

Transferts de chaleur

Afin d'améliorer les qualités d'un matériau, il subit un ou des traitements thermiques, c'est-à-dire, une succession de chauffages et de refroidissement programmés.

1. la calorimétrie

Les échanges de chaleur suivent les lois de la calorimétrie. La principale est : $dQ = mc \, dT$ où c est la chaleur massique en $J.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$. Dans un intervalle de température où c est constant, la relation devient : $Q = mc \, \Delta T$.

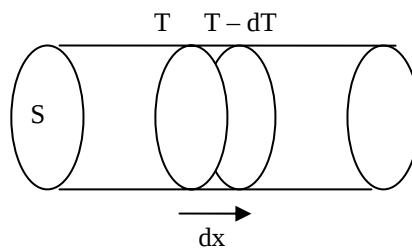
Il peut y avoir changement d'état. Il se fait à température constante et $Q = mL$ où L est la chaleur latente de changement d'état en $J.kg^{-1}$.

3 modes limites existent pour les transferts de chaleur : la conduction, la convection et le rayonnement.

2. la conduction

Il s'agit d'un transfert de chaleur dans la matière sans déplacement de matière. Il est caractéristique des solides.

La conduction suit la loi de Fourier : $P = \frac{dQ}{dt} = -\lambda S \frac{dT}{dx}$ où S est la section du matériau. Pour un matériau de section circulaire comme ici, on a $S = \pi r^2$. λ est le coefficient de chaleur massique en $W.m^{-1}.K^{-1}$.



3. la convection

Il s'agit d'un transfert de chaleur par déplacement de matière. Il est caractéristique des fluides. Il suit la loi de Newton que l'on peut énoncer sous 2 formes :

$$P = \frac{dQ}{dt} = h S \Delta T \text{ ou } v = \frac{dT}{dt} = -k(T - T_f).$$

Ainsi, h est le coefficient de convection thermique en $W.m^{-2}.K^{-1}$ et S est la surface de la pièce en contact avec le milieu extérieur (ici $S = 2\pi r l + 2\pi r^2$).

On notera que $\frac{dQ}{dt} = mc \frac{dT}{dt} = h S \Delta T$ implique que $\frac{dT}{dt} = \frac{hS}{mc} \Delta T$ d'où $\frac{hS}{mc} = k$. Les 2 relations se déduisent donc l'une de l'autre.

4. le rayonnement

Il s'agit d'un transfert de chaleur sans support de matière qui se fait par les ondes électromagnétiques, lumière visible ou non. On a dans ce cas la loi de Stefan $M = \frac{P}{S} = \sigma T^4$ où $\sigma = 5,7.10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}$. Un chapitre spécifique est consacré au rayonnement.

5. représentation des courbes de refroidissement

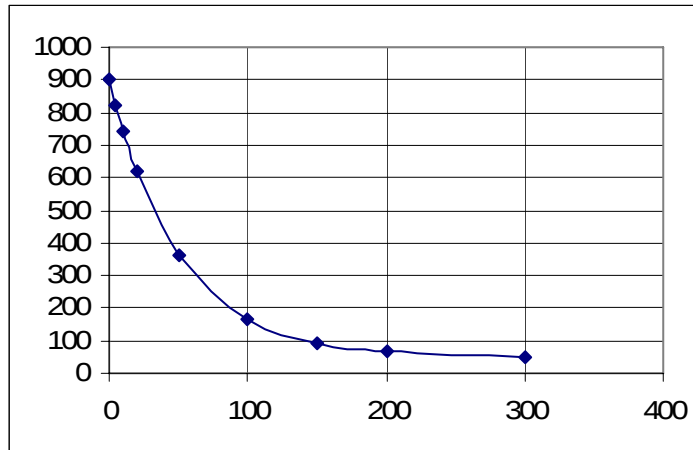
Il est logique de le faire dans un repère $T = f(t)$.

A titre d'exemple, on choisit un refroidissement de 900 à 50 °C.

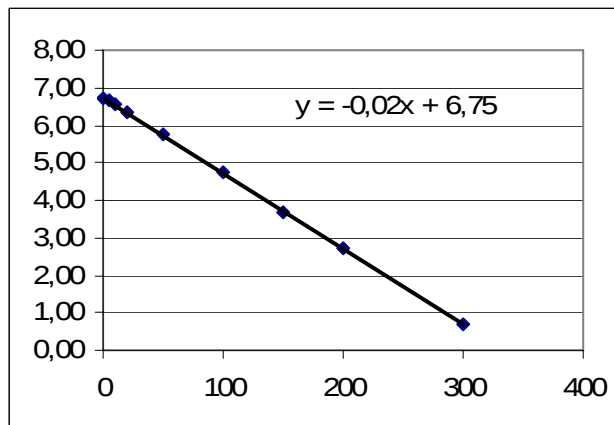
On relève les températures :

t en s	T en °C	t en s	T en °C
0	900	100	165
5	820	150	90
10	740	200	65
20	620	300	52
50	360		

La courbe a l'allure d'une exponentielle décroissante :



On remarque que $\ln(T - T_f) = f(t)$ est une droite :

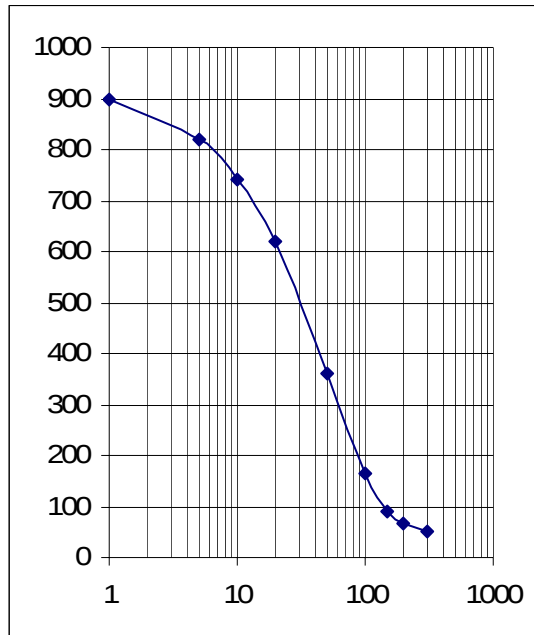


On le déduit aisément de la loi de Newton : $v = \frac{dT}{dt} = -k(T - T_f) = \frac{d(T - T_f)}{dt}$

soit $\frac{d(T - T_f)}{(T - T_f)} = -k dt$ et $(T - T_f) = (T_i - T_f)e^{-kt}$.

Ici, $k = -\frac{1}{t} \ln \frac{(T - T_f)}{(T_i - T_f)} = 0,02 \text{ s}^{-1}$. Ainsi, on a $T = 50 + 850 e^{-0,02 t}$.

Il est intéressant de prendre un autre repère $T = f(\log t)$.



6. exploitation des courbes TRC

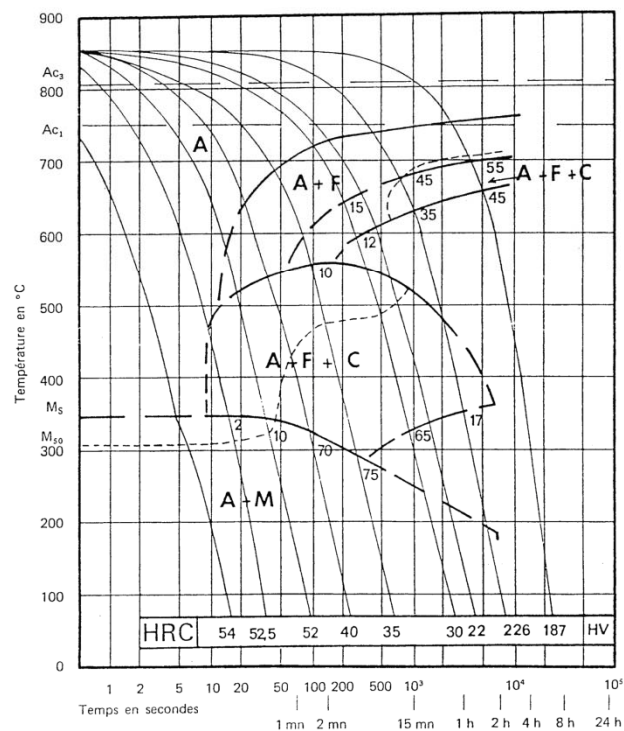
Ces courbes de refroidissement $T = f(\log t)$ correspondent aux courbes expérimentales TRC (transformations au refroidissement continu).

35 CD 4

C %	Mn %	Si %	S %	P %	Ni %	Cr %	Mo %
0,36	0,77	0,28	0,010	0,019	0,16	0,96	0,28

Austénitisé à 850 °C 30 mn

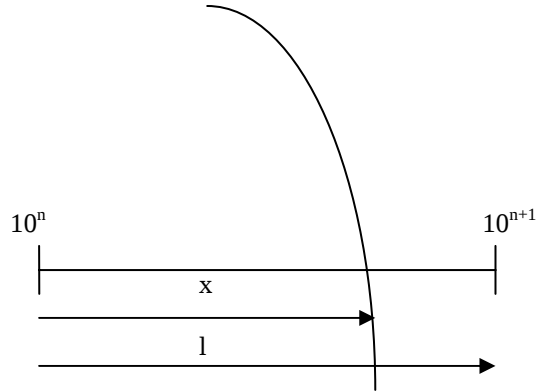
Grosseur du grain : 9



On remarque successivement les zones de l'austénite, de la ferrite proeutectoïde, de la perlite, de la bainite et de la martensite.

La norme est de déterminer t_{300} , t_{700} , $\Delta t_{300}^{700} = t_{300} - t_{700}$, $V_{300}^{700} = \frac{400}{\Delta t_{300}^{700}}$ et v_{700} .

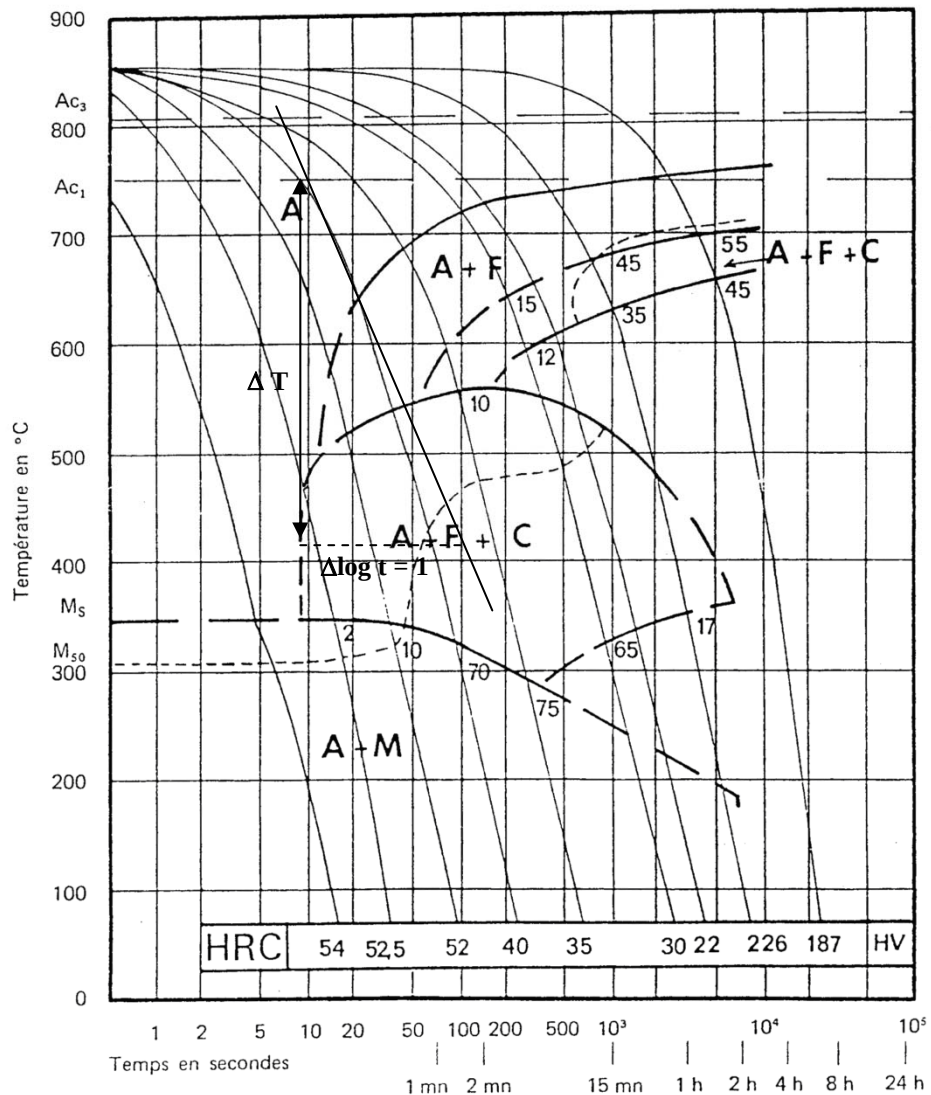
La détermination des durées se fait par linéarisation des valeurs lues :



$$\text{Ainsi, } \frac{x}{l} = \frac{\log t - \log 10^n}{\log 10^{n+1} - \log 10^n} = \frac{\log \frac{t}{10^n}}{1} \text{ d'où } t = 10^{n+\frac{x}{l}}$$

La détermination de la vitesse instantanée se fait par le tracé de la tangente à la courbe.

$$v = \frac{dT}{dt} = \frac{dT}{d \log t} \times \frac{d \log t}{dt} = \frac{1}{2,3t} \frac{dT}{d \log t}. \text{ Si on se place dans la situation où } \Delta \log t = 1, \text{ on a } v = \frac{\Delta T}{2,3 t}.$$



Dans cet exemple, on a :

$$t_{700} = 10^{1+3/20} = 14,1 \text{ s et } \Delta T = 42 \times 100 / 14 = 300 \text{ °C et } v_{700} = 300 / 2,3 \times 14,1 = 9,23 \text{ °C.s}^{-1}.$$