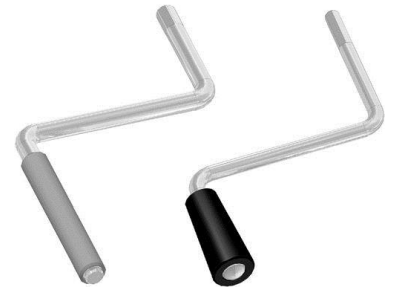


**TD 5 : Eco-conception d'une manivelle**

**Objectifs Pédagogiques :**

- La fonction d'une pièce est souvent liée à un mode de sollicitation majeur : flexion, torsion, traction...
- Les contraintes de conception entraînent le choix de critères de résistance appropriés : résistance élastique, résistance à rupture ou en fatigue.
- La conception demande un objectif de performance : coût, masse ou encore performance environnementale. Ces performances sont souvent liées au volume de matière donc la géométrie de la pièce.
- Fonction, géométrie, contrainte et objectif permettent alors de définir un indice de performance matériau permettant de guider le choix d'un matériau satisfaisant.



Les objectifs de ce TD d'application du cours de mécanique des solides déformables sont :

- Détermination d'un indice de performance matériau
- Calcul des torseurs des efforts internes (ou de cohésion) le long d'une poutre,
- Calculs des contraintes en différents points d'une section,
- Application d'un critère de résistance statique.
- Choix d'un matériau adapté

**Modélisation :**

Une manivelle actionnée manuellement permet d'obtenir un mouvement de rotation suivant l'axe AB (Fig. 1) et d'exercer un couple en A pour serrer ou desserrer un écrou par exemple. La dimension de 0,4m permet d'assurer un accès suffisant au point A, celle de 0,2m permet de rendre le couple de serrage compatible avec un effort linéaire q ergonomique, les dimensions de 0,1m facilitent la prise en main de la manivelle.

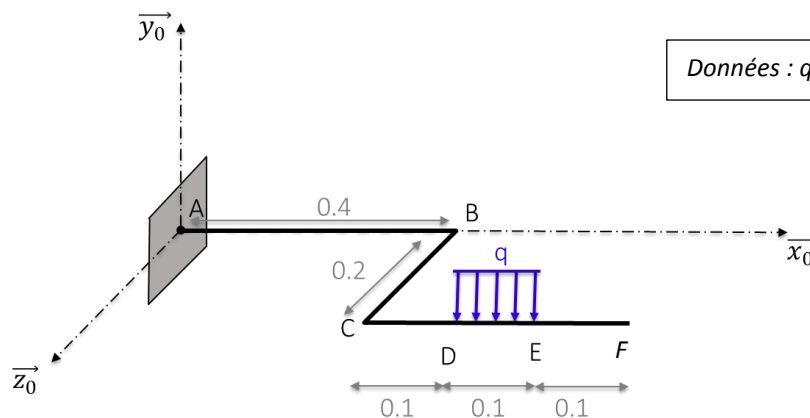


Figure 1 : Schématisation d'une manivelle manuelle

**Hypothèses :**

- La manivelle peut être modélisée par 3 poutres rectilignes (A-B; B-C et C-E) de section circulaire pleine (diamètre d) dont le poids propre peut être négligé,
- Le plan  $(A, \vec{x}_0, \vec{z}_0)$  est le plan contenant la manivelle
- La liaison en A peut alors être assimilée à un encastrement,
- Un effort linéaire distribué q normal au plan  $(A, \vec{x}_0, \vec{z}_0)$  est appliqué au milieu de la barre CF

**Détailler la fonction de la pièce : transmettre un effort**

1. Déterminer le torseur des efforts à l'encastrement en A

**Expliciter les contraintes fonctionnelles : résistance élastique**

2. Calculer et visualiser les torseurs des efforts intérieurs (cohésion) le long de la manivelle. Déterminer en premier lieu combien d'étude de tronçons sont à faire.
3. Quelle est la section la plus sollicitée ?
4. Pour cette section déterminer littéralement les contraintes élémentaires  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{12}$  et  $\sigma_{13}$ .
5. Déterminer le(s) point(s) où ces contraintes sont maximales puis donner les valeurs maximales de ces contraintes élémentaires **pour un diamètre  $\varnothing d = 20$  mm**

**Choix à priori du matériau pour un diamètre  $\varnothing d = 20$  mm**

La contrainte équivalente dépend des efforts appliqués ( $q$  en N/m) et de la géométrie de la pièce (les longueurs et  $\varnothing d$ ). Pour des raisons d'encombrement et d'accessibilité à l'écrou on souhaite limiter le diamètre à 20 mm. On souhaite ne pas dépasser la limite élastique du matériau

6. A l'aide de votre poly, indiquer plusieurs matériaux compatibles.
7. On choisit un acier inoxydable X 5 CrNi 18 10 de limite élastique 465 MPa. Quel est son coefficient de sécurité ?
8. A l'aide du poly déterminer la masse de la manivelle, son prix, son empreinte CO<sub>2</sub> et son énergie intrinsèque.

**Amélioration du choix initial autour d'un objectif environnemental**

On souhaite améliorer tous ces objectifs : moins lourd, moins cher, moins polluant. Pour cela on considère une démarche de qualité locale : seul le tronçon AB sera en acier inoxydable, les autres parties pourront être d'un diamètre supérieur et dans un autre matériau.

9. Exprimer la masse des tronçons BC et CD en fonction de la géométrie et de la masse volumique  $\rho$  du nouveau matériau.
10. Montrer que la contrainte de Von mises calculée précédemment ne dépend pratiquement que du terme  $M_3 \cdot x_2 / I_{33}$ .
11. En déduire la relation entre l'énergie grise  $Q_J$  et la limite élastique.  
*On donne la relation suivante  $Q_J = m \cdot q_J$   $m$  étant la masse de la pièce et  $q_J$  l'énergie grise spécifique du matériau en MJ/kg*
12. Pour minimiser  $Q_J$ , quelle relation entre des caractéristiques du matériau est-il nécessaire de maximiser ? cette relation est appelée indice de performance et sera noté  $I_{Q_J}$ .
13. Sur le diagramme Résistance – contenu énergétique fourni (ou sur CES si disponible) tracer la droite représentative de l'indice  $I_{Q_J} = 0,1 \text{ MPa}^{2/3} / (\text{GJ}/\text{m}^3)$ .
14. Lister les quelques matériaux intéressants selon ce critère.
15. Dans le diagramme Résistance – densité, tracer la droite représentative de l'indice de performance de masse  $I_m = \sigma_e^{2/3} / \rho = 15,4$  qui passe par le point  $[0,3 ; 10]$

A l'aide des critères précédents auxquels s'ajoutent ceux du coût et du prix on choisit pour le tronçon BC-CD un manche en pin (parallèle à la fibre) de limite élastique 40 MPa.

16. Quel diamètre permet d'obtenir une contrainte de Von mises dans la section B maximale de 40 MPa ?
17. On prendra une valeur de  $\varnothing d = 32$  mm. Calculer la masse du tronçon BC-CD
18. En vous aidant du poly, calculer pour les deux cas (acier et pin) le prix, l'empreinte CO<sub>2</sub> et l'énergie intrinsèque. Reporter les résultats dans un tableau et conclure.