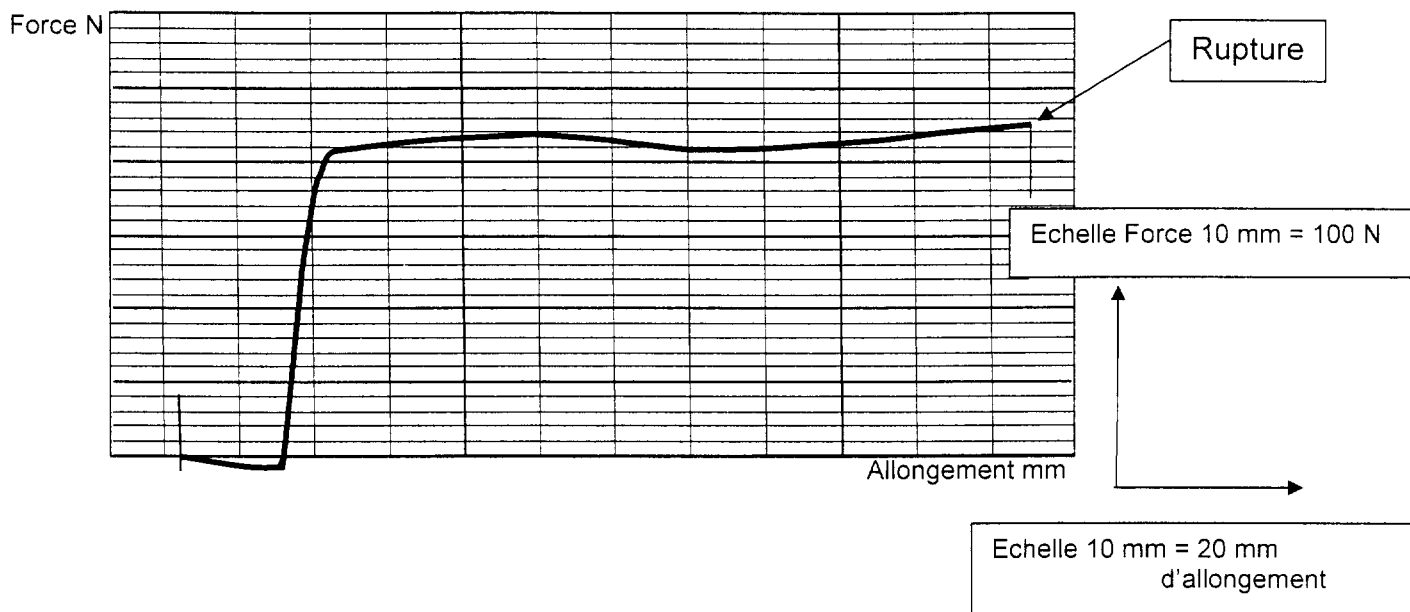


Essai 5 Contrainte et allongement à la rupture

Conditions d'essai :

Eprouvette : Largeur = 25 mm
 Epaisseur = 700 μm
 Longueur initiale = 100 mm

Spécifications : Valeur mini : 20 MPa
 150 %



FORMULAIRE

1 RHEOLOGIE

Calcul de gradient de vitesse dans une plaque :

➤ Dans une filière plate : $\dot{\gamma} = 6Q / h^2 W$

$\dot{\gamma}$ = Gradient de vitesse (s⁻¹)

Débit : Q (vitesse x section) en m³.s⁻¹ ou mm³.s⁻¹

Calcul de gradient de vitesse en fluidité

➤ Dans un capillaire : $\dot{\gamma} = 4Q / \pi r^3$

Q : débit en m³.s⁻¹ ou mm³.s⁻¹

R : rayon de la filière en m ou en mm

Loi de puissance

$$\eta = K\dot{\gamma}^{n-1}$$

Avec : η = Viscosité (Pa.s)

K = Consistance

$\dot{\gamma}$ = Gradient de vitesse (s⁻¹)

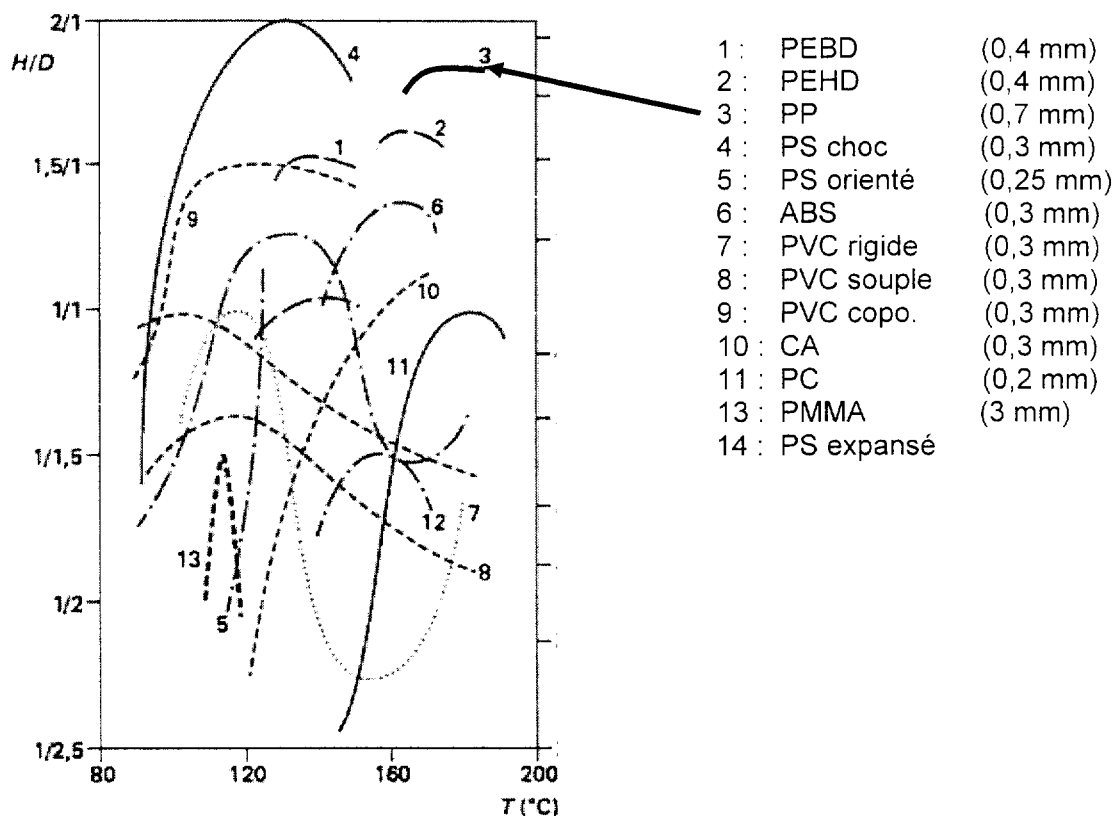
n = Indice de pseudoplasticité

2 ETIRABILITE DU POLYPROPYLENE

La thermoformabilité d'un matériau est définie par le plus grand rapport de profondeur au diamètre (Hauteur / Diamètre) ou plus petit côté d'emboutissage (Hauteur / Largeur) du moule, que le matériau va draper sans se fissurer :

$$\text{Rapport d'emboutissage} = \frac{H}{D} \text{ ou } \frac{H}{L}$$

Taux d'étirage des matériaux, en moule négatif, en fonction de la température



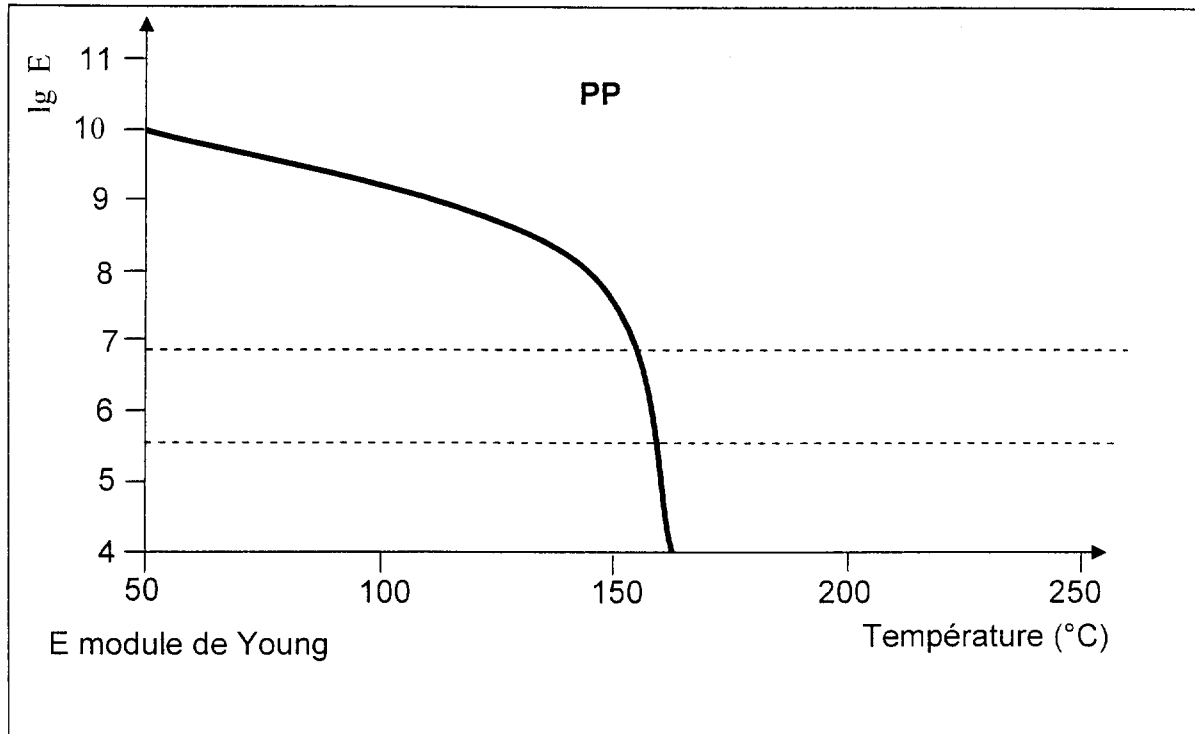
Etirage moyen : $\text{rapport d'emboutissage} \leq 1/1,5$

Etirage fort : $1/1,5 \leq \text{rapport d'emboutissage} \leq 1,5/1$

Etirage extrême : $\text{rapport d'emboutissage} \geq 1,5/1$

3 ESTIMATION DE LA PLAGE DE TEMPERATURE DE FORMAGE

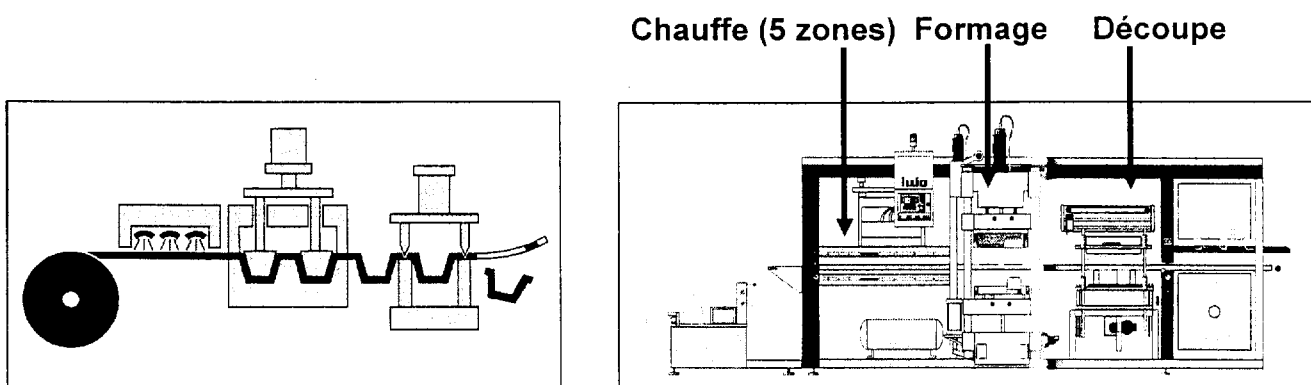
Rechercher la plage de formage pour assurer une thermoformabilité optimale du PP sachant que le module d'élasticité longitudinal en fonction de la température doit être compris entre $0,55 Pa \leq \lg E \leq 0,69 Pa$



Evolution du $\lg E$ en fonction de la température matière

4 ESTIMATION DU TEMPS DE CYCLE

Schéma de principe du thermoformage en ligne



Remarque : Le formage du PP se fait avec un préchauffeur disposé en entrée de machine (non représenté).

On peut considérer, pour le thermoformage en ligne (le temps de chauffe étant masqué), que le temps de cycle **Tcy** est la somme de :

$$T_{cy} = \text{Temps de formage} + \text{Temps de refroidissement}$$

$$T_{cy} = [T_f + (T_r \times e \times F_m \times F_e)]$$

Données de fabrication :

Outillage en aluminium thermorégulé

	Caractéristiques à rechercher	Unités	Tables
Tf	temps de formage	secondes	1
Tr	temps de refroidissement	secondes	2
e	épaisseur matière	mm	
Fm	facteur matière, multiplicateur pour temps de chauffe et de refroidissement		3
Fe	facteur étirage matière		4

TABLE 1	UA 100		UA 225		UA 250	
	a	a	b	a	b	
Temps de formage	12	4	2	4	5	

UA 100 : Formage de plaque
 UA 225 : Formage de plaque (a) ou de feuille en bobine (b) avec préchauffeur
 UA 250 : Formage et conditionnement de Blister (a) ou Skin (b)

TABLE 2	Temps de refroidissement Tr
Moule en résine sans régulation	4,5
Moule en alu sans régulation	3
Moule en alu thermorégulé	1,5

TABLE 3	Facteur matière Fm
PSB	1
ABS	1,3
CAB	1,5
PC	1,5
PMMA	1,5
PVC	2
PP	2,1
PE	2,5

TABLE 4	Facteur étirage Fe
Etirage moyen	0,85
Etirage fort	0,8
Etirage extrême	0,7

5 DETERMINATION DU REGLAGE DES EMETTEURS

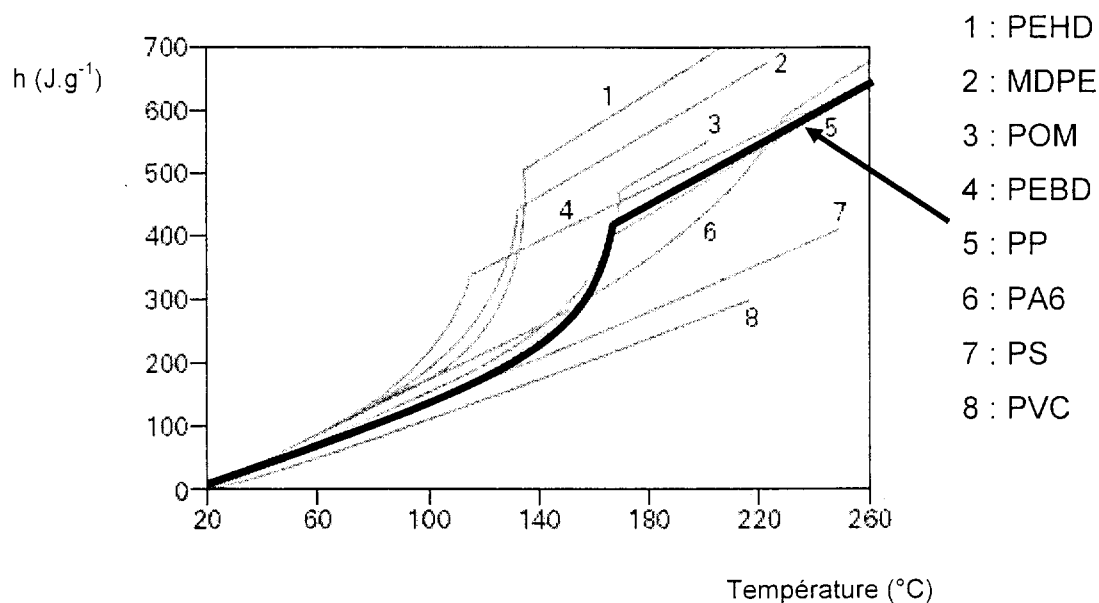
5-1 Calcul de l'enthalpie nécessaire pour chauffer la feuille jusqu'à sa température de formage choisie dans la plage de formage :

$$\Delta h = h_s - h_e$$

h_e : enthalpie massique de la matière à la température en sortie du préchauffeur (80°C) en $J.g^{-1}$

h_s : enthalpie massique de la matière à la température de formage en $J.g^{-1}$

Diagramme enthalpique du polypropylène



5-2 Calcul de la masse de matière soumise à l'action des émetteurs infrarouges

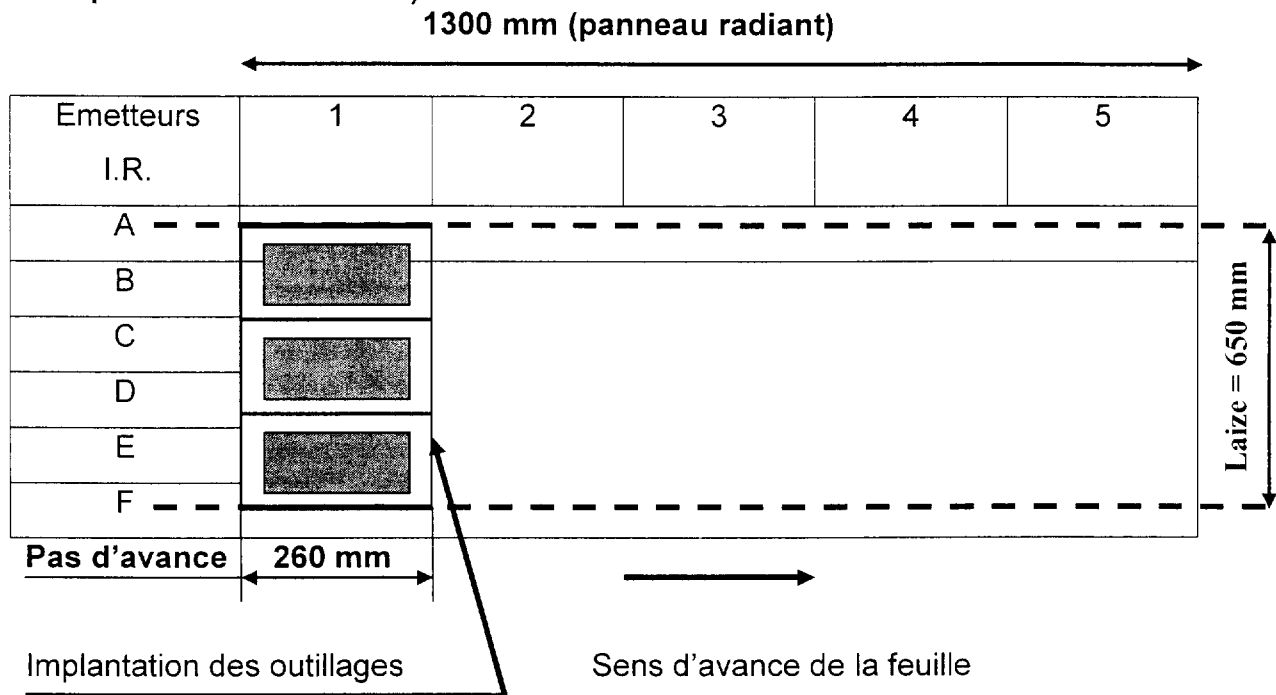
La surface de la feuille, soumise à l'action d'une seule rangée d'émetteurs infrarouges, est déterminée selon l'implantation de 3 outillages dans la laize (doc DT13)

Données :

- Outillage : moule 3 empreintes
- Laize du rouleau (doc DT13)
- Implantation des outillages et pas d'avance du plateau (doc DT13)
- Masse volumique de la matière (doc DT3)
- Epaisseur de la feuille (doc DT6)

Dimensions des panneaux chauffants (configuration machine)

Les panneaux radiants supérieur et inférieur sont constitués par la juxtaposition de 5 rangées de 6 émetteurs infrarouges (puissance unitaire de chaque émetteur = 250 W).



5-3 Calcul de l'énergie dépensée pour chauffer la masse de la feuille soumise à l'action d'une seule rangée d'émetteurs infrarouges, jusqu'à sa température de formage :

$$Q = \Delta h \times m$$

Q : énergie nécessaire pour amener la matière à sa température de formage en Joules

Δh : variation d'enthalpie massique résultant du chauffage en $J.g^{-1}$

m : masse de matière à chauffer en g

5-4 Calcul du temps de chauffage avant formage (temps d'exposition de la zone de la feuille aux émetteurs infrarouges).

En fonction de la technologie et de la configuration machine, déterminez le temps de chauffage avant formage (temps d'exposition de la partie formée avec les émetteurs infrarouges).

Temps de chauffage avant formage (t) = temps de cycle x nombre de pas

5-5 Calcul de la puissance de chauffe utile pour la zone de la feuille soumise à l'action d'une seule rangée d'émetteurs infrarouges.

$$Pu = Q / t$$

Pu : puissance de chauffe utile en Watts

t : temps de chauffage avant formage en seconde

5-6 Calcul de la puissance de chauffe absorbée par une seule rangée d'émetteurs infrarouges pour chauffer la zone de la feuille.

$$Pu / Pa = \eta$$

Pa : puissance de chauffe absorbée en Watts

η : rendement de la thermoformeuse = 0,7

5-7 Calcul de la puissance de chauffe partielle de la thermoformeuse

La puissance de chauffe partielle Pp de la thermoformeuse est délivrée par une seule rangée d'émetteurs infrarouges des panneaux supérieur et inférieur.

5-8 Détermination du réglage des émetteurs infrarouges en pourcentage

Le réglage des émetteurs infrarouges est effectué en pourcentage de puissance soit :

$$\% = (Pa / Pp) \times 100$$

6 Modèle de Wilson :

$$Qe = \sqrt{\frac{2Cf}{t Pu}}$$

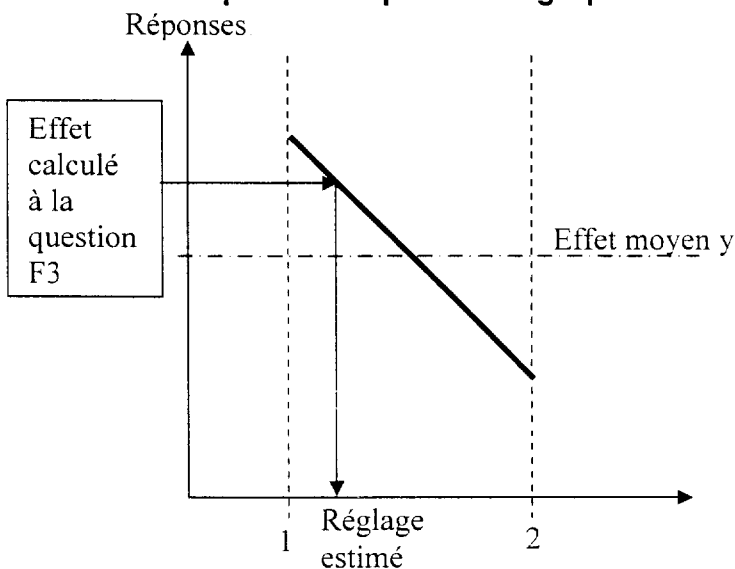
Avec C : fabrication annuelle (400 000 barquettes)

f : coût de lancement = frais fixe (16 €) + frais de changement de série (46 €/h)

t : taux de possession (0,1).

Pu : prix unitaire (0,06 €)

7 Interpolation à partir des graphes des effets moyens



On considère qu'entre deux niveaux la réponse est linéaire. L'interpolation est donc une interpolation linéaire qui peut être réalisée graphiquement.

Modèle : $Y \sim =$ Moyenne générale + effet de A + effet de B + effet de C