Concours e3a-Polytech, France

Session 2013, filière MP

Sciences industrielles de l'ingénieur

Durée : 3 heures

Ce que traite le sujet

- Commande de compactage et cadence de ramassage
- Évolution de la géométrie au cours du pressage
- Pression de compactage et effort des vérins

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années : prepahelp.com/annales/e3a/mp/2013/si

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

CONCOURS ARTS ET MÉTIERS ParisTech - ESTP - ARCHIMEDE

Épreuve de Sciences Industrielles MP

Durée 3 h

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

L'usage de calculatrices est autorisé.

AVERTISSEMENT

La **présentation**, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la **rédaction, la clarté et la précision** des raisonnements entreront pour une **part importante** dans **l'appréciation des copies**. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs.

Tournez la page S.V.P.

Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance.

Presse à chambre variable 990

La fenaison désigne la coupe et la récolte des fourrages, elle peut se décomposer en quatre étapes :

- le fauchage, coupe de l’herbe.
- le fanage, retournement de l'herbe pour accélérer son séchage.
- l’andainage, mise en ligne du foin afin de faciliter son ramassage.
- le pressage, compactage du foin en bottes ou en balles, afin d'être facilement transporté et stocké.

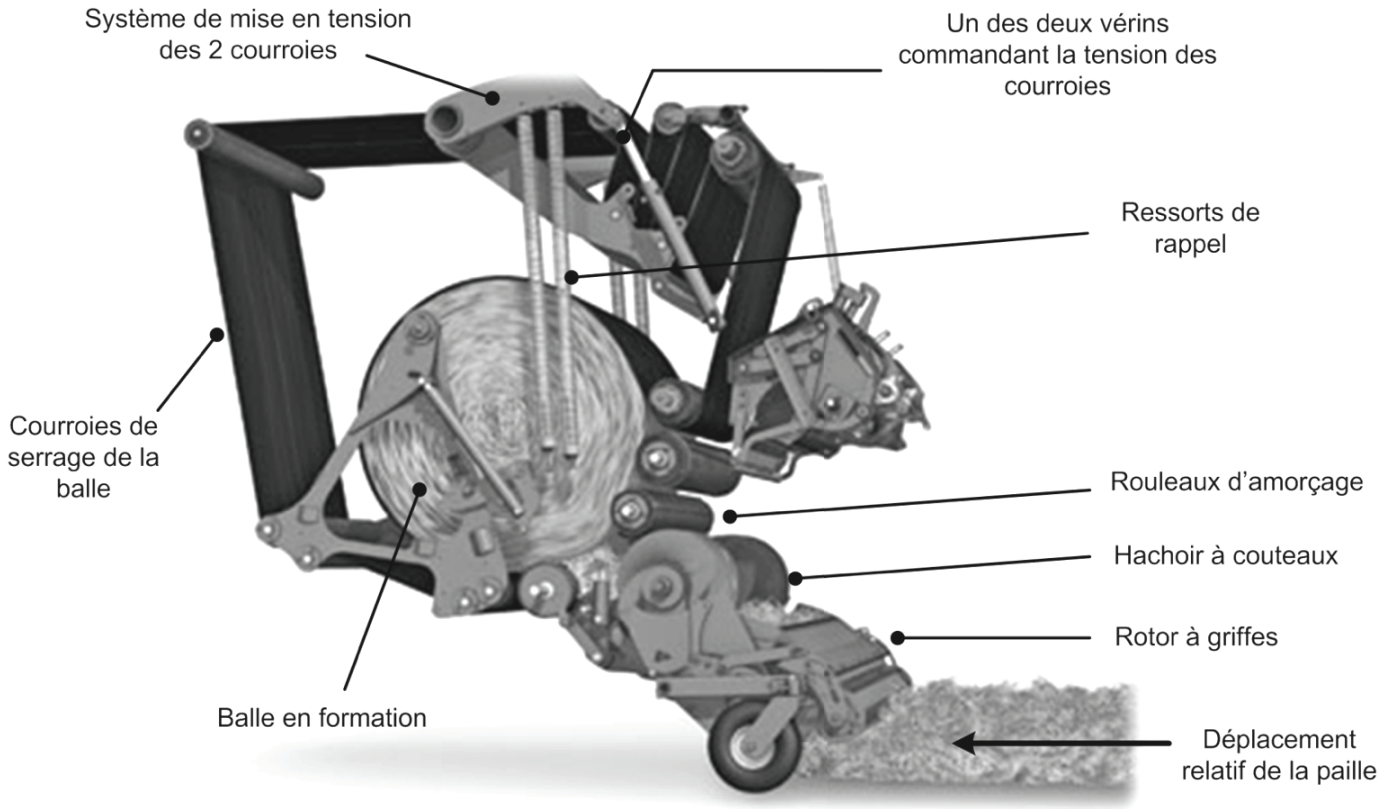
La presse à chambre variable 990 de chez John Deere est une machine agricole tractée qui permet de réaliser en un temps record des balles de paille de diamètre pouvant aller de 0,80 m à 1,80 m.



Description du processus de pressage automatique :

Chronologie des étapes :

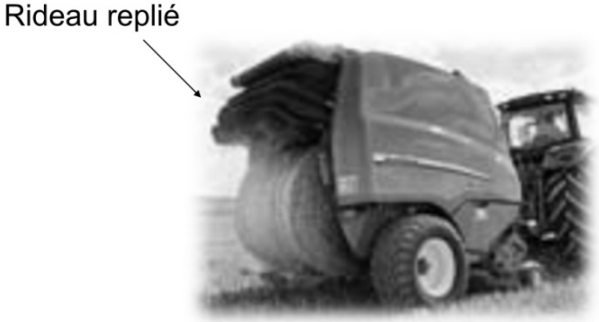
- Remplissage : un rotor à griffes ramasse l'herbe dans un hachoir à couteaux puis, trois rouleaux d'amorçage permettent de créer le cœur de la balle cylindrique qui va grossir en s'enroulant sur lui-même. La densité de la balle est contrôlée par deux vérins (un de chaque côté) de mise en tension de deux courroies côte à côte qui la maintiennent pendant sa formation.
- Arrêt : lorsque la balle a atteint la taille demandée, un signal via un réseau ISOBUS est envoyé au tracteur pour qu'il s'arrête automatiquement.
- Liage : un filet est déposé autour de la balle pour maintenir sa forme et sa densité.
- Escamotage du rideau.
- Ejection de la balle.
- Fermeture du rideau et redémarrage du tracteur.



Remplissage



Liage



Escamotage du rideau et éjection

Tournez la page S.V.P.

Différentes phases de formation d'une balle :

La paille acheminée par les hachoirs rentre dans la zone de création de la balle. La rotation des rouleaux combinée au déplacement des courroies engendre la formation de la balle. En même temps, les vérins s'allongent ce qui libère une partie des courroies stockée en partie supérieure et permet ainsi d'augmenter la dimension de la balle de paille. Ces vérins de mises en tension des courroies permettent de contrôler la pression de compactage de la balle.

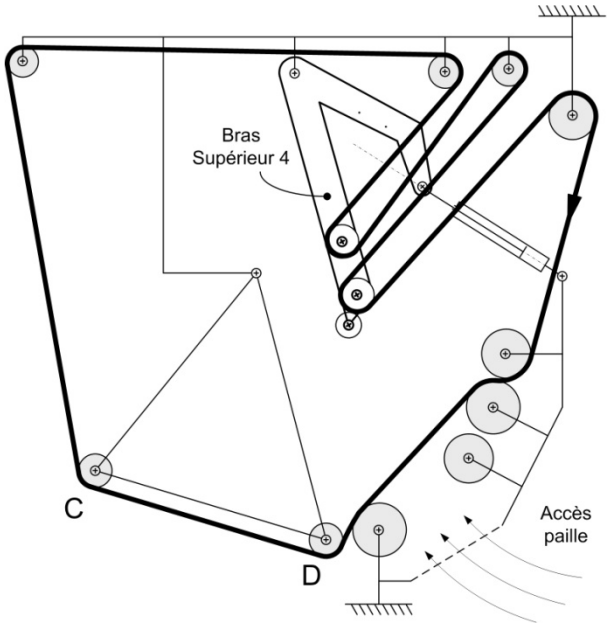


Figure 1 : système vide (sans balle).

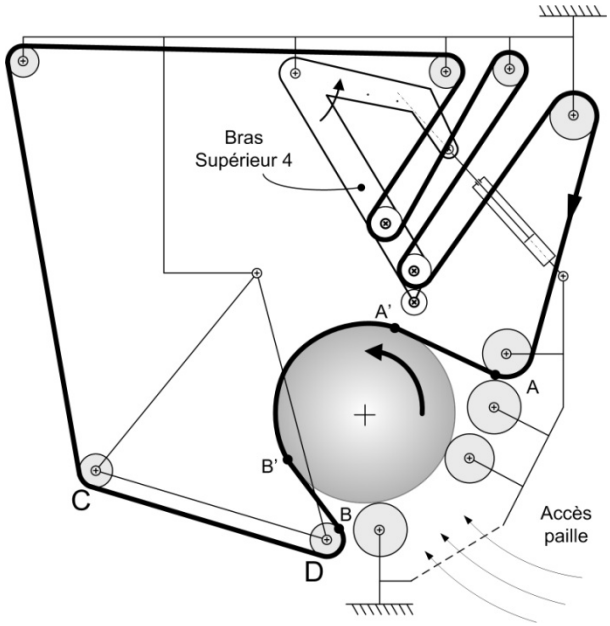


Figure 2 : amorçage du cœur de la balle.

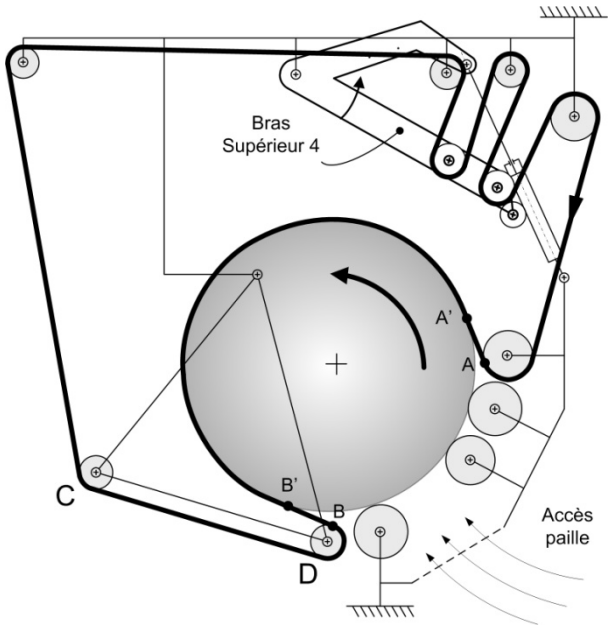


Figure 3 : balle en formation.

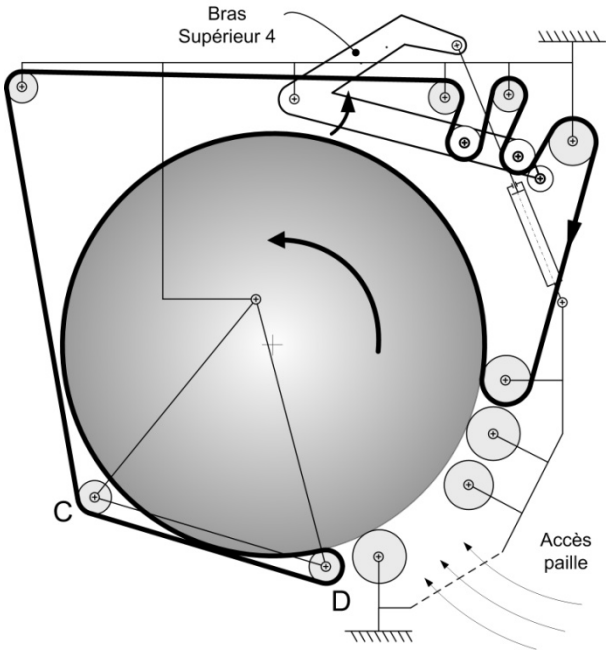


Figure 4 : balle terminée.

L'étude va porter sur la commande de ces vérins afin d'obtenir la densité de la balle souhaitée par le conducteur.

Processus d'éjection :

Une fois la balle de paille formée, une partie mobile pivote pour ouvrir l'enceinte de formation de la balle et ainsi la libérer et l'éjecter. Durant cette phase, les vérins se déplacent pour maintenir une tension minimale dans les courroies.

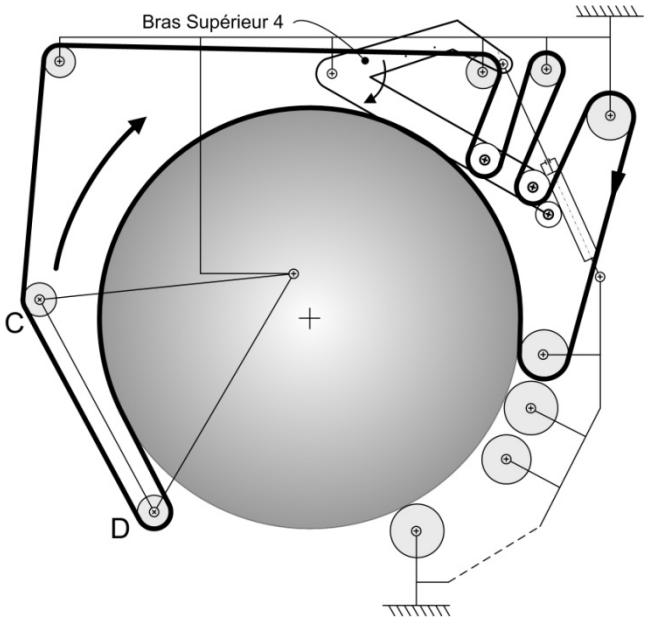


Figure 5 : début de l'ouverture.

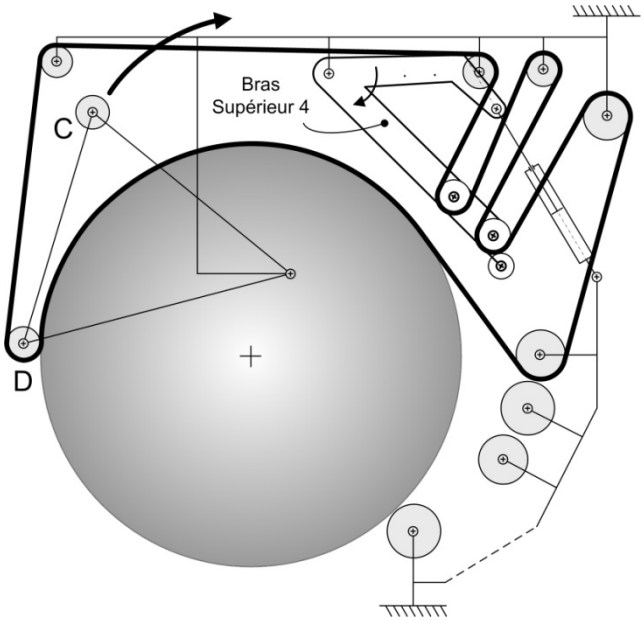


Figure 6 : décollement de la balle.

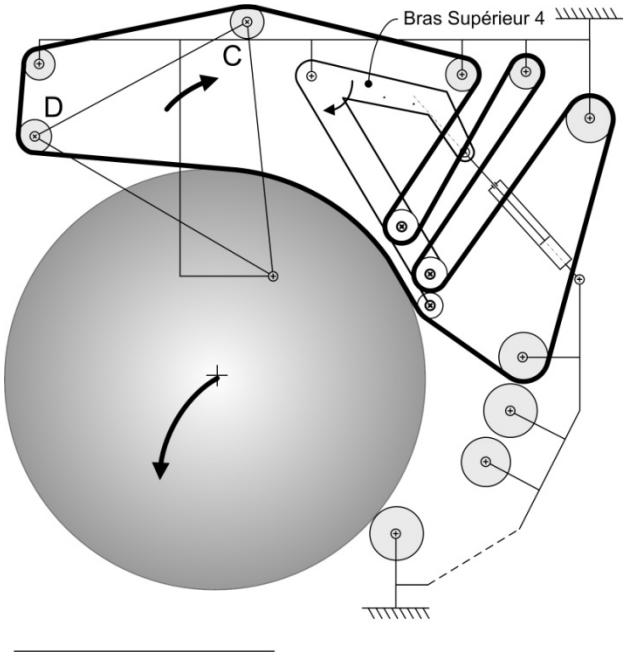


Figure 7 : éjection de la balle.

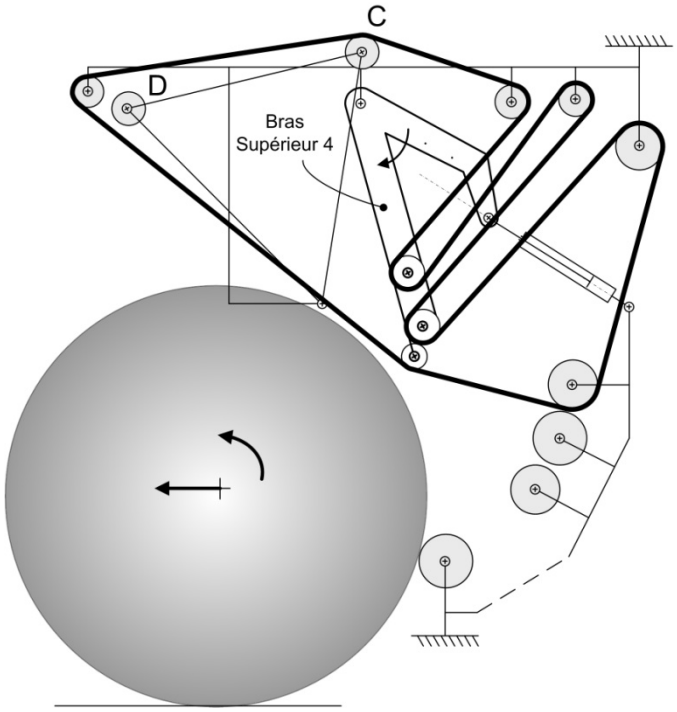
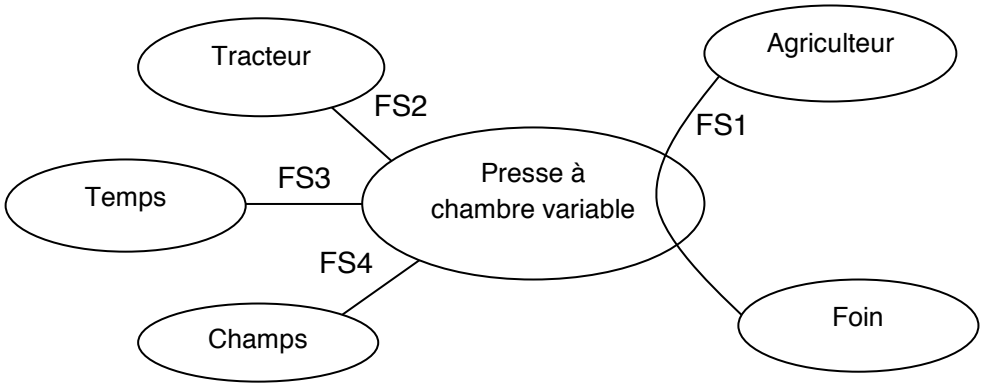


Figure 8 : balle éjectée.

Tournez la page S.V.P.

Extrait du Cahier Des Charges Fonctionnelles :



En phase de fonctionnement normal, il y a quatre fonctions de service à remplir :

- FS1 : permettre à l'agriculteur de presser le foin sous forme de balles.
- FS2 : pouvoir être déplacé par un tracteur.
- FS3 : résister à l'environnement (températures, humidité, pluie…).
- FS4 : pouvoir rouler dans les champs de céréales.

Pour la fonction de service FS1, on extrait les fonctions techniques suivantes :

		critères	niveaux
FS 1.1	Dimensionner la balle	Largeur 1,10m Diamètre de 0,90m à 1,80m	3% sur la largeur 5% sur le diamètre
FS 1.2	Presser la balle	Pression de 0,1 à 0,5 bar	10%
FS 1.3	Cadencer le ramassage	70 balles par heure	±1

Pour **assurer la densité de la balle souhaitée par le conducteur du tracteur** à 10% près, il faut commander la pression des vérins de mises en tension des courroies. Cette pression est aussi fonction de la position du mécanisme. Dans la première partie, on propose de vérifier la cadence de ramassage et le contrôle de la densité de la balle à partir d'une modélisation simplifiée de la commande. Puis, dans la seconde partie, on vérifiera le bien-fondé de certaines transmittances.

Etude de la commande de compactage :

Présentation :

Le système hydraulique a pour fonction d'asservir la pression de compactage durant le processus de création de la balle (fig. 9).

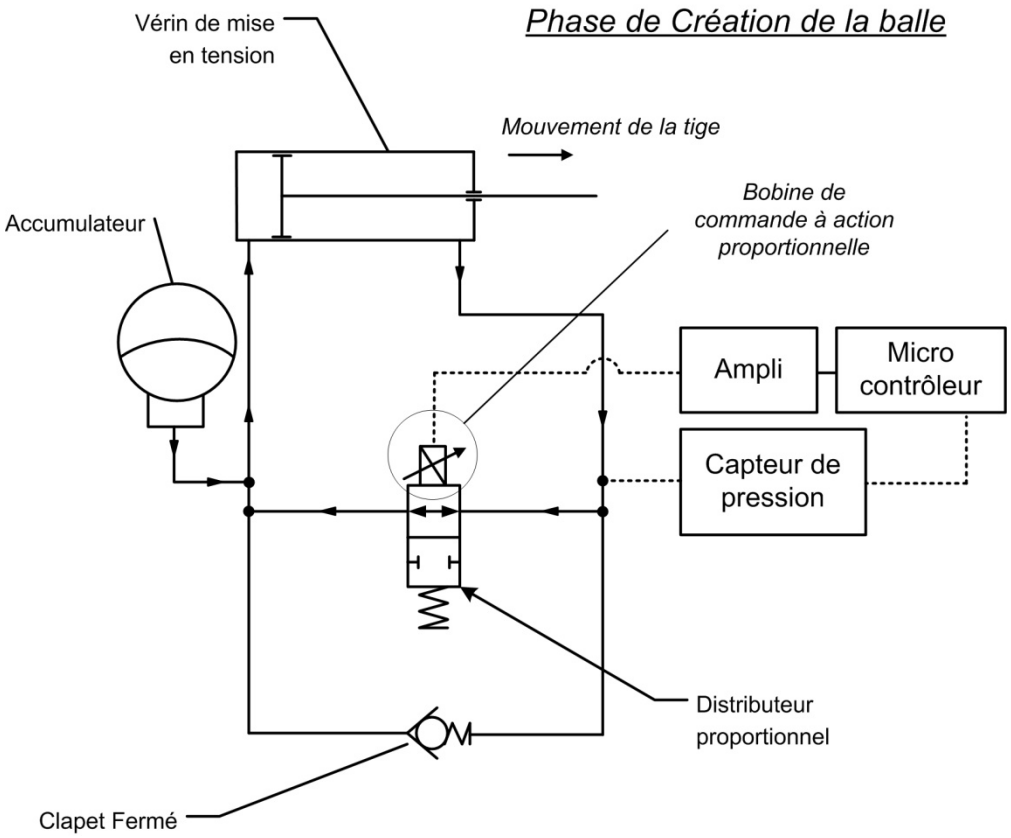


Figure 9 : schéma de la commande d'un vérin de mise en tension des courroies.

La pression de compactage de la balle P_b est obtenue en contrôlant la pression hydraulique P_V en sortie de vérin. Cette pression est générée par l'effort T produit par la courroie sur le vérin et par conséquent est en lien direct avec la pression de compactage.

Le contrôle de la pression est assuré par le pilotage du distributeur proportionnel. Ce type de distributeur permet un débit proportionnel à la tension de commande contrairement aux distributeurs classiques qui eux fonctionnent en « tout ou rien ».

En fin de cycle de pressage, la porte s'ouvre et le cycle de contrôle de la pression est interrompu. Durant cette phase, l'effort engendré sur les courroies disparait mais pas l'action des ressorts de rappels. Ces derniers permettent une inversion du déplacement de la tige du vérin. L'huile ne transite plus par le distributeur proportionnel mais par le clapet anti-retour.

Afin de compenser la dissymétrie des chambres du vérin, un accumulateur d'huile est implanté. Son action durant le cycle de pressage est négligeable.

Dans le microcontrôleur :

- Un adaptateur permet de calculer une image de la pression dans le vérin ImPc nécessaire pour avoir la pression de compactage souhaitée Pc en fonction de la position θ du bras supérieur 4.

Tournez la page S.V.P.

- Un comparateur calcule la différence entre cette image et l'image délivrée par le capteur de pression dans la chambre avant du vérin ImPv.
- Un correcteur amplificateur délivre un signal de commande U pour l'ouverture du distributeur.

Voici un schéma-bloc correspondant à cette analyse :

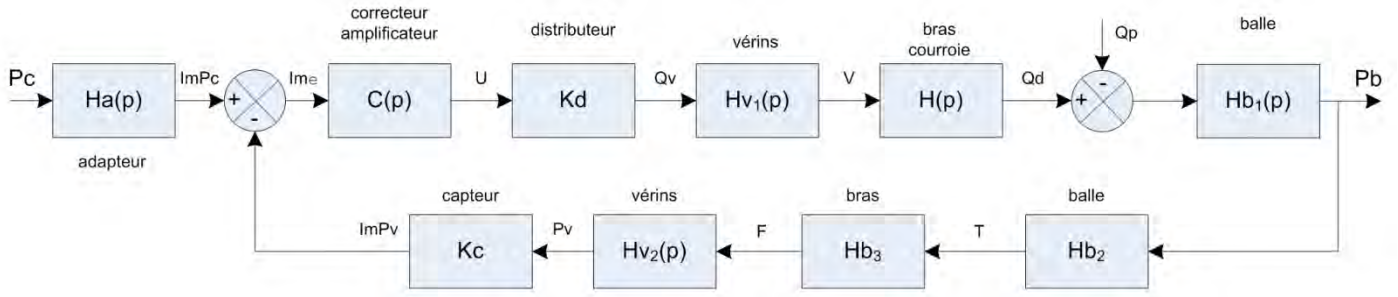


Figure 10 : schéma bloc de la commande.

Avec Kd = 3.10^{-5} $m^3.s^{-1}.V^{-1}$, Kc = 5.10^{-7} $V.m^2/N$, $Hb_1(p)$= 0,5/p, Hb_2 = 0,5 m², Hb_3 = 0,15, C(p) = K

En contrôlant le débit en sortie du vérin Q_v de la chambre avant du vérin, on contrôle la vitesse de sortie V du vérin, donc la vitesse de rotation ω du bras supérieur 4 et l'augmentation du volume disponible par unité de temps Q_d pour réaliser la balle. Si Q_d n'est pas compensé par le débit de paille ramassée Q_p alors la pression de la balle baisse. A contrario, si Q_p est plus grand que Q_v alors P_b augmente.

La balle sous pression P_b provoque une tension T dans les courroies, donc un effort F sur les vérins. Cet effort génère une pression P_v dans la chambre avant des vérins.

Remarque :

La transmittance de certains blocs dépend de l'angle θ formé entre le bras supérieur 4 et le bâti (Figure 15). Afin de remédier à cette non linéarité, un capteur de position renseigne le microcontrôleur. Il peut ainsi calculer en temps réel chacun de ces blocs.

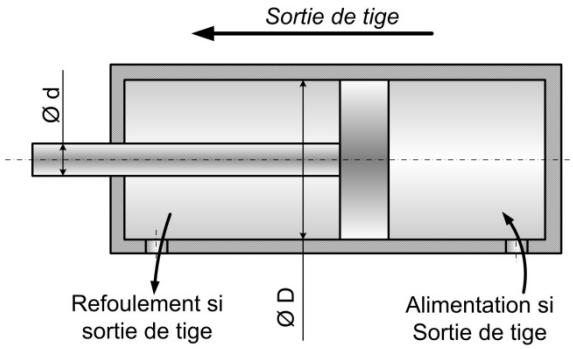


Figure 11 : vérin de mise en tension.

Données :

- Diamètre du piston des vérins : D = 63 mm.
- Diamètre tige des vérins : d = 45 mm.

Vérification de la fonction FS 1.3 « cadencer le ramassage des balles »

En pleine production, le système ramasse le foin avec un débit massique Q_{pm} $(5\ kg.s^{-1})$ et le comprime en une balle de largeur L (1,10 m) et de masse volumique ρ $(300\ kg.m^{-3})$ considérée constante tout au long du processus.

Q 1. Exprimer la masse de la balle Mb(t) en formation de deux manières différentes à partir du rayon de la balle R(t), Q_{Pm}, L, ρ et du temps t.

Q 2. En déduire, le rayon R(t) de la balle en fonction de Q_{Pm}, L, ρ et du temps t.

Q 3. Conclure quant à la cadence de 70 balles à l'heure donnée par le CdCF pour des balles de 0,90 m de diamètre. Prendre 10s pour le déchargement.

Vérification de la fonction FS 1.2 « Presser la balle »

Pour cette étude, on retiendra la valeur de θ = -45°. Cette valeur arbitraire correspond à une valeur angulaire atteinte par le bras supérieur 4 au milieu de la formation de la balle.

A partir des données de la Figure 11 :

Q 4. Exprimer $Hv_1(p)$.

Q 5. Exprimer $Hv_2(p)$. Rappel : l'action de l'accumulateur est négligeable pendant la phase de pressage.

Puis,

Q 6. Exprimer Ha(p) pour avoir le schéma-bloc suivant :

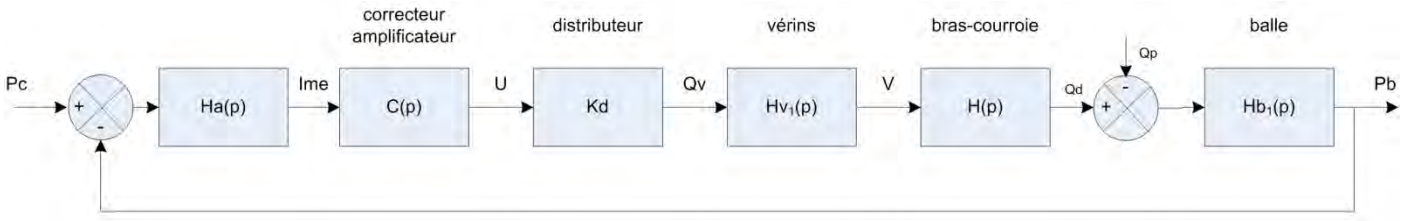


Figure 12 : schéma bloc de la commande de compactage.

La sortie de la tige du vérin à la vitesse V provoque la rotation du bras supérieur 4 à la vitesse ω. Cette rotation permet de libérer du volume dans l'enceinte pour réaliser la balle. La transmittance H(p) peut donc se décomposer ainsi :

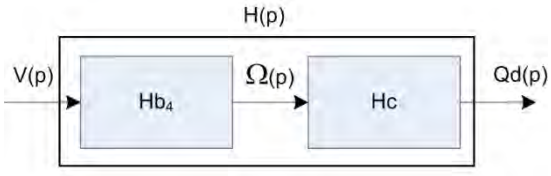


Figure 13 : décomposition de H(p)

Des études ont permis de déterminer Hb_4 = 0,55 m^{-1} et Hc = 0,05 m^3 pour θ = -45°

Q 7. Exprimer la fonction de transfert en boucle ouverte du système FTBO(p) sous forme canonique.

Q 8. Exprimer en poursuite la fonction de transfert en boucle fermée du système $FTBF_1(p) = \frac{P_b(p)}{P_c(p)}$ sous forme canonique.

Tournez la page S.V.P.

Q 9. Déterminer l'erreur statique ε_{p1}.

Dans cette partie on souhaite vérifier le comportement du système si une variation de débit de paille se produit.

Q 10. Exprimer en régulation (P_c constant), la fonction de transfert en boucle fermée du système $FTBF_2(p) = \frac{P_b(p)}{Q_p(p)}$ sous forme canonique.

Q 11. Déterminer le gain K du correcteur C(p) pour avoir une erreur statique ε_{p2} de 10% conformément au CdCF.

Dans les parties suivantes, on se propose de vérifier les transmittances Hc, Hb_4, Hb_2 et Hb_3 utilisées dans l'étude précédente.

Étude de l'évolution de la géométrie du système au cours du pressage.

La formation de la balle nécessite une longueur de courroie supplémentaire Cc entre les poulies d'enroulement (Figure 14). Afin, d'estimer la valeur de Cc, on choisit un modèle simplifié du système d'enroulement en négligeant le diamètre des poulies A et B. La longueur Cc correspond à la longueur de courroie entre A et B pendant la formation moins la longueur initiale sans balle entre A et B (a = 0,40 m).

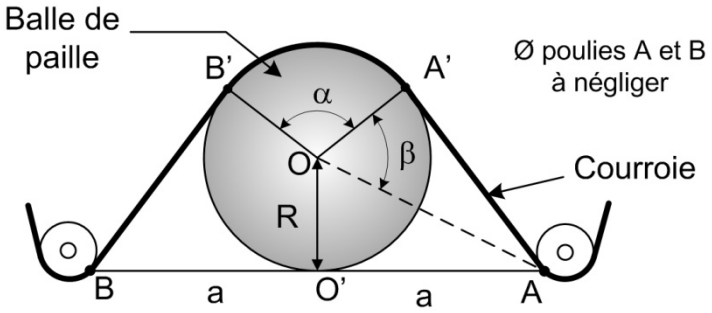


Figure 14 : Modèle simplifié de l'enroulement des courroies sur la balle.

Q 12. Exprimer Cc en fonction de R et α.

Q 13. Exprimer α en fonction de β.

Q 14. Exprimer β en fonction de a et R.

Q 15. En déduire l'expression de Cc en fonction de R et a.

Cette longueur de courroie Cc est obtenue grâce au déplacement de deux poulies liées au bras supérieur (4) (Figure 19). La modélisation (Figure 15) permet d'exprimer Cc en fonction de l'angle θ du bras (4). Les indices 0 sont relatifs à la position initiale vide sans balle comme sur la Figure 1.

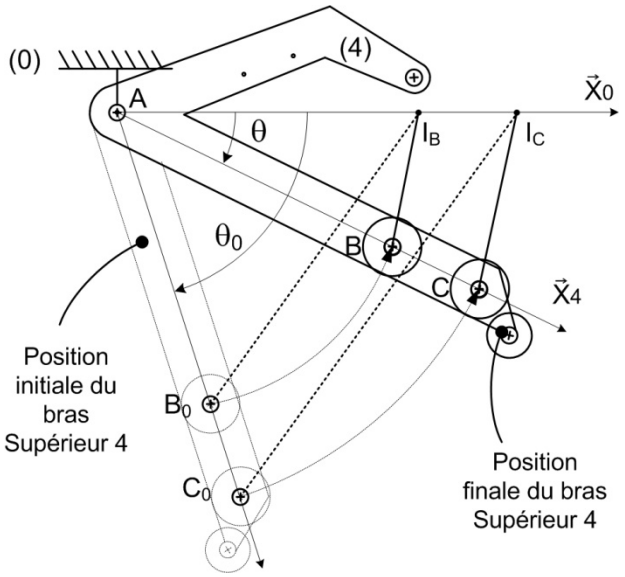


Figure 15 : paramétrage du mouvement du bras (4)

AB = AI_B = AB_0 = b = 0,77 m et AC = AI_C = AC_0 = c = 1,02 m.

Q 16. Exprimer I_BB_0 en fonction de θ_0 et b.

Q 17. En déduire l'expression de I_BB_0 - I_BB qui est la variation approchée d'un brin de courroie entre la poulie d'axe $B, \vec{Z}$ et les poulies liées au bâti.

Q 18. En déduire l'expression de Cc en fonction de b, c, θ_0 et θ.

Sur les graphes suivants (Figure 16 et Figure 17), on donne les résultats de Cc en fonction de R (Q 15) et de Cc en fonction de θ (Q 18).

Le tracé de Cc (Figure 16) permet de prendre une approximation linéaire : $Cc = k_1.\theta + k_2$

avec k_1 = 0,073 m/° et k_2 = 5,29 m pour θ compris entre -65° et -20°.

Le tracé de Cc (Figure 17) permet de prendre une approximation linéaire : $Cc = k_3.R + k_4$

avec k_3 = 5,50 et k_4 = -0,89 m pour R compris entre 0,20 m et 0,90 m.

Tournez la page S.V.P.

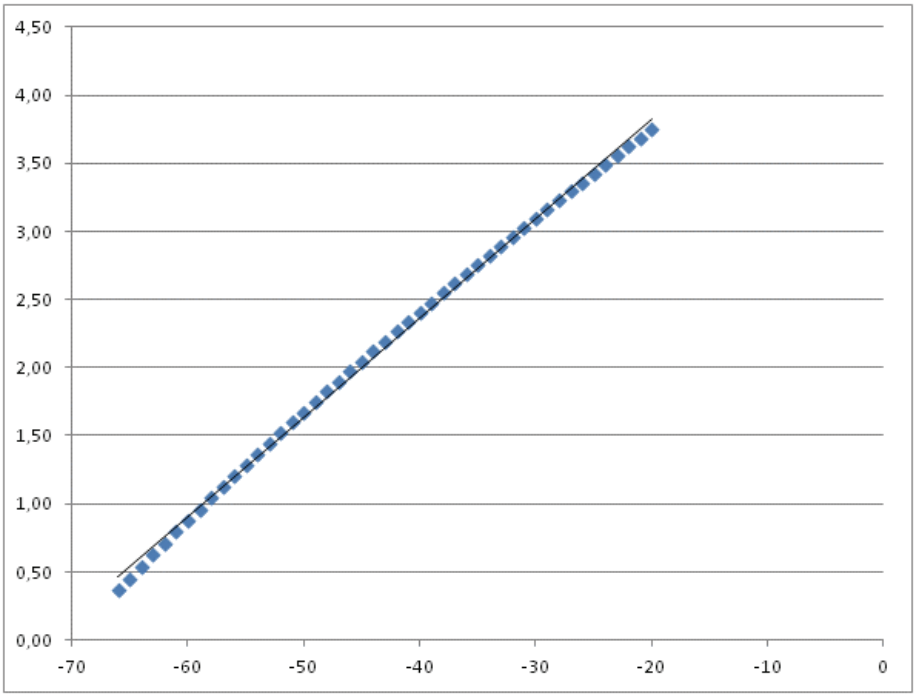


Figure 16 Cc (m) en fonction de θ (°)

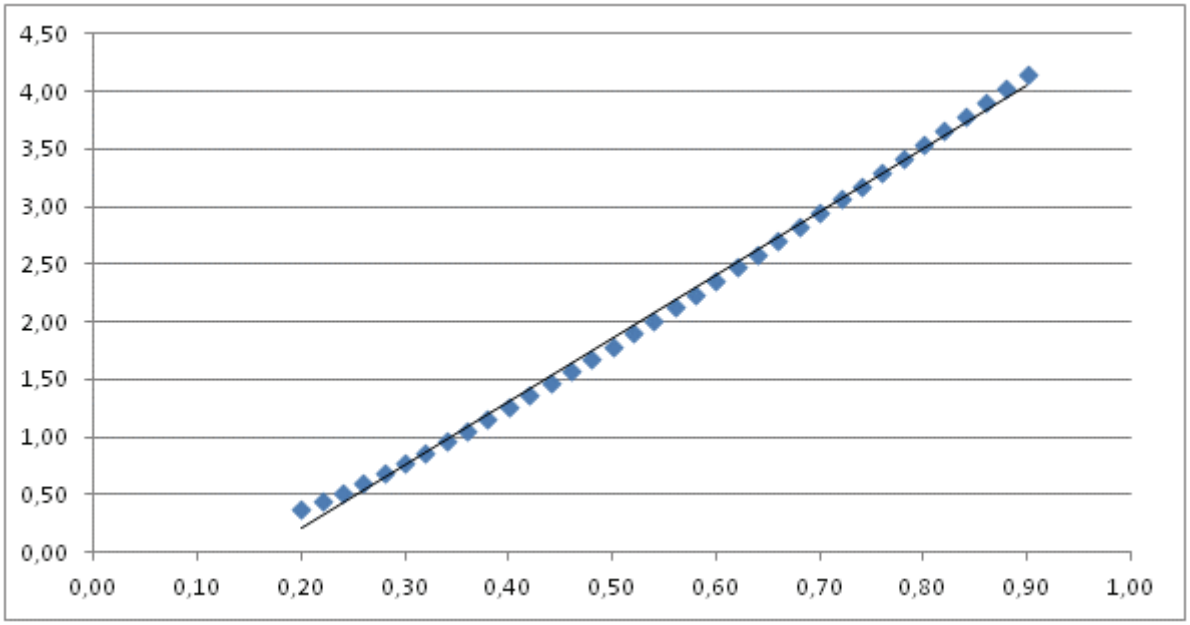


Figure 17 : Cc (m) en fonction de R (m)

Q 19. A partir de ces approximations, en déduire l'expression du rayon R en fonction de la position θ du bras, puis l'expression du volume V_b de la balle en formation en fonction de θ.

Le graphe suivant donne le résultat à cette question.

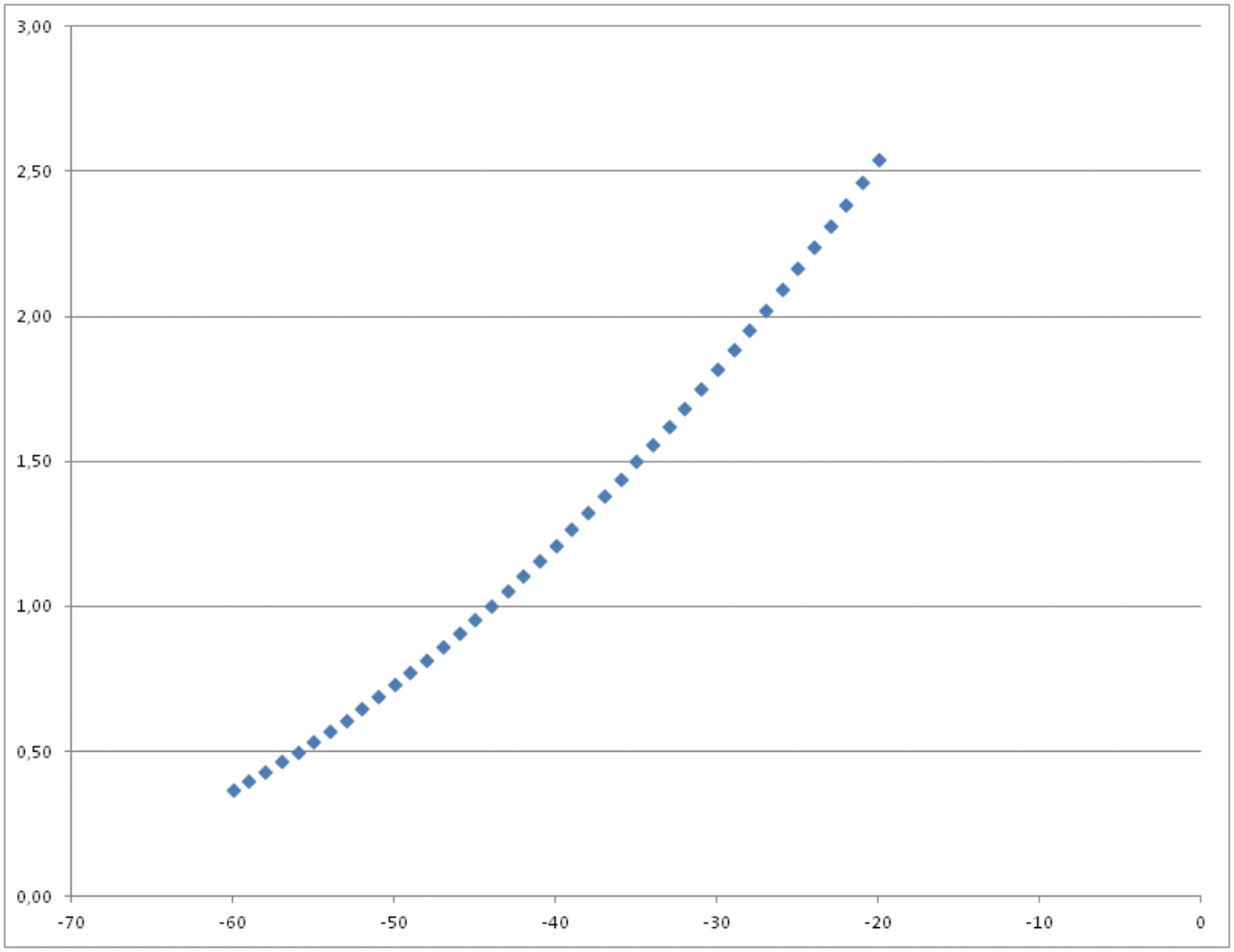


Figure 18 : V_b (m^3) en fonction de θ (°)

Q 20. En déduire la valeur du gain Hc (Figure 13) pour θ = -45°.

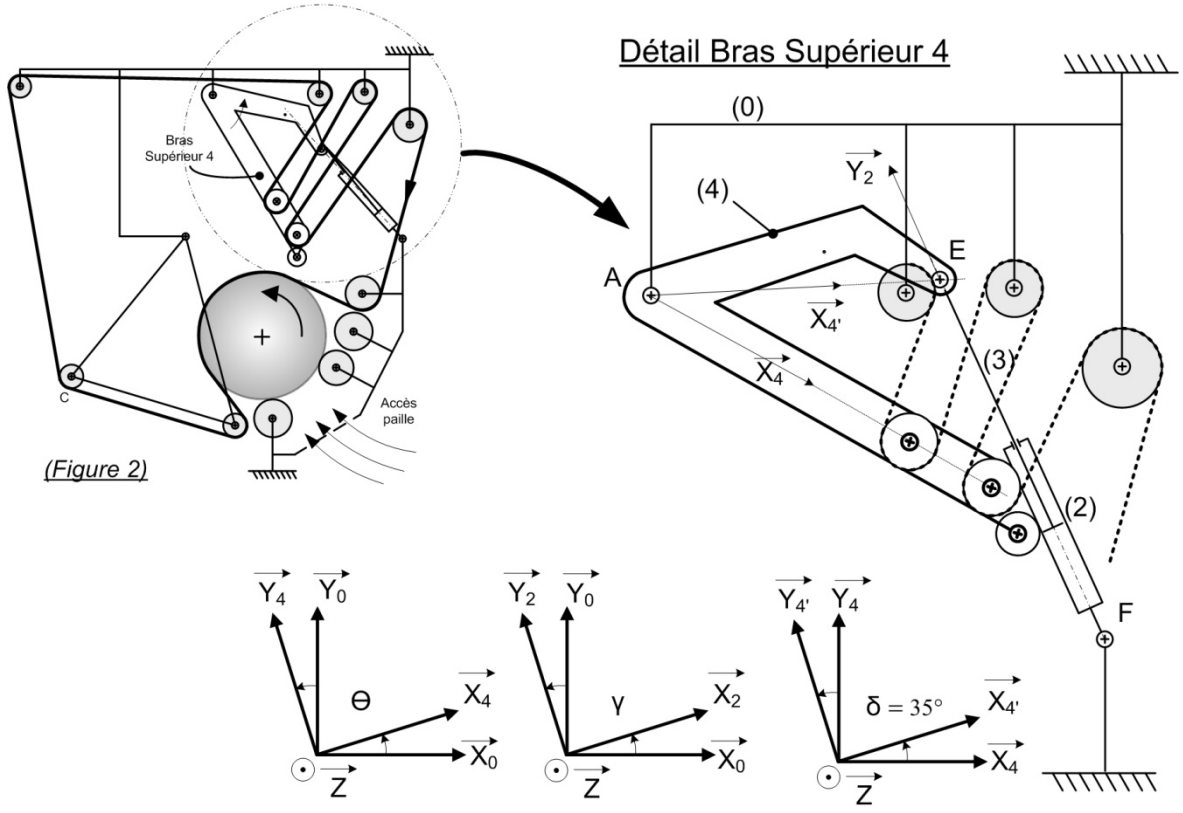


Figure 19

Tournez la page S.V.P.

$\overrightarrow{AE} = L_E.\overrightarrow{x_4}$; $\overrightarrow{FE} = L_V(t).\overrightarrow{y_2}$; $\overrightarrow{AF} = X_F.\overrightarrow{x_0} + Y_F.\overrightarrow{y_0}$; X_F = 1,10 m ; Y_F = -0,86 m ; L_E = 0,71 m

Q 21. A partir d'une fermeture géométrique, exprimer $L_V(t)$ en fonction de X_F, Y_F, L_E, δ et θ.

Q 22. En déduire en phase de sortie de tige, l'expression de la vitesse V du vérin.

Le graphe suivant donne le résultat pour une vitesse ω = 1 rad/s.

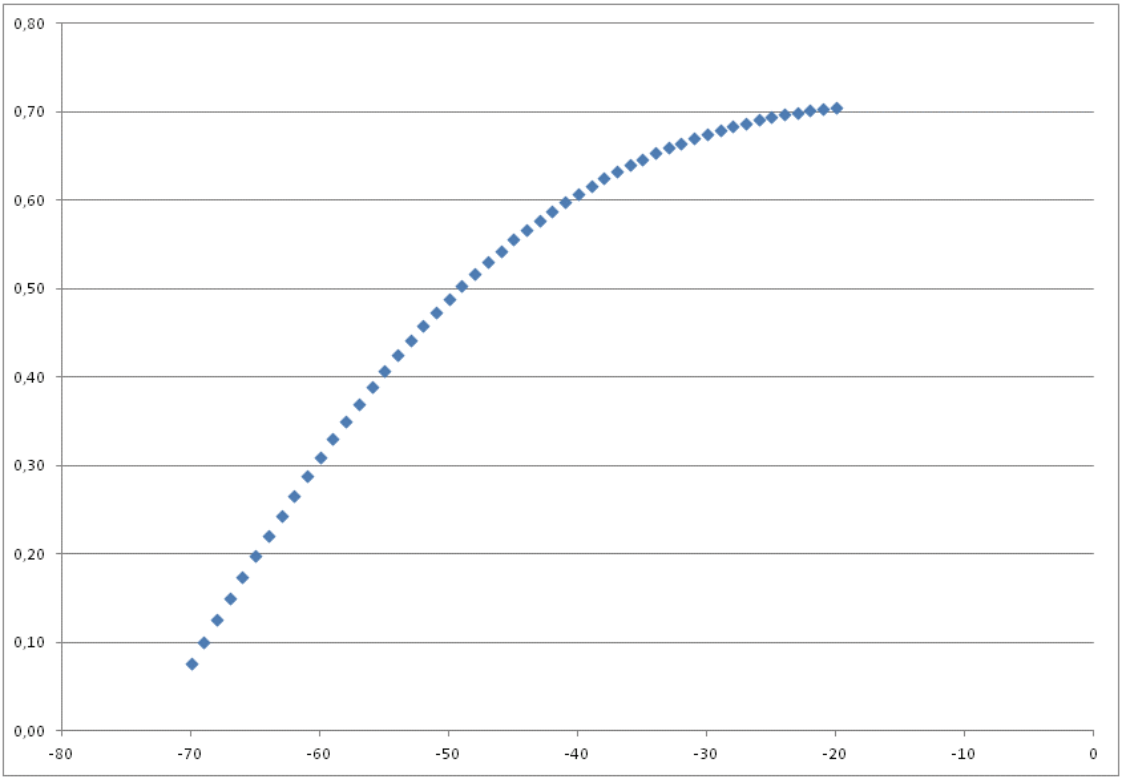


Figure 20 : V (m/s) en fonction de θ (°)

Q 23. En déduire la valeur du gain Hb_4 (Figure 13) pour θ = -45°.

Étude de la pression de compactage en fonction de l'effort exercé par les vérins :

Afin de contrôler la pression de compactage P_b de la balle, on cherche la relation entre cette pression P_b souhaitée et la tension T dans les courroies. Puis, on cherche la relation entre cette tension T et l'effort F que doivent exercer les vérins. Ainsi, on pourra déterminer les fonctions de transfère $Hb_2(p)$ et $Hb_3(p)$ (**Figure 10**)

Hypothèses :

- Champ de pression uniforme appliqué par les courroies sur la balle : $Pb(\theta) = 0{,}1\ bar$.
- Tension des courroies uniforme. $T_A = T_B = T$.
- Masse des courroies négligée.
- Le problème est supposé plan.
- Elasticité des courroies négligée.

Données :

- $\|\overrightarrow{O_2O_1}\| = 2.a$, avec a = 0,40 m
- Rayons des poulies (1) et (2) : r = 10 cm.
- Largeur d'une balle : L = 1,10 m.

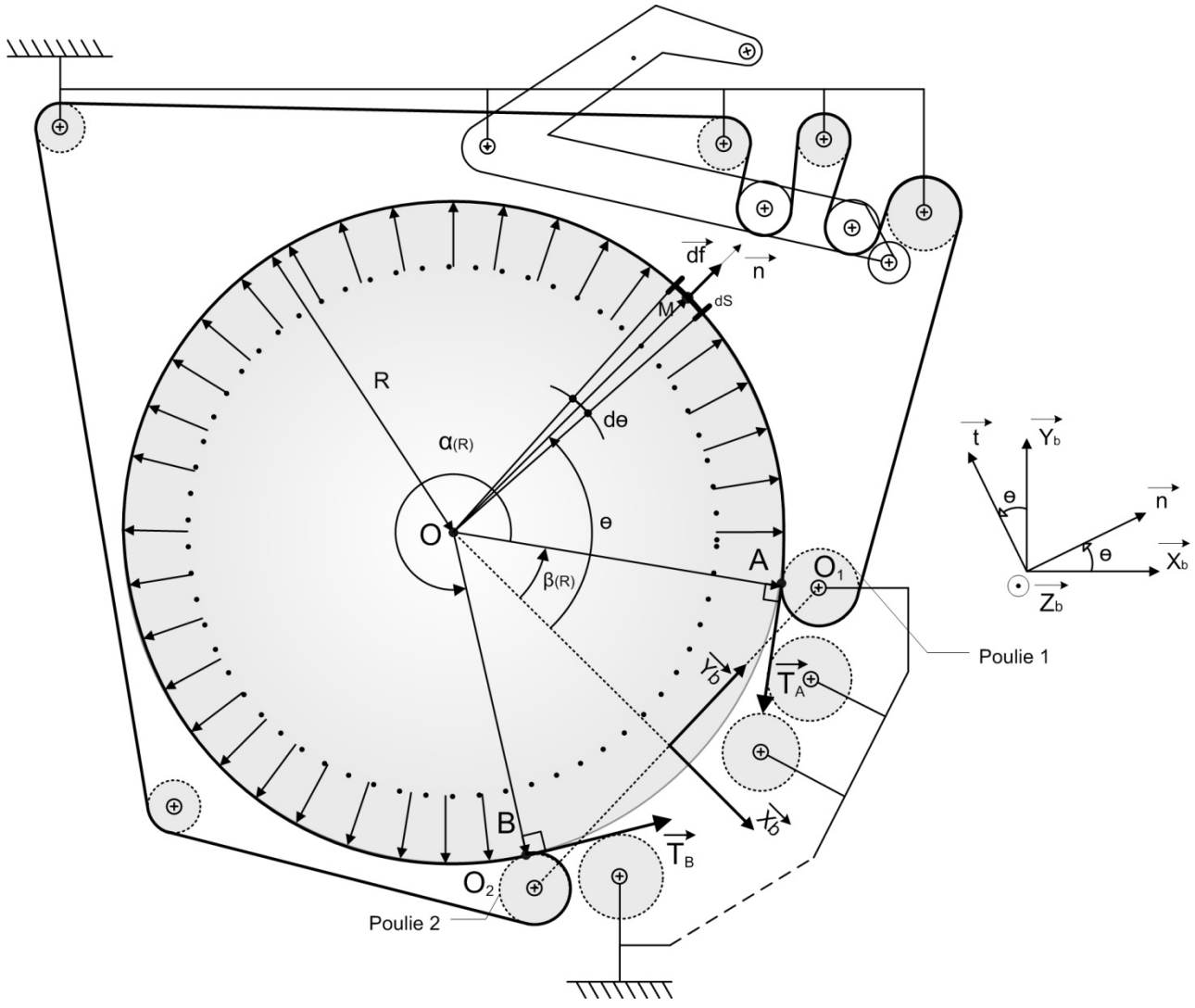


Figure 21 : paramétrage de la compression d'une balle.

Tournez la page S.V.P.

Q 24. Exprimer $\beta(R)$ en fonction de R(t), r et a.

Au point M, la balle exerce une force élémentaire $\overrightarrow{df}$ sur la surface élémentaire dS des courroies portée par la normale $\vec{n}$.

Q 25. Exprimer la portion élémentaire de surface dS en fonction de $d\theta$, R et L.

Q 26. Exprimer l'effort élémentaire $\overrightarrow{df}$ agissant sur dS en fonction de $d\theta$, R, L et P.

Q 27. Déterminer les composantes dans la base $\left(O, \overrightarrow{X_b}, \overrightarrow{Y_b}, \overrightarrow{Z_b}\right)$ des éléments de réduction au point O du torseur des actions mécaniques exercées par la balle sur les courroies $\{T_{b\to c}\}_O$ en fonction de P, R, L et α.

Q 28. En isolant la portion des courroies en contact avec la balle et en s'arrêtant juste avant les poulies 1 et 2 (Figure 21), déterminer la tension dans les courroies T en fonction des paramètres précédants.
En déduire, la valeur du gain Hb_2 de la **Figure 10**.

Dans la partie suivante, les paramètres de la Figure 22 seront utilisés.

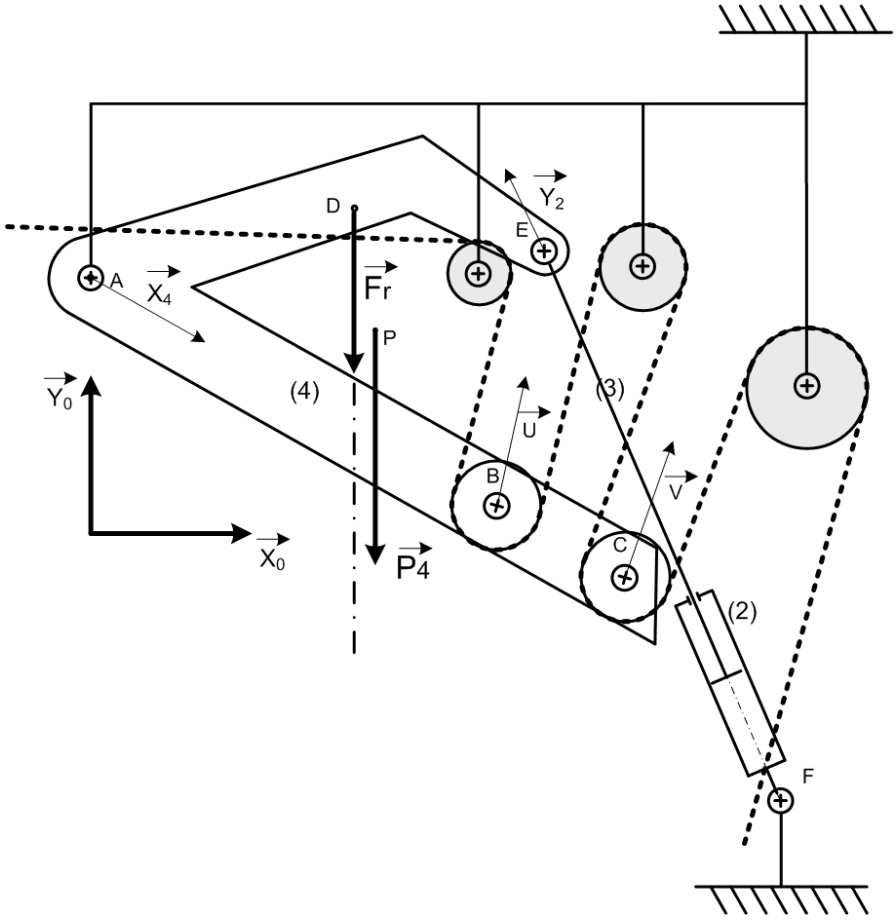


Figure 22 : paramétrage du système de mise en tension.

Hypothèses :

- Liaisons parfaites.
- Problème plan.
- Les brins des courroies en liaison avec les poulies du bras sont parallèles.
- Masse des courroies négligée.
- Action des ressorts peut être considérée constante pendant la formation d'une balle : $\left\|\overrightarrow{F_{r\to 1}}\right\| = F_r = 30\ kN$.

Données :

- $\overrightarrow{AB} = X_B.\overrightarrow{x_4}$; $\overrightarrow{AC} = X_C.\overrightarrow{x_4}$; $\overrightarrow{AD} = X_D.\overrightarrow{x_4} + Y_D.\overrightarrow{y_4}$; $\overrightarrow{AE} = X_E.\overrightarrow{x_4} + Y_E.\overrightarrow{y_4}$; $\overrightarrow{AP} = X_P.\overrightarrow{x_4} + Y_P.\overrightarrow{y_4}$
- $\overrightarrow{AB} = 685.\overrightarrow{x_4}$; $\overrightarrow{AC} = 900.\overrightarrow{x_4}$; $\overrightarrow{AD} = 294.\overrightarrow{x_4} + 274.\overrightarrow{y_4}$; $\overrightarrow{AE} = 553.\overrightarrow{x_4} + 331.\overrightarrow{y_4}$;
- $\overrightarrow{AP} = 410.\overrightarrow{x_4} + 125.\overrightarrow{y_4}$ (distances en mm).
- Une étude géométrique a permis de trouver : $\vec{u} = \frac{4{,}49.\overrightarrow{x_0} - 4{,}76.\overrightarrow{x_4}}{\sqrt{1-\cos\theta}} = u_0.\overrightarrow{x_0} - u_4.\overrightarrow{x_4}$; $\vec{v} = \frac{\overrightarrow{x_0} - \overrightarrow{x_4}}{4.\sqrt{1-\cos\theta}} = v_0.\overrightarrow{x_0} - v_4.\overrightarrow{x_4}$
- $(\overrightarrow{Y_0}, \overrightarrow{Y_2}) = \gamma$.
- Poids du bras supérieur (4), P_4 = 600 N.

Q 29. Déterminer le torseur des actions mécaniques exercé par les courroies sur la poulie d'axe $(B, \overrightarrow{Z_0})$ au point B : $\{T_{C\to PB}\}_B$

Q 30. Déterminer le torseur des actions mécaniques exercé par les courroies sur la poulie d'axe $(C, \vec{Z})$ au point C : $\{T_{C\to PC}\}_C$

Q 31. Faire le bilan des actions mécaniques agissant sur le bras supérieur (4). Noter qu'il y a deux bras de tension et deux vérins, un à chaque extrémité des poulies. L'étude porte sur un seul de ces bras.

Q 32. Exprimer l'effort F du vérin sur le bras supérieur (4) en fonction de P_4, T, F_r, u_0, u_4, v_0, v_4, θ et γ.

Une étude géométrique (Q 21) permet d'exprimer γ en fonction de θ, on peut ainsi exprimer F en fonction de T et θ. Le résultat est donné (Figure 23) pour différentes valeurs de T : 2 000 N à 10 000 N

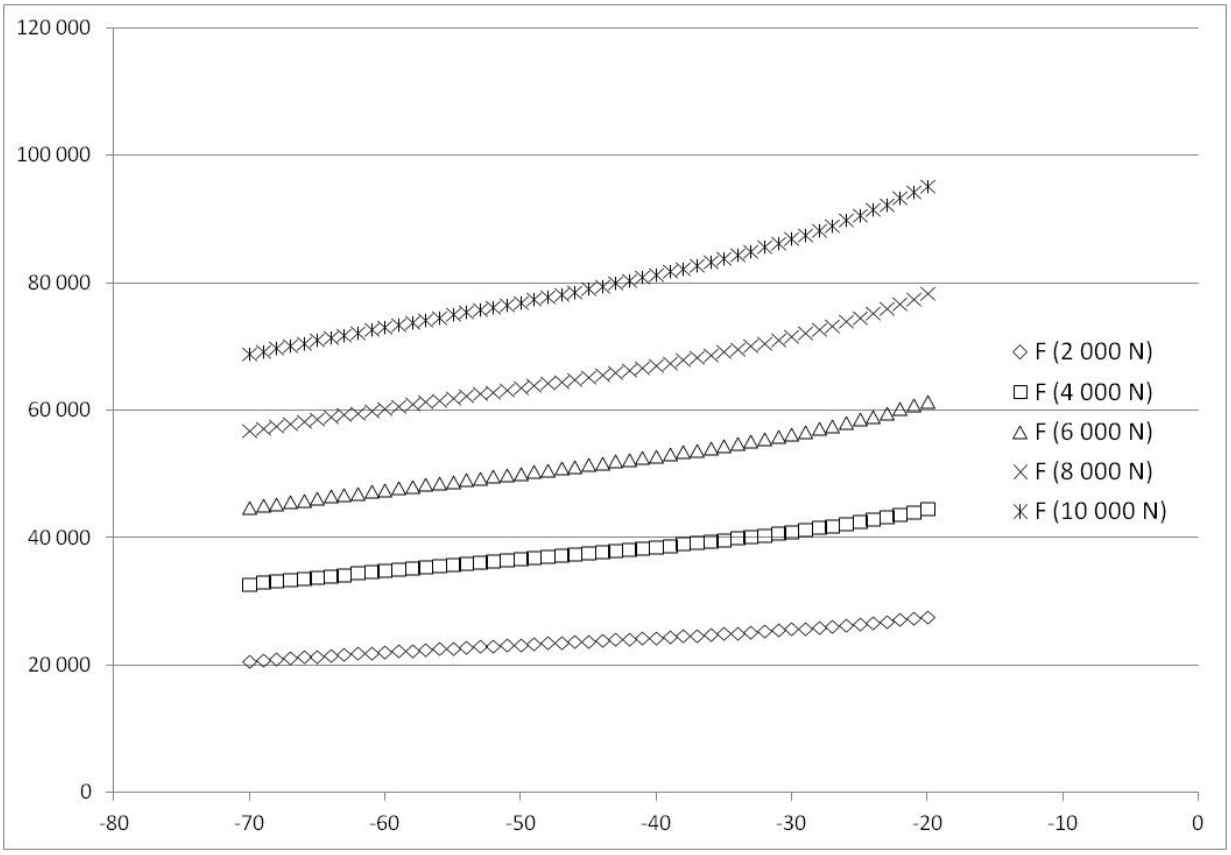


Figure 23 : ***F (N) en fonction de*** **θ (°)** ***pour différentes valeurs de T (N)***

Q 33. En déduire par des mesures, la valeur du gain Hb_3 de la **Figure 10** pour θ = -45°.

Les quatre transmittances Hc, Hb_4, Hb_2 et Hb_3 sont maintenant déterminées.

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de MP chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Modélisation des systèmes asservis : structure, SLCI, transformée de Laplace, schéma-blocs
- Performances des systèmes asservis : stabilité, précision, rapidité
- Correction des systèmes asservis : correcteurs P, PI et à avance de phase
- Cinématique des mécanismes : composition des mouvements, contact ponctuel, lois entrée-sortie et fermetures
- Simplification d'un modèle : linéarisation, non-linéarités, pôles dominants, validité
- Modélisation des actions mécaniques : modèles local et global, frottement, torseurs des liaisons
- Statique des solides : principe fondamental et stratégie d'isolement

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/e3a/mp