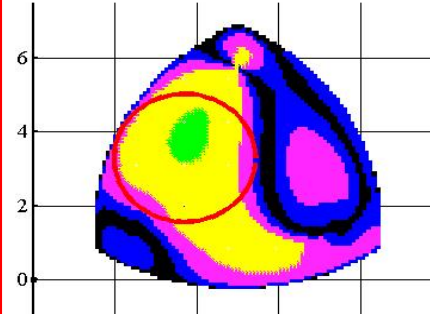
$\kappa(K)$

$\kappa(J_A)$

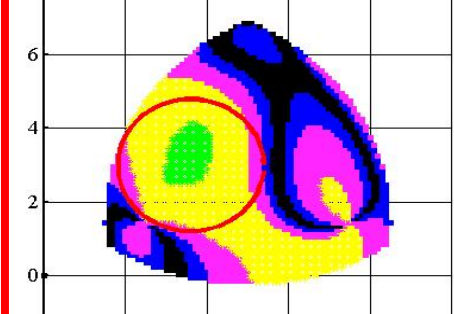
\underline{RRR}_1
 \underline{RRR}_2
 \underline{RRR}_3



centre [3.5 , 3]
rayon : 1.7

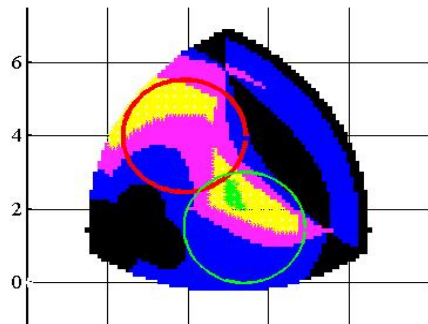


centre [3.7 , 3.3]
rayon : 1.74

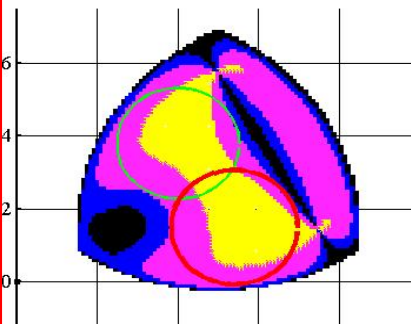


centre [3.6 , 3]
rayon : 1.88

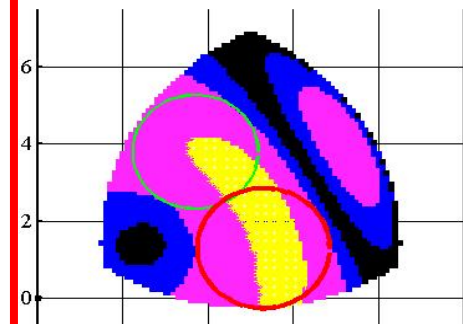
\underline{RRR}_1
 \underline{RRR}_2
 \underline{RRR}_3



centre [3.9 , 4]
[5.4 , 1.5]
rayon : 1.54



centre [4 , 3.8]
[5.4 , 1.5]
rayon : 1.58

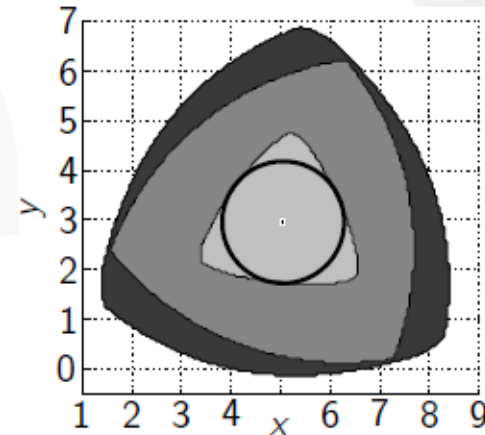
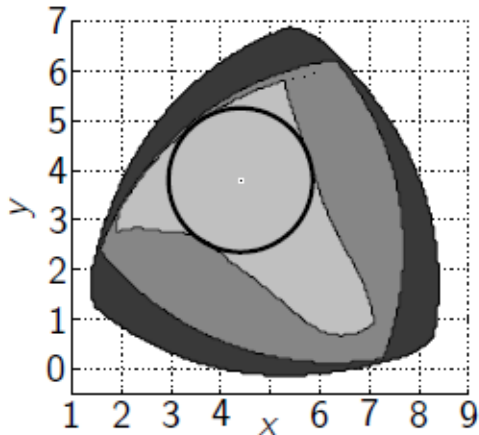
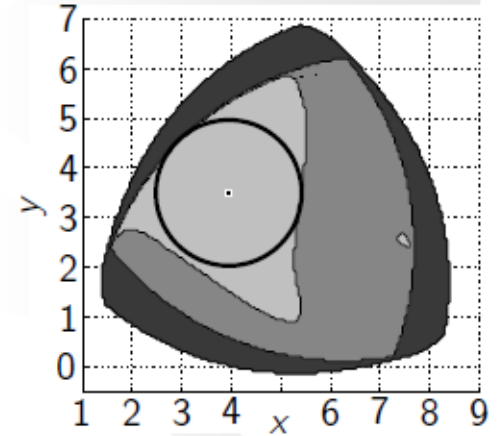
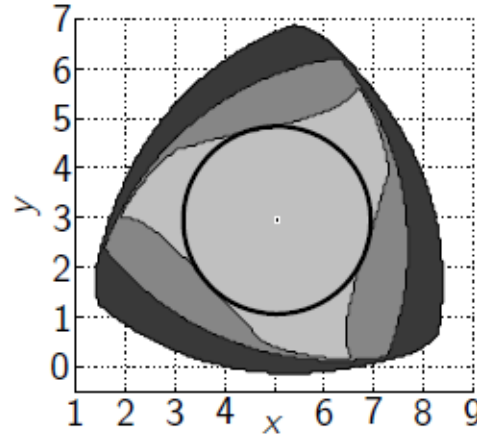
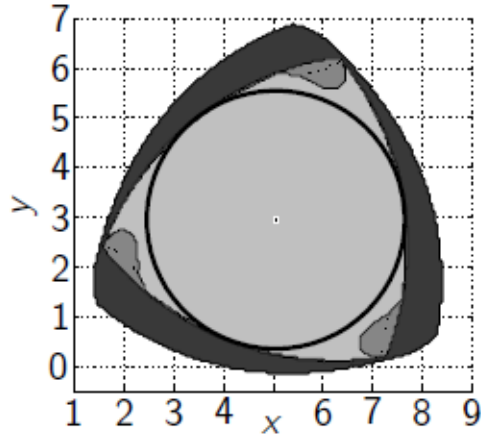


centre [3.7 , 3.8]
[5.3 , 1.3]
rayon : 1.56

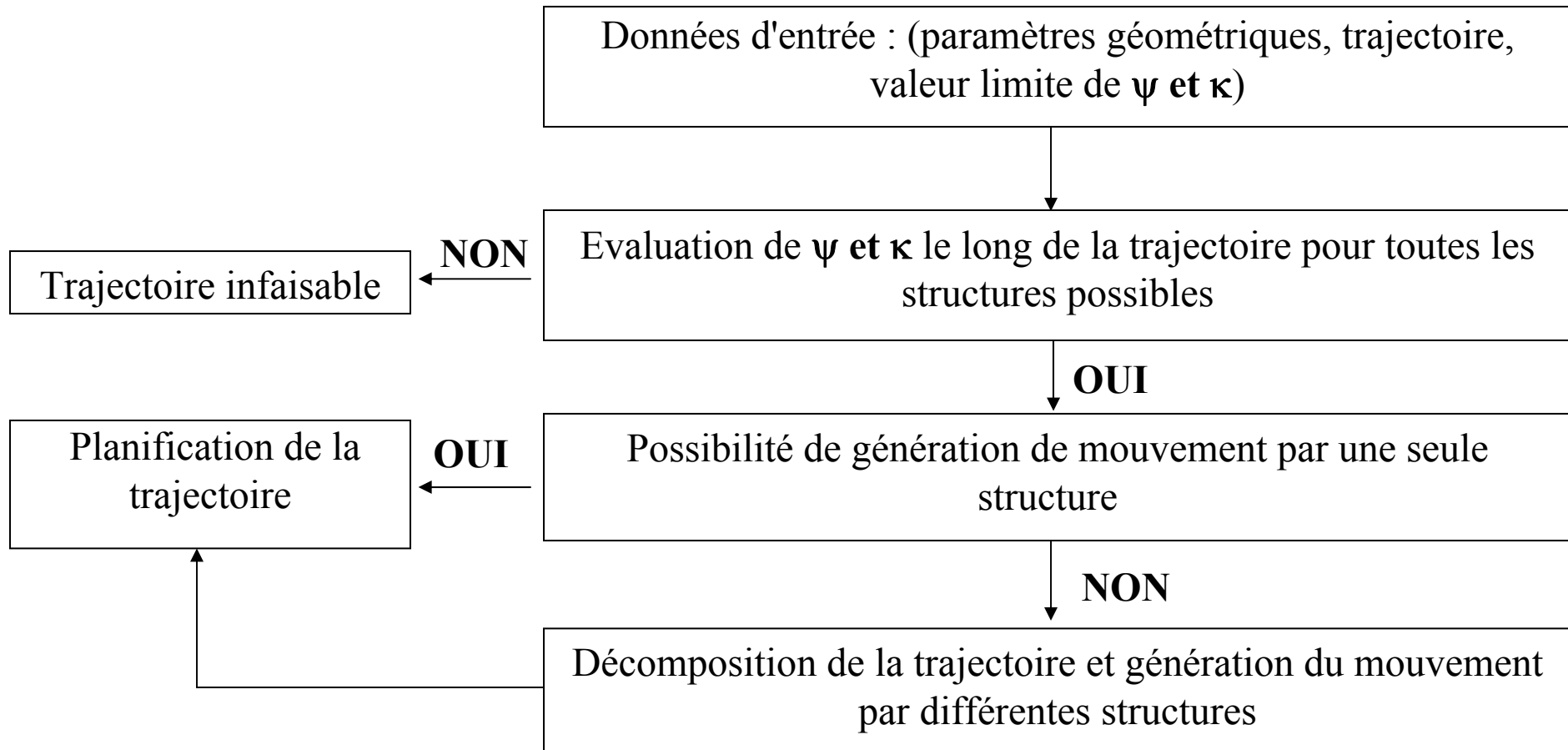
$\theta = 0$	ψ	$\kappa(K)$	$\kappa(J_A)$
$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$	0.44	0.39	0.44
$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - RRR_3$	0.26	0.26	0.3
$\underline{RRR}_1 - RRR_2 - \underline{RRR}_3$	0.2	0.21	0.21
$RRR_1 - RRR_2 - RRR_3$	0	0%	0%
Structure Variable	0.83	0.81	0.83

Rapport entre le volume du plus grand EDR et le volume travail

$$75^\circ \leq \psi \quad 0.05 \geq \kappa$$



RDW obtained with $\kappa_F^{-1}(\mathbf{J}) > 0.15$ of the (a) VAM; (b) 1st AM; (c) 2nd, 3rd and 4th AM; (d) 5th, 6th and 7th AM; (e) 8th AM

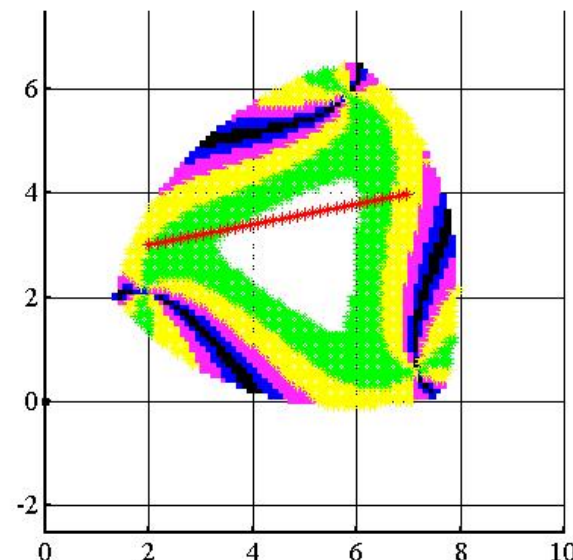
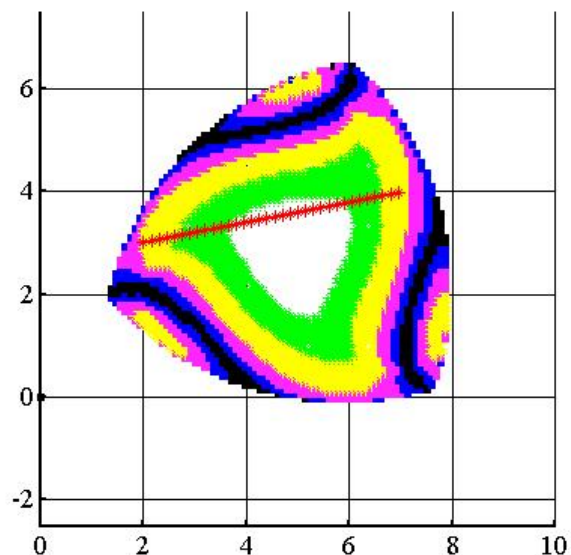
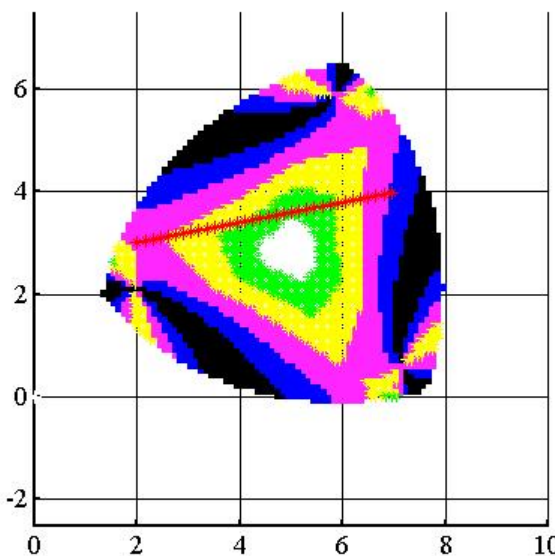


Réalisation du segment de droite RS ($\theta = 17.5^\circ$)

	R	S
Suivant x	2	7
Suivant y	3	4

$$75^\circ \leq \psi$$

$$0.1 \geq \kappa$$



Réalisation du segment de droite RS ($\theta = 17.5^\circ$)

	Q	S
Suivant x	2	7
Suivant y	1.5	4

$$60^\circ \leq \psi$$

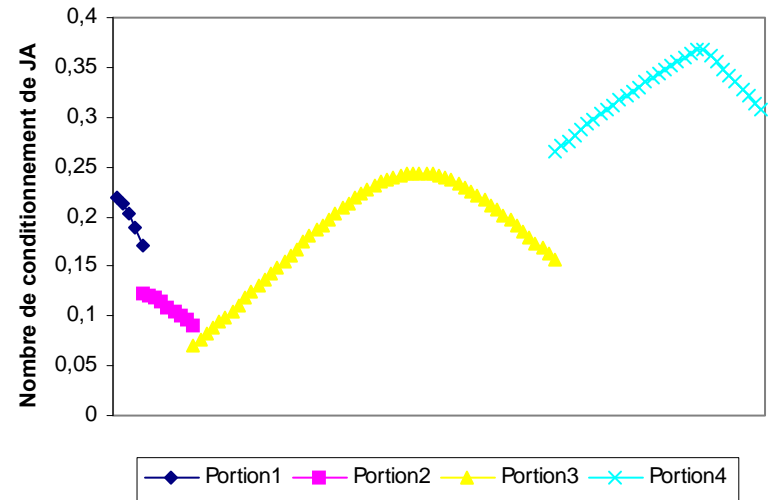
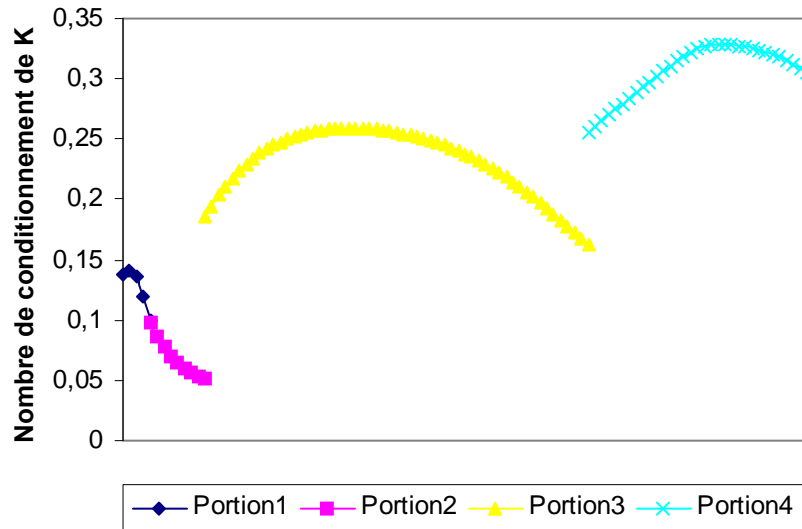
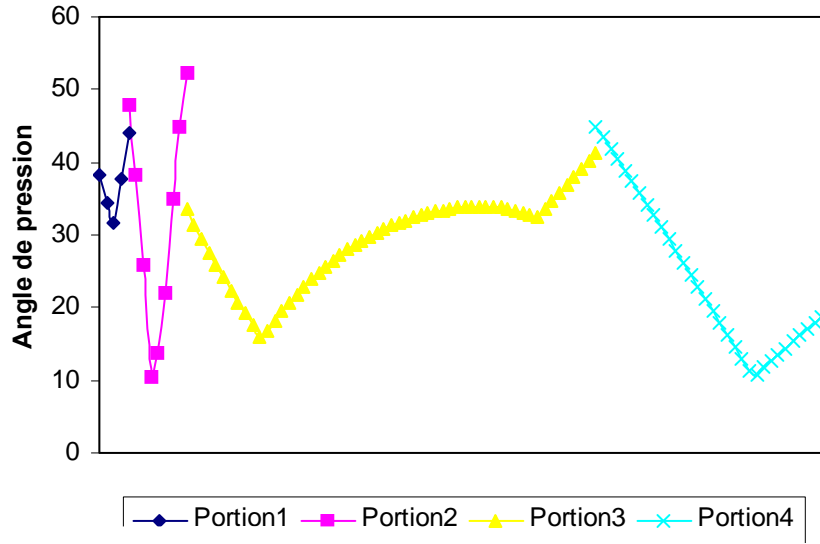
$$0.05 \geq \kappa$$

$$\left[\begin{pmatrix} 2 \\ 1.5 \end{pmatrix}; \begin{pmatrix} 2.2 \\ 1.6 \end{pmatrix} \right] : \underline{\text{RRR}}_1 - \underline{\text{RRR}}_2 - \underline{\text{RRR}}_3 : \text{Portion1}$$

$$\left[\begin{pmatrix} 2.2 \\ 1.6 \end{pmatrix}; \begin{pmatrix} 2.6 \\ 1.8 \end{pmatrix} \right] : \underline{\text{RRR}}_1 - \underline{\text{RRR}}_2 - \underline{\text{RRR}}_3 : \text{Portion2}$$

$$\left[\begin{pmatrix} 2.6 \\ 1.8 \end{pmatrix}; \begin{pmatrix} 5.4 \\ 3.2 \end{pmatrix} \right] : \underline{\text{RRR}}_1 - \underline{\text{RRR}}_2 - \underline{\text{RRR}}_3 : \text{Portion3}$$

$$\left[\begin{pmatrix} 5.4 \\ 3.2 \end{pmatrix}; \begin{pmatrix} 7 \\ 4 \end{pmatrix} \right] : \underline{\text{RRR}}_1 - \underline{\text{RRR}}_2 - \underline{\text{RRR}}_3 : \text{Portion4}$$



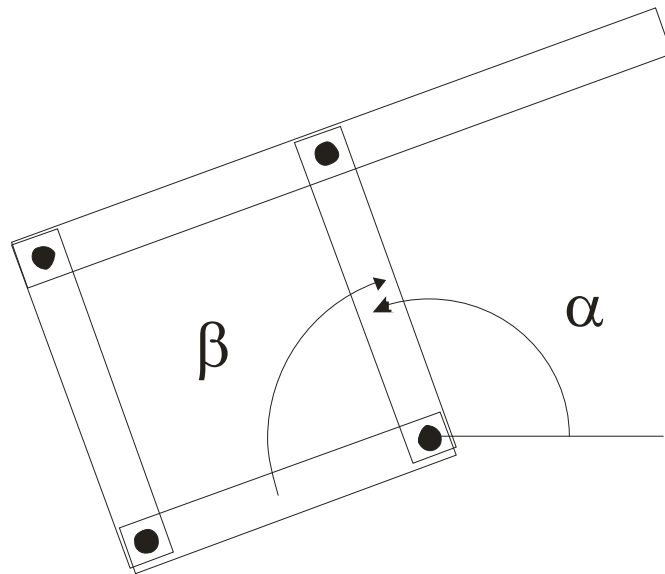
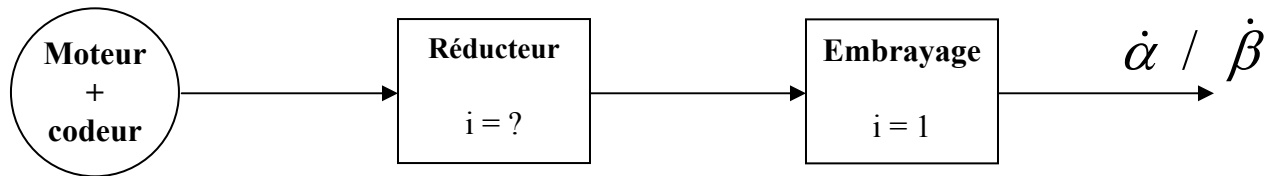
Construction du prototype



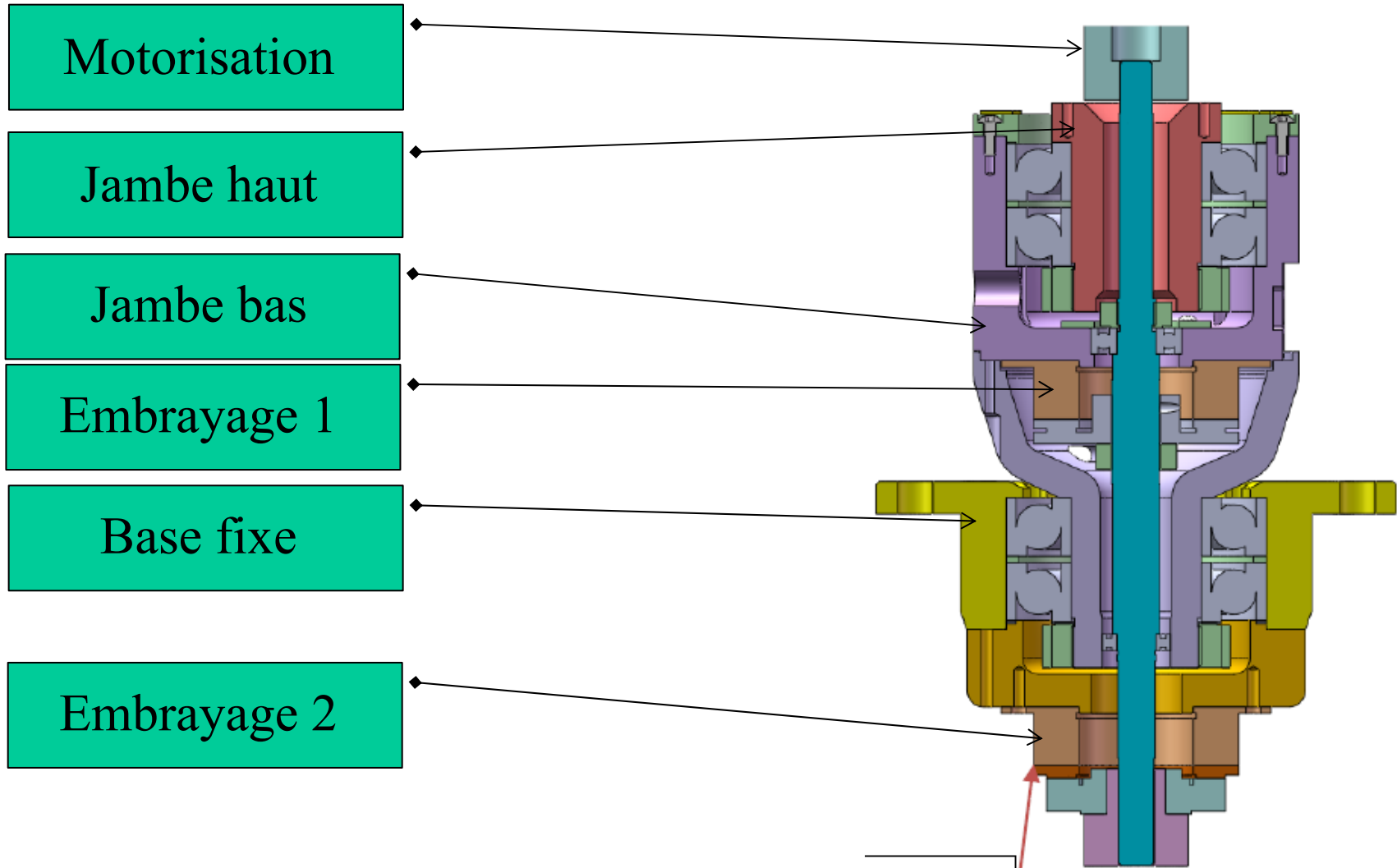
- **Les 3 moteurs seront positionnés sur un bâti aux sommets d'un triangle équilatéral de 700mm.**
- **Les pivots sur l'effecteur seront positionnés aux sommets d'un triangle équilatéral de 350mm.**
- **Les chaînes cinématique entre le bâti et l'effecteur comporteront deux bielles avec deux pivots espacés de 210 mm.**
- **Le bâti sera constitué d'une table carré dont les dimensions seront au moins égal à 1200 mm. Lors des déplacements de l'effecteur, aucune pièce mécanique ne devra dépasser de l'enveloppe formée par ce bâti.**

- **Lorsque le premier moteur est actionné, la vitesse en bout de bras devra être supérieur à 0.3m/s, soit une vitesse de rotation des moteurs en sorti de réducteur de l'ordre de 15 tr/min. Les codeurs devront assurer la précision demandée ($\pm 0,05$ mm) avec possibilité de sur-échantillonnage.**
- **Des capteurs permettront la prise d'origine de chacun des moteurs et des butées électriques seront placées pour éviter tout risque de collision entre les éléments d'une même chaîne cinématique.**
- **Pour l'effecteur, un préhenseur électromagnétique pouvant soulever une masse de 200g.**
- **Le déplacement vertical de l'effecteur dû à prise de pièces par le préhenseur devra être inférieur à 0.1 mm.**

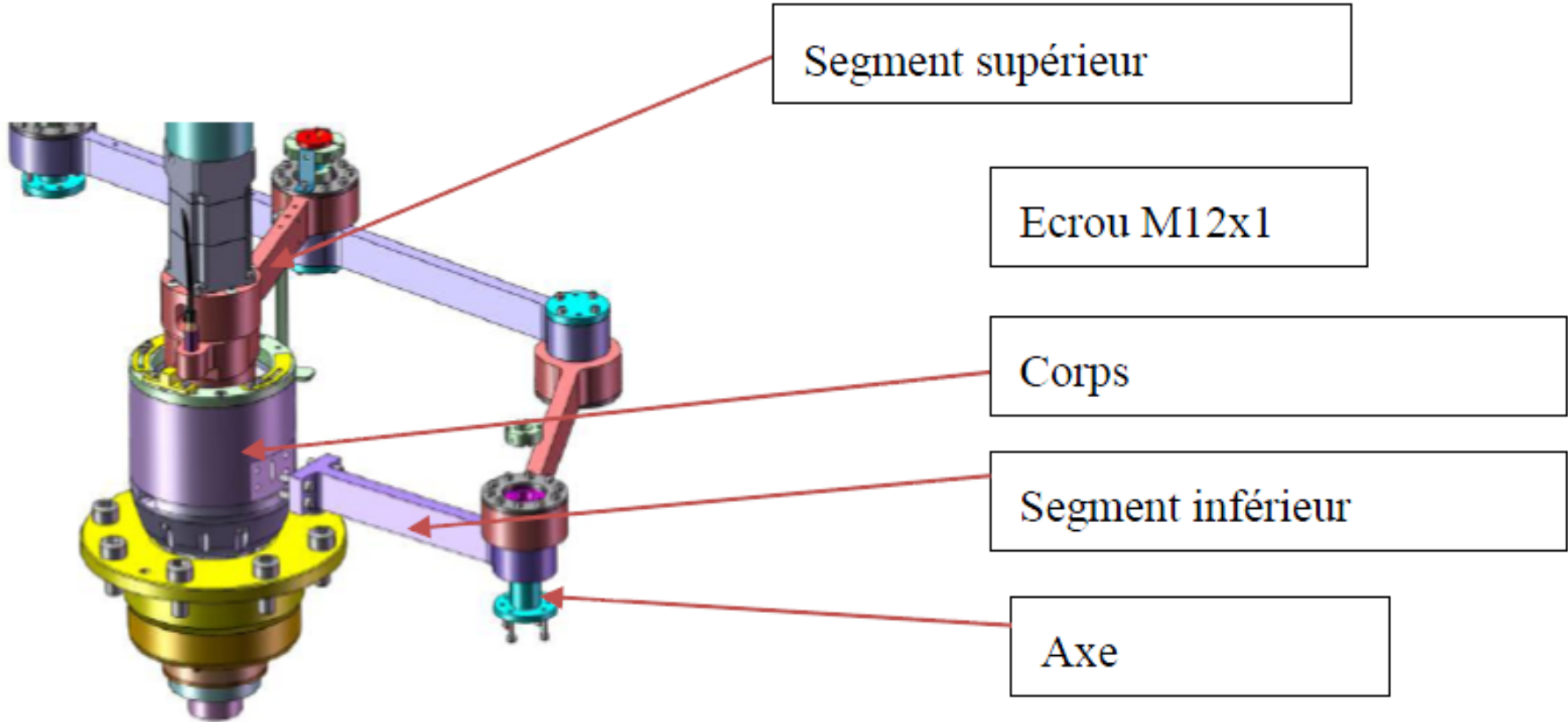
- Utiliser une 3 moteurs pour réaliser l'actionnement variable. Comment ?



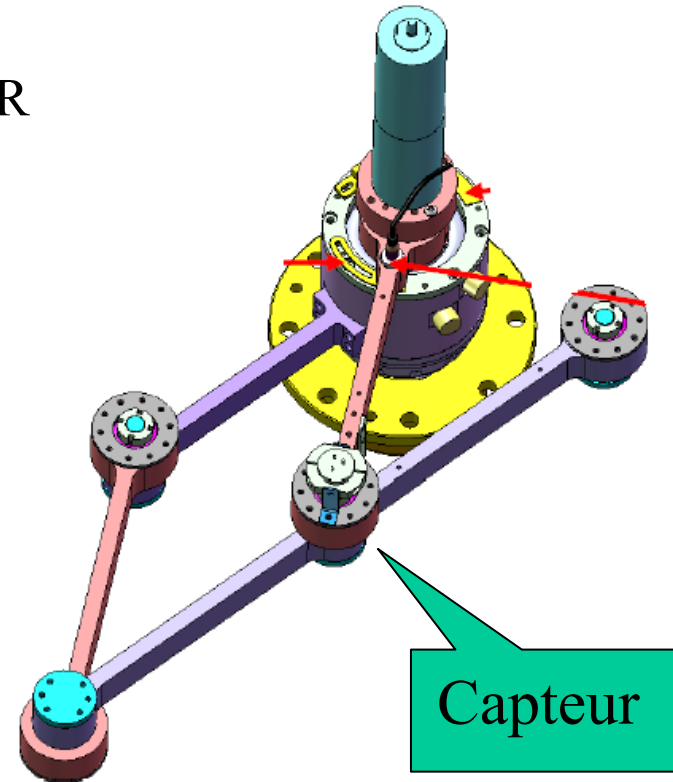
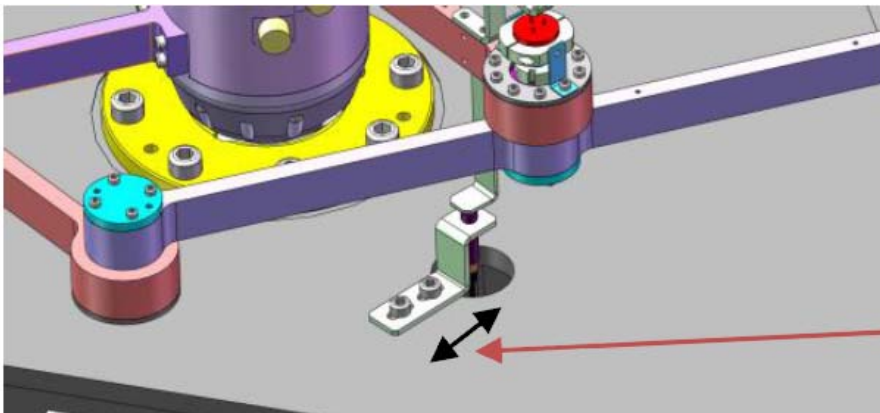
Utilisation d'embrayages pour changer de mode d'actionnement



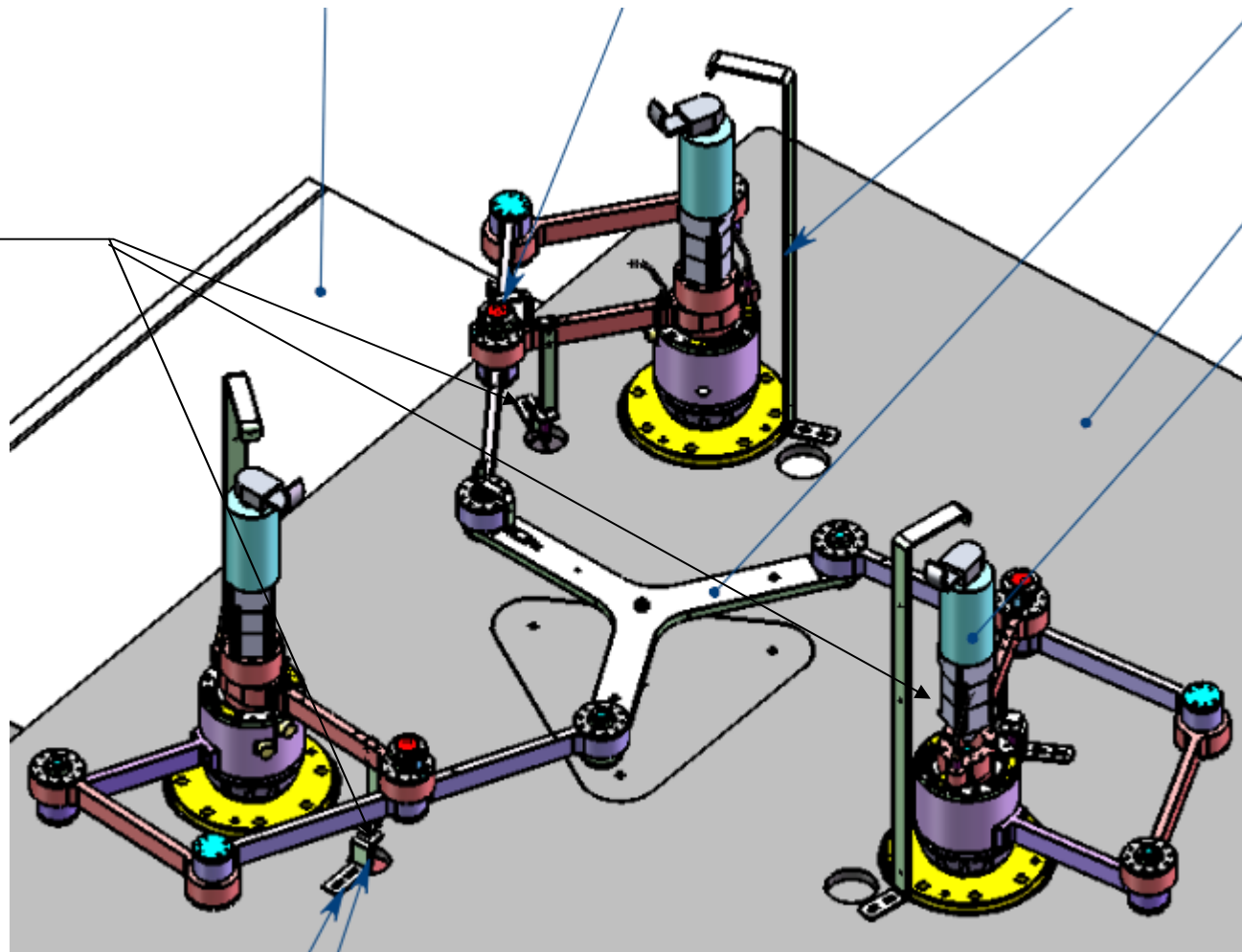
Motorisation et assemblage du parallélogramme



- **Problème:**
 - Les moteurs peuvent être découplés des mouvements des jambes
 - Le changement de mode d'actionnement se fait à vitesse nulle
- **Redondance de mesure:**
 - Capteur absolue pour mesurer un 3-RPR
- **Problème:**
 - Plusieurs modes d'assemblage
 - Capteur inductif

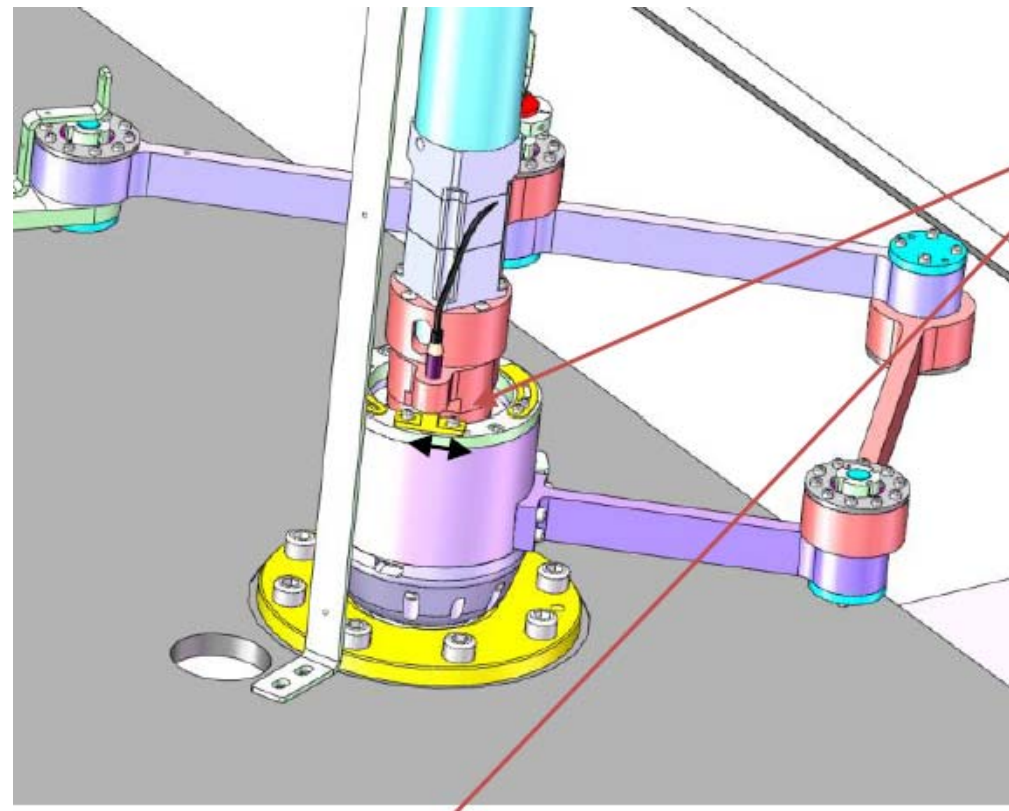
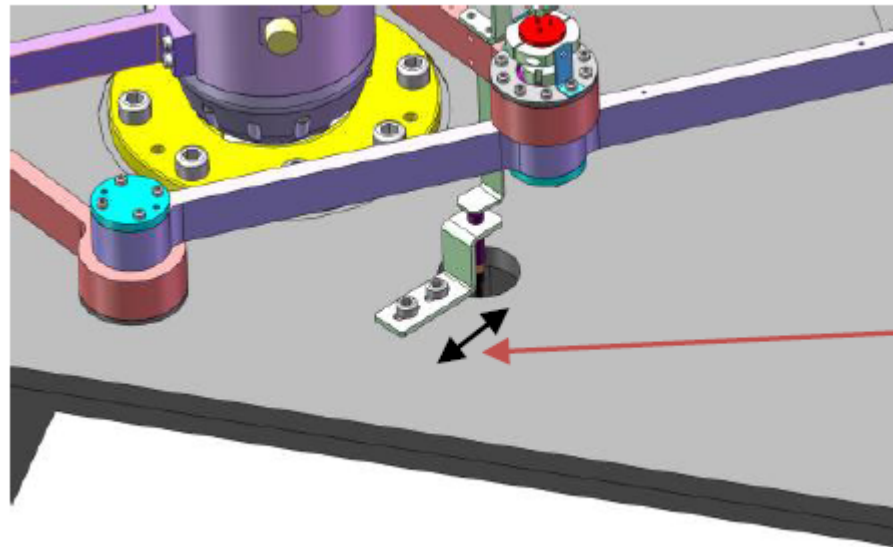


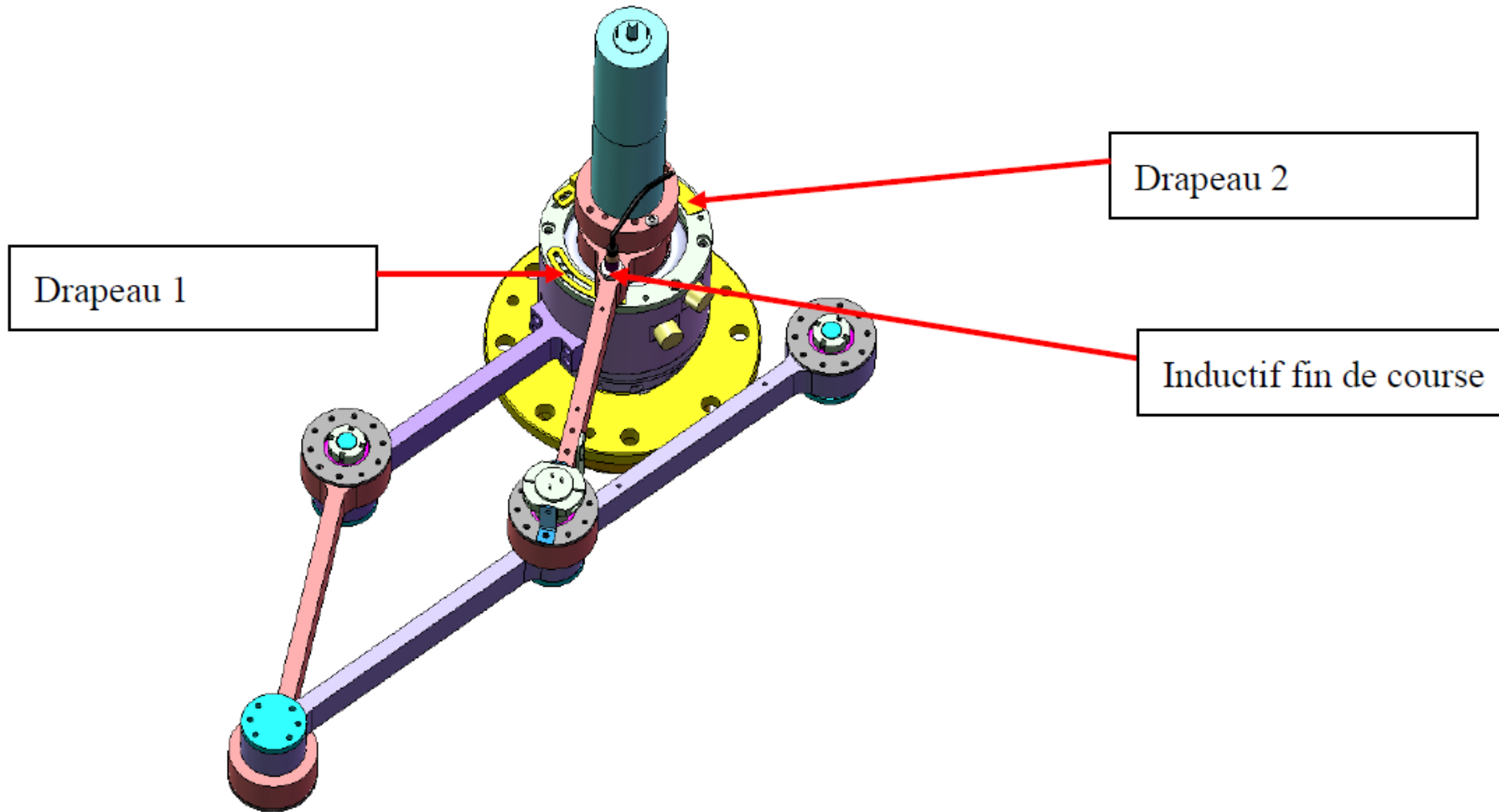
Capteur



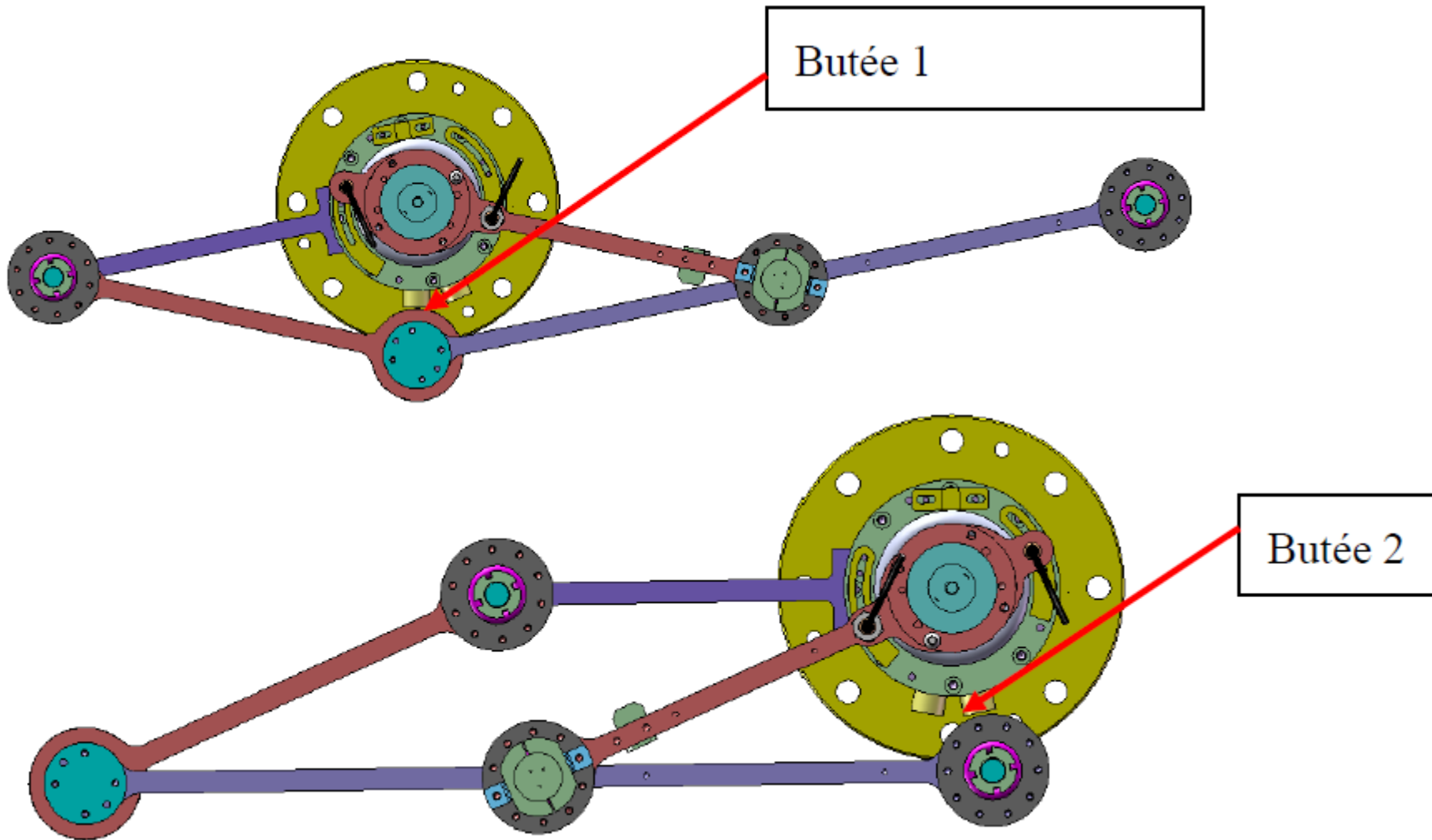
- Capteur de passage sur chaque jambe et chaque mode d'actionnement

Réglage de l'angle absolu du bras 1

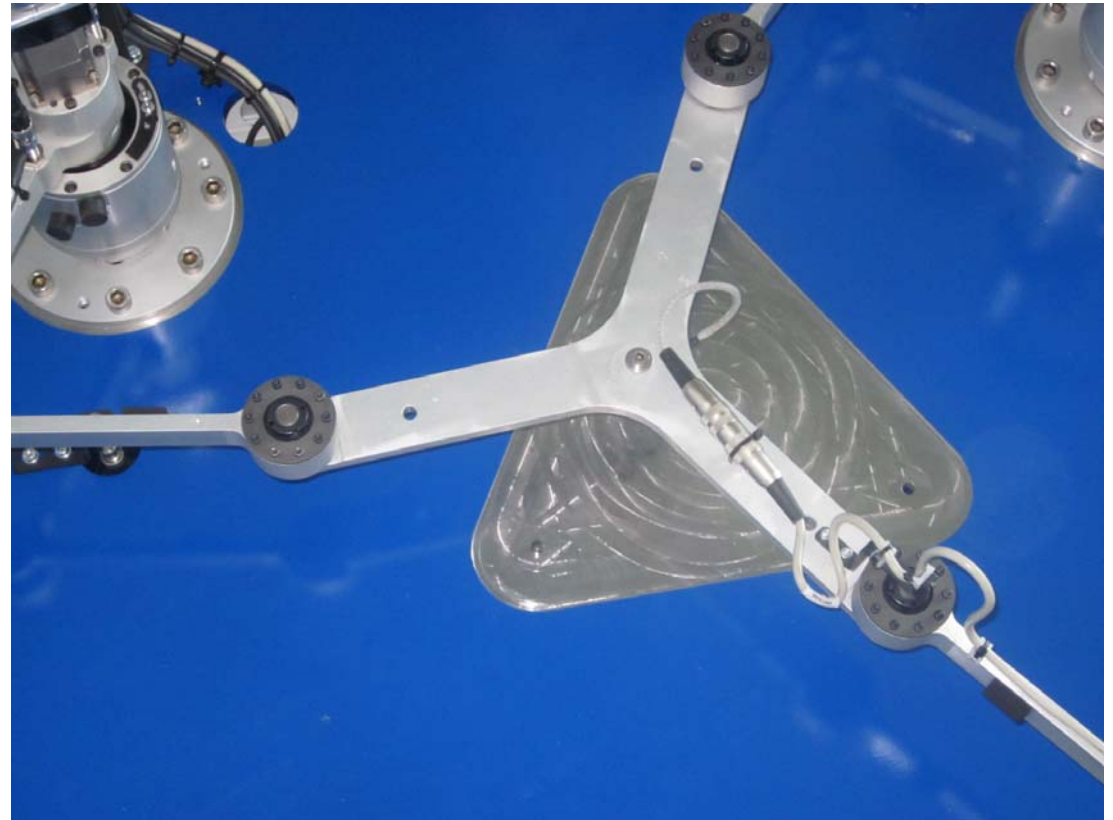




- Pincement du parallélogramme



- **Pour faire des tests sur les embrayage:**
 - Trois pions



- 8 modes d'actionnement « classique »
- Rendre passif une jambe et bloquer 2 embrayage sur une jambe

$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - RRR_3$

$RRR_1 - \underline{RRR}_2 - RRR_3$

.....

Simulation d'un mécanisme 4 barres sans le contrôle de l'orientation

$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$

$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$

$RRR_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$

$RRR_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$

$\underline{RRR}_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$

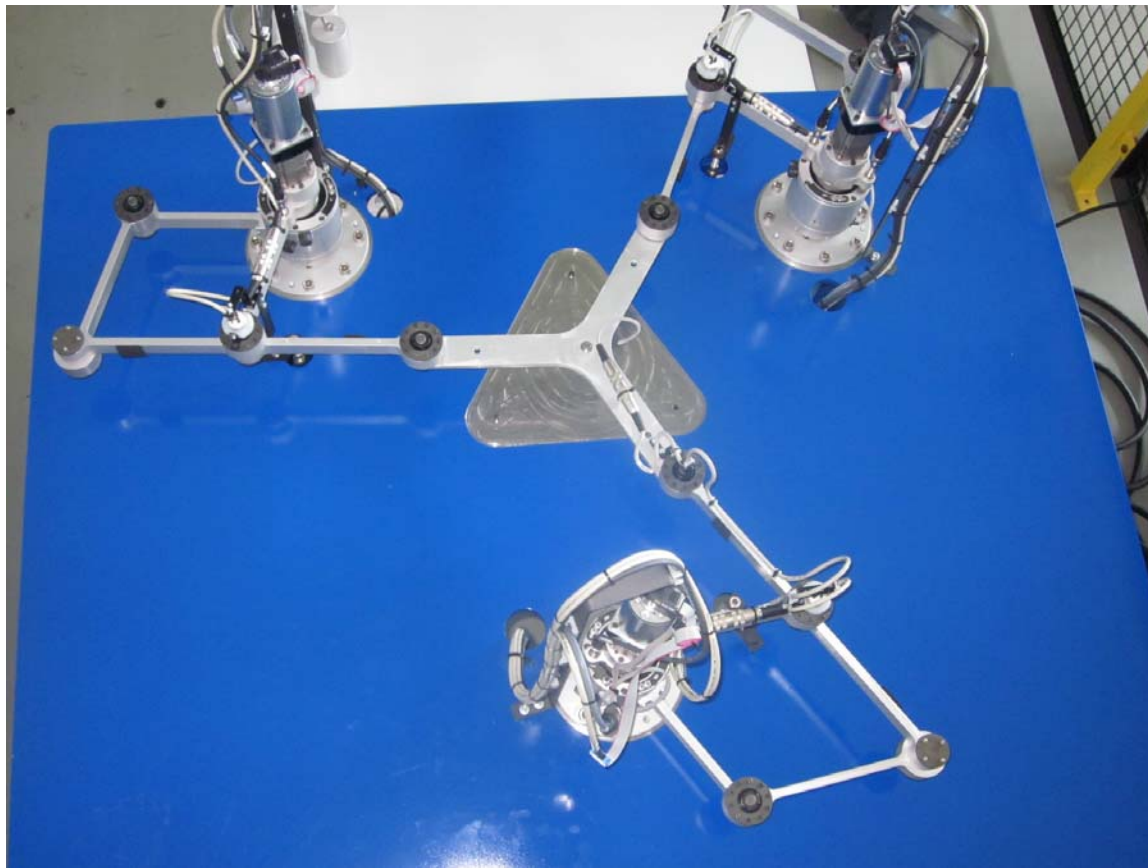
$RRR_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$

$RRR_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$

$RRR_1 - \underline{RRR}_2 - \underline{RRR}_3$

- **Assurer la précision**
 - Codeur sur les moteurs (précision suffisante)
 - Jeux dans les réducteurs.
- **Moteur/réducteur standards:**
 - 1 à 3 degrés de jeux (Maxon)
- **Moteur/réducteur de précision:**
 - Réducteur APEX, réduction 100, jeux 5 minutes (environ 0.1°)





D. Chablat

Damien.Chablat@irccyn.ec-nantes.fr

www.irccyn.ec-nantes.fr/~chablat