

# Alimentation en papier d'une rotative d'impression

## Présentation du contexte de l'étude

Ouest France produit un quotidien qui paraît du lundi au samedi en 42 éditions locales différentes, représentant en moyenne chaque nuit 120 000 lignes, 540 pages et 1700 photos. La diffusion moyenne se situe à plus de 800 000 exemplaires toutes éditions confondues. Ouest France est ainsi le premier quotidien de France avec plus de 2 millions de lecteurs.

Pour fabriquer ses journaux, Ouest France dispose de deux unités de production (une à Chantepie en Ille et Vilaine et une à la Chevrolière en Loire Atlantique).

L'atelier de production, situé à Chantepie (36 éditions pour 780 000 exemplaires), est composé de 6 rotatives dont la production unitaire est de 60 000 journaux/heure pour 56 pages maxi.

La rotative est composée de 7 unités identiques (disposées en parallèle) qui permettent, chacune, l'impression de 8 pages. La **figure 1, sur la chemise**, présente de façon schématique une vue globale de l'installation complète d'une rotative.

Une rotative fait 40 m de long pour 11 m de haut et comporte 3 étages :

- Le premier étage est dédié à l'alimentation en papier sous forme de bobine (950 kg pour 15 km de papier) (**figure 2 sur la chemise**).
- Le second étage réalise l'impression des pages (**figure 3 sur la chemise**).
- Le troisième étage regroupe l'ensemble des pages, plie et coupe pour former le journal prêt à être envoyé chez les distributeurs (**figure 4a, b, c sur la chemise**).

Pour ce sujet, nous allons étudier plus particulièrement le premier étage et la phase d'alimentation en papier d'une unité (**Documents ressources I et II**).

L'alimentation d'une unité est composée d'un carrousel support-bobines à trois bras : un premier bras supporte la bobine en déroulement, un deuxième bras est en attente avec une bobine neuve, le troisième bras servira lors du cycle suivant et n'est pas utilisé. Une rotation de 120° du carrousel permet le passage d'une bobine à une autre. Un collage par adhésif double face est effectué entre la bobine neuve et le papier en défilement pour assurer la continuité de la production. Le papier de la bobine vide est alors sectionné. Pendant cette phase (qui dure quelques mètres), le papier est en double (papier bobine neuve + papier bobine vide).

## Questions préliminaires

**Question p.1 :** Justifier la capacité maximale de la rotative à 56 pages.

**Question p.2 :** Calculer la capacité journalière de production de journaux de l'atelier de production de Chantepie en faisant l'hypothèse d'une durée journalière de fabrication de 8 heures. Justifier la surcapacité de production de l'atelier par rapport à la fabrication journalière.

**Question p.3 :** La vitesse de défilement du papier en sortie de rotative est de 9 m/s. Sachant qu'une bobine a une capacité utile de 15 km de papier, en fonctionnement en continu, donner le temps entre deux changements de bobine par rotative.

**Question p.4 :** En notant  $V$  la vitesse linéique du papier, calculer la vitesse de rotation angulaire  $\omega$  du rouleau de papier en fonction du rayon  $\rho$  de celui-ci.

**Question p.5 :** Calcul de l'évolution du rayon de la bobine en fonction du temps. Par exemple, en traduisant le fait que pour un rayon  $\rho$  donné, la diminution de rayon  $\rho$  est égale à l'épaisseur du papier (« e ») pour une longueur de papier déroulée égale au périmètre du rouleau, écrire l'équation différentielle permettant de d'écrire l'évolution du rayon  $\rho$  du rouleau. Déterminer l'évolution de  $\rho$  en fonction du temps.

A partir des données du texte, et sachant que le rayon initial des bobines est de  $R_e = 0,55$  m et que le rayon du support cartonné (mandrin) utilisé pour réaliser la bobine est de  $R_i = 0,05$  m, tracer l'allure de l'évolution de  $\rho$  en fonction du temps pour une vitesse de défilement du papier de 9 m/s.

**Question p.6 :** Donner l'expression de la vitesse de rotation angulaire  $\omega$  du rouleau de papier en fonction du temps.

Lors de la phase de changement de bobine (collage/découpage du papier), les journaux imprimés seront à mettre au rebut (papier en double).

**Question p.7 :** Proposer une solution simple pour repérer ces journaux à la sortie de la rotative (**figure 4c sur la chemise**).

## Partie 1 : Etude du séquençement des opérations de changement de bobine

Dans cette partie, on se propose d'étudier le processus de changement d'une bobine sans arrêt de la production. Pour cela, on s'appuiera sur la représentation schématique des diverses phases représentées **Document ressource II**.

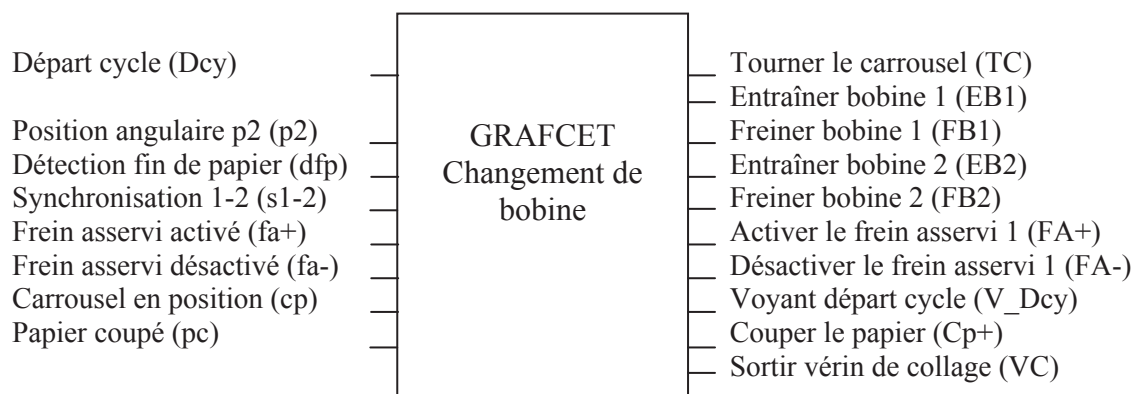
Le deuxième étage de la rotative donne au papier une vitesse linéaire de 9 m/s. Un système de frein asservi agissant sur la bobine (étudié dans la partie 2) permet d'avoir une tension constante du papier. En effet, une tension trop importante déchire le papier et une tension trop faible crée des plis et des bourrages dans le second étage.

Chaque bras porte bobine (3 axes à 120° noté 1, 2 et 3) comporte un moteur-frein : il peut soit freiner les bobines (FB1, FB2, FB3) soit les entraîner (EB1, EB2, EB3). Ces moteurs doivent être commandés pour freiner ou entraîner. Si aucune commande n'est effectuée, ils sont en « roue libre ».

Des capteurs donnent une information de position à chaque tour (p1, p2 et p3). Lorsque les vitesses linéaires des deux bobines sont synchronisées, une information si-j est fournie. L'asservissement en vitesse des moteurs n'est pas étudié ici.

A l'initiative de l'opérateur, la phase de changement de bobine est activée (bobine 1 en cours, bobine 2 neuve) :

- Le frein asservi (FA) est désactivé, le moteur-frein de la bobine 1 prend le relais pour freiner pendant la phase de changement de bobine.
- Le carrousel tourne jusqu'à ce que la bobine neuve 2 soit à une distance de 10 mm du papier en cours de défilement. La bobine neuve 2 est entraînée en rotation par le moteur-frein de la bobine 2 pour atteindre une vitesse périphérique identique à celle du défilement du papier.
- Lorsque la détection de fin de papier de la bobine 1 apparaît et que la bobine est en position angulaire p2, le vérin simple effet de collage vient appuyer sur le papier. Les papiers se collent l'un sur l'autre grâce à un papier adhésif double face. A la position angulaire p2 du tour suivant, une lame vient couper le papier. Le moteur-frein de la bobine 1 est alors désactivé.
- Le cycle se termine par la mise en route du frein asservi sur la bobine 2 puis l'arrêt du moteur-frein de la bobine 2.



**Figure 5 : inventaire des entrées/sorties du modèle GRAFCET.**

**Question 1.1 :** Donner l'état initial du système correspondant à la situation initiale de votre GRAFCET.

**Question 1.2 :** A partir de l'inventaire des entrées/sorties données ci-dessus, établir le GRAFCET de changement de la bobine 1 à la bobine 2.

## Partie 2 : Etude du mécanisme de frein asservi

Le mécanisme de frein asservi, utilisé pour réguler la vitesse de rotation des bobines, est un système à courroie. Dans cette partie nous allons étudier le fonctionnement d'une transmission par courroie pour ensuite analyser le système de régulation utilisé.

### 2.a Etude simplifiée d'une transmission par courroie

La courroie est un lien flexible réunissant deux poulies en liaison pivot par rapport au bâti. Cette transmission de puissance se fait par l'intermédiaire de l'adhérence entre la courroie et les poulies. Nous nous plaçons dans le cas d'une courroie de faible épaisseur appelée généralement courroie plate.

La **figure 6** présente, de façon schématique, une transmission par courroie et les paramètres géométriques et cinématiques permettant de réaliser les études proposées.

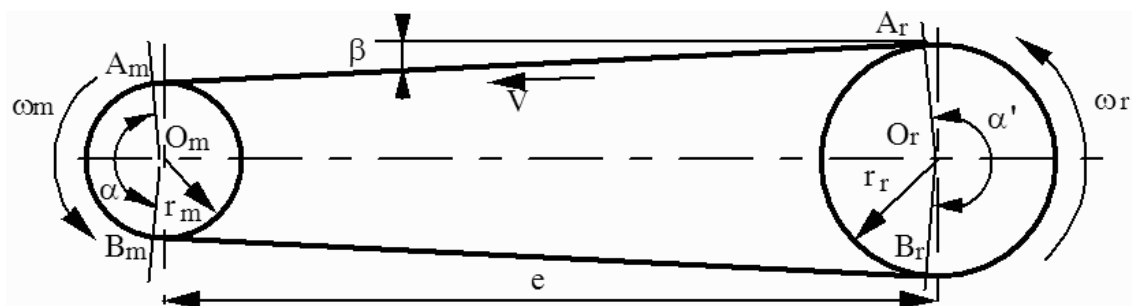


Figure 6 : transmission par courroie.

**Question 2.1 :** Etude géométrique : en supposant la courroie inextensible, calculer la longueur de celle-ci en fonction des paramètres géométriques suivants :  $e$ ,  $r_m$ ,  $r_r$ ,  $\beta$  et  $\alpha$ . Les expressions de  $\beta$  et  $\alpha$  seront précisées en fonction  $e$ ,  $r_m$  et  $r_r$ .

Pourquoi faut-il déterminer cette relation?

Justifier l'utilisation d'un ressort pour le système de régulation, présenté sur le **Document ressource III**.

**Question 2.2 :** Etude cinématique : en supposant que la courroie s'enroule sans glisser sur les poulies et qu'elle est inextensible, déterminer la loi entrée-sortie  $\omega_r / \omega_m$  ?

**Question 2.3 :** Citer quelques utilisations de transmissions par courroies. Quels sont les avantages et inconvénients des transmissions par courroies par rapport aux transmissions par engrenages ?

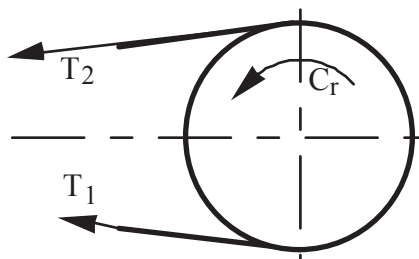
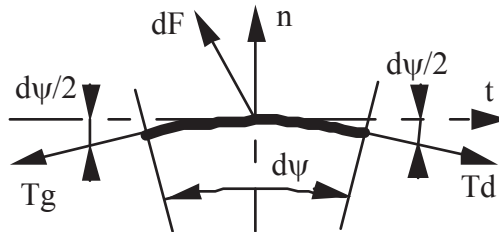


Figure 7 : calcul du couple transmis.

**Question 2.4 :** En notant  $T_2$  et  $T_1$  (**figure 7**), les tensions dans les deux brins ( $T_2 \geq T_1$ ), donner l'expression des couples des actions de la courroie sur les 2 poulies :  $C_m$  et  $C_r$  (motrice et réceptrice). La démarche utilisée sera précisée.

**Question 2.5 :** En utilisant les résultats de la partie 2.2, calculer le rendement de la transmission. Commenter le résultat.

### 2.b Etude de l'influence du coefficient de frottement poulie - courroie



**Figure 8 : isolement d'un élément de courroie - notations.**

**Question 2.6 :** Isolement d'un petit élément de courroie. Le repère lié au bâti est supposé galiléen et l'action de la pesanteur est négligée par rapport aux autres actions. Avec ces hypothèses écrire les équations issues du principe fondamental de la dynamique en isolant un élément de courroie de longueur  $ds = r d\psi$  ( $r$  étant le rayon de la poulie) ; la **figure 8** précise les notations pour cette étude.

$\vec{T}_g$  et  $\vec{T}_d$  sont les tensions des parties gauche et droite de la courroie,  $d\vec{F}$  est l'action de la poulie sur l'élément de courroie.

**Question 2.7 :** Equations linéarisées au premier ordre. En supposant que la poulie tourne à vitesse constante écrire les deux équations scalaires après linéarisation au premier ordre. Les notations suivantes seront utilisées :

$$d\vec{F} = p ds \vec{n} - t ds \vec{t} ; T_g = T - \frac{dT}{2} \text{ et } T_d = T + \frac{dT}{2}$$

**Question 2.8 :** Relation caractéristique à la limite du glissement. En se plaçant à la limite du glissement entre la courroie et la poulie ( $f = cte$  coefficient de frottement poulie-courroie) ; en négligeant les effets dynamiques (masse volumique de la courroie supposée nulle) et en notant  $\alpha$  l'arc d'enroulement de la poulie sur la courroie écrire la relation entre les tensions de la courroie et les paramètres du problème.

Commenter le résultat obtenu.

### 2.c Etude de système de régulation de tension du papier

Pour assurer la tension du papier, un système utilisant une courroie est utilisé (**Documents ressources I et III**). La vitesse linéaire de la courroie est inférieure de 1,5% à la vitesse linéaire du papier. Ceci assure un glissement permanent entre la courroie et le papier. Le rouleau de papier peut donc être considéré comme la poulie.

Le modèle d'étude est présenté **figure 9 (Document ressource IV)**. En appelant  $\delta$  l'angle « d'enroulement »,  $T_1$  la tension du brin « i » de la courroie et  $\mu$  le coefficient de frottement entre la courroie et la bobine de papier, à la limite du glissement, et pour des « glissements faibles » nous avons la relation suivante :  $\frac{T_2}{T_1} = e^{\mu\delta}$

**Question 2.9 :** Calculer le couple  $C_f$  qu'exerce la courroie sur le rouleau de papier en fonction de  $T_1$ ,  $\rho$ ,  $\delta$ ,  $\mu$ .

**Question 2.10 :** En supposant que  $T_1 = \text{cte}$ , donner l'évolution de  $C_f$  en fonction de  $\delta$  pour  $\rho = \text{cte}$  puis en fonction de  $\rho$  pour  $\delta = \text{cte}$ .

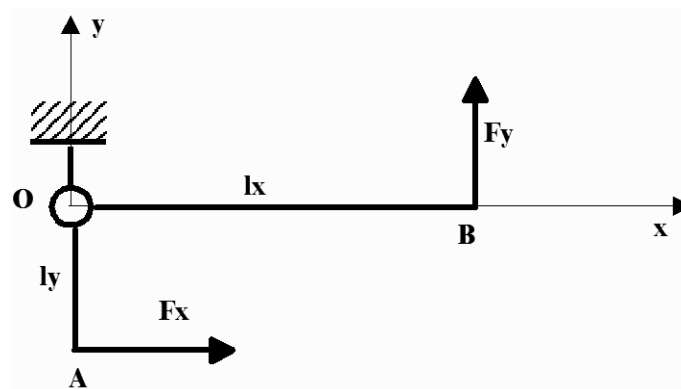
**Question 2.11 :** Justifier l'utilisation d'un angle de contact important entre la courroie et le rouleau de papier (**Documents ressources I et II**) pour assurer l'accélération du rouleau ?

## 2.d Dimensionnement du levier de mesure de la tension du papier

La tension du papier est un paramètre très important pour la qualité de l'impression ; ainsi, il est nécessaire de bien contrôler cette tension. Un système d'asservissement est donc nécessaire. Le système de mesure de la tension du papier est présenté **figure 10 (Document ressource IV)**. Ce dispositif est placé juste après le déroulement du papier. Le modèle d'étude est représenté **figure 11 (Document ressource IV)**.

**Question 2.12 :** Sans réaliser de calcul expliquer rapidement le fonctionnement de ce système de régulation de tension du papier. Quel est l'influence des actions de pesanteur sur le système de régulation (l'accélération de la pesanteur étant dirigée suivant la direction  $-\vec{y}$ ).

La **figure 12** présente le modèle pour l'étude permettant de dimensionner le levier.



**Figure 12 : levier.**

**Question 2.13 :** Le levier (AOB) est en équilibre sous l'action des deux forces  $\vec{F}_x$  et  $\vec{F}_y$  en position définie par  $\Theta = 0$  (**figure 11**). En supposant la liaison pivot parfaite, exprimer le torseur des efforts intérieur en fonction de  $F_y$  dans les deux parties (AO) et (OB).

**Question 2.14 :** Donner la sollicitation principale dans les deux parties (AO) et (OB).

**Question 2.15 :** Donner la répartition des contraintes dans une section de la partie (OB). Expliciter les différents termes utilisés.

**Question 2.16 :** En supposant des poutres (AO) et (OB) de section constante, quelles sont les sections les plus sollicitées ? Proposer un critère de dimensionnement de ces poutres.

### Partie 3 : Etude de la réalisation de modification de la tension du papier.

Le système de réglage de la tension du papier est composé d'un frein à courroie (étudié dans la **partie 2**) et d'un système de contre poids régulé par un ressort. Les ingénieurs ont décidé de remplacer ce mécanisme à ressort par un vérin asservi en effort (**figure 13**). En effet, la régulation de tension du papier n'est pas assez constante et provoque des déchirements du papier lors des phases de production maximale. Ce nouveau système, s'il donne satisfaction, équipera à terme, l'ensemble des 7 unités des 6 rotatives, soit la réalisation de 42 ensembles.

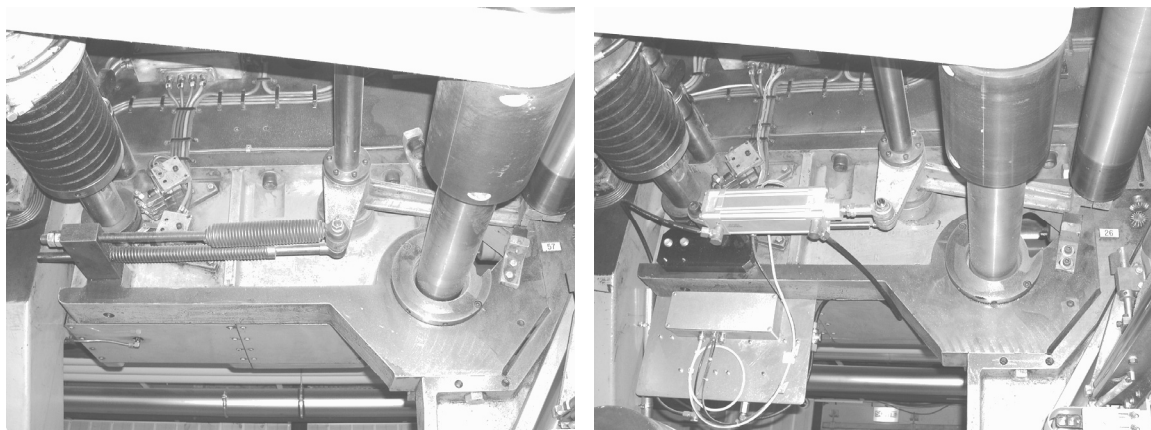


Figure 13 : système à ressort et système à vérin asservi.

Pour cela, une pièce d'adaptation du vérin sur la rotative a été conçue. Son dessin de définition partiel est fourni **document ressource V**.

#### 3.a Analyse des spécifications

**Question 3.1 :** Sur la copie, expliciter la tolérance  $75 \pm 0,5$  extraite du dessin de définition partiel **Document ressource V**.

**Question 3.2 :** Sur les **Documents réponses I, II et III** « analyse des spécifications » expliciter les 3 tolérances extraites du dessin de définition partiel **Document ressource V** en respectant la décomposition suivante :

- Donner le nom de la caractéristique tolérancée.
- Définir les éléments tolérancés.
- Définir les éléments de référence.
- Définir les références spécifiées.
- Définir la forme de la (ou des) zone(s) de tolérance et les contraintes d'orientation et/ou de position de la (ou des) zone(s) de tolérance par rapport au système de références spécifiées.

#### 3.b Etude de l'obtention du brut

**Question 3.3 :** Donner la signification du matériau : C25

Le brut est obtenu par soudage à l'arc de différents éléments standards tels que plaques, barres ou profilés. Une étude statique a permis de déterminer les épaisseurs de la plaque et la section du bras :

Plaque	Épaisseur	Longueur (en mm)	Largeur (en mm)
	20	jusqu'à 500	50, 75, 100, 150
Type profilé	(en mm)	Longueur (en m)	
Hexagonal plein	Plat de 30	Jusqu'à 6 m	



**Question 3.4 :** Proposer une gamme de fabrication de la pièce brute sous forme d'une liste de procédés et en donnant les principales dimensions des éléments choisis.

**Question 3.5 :** Donner les domaines d'applications de la soudure à l'arc. Le choix pour l'application proposée vous semble-t-il pertinent ; justifier votre réponse.

**Question 3.6 :** Lors du soudage du profilé sur la plaque, quel type de défaut géométrique peut apparaître ?

### 3.c Etude de l'usinage.

Les différents usinages à réaliser sur la pièce sont les suivants (voir **Document ressource V**)

- Usinage du plan inférieur repéré Pi1.
- Usinage des 2 flans de la plaque Fl2 et Fl4, les flancs Fl1 et Fl3 restent bruts.
- Perçage des quatre trous de fixation repérés T1, T2, T3 et T4 et des lamages L1, L2, L3 et L4.
- Usinage des deux plans parallèles Pp2 et Pp3.
- Usinage de la face supérieure du profilé Fp.
- Perçage de l'axe de maintien du vérin A1.

La machine utilisée est un centre d'usinage 4 axes à broche horizontale disposant d'un plateau tournant (3 translations X, Y, Z et une rotation B autour de Y).

**Question 3.7 :** Sur le **Document réponse IV**, proposer une mise en position qui permet la réalisation de l'ensemble des surfaces en un seul posage.

**Question 3.8 :** Sur le **Document réponse IV**, proposer les différentes orientations de la pièce permettant d'usiner l'ensemble des surfaces. Pour chacune des orientations, vous noterez le repère machine et colorierez les surfaces usinées.

**Question 3.9 :** Sur le **Document réponse IV**, donner les différentes opérations et la liste des outils permettant l'obtention de chaque surface.

Liste des outils disponibles :

- Fraises à surfacer Ø 50, 63, 80 100, 125 mm
- Forets à pointer Ø 8, 10 mm
- Forets hélicoïdaux Ø 8 à 18 mm tous les 1/10<sup>ème</sup> de mm
- Fraises deux tailles Ø 20, 25, 40, 50 mm
- Alésoirs Ø 10, 12, 18, 20 mm
- Fraises à lamer Ø 24.2 x 18, 28 x 18 mm

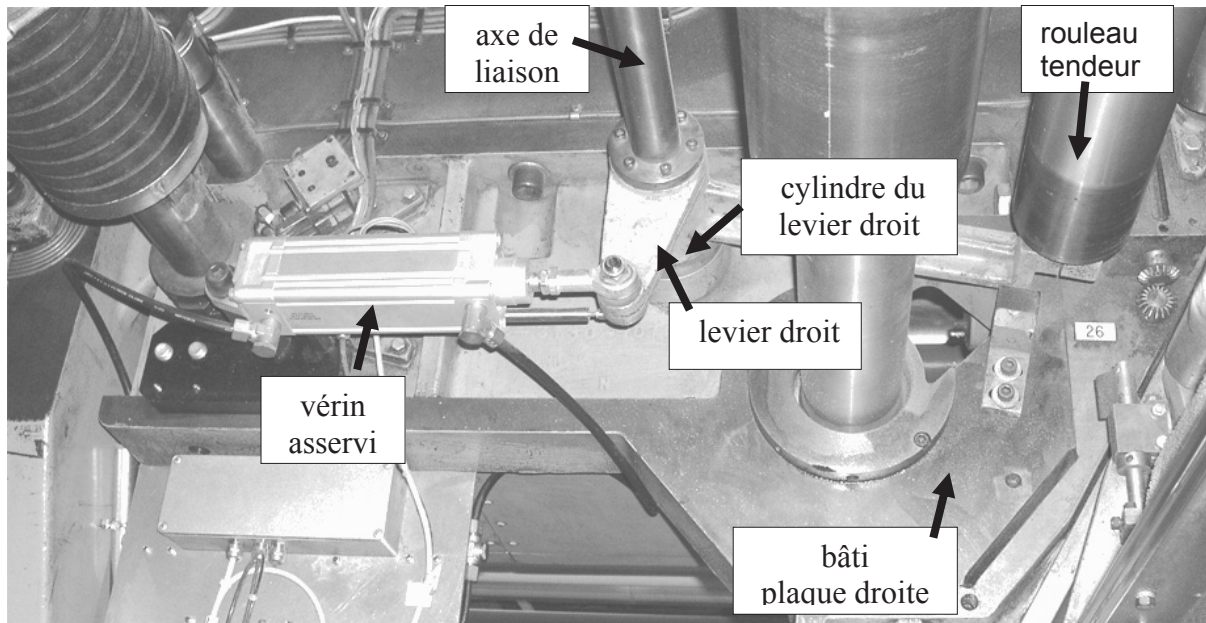
### 3.d Etude du montage d'usinage.

Pour réaliser la pièce, il est nécessaire de réaliser un montage d'usinage pour assurer la mise et le maintien en position. Pour cette partie, nous étudierons seulement la mise en position. Le montage d'usinage est réalisé par mécano-soudage de plaques, barres ou profilés puis usinage.

**Question 3.10 :** A partir du **Document réponse IV** représentant le plateau de la machine 4 axes, dessinez, à main levée, une vue en perspective de l'allure du montage d'usinage. Un soin particulier sera apporté aux formes générales et à l'accessibilité des surfaces à usiner.



## Partie 4 : Etude de conception



**Figure 14 : système à vérin asservi.**

On propose de re-concevoir le montage du système de régulation de la tension du papier utilisant le système asservi à vérin (**figure 14**). En effet, une des difficultés rencontrées lors de la maintenance de cet ensemble est liée au fait que le démontage d'un **axe de liaison** nécessite le démontage d'un nombre important de pièces très difficilement accessibles. Ainsi, souvent des techniques de réparations spécifiques sont proposées pour limiter le temps de maintenance.

Le **Document ressource VI** présente l'architecture du bâti du porte bobine. Afin de simplifier l'étude, le bâti de la machine (bâti plaque droite + bâti plaque gauche, **figure 14**) est considéré comme constitué de deux plaques verticales (naturellement reliées rigidement entre elles). Ces deux plaques servent à maintenir le carrousel portant les bobines de papier ; elles positionnent aussi le système de régulation de la tension du papier. La **figure 14** présente le montage d'un système asservi à vérin (du côté droit).

Pour augmenter la rigidité du système de régulation de tension du papier (nécessaire à la bonne qualité d'impression) une solution hyperstatique est utilisée. Deux vérins asservis sont utilisés (un du côté droit et un du côté gauche) et l'axe de liaison impose une rotation identique des deux leviers assurant ainsi un bon positionnement du rouleau tendeur régulant la tension du papier.

Le travail de conception demandé a pour but de proposer une solution technique permettant un montage/démontage facile de l'axe de liaison pour favoriser la maintenance de l'ensemble.

Pour simplifier la présentation, le **Document réponse V** présente seulement les éléments nécessaires au travail proposé (les plaques droite et gauche du bâti, l'axe de liaison et les parties cylindriques des deux leviers).

### Remarques importantes :

- Pour les questions 4.1 et 4.2 la contrainte d'accessibilité, associée à la maintenance, n'est pas prise en compte, c'est-à-dire que l'axe de liaison peut être réalisé en une partie.
- Pour la question 4.3 la contrainte d'accessibilité, associée à la maintenance, est prise en compte, c'est-à-dire que l'axe de liaison ne peut plus être réalisé en une partie.

**Tournez la page S.V.P.**

Il est demandé de concevoir les liaisons suivantes :

- liaison pivot entre l'axe de liaison et le bâti (liaison réalisée par roulements pour favoriser l'asservissement),
- liaison complète entre l'axe de liaison et le cylindre des leviers de droite et de gauche.

Les différents choix doivent être compatibles avec :

- le bon fonctionnement de l'ensemble,
- la facilité de montage/démontage de l'axe de liaison.

**Question 4.1 :** Sur la copie, justifier rapidement le choix des types de roulements et du montage associé que vous proposez pour concevoir la liaison pivot entre l'axe de liaison et le bâti.

**Question 4.2 :** Dessiner, sur le **Document réponse V**, un avant projet du système.

Pour cette étude la contrainte d'accessibilité du système n'est pas prise en compte ; c'est-à-dire que pour le montage des différentes pièces, aucune contrainte d'encombrement n'est imposée. L'objectif est de proposer une solution technique permettant de répondre au cahier des charges, seulement pour la partie fonctionnement.

Les différentes vues nécessaires à la compréhension de la solution proposée seront réalisées.

Le dimensionnement des liaisons n'est pas demandé, par contre les dimensions doivent être en accord avec les sollicitations. De plus, il est demandé de respecter approximativement les dimensions des éléments utilisés (roulements, vis...).

La qualité de la représentation graphique sera aussi évaluée.

**Question 4.3 :** Proposer sur la copie, sous forme de schéma réalisé à main levée, le principe d'une solution technique prenant en compte la contrainte d'accessibilité du système, en particulier pour les phases de maintenance. L'accessibilité du système est limitée au volume compris entre les plaques droite et gauche du bâti ; c'est-à-dire qu'un axe de liaison réalisé en une seule partie ne peut pas être démonté, lors des phases de maintenance. Le choix de solutions limitant le coût de fabrication sera recherché.

Justifier rapidement les choix réalisés.

Préciser, si nécessaire, les précautions à prendre pour le montage du système.



