

On rappelle la formule qui estime la contrainte de tension au pied d'une dent de roue dentée (les notations étant celle du cours) :

$$\sigma_{Maxi} = \frac{5.5F_t}{bm_0}$$

Cette contrainte ne devra pas excéder 260 MPa pour notre application.  
Les modules normalisés  $m_0$  principaux (AFNOR) des roeus dentées sont :

0.5	0.6	0.8	1.0	1.25	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50
-----	-----	-----	-----	------	-----	---	-----	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

et secondaires :

0.55	0.7	0.9	1.375	1.75	2.25	2.75	3.5	4.5	5.5	7	9	11	14	18	22	28	36	45
------	-----	-----	-------	------	------	------	-----	-----	-----	---	---	----	----	----	----	----	----	----

Les roues dentées sont fabriquées en général avec une largeur  $b \in [5m_0; 16m_0]$ .

L'angle de pression des engrenages est  $\alpha = 20^\circ$ .

On rappelle les relations relatives aux éléments filetés de diamètre nominal  $d$  et de pas  $p$ .  
Le diamètre équivalent est calculé par :

$$d_{eq} = d - 0.9382p$$

Dans une liaison hélicoïdale de coefficient de frottement  $f$ , le couple axial  $C_1$  est relié à la force axiale  $F_0$  par :

$$C_1 = F_0 \left( \frac{p}{2\pi} + \frac{fd_2}{2 \cos \beta} \right) \quad \text{où } \beta = 30^\circ \quad \text{et } d_2 = d - 0.6495p$$

Sur la FIG. 1, la pièce (2) est reliée à un arbre dont la position de l'axe de rotation est précisée sur la figure.

On considère que la roue dentée (1) est en contact appui plan avec (2) suivant une couronne de rayons intérieur  $R_i$  et extérieur  $R_e$ . Le coefficient d'adhérence au niveau de cette surface est  $f = 0.1$ .

Quatres vis M10 - pas 1.25 mm à tête hexagonale de classe de qualité 5.8 permettent d'assurer un effort axial entre ces 2 surfaces.

Le coefficient de frottement entre la vis et l'écrou ainsi qu'entre la vis et les rondelles et entre les rondelles et les pièces assemblées est également  $f = 0.1$ .

- 1) Calculez les diamètres  $d_2$  et  $d_{eq}$  des vis. .... [0.25]
- 2) Etablissez l'équation entre la contrainte équivalente de Von-Mises et l'effort axial dans la vis  $\sigma_{eq} = KF_0$  et calculez numériquement  $K$ . Déterminez alors la force maximum  $F_0$  supportable par les vis. .... [2.75]
- 3) On choisit de mettre l'effort axial  $F_0 = 15$  kN dans chaque vis, calculez le couple de serrage puis les contraintes de traction, de cisaillement et équivalente dans la vis ainsi que le coefficient de sécurité. .... [2]
- 4) Pour cette force  $F_0$ , estimez le couple axial transmissible par adhérence sur l'axe de l'arbre. [1]

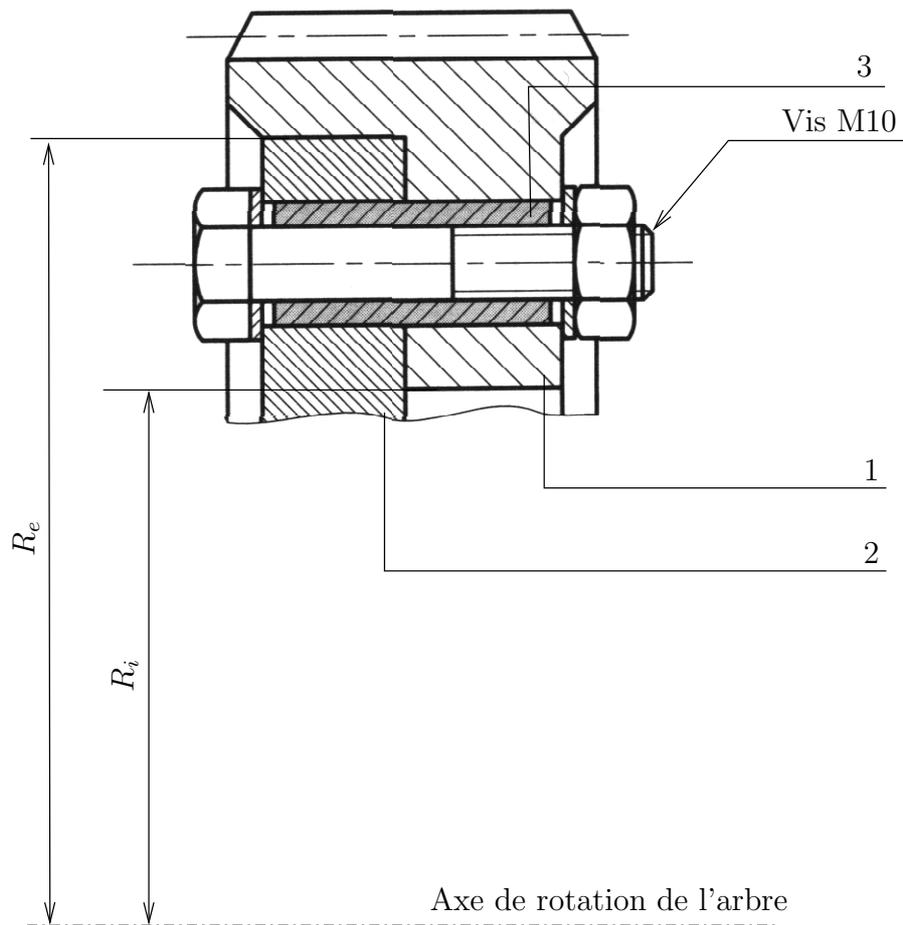


FIG. 1 – Vue partielle (réalisée à l'échelle 1 :1) du montage d'une roue dentée (1) sur un arbre non représenté fixé à (2).

- 5) Pour ce couple axial sur l'arbre, déterminez la contrainte de cisaillement dans les 4 pièces (3). Quel est le nom de cette pièce (3) ? ..... [1.5]  
*En réalité, la transmission du couple sur l'arbre s'effectue par adhérence entre (1) et (2) ET obstacle entre (1) (2) et (3), ce que nous n'avons pas considéré dans les calculs précédents.*
- 6) Pour un couple axial sur l'arbre de 600 N.m, calculez les forces sur la denture de la roue dentée (1).  
 Déterminez le module minimum  $m_0$  acceptable.  
 Choisissez un module  $m_0$  puis calculez le nombre de dents de la roue dentée (1) et son diamètre primitif. .... [3]

La FIG. 4 représente un zoom d'un engrenage (de module  $m = 3$ ) entre 2 roues dentées de nombres de dents  $Z_1 = 17$  et  $Z_2 = 37$  fonctionnant avec jeu. Sur cette figure, vous visualisez les cercles de base et primitifs de chaque roue et la ligne d'action tangente aux cercles de base.  
 On précise sur cette figure les déports de denture  $x$ .

- 7) Positionnez le point  $I$  à vitesse nulle dans le mouvement de la roue (2) par rapport à la roue (1). Positionnez les points de début et fin de contact entre les dents.  
 Choisissez et précisez le sens de rotation des roues puis représentez alors la répartition de vitesse de glissement au point de contact  $M$  entre les dents au fur et à mesure du mouvement : vous préciserez si vous avez représenté  $\vec{V}(M \in 1/2)$  ou  $\vec{V}(M \in 2/1)$ .

Comparez les intensités de vitesses de glissement maximum de part et d'autre du point  $I$ . Cet engrenage présente-t-il des vitesses de glissement équilibrées ?  
Calculez le rapport de conduite de cet engrenage. .... [2.5]

---

La FIG. 5 représente un arbre équilibré statiquement et dynamiquement qui tourne à vitesse constante et qui supporte les efforts de 2 roues dentées et de 2 paliers. On donne les cotes utiles sur la FIG. 5 et la composante tangentielle de l'effort au niveau d'une denture  $F_{t1} = 5000$  N.

8) Calculez la composante tangentielle de la force au niveau de l'autre denture  $F_{t2}$  ainsi que les composantes radiales de l'effort au niveau des dentures  $F_{r1}$ ,  $F_{r2}$  et enfin les composantes de force aux niveaux des paliers  $Y_1$ ,  $Z_1$ ,  $Y_2$  et  $Z_2$ . .... [2]

9) Représentez les diagrammes des efforts intérieurs à l'arbre soient le moment de torsion  $M_T(x)$ , les efforts tranchants et moments fléchissants  $T_y(x)$ ,  $M_{fz}(x)$ ,  $T_z(x)$  et  $M_{fy}(x)$ . .... [3]

10) On cherche à déterminer le diamètre minimum  $d$  de la section de l'arbre la plus sollicitée. On utilisera le critère de Von Mises sans prendre de coefficient de sécurité et sans considérer les efforts tranchants.

Calculez le module du moment fléchissant dans cette section.

Quelles sont les expressions des contraintes de cisaillement et de tension maximums dans cette section.

Déterminez alors le diamètre minimum de cette section de l'arbre en acier de limite élastique  $R_e = 600$  MPa. .... [2]

---

Caractéristiques mécaniques des vis et goujons en fonction de leur classe de qualité (d'après norme NF E 27-005).													
Caractéristique mécanique contrôlée	Classe de qualité des vis et goujons												
	Qualité HR												
	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	6.8	6.9	8.8	10.9	12.9	14.9	
Résistance à la traction $R_m$ (en MPa)	min	333	392	490	588	784	980	1176	1372				
	max	480	539	686	784	980	1176	1372	1568				
Dureté Brinell HB	min	90	110	140	170	225	280	330	390				
	max	150	170	215	245	300	365	425					
Dureté Rockwell	min	HRB	49	62	77	88	-						
		HRC							18	27	34	40	
	max	HRB	82	88	97	102	-						
		HRC							31	38	44	49	
Limite apparente d'élasticité $R_e$ (en MPa) min		196	235	313	294	392	352	470	-				
Limite conventionnelle d'élasticité $R_{p0.2}$ (en MPa) min		-						529	627	882	1058	1234	
Résistance à la charge d'épreuve (en MPa)		184	221	285	276	356	332	428	465	570	776	931	1087
Allongement pour-cent après rupture $A$ : min		25	25	14	20	10	16	8	12	12	9	8	7
Résistance à la traction avec cale biaise		Pour vis entières : valeurs correspondant aux valeurs minimales de résistance à la traction.											
Résilience KCU à + 20 °C (en daJ/cm <sup>2</sup> ) min		-						6	4	3	3		
Ténacité de la tête		Aucune rupture.											
Décarburation		(en cours d'étude à l'ISO).											

FIG. 2 – Caractéristiques des éléments filetés suivant leur classe de qualité.

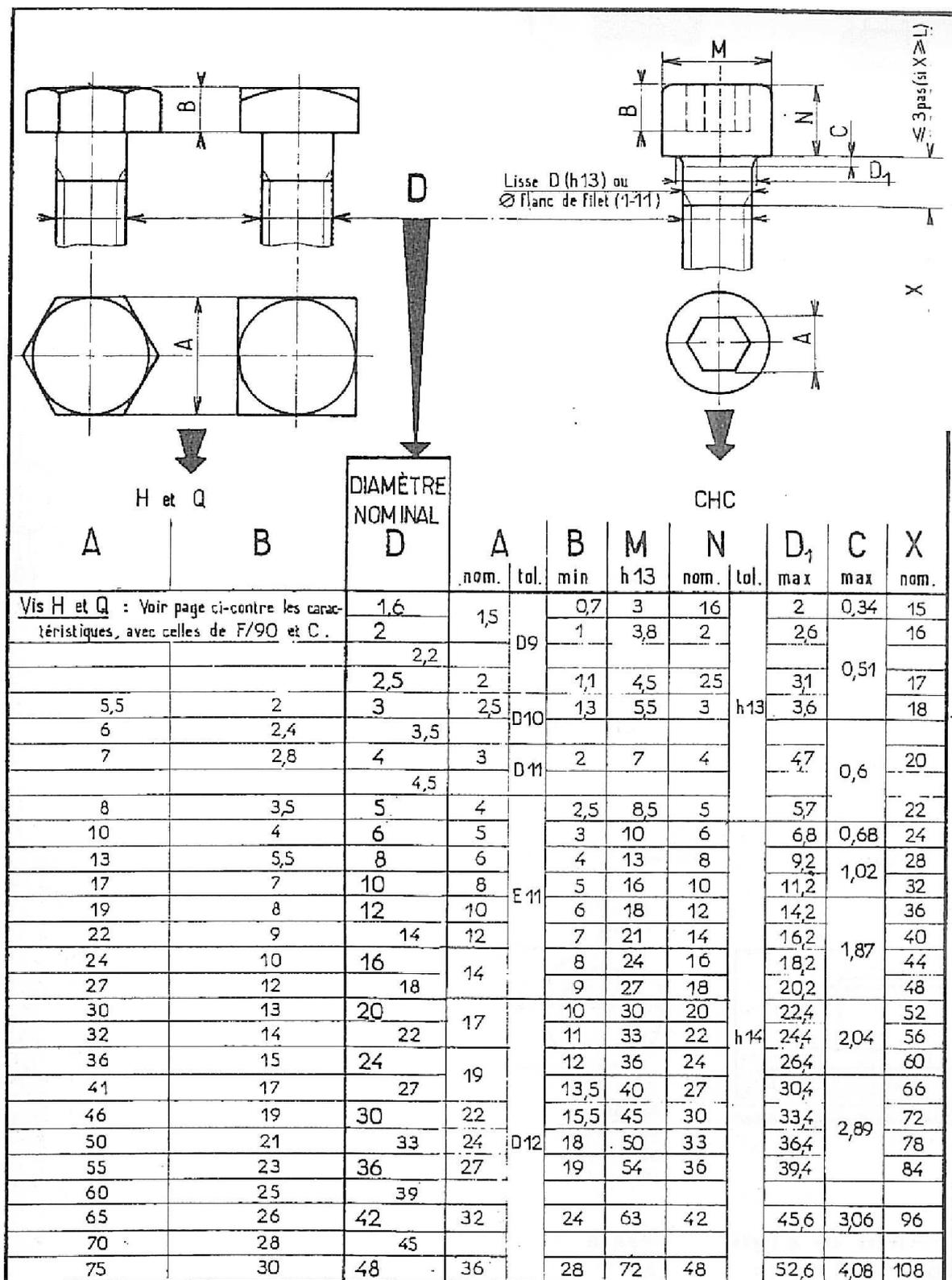


FIG. 3 – Dimensions de vis.

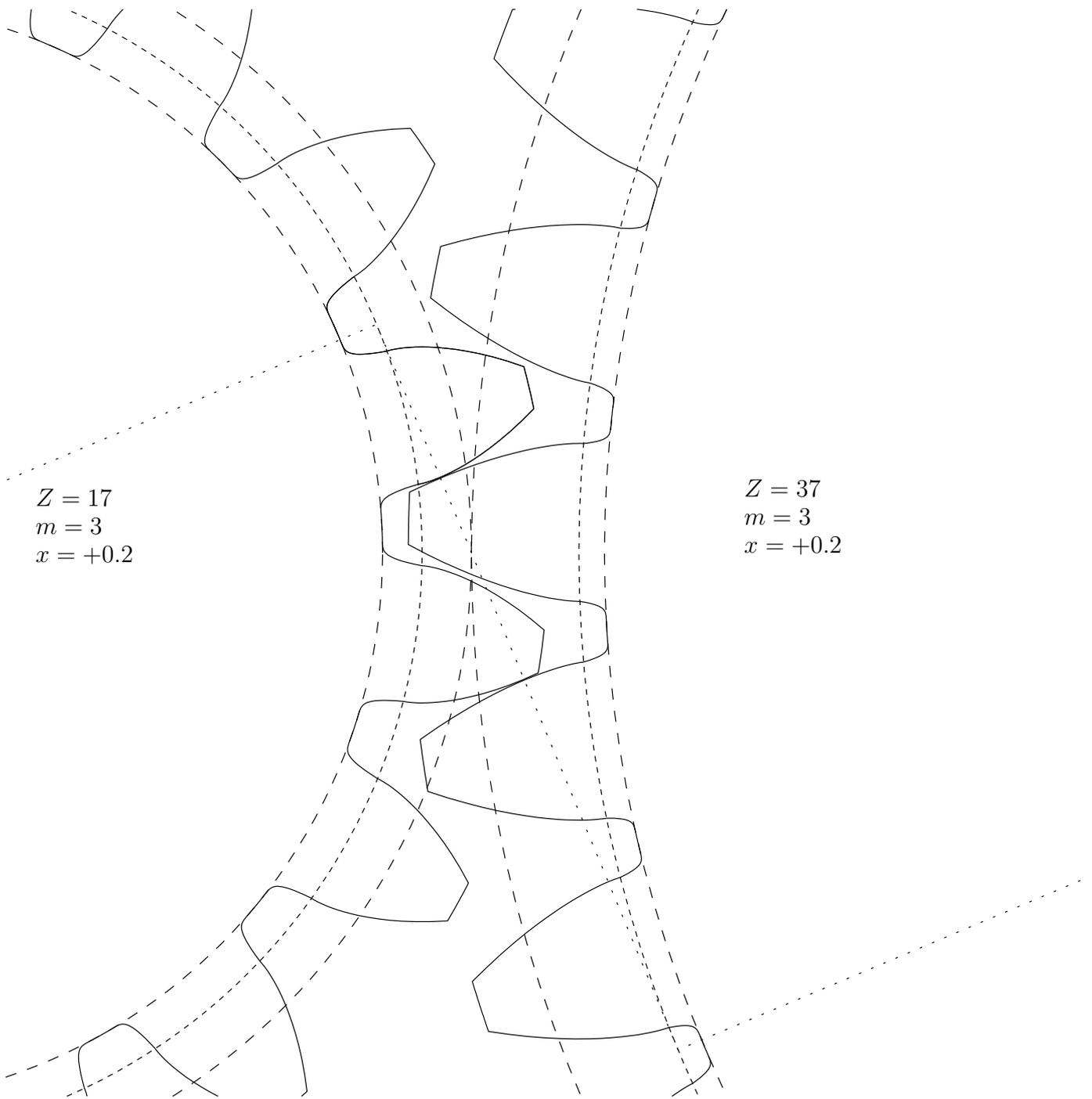


FIG. 4 – Représentation du contact au niveau d'un engrenage.

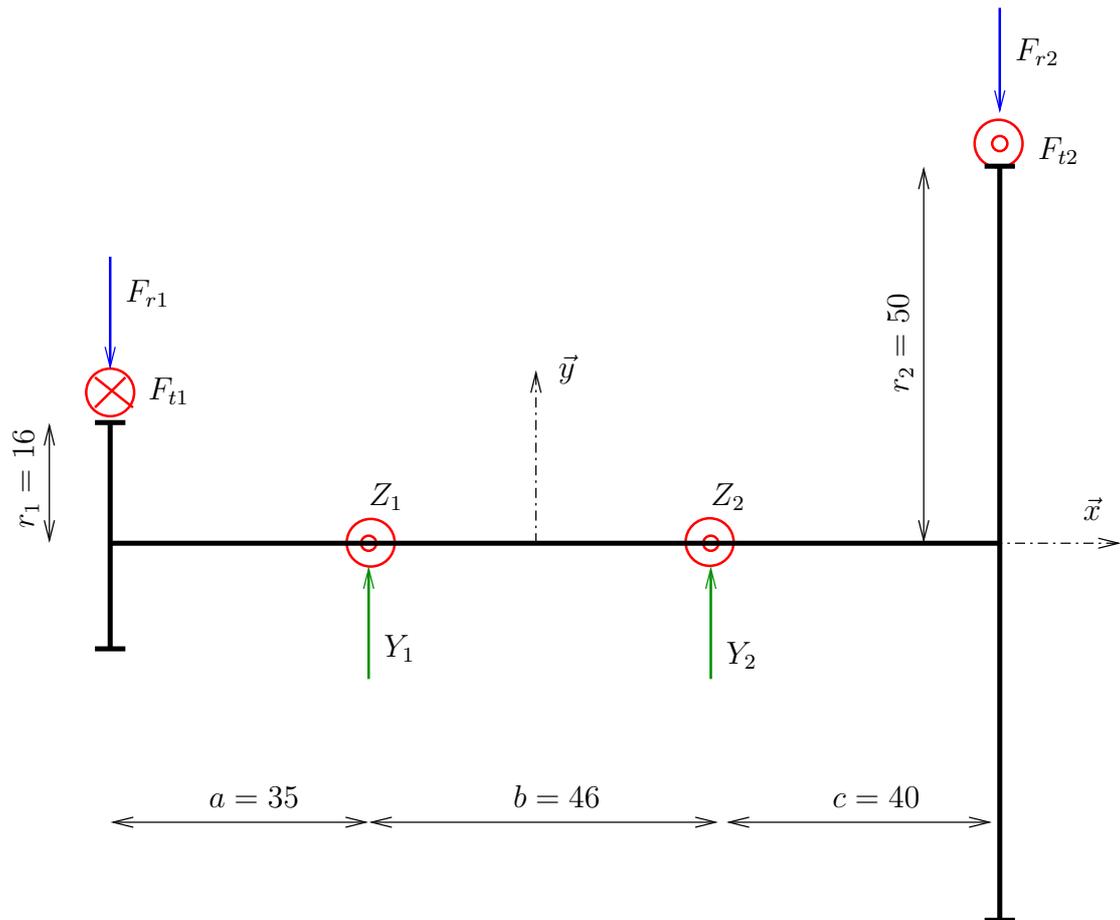


FIG. 5 – Représentation de l'arbre supportant les efforts de 2 roues dentées et de 2 paliers.