

TD1 : Asservissements

1 Machine d'essai universelle¹

1.1 Présentation

Une machine de traction est une machine d'essai permettant de soumettre des éprouvettes de matériaux à des efforts et de mesurer la déformation afin d'établir des lois de comportement de ces matériaux.

La machine électromécanique universelle EM 550 (voir photographie figure 1) est conçue pour être utilisée dans de nombreuses applications d'essais de matériaux et de structures. Elle permet de réaliser des essais de traction, de compression, de flexion, de fatigue, de fluage, de dureté, de frottement ainsi que des tests sur des assemblages et des structures.

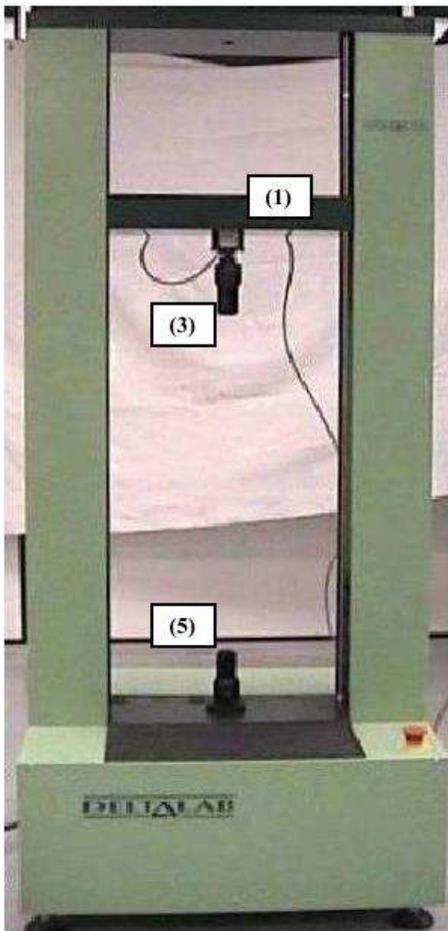


FIG. 1 – Photographie de la machine.



FIG. 2 – Éprouvette dans les mors de la machine.



FIG. 3 – Éprouvettes avant et après essai.

Cette machine est commercialisée par DELTALAB. Elle est présente dans les services recherche et développement de nombreuses entreprises.

La machine d'essais est reliée à une partie commande constituée d'un micro-ordinateur, d'une imprimante, du logiciel DELTALAB et d'une interface logiciel/machine pour le pilotage, l'acquisition et le traitement des données.

¹Adapté du sujet Mines AADN 2003

Caractéristiques générales (voir schéma cinématique figure 11) :

- Effort maximal sur la traverse : 50 kN .
- Course maximale : 1 m .
- Entraînement : Servomoteur à courant continu avec génératrice tachymétrique.
- Transmission : Réducteur roue et vis sans fin, poulies, courroie crantée et vis à billes.
- Mesure du déplacement : Codeur optoélectronique de résolution 500 positions par tour.
- Mesure de l'effort : Capteur à jauges de déformations.
- Alimentation : 240 V monophasé / 50 Hz à 1 kW max.
- Couple maximal du servomoteur : 3 N.m .

L'assevissement de tension de l'éprouvette doit satisfaire les performances énoncées dans le tableau 1 extrait du cahier des charges.

Fonction de service	Critère	Niveau
FS1 : Appliquer l'effort de consigne	Effort maximale	50 kN
	Précision	$< 1\%$
	Rapidité	$t_R < 1 \text{ s}$
	Stabilité	stable

TAB. 1 – Extrait du CdCF.

1.2 Fonctionnement de la machine

La machine est constituée de deux mors (3) et (5) tirant de part et d'autre de l'éprouvette. Le mors (5) est fixé au bâti de la machine tandis que le mors (3) est fixé à une traverse mobile (1). Sur le mors (3) est implanté un capteur d'effort.

La traverse mobile est en translation verticale par rapport au bâti. Le mouvement est guidé par deux liaisons glissières en C et C' . Le mouvement de translation est transmis par deux vis à billes en A et A' .

Une vis à billes (figure 4) est constituée d'une tige filetée (vis (2) et (2')) et d'un écrou (système "vis-écrou"). Des billes s'interposent dans le filetage afin de réduire au minimum les frottements. Ce sont des vis à billes à 1 filet et de pas $p = 5 \text{ mm}$, c'est à dire que lorsque la vis effectue 1 tour, la traverse se déplace de 5 mm .



FIG. 4 – Vue écorchée d'une vis à bille.



FIG. 5 – Roue et vis-sans-fin.

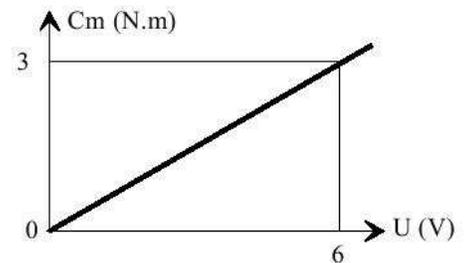


FIG. 6 – Évolution du couple C_m en fonction de la tension d'entrée du moteur U .

Les deux vis (2) et (2') sont entraînées en rotation par des poulies crantées et une courroie (6). Toutes les poulies servant à l'entraînement sont de même diamètre.

La poulie motrice est entraînée par un moto-réducteur, c'est à dire un moteur électrique associé à un réducteur de vitesse.

Les essais sont généralement pilotés en effort : l'opérateur définit le profil d'effort consigne $F_c(t)$ à appliquer à l'éprouvette, à travers l'interface de pilotage. Cette interface délivre une tension de consigne $u_c(t)$, image de l'effort à appliquer à l'éprouvette.

Cette tension $u_c(t)$ est comparée à la tension $u_m(t)$, image de l'effort réel, mesurée par le capteur d'effort. L'écart $\varepsilon(t)$ entre les deux tensions est transmis au correcteur.

Le correcteur est chargé de définir la consigne moteur u_{cm} en fonction de l'écart de tension $\varepsilon(t)$. Il s'agit d'une carte électronique dont on peut facilement régler les paramètres afin d'ajuster les performances de l'asservissement.

Cette consigne est ensuite amplifiée. L'amplificateur délivre une tension continue $u(t)$ au moteur, proportionnel à la tension de consigne $u_{cm}(t)$ définie par le correcteur.

Le moteur électrique entraîne le réducteur. Le couple de sortie $C_m(t)$ est proportionnel à la tension électrique $u(t)$ aux bornes du moteur. La courbe figure 6 donne l'évolution du couple en fonction de la tension. Remarque : un *couple* est un effort qui "tend à faire tourner" l'arbre moteur ; il s'exprime en $N.m$.

Le moteur électrique tourne trop vite et son couple est trop faible pour être directement utilisable : il faut réduire la vitesse, ce qui a pour conséquence d'augmenter le couple dans la même proportion.

Le réducteur de vitesse est un réducteur à "roue et vis-sans-fin" (figure 5). L'arbre moteur est fixé à la vis du système "roue et vis-sans-fin" tandis que la roue est fixée à la vis (2) du système "vis-écrou". À chaque tour de l'arbre moteur, la roue se décale d'une dent. La roue possède au total $Z = 30$ dents.

Le couple moteur $C_m(t)$ est donc amplifié par le réducteur qui exerce un couple $C_r(t)$ à la poulie motrice. La courroie transmet le couple $C_r(t)$ aux deux poulies crantées fixées sur les vis, tel que le couple sur les vis soit égal à $C_v(t) = \frac{1}{2}C_r(t)$.

Les systèmes "vis-écrou" convertissent ces deux couples $C_v(t)$ en une force verticale $F(t)$ de traction sur l'éprouvette.

Le capteur d'effort mesure cet effort $F(t)$ et délivre une tension $u_m(t)$, image de l'effort.

1.3 Modélisation de l'asservissement en effort

Objectif : construire un modèle dynamique de la machine afin d'étudier ses performances.

1. Déterminer la grandeur physique de consigne et la grandeur physique asservie par le système, en précisant leurs unités.
2. À partir de la description du système, proposer un schéma bloc fonctionnel en indiquant dans chaque bloc le nom du composant participant à l'asservissement, et pour chaque lien le nom et l'unité SI de la grandeur physique.
3. À partir de la courbe de comportement figure 6, déterminer le gain K_m du moteur électrique.
4. Déterminer le rapport de réduction du système roue et vis-sans-fin : $k = \frac{\omega_r}{\omega_m}$ où ω_m est la vitesse de rotation du moteur (et donc de la vis-sans-fin) et ω_r est la vitesse de la roue. Sachant que le rapport des couples entrée-sortie est l'inverse du rapport de vitesse de rotation ($\frac{C_r}{C_m} = \frac{\omega_m}{\omega_r} = \frac{1}{k}$), déterminer le gain K_r du réducteur.
5. Déterminer le gain K_{pc} du système poulie-courroie.

6. Pour le système vis-écrou, le rapport en effort est l'inverse du rapport cinématique : $\frac{F_e}{C_v} = \frac{\omega_v}{V_e}$ où F_e est l'effort exercé par la vis sur l'écrou associé (en N), C_v le couple exercé sur la vis (en $N.m$), V_e la vitesse de l'écrou (en m/s) et ω_v la vitesse de rotation de la vis (en rad/s). En déduire le gain K_{ve} du système vis-écrou.
7. On donne $K_F = 10^{-4} V/N$ le gain du capteur d'effort, $K_a = 10$ le gain de l'amplificateur, K_1 le gain de l'interface de pilotage (déterminé par la suite) et $C(p)$ la fonction de transfert du correcteur. Tracer le schéma bloc du système en précisant les fonctions de transfert associées à chaque blocs et les grandeurs physiques exprimées dans le domaine de Laplace.

2 Banderoleuse²

La ligne de conditionnement ERMAFLEX fabrique, conditionne, emballe et palettise divers produits tels que des pots de crèmes de jour ou des flacons de gel douche.

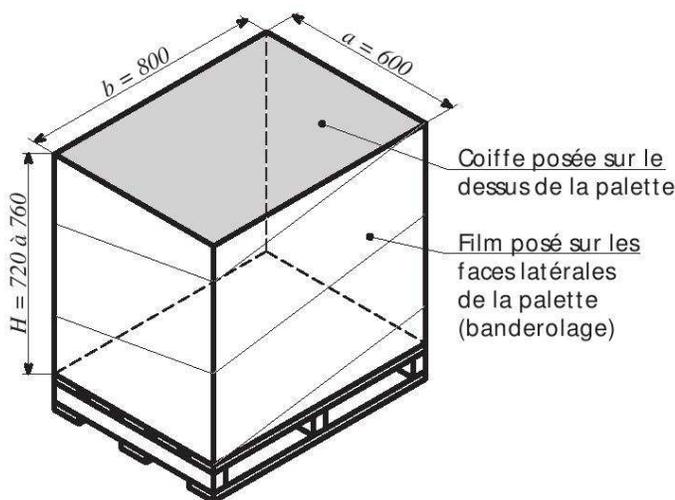


FIG. 7 – Palette à banderoler.



FIG. 8 – Produit palettisé en cours de banderolage.

En fin de ligne de conditionnement se trouve une « banderoleuse », objet de l'étude et destinée à enrouler un film transparent pré-étiré sur les faces latérales des palettes de produits (fig. 7 et 8).

Le but de ce banderolage est de maintenir le chargement de la palette et de le protéger contre les poussières et l'eau.

L'opération de banderolage consiste à dérouler et pré-étirer le film tandis que la palette est mise en rotation. Un mouvement vertical du chariot déroulant le film permet d'appliquer le film sur toute la hauteur.

La machine doit satisfaire les performances énoncées dans le tableau 2 extrait du cahier des charges.

La partie opérative est constituée d'un chariot qui supporte (fig. 12 et 13) :

- deux rouleaux d'entraînement et de pré-étirage ;
- un bras de détection du film rappelé en position par un vérin à gaz ;
- un moteur asynchrone triphasé qui entraîne les rouleaux et qui est piloté par un variateur de vitesse ;

²Adapté du sujet Mines AADN 2002

Fonction de service	Critère	Niveau
FS1 : Enrouler le film sur la palette	Tension maximale	300 N
	Pré-étirage du film	de 100% à 300%
	Précision de la tension	< 2%
	Rapidité	$t_R < 1 s$
	Stabilité	stable

TAB. 2 – Extrait du CdCF.

- un capteur potentiométrique qui permet de détecter la position angulaire du bras de détection du film, image de la tension du film.

2.1 Analyse de la chaîne fonctionnelle « pré-étirer et dérouler le film »

2.1.1 Présentation

Les constituants de cette chaîne fonctionnelle sont regroupés dans le sous-ensemble [1] de pré-étirage et de déroulement du film, dont les éléments essentiels sont :

- le support de bobine de film ;
- le moteur asynchrone triphasé, qui par l'intermédiaire d'un réducteur à poulies et courroie crantée, entraîne en rotation le rouleau (RE1) d'entraînement du film ;
- le rouleau (RE2) d'entraînement du film, mis en rotation par le rouleau (RE1), par l'intermédiaire d'un réducteur à poulies étagées et courroie plate ;
- le bras de détection du film, articulé sur le châssis du chariot, dont la position angulaire θ_f varie avec la tension t_f du film ;
- le capteur de position angulaire (potentiomètre rotatif) qui, par l'intermédiaire d'un réducteur à engrenage, informe la partie commande de la chaîne fonctionnelle de la position du bras de détection du film.
- d'autres éléments, les rouleaux de renvoi notamment, complètent le circuit de défilement du film.

2.1.2 Phase de pré-étirage du film

Le pré-étirage du film a pour but d'allonger le film, dans son domaine élastique (domaine dans lequel la disparition de la contrainte d'allongement provoque le retour du film à sa longueur initiale), avant son application sur le produit palettisé, afin qu'après la pose, il puisse se rétracter pour assurer une meilleure stabilité du produit.

Le constructeur, dans la fiche technique de la machine, indique un taux de pré-étirage du film de 300%.

On considère que le film est entraîné, sans glissement, par les deux rouleaux (RE1) et (RE2). Le rouleau (RE2) est entraîné en rotation par le rouleau (RE1) à une vitesse différente de celui-ci grâce au réducteur à poulies étagées et courroie plate (figure 13).

Ainsi, le film tendu entre ces deux rouleaux d'entraînement va s'allonger proportionnellement à la vitesse différentielle d'enroulement du film.

OBJECTIF : Vérifier la caractéristique de pré-étirage du film annoncée par le constructeur.

À partir des diamètres des poulies donnés figure 9, calculer le rapport de réduction $\frac{\omega_{RE2/0}}{\omega_{RE1/0}}$ du réducteur. En déduire le coefficient d'allongement du film. Exprimer ce coefficient en pourcentage (taux de pré-étirage en %). Le critère de pré-étirage du cahier des charge est-il satisfait ?

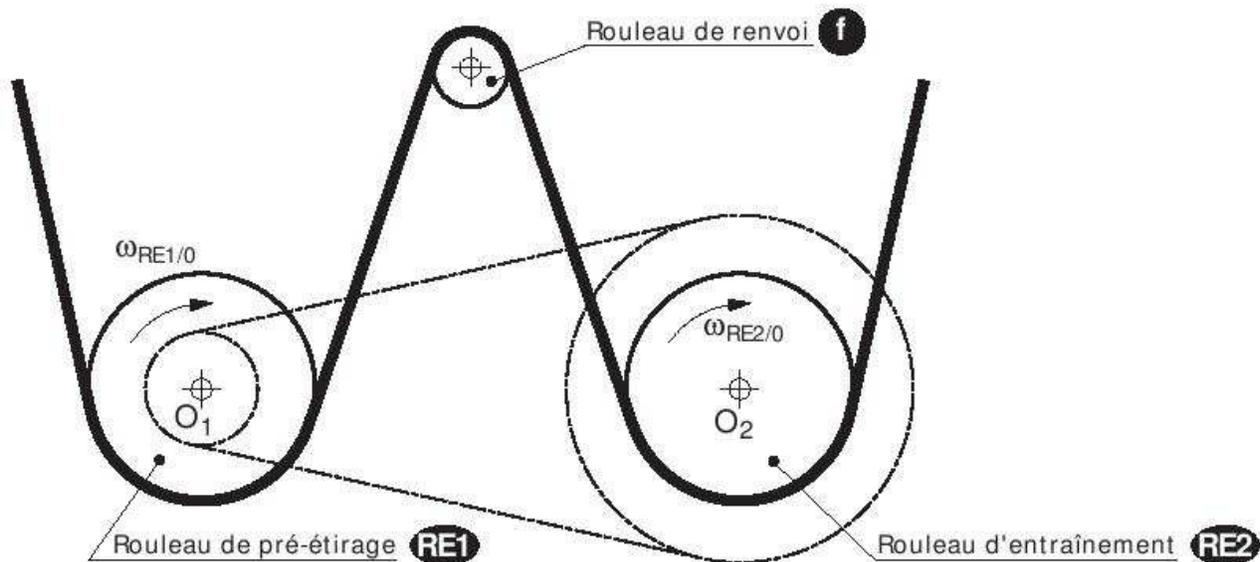


FIG. 9 – Enroulement du film lors du pré-étirage.

2.1.3 Phase d'enroulement du film sur le produit palettisé

L'état d'allongement du film pré-étiré ne doit pas être modifié jusqu'à son application sur le produit à banderoler.

Or, pour une vitesse angulaire constante donnée du plateau porte-palette, la section rectangulaire de la palette induit une variation de la vitesse de défilement du film, provoquant une variation de tension de celui-ci.

L'objectif de l'asservissement est d'assurer une tension du film la plus constante possible à tout instant de l'application de celui-ci sur le produit à banderoler.

La tension de référence du film est prise en compte par la machine en harmonisant la vitesse de rotation du rouleau d'entraînement (1) et la vitesse de rotation $\omega_{1/0}$ du plateau porte-palette sur la base du rayon moyen d'enroulement du film sur le produit palettisé. Cette tension de référence est désignée « consigne d'effort de tension du film » t_c ($t_c = \text{constante} = \text{échelon d'effort de tension}$). Les actions conjuguées du rouleau de renvoi (d), du rouleau du bras de détection (e) et du produit à banderoler déterminent la tension réelle du film, désignée « effort de tension du film » $t_f(t)$.

La grandeur à asservir est donc $t_f(t)$, et le but recherché est d'annuler l'écart $t_c - t_f$.

Le montage du bras de détection du film est défini en vue de dessus et en position médiane ($\theta_f = 45^\circ$) sur la figure 10. Ce bras est articulé en B sur le chariot ; il est constamment poussé en C par le vérin à gaz.

Un "vérin à gaz" agit comme un ressort. C'est un vérin dont les chambres sont remplies de gaz sous pression, ce qui lui permet d'exercer un effort sur le bras, d'autant plus grand qu'il est comprimé.

La boucle de film ainsi formée entre le rouleau de renvoi (d) et le produit palettisé constitue une « réserve de film » afin d'encaisser les variations de vitesse de défilement du film et donc les variations de tension :

- lorsque $\theta_f > 45^\circ$, la vitesse v de défilement du film est supérieure à la vitesse moyenne v_{moy} et le rouleau d'entraînement (RE1) doit tourner plus vite ;
- lorsque $\theta_f < 45^\circ$, la vitesse v de défilement du film est inférieure à la vitesse moyenne v_{moy} et le rouleau d'entraînement (RE1) doit tourner moins vite.

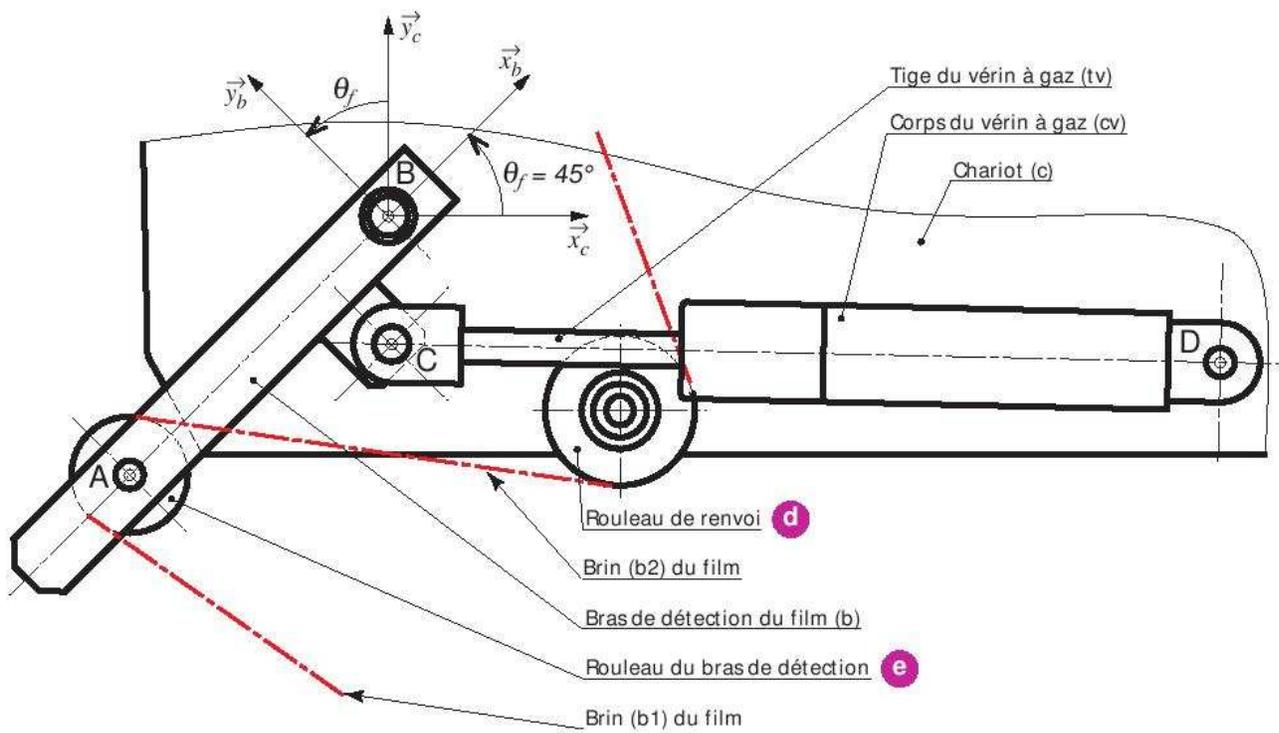


FIG. 10 – Vue de dessus du bras de détection du film et du vérin à gaz.

Le capteur de position angulaire est « calé » de façon à délivrer une tension $u_m = 0$ dans la position médiane ($\theta_f = 45^\circ$).

L'effort de tension $t_c(t)$ consigne est introduit dans un pupitre de commande. Ce pupitre convertit cette information en tension électrique $u_c(t)$ qui est comparée à la tension électrique $u_m(t)$ mesurée par le capteur angulaire du bras de détection.

L'écart $\epsilon = u_c - u_m$ est utilisée par le module de correction et d'amplification pour définir la tension de commande $u_{co}(t)$ en Volts. Cette tension de commande est ensuite transformée par le variateur en fréquence de courant $f_c(t)$ (en Hertz), qui alimente le moteur asynchrone.

Le moteur asynchrone exerce en sortie un couple $c_m(t)$, qui est adapté par le réducteur de vitesse en un couple d'entraînement $c_e(t)$ plus important. Le couple d'entraînement est appliqué aux rouleaux d'entraînement pour conduire à une tension du film $t_f(t)$.

La tension du film $t_f(t)$ modifie la position $\theta_f(t)$ (en radians) du bras de détection du film. Un réducteur à engrenage amplifie la rotation $\theta_f(t)$ en une rotation θ_m . Cette rotation θ_m est mesurée par un capteur de rotation qui convertit l'information en une tension électrique $u_m(t)$.

2.2 Modélisation de l'asservissement de tension

1. Identifier la grandeur de consigne et la grandeur asservie, en précisant leurs unités.
2. Le système asservi est-il un système régulateur ou suiveur ?
3. Proposer un schéma bloc fonctionnel en indiquant le nom de chaque bloc et les grandeurs physique pour chaque lien, en précisant les unités.

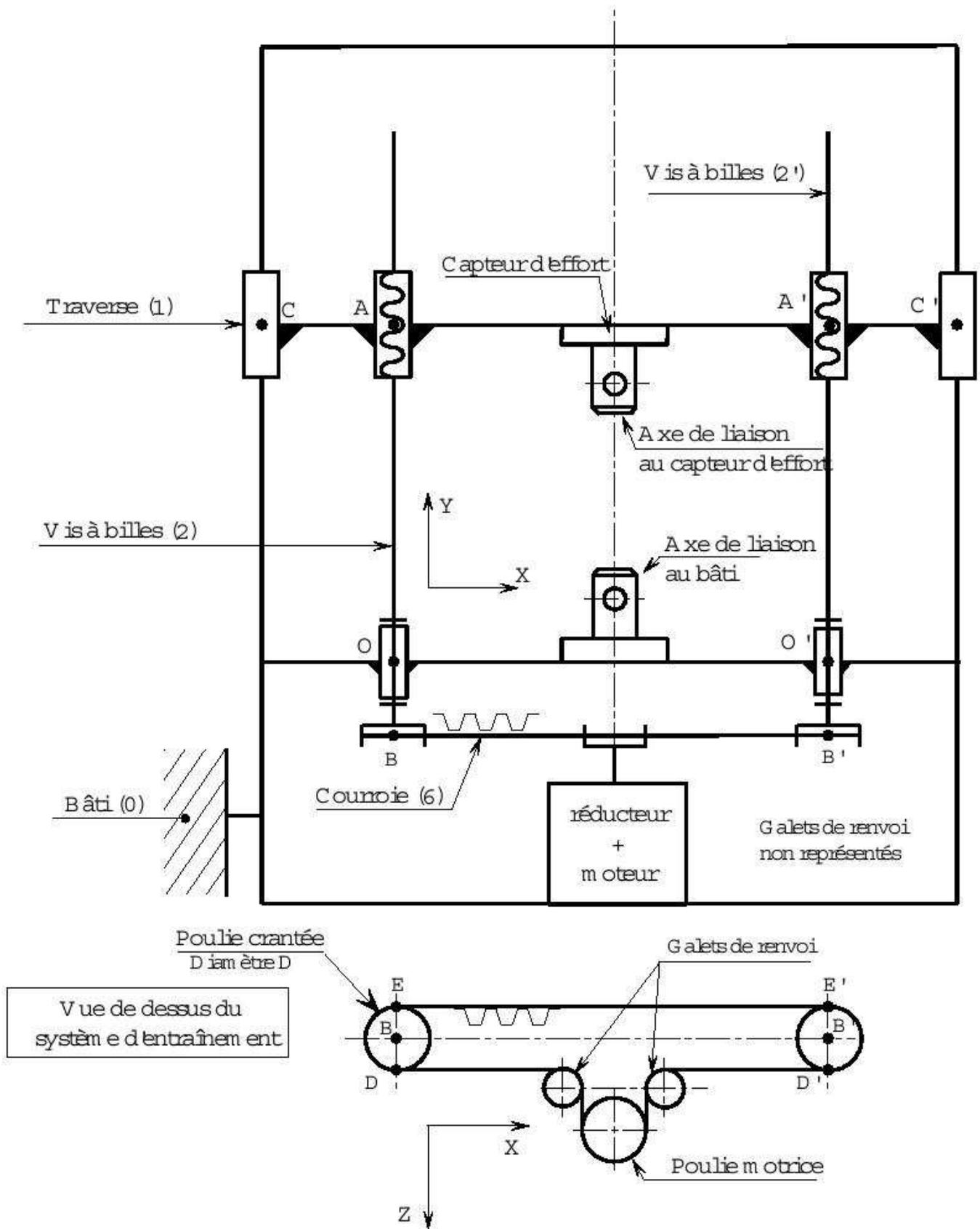


FIG. 11 – Schéma cinématique de la machine d'essai.

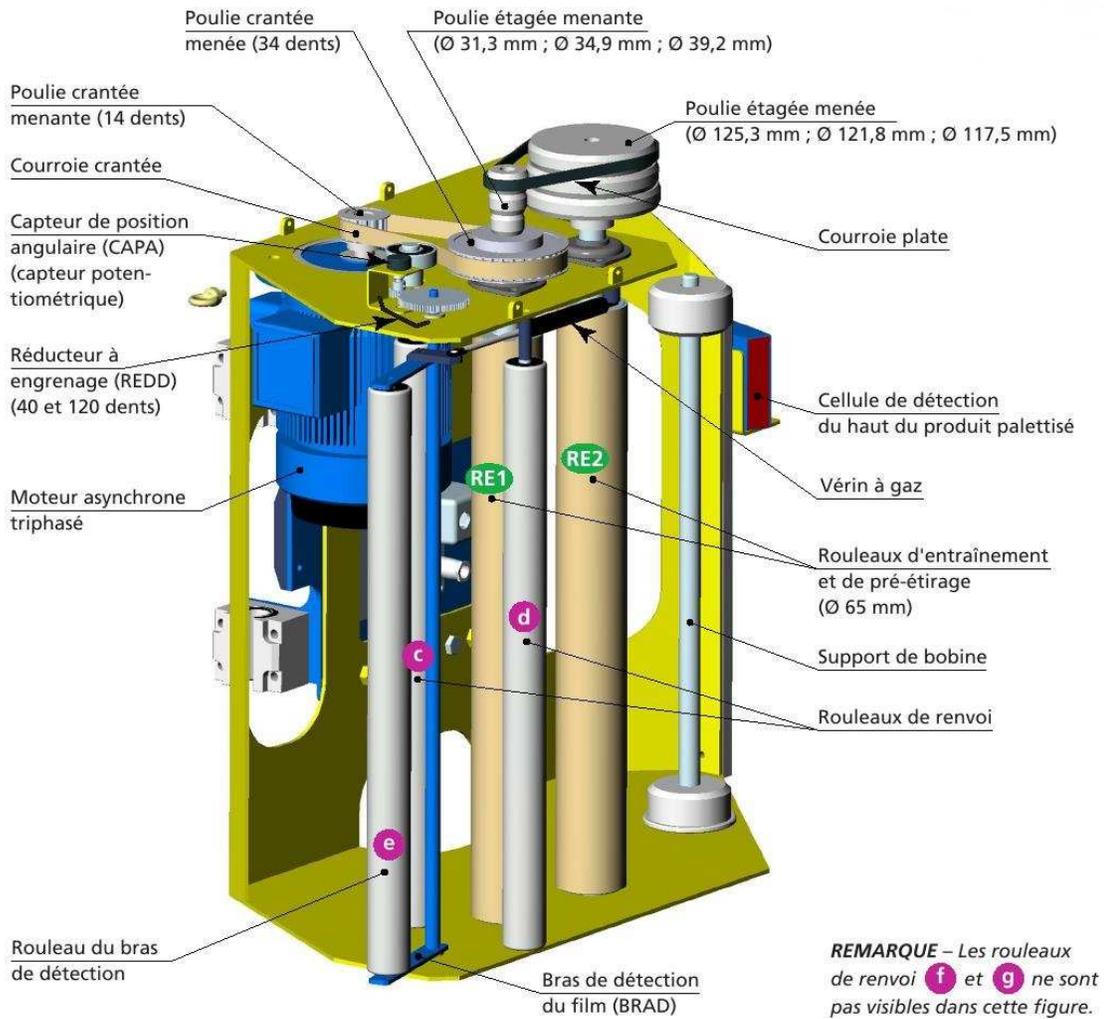


FIG. 12 – Vue détaillée du chariot

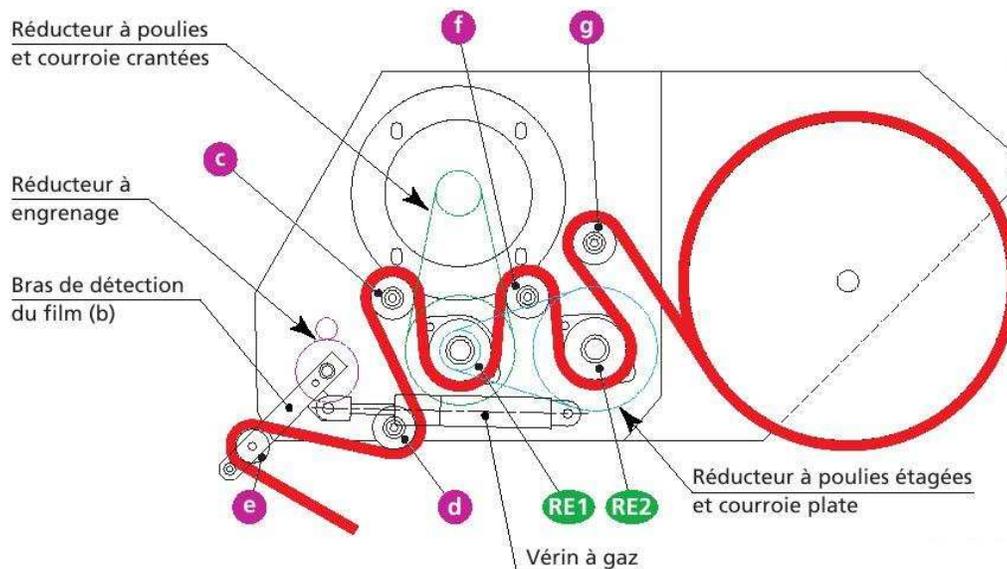


FIG. 13 – Vue de dessus du chariot avec le circuit de défilement du film.