

« INDUSTRIES PAPETIERES »

Option : Production des pâtes, papiers et cartons

Option : Transformation des papiers et cartons

**ETUDE FONCTIONNELLE et STRUCTURELLE des
SYSTEMES**

**Sous-épreuve U41 : Analyse du comportement d'un
mécanisme**

Durée 3 heures

Coefficient 2,5

Pompe NEMO

Les documents : DR1 à DR6 seront rendus en fin d'épreuve.

Moyen de calcul autorisé :

La calculatrice (conforme à la circulaire N°99-186 du 16-11-99) est autorisée.

Aucun document, autre que ceux proposés dans le sujet, n'est autorisé :

Toutes les informations utiles sont données.

Matériel nécessaire : crayons de couleur, calculatrice.

Identification des différents documents composant le sujet

Repère des documents

DT1 à DT5 : Présentation et fonctionnement de la pompe Nemo.

DT6 à DT8 : Fiches historiques de la maintenance.

DT9 : Dessin d'ensemble de la pompe NEMO.

DT10 : Nomenclature.

DT11 - DT12 : Dessins des articulations.

DS1/DR1 à DS6 /DR6 : Texte du sujet et documents réponses à rendre en fin d'épreuve.

POMPE NEMO

A - Histoire et Société.

1 - La pompe NEMO et son inventeur.

En 1939, le professeur René MOINEAU écrit sa thèse intitulée « Un nouveau capsulisme », qui décrit le système de pompage qu'il venait d'inventer.

Jusqu'à présent ce système n'a subi aucune modification essentielle ce qui prouve le génie de l'invention du professeur MOINEAU. Son brevet explique déjà la plupart des exécutions possibles et même les méthodes de fabrication des principaux composants de la pompe.

2 - NETZSCH et la pompe NEMO.

En 1951, la Société Gebrüder NETZSCH Maschinenfabrik acquiert la licence permettant la construction et la commercialisation des pompes NEMO.

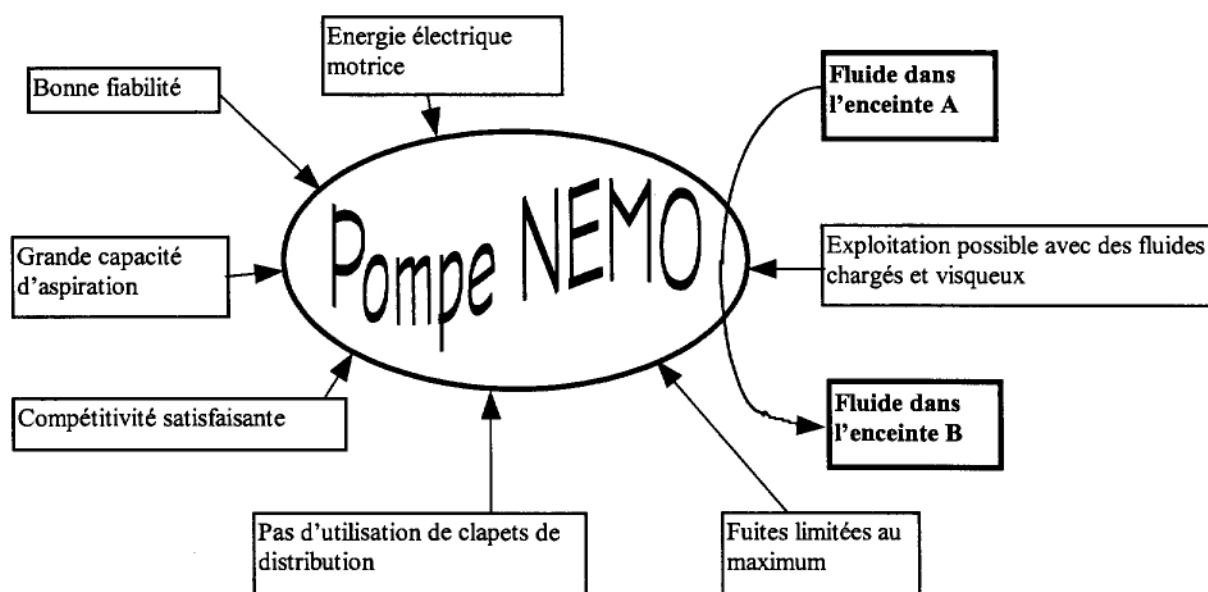
Il apparaît très vite, que cette pompe trouve des possibilités d'application dans toutes les branches industrielles.

Dans pratiquement tous les pays industrialisés du monde, on confia aux entreprises disposant d'expérience dans le domaine du pompage, un service après-vente ainsi que des magasins de stockage et la représentation des pompes.

Au Brésil, aux Etats-Unis, en France, au Japon, et en Autriche, la vente des pompes NEMO est assurée par des sociétés appartenant au groupe NETZSCH.

La fabrication des pompes NEMO s'effectue dans une usine à Waldkraiburg près de Munich. Cette usine moderne est le plus grand producteur de ce type de pompes sur le continent européen.

B - Avantages de la pompe NEMO



Le principe de la pompe NEMO marie les avantages de beaucoup d'autres types de pompes :

- comme les pompes centrifuges, la pompe NEMO n'a pas de clapets d'aspiration ou de refoulement sujets aux pannes et pouvant freiner le passage du produit.
- comme les pompes à piston, la pompe NEMO dispose d'une capacité d'aspiration jusqu'à 9 mètres de hauteur d'eau, suivant les conditions physiques environnantes.
- comme les pompes à membranes ou les pompes péristaltiques, la pompe NEMO peut véhiculer toutes sortes de fluides, même ceux qui ne coulent plus ou qui contiennent du gaz.
- comme les pompes à engrenages ou les pompes à vis, la pompe NEMO peut véhiculer des produits extrêmement visqueux.
- comme les pompes à piston, à membranes, à engrenages ou à vis, la pompe NEMO peut servir pour le dosage.

C - FONCTIONNEMENT

1 - les fonctions techniques

On exprime les fonctions techniques nécessaires pour assurer le bon fonctionnement de la pompe.

FP : Fonction principale : pomper un fluide.

FT1 : L'arbre d'entrée de la pompe doit être lié à l'arbre moteur : c'est une liaison encastrement réalisée par un assemblage claveté.

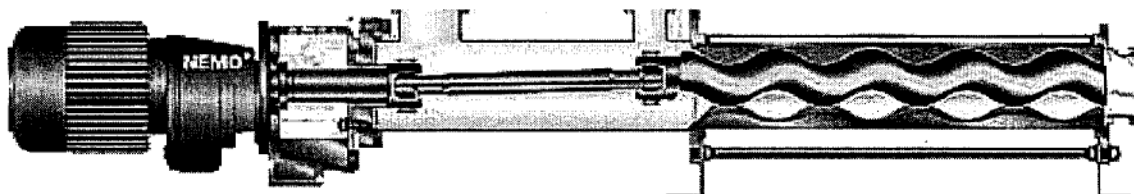
FT2 : L'arbre d'entrée de la pompe doit être guidé en rotation par rapport au corps : c'est une liaison pivot de centre C et d'axe x réalisée par deux roulements.

FT3 : La matière déplacée ne doit pas se propager vers les roulements : c'est une fonction d'étanchéité réalisée par le presse-étoupe (W) non représenté.

FT4 : La bielle doit pouvoir se mouvoir suivant deux rotations par rapport à l'arbre d'entrée : c'est une liaison sphérique à doigt de centre G1.

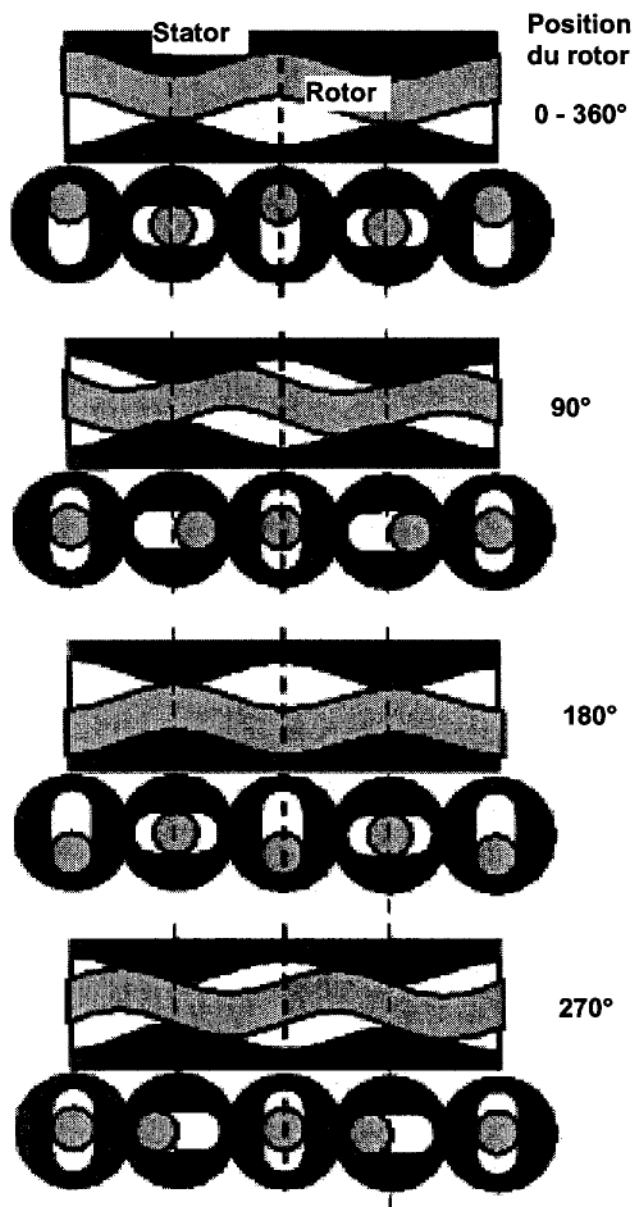
FT5 : La bielle doit pouvoir se mouvoir suivant deux rotations par rapport au rotor : c'est une liaison sphérique à doigt de centre G2.

FT6 : La matière doit être transvasée de l'entrée vers la sortie : cette fonction de par sa conception est réalisée par une liaison déformable (stator (5) en élastomère).



2 - Fonctionnement hydraulique

Géométrie du rotor et du stator dans la pratique



Déplacement des cavités

suivant les différentes positions du rotor
(tour de 0°, 90°, 180°, 270°)



Grandes cavités

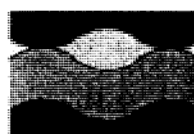
« carrées » :

Le fluide peut contenir de gros morceaux de matières solides.



Grand angle de contingence :

Les matières solides risquent moins de « coincer », d'où moins d'usure, la pompe ne bloque pas.



Petite zone de contact :

Moins de friction, d'où moins d'usure, plus d'efficacité.



Courte génératrice de contact :

Moins de friction, d'où meilleur rendement.

a) Débits.

☞ Le débit théorique q_{th} pour un tour du rotor est :

$$q_{th} = 4.e.Dr.Hs$$

e = excentricité du rotor

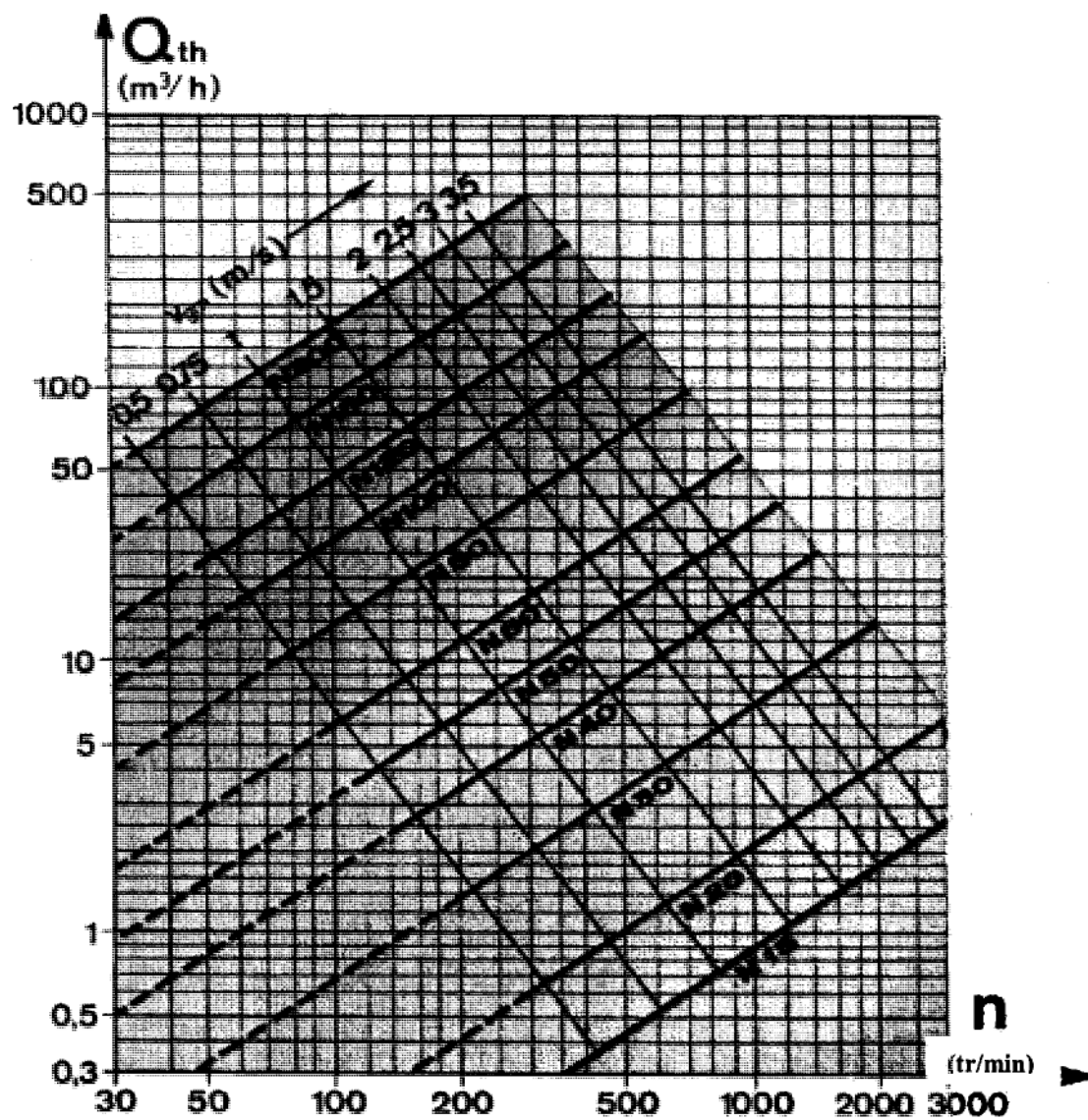
Dr = diamètre du rotor

Hs = pas du stator, deux fois le pas du rotor.

☞ Diagramme des débits

(valeurs théoriques pour des liquides semblables à l'eau à 20° C).

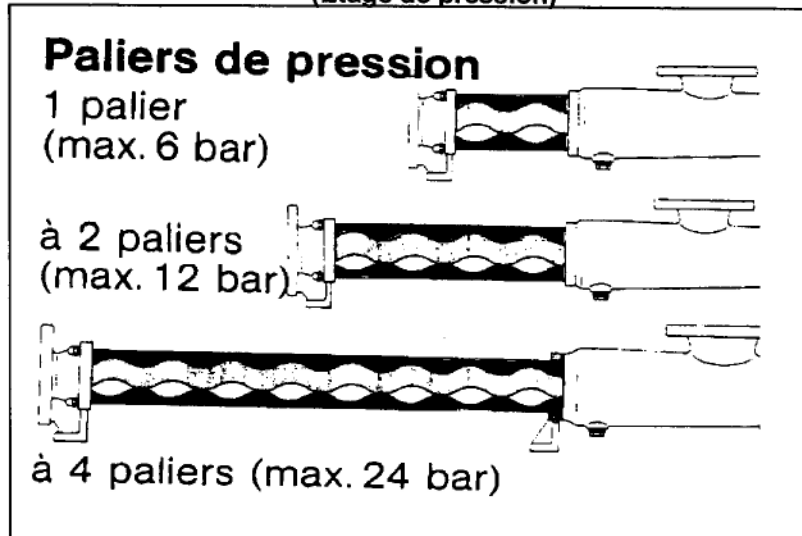
Voir ci-contre



b) Pression admissible.

La pression maximum admissible par la pompe NEMO est fonction du nombre de paliers (voir figure ci-contre).

(Etage de pression)

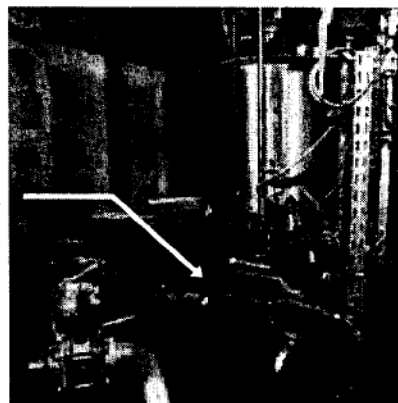
**c) Autres caractéristiques.**

- ★ Auto-amorçage jusqu'à 8,5 m colonne d'eau, grâce à la conception de la pompe et à l'utilisation d'un stator en élastomère.
- ★ Températures jusqu'à 300°C.
- ★ Refoulement rotatif, presque sans impulsion.
- ★ Pas de vanne pouvant gêner le passage du produit véhiculé.
- ★ Débit réglable en fonction de la vitesse, sens de pompage réversible.
- ★ Pression jusqu'à 72 bars et plus, même pour les débits les plus faibles et des petites vitesses.
- ★ Débits jusqu'à 350m³/h et plus.
- ★ Exécution dans tous les matériaux habituels.
- ★ Réchauffement ou refroidissement possibles.

D - Choix de la pompe pour la suite de l'étude

La pompe NEMO type N15 est utilisée par ARJO WIGGINS pour traiter les boues résiduelles de la fabrication des pâtes. Elle permet d'évacuer 3000L/h à la pression de 10 bars.

Pompe NEMO



Travaux effectués par le service maintenance de Arjo Wiggins. Cette entreprise est confrontée à des problèmes sévères de maintenance, elle a donc mis en place une structure qui permet de suivre et de prédire les éventuelles pannes pouvant entraîner une perturbation dans le fonctionnement. En particulier au niveau de 8 pompes NE 015 qui fonctionnent toutes dans des conditions comparables.

On dispose :

★ de fiches de suivi de maintenance pour chacune des huit pompes.

★ des informations suivantes :

- mise en service début janvier 2001
- mise à jour des fiches individuelles à la fin de chaque mois
- l'étude a porté sur 39 mois (début janvier 2001 - fin mars 2004).

Fichier historique			Annexe N°1		
Equipement : Pompe Nemo		Marque :	Type : NE 015	N°1	
Date	Désignation des travaux	Temps de réparation en h/mn	Pièces de rechange	Relevé des usures en	Coût des pièces de rechange
mars-01	Changement des 2 roulements	1h	1 jeu Ref.0020		23 €
août-01	Remplacement de l'anneau Ref. 8070 écrasé. Mesure de l'usure du stator Ref. 3005	1 h 30	Q = Ref. 8070	Usure moyenne = 0.35 mm	15 €
mars-02	Remplacement du corps Ref. 2005 fendu. Mesure de l'usure du stator Ref. 3005	1 h 30	Q = Ref. 2005	Usure moyenne = 0.75 mm	300 €
déc-02	Changement de l'articulation 1 + 2 goupille Ref. 5075 cassée.	1 h 30	Q = ensemble repéré 1 et 2		180 €
octobre-03	Changement du stator Mesure de l'usure du stator	1 h	Q = Ref. 3005	Usure moyenne = 1.6 mm	1 80 €

Fichier historique			Annexe N°2		
Equipement : Pompe Nemo		Marque :	Type : NE 015	N°2	
Date	Désignation des travaux	Temps de réparation en h/mn	Pièces de rechange	Relevé des usures en	Coût des pièces de rechange
février-01	Changement de l'ensemble arbre/presse étoupe. Mesure de l'usure (arbre)	2 h	Q = ensemble 3 et Ref. 1015	Usure moyenne = 0.2 mn.	125 €
juin-01	Fuite au niveau du joint Ref.8005. Mesure de l'usure du stator Ref.3005	0 h 30	Q = Ref. 8005	Usure moyenne = 0.3 mm	1,5 €
octobre-01	Remplacement de l'anneau Ref. 8070 écrasé. Mesure du jeux articulation.	1 h 30	Q = Ref. 8070	Jeu ovalise 0.05 mm 0.15 mm	15 €
juillet-02	Changement de l'ensemble stator Ref. 3005 rotor Ref. 1999. Mesure de l'usure du stator Ref. 3005	2 h 30	Q = Ref. 3005 + Ref. 1999	Usure moyenne = 0.85 mm	250 €
décembre-02	Clavette cisailée contrôle géométrique de l'arbre.	1 h	Q = Ref. 3025		3 €
août-03	Changement de la plaque chauffante. Mesure de l'usure du stator Ref. 3005	1 h 30	Q = Ref. 1011	Usure moyenne = 0.75 mm	77 €
mars-04	changement de l'ensemble stator Ref. 3005 rotor Ref. 1999. Mesure de l'usure du stator	2 h 30	Q = Ref. 3005 + Ref. 1999	Usure moyenne = 0.95 mm	250 €

Fichier historique			Annexe N°3		
Marque :		Type : NE 015			
Equipement : Pompe Nemo			N°3		
Date	Désignation des travaux	Temps de réparation en h/mn	Pièces de rechange	Relevé des usures	Coût des pièces de rechange
juin-01	Changement de l'ensemble arbre/presse étoupe. Mesure de l'usure (arbre)	2 h	Q = ensemble 3 et Ref. 1015	Usure moyenne = 0.2 mm	125 €
décembre-01	Changement de l'articulation 1 et 2 . Mesure du jeu de l'articulation.	1 h 30	Q = ensemble repéré 1 et 2	Jeu ovalisé 0.15 mm 0.25 mm	180 €

Fichier historique			Annexe N°4		
Marque :		Type : NE 015			
Equipement : Pompe Nemo			N°4		
Date	Désignation des travaux	Temps de réparation en h/mn	Pièces de rechange	Relevé des usures :	Coût des pièces de rechange
août-01	Changement de l'ensemble arbre/presse étoupe. Mesure de l'usure (arbre)	2 h	Q = ensemble 3 et Ref. 1015	Usure moyenne = 0.18 mm	125 €
mars-02	Changement des 2 roulements	1 h	Q = Ref. 0020		23 €
janvier-03	Changement du stator. Mesure de l'usure du stator	1 h	Q = Ref. 3005	Usure moyenne = 1.2 mm	180 €

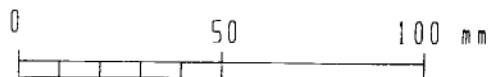
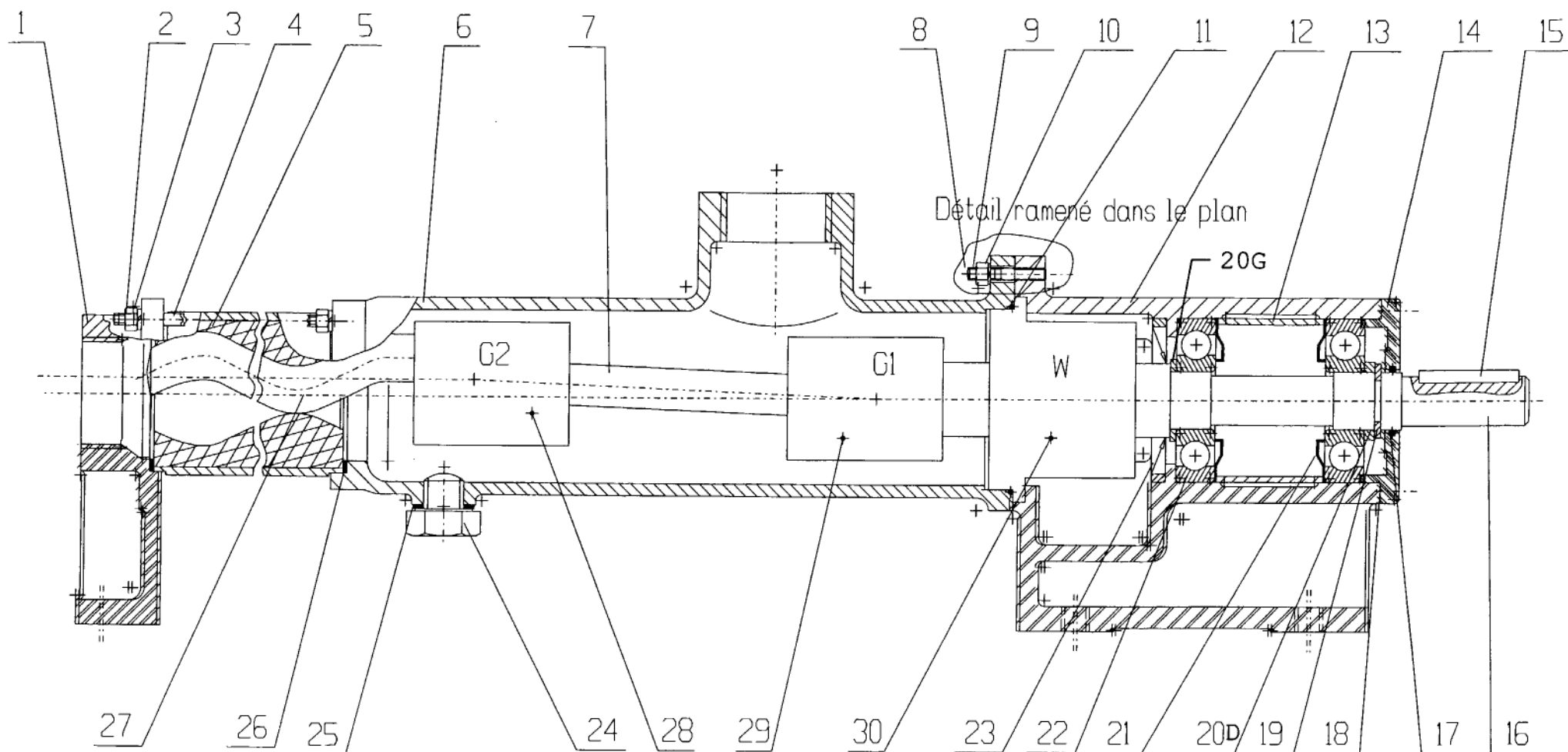
Fichier historique			Annexe N°5		
Marque :		Type : NE 015		N°5	
Equipement : Pompe Nemo					
Date	Désignation des travaux	Temps de réparation en h/mn	Pièces de rechange	Relevé des usures ...	Coût des pièces de rechange
septembre-01	Changement du joint Ref.8005	0 h 30	Q = Ref. 8005		1.5 €
avril-02	Changement de la plaque Ref. 3025. Mesure de l'usure du stator	1 h 30	Q = Ref. 3025	Usure moyenne = 0.85 mm	77 €
septembre-02	Changement du joint Ref. 8050	0 h 30	Q = Ref. 8050		1.5 €
mars-03	Changement du stator. Mesure de l'usure du stator	1 h	Q = Ref. 3005	Usure moyenne = 1.3 mm	180 €
novembre-03	Changement de l'ensemble arbre/presse étoupe. Mesure de l'usure (arbre)	2 h	Q = ensemble 3 et Ref. 1015	Usure moyenne = 0.1 mm	125 €

Fichier historique			Annexe N°6		
Equipement : Pompe Nemo		Marque :	Type : NE 015		
			N°6		
Date	Désignation des travaux	Temps de réparation en h/mn	Pièces de rechange	Relevé des usures ...	Coût des pièces de rechange
mars-01	Changement de 2 roulements	1 h	1 jeu Ref. 0020		23 €
novembre-01	Remplacement de l'anneau Ref. 8070 écrasé. Mesure du jeu de l'articulation.	1 h 30	Q = Ref. 8070	Jeu ovalisé 0.05 mm 0.15 mm	15 €
juin-02	Changement de la plaque Ref. 3025	1 h 30	Q = Ref. 3025		77 €
octobre-02	Changement du stator . Mesure de l'usure du stator	1 h	Q = Ref. 3005	Usure moyenne = 1.1 mm	180 €

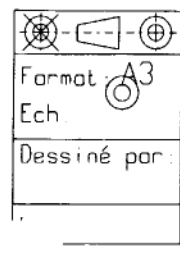
Fichier historique			Annexe N°7		
Equipement : Pompe Nemo		Marque :	Type : NE 015		
			N°7		
Date	Désignation des travaux	Temps de réparation en h/mn	Pièces de rechange	Relevé des usures ...	Coût des pièces de rechange
juillet-01	Changement de l'ensemble arbre/presse étoupe. Mesure de l'usure (arbre)	2 h	Q = ensemble 3 et Ref. 1015	Usure moyenne = 0.15 mm	125 €
janvier-02	Changement des deux roulements	1 h	1 jeu Ref. 0020		23 €
mai-02	Changement de l'articulation 1 et 2. Mesure du jeu de l'articulation.	1 h 30	Q = ensemble repéré 1 et 2	Jeu ovalisé 1.1 mm 1.3 mm	180 €

Fichier historique			Annexe N°8		
Equipement : Pompe Nemo		Marque :	Type : NE 015		
			N°8		
Date	Désignation des travaux	Temps de réparation en h/mn	Pièces de rechange	Relevé des usures en	Coût des pièces de rechange
mai-01	Changement de la plaque Ref. 3025. Mesure de l'usure du stator	1 h 30	Q = Ref. 3025	Usure moyenne = 0.15 mm	77 €
octobre-01	Changement du stator. Mesure de l'usure du stator	1 h	Q = Ref. 3005	Usure moyenne = 0.5 mm	180 €
avril-02	Changement de l'articulation 1 et 2. Mesure du jeu de l'articulation.	1 h 30	Q = ensemble repéré 1 et 2	Jeu ovalisé 0.9 mm 1.1 mm	180 €

30	1	PRESSE ETOUPE		
29	1	ARTICULATION type G1		
28	1	ARTICULATION type G2		
27	1	ROTOR		
26	1	JOINT COUTCHouc		
25	1	JOINT		
24	1	VIS DE VIDANGE H M8-10		
23	1	JOINT SPI		
22	2	ROULEMENT 17 BC 03		
21	2	JOINT NILOS		
20	1	RONDELLE M 18		
19	1	CIRCLIPS EXTERIEUR		
18	6	VIS Chc M5-12		
17	1	RONDELLE EN FEUTRE		
16	1	ARBRE		
15	1	CLAVETTE PARALLELE, forme C 6*6*25		
14	1	COUVERCLE		
13	1	ENTRETOISE		
12	1	CORPS PALIER		
11	1	JOINT TORIQUE		
10	4	RONDELLE GROWER 6		
9	4	ECROU H M6		
8	4	GOIJON M6-21 ? bm 9		
7	1	BIELLE		
6	1	CORPS DE POMPE		
5	1	STATOR		
4	4	TIRANT		
3	8	RONDELLE GROWER 6		
2	8	ECROU H M6		
1	1	TUBULURE D'EXTREMITE		
Rep	Nb	Désignation	Matière	Observation
		POMPE NEMO NE 15 A NETZSCH		
Le		N° DT 9		



ITANA

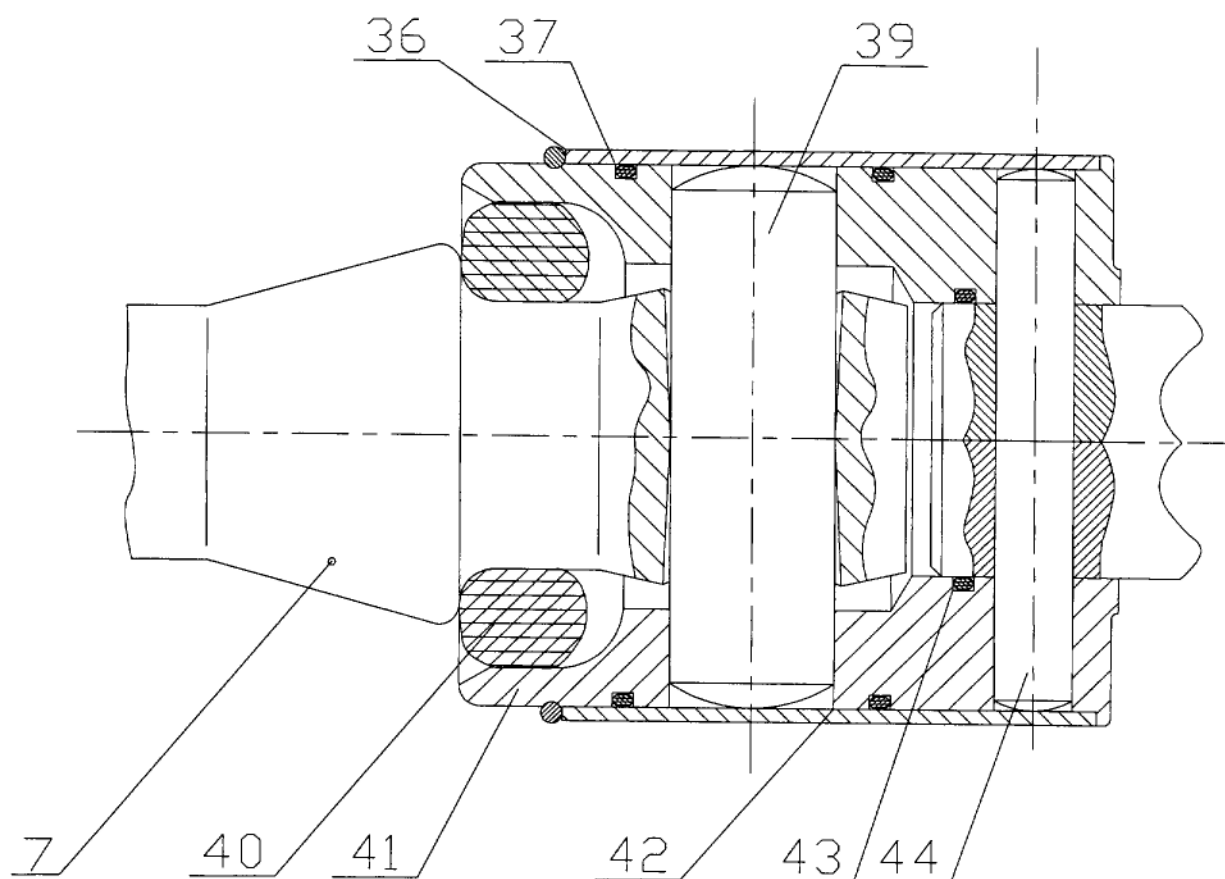


Pompe NEMO

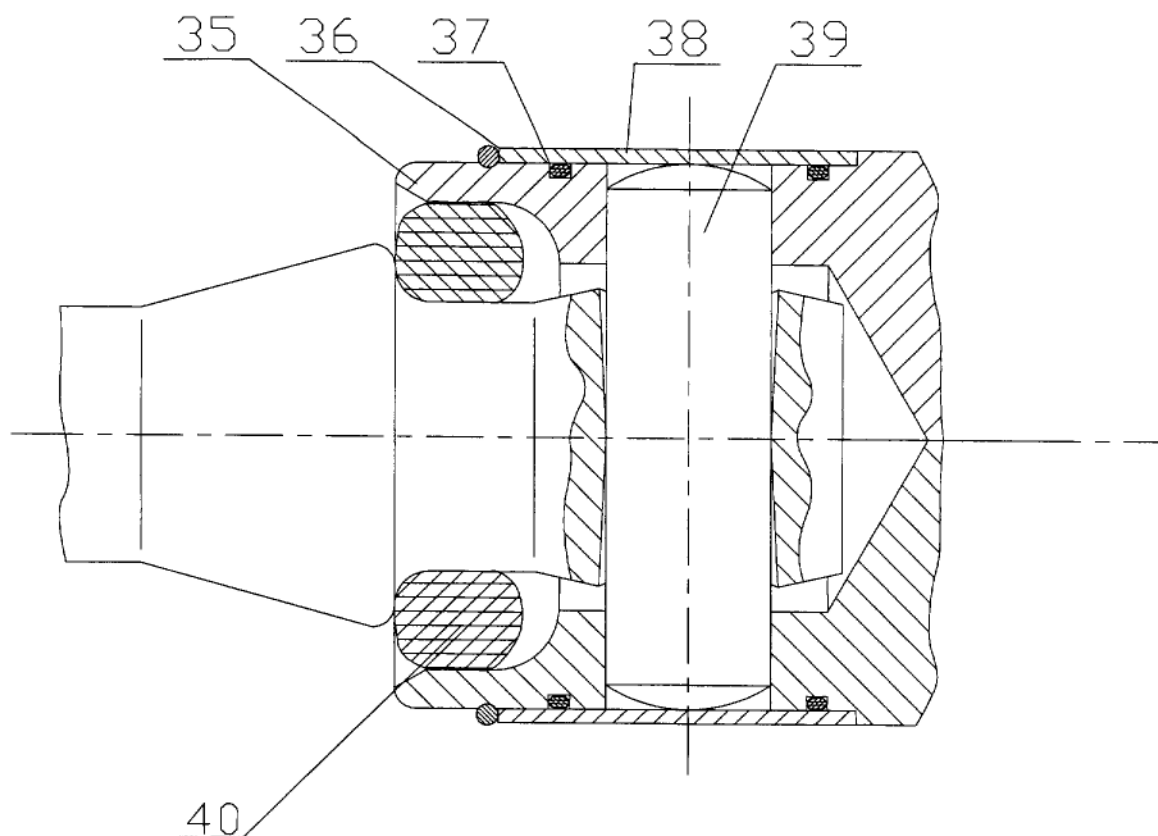
NE 15 A

NETZSCH

N° DT 10



44	1	Goupille			
43	1	Joint torique 20,35*1,78			
42	1	Douille de sureté G1			
41	1	Corps de l'articulation G1			
40	1	Joint torique 12,37*2,62			
39	1	Goupille			
37	2	Joint torique 37,69*3,53			
36	1	Anneau d'arrêt 36*1,5			
Rep	Nb	Désignation	Matière	Observation	Référence
		Pompe NEMO			
Format: A4		Articulation G1			
Ech. 2:1					
Dessiné par:		NETZSCH			
Le		N°DT 11			
		ITANA			



40	1	Joint torique 12,37*2,62			
39	1	Goupille			
38	1	Douille de sureté G2			
37	2	Joint torique 37,69*3,53			
36	1	Anneau d'arrêt 36*1.5			
35	1	Corps de l'articulation G2			
Rep	Nb	Désignation	Matière	Observation	Référence
  		Pompe NEMO			
Format: A4		Articulation G2			
Ech. 2:1					
Dessiné par:		NETZSCH			
Le		N°DT 12			

DOSSIER SUJET

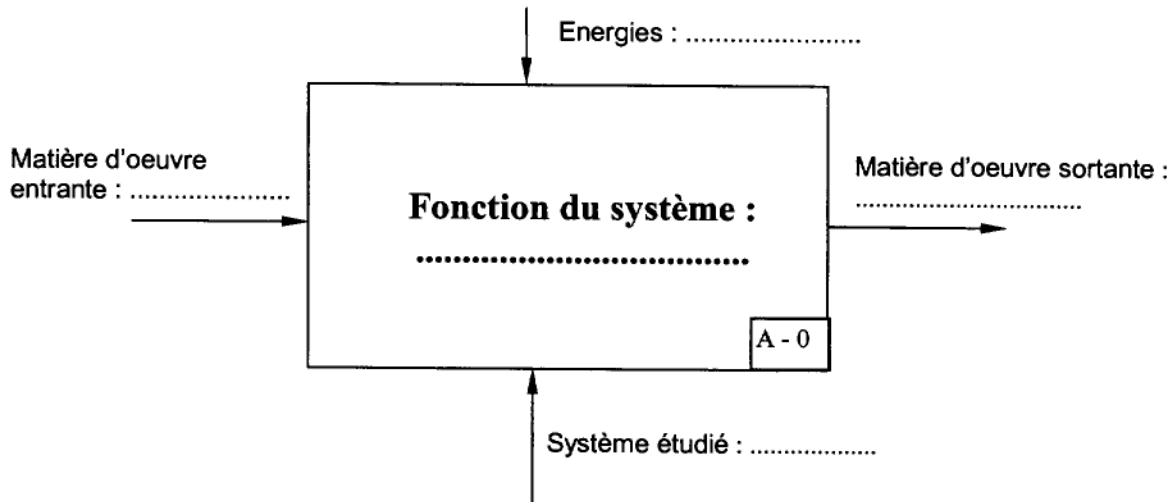
Dans cette partie, nous étudierons seulement la pompe NEMO du document DT9.

1 - ETUDE FONCTIONNELLE

Répondre sur document réponse DR1

Question 1 :

En vous aidant des documents du dossier technique, remplissez l'actigramme A-0 ci-dessous.



La pompe est constituée d'un ensemble de groupes fonctionnels de pièces dont les liaisons engendrent des mouvements possibles.

Répondre sur document réponse DR2

Question 2 :

Coloriez en :

- rouge : les pièces fixes et leurs repères
- bleu : le rotor seul de la pompe.

Répondre sur document réponse DR1

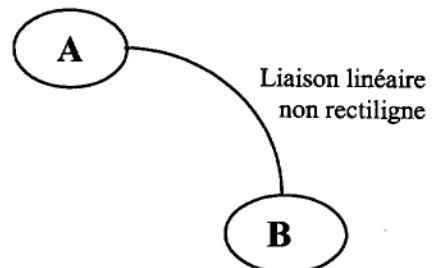
Question 3 :

Donnez les classes d'équivalence du mécanisme

A : {1 ;
B : {27 ;
C : {.....
...
...

Question 4 :

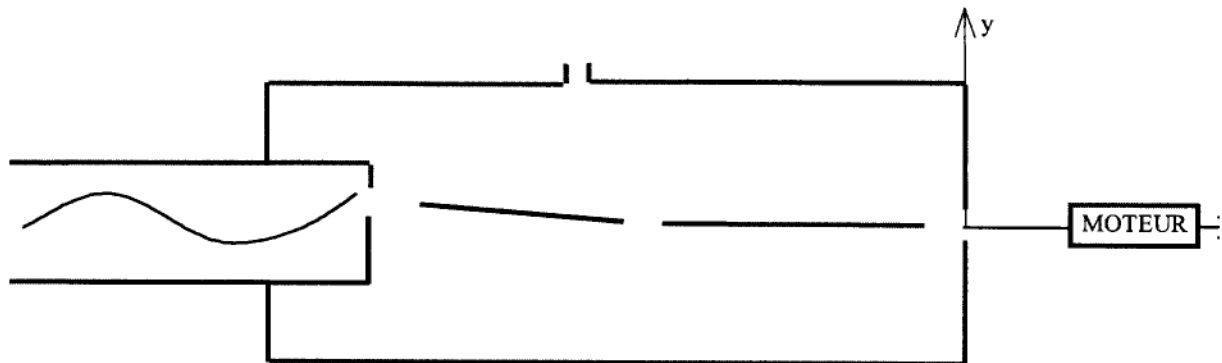
Etablissez le graphe des liaisons



Répondre sur document réponse DR2

Question 5 :

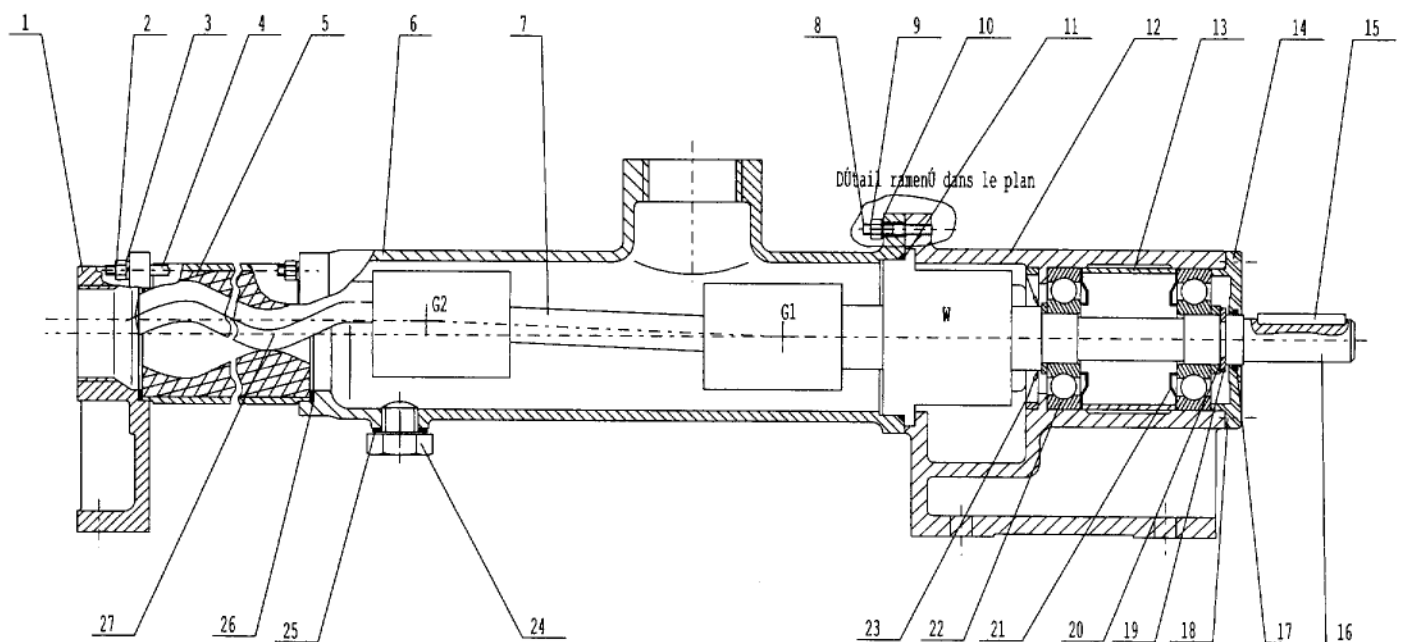
Complétez le schéma cinématique minimal suivant.



Répondre sur document réponse DR2

Question 6 :

Coloriez sur le dessin ci-dessous les volumes contenant le fluide pompé.



2 - Etude de la fonction technique FT2 : guider en rotation

Détermination de la charge axiale exercée par la pression du fluide sur le rotor.

Hypothèse:

- fluide semblable à de l'eau à 20°

Répondre sur document réponse DR3

Question 7 :

En vous aidant du dossier technique déterminez le nombre entier de palier que doit posséder la pompe pour refouler le fluide à 10 bars.

La pompe doit posséder :

Question 8 :

Déterminez en traçant sur l'abaque à partir de la vitesse de rotation, les vitesses du fluide (V_{gm}) et le débit théorique (Q_{th}) correspondant.

Remplir le tableau 1.
(page suivante : DR 4)

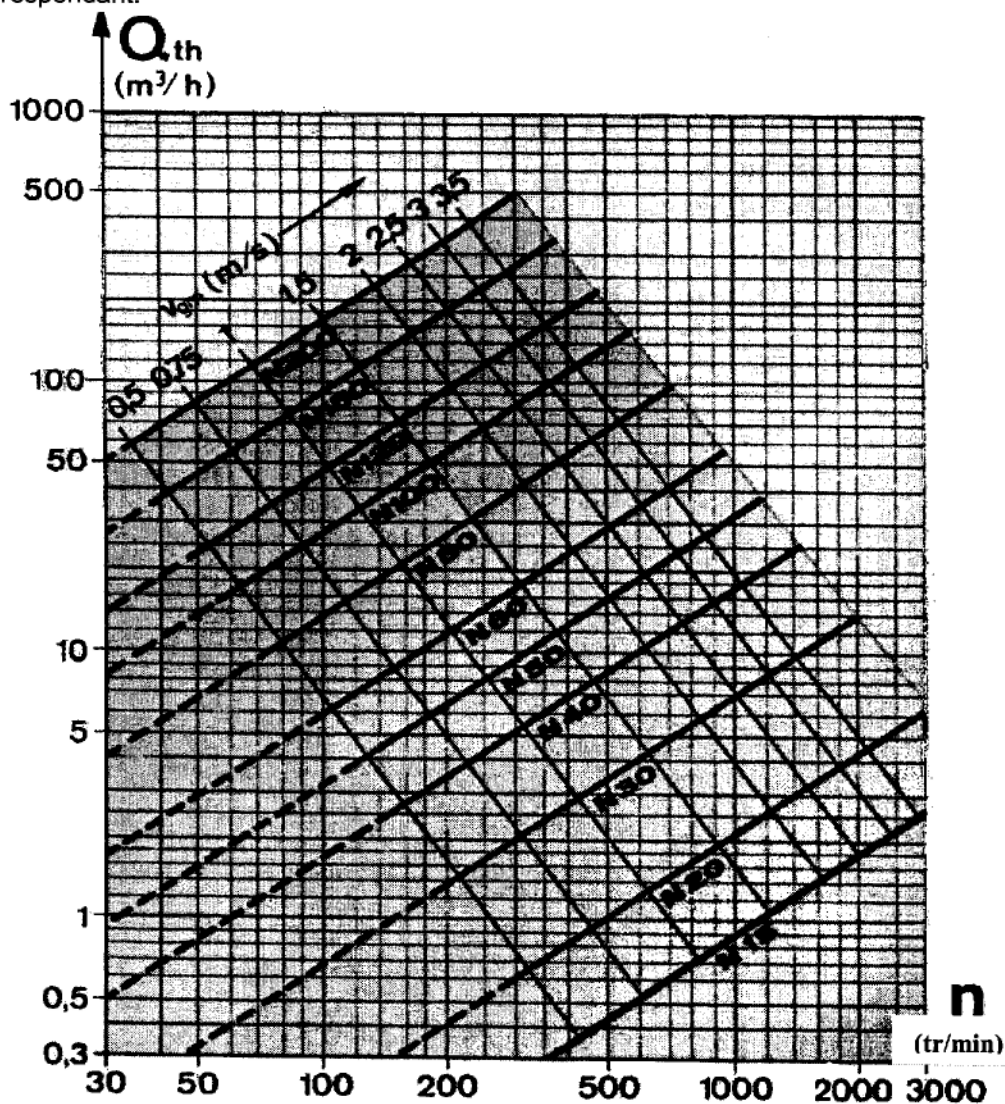


Tableau 1

	Nombre de tours (tr/mm)	Vitesse (Vgm)	Débit théorique (Qth)
Unités Relevés	tr/mn	m/s	m ³ /h
1	500		
2	1000		
3	2000		
4	3000		

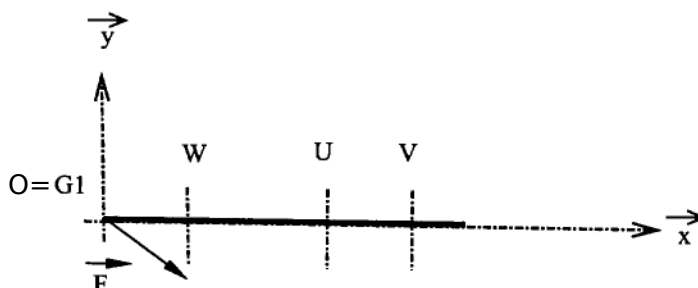
3 - Etude de la fonction technique FT1 : guider en rotation

Isolez l'ensemble : arbre d'entrée.

Hypothèses

- On considère le plan (x, y) plan de symétrie du mécanisme et on travaille dans le plan de symétrie du dessin d'ensemble.
- Liaisons parfaites.

On isole l'ensemble E={arbre d'entrée}



Cordonnées des points :

Unités en millimètres.

$$W \begin{pmatrix} 60 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$U \begin{pmatrix} 100 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$V \begin{pmatrix} 147 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Hypothèses :

- L'action du presse étoupe au point W est négligée devant les autres actions mécaniques.
- U et V sont les centres des roulements.

Torseur :

Unités en N et Nm.

$$\{T_{G1/E}\}_R = \left\{ \begin{array}{l} \vec{F}_{G1/E} = 1000\vec{x} - 700\vec{y} \\ \vec{M}_{G1} \vec{F}_{G1/E} = \vec{0} \end{array} \right\}_R$$

Répondre sur feuille réponse DR5

Question 9 :

Quel est le roulement qui supporte les efforts axiaux dirigés vers la droite ?

Le roulement qui supporte les efforts axiaux dirigés vers la droite est :
.....

Répondre sur feuille de copie

Question 10 :

Ecrivez les composantes des torseurs associés aux actions de liaisons de centre U et V

Répondre sur feuille de copie

Question 11 :

Étudiez l'équilibre de l'ensemble E (arbre d'entrée).
Déterminez toutes les composantes des torseurs précédents.

4 - Etude de la fonction technique 5 : Liaison bielle/arbre d'entrée

Répondre sur feuille de copie

Question 12 :

Quel est l'angle de rotulage de la bielle ?

L'excentricité entre la vis et l'arbre moteur est de 5 mm, la distance entre G1 et G2 (centre des liaisons) est de 128 mm.

Répondre sur feuille de copie

Question 13 :

Calculez la puissance hydraulique nécessaire pour le fonctionnement de l'usine

Répondre sur feuille de copie

Question 14 :

Calculez le rendement global du mécanisme

Données :

$$\eta_{\text{hydraulique}} = 0.9$$

$$\eta_{\text{mécanique}} = 0.7$$

Répondre sur feuille de copie

Question 15

Calculez la puissance du moteur nécessaire au fonctionnement du mécanisme.

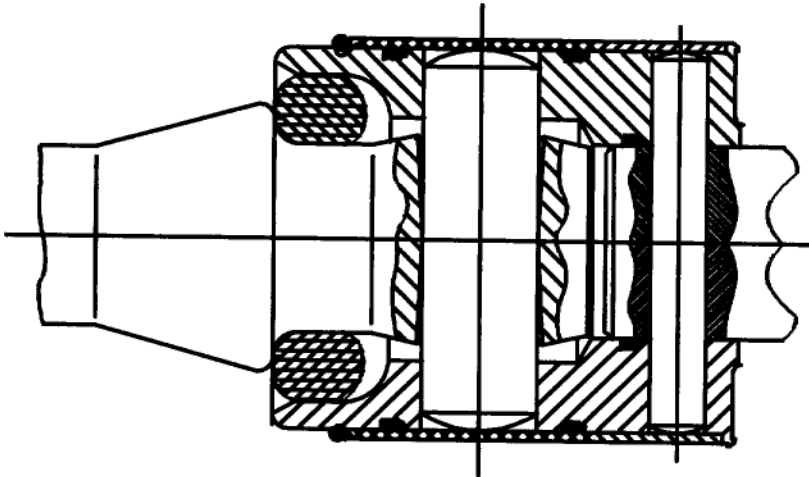
5 - Etude de la fonction technique FT5

Une étude du service maintenance à permis de décèler les problèmes sévères de maintenance.
Un des problèmes les plus coûteux est le changement de l'articulation G1 pour cause de casse de la goupille 44.

Répondre sur document réponse DR6

Question 16 :

Reperez en rouge sur le dessin de la feuille DR6 l'emplacement des surfaces cisailées.



Répondre sur feuille de copie

Question 17 :

Déterminez l'effort maximum admissible de cisaillement de la goupille 44.

Données :

La goupille 44 est en acier. Contrainte admissible au cisaillement : 120 N/mm^2

$\varnothing$ goupille 44 : 6 mm

Répondre sur feuille de copie

Question 18 :

A quel couple correspond cet effort de rupture ? Calculez le couple moteur maximum transmissible par la goupille 44.

Données :

$\varnothing$ arbre : 20 mm