

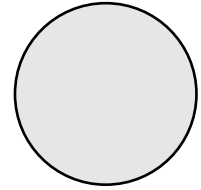
+0/1/60+

Table No.

EPFL

Ens. Eric Boillat - Procédés de production

Date 04.07.2022 - durée : 3h00



Examen

Nom :

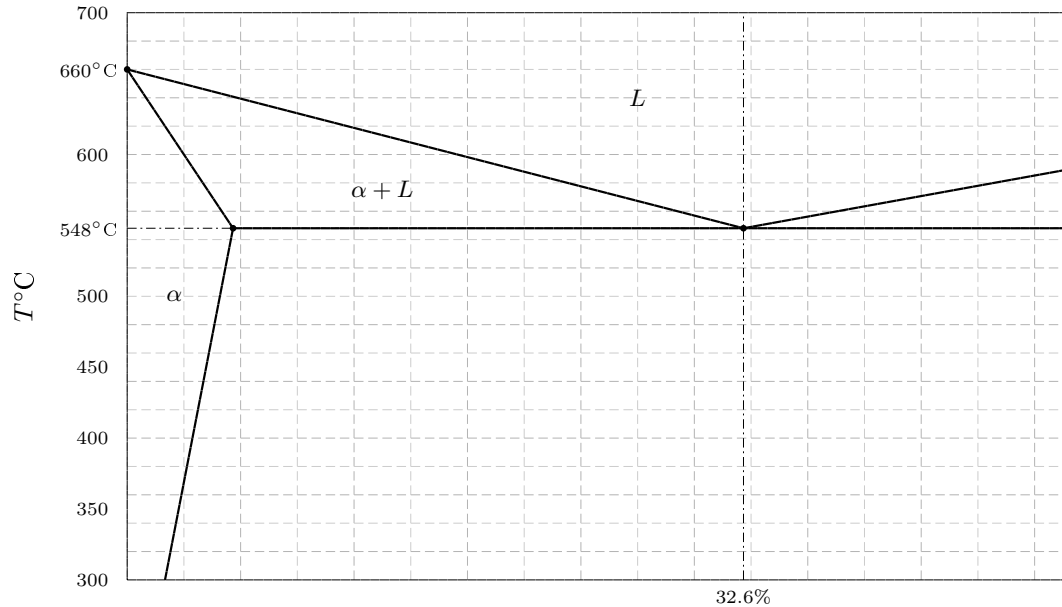
Attendez s'il vous plaît le début de l'examen avant de tourner cette page. Ce document est imprimé recto-verso, il contient 13 pages, les dernières pages sont peut-être vides. Vous êtes priés de n'enlever l'agrafe sous aucun prétexte.

- On vous demande de rédiger proprement vos réponses dans les cases prévues à cet effet.
Dans le cas de questions nécessitant un développement, il est recommandé de ne pas vous servir des cases officielles comme brouillon. Ne les utilisez que pour y écrire la version définitive de votre solution.
- Ne répondez pas au hasard aux QUESTIONS À MALUS. Une réponse fausse donne un point négatif!
- Après l'examen, l'enseignant se réserve le droit d'annuler toute question qu'il considérera finalement comme mal posée.

Question	Nombre de points
1)	
2)	
3)	
Total	

Question 1 Procédés de fonderie: propriétés thermiques des matériaux

- a) La Fig. 1 représente le diagramme de phase de l'alliage Al-Cu jusqu'à une concentration massique de 50% de Cu.



c : concentration de Cu dans Al

Figure 1: Diagramme de phase de l'alliage Al-Cu ($c < 50\%$)

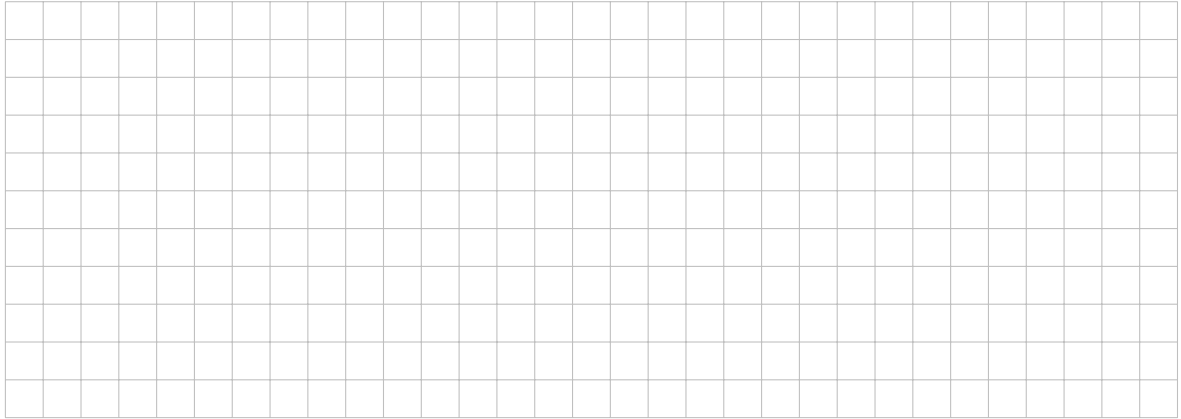
- 1) D'après la Fig. 1, quelle est la température de fusion de l'aluminium pur?

- 2) Déterminez la plus grande température en-dessous de laquelle la phase liquide n'est plus un état d'équilibre possible. Par quel adjectif qualifie-t-on cette température?

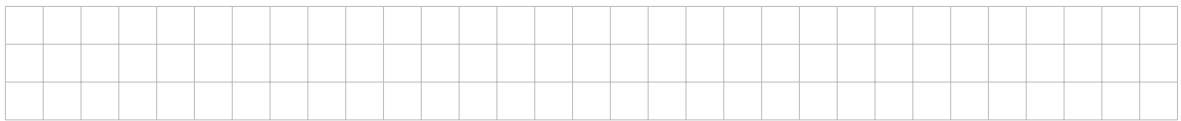
- 3) Calculez la pente m du liquidus et précisez son unité.

- b) Pour déterminer la constante de ségrégation k du cuivre dans l'aluminium, vous mesurez la fraction liquide lors de la solidification d'un alliage de titre $c^* = 10\%$. A la température de $T = 600^\circ$, vous trouvez $f_L = 48.4\%$. Calculez k **à partir de cette information** (i.e. sans la lire sur le graphique de la Fig. 1).

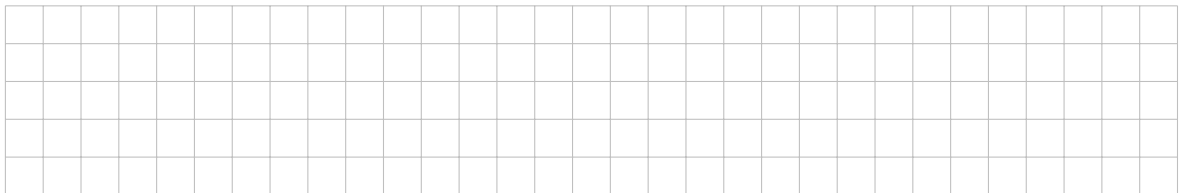
N.B. La vitesse de refroidissement qui a été appliquée était si faible qu'à son échelle de temps, la diffusion du cuivre dans la matrice d'aluminium est quasi instantanée.



c) Que vaut la solubilité maximale c_{\max} du cuivre dans l'aluminium?



d) Si le cuivre n'a plus le temps de diffuser dans la matrice d'aluminium à l'échelle de temps à laquelle la solidification a lieu, la fraction liquide f_L observée à $T = 600^\circ$ sera supérieure à la valeur donnée à l'item b). Peut-on estimer la plus grande valeur que f_L peut atteindre? Dans ce cas, donnez cette valeur.



e) Vous pratiquez à la coulée continue d'un barreau en Al-Cu au titre $c^* = 10\%$. Vous observez une solidification en front plan à l'abscisse $x = x_s$ (cf. Fig. 2)

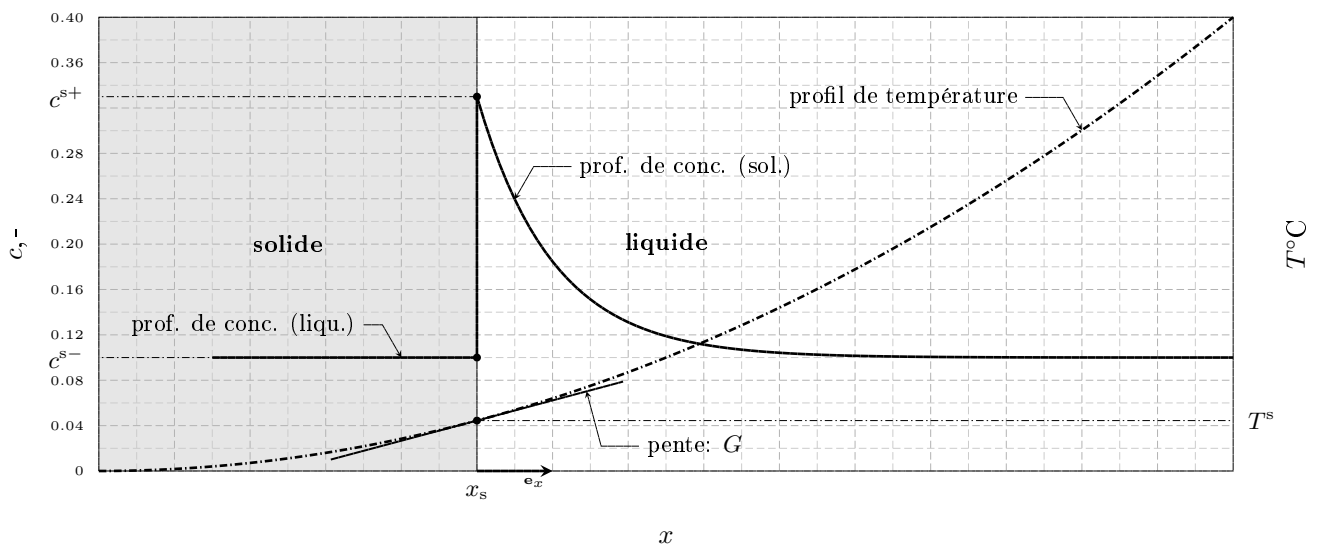
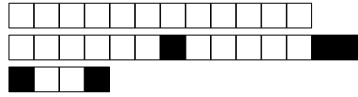


Figure 2: Coulée continue de l'alliage Al-Cu ($c^* = 10\%$) - solidification en front plan



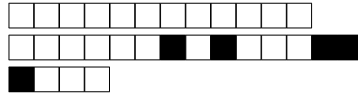
- 1) Le courbe en trait plein sur la Fig. 2 représente le profil de concentration massique de Cu (dans notre cas, la concentration ne dépend que de l'abscisse x et est constante dans la partie solide, à l'exception éventuelle du début de coulée). Déterminez la concentration c^s à la gauche du front (cf. Fig. 2).

- 2) Déterminez la température T^s du front.

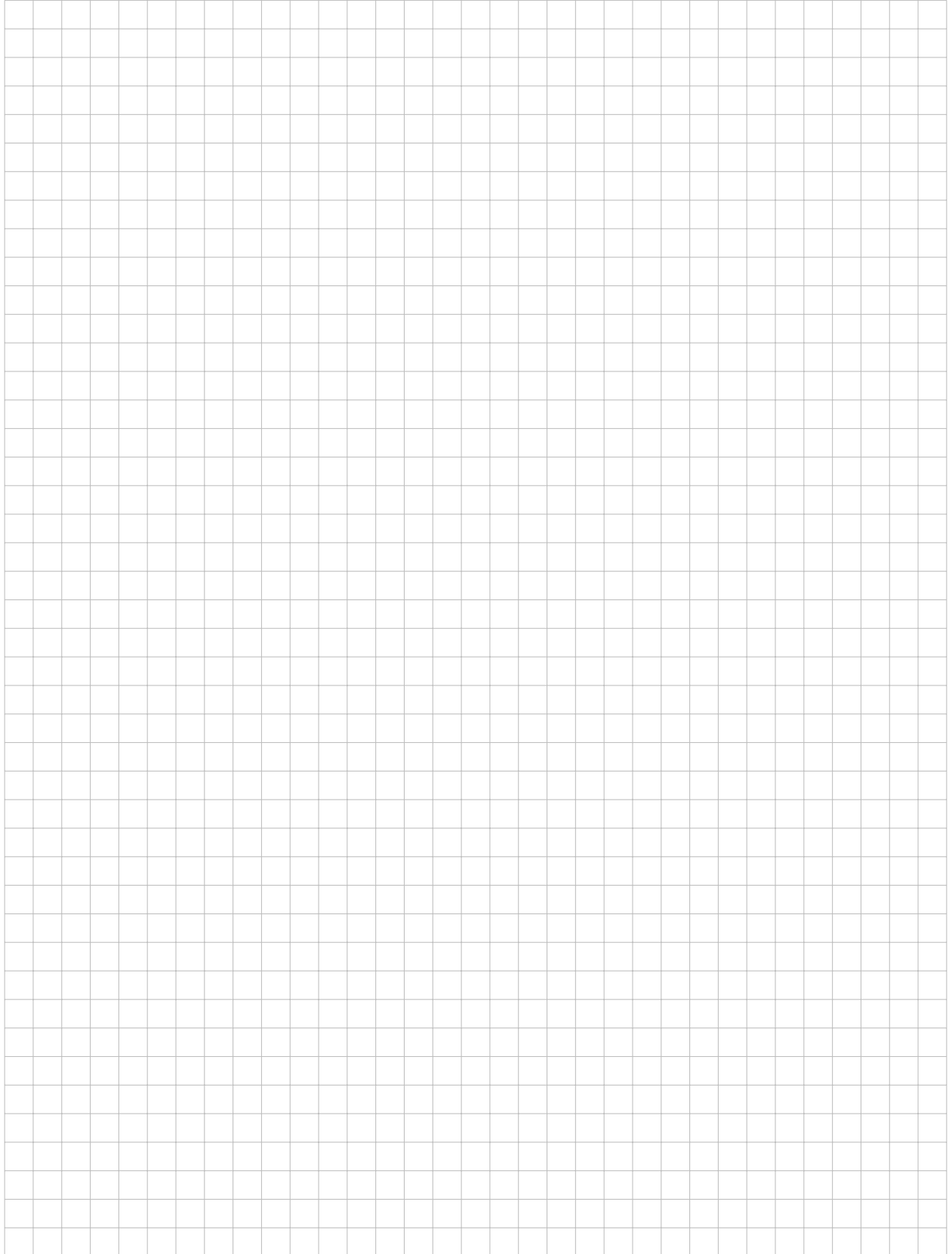
- 3) Déterminez la concentration c^{s+} à la droite du front (côté liquide cf. Fig. 2).

- 4) Pour que le front plan soit **stable**, il faut que la pente G du profil de température imposée (courbe en traitillé sur la Fig. 2) soit supérieure à une certaine valeur G_{\min} . Déterminez cette valeur limite en utilisant que le profil de concentration massique de Cu dans le liquide est donné par l'équation

$$c(x) = c^* + (c^{s+} - c^*)e^{-\frac{x - x_s}{\ell}} \quad \text{avec} \quad \ell = 0.1 \text{ mm.} \quad (1)$$



- 5) On ajoute l'information que la section du tube de coulée est $S_0 = 10'000 \text{ mm}^2$ et que le coefficient de diffusion du cuivre dans l'aluminium liquide vaut $D = 10^{-4} \text{ g/mm/s}$. Dans ces conditions, on vous demande de calculer la masse \dot{M} de matière que vous produisez par unité de temps.



Question 2 Procédés de fromage: propriétés mécaniques des matériaux, calcul économique

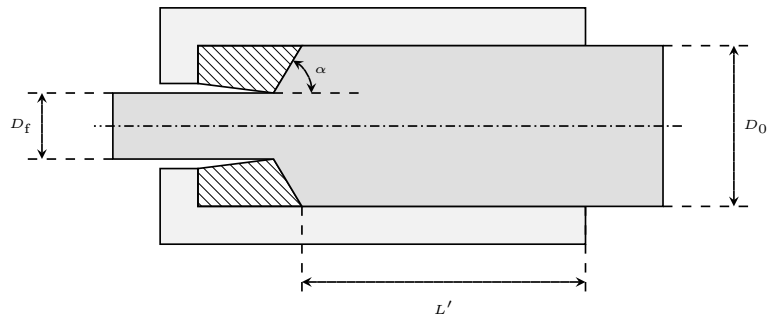


Figure 3: Extrusion de barres en aluminium

On produit par extrusion à chaud ($T_{\text{form}} \simeq 225^\circ\text{C}$) des profilés en alliage d'aluminium à partir de barres brutes de diamètre $D_0 = 100\text{ mm}$. On peut approcher la forme exacte du profilé par un disque de diamètre $D_f = 50\text{ mm}$. En outre, le demi-angle d'ouverture de la filière utilisée vaut $\alpha = 60^\circ$ et la longueur de contact entre le lopin et le container est de $L' = 1'250\text{ mm}$ (cf. Fig. 3).

a) La Tab. 1 récapitule les propriétés de l'alliage:

module d'Young	tx. de déf. réel en lim. élas.	coeff. de Poisson
$E = 32 \text{ GPa}$	$\varepsilon_e = 0.00125$	$\nu = 0.34$
masse volumique	chaleur spécifique	chaleur latente
$\rho = 2.9 \text{ g/cc}$	$C_p = 0.8 \text{ J/g/}^\circ\text{C}$	$L = 376 \text{ J/g}$

Table 1: Propriétés mécaniques et thermiques de l'alliage (@225°C)

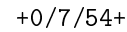
On vous indique que le comportement plastique de cet alliage est non loin d'être **idéal**. Compléter les informations de la Tab. 1 en indiquant les valeurs des quantités suivantes:

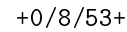
1) la limite élastique réelle σ_e (à @225°C),

2) la limite élastique nominale R_e (à @225°C),

3) le coefficient d'écrouissage n ,

4) le module d'écrouissage K ,

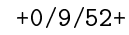




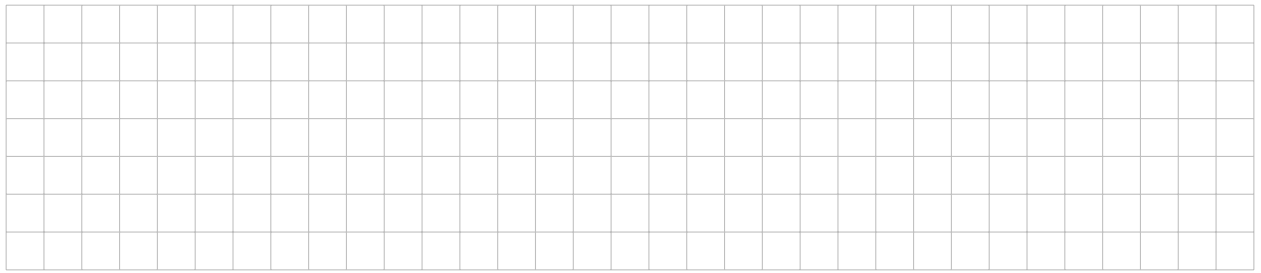
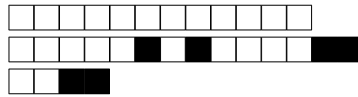
- | Presse | | | |
|---|---|---|---|
| Prix | nb. d'années d'amort. | taux d'intérêt | utilisation |
| $P_{\text{pr}} = 2'000 \text{ kFr}$ | $n = 15 \text{ ans}$ | $i = 5\%/\text{an}$ | $6'570 \text{ h/an}$ |
| loyer des locaux
$Lr = 240 \text{ Frs/an/m}^2$ | prix d'une filière
$P_{\text{fil}} = 25 \text{ kFr}$ | prix de la mat. première
$p_{\text{m}} = 5 \text{ Frs/kg}$ | prix de l'énergie
$c_e = 0.04 \text{ Frs/kWh}$ |

	technicien niv. 1	technicien niv. 2	ingénieur	personnel administratif
équi. plein temps	$n_{t1} = 0.4$	$n_{t2} = 0.2$	$n_i = 0.05$	$n_a = 0.05$
sal. annuel, kFr/an	$W_{t1} = 80$	$W_{t2} = 90$	$W_i = 150$	$W_a = 100$

- 2) Déterminez le coût d'outillage P_o si la commande de votre client correspond à une longueur totale de $L_{\text{tot}} = 1.5 \text{ km}$ de profilés.



6) Peut-on réduire les coûts en utilisant la presse à une vitesse moindre? Justifiez votre réponse.



- g) A partir de quelle commande totale est-il favorable d'utiliser deux filières à la sortie de la presse plutôt qu'une seule (cf. Fig. 4) et que vaudra le prix de revient d'un mètre de profilé dans ce cas?

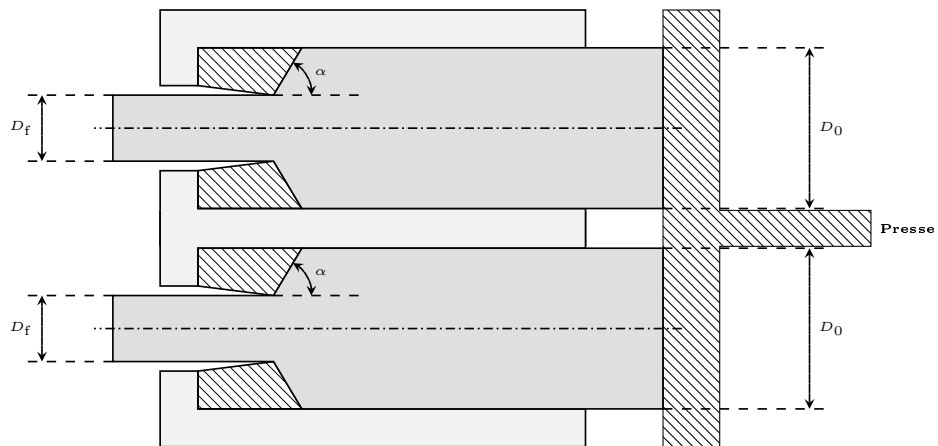
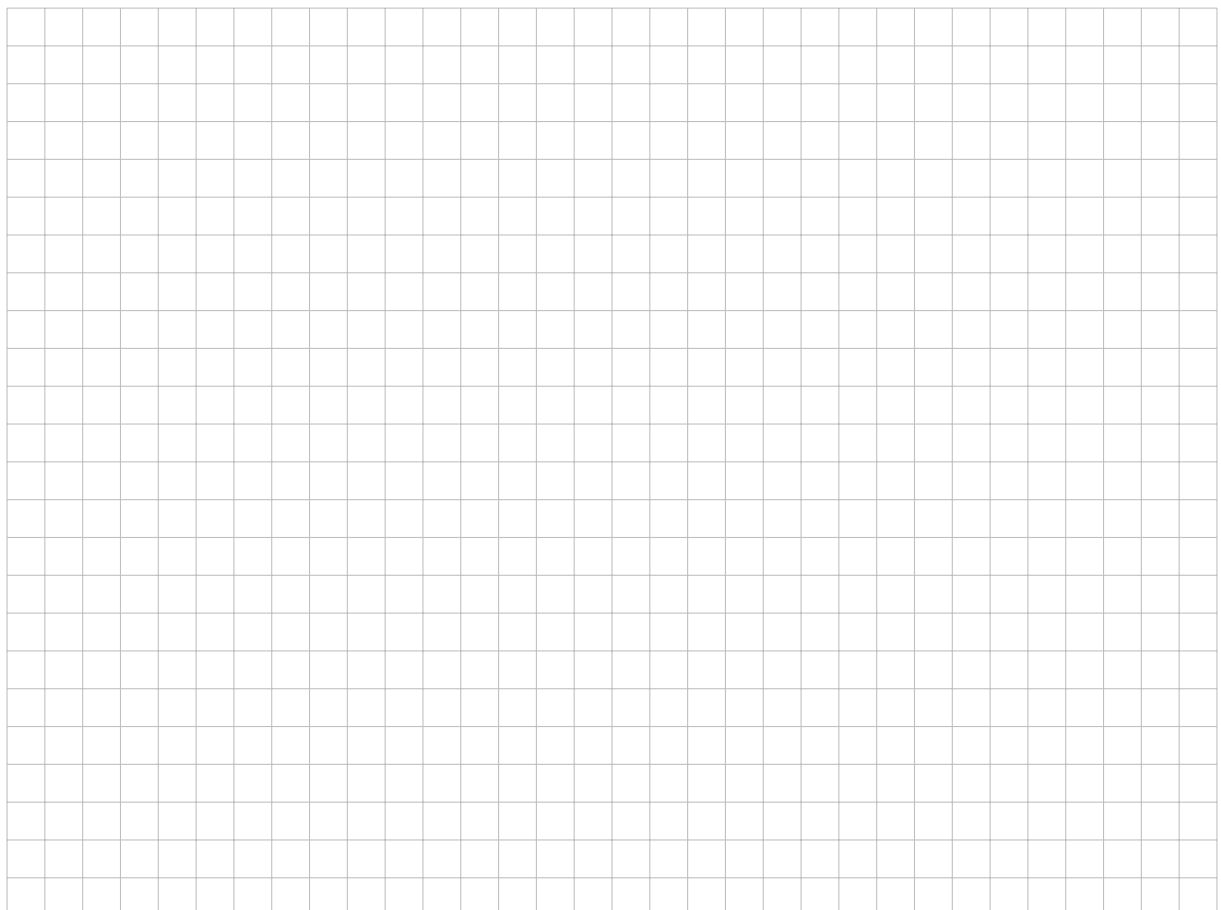
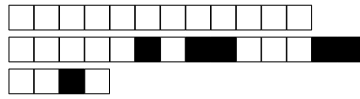


Figure 4: Dispositif à deux filières





h) Lorsqu'on utilise deux filières, quelle force la presse doit-elle appliquer?



Question 3 Procédés de coupe: modèle orthogonal et coupe à angle négatif

La Fig. 5 est l'ébauche d'un modèle de coupe orthogonal avec un angle de coupe α **négalif**.

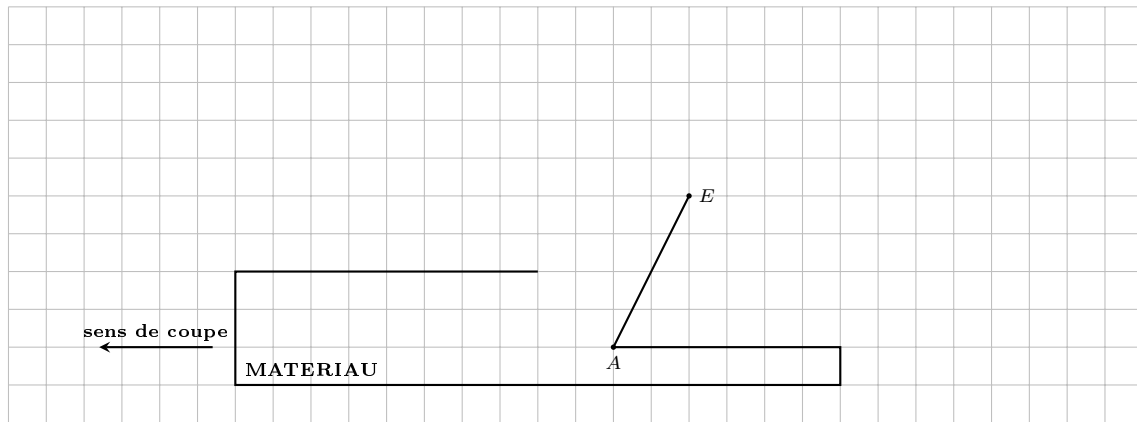


Figure 5: Modèle orthogonal de coupe avec angle de coupe négatif

- a) Quel nom donne-t-on au segment AE déjà représenté sur la Fig. 5?

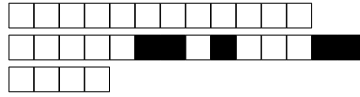
- b) On vous demande de compléter la Fig. 5 en y ajoutant les éléments suivants:

- i) la perpendiculaire au sens de coupe passant par l'arête de coupe,
- ii) l'angle de coupe α de sorte à ce qu'il soit **négatif**,
- iii) le plan de cisaillement,
- iv) l'angle de cisaillement Φ ,
- v) le copeau.

- c) **Question à malus.** Pour laquelle (lesquelles) des raisons ci-dessous peut-il être recommandé d'utiliser des angles de coupe négatifs?

- ☐ parce que la force d'avance nécessaire est plus faible pour des angles de coupe négatifs que pour des angles de coupe positifs.
- ☐ parce que la force de coupe nécessaire est plus faible pour des angles de coupe négatifs que pour des angles de coupe positifs.
- ☐ parce qu'un angle de coupe négatif a une influence bénéfique sur l'écrouissage et l'état de la surface usinée.
- ☐ parce que l'énergie spécifique de coupe est plus faible pour des angles de coupe négatifs que pour des angles de coupe positifs.

- d) **Question à malus.** Donner (au moins) un exemple de matériau qu'il est souvent recommandé de couper avec un angle de coupe négatif.



- e) On coupe un matériau sur un tour de décolletage avec un angle de coupe $\alpha = -70^\circ$. Le coefficient de frottement lame-copeau vaut

$$\mu \simeq 0.5.$$

On suppose que le matériau est homogène et isotrope et on vous demande d'estimer l'angle de cisaillement Φ .

