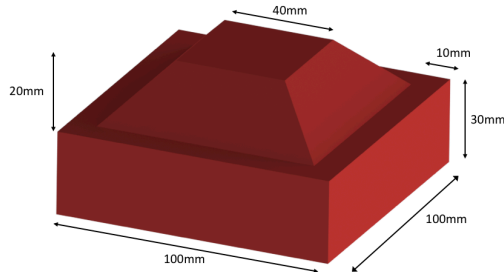


TD 6

Mise en œuvre

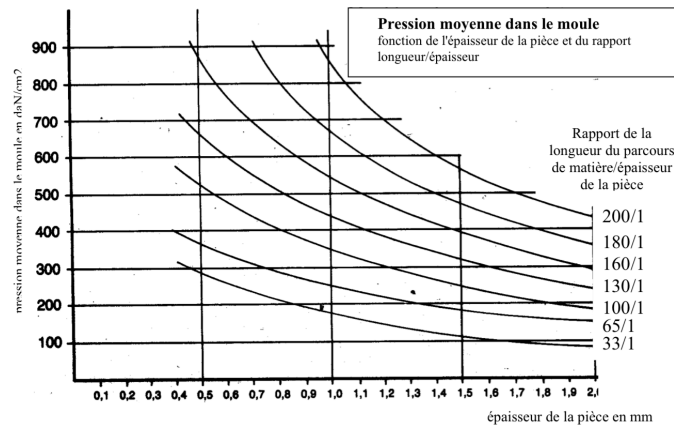
Exercice 1 :

Nous souhaitons mouler par injection thermoplastique la pièce suivante :



L'épaisseur de la pièce est 1,2mm, et nous avons choisi l'ABS pour sa résistance aux chocs.

- 1) Calculer les dimensions du moule et le volume à injecter, en tenant compte du retrait
- 2) La force de fermeture F d'un moule est donnée par la relation $F = P_m \cdot k_m \cdot A \cdot \text{Coeff}$, avec P_m la pression moyenne dans le moule, k_m le facteur de viscosité, A l'aire projetée de la pièce et Coeff le coefficient de sécurité (ici 20%). Calculer la force de fermeture du moule pour 1 pièce.



- 3) Calculer le temps de refroidissement nécessaire. Il est défini par :

$$t = \frac{e^2}{a_{eff} \cdot \pi^2} \cdot \ln \left[\frac{k}{\pi} \cdot \frac{T_m - T_w}{T_d - T_w} \right]$$

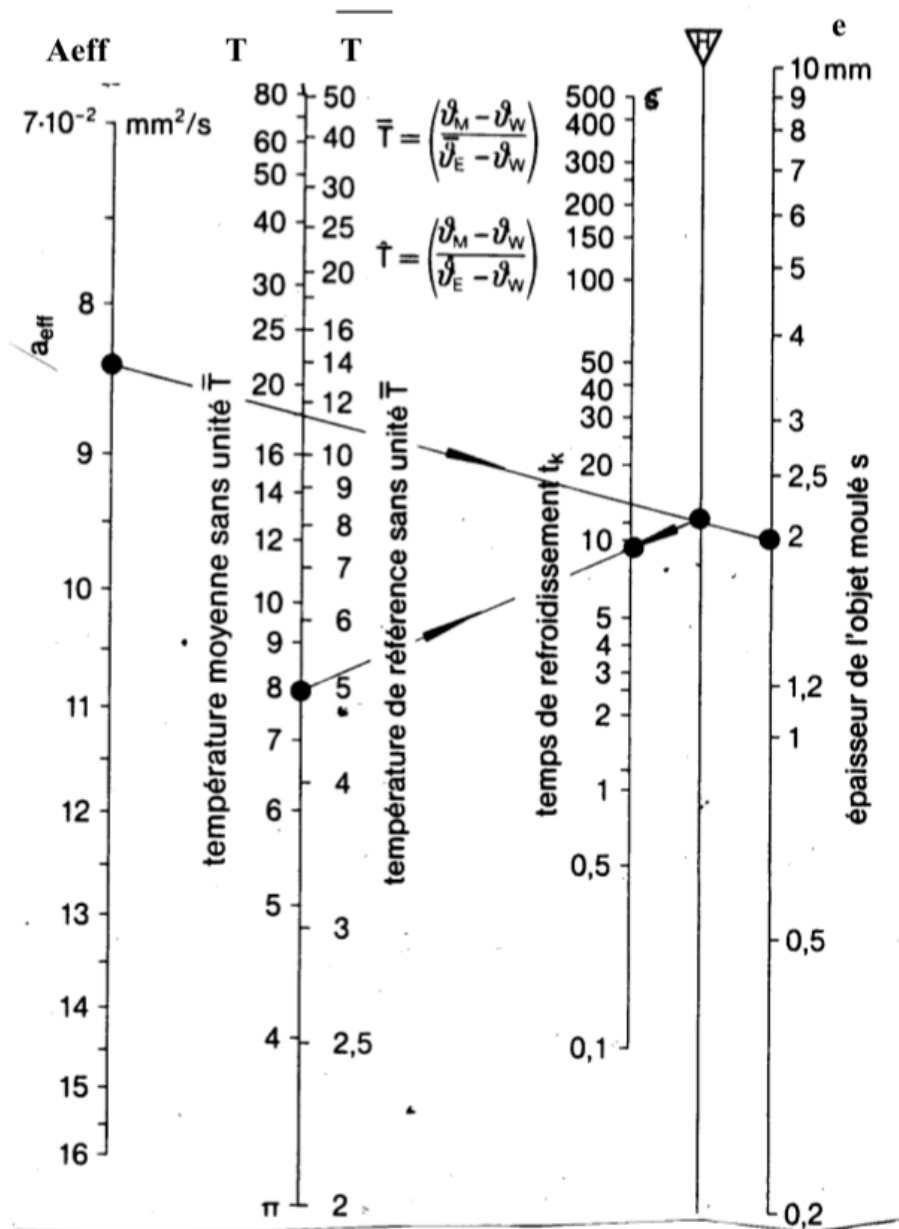
avec $k=4$ pour le temps de refroidissement total de la pièce, et $k=8$ pour une pièce refroidie sur la moitié de son épaisseur, e l'épaisseur de la pièce, a_{eff} la diffusibilité thermique, T_m la température d'injection, T_w la température du moule et T_d la température de solidification nécessaire pour l'éjection. a_{eff} est définie par :

$$a_{eff} = \frac{\lambda}{\rho \cdot C_p}$$

Avec λ la conductibilité thermique, ρ la masse volumique du polymère et C_p la chaleur spécifique.

En utilisant le diagramme pour la détermination du temps de refroidissement, vous pouvez rapidement estimer le temps de refroidissement en seconde. Le temps de référence est défini par :

$$\frac{T_m - T_w}{T_d - T_w}$$



4) Calculer le nombre d'empreintes optimal dans notre moule. Les données de calcul sont :

- X : le prix du moule à 1 empreinte (28k€)
- Y : le coût de l'empreinte additionnelle (5k€)
- Q : le coût horaire de la presse (15€/h)
- S : le coût horaire des salaires (38€/h)
- N : le nombre total de pièces à fabriquer (100000)
- t : la durée du cycle (0.4min soit 0,0067h)
- n : le nombre d'empreintes recherché

La démarche de calcul :

Coût du moule pour n empreintes : $C_n = X + Y (n-1) = (X - Y) + Yn$

Coût du fonctionnement de la presse par pièce : $Q_u = (Q_t / n)$

Coût du salaire par pièce : $S_u = S_t / n$

Coût du moule par pièce : $C_u = C_n / N = ((X-Y) + Yn) / N$

Coût de moulage d'une pièce : $Cum = Qu + Su + Cu$

$$Cum = (Qt/n) + (St/n) + ((X-Y)/N) + Yn/N$$

$$Cum = (t/n) (Q+S) + ((X-Y)/N) + Yn/N$$

Si l'on trace la courbe des points représentant le coût de moulage fonction du nombre d'empreintes, on s'aperçoit que cette courbe passe par un minimum à :

$$n = \sqrt{\frac{(Q + S)tN}{Y}}$$

5) Compte tenu de toutes ces données, choisir la presse qui correspond à nos critères :

	Injection				Fermeture						Plateaux			
	Diamètre des vis	Volume théorique injectable	Pression maximale matière	Force d'appui sur la buse	Modèle	Force de verrouillage	Course d'ouverture	Epaisseur des moules mini-maxi	Diamètre des colonnes	Force d'ouverture du moule	Désignation	Passage entre colonnes	Dimensions des plateaux	Espace maxi entre plateaux
Unités	mm	cm ³	bars	kN	T	kN	mm	mm	mm	kN		mm	mm	mm
H 260	32	116	2205	43	90	900	380	180 à 400	70	130	555	370 x 370	555 x 555	780
	35	139	1843								630	445 x 445	630 x 630	780
	38	163	1564											
H 470	38	198	2327	67	140	1400	500	240 à 480	85	161	650	430	650	980
	40	220	2100								735	515	735	980
	45	278	1659											
H 780	45	342	2276	67	200	2000	560	280 à 580	100	290	760	500	760	1140
	50	422	1843								870	610	870	1140
	55	511	1523											
H 1 300	55	582	2200	82	320	3200	660	330 à 680	120	370	920	610	920	1340
	60	693	1849											
	65	813	1575											
H 2 000	65	946	2113	82	320	3200	660	330 à 680	120	370	1045	735	1045	1340
	70	1097	1822											
	75	1259	1587											
H 2 500	75	1215	2065	82	420	4200	750	250 à 800	140	426	1040	680	1040	1550
	90	1750	1430											
H 4 340	75	1988	2184	110	420	4200	750	250 à 800	140	426	1180	820	1180	1550
	90	2863	1517											
	105	3897	1115											
H 6 860	90	3340	2053	110	700	7000	1100	300 à 1100	180	781	1370	910	1370	2200
	105	4546	1509											
	120	5938	1155											
H 10 140	105	5195	1950	110	900	9000	1250	300 à 1200	195	1007	1550	1025	1550	2450
	120	6786	1493											
	140	9236	1097											
H 16 470	120	7917	2080	173	1150	11500	1650	400 à 1600	220	1357	1770	1170	1770	3250
	140	10776	1528											
	160	14074	1170											
H 24 400	140	12315	2023	270	1800	18000	2100	500 à 1800	280	1365	2250	1450 x 2250	2200 x 2250	3900
	160	16084	1548								2600	1450 x 1800	2200 x 2600	3900
	180	20357	1223											
H 34 400	160	18095	1968	270	2200	22000	2100	500 à 1800	310	1365	2600	1450 x 1800	2260 x 2660	3900
	180	22902	1555											
	200	28274	1253											

Source : Document Presses hydrauliques Billion (01810 Bellignat)

Exercice 2 : Mouillabilité

Nous étudions la mouillabilité de l'eau sur du PMMA.

- 1) Déterminer à l'aide du modèle de Parachor, la tension de surface du solide et du liquide
- 2) Déterminer la tension de surface de l'eau par la méthode de la goutte pendante. Comparer avec le modèle de Parachor.
- 3) Estimer l'angle de la goutte d'eau sur du PMMA. L'angle mesuré expérimentalement est de 68°.
- 4) Calculer la tension de surface liquide/solide
- 5) Quel angle obtient-on à 70°C ? (densité de l'eau à 20°C : 0.998, 70°C : 0.978)

Exercice 3 : Tension de surface

A l'aide du modèle d'Owens-Wendt, calculer la tension de surface d'un substrat de polyéthylène. Angle mesuré avec l'eau=71.9°, avec l'Éthylène Glycol=50.8°C. Comparez avec le modèle de Parachor.

Données :

Retrait des polymères

Amorphe : 0,2% à 0,7%

Semi-cristallins 0,8% à 4%

ABS 0,2% à 0,6%

Facteur de viscosité

Matière	PE, PP, PS	PA, POM	ABS, ASA, SAN	PMMA	PC, PPS, PSU
km	1,0 – 1,2	1,2 – 1,4	1,3 – 1,5	1,5 – 1,7	1,7 – 1,9

$$\lambda = 0.16 \text{ W/m/K} = 3.8 \times 10^{-4} \text{ cal/s/cm/}^{\circ}\text{C}$$

$$C_p = 0.4 \text{ Btu/lb/}^{\circ}\text{F} = 0.4 \text{ cal/g/}^{\circ}\text{C}$$

$$\rho = 1.05 \text{ g/cm}^3$$

Température d'injection = $220^{\circ}\text{C} < T_m < 280^{\circ}\text{C}$

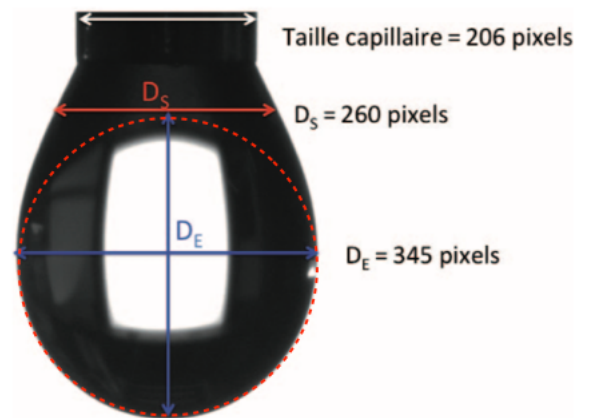
Température du moule = $60^{\circ}\text{C} < T_w < 80^{\circ}\text{C}$

Température de solidification = 95°C

Table 3.4 Structural Contributions for Estimating the Parachor

Carbon-hydrogen:		R – [–CO–] – R' (ketone)	
C	9.0	R + R' = 2	51.3
H	15.5	R + R' = 3	49.0
CH ₃	55.5	R + R' = 4	47.5
CH ₂ in –(CH ₂) _n		R + R' = 5	46.3
n < 12	40.0	R + R' = 6	45.3
n > 12	40.3	R + R' = 7	44.1
		–CHO	66
Alkyl groups			
1-Methylethyl	133.3	O (not noted above)	20
1-Methylpropyl	171.9	N (not noted above)	17.5
1-Methylbutyl	211.7	S	49.1
2-Methylpropyl	173.3	P	40.5
1-Ethylpropyl	209.5	F	26.1
1,1-Dimethylethyl	170.4	Cl	55.2
1,1-Dimethylpropyl	207.5	Br	68.0
1,2-Dimethylpropyl	207.9	I	90.3
1,1,2-Trimethylpropyl	243.5	Ethyleneic bonds:	
C ₆ H ₅	189.6	Terminal	19.1
		2,3-position	17.7
		3,4-position	16.3
Special groups:		Triple bond	40.6
–COO–	63.8	Ring closure:	
–COOH	73.8	Three-membered	12
–OH	29.8	Four-membered	6.0
–NH ₂	42.5	Five-membered	3.0
–O–	20.0	Six-membered	0.8
–NO ₂	74		
–NO ₃ (nitrate)	93		
–CO(NH ₂)	91.7		

Source: Quale [8].



Densités : air=0.0012 ; eau=0.998 ; PMMA=1.17

Densité PE=0.930

Liquides	ρ (g/cm ³)	γ_L (mJ/m ²)	γ_L^d (mJ/m ²)	γ_L^p (mJ/m ²)	γ_L^+ (mJ/m ²)	γ_L^- (mJ/m ²)
Eau	1,00	72.8	21.8	51.0	25.5	25.5
Glycérol	1,26	64.0	34.0	30.0	3.92	57.4
Formamide	1,13	58	39	19	2.28	39.6
Diiodométhane	3,31	50.8	50.8	0	0	0
Cis-décane	0.88	32.2	32.2	0	0	0
Ethylène Glycol	1.11	48.0	29.0	19.0	1.92	47.0