

Note pour celles et ceux qui n'ont pas encore vu cela : n'oubliez pas de télécharger, d'imprimer, et d'utiliser le formulaire, lorsque vous faites les exercices. Celui-ci est mis à disposition dans la semaine 2 du Moodle, et il sera aussi fourni à l'examen. Vous y verrez qu'il n'est pas nécessaire d'apprendre toutes les formules par coeur, mais de savoir les utiliser à bon escient...

Série N° 7 — Semaine du 27 octobre 2025
Dureté/Usure/Ténacité

1. **Vrai ou faux ?**

	Vrai	Faux
a. Un acier de dureté Vickers 200 Hv aura une limite d'élasticité d'environ 600MPa.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Le coefficient d'usure d'Archard est un paramètre intrinsèque au matériau.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. L'énergie de surface d'un solide cristallin dépend de l'énergie des liaisons entre les atomes et de leur position d'équilibre.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. La ténacité d'un matériau dépend de la longueur des fissures qu'il contient.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. Au-delà d'une certaine longueur critique, une fissure dans un métal ou une céramique va pouvoir se propager quelque soit la contrainte appliquée.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. **Comparaison de matériaux**

On considère les trois matériaux suivants :

- Du nylon ($K_{1C} = 4 \text{ MPa m}^{1/2}$, $\sigma_Y = 45 \text{ MPa}$, $E = 3 \text{ GPa}$)
- Du carbure de silicium SiC ($K_{1C} = 4 \text{ MPa m}^{1/2}$, $\sigma_Y = 3.4 \text{ GPa}$, $E = 400 \text{ GPa}$)
- Un acier ($K_{1C} = 70 \text{ MPa m}^{1/2}$, $\sigma_Y = 200 \text{ MPa}$, $E = 200 \text{ GPa}$)

Classez ces trois matériaux selon leur ordre décroissant de :

- Résistance (en se basant sur leur limite d'utilisation dans le domaine élastique)
- Rigidité
- Fragilité

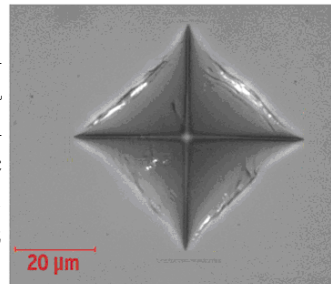
Quelle est la dimension de la zone plastifiée devant une fissure critique pour chacun de ces matériaux ?

3. Relation entre force appliquée et dureté Vickers

La dureté Vickers correspond à la force appliquée sur l'indenteur (mesurée en kg force) divisée par la surface de contact entre l'indenteur et le matériau. L'indenteur Vickers est une pointe pyramidale à base carrée, dont l'angle au sommet entre deux faces opposées est de 136 degrés.

- a. La dureté d'un matériau est-elle représentative du module d'élasticité ou de la limite d'élasticité ?

- b. En utilisant la relation donnée en cours, $H_V = 0.189 \frac{F(N)}{d^2}$ calculez la dureté Vickers du matériau dont on voit l'empreinte ci-contre, testée avec une masse de 1 kg (*Réponse : 570*). Quelle sont alors sa dureté Brinell et son indice de Moh ?

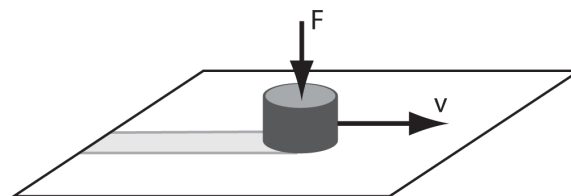


- c. On peut aussi tirer de la courbe force/profondeur d'indentation une estimation du module d'élasticité. Vaut-il mieux estimer ce module au début de l'indentation ou lors du retour en fin d'indentation ?

4. Usure

On considère un galet en acier, qui va frotter, lubrifié, contre un rail. On donne le coefficient d'Archard pour ce couple de matériaux (acier/rail) : $k_a = 1 \times 10^{-7} \text{ MPa}^{-1}$. La surface de contact est $S = 5 \text{ cm}^2$ et la force normale est de $F = 150 \text{ N}$.

- a. Déterminez le taux d'usure spécifique.
- b. Sachant que la vitesse de déplacement est de $v = 2 \text{ km h}^{-1}$, quelle sera la fréquence de changement du galet si l'on admet que l'on peut perdre 1 mm d'épaisseur de matériel avant de le changer.



5. Bras de robot

Un bras de robot de section 1 cm^2 , dont on négligera la masse propre, doit pouvoir soulever verticalement une masse de 250 kg avec des accélérations de $10 g$ (10 fois l'accélération due à la gravité). On découvre qu'il a une petite

fissure transversale de 3 mm de long. Le matériau (un alliage d'aluminium) a une ténacité de $30 \text{ MPa m}^{1/2}$, une limite élastique $\sigma_y = 400 \text{ MPa}$ et un module d'élasticité $E = 70 \text{ GPa}$.

- Est-ce que l'on peut utiliser le robot sans souci ou faudrait-il remplacer le bras ?
- Quelle est la taille de la zone déformée plastiquement en avant de la fissure ?
- On décide d'utiliser un autre matériau pour le bras, une céramique qui a l'air à priori plus rigide, l'alumine ($\sigma_{rupture} = 600 \text{ MPa}$, $E = 300 \text{ GPa}$, $K_{Ic} = 4 \text{ MPa m}^{1/2}$). Est-ce que l'on peut utiliser ce bras si on y détecte aussi une fissure de 3mm ? Quelle serait la longueur critique de fissure pour ce matériau ?

6. Aventures potagères, facultatif mais tiré d'un fait réel

Lors d'un week-end passé chez votre oncle Gilbert qui est agriculteur dans le canton de Vaud, celui-ci profite de vos compétences en sciences des matériaux pour vous demander de l'aider. En effet, il doit encore une fois changer les dents métalliques de sa herse rotative (voir photo ci-jointe, c'est une machine agricole qui permet de préparer la terre pour les semis, et voir transparents du cours), et c'est une opération pénible, qui prend 8 heures à deux personnes et immobilise la herse pendant ce temps. Vous proposez de faire quelques calculs simples pour l'aider à évaluer la viabilité de solutions alternatives, notamment l'achat de dents plus chères mais qui dureront peut être plus longtemps.



La herse comporte 24 dents, qui font initialement 30 cm de long, 1.5 cm d'épais et 3 cm de large (on les assimile ici à des pièces rectangulaires simples) et qui tournent à la vitesse de 540 tours/minute, chacune par groupe de 2 sur un cercle de diamètre 50 cm. Les dents sont en acier au bore, ce qui est courant en machinerie agricole, et sont considérées comme des pièces d'usure qu'il faut changer quand la longueur des dents est réduite à 15cm. La force

normale agissant sur une dent pendant la rotation dans la terre est estimée à environ 300 N, quand le tracteur progresse à 3.5 km/h. Comme les dents sont enfoncées dans la terre sur 5cm environ (cela peut s'ajuster au fur et à mesure que la pièce s'use en ajustant la hauteur de la herse), on prend l'hypothèse simplificatrice que la force s'exerce sur la tranche de 1.5 cm de coté et 5cm de long.

- a. Sachant que le coefficient d'Archard de l'acier faiblement allié au bore en contact avec la terre est $k_a = 1 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$, estimez la durée en heures d'utilisation de la herse avant que les dents ne doivent être remplacées. Pour cela, calculez d'abord la longueur parcourue par une dent, par heure d'utilisation, en prenant l'hypothèse simplificatrice qu'on néglige la distance due au déplacement du tracteur par rapport à celle résultant de la rotation de la dent.
- b. Vous trouvez sur internet que l'on peut acheter des dents qui ont un revêtement en carbure de tungstène, ce qui paraît prometteur. On trouve que le coefficient d'usure d'un carbure de tungstène est environ 5 fois plus faible que celui de l'acier faiblement allié, évaluez alors la nouvelle durée de vie en heures d'une dent, en prenant l'hypothèse simplificatrice que toute la dent est en carbure de tungstène.
- c. Sachant qu'une dent en acier coûte 6 CHF et une en acier revêtu coûte 35 CHF, et qu'une heure de travail coûte environ 30 CHF par personne, estimez si cela vaut la peine d'investir dans des dents revêtues plutôt que de se résigner à les changer plus souvent.