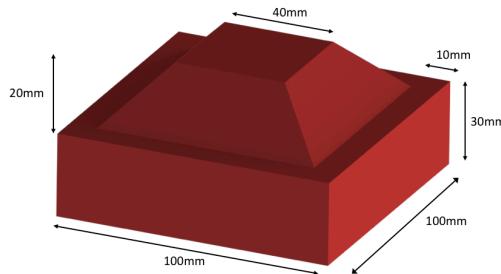


## TD 6

### Mise en œuvre

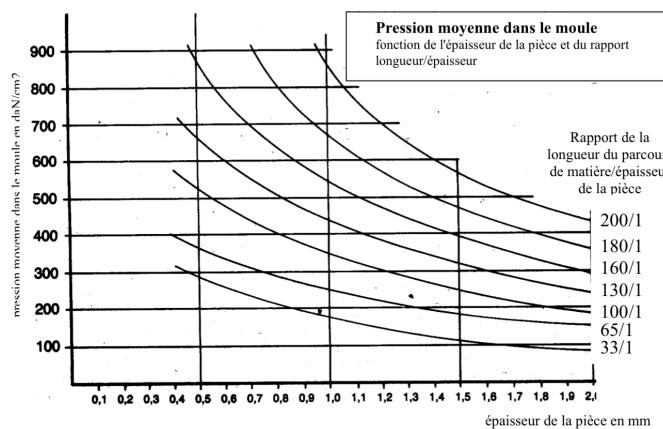
#### Exercice 1 :

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  $\text{Coeff}$  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 :

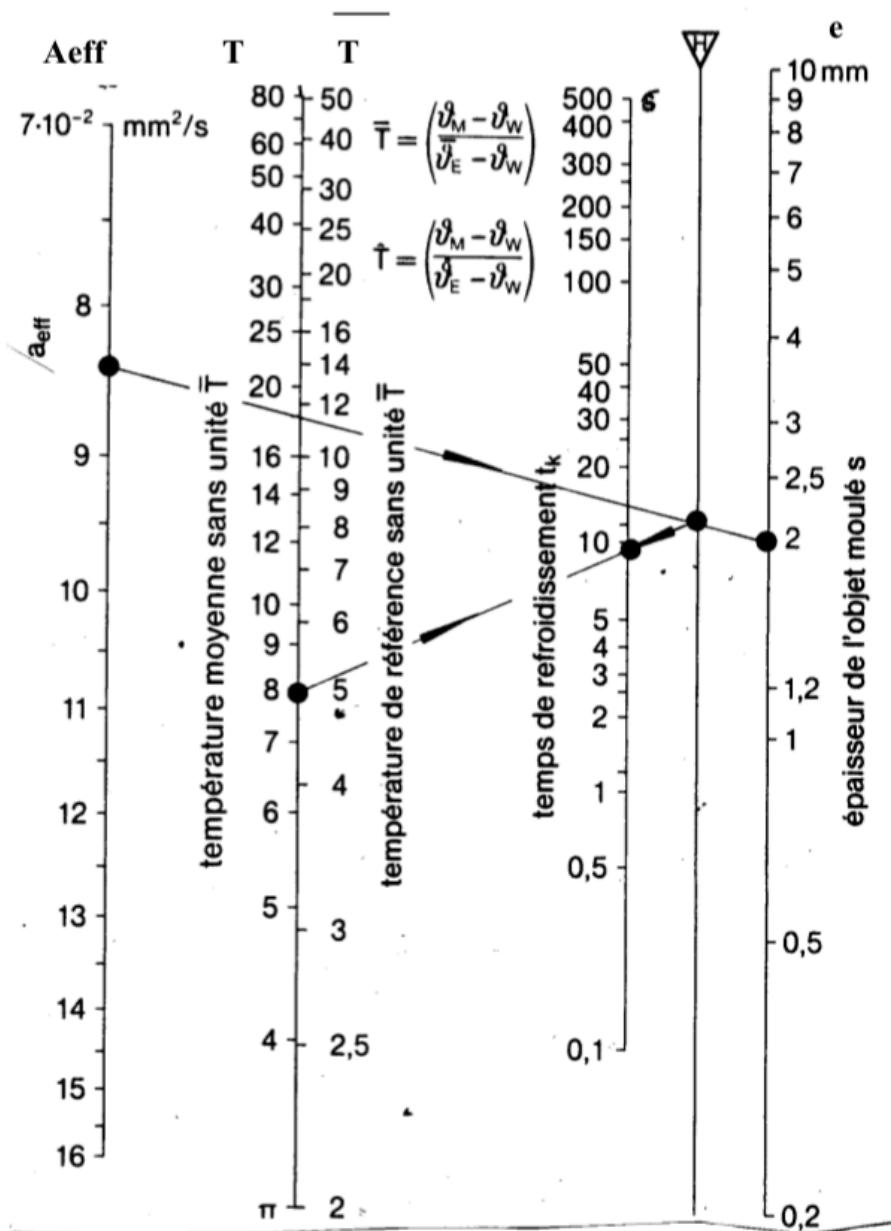
$$t = \frac{e^2}{a_{eff} \cdot \pi^2} \cdot \ln \left[ \frac{k}{\pi} \cdot \frac{T_m - T_w}{T_d - T_w} \right]$$

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  $\lambda$  la conductibilité thermique,  $\rho$  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 d'une 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 :  $Q_u = (Qt/n)$

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

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

Coût de moulage d'une pièce :  $C_{\text{cum}} = Q_u + S_u + C_u$

$$C_{\text{cum}} = (Q_t/n) + (S_t/n) + ((X-Y)/N) + Y_n/N$$

$$C_{\text{cum}} = (t/n) (Q+S) + ((X-Y)/N) + Y_n/N$$

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 :

Unités	Injection				Fermeture				Plateaux					
	Diamètre des vis mm	Volume injectable cm³	Pression maximale matérielle bars	Force d'étau sur la buse kN	Modèle	Force de verrouillage kN	Coupe d'ouverture mm	Épaisseur des moulages min-max mm	Diamètre des colonnes mm	Force d'ouverture du moule kN	Désignation	Passage entre colonnes mm	Dimensions des plateaux mm	Espace maxi entre plateaux mm
	32	116	2205								555	370 x 370	555 x 555	780
H 260	35	139	1843	43	90	900	380	180 à 400	70	130	630	445 x 445	630 x 630	780
	38	163	1564											
	40	198	2327											
H 470	40	220	2100	67	140	1400	500	240 à 480	85	161	650	430	650	980
	45	278	1659								735	515	735	980
	45	342	2276									760	500	760
H 780	50	422	1843	67	200	2000	560	280 à 580	100	290	870	610	870	1140
	55	511	1523											
	55	582	2200											
H 1300	60	693	1849	82	320	3200	660	330 à 680	120	370	920	610	920	1340
	65	813	1575											
	65	946	2113											
H 2000	70	1097	1822	82	320	3200	660	330 à 680	120	370	1045	735	1045	1340
	75	1259	1587											
	75	1215	2065											
H 2500	90	1750	1430	82	420	4200	750	250 à 800	140	426	1040	680	1040	1550
	75	1988	2184											
	90	2863	1517	110	420	4200	750	250 à 800	140	426	1180	820	1180	1550
H 4340	105	3897	1115											
	90	3340	2053											
	105	4546	1509	110	700	7000	1100	300 à 1100	180	781	1370	910	1370	2200
H 6860	120	5938	1155											
	105	5195	1950											
	120	6786	1493	110	900	9000	1250	300 à 1200	195	1007	1550	1025	1550	2450
H 10140	140	9236	1097											
	120	7917	2080											
	140	10776	1528	173	1150	11500	1650	400 à 1600	220	1357	1770	1170	1770	3250
H 16470	160	20357	1223											
	140	14074	1170											
	140	12315	2023											
H 24400	160	16084	1548	270	1800	18000	2100	500 à 1800	280	1365	2250	1450 x 2250	2200 x 2250	3900
	180	20357	1223								2600	1450 x 1800	2200 x 2600	3900
	160	18095	1968											
H 34400	180	22902	1555	270	2200	22000	2100	500 à 1800	310	1365	2600	1450 x 1800	2260 x 2660	3900
	200	28274	1253											

Source : Document Presses hydrauliques Billon (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'Ethylène 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

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

$$Cp=0,4 \text{ Btu/lb/}^\circ\text{F}=0,4 \text{ cal/g/}^\circ\text{C}$$

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

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

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

$$\text{Température de solidification} = 95^\circ\text{C}$$

Table 3.4 Structural Contributions for Estimating the Parachor

Carbon-hydrogen:	R – [–CO–] – R'(ketone)	
C	9.0	R + R' = 2
H	15.5	R + R' = 3
CH <sub>3</sub>	55.5	R + R' = 4
CH <sub>2</sub> in –(CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>		R + R' = 5
n < 12	40.0	R + R' = 6
n > 12	40.3	R + R' = 7
	–CHO	66
Alkyl groups		
1-Methylethyl	133.3	O (not noted above)
1-Methylpropyl	171.9	N (not noted above)
1-Methylbutyl	211.7	S
2-Methylpropyl	173.3	P
1-Ethylpropyl	209.5	F
1,1-Dimethylethyl	170.4	Cl
1,1-Dimethylpropyl	207.5	Br
1,2-Dimethylpropyl	207.9	I
1,1,2-Trimethylpropyl	243.5	
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	189.6	Ethylenic bonds:
		Terminal
		2,3-position
		3,4-position
Special groups:		
–COO–	63.8	
–COOH	73.8	Triple bond
–OH	29.8	
–NH <sub>2</sub>	42.5	Ring closure:
–O–	20.0	Three-membered
–NO <sub>2</sub>	74	Four-membered
–NO <sub>3</sub> (nitrate)	93	Five-membered
–CO(NH <sub>2</sub> )	91.7	Six-membered

Source: Quale [8].

$$\text{Densités : air}=0.0012 ; \text{eau}=0.998 ; \text{PMMA}=1.17$$

Densité PE=0.930

Liquides	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_L$ (mJ/m <sup>2</sup> )	$\gamma_L^d$ (mJ/m <sup>2</sup> )	$\gamma_L^p$ (mJ/m <sup>2</sup> )	$\gamma_L^+$ (mJ/m <sup>2</sup> )	$\gamma_L^-$ (mJ/m <sup>2</sup> )
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
Diodométhane	3,31	50.8	50.8	0	0	0
Cis-décaline	0.88	32.2	32.2	0	0	0
Ethylène Glycol	1.11	48.0	29.0	19.0	1.92	47.0

