

FINAL

Tout document autorisé

Durée : 2 heures

Présentation

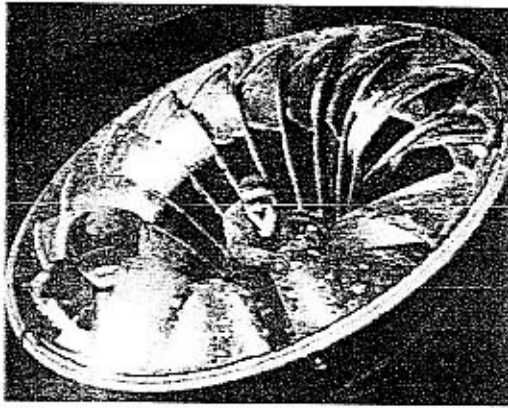
La production hydroélectrique

En 1880, à Vizille, près de Grenoble, l'ingénieur français Aristide Bergès accouple une turbine mue par une chute d'eau à une génératrice : la première centrale hydraulique était née. En 1946, il y avait en France 300 centrales hydrauliques. EDF fut créée par la loi de nationalisation, et entreprit d'aménager systématiquement les sites susceptibles d'être équipés pour les besoins de la production d'électricité, mais aussi pour ceux de la navigation et de l'irrigation. En 1962 la production hydraulique représente 50% de la production totale française, contre 15% actuellement. Mais l'hydraulique possède un atout de taille : l'eau est une source renouvelable et « stockable ». C'est une énergie rapidement mobilisable : en quelques minutes, les plus grands barrages peuvent fournir 14000 MW sur les 23000 MW du parc hydraulique.

À Serre-Ponçon



Figure 1 : Vue générale



Le barrage hydroélectrique de Serre-Ponçon est équipé de quatre turbines Francis dites « à réaction » : l'eau passant entre les aubes directrices de la turbine qui forment des conduits convergents, se trouve rabattue vers le centre de la roue et provoque un effet de réaction. Les quatre groupes d'exploitation hydraulique qui le constituent, sont pilotés soit localement, soit à distance par le centre de Sainte-Tulle, comme les 19 autres sites de production hydroélectrique de la Durance et du Verdon.

Le 25 janvier 1990, il y eût une tempête sur le nord-ouest de la France. Simultanément, quatre tranches nucléaires étaient arrêtées pour maintenance. Les ouvrages du gisement Durance-Verdon qui fournissaient au réseau 25 MW, durent faire face à une demande de 1330 MW. Puis ce fut le retour à une faible puissance.

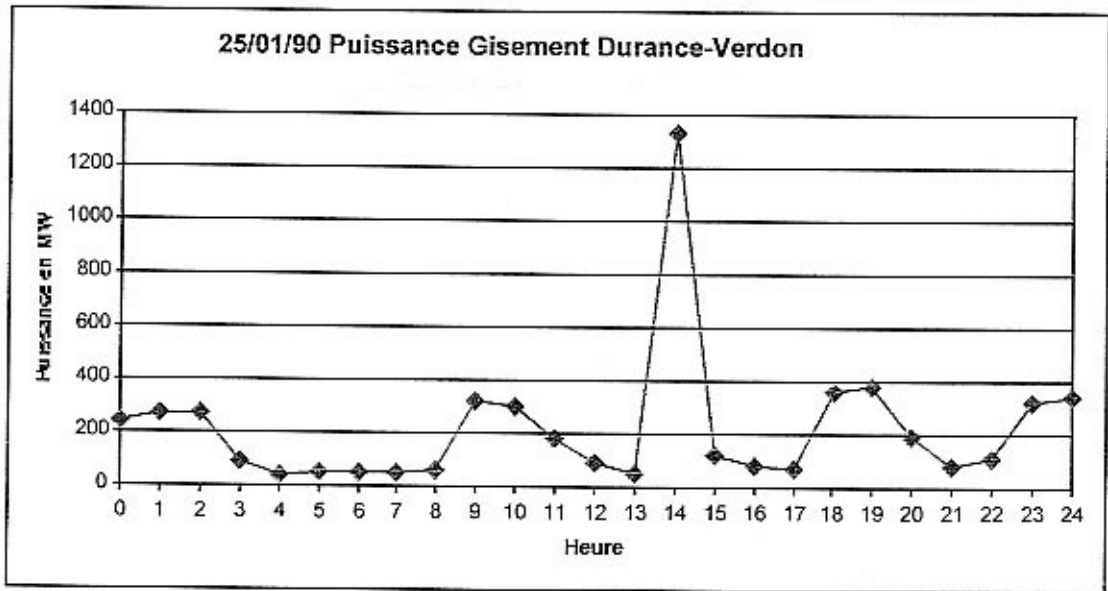


Figure 2 : Puissance fournie au réseau

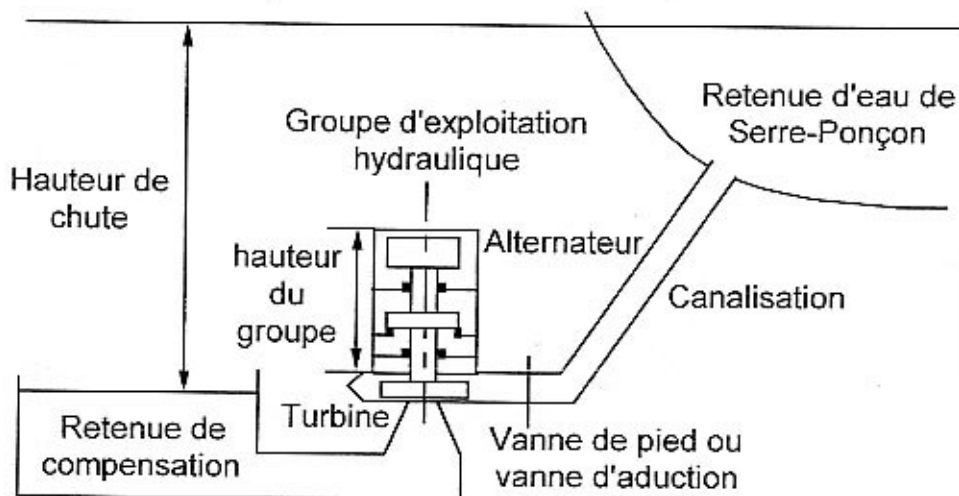


Figure 3 : Schéma des installations

La hauteur de chute d'eau est de 122 mètres. Le débit maximum utilisable est de 300 m³ par seconde et l'évacuateur de crue peut débiter jusqu'à 3500 m³ par seconde. Quatre groupes sont installés. Pour un groupe, l'ensemble tournant arbre, turbine et alternateur, mesure 14 m de haut pour une masse de 300 tonnes. La puissance fournie par un groupe peut atteindre 360 MW, alors que la production moyenne est de 720 GWh.

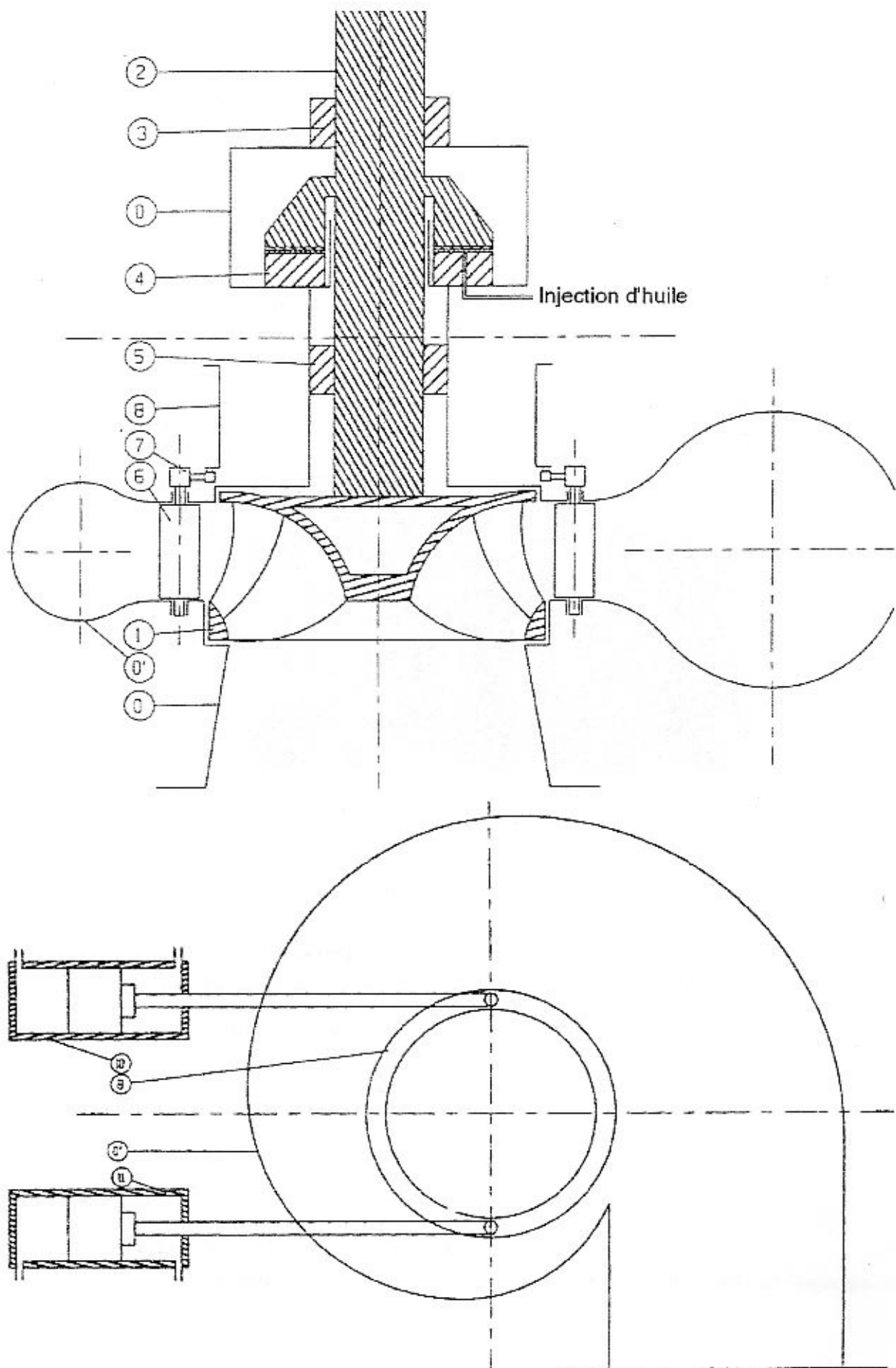


Figure 4 : Plan général

Ce groupe est constitué de :

- Une turbine Francis 1 qui transforme l'énergie hydraulique en énergie mécanique.
- Un alternateur qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.
- Un arbre 2 qui transmet cette énergie mécanique de la turbine vers l'alternateur.
- Une tuyère qui canalise le flux d'eau amont.
- 27 pales 6 qui orientent ce flux sur les aubes de la turbine suivant différentes incidences.
- Une vanne de pied qui régule le débit d'eau dans la tuyère.
- Un régulateur de fréquence qui, à partir des données comme la fréquence de rotation en sortie du groupe, la position des pales et la consigne de fréquence génère la consigne d'orientation des pales.
- Un régulateur de tension qui permet d'asservir la sortie en tension du groupe par une commande d'ouverture de la vanne de pied en fonction de sa position et de celle des pales, de la demande de puissance du client et de la puissance effectivement générée en sortie du groupe.

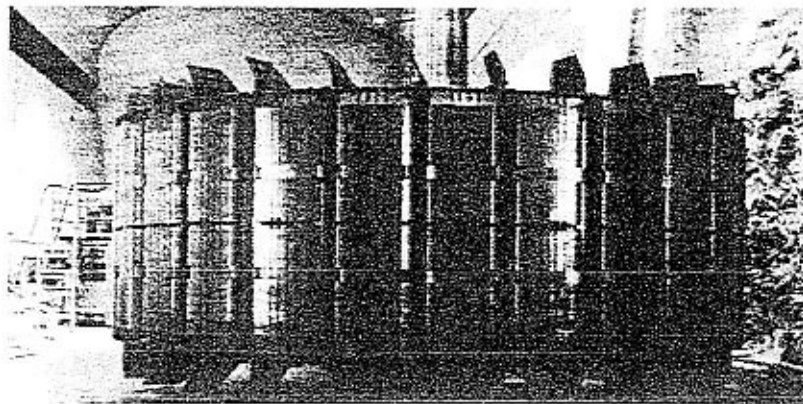


Figure 5 : Rotor d'alternateur

Notations

Un axe passant par un point P quelconque et de même direction qu'un vecteur unitaire \vec{u} est noté (P, \vec{u}) .

Les repères considérés sont tous orthonormés directs.

La masse du solide i est notée m_i . Le centre de masse du solide i est noté G_i .

Les unités employées doivent être celles du système international (SI).

A. Analyse fonctionnelle

A.1. Rôle et fonction des éléments d'un groupe

Pour votre curiosité de mécanicien(ne), je vous livre le diagramme A0 relatif aux barrages et centrales hydrauliques.

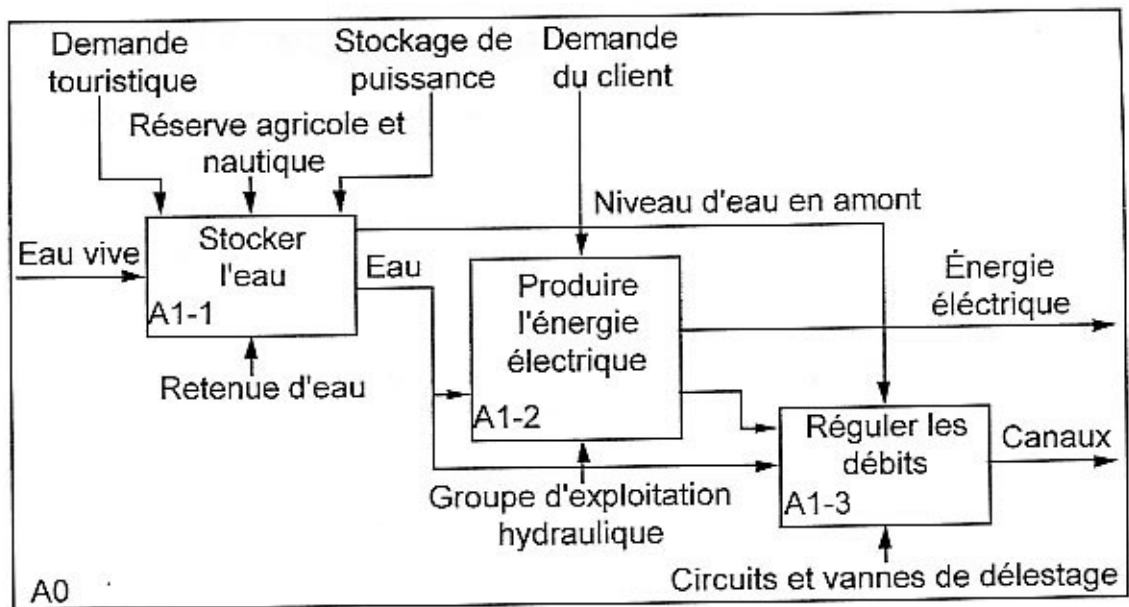


Figure 6 : Diagramme A0 relatif aux barrages et centrales hydrauliques

Le rôle du groupe est de fournir la puissance répondant à la demande du client avec une fréquence en tension de 50 Hz qui est la fréquence du réseau français.

B. L'ensemble de transmission de puissance

L'étude porte sur une partie du groupe d'exploitation hydraulique. À partir d'une modélisation simplifiée de l'ensemble de transmission de la puissance, on souhaite déterminer le temps de montée en vitesse de l'arbre de transmission, afin de déterminer l'instant de couplage de l'alternateur avec le réseau.

B.1. Modélisation

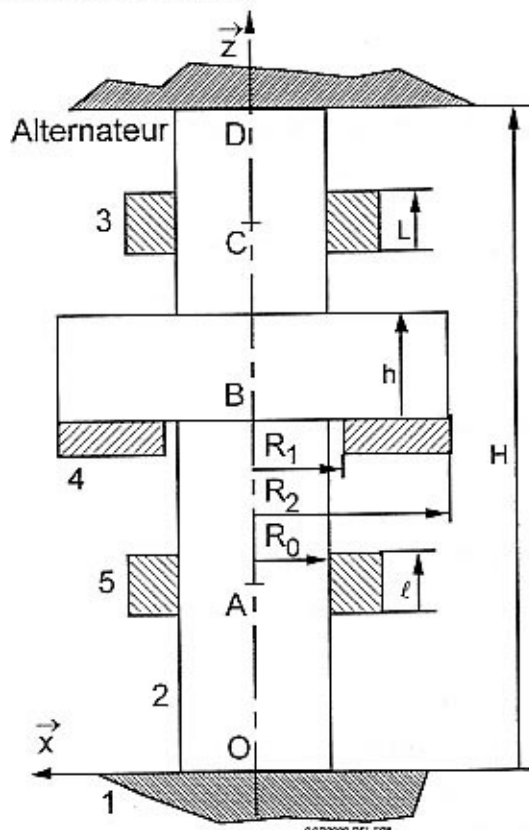


Figure 8 : Schéma

On note m la masse de l'ensemble tournant constitué de l'arbre, de la turbine et du rotor de l'alternateur, de centre de masse G .

Le repère $R\{O, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z}\}$ est lié au bâti.

L'accélération de la pesanteur est :

$$\vec{g} = g \bar{z}$$

On pose :

$$\overline{OA} = a \bar{z}$$

$$\overline{OB} = b \bar{z}$$

$$\overline{OC} = c \bar{z}$$

$$\overline{OD} = d \bar{z}$$

$$\overline{OG} = k \bar{z}$$

Le repère $R_2\{O, \bar{x}_2, \bar{y}_2, \bar{z}_2\}$ est lié à l'arbre de transmission et on pose :

$$\theta = (\bar{x}, \bar{x}_2)$$

Pour la désignation des pièces : voir nomenclature en page 7.

B.2. Cinématique de l'arbre de transmission

B.2.1. Analyse des liaisons entre le bâti 0 et l'arbre de transmission 2

Le bâti 0 est en liaison complète démontable avec chacun des sous-ensembles 3, 4 et 5.

La nature du contact des liaisons 2-3 et 2-5 est considérée comme « cylindrique courte ». Cela signifie que les surfaces de contact cylindriques sont très petites devant la longueur de l'arbre 2.

Q1. En déduire les conséquences sur les mouvements alors autorisés au niveau de chacune des liaisons (2-3 et 2-5), **donner** le nom du modèle retenu et le torseur cinématique associé à chacune des liaisons 2-3, 2-4 et 2-5.

B.2.2. Graphe des liaisons entre le bâti 0 et l'arbre de transmission 2

Q2. Tracer le graphe des liaisons .

B.2.3. Schéma cinématique de la liaison entre le bâti 0 et l'arbre de transmission 2

Q3. Tracer le schéma cinématique spatial représentant ces trois liaisons.

B.2.4. Hyperstatisme et mobilité de la liaison 0-2

Q4. Déterminer le degré d'hyperstatisme du montage bâti - arbre de transmission et **donner** le degré de mobilité cinématique de la liaison équivalente.

Citer les tolérances géométriques à mettre en place pour satisfaire les conditions de montage et de fonctionnement de liaison 0-2.

B.3. Étude statique de l'arbre de transmission

Hypothèses : pour cette partie, on suppose les liaisons *parfaites* .

B.3.1. L'arbre de transmission au repos

Au repos, le torseur d'action mécanique de l'alternateur sur l'arbre 2 est nul, ainsi que le torseur d'action mécanique de l'eau sur la turbine 1 en liaison complète avec l'arbre de transmission.

Q5. Appliquer le principe fondamental de la statique à l'arbre de transmission 2. Préciser les équations scalaires correspondantes, au point O, en projection sur R.

B.3.2. Actions de l'arbre 2 sur le plateau de pression hydrostatique 4

Q6. En déduire la pression de contact, supposée constante et notée p , entre 2 et 4, en fonction de R_1 , R_2 et m .

B.4. Mise en rotation de l'arbre de transmission

Lors de la mise en rotation de l'arbre de transmission, des pompes permettent de créer un film hydrodynamique entre 2 et 4 afin de diminuer les frottements le plus possible.

On note f le facteur de frottement entre 2 et 4 ;durant la phase de mise en rotation, la tension de sortie de l'alternateur n'est pas couplé au réseau EDF. Les actions mécaniques de l'eau sur la turbine 1 et celles de l'alternateur sur l'arbre 2 sont modélisables par les torseurs :

$$\{T_{eau \rightarrow 1}\}_O = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ F_e & C_e \end{Bmatrix}_{(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})} \quad \{T_{générateur \rightarrow 2}\}_O = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & C_g \end{Bmatrix}_{(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})}$$

B.4.1. Frottements

Hypothèses : dans cette partie, les frottements au niveau de la liaison 2-4 ne sont pas négligés.

Q7. Caractériser le torseur d'actions mécaniques associé à la liaison 2-4 .

Q8. Déterminer $N_{4 \rightarrow 2}$ en fonction de R_1 , R_2 , m , f et F_e .

B.4.2. Énergie cinétique de l'ensemble en rotation

On note I_{Oz} le moment d'inertie de l'ensemble tournant suivant l'axe (O, \bar{z})

Q9. Déterminer l'énergie cinétique de l'ensemble en rotation dans son mouvement par rapport à R.

B.4.3 Aspect énergétique

Les frottements dans les liaisons 2-3 et 2-5 sont toujours négligés. Les quantités C_e , C_g , et F_e sont supposées constantes. À $t = 0$, on a : $\theta = 0$ et $\dot{\theta} = 0$.

Q10. Déterminer l'équation du mouvement de 2 par rapport à R, obtenue en lui appliquant le théorème de l'énergie cinétique.

Q11. En déduire l'expression du temps t_1 nécessaire pour atteindre la fréquence de rotation $\dot{\theta} = \dot{\theta}_1 = \text{constante}$ en fonction de N_{42} , C_e , C_g , et I_{Oz} .

B.4.4. Énergie dissipée en chaleur

Q12. Déterminer le travail dissipé, entre les instants $t = 0$ et $t = t_1$, des actions mécaniques du plateau de pression 4 sur l'arbre de transmission 2 dans son mouvement par rapport à R.

Nomenclature simplifiée	
11	Servomoteur
10	Servomoteur
8	Couronne d'entraînement
7	Ensemble de bielles articulées(27)
6	Pâles (27)
5	Élément de guidage en rotation
4	Plateau de pression hydrostatique
3	Élément de guidage en rotation
2	Arbre de transmission de puissance
1	Turbine Francis
0'	Tuyère
0	Bâti
repère	désignation