

## Questions examen déformation – Janvier 2025

1. Définir les notions de dureté et de ductilité. Expliquer pourquoi l'ingénieur doit toujours chercher un compromis entre ces propriétés. Illustrer par des exemples où la dureté est élevée, et où la ductilité est élevée.
2. Qu'est-ce que l'anisotropie mécanique ? Distinguer anisotropie élastique et anisotropie plastique.
3. Expliquer la différence entre les valeurs nominales et les valeurs vraies des déformations et contraintes. Dans quels cas est-il indiqué d'utiliser l'une plutôt que l'autre ?
4. Comment mesurer la limite élastique d'un matériau à partir d'essais mécaniques ? Expliquer quels essais peuvent être utilisés.
5. Qu'est-ce que le module de Young ? Expliquer son lien avec l'énergie de liaison entre deux atomes.
6. Expliquer les changements de volume d'un matériau cristallin, en régime élastique, et en régime plastique. Comment peut-on les calculer ? Quel est l'intérêt de travailler avec des grandeurs déviatoriques, lorsque l'on décrit la plasticité ?
7. Expliquer le principe de l'homogénéisation du comportement mécanique d'un matériau hétérogène, en régime élastique.
8. Définir ce qu'est un système de glissement, dans un matériau cristallin. Qu'est-ce que la cission critique ?
9. Expliquer pourquoi on stocke de l'énergie dans un matériau cristallin lorsque celui-ci est déformé plastiquement.
10. Expliquer ce qu'est la force de Peach & Koehler. Illustrer (i) par le mécanisme d'Orowan, et (ii) en montrant comment deux dislocations coins se propageant dans des plans parallèles interagissent entre eux.
11. Expliquer pourquoi un matériau cristallin s'écrouit lorsqu'il est déformé plastiquement. Faire le lien avec la théorie des dislocations. Que se passe-t-il si l'on écrouit trop le matériau ? Comment peut-on contrôler le niveau d'écrouissage, afin de pouvoir continuer à déformer ?
12. Expliquer en quoi le maclage permet d'accommorder de la déformation plastique. Quelles sont les différences et similitudes que l'on peut établir avec le glissement de dislocations ? Dans quelles conditions le maclage est-il favorisé par rapport au glissement de dislocations ?
13. Expliquer l'origine de l'hystérésis de transformation, lorsque l'on fait un cycle *thermique* austénite → martensite → austénite. Comment comprendre que la transformation austénite → martensite puisse se déclencher par l'application d'une contrainte ?
14. Expliquer les différents stades d'écrouissage d'un monocristal, en chargement monotone. Comparer avec l'écrouissage d'un polycristal.

15. Expliquer la notion de dislocation géométriquement nécessaire.
16. Expliquer comment on dérive l'expression générale du critère de Von Mises à partir du 2<sup>e</sup> invariant du tenseur des contraintes déviatoriques. Comment la surface de charge évolue-t-elle avec la déformation plastique ?
17. Définir le tenseur de Schmid, et dériver son expression mathématique. Montrer que l'activation d'un système de glissement se représente dans l'espace des contraintes par une paire d'hyperplans.
18. Soit  $\dot{\varepsilon}$  le tenseur de vitesse de déformation plastique. Montrer comment on peut relier ce tenseur au mouvement des dislocations. Quelle condition ce tenseur doit-il satisfaire pour rendre compte de l'incompressibilité de la déformation plastique ?
19. Expliquer la dépendance en température du coefficient d'auto-diffusion. Comment cette dépendance est-elle modifiée en présence de court-circuits de diffusion ?
20. En régime de hautes températures, expliquer pourquoi la vitesse des dislocations est généralement exponentiellement dépendante de la contrainte appliquée.
21. Expliquer l'influence des atomes en solution solide sur le mouvement des dislocations. Discuter également de leur influence sur le mouvement des joints de grain.
22. Expliquer comment obtenir la relation de Read-Shockley, donnant l'énergie d'un (sous-)joint de grain en fonction de la désorientation cristallographique, à partir de l'énergie d'une dislocation par unité de longueur.
23. Expliquer ce qui différencie restauration et recristallisation dans un matériau cristallin. Comment calculer la vitesse d'un joint de grain au cours de la recristallisation ?
24. Expliquer le critère d'instabilité plastique de Considère pour la prédiction de la striction au cours d'un essai de traction.
25. Expliquer pourquoi, dans un matériau polycristallin soumis à un essai de traction, l'entrée en plasticité se fait le plus souvent par des mouvements de dislocations dans des plans de glissement inclinés à 45° par rapport à l'axe de traction. En quoi ce résultat dépend-il de la texture cristallographique ?
26. Expliquer pourquoi la distance moyenne entre deux dislocations est de l'ordre de  $\rho^{-1/2}$ , où  $\rho$  est la densité de dislocations. Déduisez la loi d'écrouissage classique reliant contrainte de cisaillement nécessaire pour la plasticité, et densité de dislocations dans un métal.
27. Expliquer pourquoi l'énergie de défaut d'empilement conditionne l'écrouissage et la restauration des matériaux métalliques subissant une déformation plastique.
28. Expliquer pourquoi la distance entre deux dislocations partielles est inversement proportionnelle à l'énergie de défaut d'empilement.
29. Pourquoi existe-t-il toujours des lacunes dans un matériau cristallin, lorsque  $T > 0$  K ? En quoi cela permet-il de comprendre la diffusion ?

30. Quelle fraction typique du travail dépensé pour déformer plastiquement un métal est-elle stockée sous forme de défauts ? De quels défauts s'agit-il ? Comment peut-on calculer l'échauffement d'un métal consécutif à une déformation plastique ?
31. Expliquer ce qui différencie un sous-joint de grain d'un joint de grain dans un métal. Distinguer en particulier leur énergie par unité de surface, et leur mobilité. Comment se déplacent ces interfaces lorsque l'on chauffe le métal ? Peut-on déplacer un sous-joint de grain par application d'une contrainte ?
32. Expliquer pourquoi en régime de croissance de grain les plus gros grains croissent au détriment des plus petits.
33. Comment peut-on prédire la taille de grain (moyenne) maximale atteinte lors d'un traitement thermique d'un métal polycristallin, en présence de précipités de taille moyenne  $r$  et de fraction volumique  $f$  ?
34. Expliquer ce qu'est la recristallisation dynamique. Comment peut-on estimer la fraction recristallisée à partir de la courbe contrainte-déformation ?
35. Expliquer la différence entre fluage dislocationnel et fluage par diffusion. Pourquoi le fluage par diffusion est-il sensible à la taille de grains ?