

ANNEXES

Annexe 1 : Photos 1 à 6

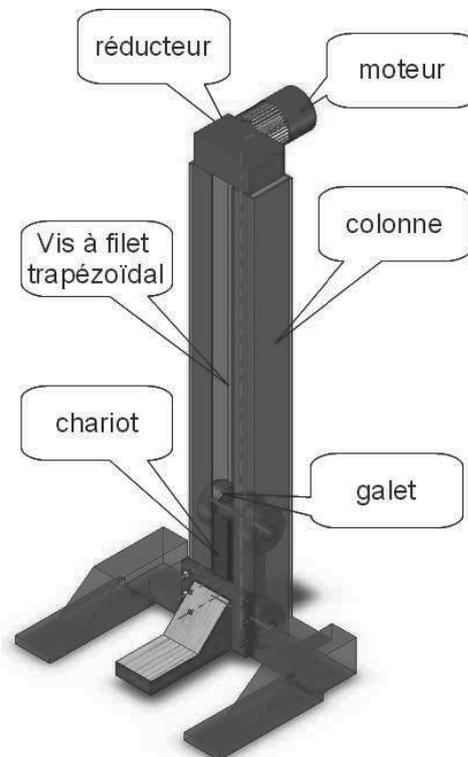


Photo 1 : TFS = Tramway Français Standard

Photo Legrand - Wikipédia



Photo 2 : Colonne de levage



Modèle numérique de la colonne



Photo 3 : Mise en place d'une colonne



Photo 4 : Colonne d'extrémité en phase de levage

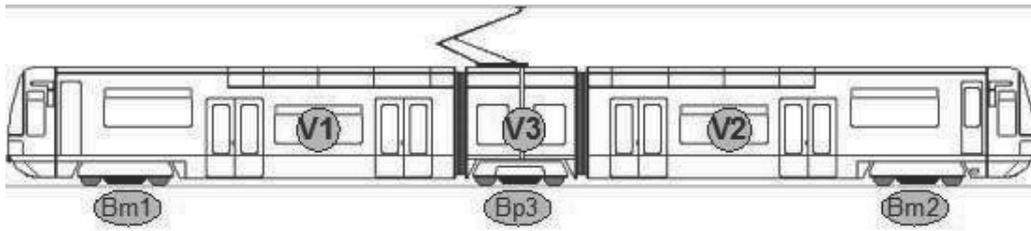


Photo 5 : Tramway en position soulevée



Photo 6 : Vis d'entraînement

Annexe 2 : Figures et données géométriques



Tramway de masse totale 44,6 tonnes
 Bm1 et Bm2 : boggies moteurs de masse 5,9 tonnes chacun
 Bp3 : boggie porteur de masse 4,3 tonnes
 V1 et V2 : voitures motrices de masse 12,7 tonnes chacune (sans boggie)
 V3 : voiture d'articulation de masse 3,1 tonnes (sans boggie)

Figure 1 : Description des éléments du tramway TFS

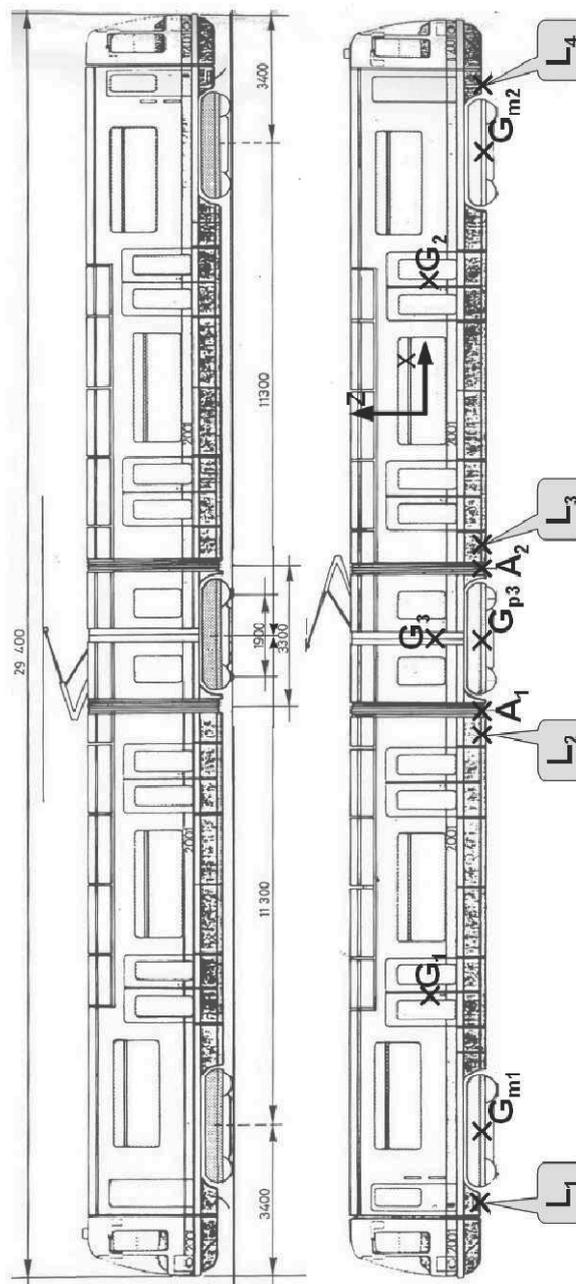
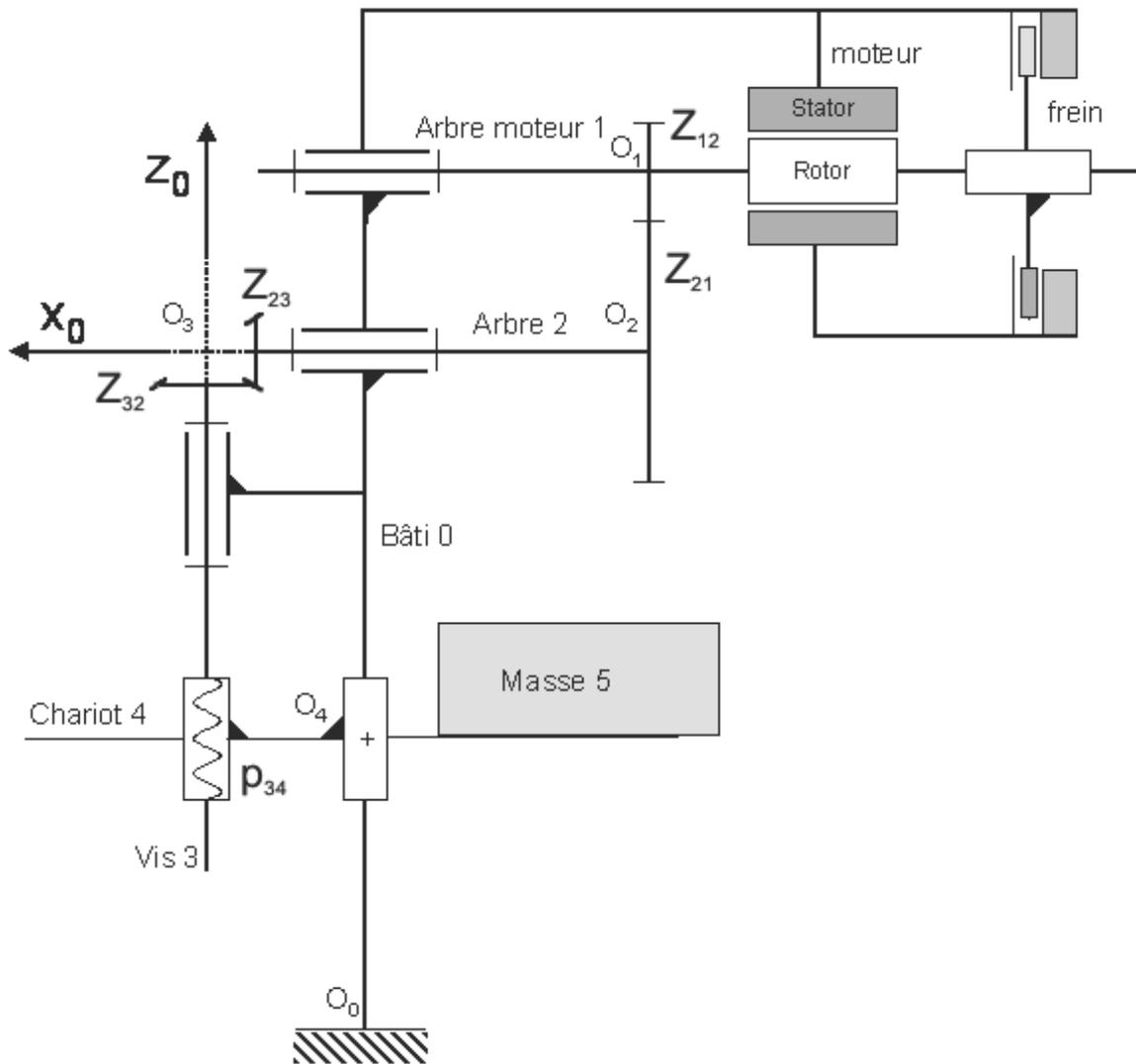


Figure 2 : Données géométriques sur le tramway (Dimensions en mm)



Actions exercées par le moteur : Actions exercées par le stator sur le rotor modélisées par le couple C_m

Paramètres associés aux mouvements :

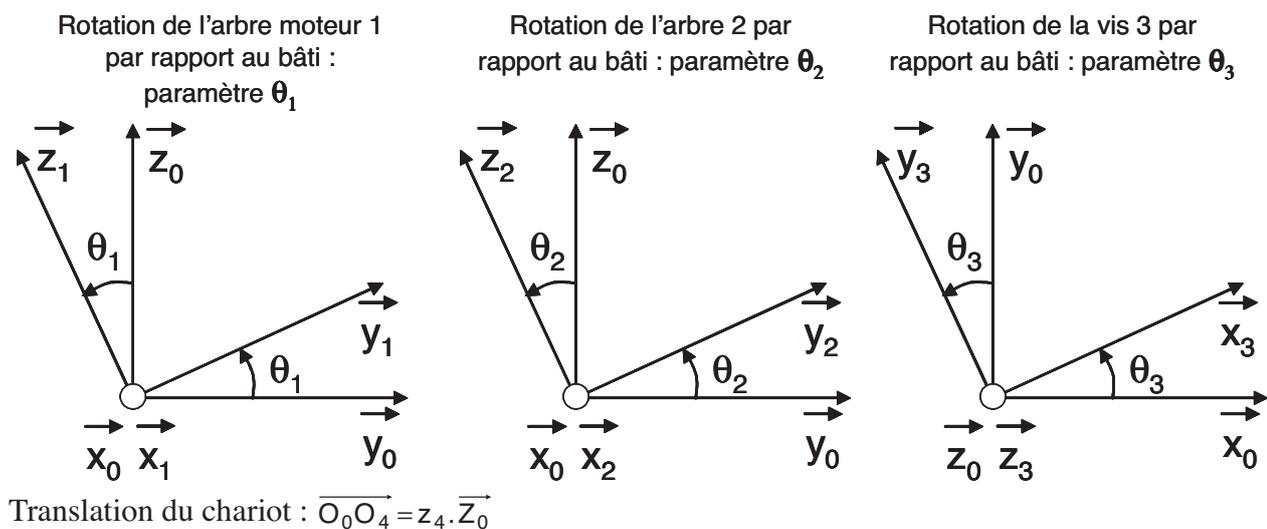


Figure 3 : Modélisation cinématique

Données sur les liaisons :

a) Liaison L_{12}

Pignon de l'arbre 1 engrenant avec l'arbre 2 : nombre de dents $Z_{12} = 15$

Roue de l'arbre 2 engrenant avec l'arbre 1 : nombre de dents $Z_{21} = 75$

Rendement $\eta_{12} = 0,9$

b) Liaison L_{23}

Pignon de l'arbre 2 engrenant avec la vis 3 : nombre de dents $Z_{23} = 14$

Roue de la vis 3 engrenant avec l'arbre 2 : nombre de dents $Z_{32} = 35$

Rendement $\eta_{23} = 0,9$

c) Liaison L_{34}

Pas du système vis-écrou : $p_{34} = 5$ mm

Rendement $\eta_{34} = 0,4$

d) Autres liaisons parfaites

Caractéristiques cinétiques :

Arbre 1

Masse : $M_1 = 8,9$ kg

Matrice d'inertie :

$$I(G_1, 1) = \begin{bmatrix} A_1 & 0 & 0 \\ 0 & B_1 & 0 \\ 0 & 0 & C_1 \end{bmatrix}_{(\bar{x}_1, \bar{y}_1, \bar{z}_1)}$$

$$A_1 = 10,5 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$$

$$B_1 = 32,6 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$$

$$C_1 = 32,6 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$$

Arbre 2 :

Masse $M_2 = 7,7$ kg

Matrice d'inertie :

$$I(G_2, 2) = \begin{bmatrix} A_2 & 0 & 0 \\ 0 & B_2 & 0 \\ 0 & 0 & C_2 \end{bmatrix}_{(\bar{x}_2, \bar{y}_2, \bar{z}_2)}$$

$$A_2 = 16,2 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$$

$$B_2 = 29,8 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$$

$$C_2 = 29,8 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$$

Vis 3 :

Masse : $M_3 = 37,1$ kg

Matrice d'inertie :

$$I(G_3, 3) = \begin{bmatrix} A_3 & 0 & 0 \\ 0 & B_3 & 0 \\ 0 & 0 & C_3 \end{bmatrix}_{(\bar{x}_3, \bar{y}_3, \bar{z}_3)}$$

$$A_3 = 13,6 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$$

$$B_3 = 17,9 \text{ kg.m}^2$$

$$C_3 = 17,9 \text{ kg.m}^2$$

Chariot 4 :

Masse $M_4 = 21,7$ kg

Matrice d'inertie :

$$I(G_4, 4) = \begin{bmatrix} A_4 & 0 & -E_4 \\ 0 & B_4 & 0 \\ -E_4 & 0 & C_4 \end{bmatrix}_{(\bar{x}_4, \bar{y}_4, \bar{z}_4)}$$

$$A_4 = 12,1 \text{ kg.m}^2$$

$$B_4 = 5,7 \text{ kg.m}^2$$

$$C_4 = 8,1 \text{ kg.m}^2$$

$$E_4 = 3,2 \text{ kg.m}^2$$

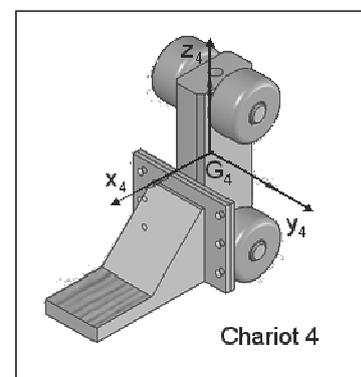
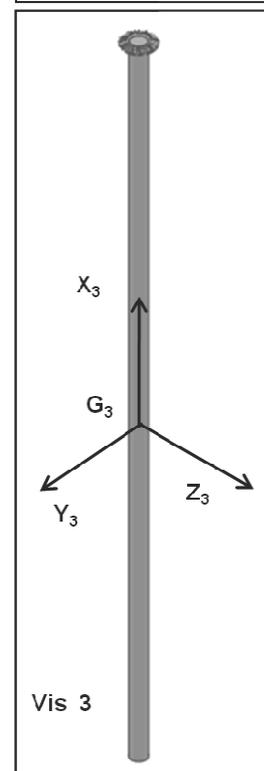
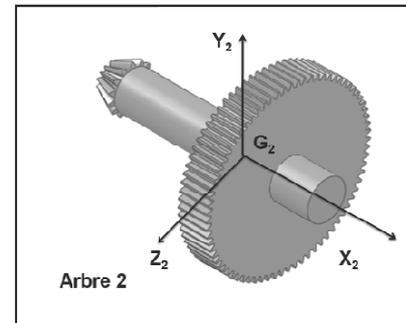
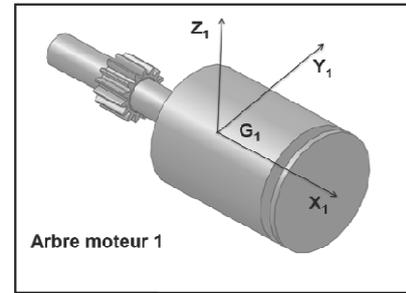
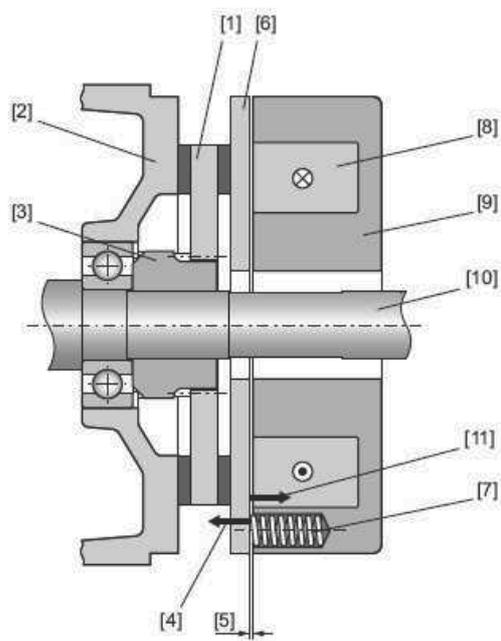
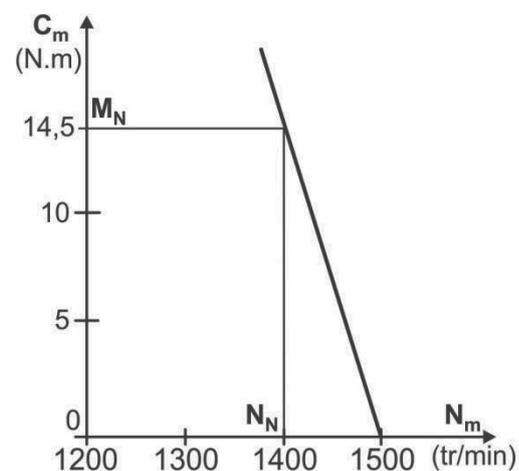


Figure 4 : Données techniques et cinétiques du modèle d'étude



- [1] Porte-garnitures
- [2] Flasque-frein
- [3] Moyeu d'entraînement
- [4] Action des ressorts
- [5] Entrefer
- [6] Disque de freinage
- [7] Ressort de frein
- [8] Bobine de frein
- [9] Corps magnétique
- [10] Arbre moteur
- [11] Force électromagnétique



Courbe couple/vitesse du moteur LS100L

Type moteur	Type frein	Puissance nominale à 50 hz P _N kW	Vitesse nominale N _N min ⁻¹	Moment nominal M _N N.m	Intensité nominale I _N A	Facteur de puissance Cos 100%	Rendement η 100%	Intensité démarrage /intensité nominale I _D /I _N	Moment démarrage /moment nominal M _D /M _N	Moment d'inertie J 10 ⁻³ kg.m ²	Moment de freinage M _f N.m	Masse IM B5	
												J01 à J03 kg	Type moteur
LS80L	FCRJ02	0,55	1370	3,5	1,64	0,71	68	3,8	2,9	3,8	10	15,5	LS80L
LS80L	FCRJ02	0,75	1370	5,12	2	0,77	70	4,2	2,7	4,3	10	16,6	LS80L
LS90L	FCRJ02	1,1	1360	7,35	2,8	0,8	70	3,9	1,9	7,3	20	20,5	LS90L
LS90L	FCRJ02	1,5	1380	10,03	3,8	0,78	73,5	4,4	2,3	7,9	20	22,5	LS90L
LS90L	FCRJ02	1,8	1400	11,95	4,2	0,81	77,3	5,4	2,7	8,4	20	24,2	LS90L
LS100L	FCRJ02	2,2	1400	14,5	5,4	0,77	76	5,3	2,5	9	25	27	LS100L
LS100L	FCRJ02	3	1410	19,5	7,1	0,77	79	5,4	2,7	10,2	32	30	LS100L
LS160LR	FCRJ02	15	1450	98	27,8	0,88	87	7,4	3,1	63	160	101	LS160LR

Figure 5 : Caractéristiques du moteur frein

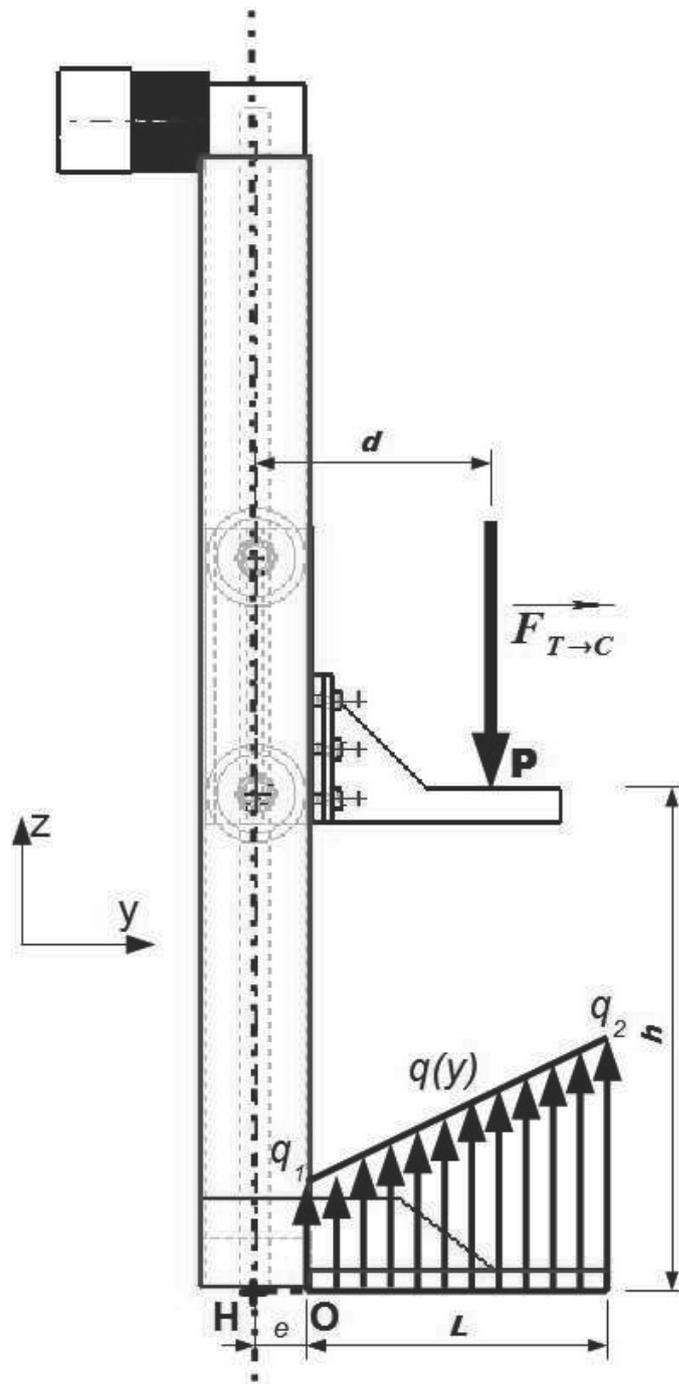


Figure 6 : Modélisation pour l'étude du basculement

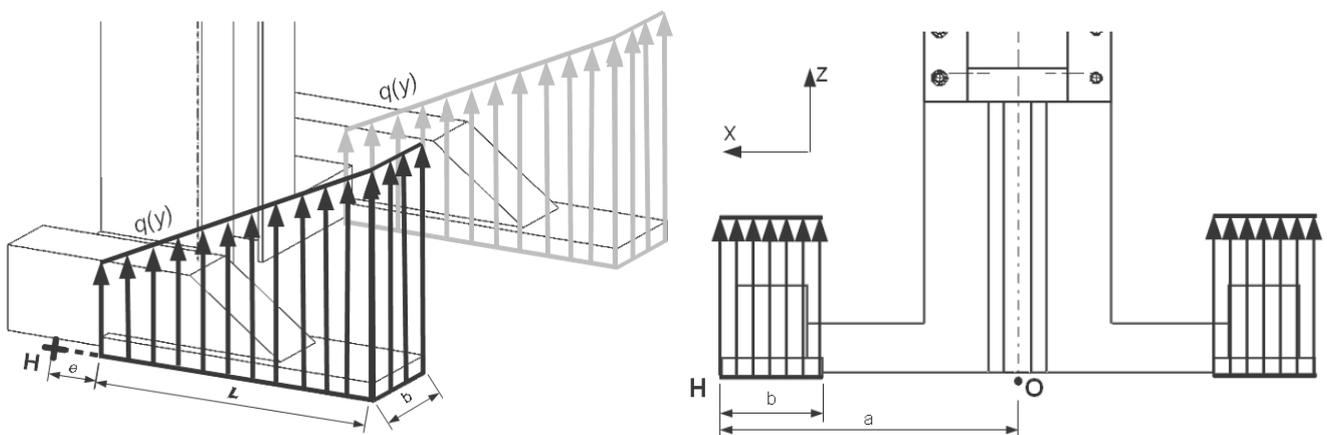


Figure 7 : Modélisation pour le calcul de la pression de contact

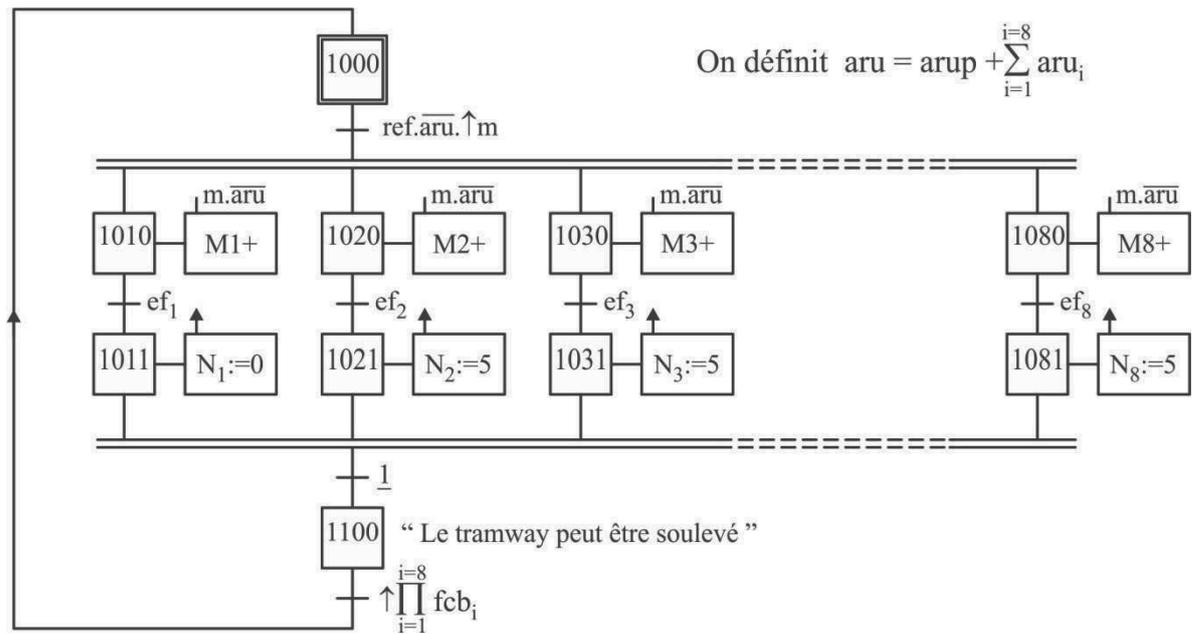
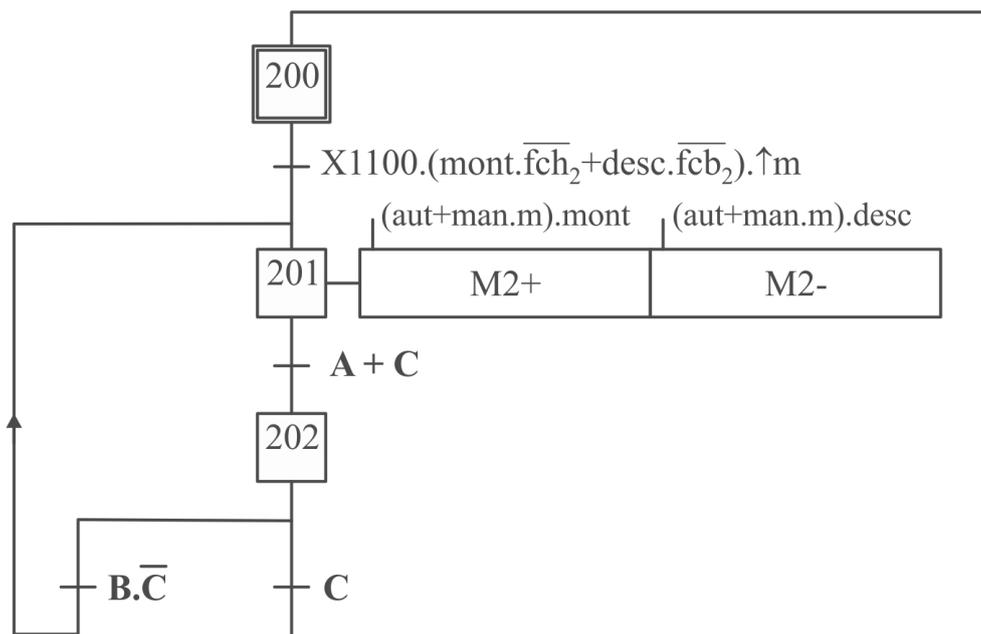


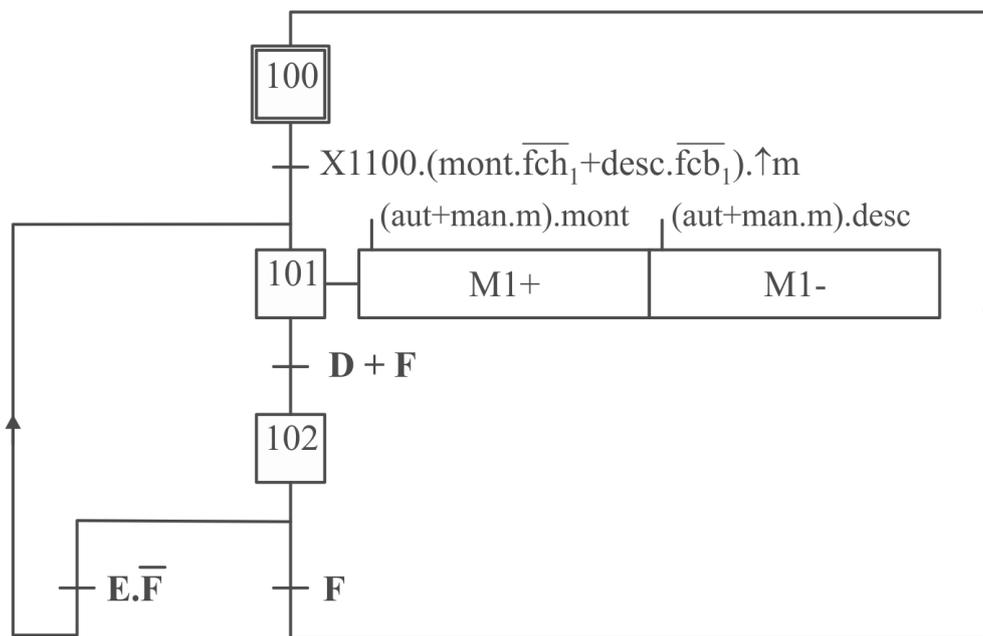
Figure 8 : Grafcet GR de mise en référence



A et B sont des informations provenant du compteur N_2

$$C = \text{mont.}(\text{aut.}[N_1=h]+\text{fch}_2)+\text{desc.fcb}_2$$

Figure 9 : Grafcet GM2 de commande du moteur de la colonne 2



D et E sont des informations provenant du compteur N_2

$$F = mont.(aut.[N_1=h]+fch_1)+desc.fcb_1$$

Figure 10 : Grafcet GM1 de commande du moteur de la colonne 1

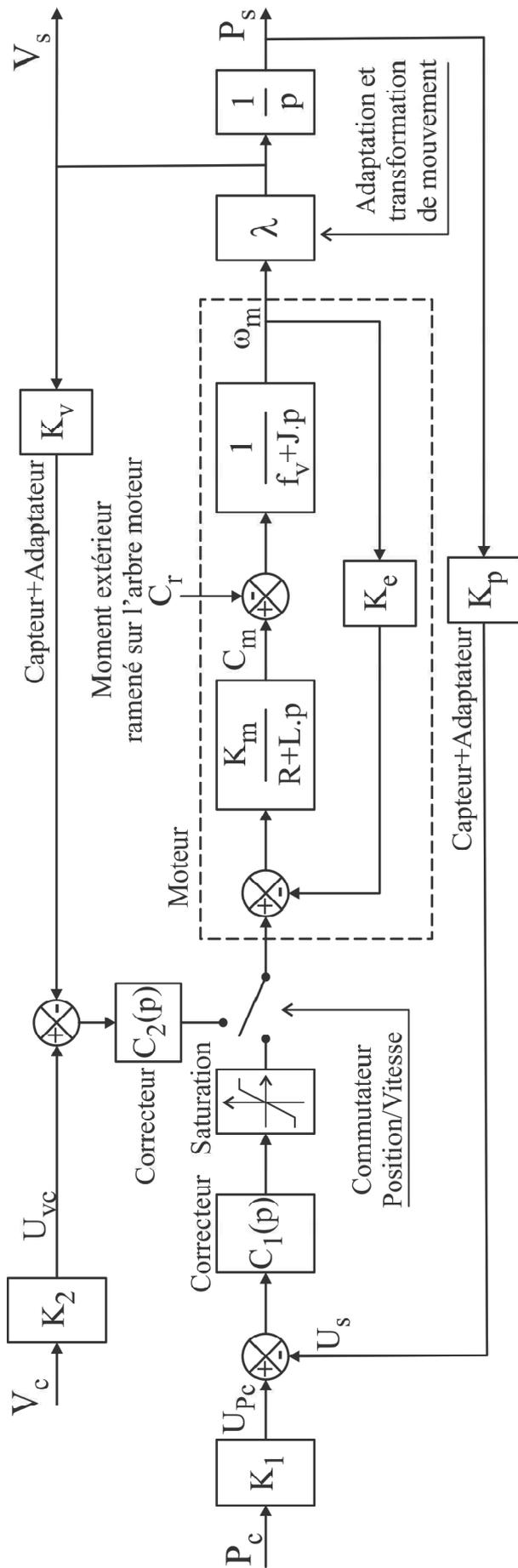


Figure 11 : Asservissement d'une colonne (Pour information)

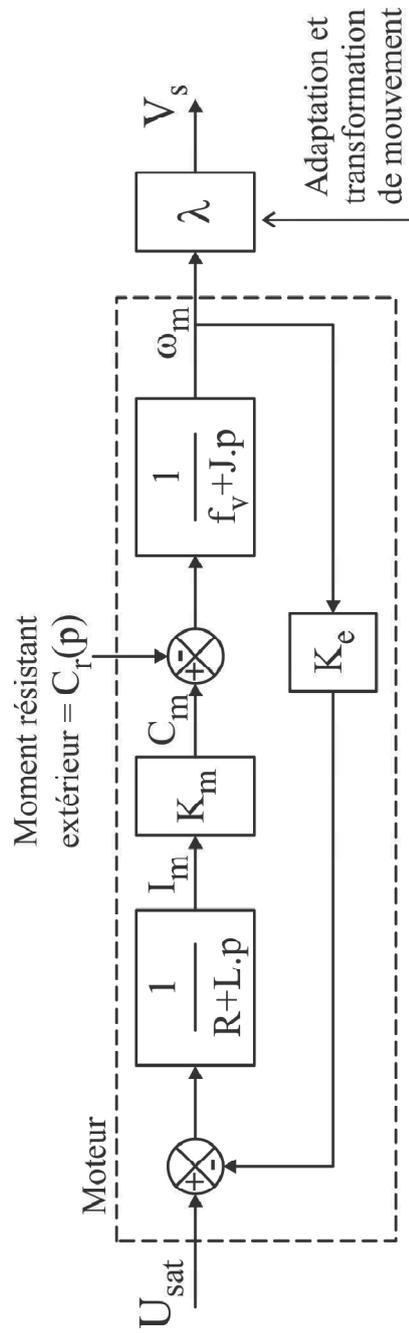


Figure 12 : Schéma partiel de l'asservissement d'une colonne

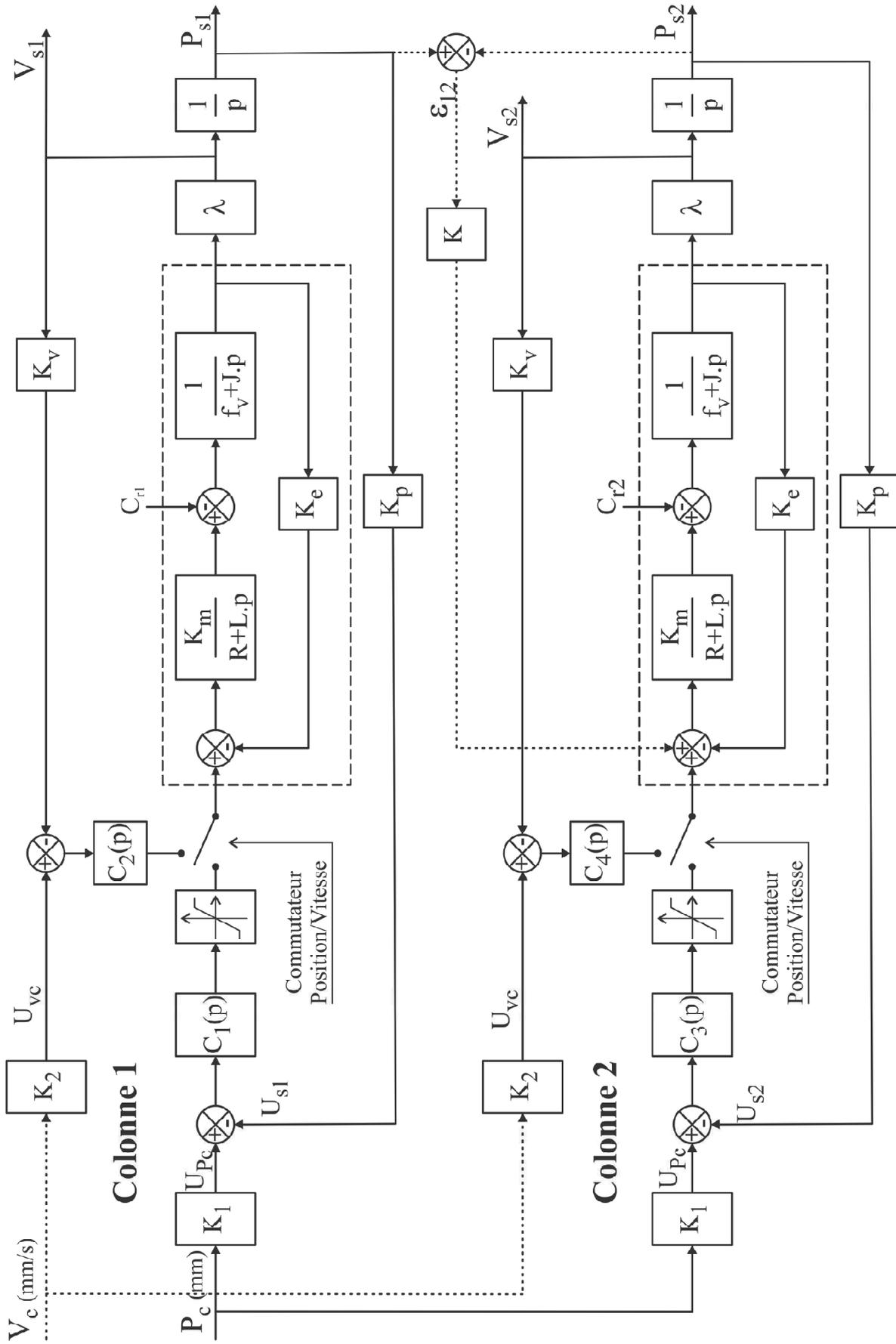


Figure 13 : Présentation de la commande asservie d'une paire de colonnes dans une structure en étoile (Pour information)

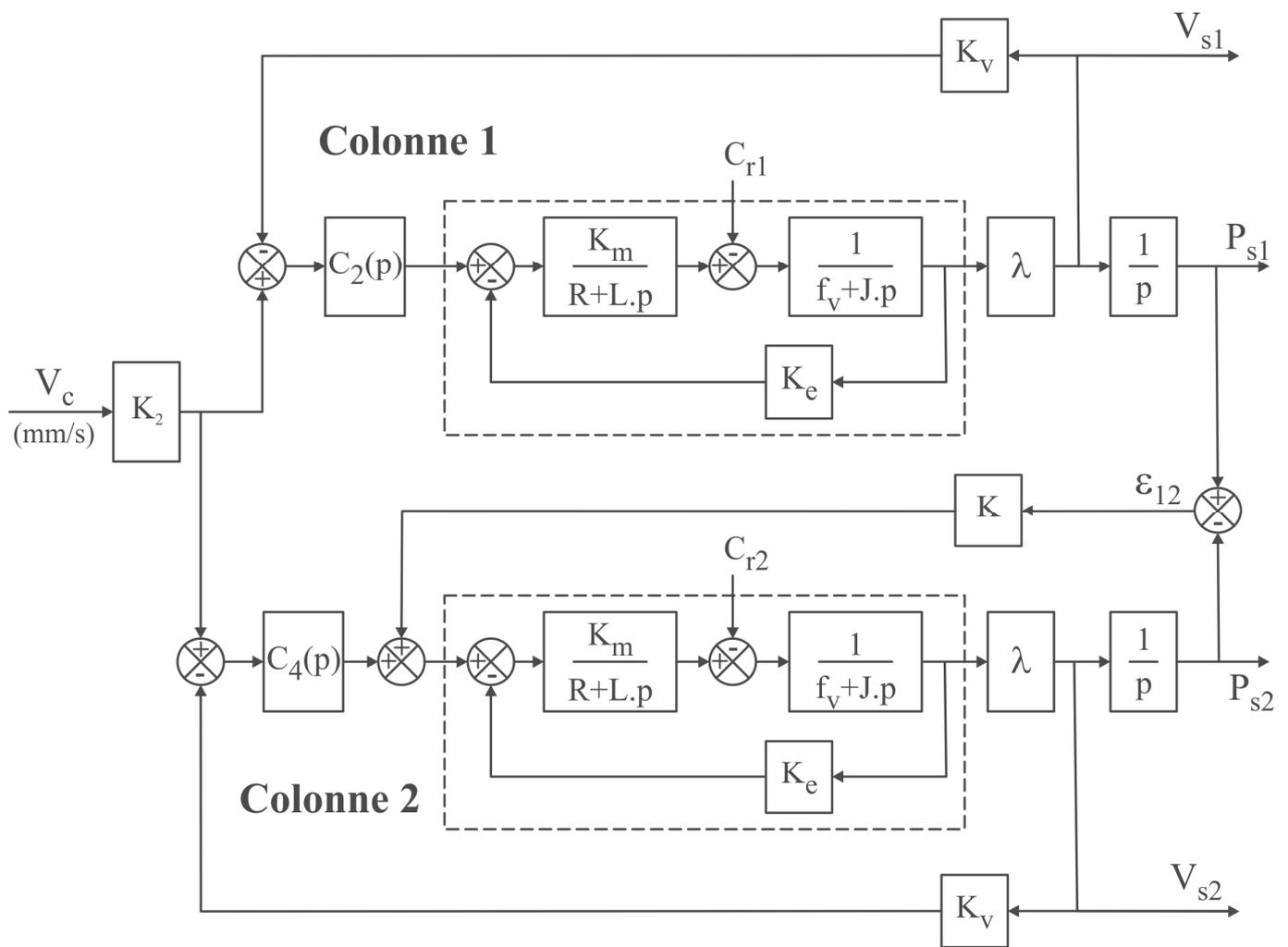


Figure 14 : Commande asservie, schéma SIMPLIFIÉ (Pour information)

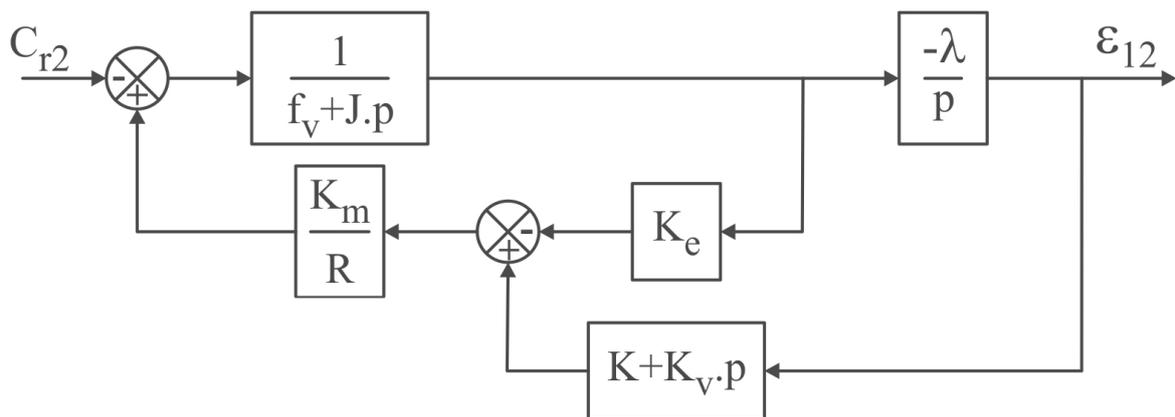


Figure 15 : Schéma partiellement simplifié avec $C_{r1} = 0$, $V_c = 0$, $C_2(p) = C_4(p) = 1$ et L négligé