

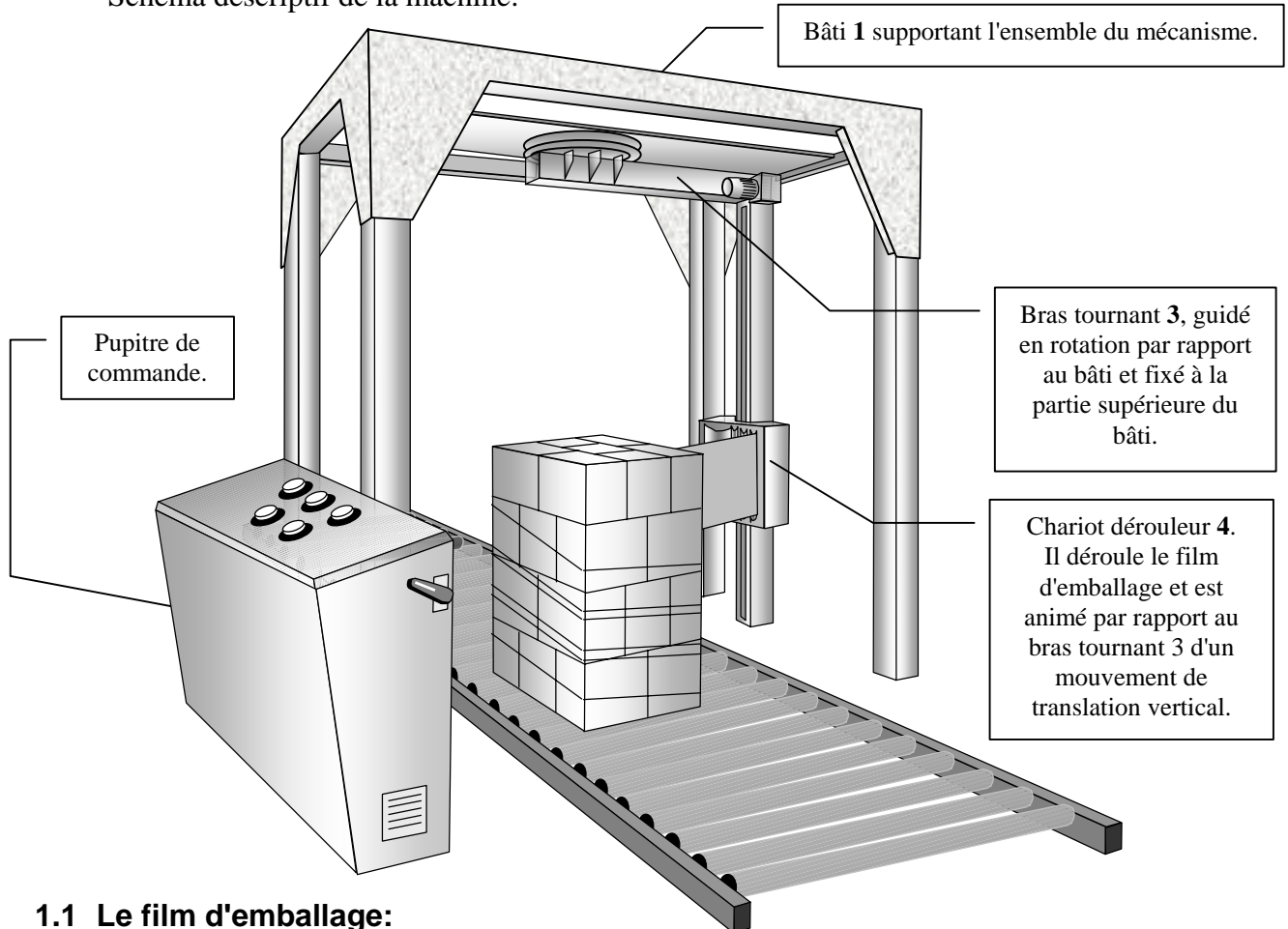
# **BANDEROLEUSE DE PALETTES**

## **1. Présentation**

La machine étudiée est une banderoleuse de palettes automatique à bras tournant.

Elle est destinée à la mise sous film plastique des produits déposés sur des palettes de manutention afin de les protéger et de faciliter leur manutention.

Schéma descriptif de la machine:



### **1.1 Le film d'emballage:**

C'est un film plastique, étiro-rétractable, présenté sous forme de bobine.

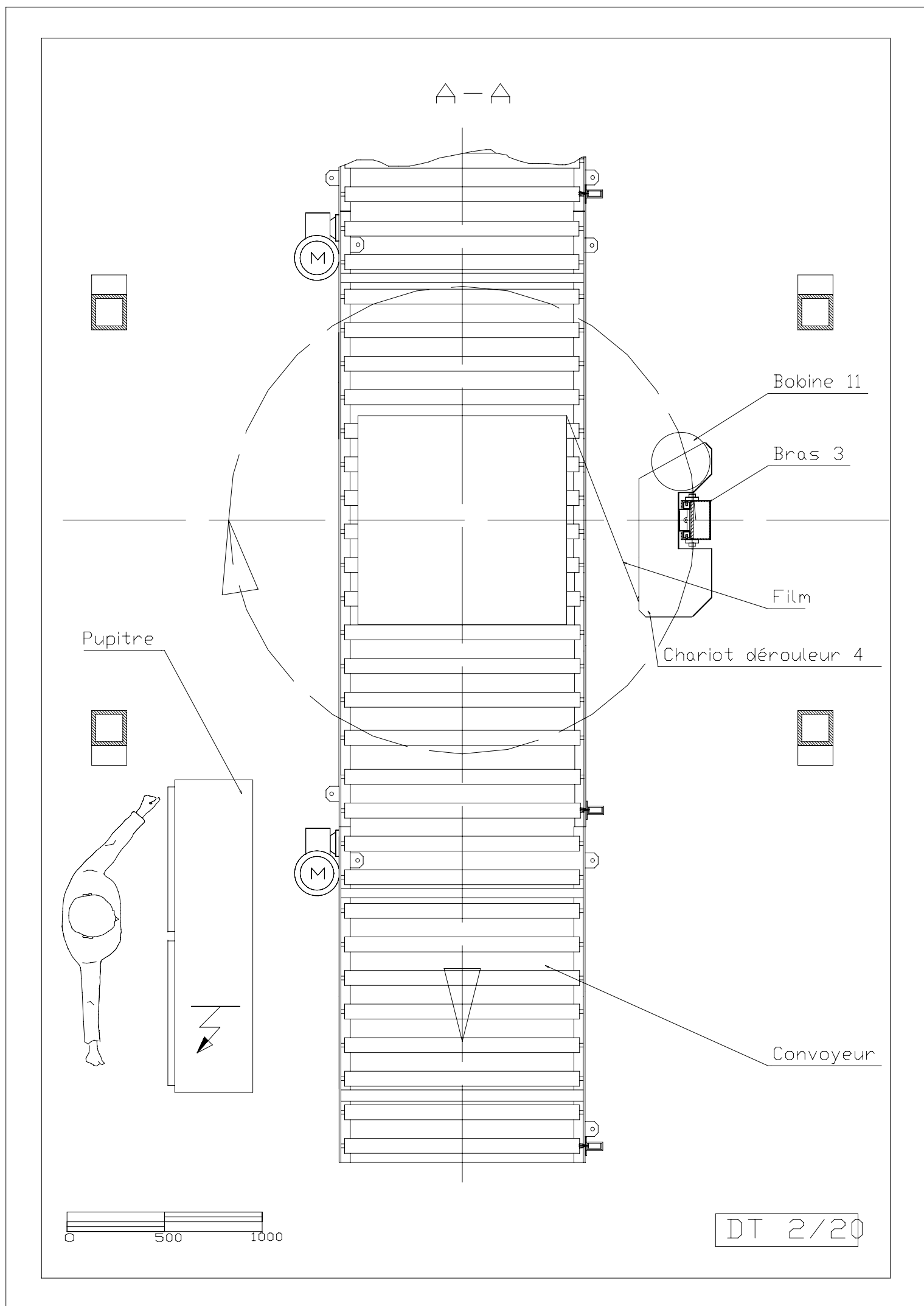
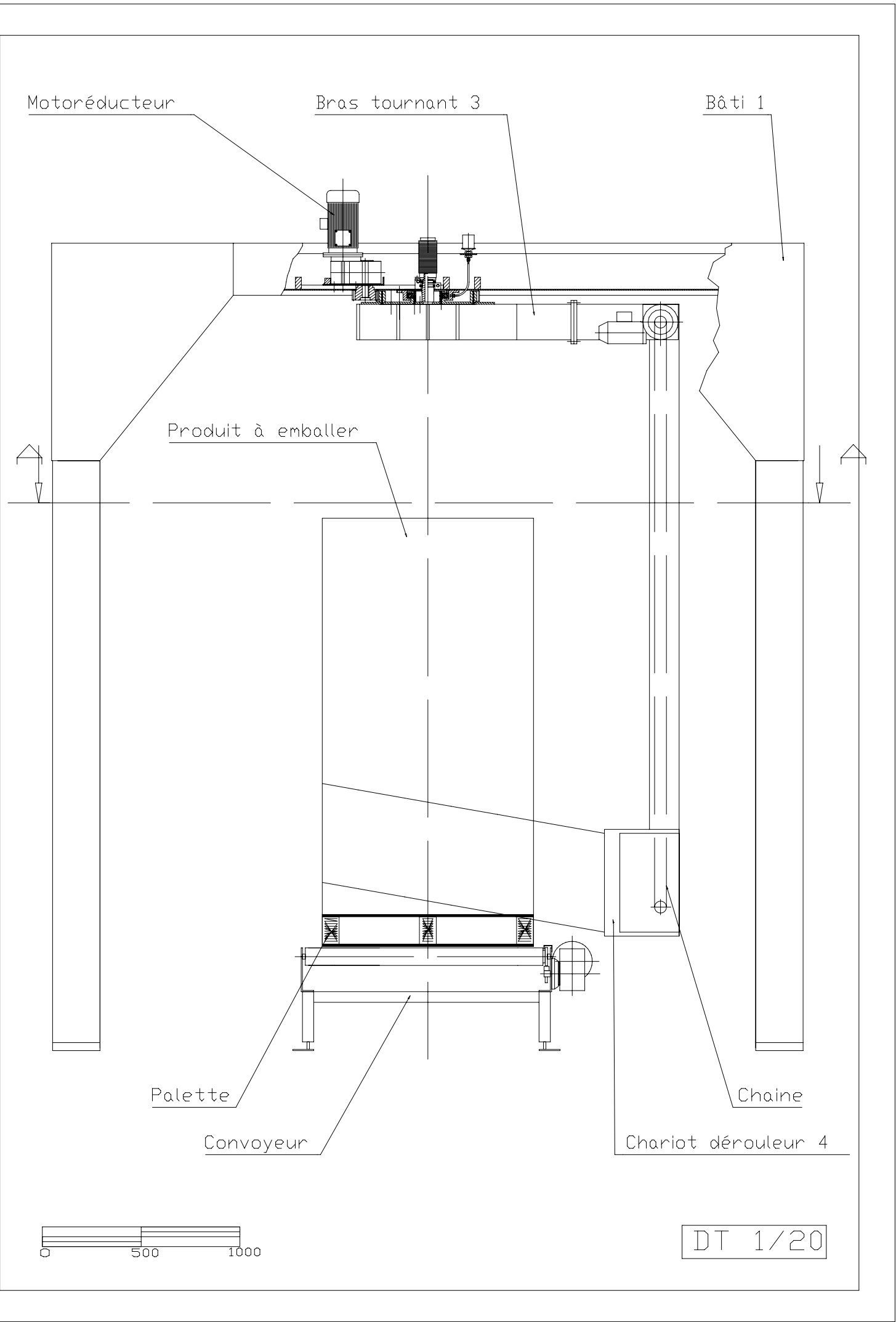
Le film, avant sa pose autour de la palette subit dans le chariot dérouleur 4 un pré-étirage qui augmente sa longueur dans des proportions variables entre 0 et 300 %.

Il conserve cette déformation pendant quelques minutes puis reprend partiellement sa longueur d'origine. On obtient ainsi un effet de serrage sur les produits emballés sans avoir d'efforts de traction pendant la pose autour de la palette ce qui permet d'emballer des produits légers ou fragiles.

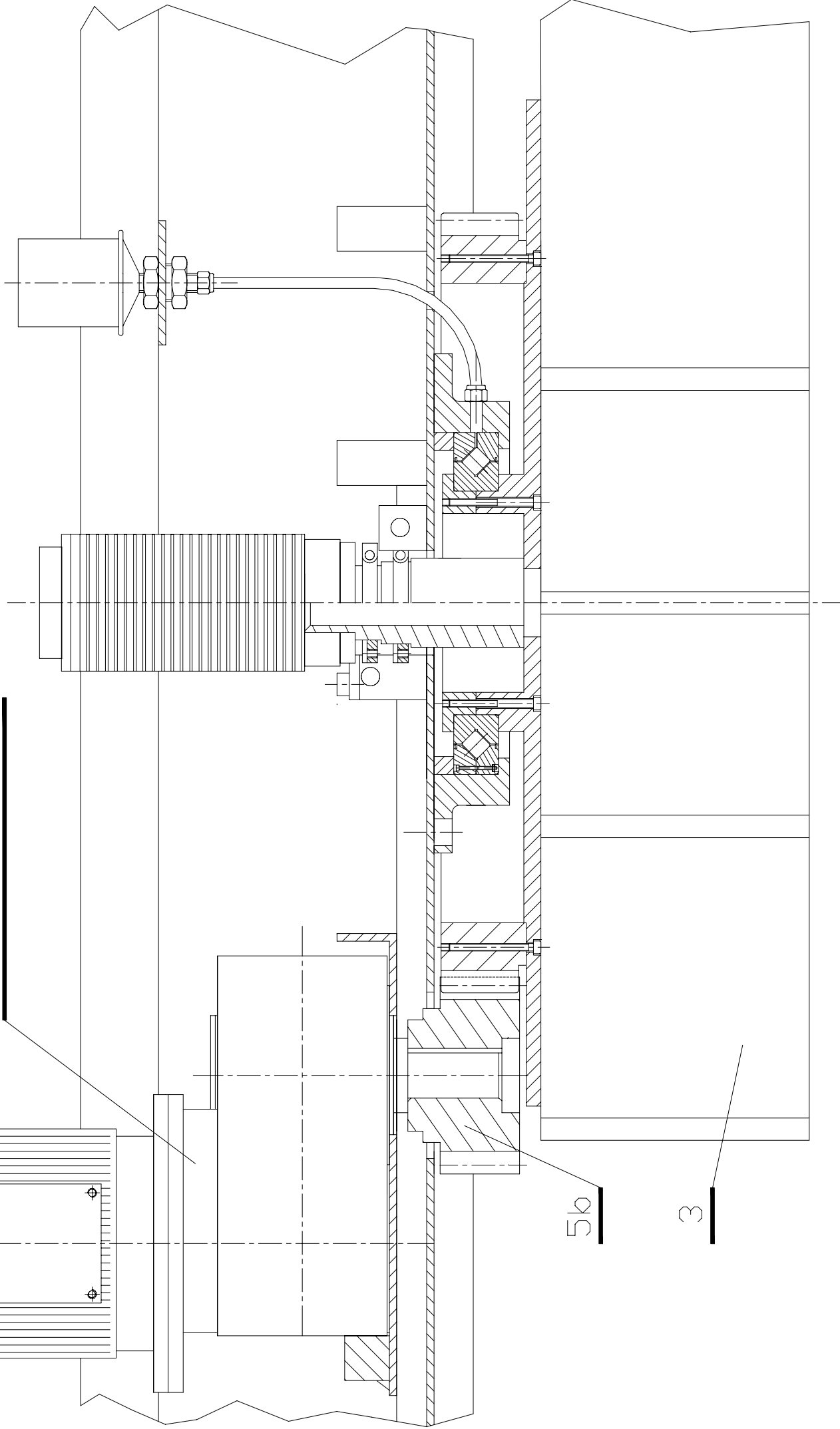
### **1.2 L'emballage d'une palette:**

Après dépose d'une palette dans la banderoleuse, le cycle de fonctionnement, géré par un automate programmable permet:

- la mise en route du bras tournant.
- la mise en place de quelques tours de film pré-étiré autour de la base des produits.
- l'enrubannage de la palette par déplacement ascendant du chariot dérouleur le long du bras tournant.
- la détection du haut de la palette et la mise en place de quelques tours de film.
- l'enrubannage de la palette lors de la descente du chariot dérouleur jusqu'à sa position basse.
- la découpe du film.



Motoréducteur



5b

3



D-D

3

19

20

6

11

10

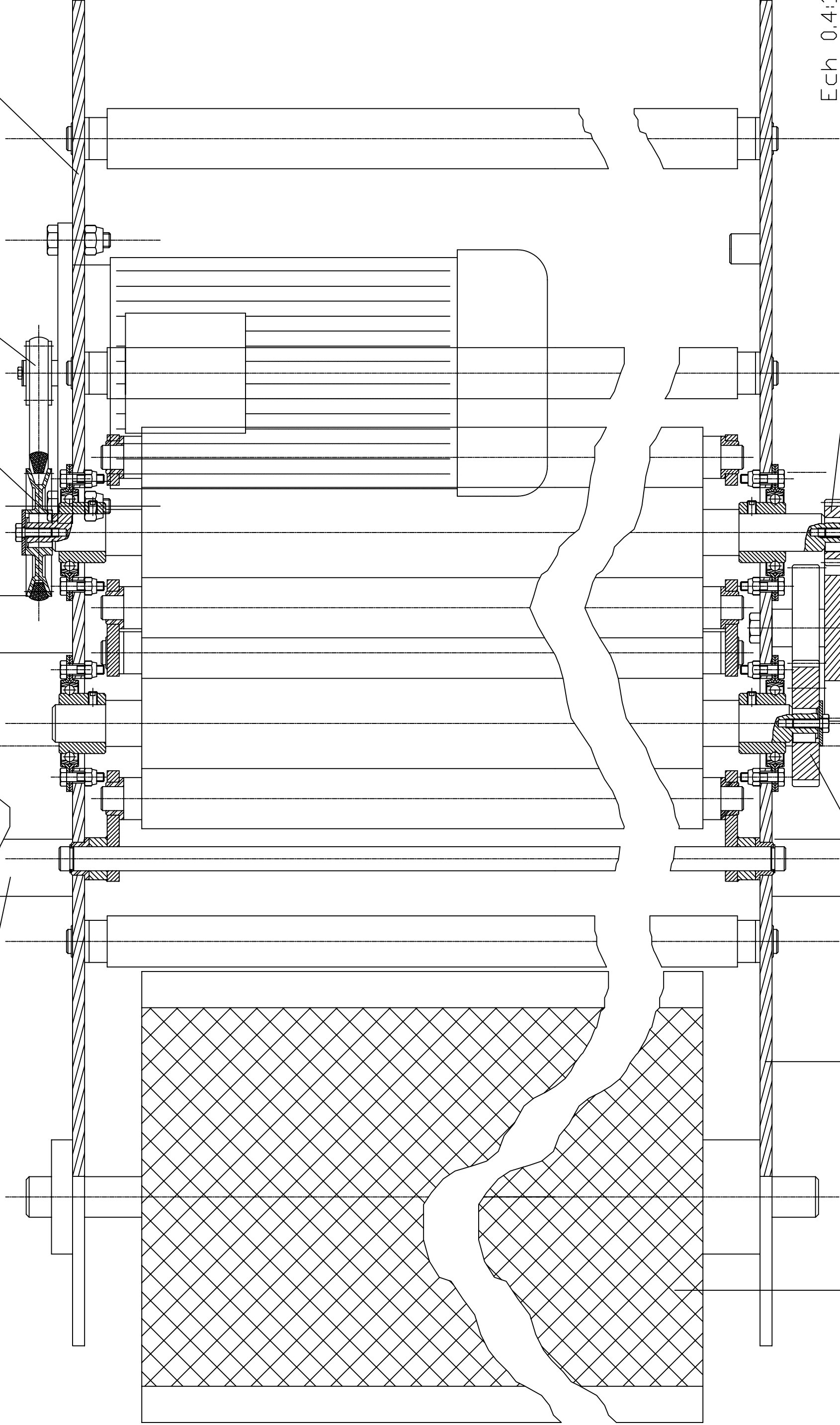
9a

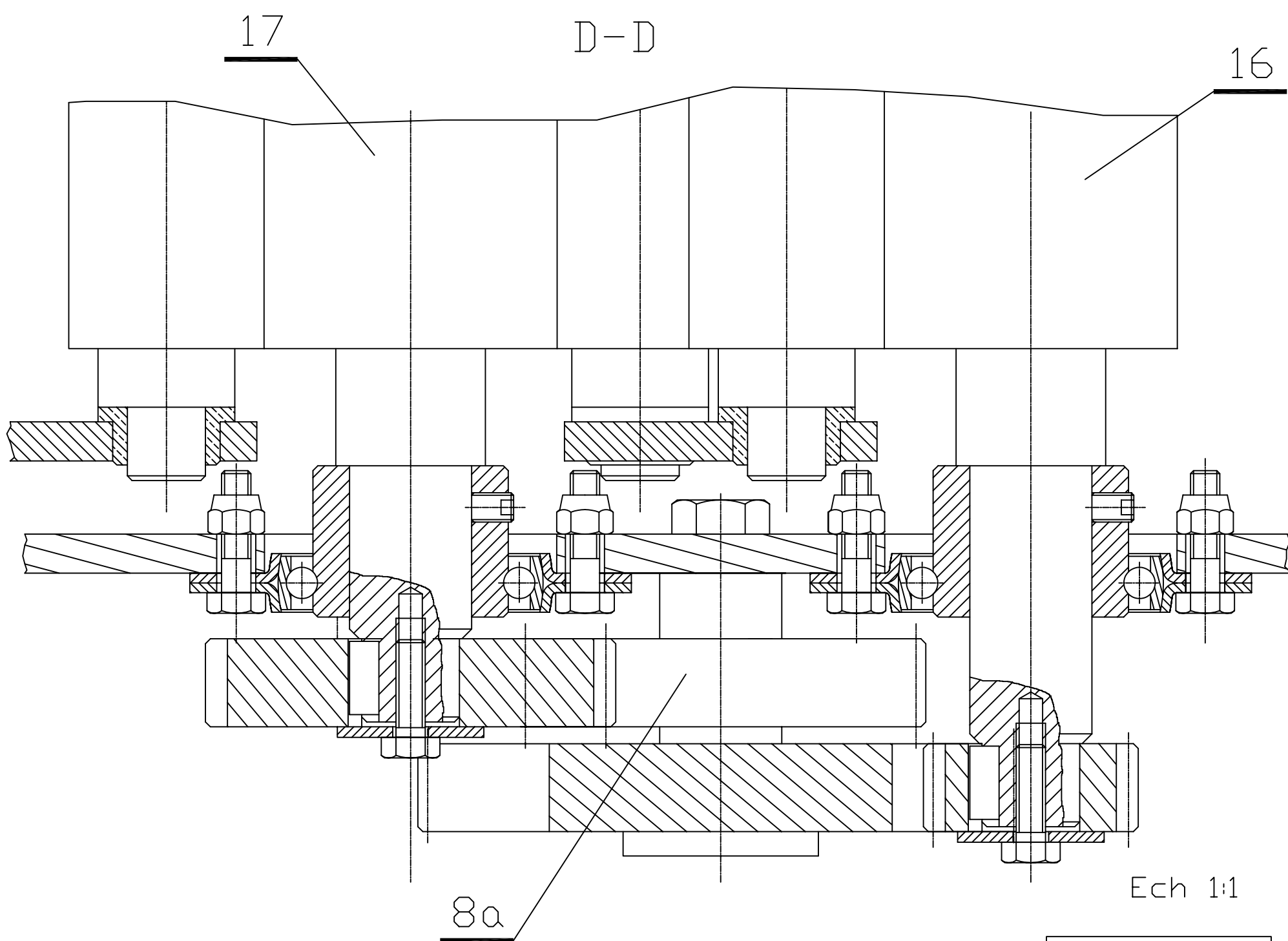
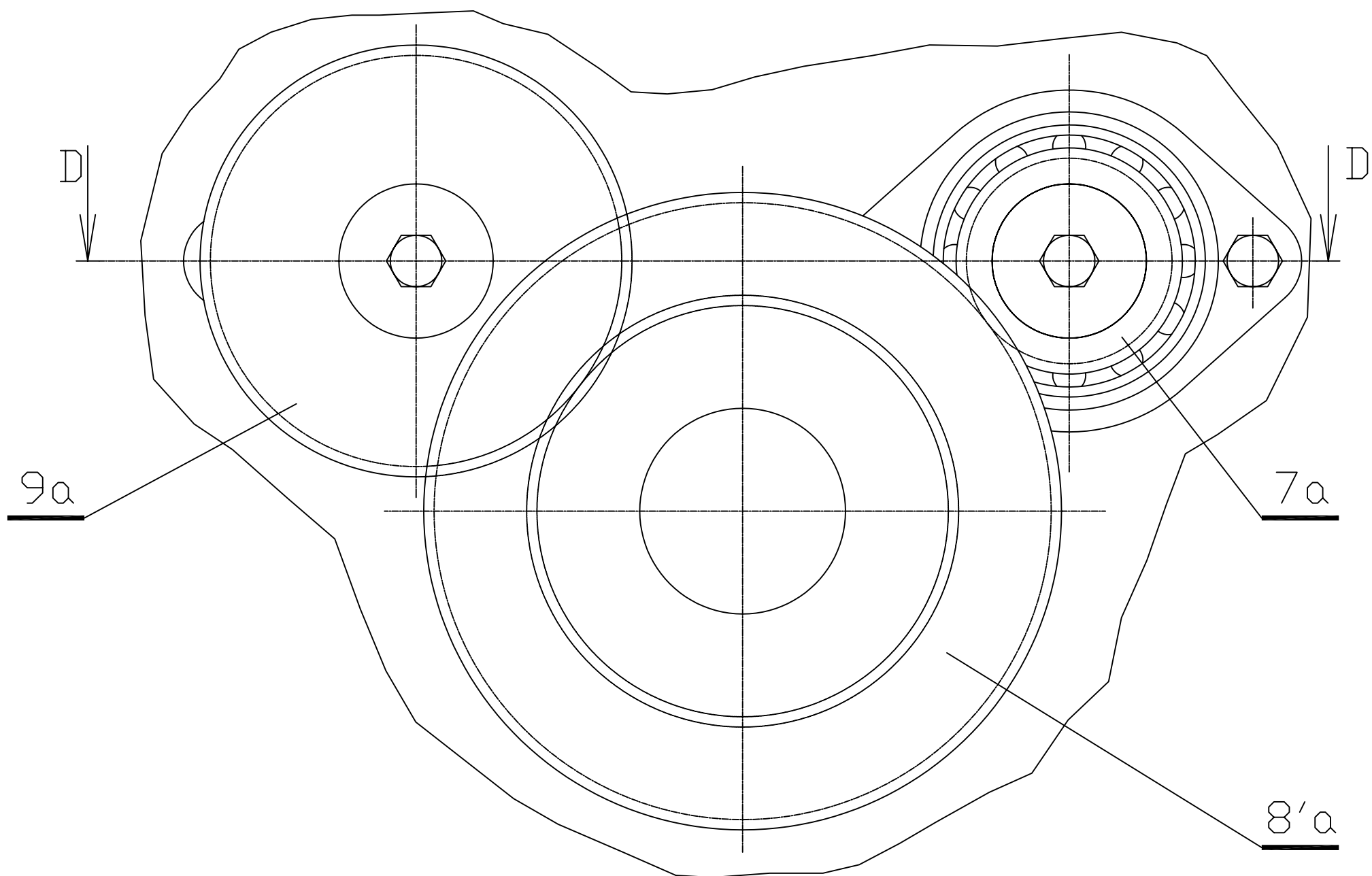
8'a

7a

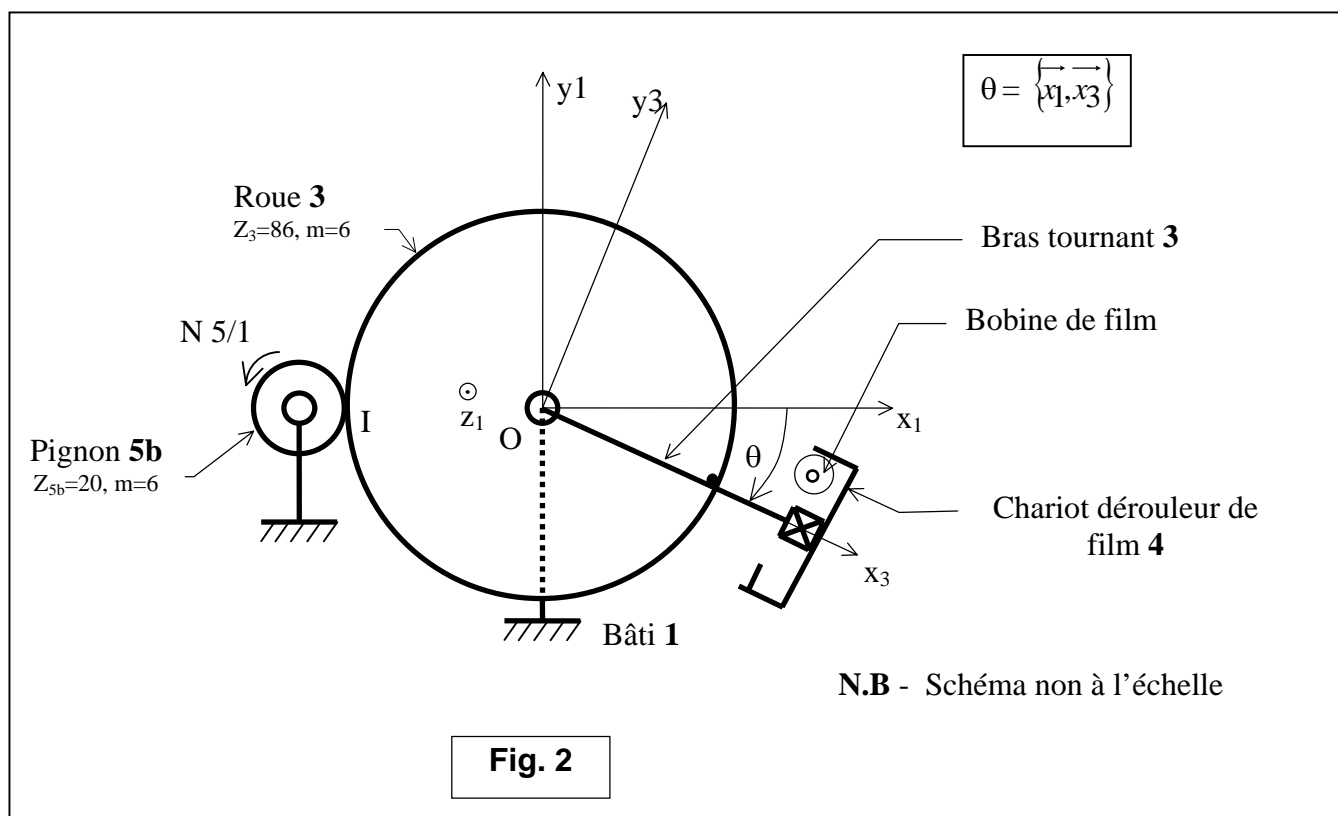
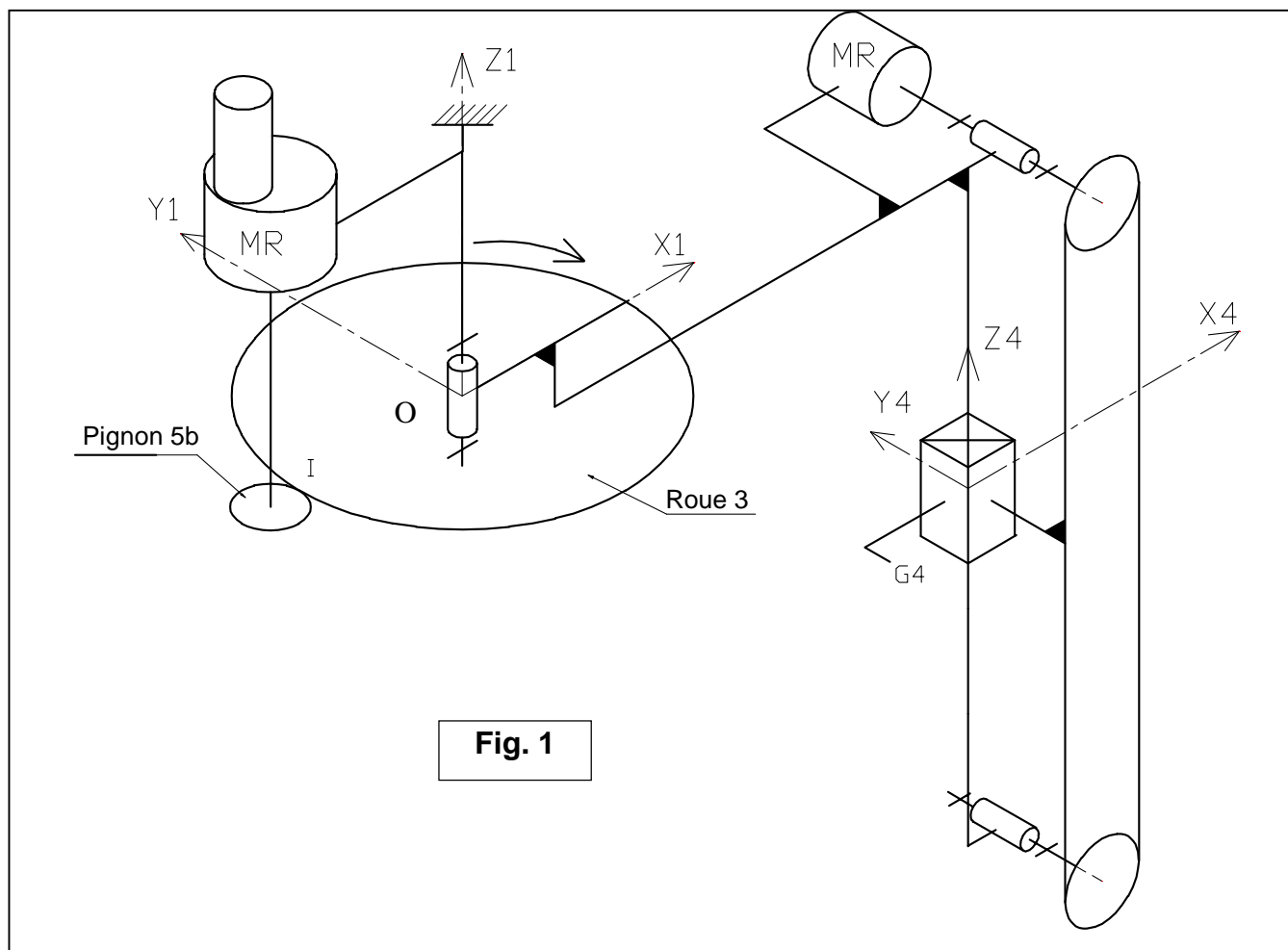
Ech 0,4:1

DT 5/20

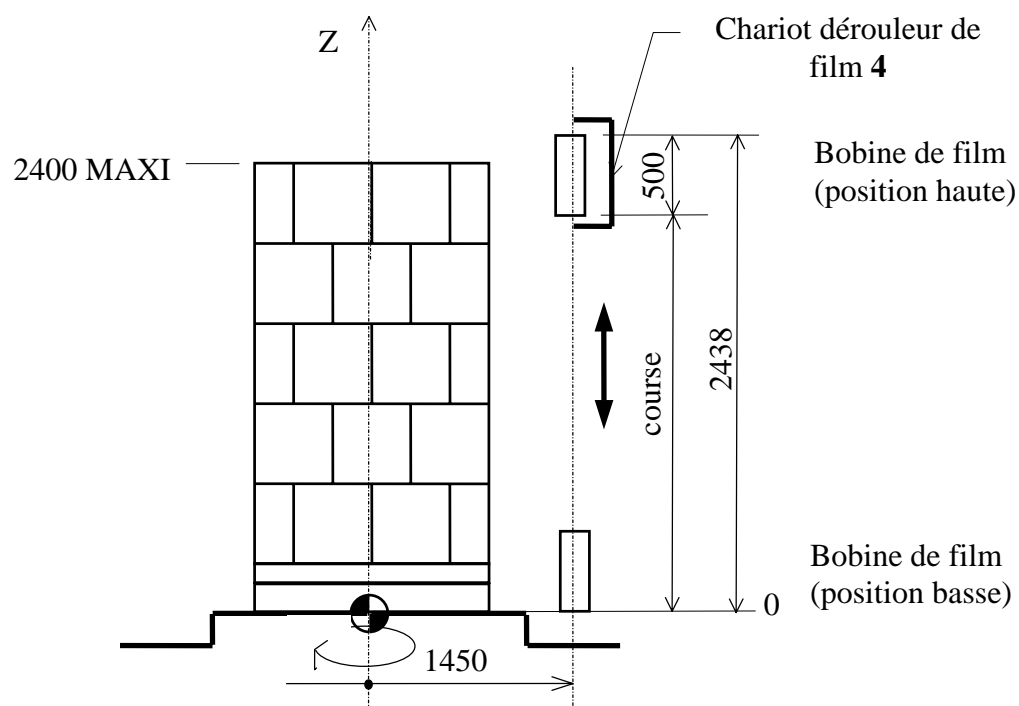




21	1	Roulement à rouleaux croisés				
20	1	Poulie motrice				
19	1	Poulie réceptrice				
18	1	Rouleau tendeur du bras danseur				
17	1	Rouleau récepteur				
16	1	Rouleau moteur				
15	1	Bloc presseur (position ouverte en vue fantôme)				
14	1	Vérin du bras danseur				
13	1	Bras danseur (position haute en vue fantôme)				
12	1	Film				
11	1	Bobine de film				
10	1	Plaque support inférieure				
Jeu de pignons système de pré-étirage:			a	b	c	d
9	1	Pignon récepteur ; $m = 2$	$Z_{9a} = 40$	$Z_{9b} = 32$	$Z_{9c} = 47$	$Z_{9d} = 40$
8'	1	Pignon intermédiaire 2 <sup>ème</sup> étage	$Z_{8a} = 60$	$Z_{8b} = 60$	$Z_{8c} = 59$	$Z_{8d} = 40$
8	1	Pignon intermédiaire 1 <sup>er</sup> étage	$Z_{8a} = 40$	$Z_{8b} = 48$	$Z_{8c} = 33$	$Z_{8d} = 40$
7	1	Pignon moteur ; $m = 2$	$Z_{7a} = 20$	$Z_{7b} = 20$	$Z_{7c} = 21$	$Z_{7d} = 40$
6	1	Plaque support supérieure				
5b	1	Pignon de sortie du motoréducteur				
5a	1	Roue dentée motoréducteur				
4	1	Chariot dérouleur de film				
3	1	Bras tournant de banderolage				
2	1	Pignon moteur				
1	1	Bâti				
Rep	Nb	Désignation				
<b>Banderoleuse à bras tournant "SFEIMA"</b>						

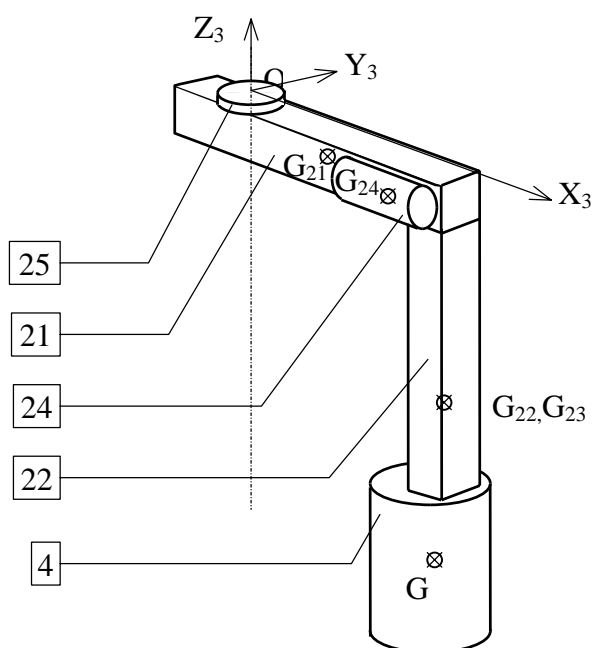


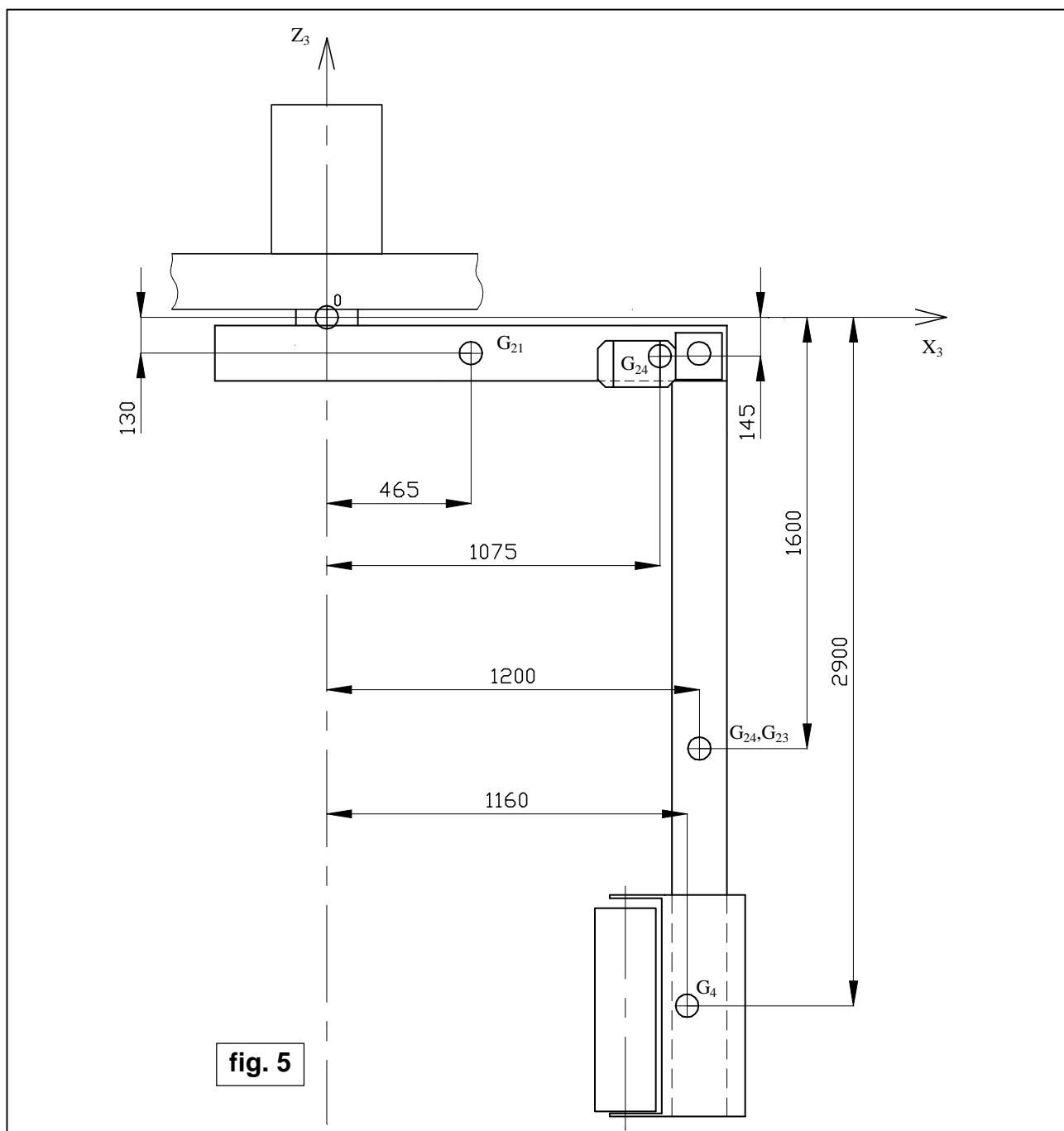
**Fig. 3**



	Solide	Modélisation	Dimensions	Masses
21	Bras supérieur	Poutre rectangulaire	( $L=1600 \times l=200 \times h=180$ )	$m_{21} = 50 \text{ kg}$
22	Bras vertical	Poutre rectangulaire	( $L=2550 \times l=200 \times h=150$ )	$m_{22} = 60 \text{ kg}$
23	Système pignons/chaîne	masse pesante		$m_{23} = 5 \text{ kg}$
24	Motoréducteur	Cylindre	( $L=400 \times R=100$ )	$m_{24} = 8 \text{ kg}$
25	Couronne d'entraînement	Cylindre	( $H=50 \times R=200$ )	négligée
4	Chariot dérouleur de film	Cylindre	( $L=600 \times R=400$ )	$m_4 = 77 \text{ kg}$

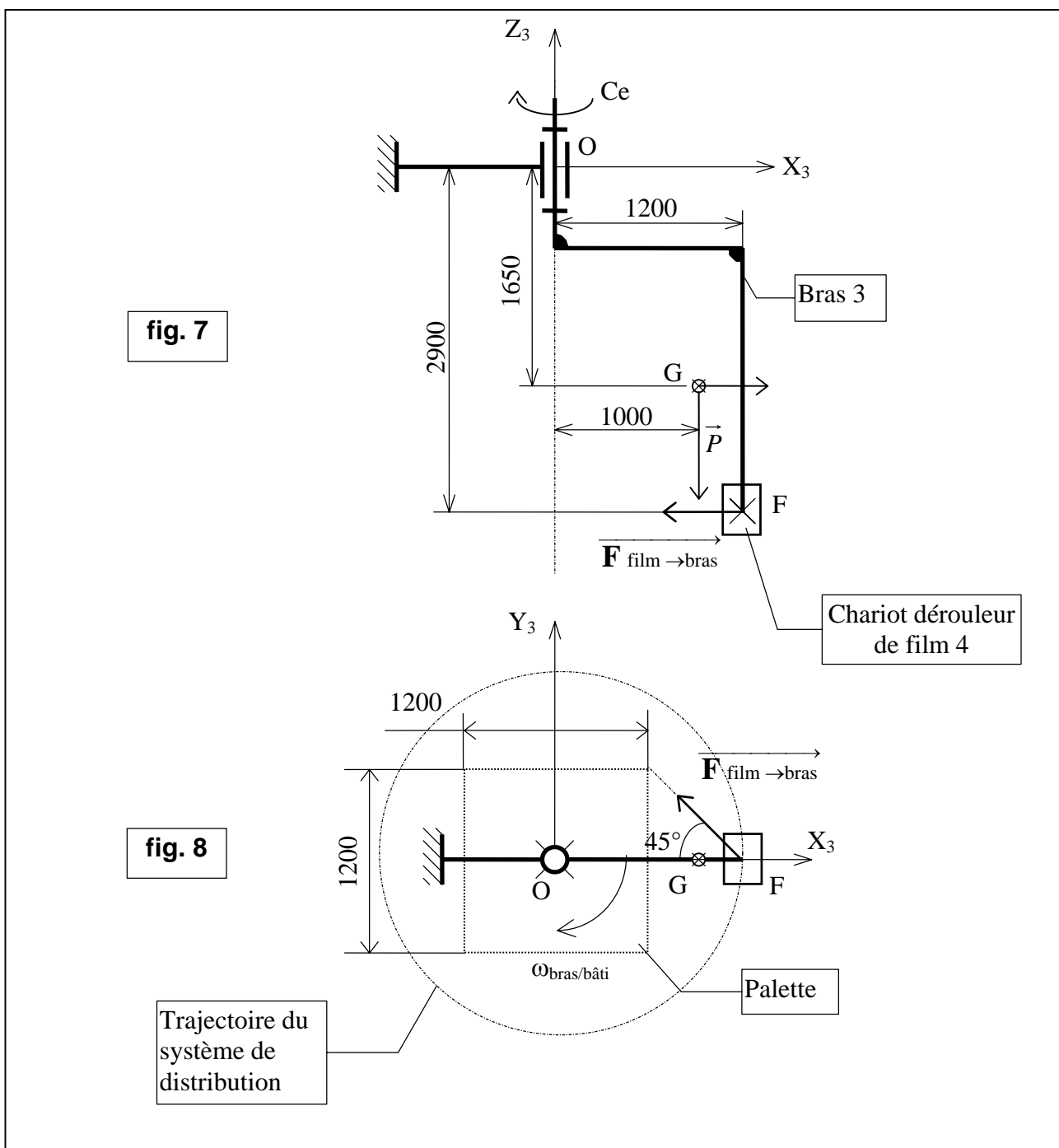
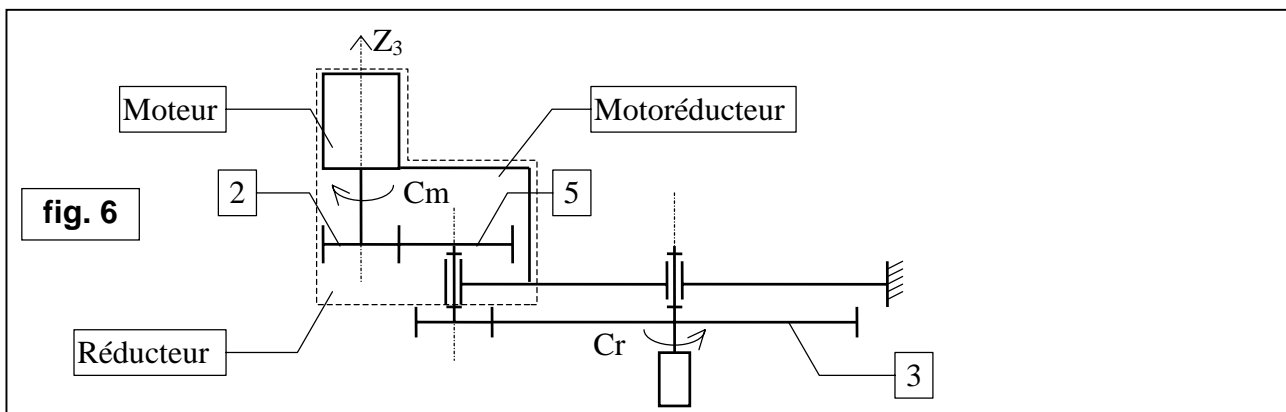
**fig. 4**





Rappels: moments d'inertie pour des volumes simples de masse  $m$

Cylindre plein	Barre pleine, section négligeable	Tige pleine, section négligeable
$I_{Gz} = \frac{m.R^2}{2}$	$I_{Gz} = \frac{m.L^2}{12}$	$I_{Gz} = \frac{m.L^2}{12}$



## OBJECTIFS DE L'ETUDE :

La modification des paramètres de banderolage pour améliorer l'étanchéité de l'emballage, l'utilisation de bobines de film de plus grande capacité, l'amélioration du dispositif de régulation de la tension de pose du film, l'objectif d'élimination de certains défauts, conduisent le service de maintenance à reprendre l'étude d'un certain nombre d'éléments de la machine en vue de satisfaire aux nouvelles contraintes de la production.

### 1. Étude du cycle de banderolage

**Voir Figures 1, 2 et 3 DT 8/11 et DT 9/11.**

Le bras **3** portant la bobine de film est entraîné en rotation avec une rampe d'accélération de durée 2s, réglée par un potentiomètre. (voir la représentation graphique partielle du cycle sur document **DR 1/4**).

A la fin de la phase d'accélération, le bras **3** tourne à la fréquence de rotation  $N_{3/1} = 37,5$  tr/min. dans le repère  $(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$  lié au bâti de la machine et dans le sens rétrograde de ce repère.

A l'instant  $t_2 = 7.4$  s, le bras **3** a parcouru 4 tours depuis le démarrage et on déclenche alors le déplacement vertical du chariot dérouleur **4** avec une rampe d'accélération qui dure 0.6s. La vitesse maximale atteinte est alors :

$$\|\vec{V}_{G4,4/3}\| = 170 \text{ mm.s}^{-1}$$

La course de celui-ci est indiquée par la *figure 3* du document **DT 9/11**.

A l'approche de la position Haute, le chariot **4** décélère pendant 0.6s jusqu'à l'arrêt.

Au bout de 3 tours de bras, le chariot **4** redescend avec une loi de vitesse symétrique de celle de la montée (voir graphe sur document **DR 1/4**) jusqu'à l'arrêt en position basse.

A l'instant  $t_9$ , le bras **3** ralentit sur un tour pour atteindre une fréquence de rotation nulle à la position initiale ( $\theta = 0^\circ$ ).

Le temps cumulé de chargement/déchargement d'une palette sur la machine est de **32,6 s** (hors durée de la pose du film).

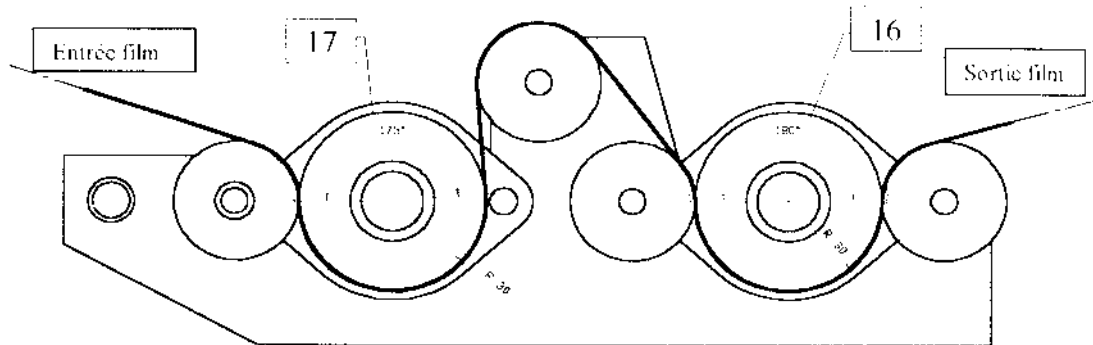
répondre sur document réponse **DR 1/4**.

N.B. : les questions 1.1, 1.2 et 1.3 peuvent être traitées indépendamment, seule la question 1.4 dépend des précédentes.

- 1.1 Calculer l'intervalle de temps  $t_5 - t_2$  nécessaire au chariot **4** pour effectuer sa phase de montée.
- 1.2 Calculer l'intervalle de temps  $t_6 - t_5$  pendant lequel le chariot **4** reste en position haute pendant 3 tours du bras.
- 1.3 Calculer l'intervalle de temps  $t_{10} - t_9$  pendant lequel le bras **3** ralentit pour se retrouver en position initiale.
- 1.4 En déduire le temps d'un cycle et calculer le nombre de palettes traitées à l'heure.

## 2. Système de pré-étirage et régulation de la tension de pose du film

Le pré-étirage du film est obtenu par la différence de fréquence de rotation entre les deux rouleaux d'entraînement **16** et **17** (voir **DT 4/11**, **5/11**, **6/11** et **7/11**) et schéma ci-dessous.



Ce pré-étirage n'est possible que si le film est soumis à sa sortie à une tension minimale nécessaire pour éviter son glissement sur le rouleau **16**.

Cette tension n'est autre que la tension de pose  $t$  du film sur les produits à emballer.

Si la tension de pose s'écarte trop de la valeur de consigne, un dispositif appelé « bras danseur » **13** sur lequel agit le vérin **14** (voir document **DR 2/4**) pivote légèrement autour de sa position d'équilibre (Axe de pivotement  $O$ ,  $\vec{Z}_5$ ).

Grâce à un capteur de position l'informant sur la position du bras, l'automate modifie la fréquence de rotation du moteur d'entraînement des deux rouleaux de pré-étirage **16** et **17**.

Les deux rouleaux continuent d'assurer la même valeur de pré-étirage, mais par une variation de vitesse de l'ensemble, délivrent plus ou moins de film, régulant ainsi la tension de pose à la valeur  $t$  quasiment constante.

### Etude d'approche du comportement du bras danseur dans une position caractéristique de son fonctionnement

Dans la position d'étude, on cherche à déterminer la relation entre l'effort développé par le vérin que l'on notera  $F$  et la tension de pose du film notée  $t$ .

On supposera que  $\|\vec{t}\| = \|t\|$ .

Le poids de chaque élément étant modélisable par un glisseur d'axe parallèle à  $(O, \vec{Z}_5)$ , l'étude d'approche sera conduite en modélisation plane dans  $(O, \vec{X}_5, \vec{Y}_5)$ , en négligeant le poids des éléments.

Les liaisons sont supposées parfaites et sans frottement.

répondre et utiliser le document réponse **DR 2/4**.

2.1 Isoler le vérin (**14** + **14'**) et en déduire certaines informations relatives aux actions mécaniques.

2.2 Isoler le rouleau **18** et en déduire certaines informations relatives aux actions mécaniques.

2.3 Isoler le bras danseur, puis appliquer le principe fondamental de la statique pour calculer le rapport  $\|\vec{t}\|/\|F\|$  dans la position considérée.

(On préconise une méthode graphique mais la méthode analytique reste possible).

### 3. Prédétermination du moteur d'entraînement

#### 3.1 Calcul du moment d'inertie global du bras tournant.


On modélisera le bras de banderolage comme un assemblage de volumes élémentaires suivant la *figure 4* du document **DT 9/11**.

Les différentes côtes concernant les centres de gravité respectifs des différents solides seront relevées sur le document **DT 10/11** *figure 5*. On supposera tous les centres de gravité sont dans le plan  $(\vec{x}_3, \vec{z}_3)$ , les masses sont données dans le tableau du document **DT 9/11**.

Un rappel sur les moments d'inertie de solides élémentaires figure sur le document

**DT 10/11** et on donne ci-après le principe du calcul du moment d'inertie à partir du théorème de Huyghens.

	Par rapport à l'axe $(G, \vec{z})$	$\rightarrow$	Par rapport à l'axe $(O, \vec{z})$ distant de $r$
Solide	$J_{Gz}$	$+ m.r^2$	$J_{Oz} = J_{Gz} + m.r^2$

 répondre sur document réponse **DR 3/4**, dans les cases encadrées.

3.1.1 Compléter le tableau en calculant les moments d'inertie manquants.

3.1.2 Calculer le moment d'inertie global de l'ensemble par rapport à l'axe  $(O, \vec{z})$


#### 3.2 Calcul de la puissance à développer pour mettre le bras 3 en rotation

La figure 6 du document **DT 11/11** représente, dans son principe, la chaîne cinématique d'entraînement du bras 3, mais à ce stade d'étude, les caractéristiques précises du moteur et du réducteur ne sont pas connues.

Le cahier des charges impose que le bras 3 atteigne une fréquence de rotation de 37,5 tr/min au bout de 1,5 s.

Hypothèses :

- La tension de pose du film est sensiblement constante et égale à 55 N. On supposera que la distance entre l'axe du glisseur  $\vec{F}_{film \rightarrow bras}$  et l'axe  $(O, \vec{z})$  reste constante et égale à sa valeur maximale (fig 8 – **DT 11/11**).
- Les résistances passives dues principalement au frottement dans le palier qui guide 3 par rapport au bâti sont modélisables par un couple  $Cr \vec{Z}_3$ . On prendra  $Cr = 10 \text{ N.m}$ .

 répondre sur document réponse **DR 3/4**

3.2.1 Calculer l'accélération angulaire supposée constante  $\theta''_{3/1}$  du bras 3 par rapport à 1 dans la phase de mise en rotation.

3.2.2 Calculer le moment résistant MF par rapport à l'axe  $(O, \vec{z})$  du à l'action du film sur le bras.

3.2.3 Dans le cas du bras 3 en rotation autour d'un axe fixe par rapport au bâti, lui-même immobile par rapport au sol, le théorème du moment dynamique se traduit par :  $J_{Oz} \times \theta''_{3/1} = \sum M_{OZ}$  des actions extérieures appliquées au bras. Calculer  $M_e$ , le moment de l'action exercée par le pignon de sortie du réducteur sur la couronne dentée liée au bras.

- 3.2.4 En considérant que le réducteur ait un rendement  $\eta = 0,9$ , calculer la puissance utile développée par le moteur en fin de phase d'accélération du bras.
- 3.2.5 En adoptant un rapport de 1,5 entre la puissance maxi  $P_M$  et la puissance nominale  $P_N$ , calculer la puissance nominale du moteur qui servira de base au calcul définitif de la motorisation.

#### 4. Actions mécaniques sur le roulement à rouleaux croisés 21.

Pour vérifier la durée de vie du roulement à rouleaux croisés **21** (voir **DT 1/11** et **DT 3/11** on doit connaître les actions mécaniques exercées par le bâti **1** sur le bras moteur **3** au niveau de la liaison pivot qui modélise ce roulement.

On se place dans la phase où le bras tourne à fréquence de rotation constante de 37.5 tr/min.

On modélisera le bras de banderolage et les éléments qui lui sont associés suivant les *figures 7 et 8* du document **DT 11/11** et les dimensions portées sur ce document feront référence.

L'ensemble **{3+4}** a pour centre de gravité **G** et sa masse est égale à 200 kg.

L'étude proposée se situe en amont d'une résolution utilisant l'outil informatique.

répondre sur le document réponse **DR 4/4**.

##### 4.1 Bilan des actions mécaniques exercées sur l'ensemble **{3+4}** dans une phase durant laquelle le chariot dérouleur **4** est fixe par rapport au bras **3**.

**Hypothèses :**

- Les frottements sont négligeables.
- La norme de la résultante du glisseur modélisant l'action du film sur le bras est supposée constante et l'axe de ce glisseur est supposé fixe par rapport à  $(O, \vec{x}_3)$ . (Son angle d'inclinaison par rapport à  $(O, \vec{x}_3)$  reste égale à  $45^\circ$ ).

Etablir le bilan des actions mécaniques qui s'exercent sur l'ensemble **{3}**.

Préciser, pour chacune d'elle, le point de réduction et le repère choisis pour l'écriture du torseur modélisant l'action et donner la forme de ce torseur. Donner, en les justifiant, toutes les informations disponibles relatives aux composantes des différents torseurs : (composantes connues, relations entre les composantes, etc...). Ne pas chercher à expliciter les composantes qui s'expriment en fonction de  $\theta_{3/1}$ , ne donner que leur désignation globale (ex : **XF**).

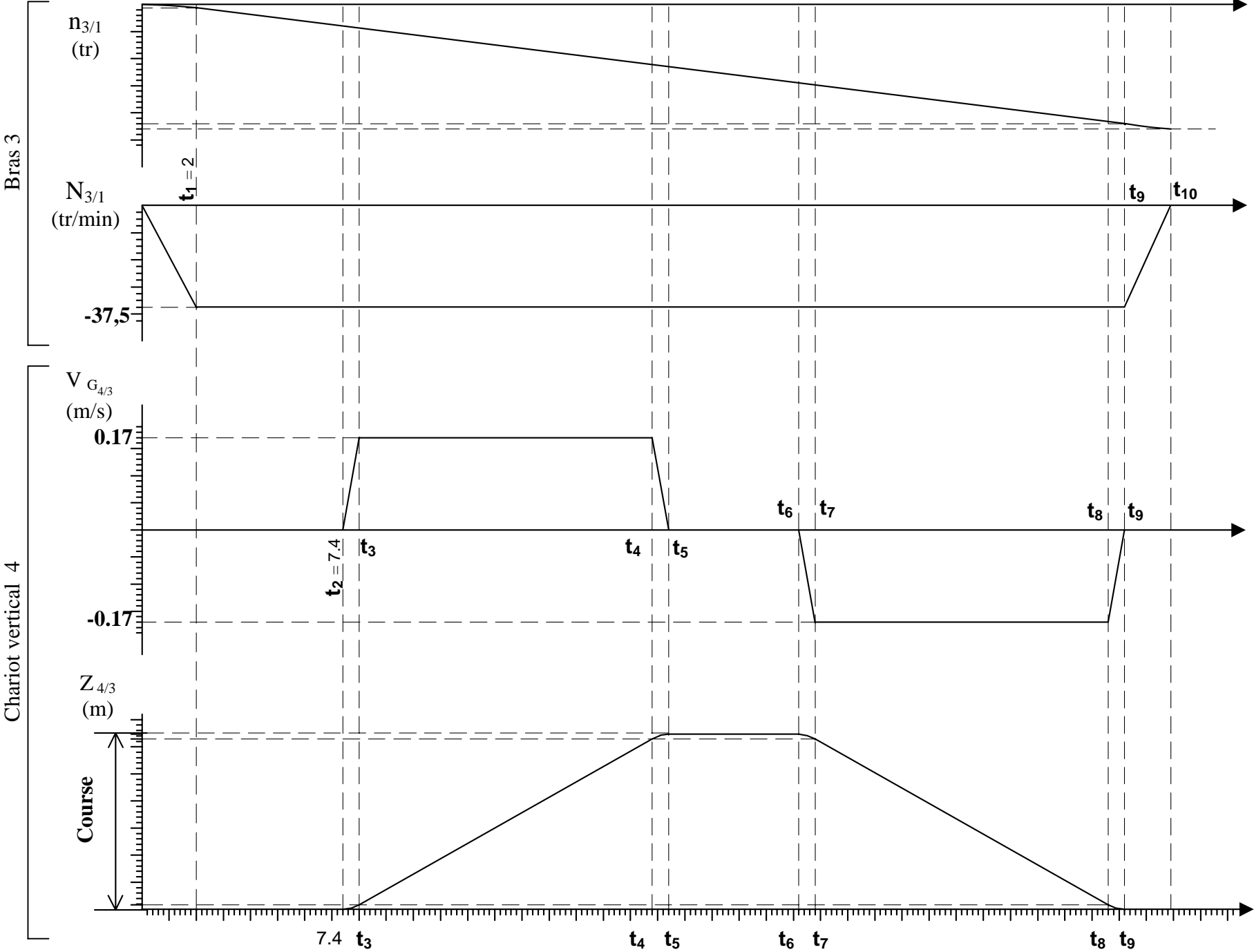
##### 4.2 Accélération du centre de gravité de l'ensemble **{3+4}** (Voir **DT 8/11** et **DT 11/11**)

Pour déterminer les actions exercées par le bâti **1** sur le bras **3** au niveau de la liaison pivot matérialisée par le roulement à rouleaux croisés **21** (**DT 3/11**), on appliquerait à **{3+4}** le théorème de la résultante dynamique sous la forme :

$$M \overrightarrow{a_{G/1}} = \Sigma \overrightarrow{F_{ext}}$$

Exprimer et calculer les composantes de  $\overrightarrow{a_{G/1}}$  dans le repère  $(O, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ .

1. Étude du cycle (Représentation graphique du cycle)



1.3 Intervalle  $t_{10}$ - $t_9$ :

$t_{10}$ - $t_9$  =

1.4 Durée du cycle et nombre de palettes à l'heure.

Durée<sub>cycle</sub> =

..... palette/heure

1.1 Intervalle  $t_5$ - $t_2$ :

$t_5$ - $t_2$  =

1.2 Intervalle  $t_6$ - $t_5$ :

$t_6$ - $t_5$  =

Nom: \_\_\_\_\_

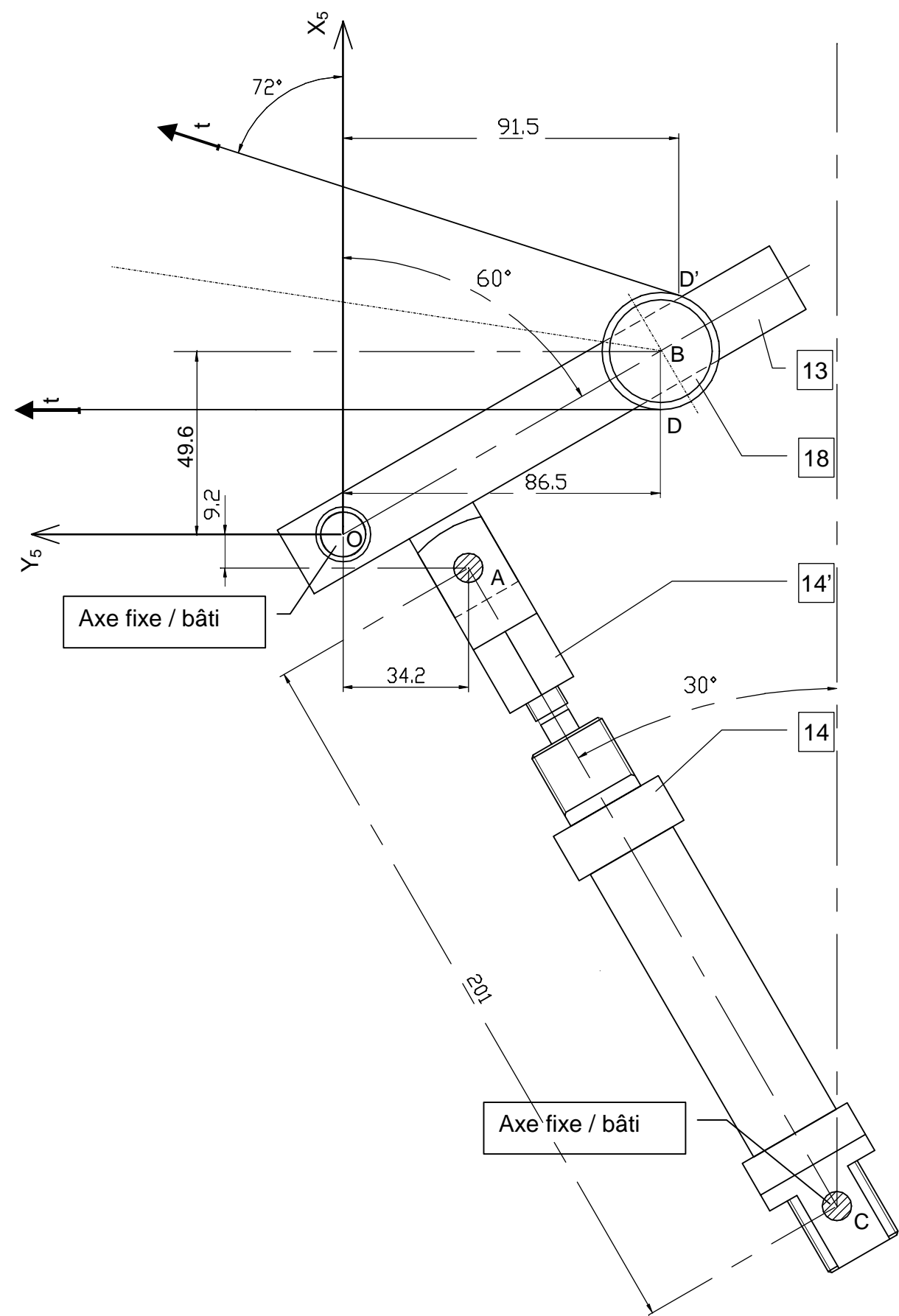
Prénom: \_\_\_\_\_

N°: \_\_\_\_\_

N°: \_\_\_\_\_

2. Système de pré-étirage

Étude d'approche du bras danseur dans une position caractéristique



2.1. Equilibre du vérin (14 + 14') et informations qui découlent de cette étude.

2.2. Equilibre du galet 18 et informations qui découlent de cette étude.

2.3. Equilibre du bras danseur et détermination  $\|\vec{t}\|/\|\vec{F}\|$ .

Nom: \_\_\_\_\_  
Prénom: \_\_\_\_\_  
N°: \_\_\_\_\_

	<b>t =</b>
--	------------

3. Détermination du moteur d'entraînement

3.1 Calcul du moment d'inertie global du bras tournant

3.1.1 Moments d'inertie des différents solides

	Par rapport à l'axe (G, $\vec{z}$ )	$\rightarrow$	/ à l'axe (O, $\vec{z}$ ) distant de <b>r</b>
Solide	<b>J<sub>Gz</sub></b>	<b>+ m.r<sup>2</sup></b>	<b>J<sub>oz</sub> = J<sub>Gz</sub> + m.r<sup>2</sup></b>
21			
22	négligé		
23	négligé	5×1.2 <sup>2</sup>	<b>7.2</b>
24	0.107	8×1.075 <sup>2</sup>	<b>9.35</b>
25	négligé	négligé	<b>négligé</b>
4			

3.1.2 Calcul du moment d'inertie global du bras

Bras complet			<b>I<sub>oz</sub> =</b>
--------------	--	--	-------------------------

3.2 Calcul de la puissance à développer pour mettre 3 en rotation

3.2.1 Calcul de  $\theta''_3$

$\theta''_3 =$

3.2.2 Calcul de **MF**

**MF** =

3.2.3 Calcul de **Me**

**Me** =

3.2.4 Calcul de la puissance que doit développer le moteur

On définit :  $P_M = P_e = \frac{P_{sortie}}{\eta} = \frac{(Couple).(Vitesse.angulaire)}{\mu} = \frac{M_e}{\eta} \theta_3' =$

**P<sub>M</sub>** =

3.2.5 Calcul de la puissance nominale du moteur

**P<sub>N</sub>** =

Nom: \_\_\_\_\_  
Prénom: \_\_\_\_\_  
N°: \_\_\_\_\_  
N°: \_\_\_\_\_

4. Actions mécaniques sur le roulement à rouleaux croisés.

4.1 Bilan des actions mécaniques exercées sur l'ensemble {3+4}

4.2 Accélération du centre de gravité de l'ensemble {3+4}

Nom: \_\_\_\_\_  
Prénom: \_\_\_\_\_

N°: \_\_\_\_\_  
N°: \_\_\_\_\_

On définit, pour l'accélération d'un point G en rotation autour d'un axe fixe (et éloigné d'un rayon R) :

$$\overrightarrow{a_{G \in \{3+4\}}} = \begin{pmatrix} a_n \\ a_t \\ 0 \end{pmatrix}$$

dans la base (x<sub>3</sub>, y<sub>3</sub>, z<sub>3</sub>)

avec a<sub>n</sub> = -R.ω<sup>2</sup>

et

a<sub>t</sub> = 0