Chapitre 7 – Propriétés mécaniques

EXERCICE 7-7

a) Température de transition ductile – fragile TTDF

Il suffit de déterminer les **TTDF** sur le graphique des résultats de résilience Charpy, en appliquant chacun des critères (voir figure ci-jointe en annexe)

	Critère	
TTDF (°C)	**25 J**	**50 % ductile**
	- 20	**0**

b) Ténacité K_{IC} de cet acier à 20 °C

Grâce aux résultats de résilience, on détermine l'énergie Charpy requise à 20 °C (soit 75J), puis on reporte cette valeur sur le graphique donnant la corrélation « $K_{IC} - W$ » (voir figure ci-jointe).

$$\boxed{K_{IC} = \mathbf{73}\ \text{MPa.m}^{1/2}}$$

c) Amplitude de contrainte du chargement de fatigue

Selon les données de l'exercice, les caractéristiques du chargement de fatigue sont le suivantes :

$\mathbf{R} = 0 = \sigma_{min}/\sigma_{max} \rightarrow \sigma_{min} = 0$

$\sigma_{max} = 200$ MPa

Par définition, $\sigma_a = (\sigma_{max} - \sigma_{min})/2 = 200/2 = 100$ MPa

$$\boxed{\sigma_a = \mathbf{100}\ \text{MPa}}$$

d) Vitesse de propagation de la fissure à sa découverte

Pour connaître la vitesse de fissuration $\mathbf{da/dN}$ de la fissure à l'instant de sa découverte, il faut calculer la variation $\mathbf{\Delta K_0}$ du facteur d'intensité de contrainte associé à cette fissure de longueur $\mathbf{a_0}$ et, grâce à la courbe de Paris relative à la fatigue – propagation, en déduire la valeur de $\mathbf{da/dN}$.

Par définition, $\Delta K_0 = \alpha \Delta\sigma \sqrt{\pi a_0} = \alpha(\sigma_{max} - \sigma_{min})\sqrt{\pi a_0} = \alpha \sigma_{max}\sqrt{\pi a_0}$ car ici $\sigma_{min} = 0$

Avec $\alpha = 1,1$, $\sigma_{max} = 200$ MPa et $\mathbf{a_0} = 2$ mm, on obtient une valeur de $\mathbf{\Delta K_0}$ égale à 17,44 MPa.m½, qui, reportée sur la courbe de Paris, donne la valeur recherchée de la vitesse (voir figure ci-jointe):

$$\boxed{\mathbf{da/dN} = \mathbf{3x10^{-7}}\ \text{m/cycle}}$$

e) Longueur critique $\mathbf{a_C}$ de la fissure entraînant une rupture brutale fragile

Pour qu'il y ait rupture brutale fragile, il faut que la valeur du facteur d'intensité de contrainte $\mathbf{K_C}$, associé à cette fissure de longueur critique $\mathbf{a_C}$, soit égal à la ténacité du matériau $\mathbf{K_{IC}}$ calculée précédemment à la question b) : $K_C = K_{IC} = \alpha \sigma_{max}\sqrt{\pi a_C}$

Donc, on en déduit que $a_C = \dfrac{1}{\pi}\left(\dfrac{K_{IC}}{\alpha \sigma_{max}}\right)^2 = \dfrac{1}{\pi}\left(\dfrac{73}{1{,}1x200}\right)^2 = 3{,}5x10^{-2}$ m

$$\boxed{\mathbf{a_C} = \mathbf{35}\ \text{mm}}$$

f) Valeur de la contrainte maximale pour que la fissure ne puisse se propager

Pour que la fissure ne puisse se propager, il faut que la valeur de la variation ΔK du facteur d'intensité de contrainte qui lui est associé soit inférieure au seuil de propagation ΔK_S défini sur la courbe de Paris (voir figure) :

$$\Delta K \leq \Delta K_S \quad \text{ou} \quad K_{max} \leq K_{maxS} = 3 \ \text{MPa.m}^{1/2}$$

Donc, on en déduit que $\sigma_{max\,S} = \left(\dfrac{K_{max\,S}}{\alpha\sqrt{\pi a_0}}\right) = \left(\dfrac{3}{1{,}1\sqrt{\pi x 2x10^{-3}}}\right) = 34{,}41\,\text{MPa}$

$$\boxed{\sigma_{maxS} = \mathbf{34{,}4}\ \text{MPa}}$$

g) Nombre de cycles pour que la longueur de fissure passe de 2 mm à 25 mm

L'équation de la droite de Paris est de la forme : $da/dN = C\Delta K^n$ (1)

avec les constantes C et n connues : $C = 3x10^{-12}$ et $n = 4$

En rappelant ici que $\Delta K = K_{max}$ et en utilisant la définition de K_{max}, l'équation (1) s'écrit alors :

$$da/dN = C\Delta K^n = C\left(\alpha\sigma_{max}\sqrt{\pi a}\right)^n = C\left(\alpha\sigma_{max}\sqrt{\pi}\right)^n a^{n/2} = Ba^{n/2} \qquad (2)$$

avec $B = C\left(\alpha\sigma_{max}\sqrt{\pi}\right)^n = \text{cste} = 3x10^{-12}\left(1{,}1x200x\sqrt{\pi}\right)^4 = 6{,}936x10^{-2}$

En séparant les variables dans l'équation (2), on obtient l'équation (3) ci-dessous que l'on peut maintenant aisément intégrer en prenant comme bornes d'intégration la longueur initiale a_0 et la longueur finale a_F de la fissure. On obtient ainsi l'équation (4) :

$$dN = \frac{1}{B}\frac{da}{a^{n/2}} = \frac{1}{B}\frac{da}{a^2} \qquad (3)$$

$$\left[N\right]_{a_0}^{a_F} = \frac{1}{B}\int_{a_0}^{a_F}\frac{da}{a^2} = \frac{1}{B}\left[\frac{-1}{a}\right]_{a_0}^{a_F} = \frac{1}{B}\left[\frac{1}{a_0} - \frac{1}{a_F}\right] \qquad (4)$$

Avec la valeur de B trouvée ci-dessus et pour a_0 = 2 mm et a_F = 25 mm, on obtient :

$$\left[N\right]_{a_0}^{a_F} = \frac{1}{B}\left[\frac{1}{a_0} - \frac{1}{a_F}\right] = \frac{1}{6{,}936x10^{-2}}\left[\frac{1}{2x10^{-3}} - \frac{1}{25x10^{-3}}\right] = 6\,632\ \text{cycles}$$

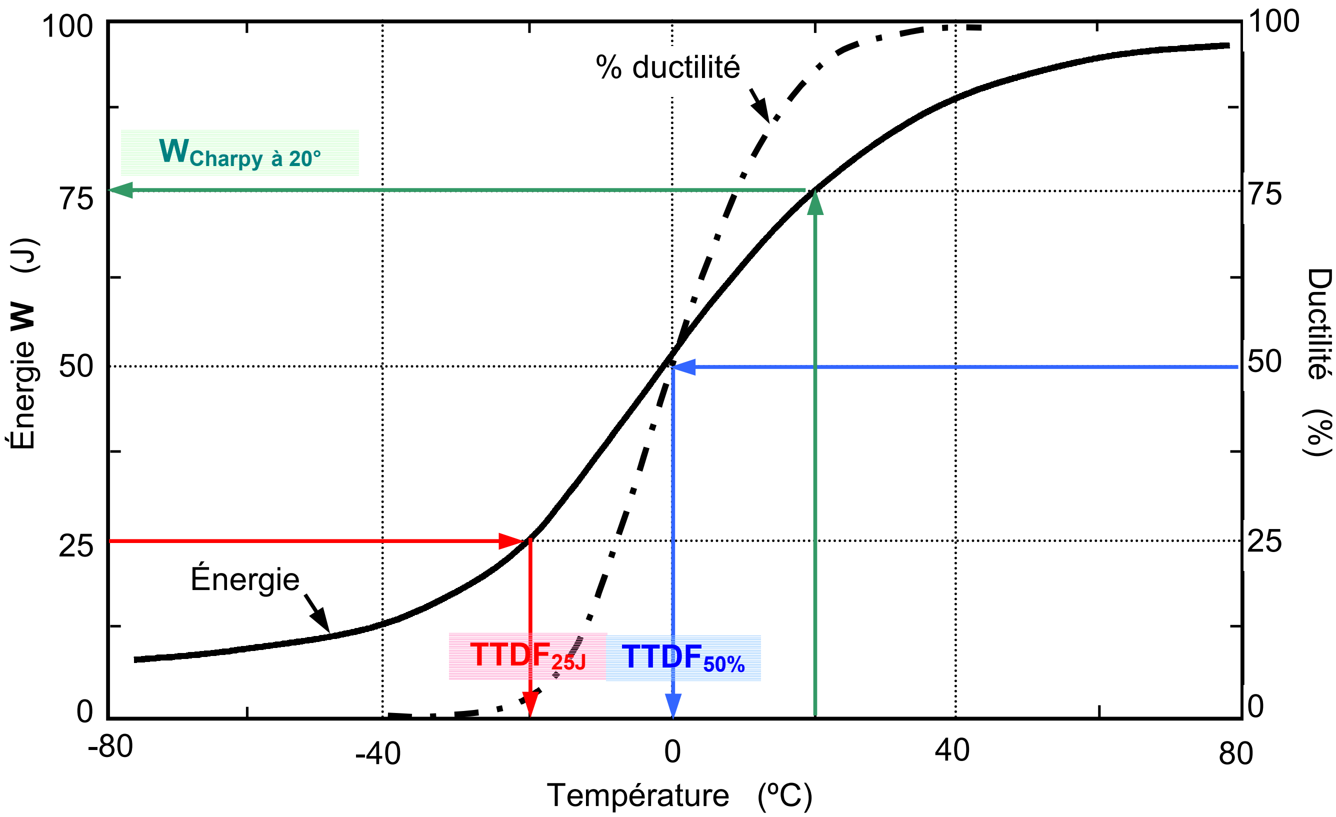
$$\boxed{N = \mathbf{6\,632}\ \text{cycles}}$$

h) Nombre de jours pour que la longueur de fissure passe de 2 mm à 25 mm

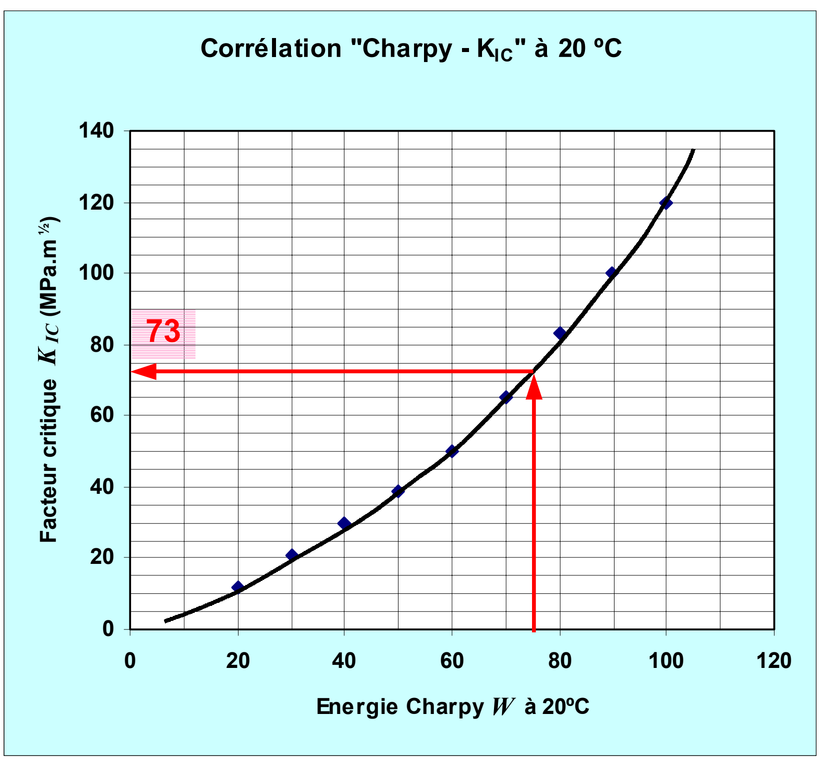
Connaissant la fréquence f de sollicitation, le temps t de sollicitation (en secondes) est égal à N/f.

On obtient ainsi : $t = N/f = 6632/(2x10^{-3}) = 3{,}316x10^6$ s = 38,38 jours $\approx$ 38 jours

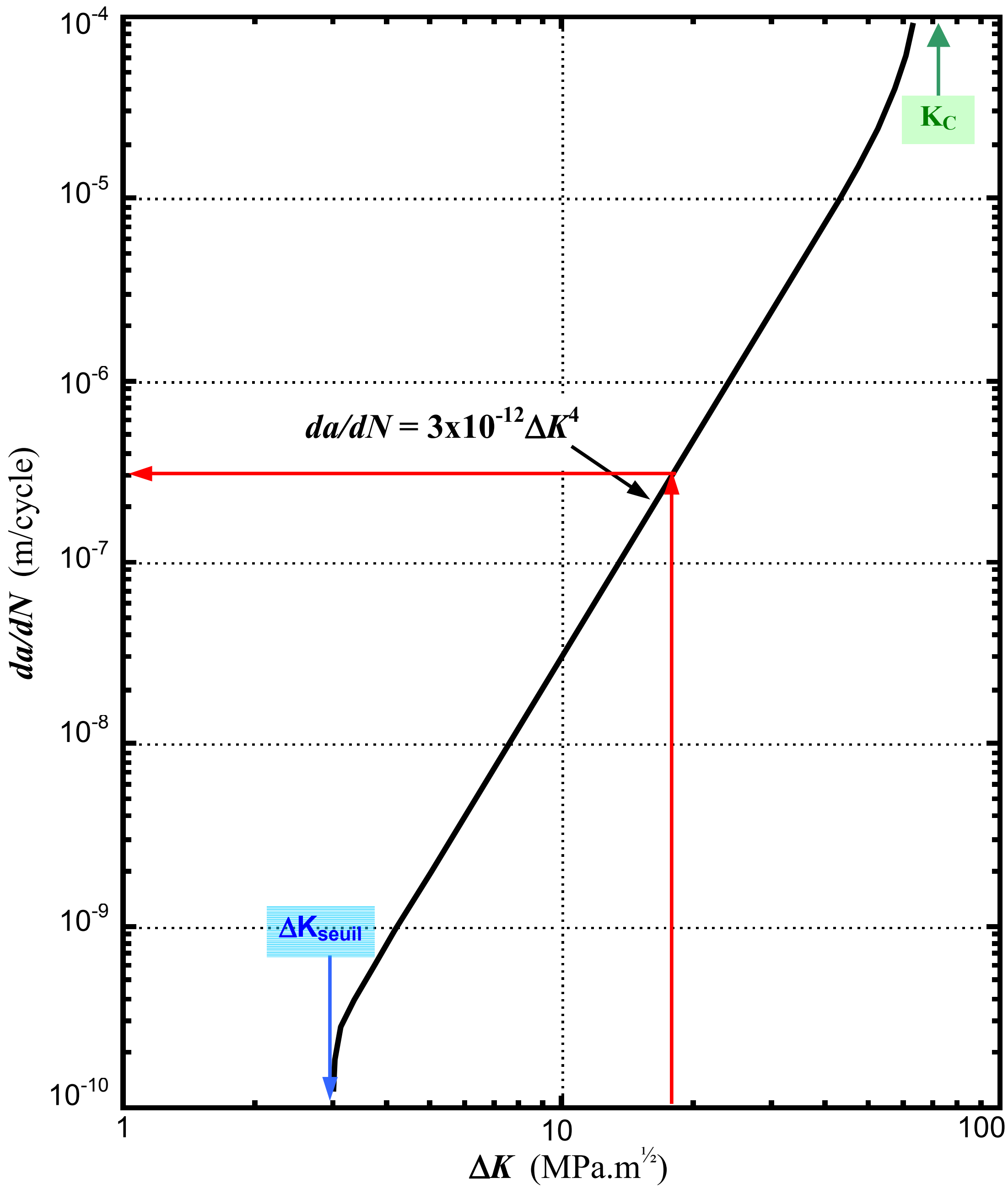
$$\boxed{n = \mathbf{38}\ \text{jours}}$$



100
75
50
25
0
% ductilité
WCharpy à 20°
Énergie
TTDF25J
TTDF50%
Énergie W (J)
Ductilité (%)
-80
-40
0
40
80
Température (ºC)



Corrélation "Charpy - KIC" à 20 ºC
Facteur critique K IC (MPa.m ½)
73
0
20
40
60
80
100
120
140
Energie Charpy W à 20ºC



10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
10^{-7}
10^{-8}
10^{-9}
10^{-10}
da/dN (m/cycle)
$da/dN = 3x10^{-12}\Delta K^4$
K_C
ΔK_{seuil}
1
10
100
ΔK (MPa.m^{½})