

3.1. Détermination du module de Young

Afin de simplifier les calculs, on traitera séparément les effets de la compression et de la flexion. On supposera également que les hypothèses de la résistance des matériaux sont vérifiées, notamment l'isotropie du matériau.

Question 30. Dans un premier temps, en ne considérant que les effets de la traction, **déterminer** l'expression du déplacement u_{Ax}^T suivant \vec{x} du point A sous charge en fonction du module de Young E , des dimensions de l'éprouvette et des données de l'essai.

Question 31. En ne tenant compte que de la flexion, **déterminer** le déplacement u_{Ax}^F suivant \vec{x} du point A sous charge en fonction du module de Young E , des dimensions de l'éprouvette et des données de l'essai. La rotation de chacune des sections est considérée petite.

3.2. Détermination du coefficient de Poisson

Question 32. À partir des déplacements des points A et B suivants \vec{y} et des données de l'essai, **déterminer** la valeur du coefficient de Poisson du matériau.

4. Étude des moyens de mesure

Afin d'analyser précisément l'essai *a posteriori*, il est nécessaire de connaître les efforts radiaux (par rapport à l'axe longitudinal de l'éprouvette) transmis par le bras. Pour cela, le bras est équipé de jauges de déformation. Les jauges sont collées sur une plaque, elle-même boulonnée sur le bras.

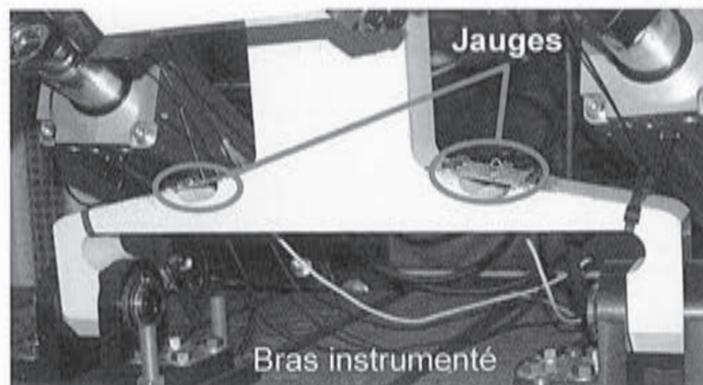


Figure 19. Emplacement des jauges sur le bras

La mesure des efforts qui transitent par le bras selon l'axe (D, \vec{y}) est réalisée à l'aide de jauges de déformation collées sur une plaque boulonnée au bras, au droit de deux amincissements destinés à assouplir localement le bras dans le but d'obtenir la sensibilité voulue. Le facteur de jauge est de 2.

On rappelle que la résistance d'un fil électrique de longueur L et de section S est donnée par la formule :

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S}$$

où ρ est la résistivité du matériau.

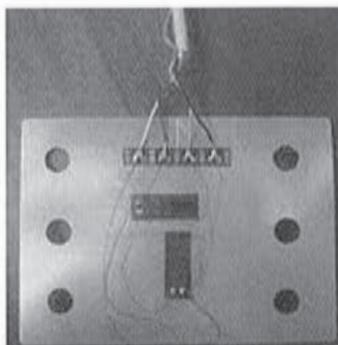
De plus, on rappelle la relation de Bridgman liant la variation de résistivité à la variation de volume d'un matériau conducteur :

$$\frac{d\rho}{\rho} = C \cdot \frac{dV}{V}$$

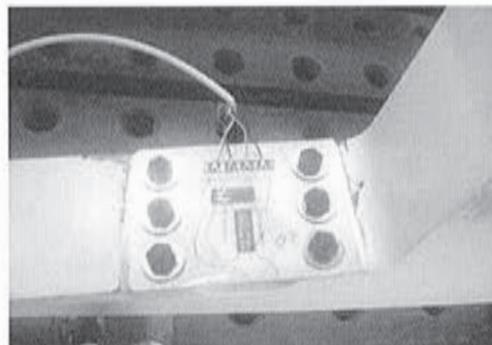
où C est la constante de Bridgman. Pour les jauges métalliques, $C \approx 1$.

Question 33. En supposant la jauge comme étant constituée d'un fil conducteur rectangulaire orienté dans une unique direction, **justifier** l'utilisation de jauge pour la mesure de déformations en donnant la relation entre la variation de résistance de la jauge et la déformation du matériau à l'endroit où est collée la jauge. **Préciser**, à l'aide d'un schéma, l'orientation à donner à la jauge pour mesurer une déformation de direction connue.

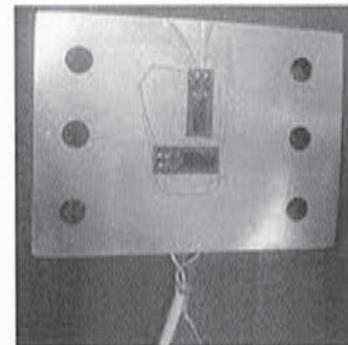
Pour simplifier l'étude, seul l'un des deux dispositifs de mesure sera considéré. La figure 20 montre le détail des jauges montées sur le bras. Quatre jauges sont utilisées, deux sont placées sur la face supérieure de la plaque, deux sur la face inférieure ; deux sont orientées selon l'axe \vec{y} et deux autres sont montées perpendiculairement à cet axe.



b. Face supérieure



a. Dispositif de mesure en place sur le bras
Figure 20. Détails du positionnement des jauges



c. Face inférieure

Les jauges sont reliées à un pont de Wheatstone, dont la représentation est donnée figure 21 La tension mesurée V_0 est fonction de la tension d'alimentation V_{EX} du pont et des résistances de chacune des jauges selon l'expression :

$$V_0 = \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] \cdot V_{EX}$$

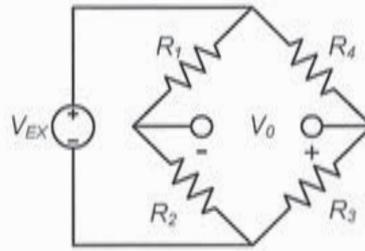


Figure 21. Configuration en pont de Wheatstone

Sous l'hypothèse, vérifiée ici, que les variations relatives de résistances sont faibles, la variation e de la tension de sortie (nulle au départ, le pont étant équilibré) est donnée par l'expression :

$$e = \frac{V_{EX}}{4} \cdot \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

Avec V_{EX} la tension d'entrée.

Le choix du positionnement des jauges a été fait afin de compenser les effets éventuels de la température et de ne récupérer que les effets de la traction (en éliminant les effets de la flexion).

Question 34. À partir des informations ci-dessus, **justifier** le choix d'implantation des jauges et **indiquer** à l'aide d'un schéma l'emplacement de chacune des jauges sur le pont de Wheatstone.

Une simulation numérique permet de prévoir les déformations dans le bras au cours de l'essai. La figure suivante présente les déformations principales du bras, équipé des plaquettes d'instrumentation, pour un effort vertical radial de 20 kN appliqué en haut du bras, c'est-à-dire au point de fixation de la rotule liée au quadrangle.

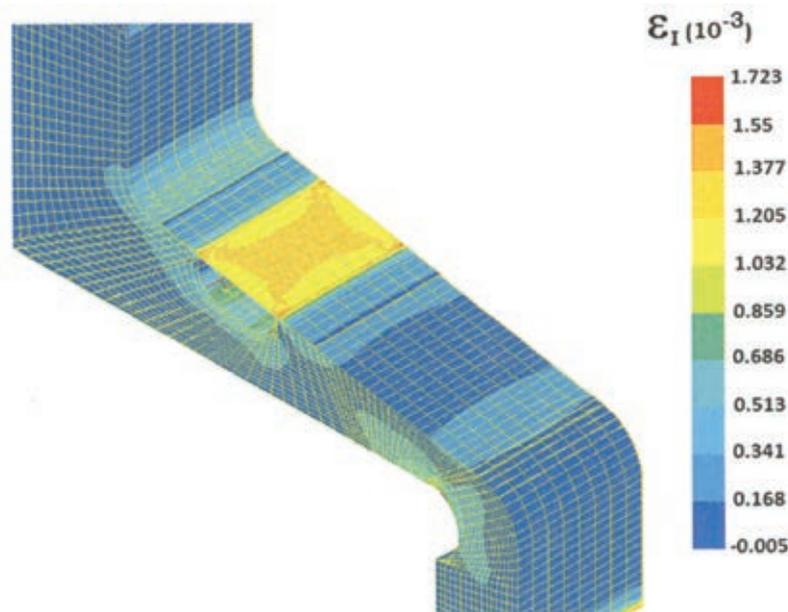


Figure 22. Déformation du bras au cours d'un essai

La chaîne de mesure permet de détecter des variations de tension de $1 \mu\text{V}$ de la tension centrale du pont de Wheatstone. De plus, le pont de Wheatstone est alimenté avec une tension de 2 V.

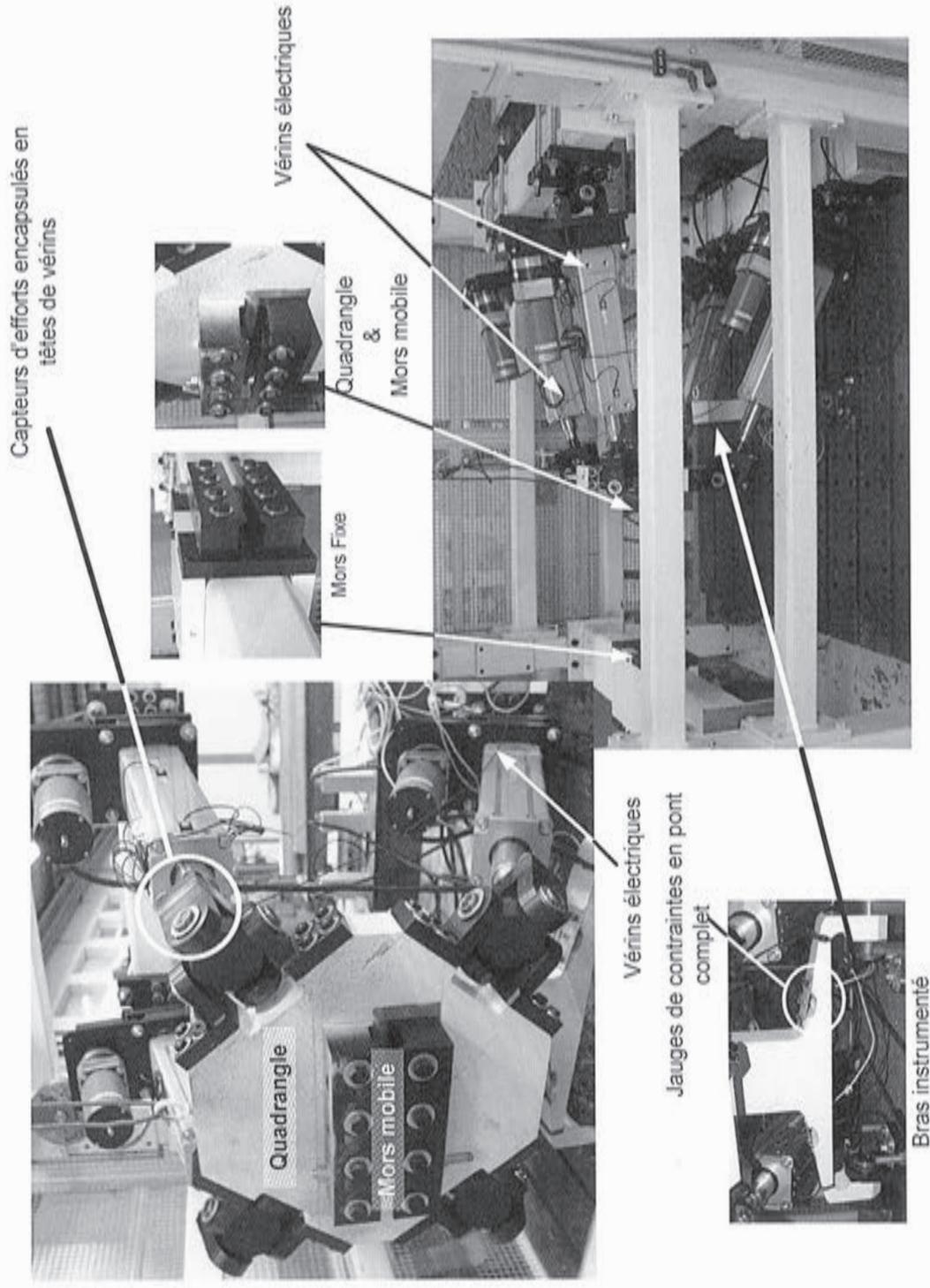
Question 35. En supposant que le bras possède un comportement effort-déformation linéaire sur la plage d'intérêt pour les essais, **déterminer** la résolution du capteur réalisé par les jauges.

Partie 5 : synthèse de l'étude menée sur le banc d'essai pour éprouvette en matériaux composites

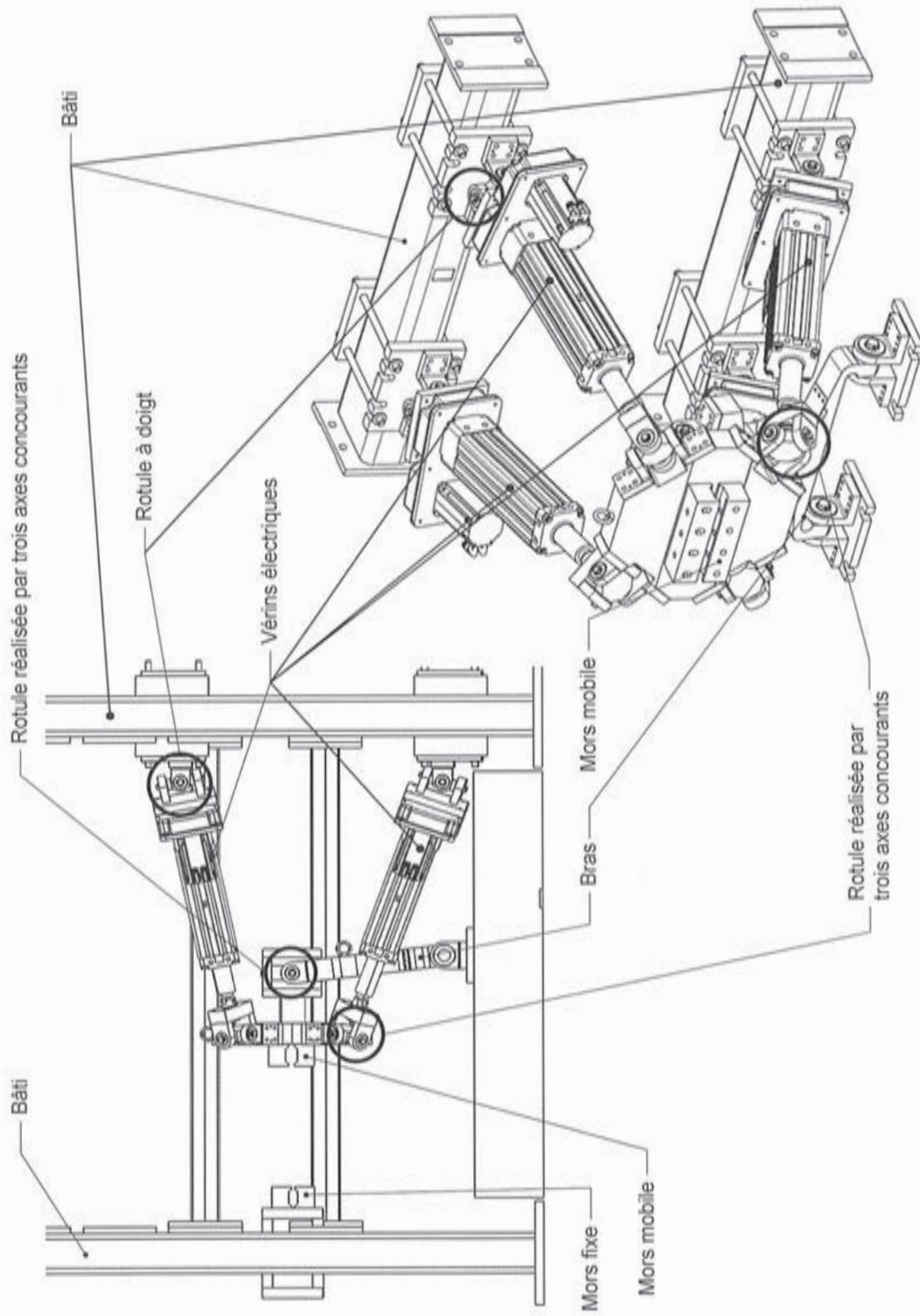
Question 36. Proposer une synthèse décrivant et justifiant la démarche mise en œuvre dans le questionnement de ce sujet, pour répondre à la problématique globale d'amélioration des connaissances sur les caractéristiques mécaniques de la réparation sur matériaux composites.

DOCUMENTS TECHNIQUES

DT1 : photographies du banc d'essai

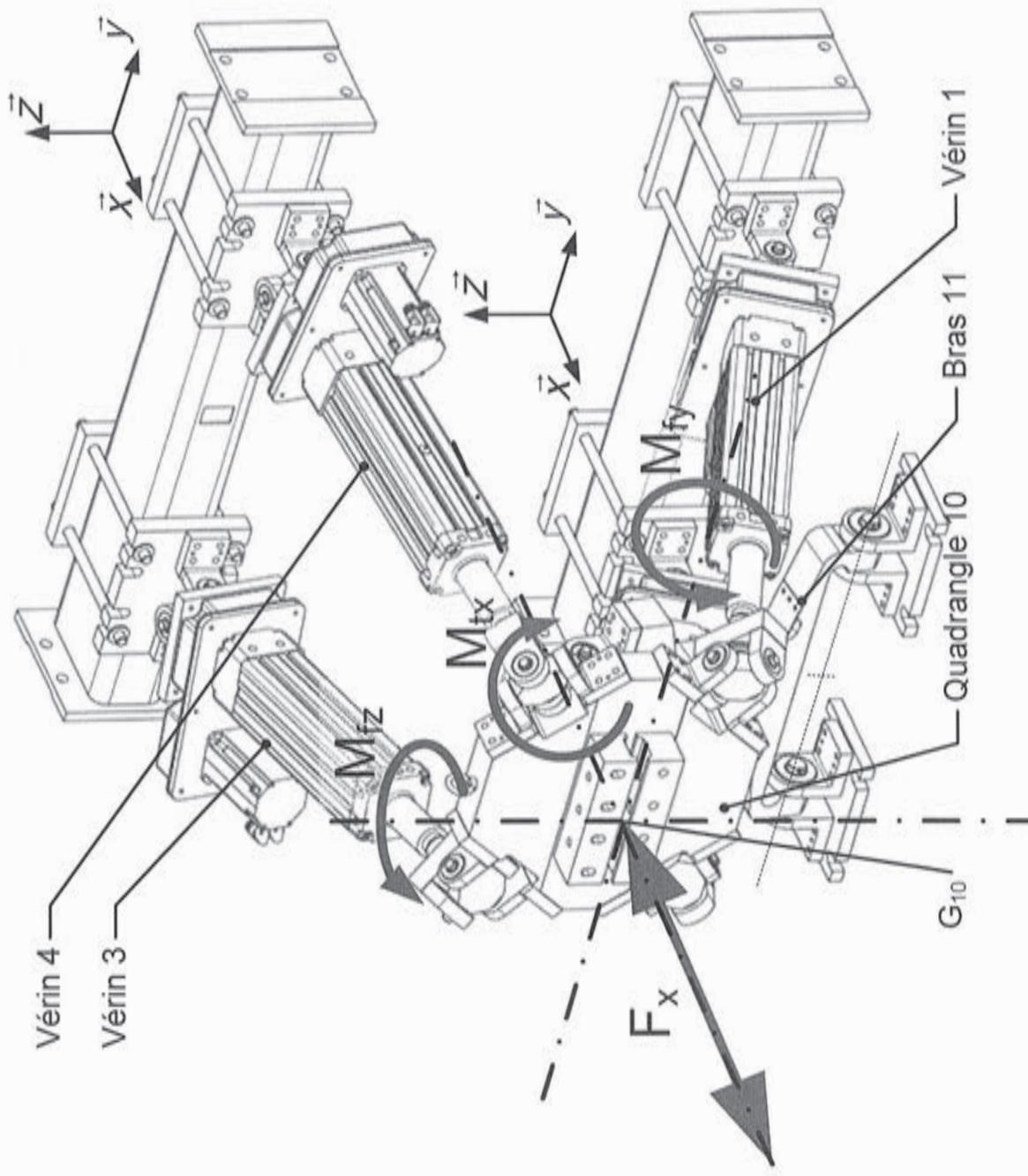


DT2 : schéma de principe de la machine d'essai multiaxial



Tournez la page S.V.P.

DT3 : machine d'essai multiaxial - possibilités cinématiques du quadrangle 10



Mouvements :

- translation suivant \bar{x} ;
- rotation d'axe (G_{10}, \bar{x}) ;
- rotation d'axe (G_{10}, \bar{y}) ;
- rotation d'axe (G_{10}, \bar{z}) .

Sollicitations :

- traction-compression suivant \bar{x}
- moment d'axe (G_{10}, \bar{x})
- moment d'axe (G_{10}, \bar{y})
- moment d'axe (G_{10}, \bar{z})

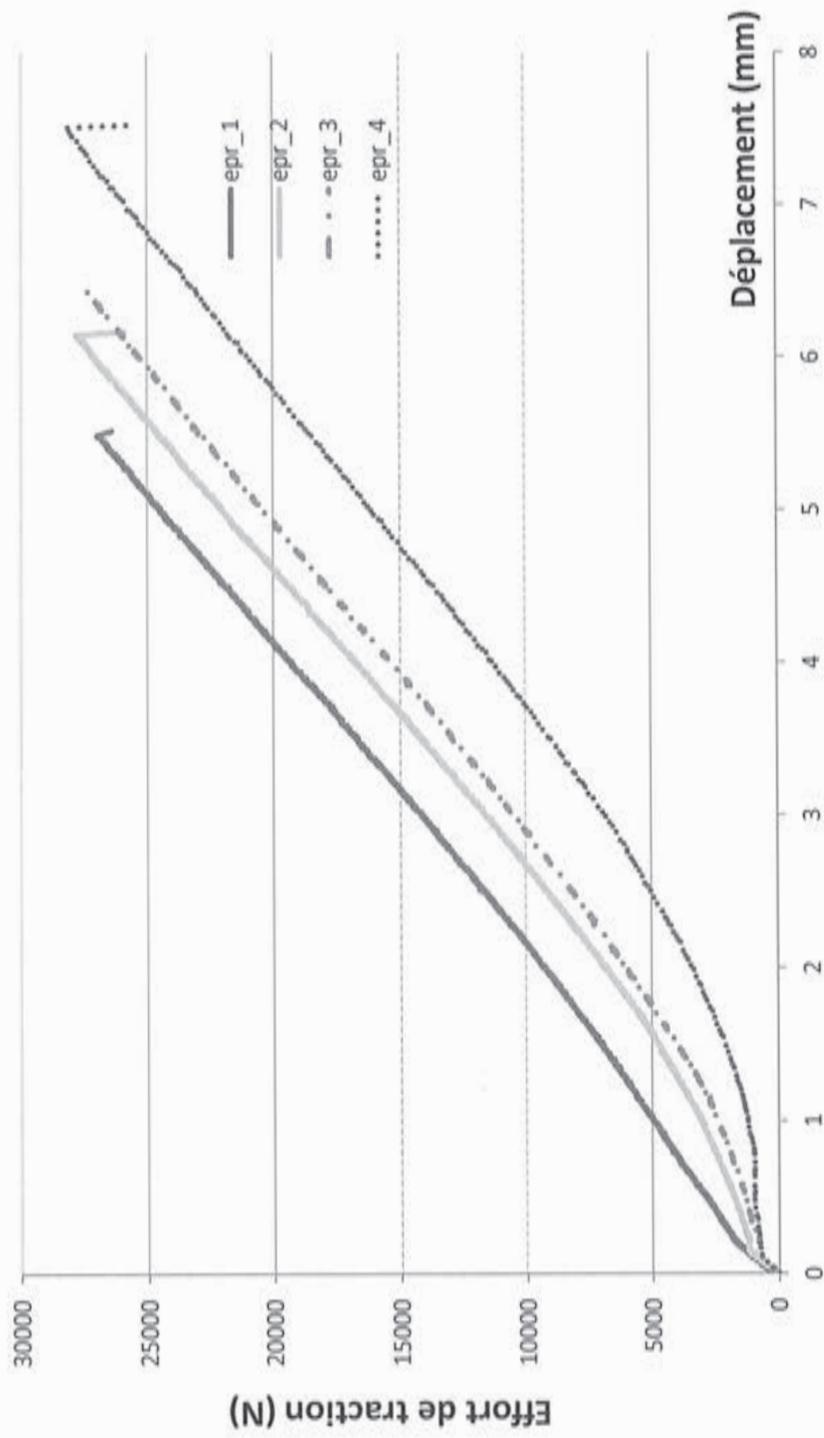
$F_{x\max} = 140 \text{ kN}$, $\Delta x = \pm 100 \text{ mm}$
 $M_{tx} = 8 \text{ kN}\cdot\text{m}$, $\Delta\alpha_x = \pm 15^\circ$
 $M_{fy} = 30 \text{ kN}\cdot\text{m}$, $\Delta\alpha_y = \pm 20^\circ$
 $M_{fz} = 40 \text{ kN}\cdot\text{m}$, $\Delta\alpha_z = \pm 20^\circ$

DT 4 : courbe d'essais de traction

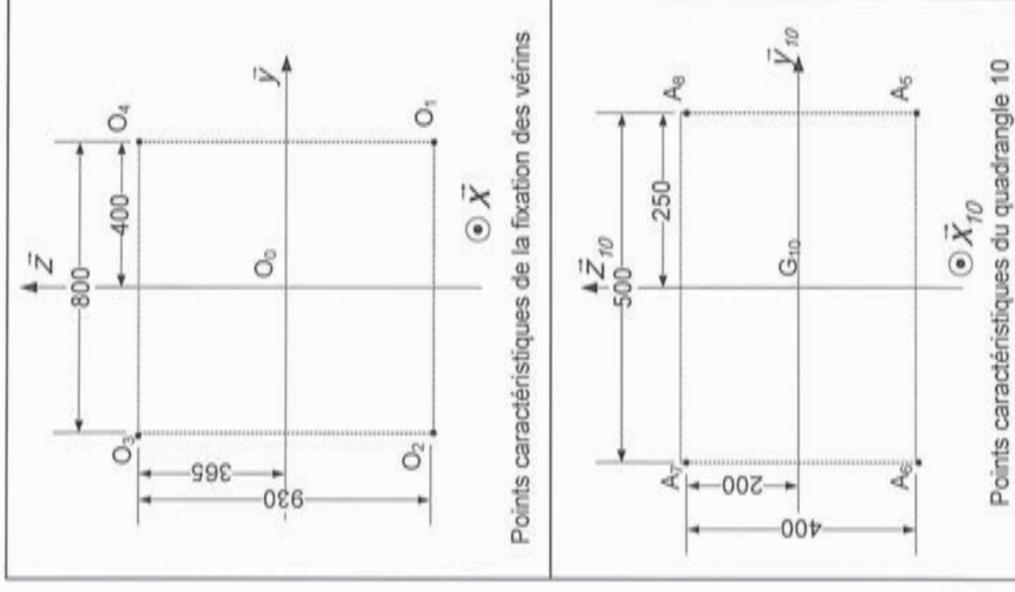
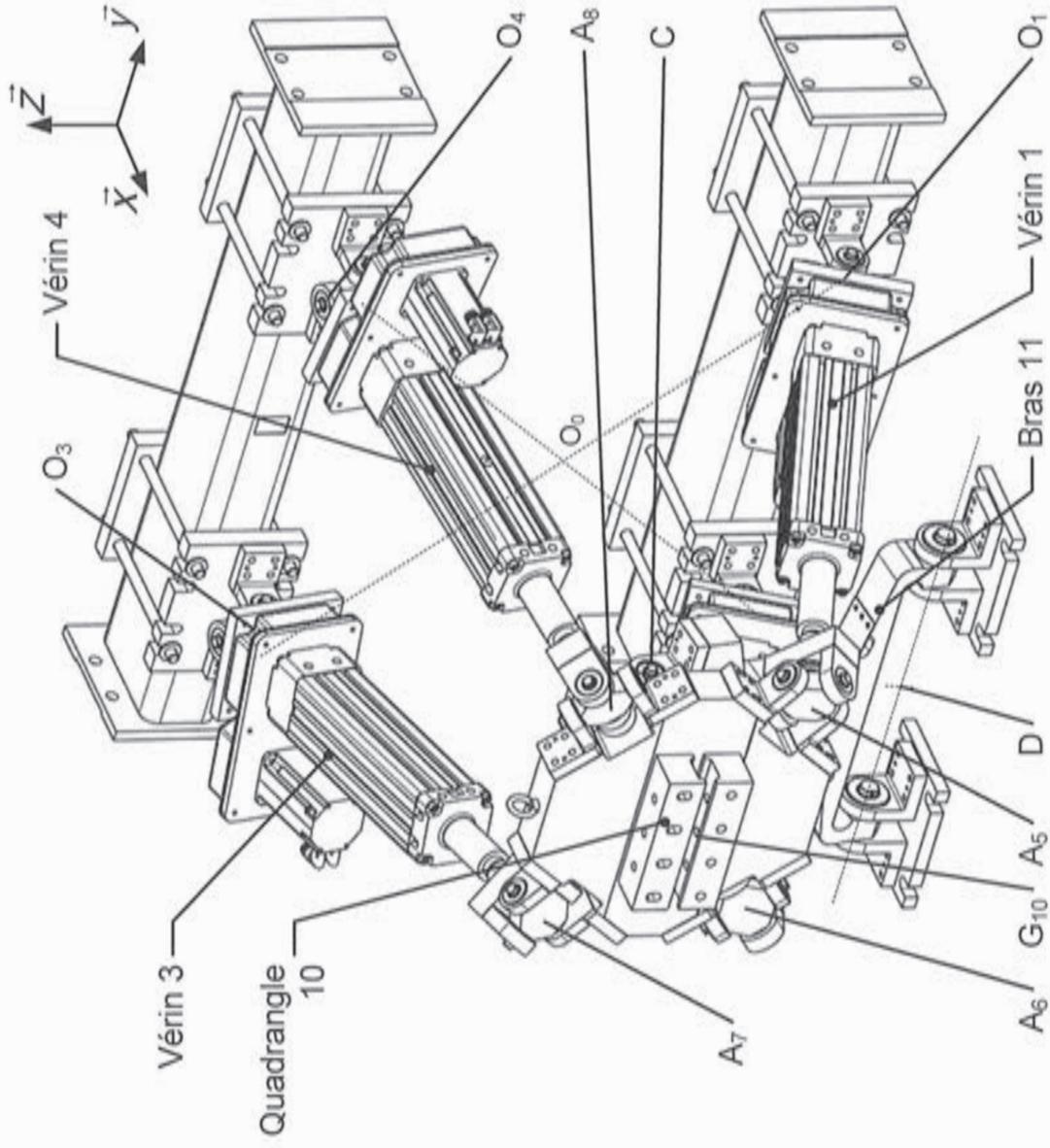
Les quatre éprouvettes ayant fait l'objet d'un essai de traction sont identifiées par epr_1, epr_2, epr_3 et epr_4.

En abscisse : le déplacement du mors de la machine d'essai de traction compression simple utilisée pour dimensionner le banc d'essai multiaxial.

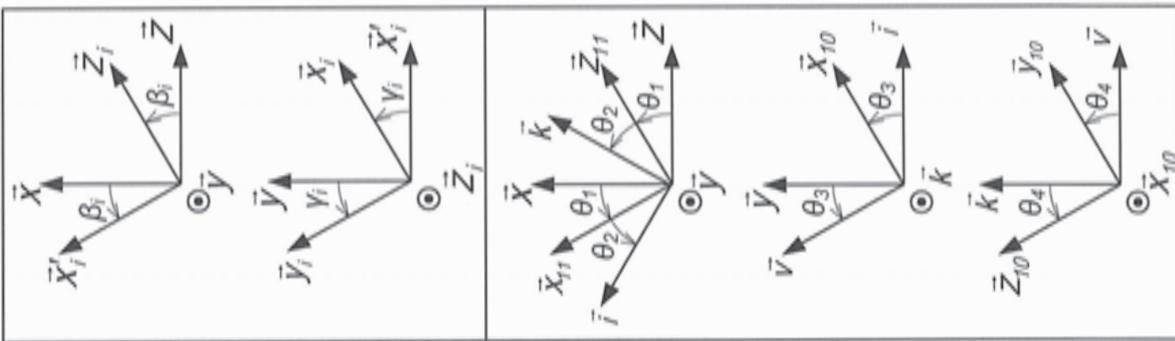
En ordonnée : l'effort exercé par le mors de la machine d'essai de traction compression simple utilisée sur l'éprouvette.



DT5a : modèle cinématique



DT5b : modèle cinématique

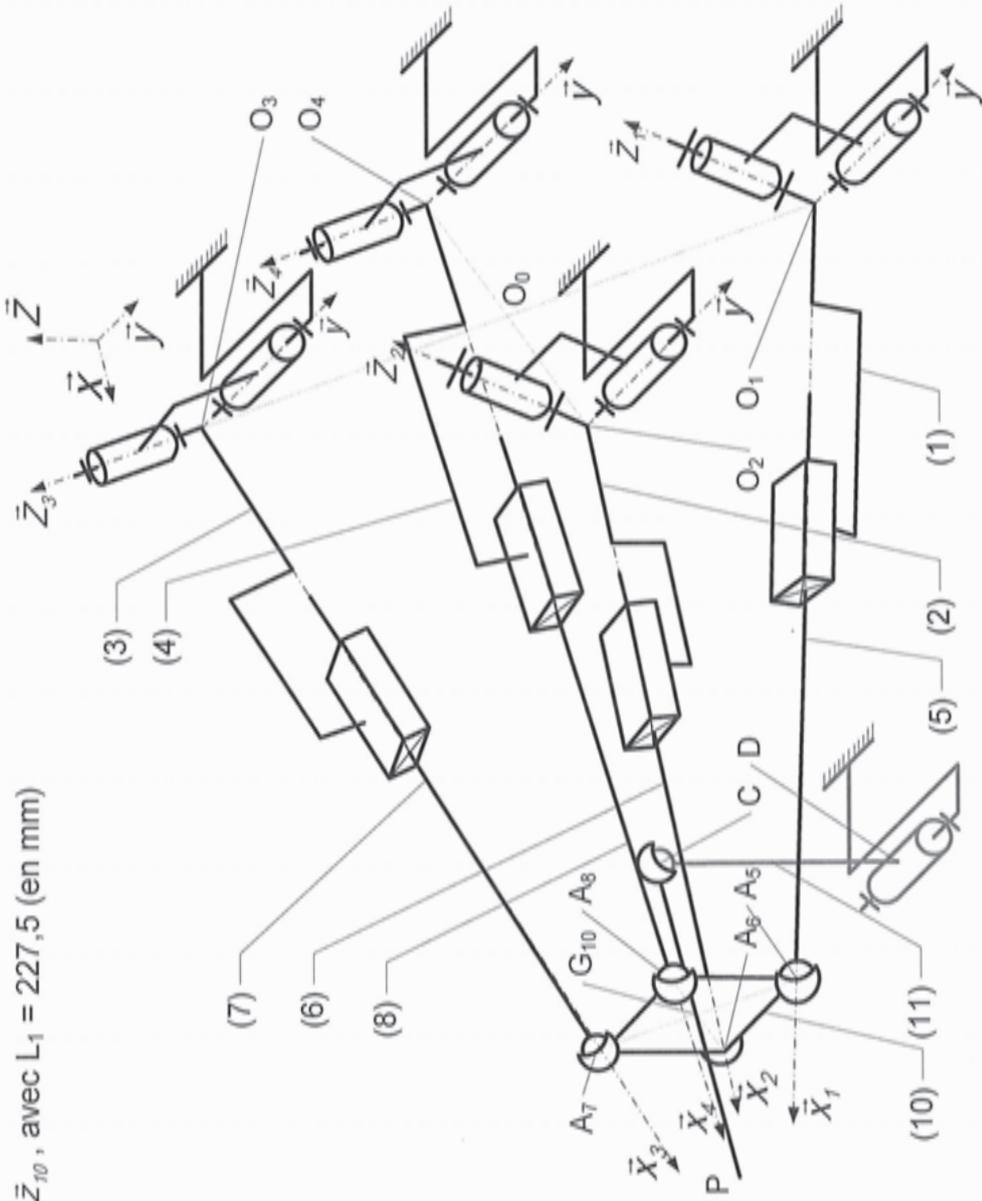


$$\overline{O_i A_{i+4}} = A_i \bar{x}_i, \quad \overline{O_i O_0} = e_i \bar{y}_i + f_i \bar{z}_i \quad \text{pour } i = 1, 2, 3, 4;$$

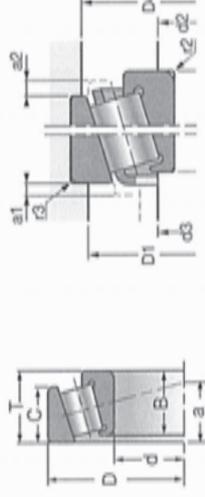
$$\overline{O_0 D} = c \bar{x} + d \bar{z}, \quad \overline{DC} = L \bar{z}_{11}, \quad \text{avec } c = 670 \text{ (en mm)}, d = -470 \text{ (en mm)}, L = 545 \text{ (en mm)};$$

$$\overline{CG_{10}} = L_1 \bar{x}_{10}, \quad \overline{G_{10} P} = L_2 \bar{x}_{10}, \quad \overline{G_{10} A_{i+4}} = a_i \bar{y}_{10} + b_i \bar{z}_{10} \quad \text{pour } i = 1, 2, 3, 4; \quad \overline{A_7 A_8} = \overline{A_6 A_5} = a \bar{y}_{10},$$

$$\overline{A_6 A_7} = \overline{A_5 A_8} = b \bar{z}_{10}, \quad \text{avec } L_1 = 227,5 \text{ (en mm)}$$



DT6 : caractéristique des roulements de la liaison rotule bras – quadrangle (document SNR)



	d	D	B	C	T	a	C	CO	e	Y	Y ₀	D1	d2	d3	D1	d2	d3	d3	
Ref.	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN	kN				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
33205A	25	52	22	18	22	14,1	49	57	0,35	1,71	0,94	44	40	30,9	46	34	30,9	30,9	29

C est la charge dynamique de base, CO est la charge statique de base.

Y est le facteur de charge axial, Y₀ est le facteur de charge axiale statique.

Rappel :

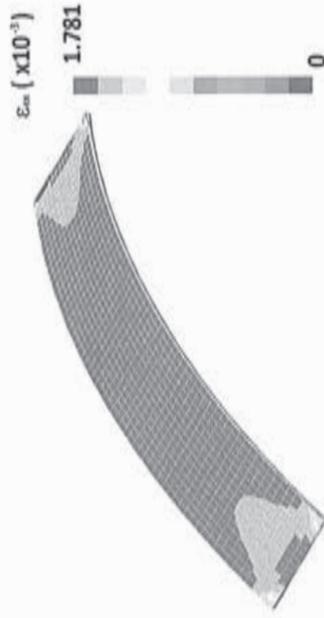
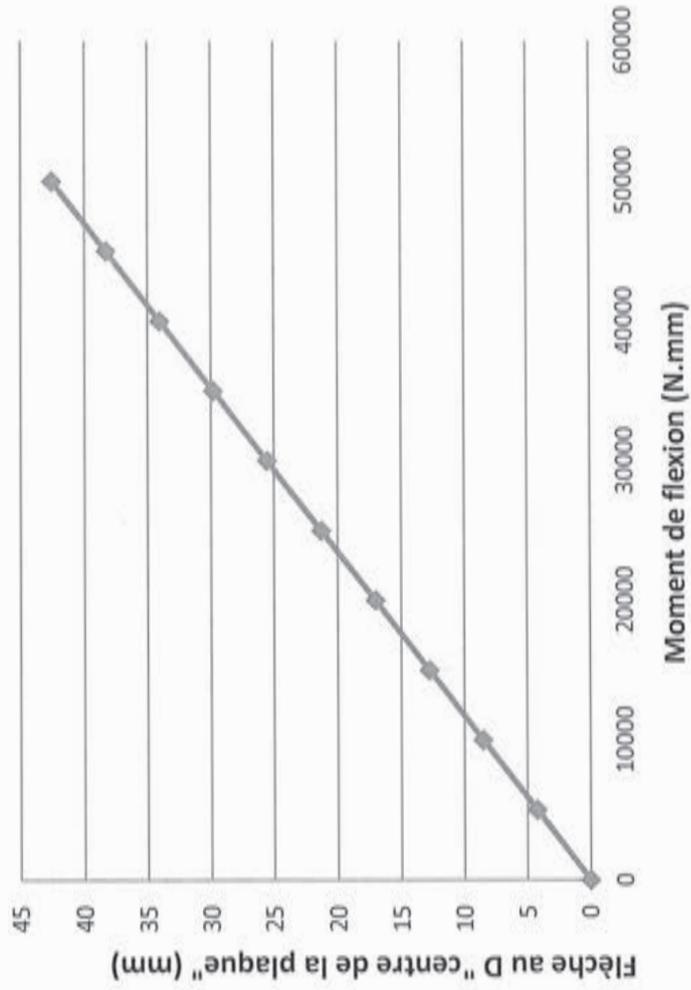
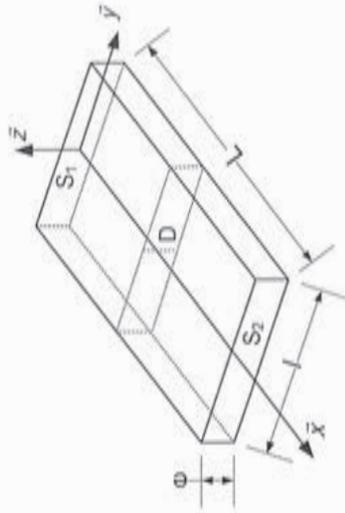
La charge statique équivalente est obtenue par le maximum des deux expressions suivantes :

$P_0 = F_r$ ou $P_0 = 0,5 F_r + Y_0 F_a$ (où F_a et F_r désignent respectivement l'effort axial et l'effort radial qui s'exerce sur un roulement)

Pour un roulement à rouleaux à contact oblique, la charge axiale induite F_{ai} résultante de la charge radiale F_r est donnée par l'expression :

$$F_{ai} = \frac{F_r}{2Y} \text{ en dynamique, ou } F_{ai} = \frac{F_r}{2Y_0} \text{ en statique.}$$

DT7 : courbe de flexion de l'éprouvette



Matériau utilisé pour l'essai : M10 T 300 GC

Constitution :

- 16 plis ;
- module de Young équivalent pour l'essai $E = 45550 \text{ MPa}$;
- coefficient de poisson équivalent pour l'essai $\nu = 0,29$.

DT 8: résolutions et résultats

La résolution du système d'équations déterminé à la question 26 :

$$\varepsilon = D_m = D_f$$

$$A_m = \left(- \frac{\frac{V_m}{K_f} \cdot (1 - V_f) + \frac{V_m}{G_m} + \frac{V_f}{K_m} \cdot V_f}{\frac{V_f}{K_m} + \frac{1}{G_m} + \frac{1 - V_f}{K_f}} \cdot D_f \right)$$

$$A_f = \left(- \frac{\frac{V_m}{K_f} \cdot (1 - V_f) + \frac{V_m}{G_m} + \frac{V_f}{K_m} \cdot V_f}{\frac{V_f}{K_m} + \frac{1}{G_m} + \frac{1 - V_f}{K_f}} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 - 2 \cdot V_m} \cdot \frac{r^2}{r_f^2} \right) + \frac{V_m}{1 - 2 \cdot V_m} \cdot \frac{r^2}{r_f^2} \cdot D_f \right)$$

$$B_m = \frac{\frac{V_m}{K_f} \cdot (1 - V_f) + \frac{V_m}{G_m} + \frac{V_f}{K_m} \cdot V_f}{\frac{V_f}{K_m} + \frac{1}{G_m} + \frac{1 - V_f}{K_f}} + V_m$$

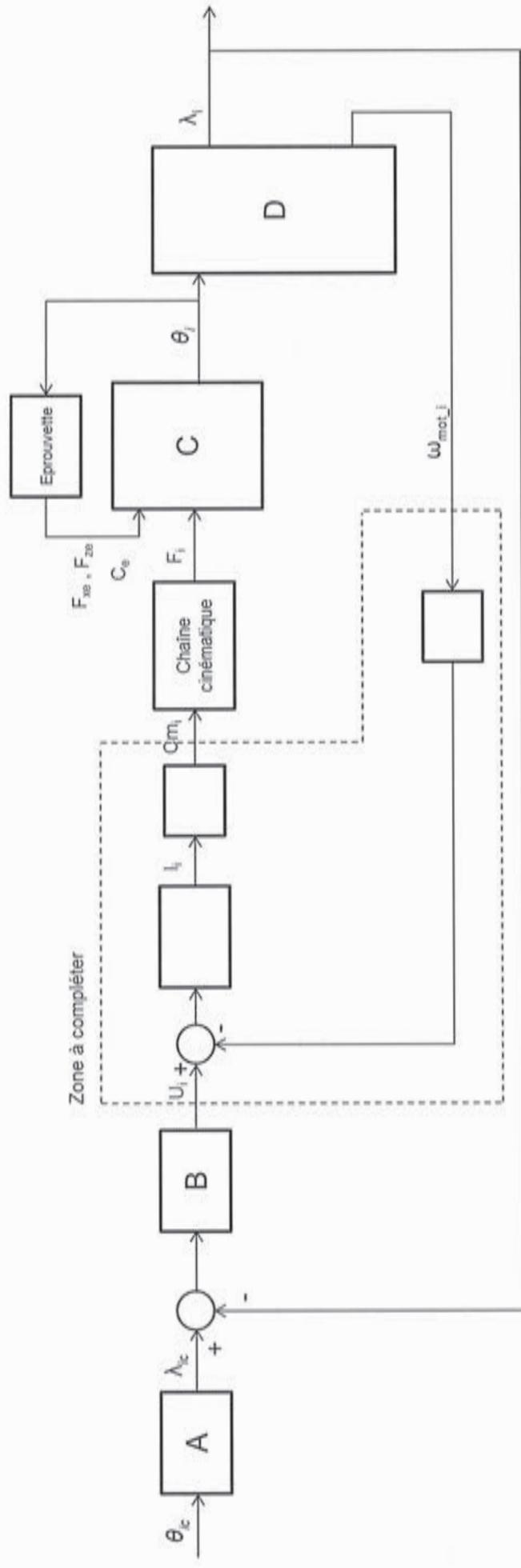
$$B_f = \frac{V_m}{1 - 2 \cdot V_m} \cdot r_m^2 \cdot D_f$$

Les expressions de E_L et v_{LT} obtenues à la question 27 sous forme développées :

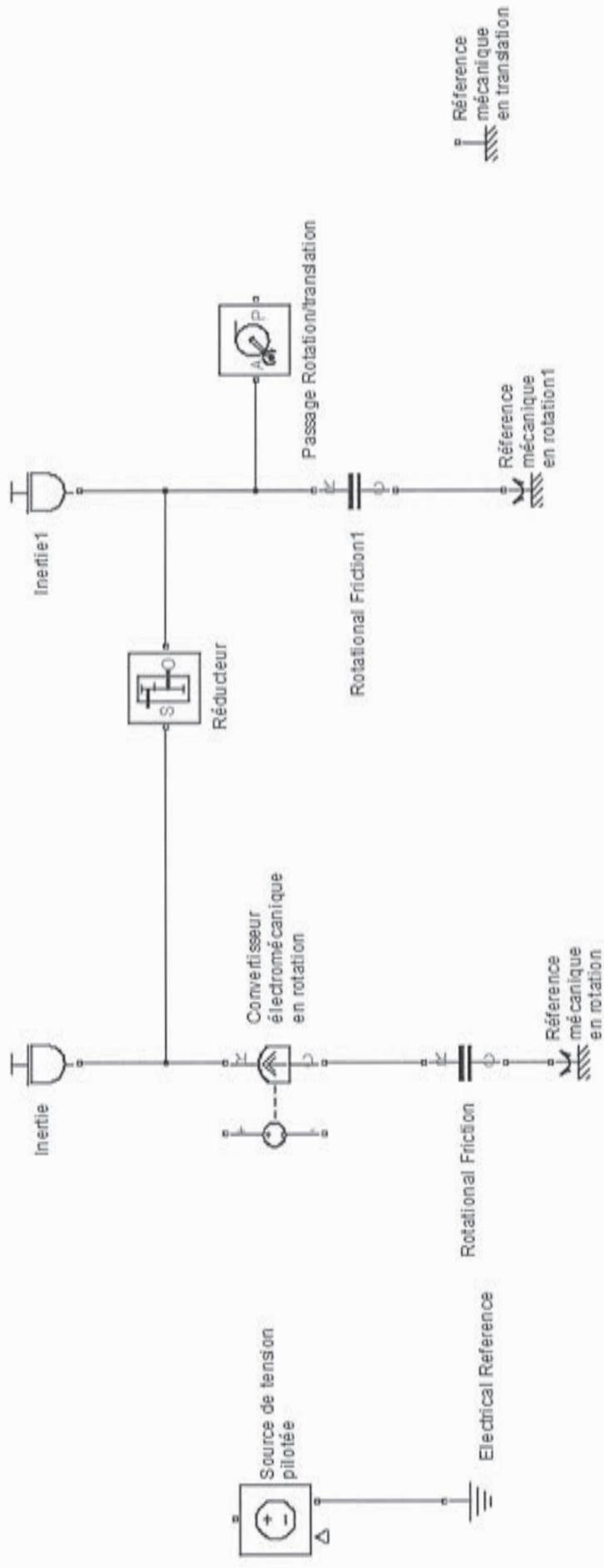
$$E_L = E_f \cdot V_f + E_m \cdot (1 - V_f) + \frac{4 \cdot (V_f - V_m)^2 \cdot V_f \cdot (1 - V_f)}{\frac{V_f}{K_m} + \frac{1 - V_f}{K_f} + \frac{1}{G_m}}$$

$$v_{LT} = v_{xy} = V_f \cdot V_f + V_m \cdot (1 - V_f) + \frac{(V_f - V_m) \cdot \left(\frac{1}{K_m} - \frac{1}{K_f} \right) \cdot V_f \cdot (1 - V_f)}{\frac{V_f}{K_m} + \frac{1 - V_f}{K_f} + \frac{1}{G_m}}$$

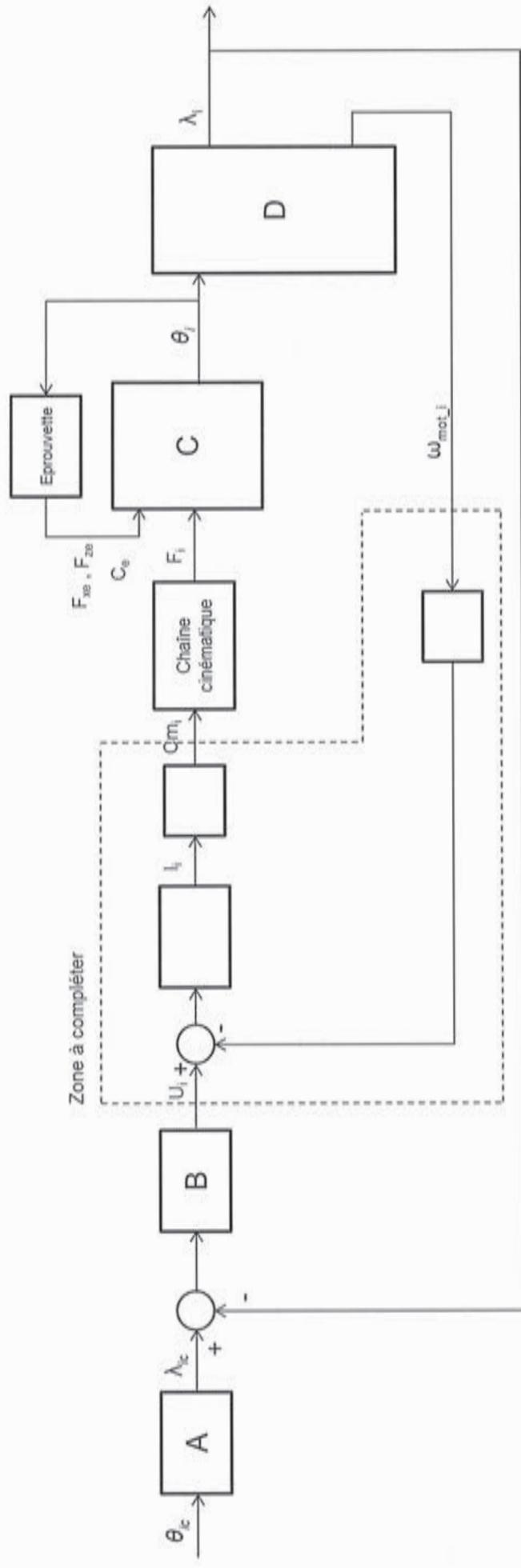
DR1 : schéma bloc du banc d'essai



DR2 : modèle multiphysique



DR1 : schéma bloc du banc d'essai



DR2 : modèle multiphysique

