

1. MISE EN CONTEXTE

Dans le cadre de la production de véhicule, le constructeur automobile doit faire face à une grande variabilité concernant l'équipement des boucliers (pare-chocs) des véhicules. Ces boucliers arrivent peints de chez le fournisseur et doivent être percés d'un nombre de trous dépendant du niveau d'équipement du véhicule final : pas de trous pour un véhicule peu « optionné » à une quinzaine pour un modèle équipé de radars de parking et de lave-phares.

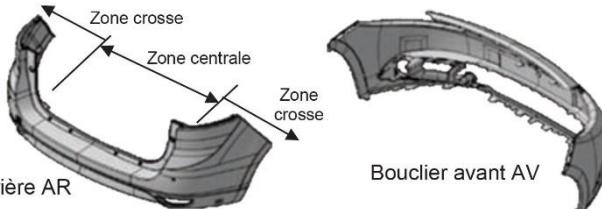


Figure 1 - Modèles 3D de bouclier

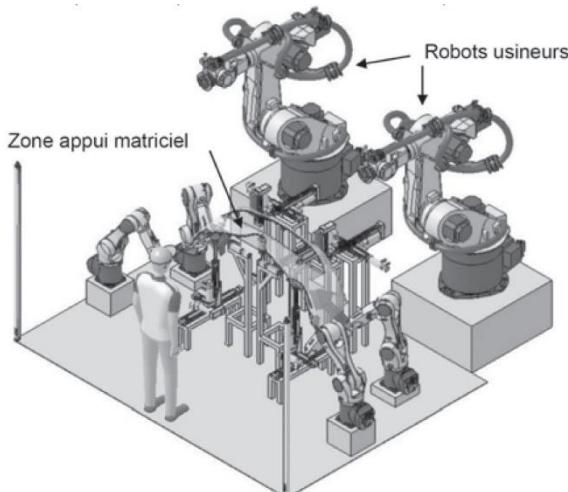


Figure 2 - Cellule de travail

Aujourd'hui, ces différentes opérations de perçage sont effectuées par une machine spécifique. La machine étant destinée à un modèle de pare-chocs, l'arrivée d'une nouvelle gamme en production va demander de l'investissement pour l'achat de nouvelles machines ainsi que de l'espace pour leur implantation.

C'est dans ce contexte que le constructeur automobile étudie une solution qui permet de regrouper différents modèles de boucliers avant (AV) ou arrière (AR) sur une même machine.

2. CAHIER DES CHARGES

La Figure 3 fournit un extrait du cahier des charges sous la forme d'un diagramme d'exigences :

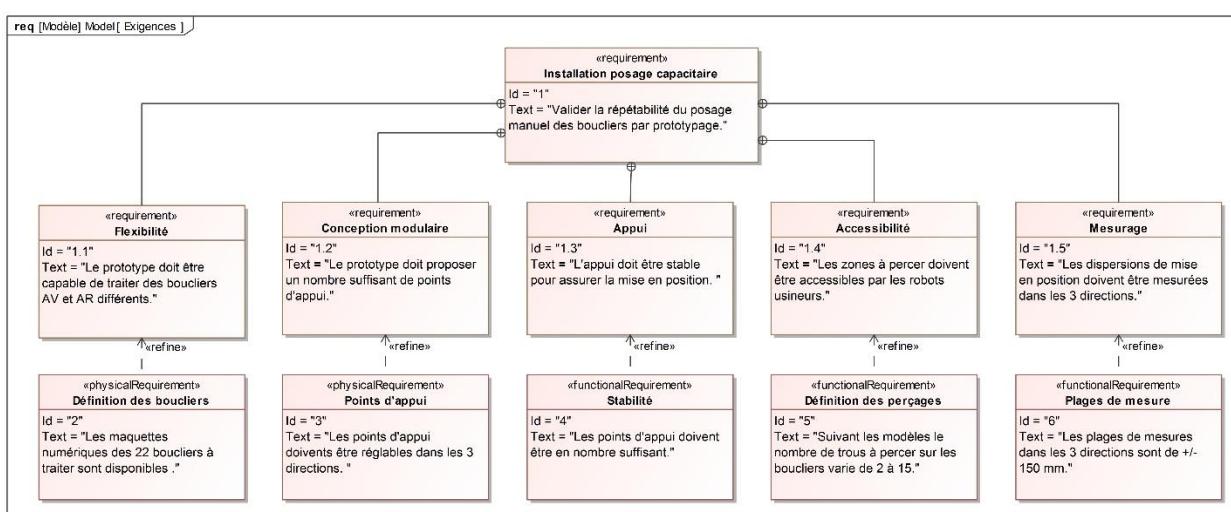


Figure 3 - Diagramme d'exigences

3. PRÉSENTATION DE L'ENSEMBLE DE POSAGE

Différents essais ont permis de définir les zones d'appui pour accueillir la diversité en boucliers.

Les zones d'appui retenues sont définies sur la Figure 4.

Une fois le nombre de points de contact et autres effecteurs déterminés, une étude a permis de définir les mouvements et courses nécessaires à ces différents éléments afin de s'adapter à la diversité des boucliers (22 modèles), tout en minimisant les degrés de liberté des points ainsi que l'amplitude des mouvements.

La cellule doit pouvoir traiter un bouclier (avant ou arrière) dans un temps de 0,85 min. Le temps de reconfiguration de la cellule entre deux types de bouclier ne doit pas dépasser 1 s.

Le schéma cinématique du système de posage tenant compte de ces degrés de liberté nécessaires ainsi que des courses est donné Figure 5.

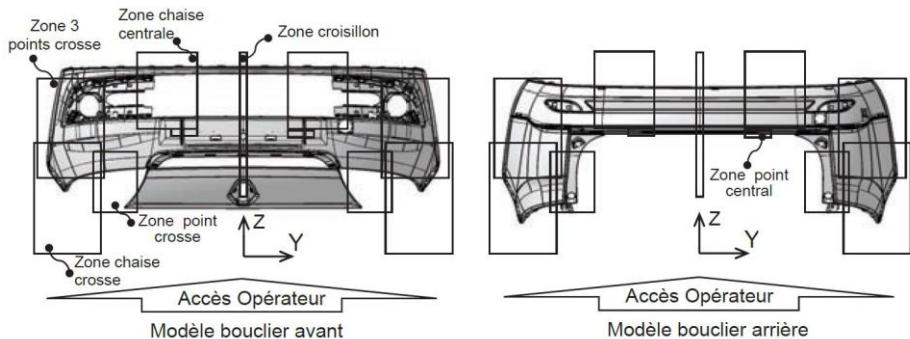


Figure 4 - Placement des zones de posage

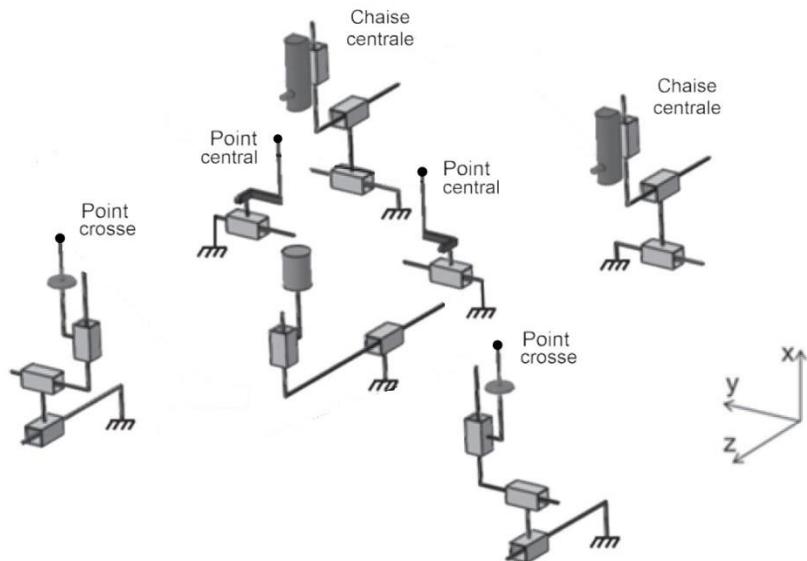


Figure 5 - Schéma cinématique du système de posage du bouclier

4. ANALYSE CINÉMATIQUE D'UNE CHAISE CENTRALE

Objectif : étudier les capacités cinématiques de l'axe vertical X d'une chaise centrale.

Pour répondre au critère de productivité imposé par le cahier des charges, chaque chaise ou point d'appui doit être motorisé.

Les deux chaises centrales sont motorisées dans les trois directions de l'espace et possèdent donc chacune trois axes motorisés comme le montre la Figure 6.

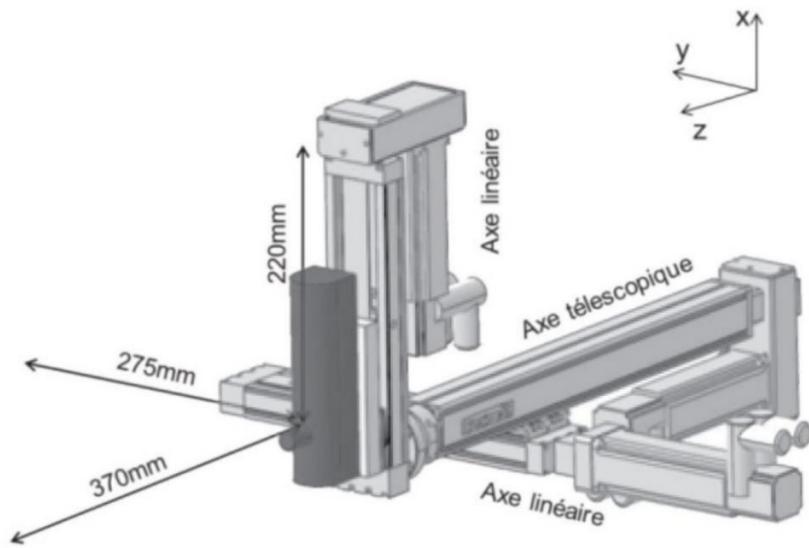
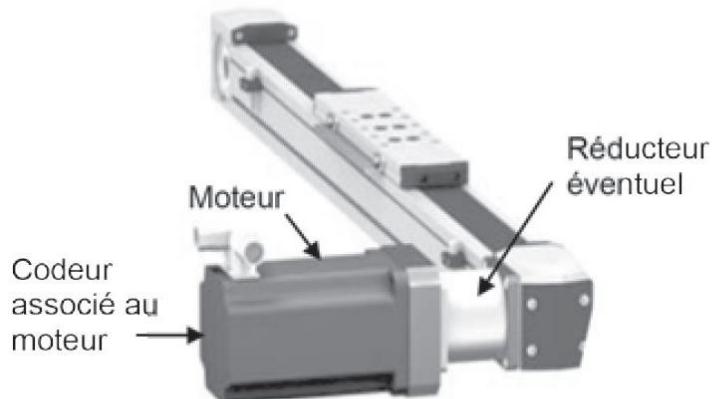


Figure 6 - Vue des trois axes motorisés d'une chaise centrale

On choisit pour l'axe vertical X, un module à entraînement par poulies-courroie crantée.

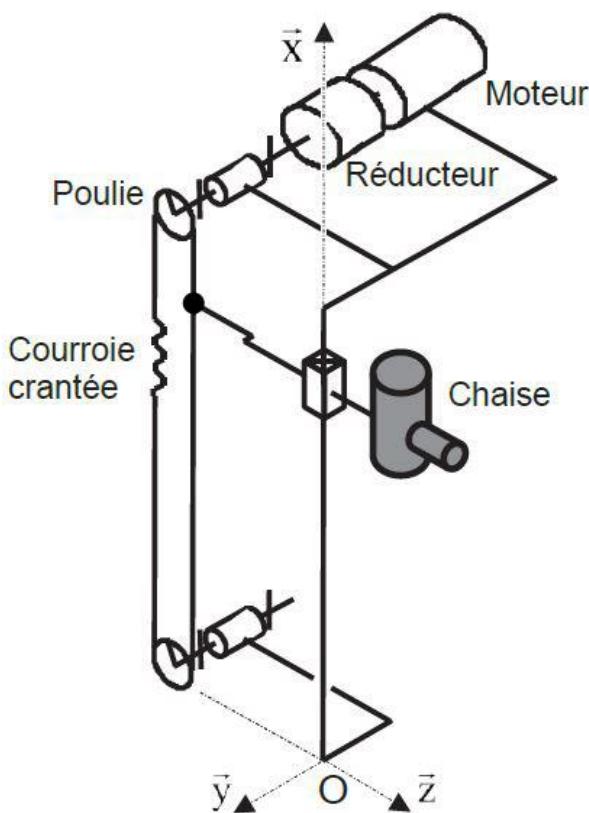
L'axe est composé d'un servomoteur de fréquence de rotation N ($N_1 = 3000 \text{ tr.} \cdot \text{min}^{-1}$ ou $N_2 = 6000 \text{ tr.} \cdot \text{min}^{-1}$) éventuellement d'un réducteur à train épicycloïdal, d'un système de transformation de mouvement (poulies – courroie crantée) et d'un chariot avec guidage à bille sur rails (Figure 7). Les moteurs sont équipés de codeurs absolus multi-tours.



Module à entraînement par poulies-courroie crantée, rayon primitif poulie $R_p=16 \text{ mm}$

Figure 7 - Motorisation de l'axe vertical X

L'architecture de la chaise centrale et le paramétrage sont donnés sur la Figure 8.



Paramétrage

- Vitesse de rotation du rotor : $\omega_m(t)$
- Vitesse de rotation de l'arbre de sortie du réducteur : $\omega_{asr}(t)$
- Vitesse de translation de la chaise : $v(t)$

Données numériques

- Fréquence nominale de rotation du moteur : $N = 3000 \text{ tr. min}^{-1}$
- Inertie du **rotor** du moteur : $J_m = 0,3 \text{ g. m}^2$
- Rapport de transmission réducteur : $k = \omega_{asr}/\omega_m = 1/5$
- Inertie du réducteur ramenée sur son arbre d'entrée **aer** : $J_{red} = 0,022 \text{ g. m}^2$
- Diamètre poulie : $2.R_p = 32 \text{ mm}$
- Inertie d'une poulie : négligée
- Masse de la chaise : $M = 10 \text{ kg}$
- Accélération de la pesanteur : $\vec{g} = -g \cdot \vec{x}$ ($g = 9,81 \text{ m. s}^{-2}$)

Figure 8 - Modèle cinématique de l'axe vertical X et paramétrage.

Hypothèses

- Les solides sont considérés indéformables ;
- La courroie est inextensible ;
- Les efforts dus aux frottements secs et visqueux sont négligés, les liaisons sont considérées parfaites ;
- Les mouvements des modules s'effectuent en paraxial (un seul axe à la fois).

4.1. Tracer le graphe d'isolement du modèle cinématique de la Figure 8.

Les équations de la dynamique de l'axe X fournissent les résultats suivants :

- Isolement du **rotor + aer** (arbre entrée réducteur) :

$$(J_m + J_{red}) \cdot \frac{d}{dt} \omega_m(t) = C_m(t) - R_{aer} \cdot F_{asr \rightarrow aer}(t) \quad (1)$$

- Isolement de **asr + pm** (poulie motrice) :

$$0 = R_{asr} \cdot F_{aer \rightarrow asr}(t) - R_p \cdot F_{courroie:ch \rightarrow asr}(t) \quad (2)$$

- Isolement la chaise **ch** :

$$M \cdot \frac{d}{dt} v(t) = F_{courroie:asr \rightarrow ch}(t) - M \cdot g \quad (3)$$

Les équations de la cinématique de l'axe X fournissent les résultats suivants :

- Réducteur :

$$\frac{\omega_{asr}(t)}{\omega_{aer}(t)} = \frac{\omega_{asr}(t)}{\omega_m(t)} = \frac{R_{aer}}{R_{asr}} = k \quad (4)$$

- Système poulies-courroie :

$$\frac{v(t)}{\omega_{asr}(t)} = R_p \quad (5)$$

Hypothèse : le régime est établi.

4.2. Que deviennent les équations de la dynamique en régime établi ?

4.3. Passer les équations dynamiques et cinématiques dans le domaine opérationnel (domaine de Laplace) et construire le schéma-bloc donnant $V(p)$ en fonction de $\Omega_m(p)$.

4.4. Calculer la vitesse linéaire nominale de la chaise et le couple moteur en régime établi.

Hypothèse : le régime est transitoire.

4.5. Passer les équations dynamiques dans le domaine opérationnel (domaine de Laplace) et construire le schéma-bloc donnant $\Omega_m(p)$ en fonction de $C_m(p)$ et $V(p)$.

4.6. En tenant compte de la relation cinématique liant $V(p)$ et $\Omega_m(p)$, construire le schéma-bloc donnant $\Omega_m(p)$ uniquement en fonction de $C_m(p)$.

4.7. Compléter le schéma-bloc pour qu'il donne $V(p)$ en fonction de $C_m(p)$.

On choisit pour l'axe horizontal Y, un module à entraînement par vis à billes – écrou.

L'axe composé d'un servomoteur de fréquence de rotation N ($N_1 = 3000 \text{ tr. min}^{-1}$ ou $N_2 = 6000 \text{ tr. min}^{-1}$), d'un système de transformation de mouvement (vis à billes – écrou) et d'un chariot avec guidage à bille sur rails (Figure 9). Les moteurs sont équipés de codeurs absous multi-tours.



Module à entraînement par vis à billes de diamètre 16 mm et de pas p=10 mm

Figure 9 - Motorisation de l'axe horizontal Y

Le modèle cinématique de l'axe horizontal Y est donné sur la Figure 10.

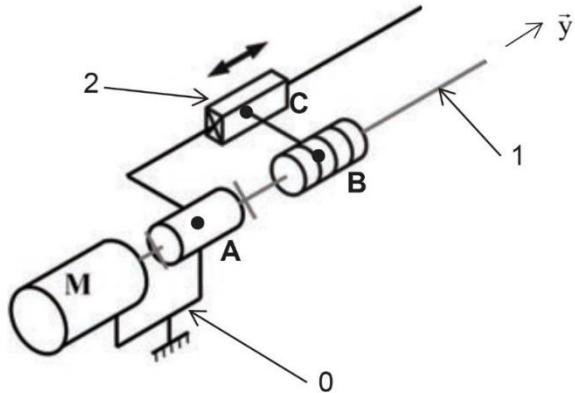


Figure 10 - Modèle cinématique de l'axe horizontal Y

Hypothèses

- Les solides sont considérés indéformables ;
- La liaison pivot entre la vis et le bâti est le siège d'un frottement visqueux de coefficient f_1 ;
- La liaison glissière est le siège d'un frottement sec modélisé par un effort résistant F_{resist} ;
- Les mouvements des modules s'effectuent en paraxial (un seul axe à la fois).

4.8. Tracer le graphe d'isolement du modèle cinématique de la Figure 10.

Les équations de la dynamique de l'axe Y fournissent les résultats suivants :

- Isolement du **rotor + vis 1** :

$$(J_m + J_1) \cdot \frac{d}{dt} \omega_1(t) = C_m(t) - f_1 \cdot \omega_1(t) + M_{2 \rightarrow 1}(t) \quad (1)$$

- Système **vis-écrou** :

$$M_{2 \rightarrow 1}(t) = -\frac{p_1}{2 \cdot \pi} \cdot Y_{2 \rightarrow 1}(t) = -h_1 \cdot Y_{2 \rightarrow 1}(t) \quad (2)$$

- Isolement de l'**écrou + chariot 2** :

$$M \cdot \frac{d}{dt} v_2(t) = Y_{1 \rightarrow 2}(t) + F_{resist}(t) \quad (3)$$

Les équations de la cinématique de l'axe Y fournissent les résultats suivants :

- Système vis-écrou :

$$\begin{aligned} \frac{v_{1/2}(t)}{\omega_{1/2}(t)} &= \pm \frac{p_1}{2 \cdot \pi} = \pm h_1 \\ \frac{v_2(t)}{\omega_1(t)} &= -\frac{p_1}{2 \cdot \pi} = -h_1 \end{aligned} \quad (4)$$

4.9. Démontrer la loi cinématique liant $v_2(t)$ et $\omega_1(t)$.

Hypothèse : le régime est transitoire.

4.10. Tracer le schéma-bloc donnant $\Omega_1(p)$ en fonction de $C_m(p)$.

Rem : J_m représente l'inertie du rotor du moteur et J_1 celle de la vis **1**. M représente la masse embarquée du chariot **2**.

4.11. Compléter le schéma-bloc précédent pour obtenir $V_2(p)$ en fonction de $C_m(p)$