

## Contexte

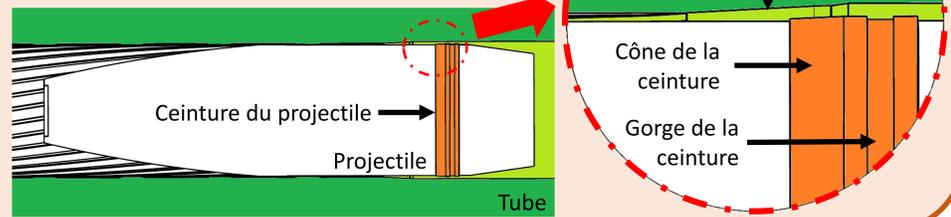
Modélisation des interactions tube/projectile lors du coincement.  
 Objectif : « maîtriser le cycle de chargement / déchargement du projectile »

Modélisation du coincement cône sur cône en quasi-statique

Modèles analytiques

Simulations éléments finis

Figure 1. Coupe avant coincement.



## I - Modélisations analytiques du montage cône/cône

Figure 2. Modèle indéformable.

P : Pression uniforme de contact



### I - 1 - Cône indéformable

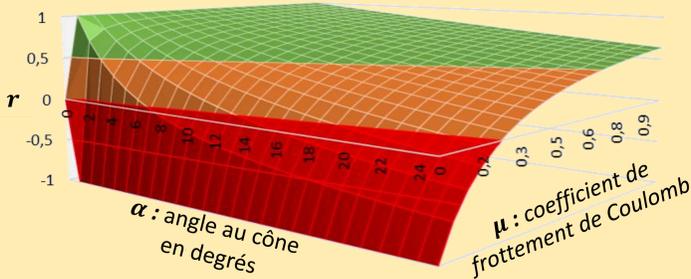
Description de l'état coincé :

$$E_p = PS (\mu \cos(\alpha/2) + \sin(\alpha/2)) \text{ et } E_{ex} = -PS (\mu \cos(\alpha/2) - \sin(\alpha/2))$$

Relation effort extraction / effort de pénétration en un point et pour un instant :

$$r = -\frac{E_{ex}}{E_p} = \frac{\mu - \tan(\alpha/2)}{\mu + \tan(\alpha/2)} \text{ (facteur de « restitution »)}$$

Figure 3. Surface de valeurs de  $r(\mu, \alpha)$ .



■ -1-0,5 ■ -0,5-0 ■ 0-0,5 ■ 0,5-1

La zone de non-accrochage théorique est repérée en rouge.

$\forall \alpha > 0, \forall \mu > 0, r < 1 \rightarrow$  l'effort d'extraction est inférieur à l'effort de coincement.

### I - 3 - Synthèse état coincé

Les deux modèles permettent de décrire de façon globale les trois phases du coincement conique mais ne sont pas encore prédictifs. Des essais ont été menés chez l'industriel pour mesurer finement  $\alpha$ .

### I - 2 - Prise en compte du caractère élastique

Trois phases de comportement dans ce modèle :

- Pénétration** : on pousse le projectile dans le cône ;
- Retour élastique** : relâchement des contraintes ;
- Extraction** : on tire jusqu'à perte de contact.

$$a) \rightarrow \frac{F_x}{F_y} = \frac{1 - \mu \tan(\alpha/2)}{\mu + \tan(\alpha/2)} \text{ et c) } \rightarrow \frac{F_x}{F_y} = \frac{1 + \mu \tan(\alpha/2)}{-\mu + \tan(\alpha/2)}$$

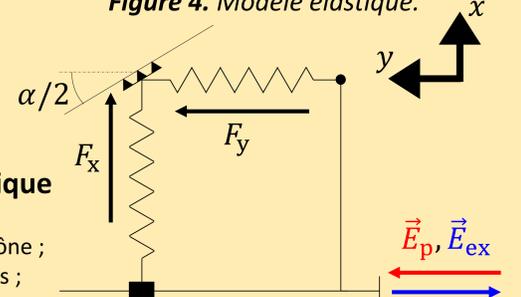
Finalement, lorsqu'on prend en compte l'élasticité du matériau :

$$\frac{E_{ex}}{E_p} = -r \frac{1 - \mu \tan(\alpha/2)}{1 + \mu \tan(\alpha/2)} = -r f_{inv}$$

Facteur d'inversion, «  $f_{inv}$  » : facteur permettant de retrouver  $r$ .

Le facteur d'inversion élastique est déterminé par  $\mu$  et  $\alpha$ .

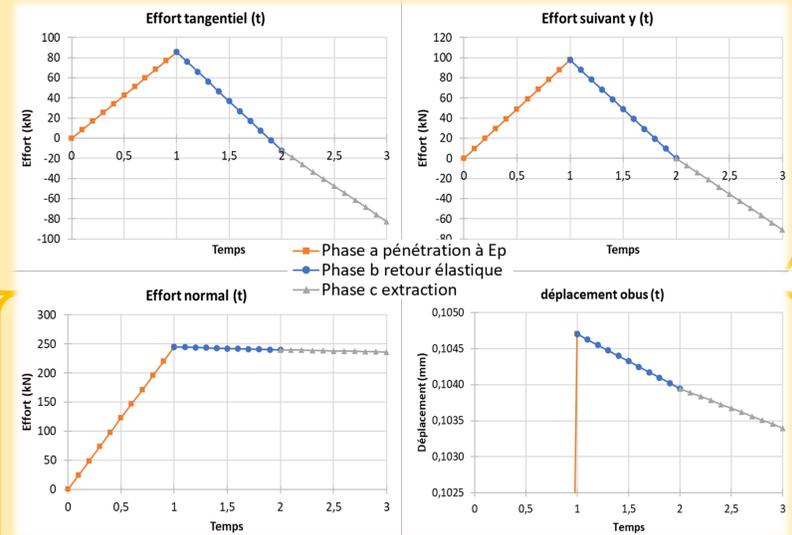
Figure 4. Modèle élastique.



Plages d'erreurs modèle / simulations EF (cf. II)

En position	En effort
0,05%-0,6%	20%-40%

Figure 5. Temporels du modèle élastique.



## II - Approche Numérique : montage cône/cône

Modèle éléments finis du processus de coincement :

- Ceinture déformée élastoplastiquement ;
- Axisymétrique ou 3D ;
- Tube et corps du projectile indéformables ;
- Piloté en déplacements ou efforts.

On remarque un profil de pression particulier :

- La pression n'est pas homogène le long du contact ;
- La pression varie lors des différentes phases (pénétration, retour élastique et extraction).

La dispersion particulière semble être due à l'assemblage conique ainsi qu'à la présence de la gorge. Le maximum de contrainte se propage suivant l'axe : « bord d'attaque »  $\leftrightarrow$  « fond de gorge »

Figure 6. Cartographie de  $\sigma_{Mises}$  (modèle axisymétrique).

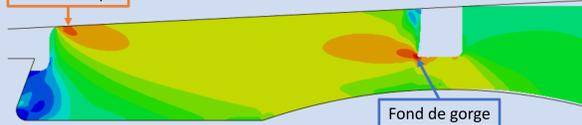


Figure 7. Profils de pression de contact lors des 3 phases.

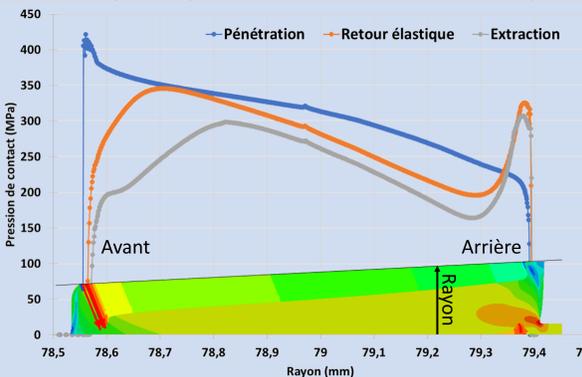
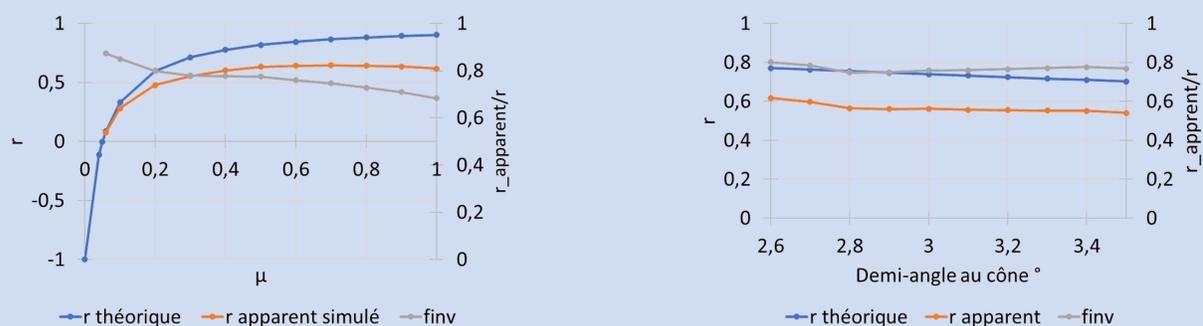


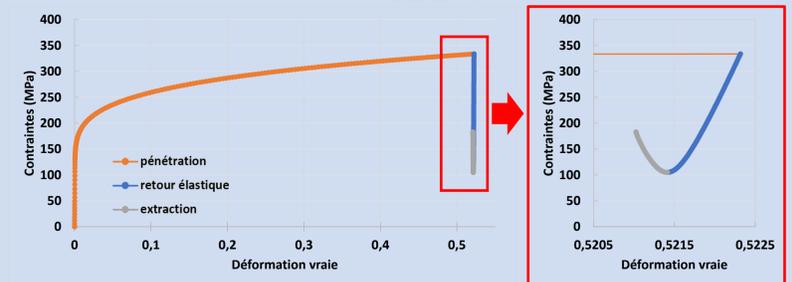
Figure 9. Évolution de  $r$  et de  $f_{inv}$  en fonction de  $\mu$  et  $\alpha/2$ .



On observe :

- $r_{théorique}$  est toujours une majoration de la valeur apparente ;
- Plus  $\mu$  augmente plus on s'écarte de la valeur théorique de  $r$  ;
- La variation de  $\alpha$  semble négligeable.

Figure 8. Courbe  $\sigma_{Mises}(\epsilon)$  d'un élément.



Évolution de la déformation matérielle lors des 3 phases.

## III - Perspectives

- Amélioration des modèles analytiques : prise en compte de la plasticité ;
- Essais de validation : coincement cône sur cône ;

Figure 10. Concept essai de validation cône sur cône.



- Essais de tribologie statiques et dynamiques : déterminer la plage de  $\mu$ .

Figure 11. Essais statiques et dynamiques de tribométrie.

