

## BTS EUROPLASTICS ET COMPOSITES (EPC)

### E4 : Répondre à une affaire - Conception préliminaire

#### ÉPREUVE PONCTUELLE

*Durée : 5 heures*

*Coefficient : 6*

Aucun document autorisé.

#### **Matériel autorisé :**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.  
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

**Tout autre matériel est interdit.**

#### **Documents fournis**

***Le sujet comporte 38 pages.***

***Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.***

Il comporte 3 dossiers de couleurs différentes :

**Dossier Technique (pages 3/38 à 24/38)..... jaune**

**Travail Demandé (pages 25/38 à 30/38)..... vert**

**Documents Réponses (pages 31/38 à 38/38)..... blanc**

#### **À rendre avec la copie :**

DR1	page 31/38
DR2	page 32/38
DR3	page 33/38
DR4-1, DR4-2, DR4-3	page 34/38
DR5	page 35/38
DR6	page 36/38
DR7	page 37/38
DR8	page 38/38

## Organisation du sujet

### Dossier technique

Présentation	Pages 3 et 4
DT1 : extrait du cahier des charges fonctionnel	Page 5
DT2 : plan du chariot Leavers	Page 6
DT3 : courbes de flexion du PPS et PC	Page 7
DT4 : courbe de flexion du POM	Page 8
DT5 : DSC POM	Page 9
DT6 : caractéristiques presse à injecter	Page 10
DT7 : fiche matière POM	Page 11
DT8 à DT13 : analyse rhéologique position du seuil	Pages 12 à 17
DT14 : courbe rhéologie du POM	Page 18
DT15 : plan d'expériences	Page 19
DT16 : formulaire	Page 20
DT17 à 19 : documentation technique	Pages 21 à 22
DT20 : cotes et tolérances	Page 23
DT21 : tolérances dimensionnelles norme NFT-58000	Page 24

### Dossier questionnement et réponses

Questionnement	Pages 25 à 30
Documents réponses DR	Pages 31 à 38

**La rédaction des réponses aux questions posées se fait sur des feuilles de copie ou sur les documents réponses.**

**Les différentes parties de cette épreuve sont indépendantes. Elles peuvent être étudiées dans l'ordre de votre choix.**

Proposition de répartition du temps :

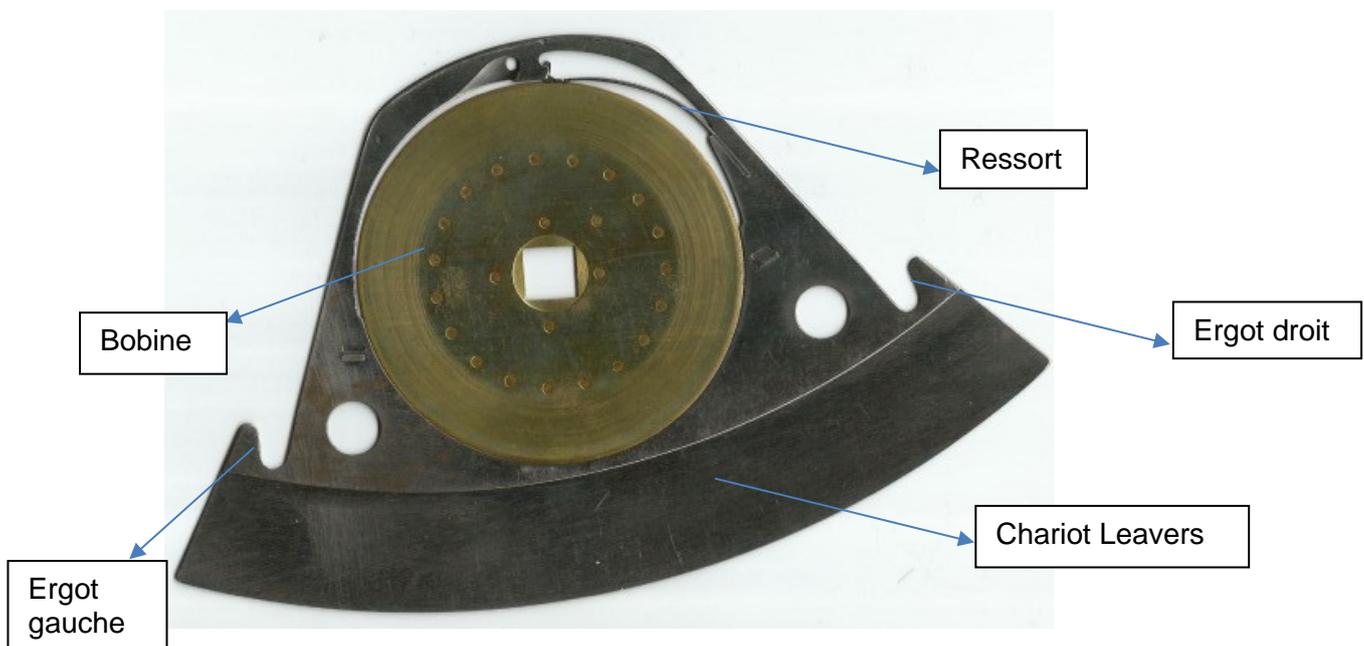
Lecture du sujet	0 h 30
Étude 1 :	0 h 45
Étude 2 :	1 h 00
Étude 3 :	1 h 00
Étude 4 :	0 h 45
Étude 5 :	1 h 00

## Présentation

L'entreprise dans laquelle vous êtes collaboratrice ou collaborateur a été contactée par une société qui fabrique de la dentelle. La dentelle est fabriquée sur des métiers à tisser appelés « Métiers Leavers » du nom de son inventeur. Les premiers métiers de ce type ont été installés au début du XIX<sup>e</sup> siècle.



Ces métiers sont constitués, entre autres, de chariots Leavers, pièces en acier animées d'un mouvement de balancier et sur lesquels se déroule le fil. On peut ainsi trouver jusqu'à 5 000 chariots Leavers sur un métier.



# Dossier technique

---

## Descriptif des différents éléments

- 1- Le chariot est entraîné dans son mouvement de balancier par les deux encoches « ergots » situées de part et d'autre.
- 2- La bobine est ajustée sur le chariot. Elle contient un fil (d'environ 100 mètres) qui se déroule tout au long de la création de la dentelle par la rotation de la bobine. La tension du fil est générée par la résistance du ressort.
- 3- Le ressort est soudé sur le chariot. Il a pour fonction de maintenir la bobine et de créer la tension du fil en opposant une résistance à sa rotation.

## Problèmes techniques

Les derniers chariots Leavers ont été fabriqués dans les années 1930. La technique utilisée à l'époque n'existe plus. Avec le temps, ils s'usent, se déforment et deviennent inutilisables. Il devient critique, pour les industriels de la dentelle, de trouver un moyen de remplacer ces chariots disparus.

Plusieurs solutions ont été envisagées :

- par usinage ;
- par impression 3D métal.

Ces solutions ont apporté une réponse qui semble satisfaisante mais demande à être testées. Ces deux modes de fabrication ont de toute façon le désavantage d'avoir des temps de fabrication lents et des coûts élevés.

On vous demande d'étudier une solution polymère :

- choix du polymère ;
- faisabilité technique ;
- conception des empreintes ;
- fabrication de pièces d'essai dans un moule proto ;
- coût estimatif.

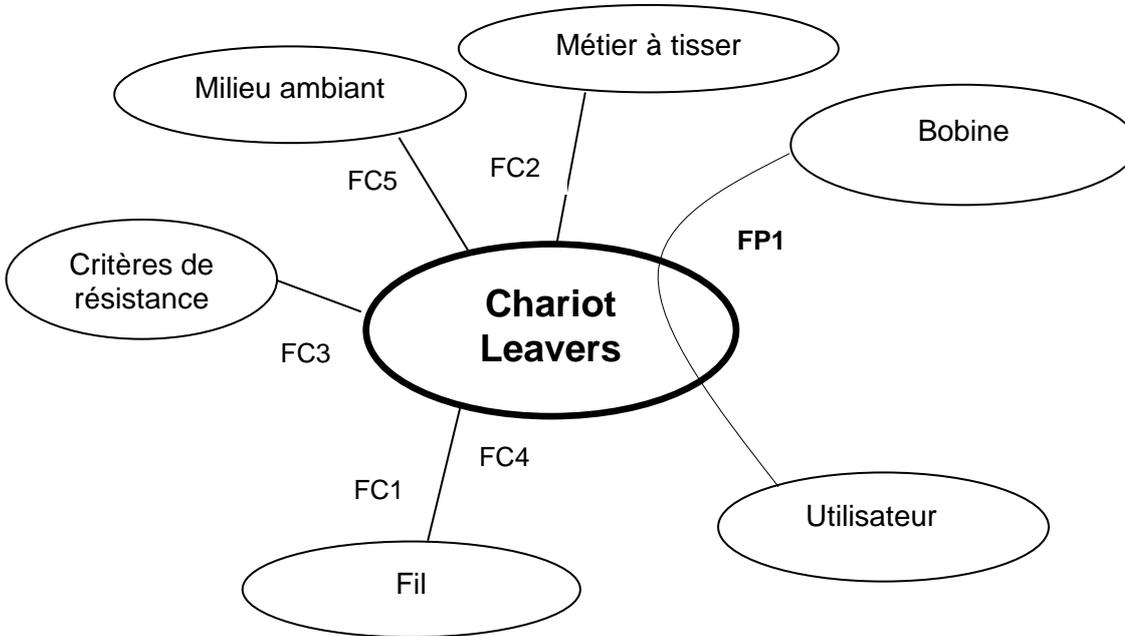
- modification de la pièce
  - optimisation des réglages
- } Au choix

# Dossier technique

## DT1 : extrait du cahier des charges fonctionnel

Espérance de vie commerciale : > 30 ans

Prévision de ventes : 70 000 par an pendant 30 ans



### Fonctions valorisées :

- FP1 : permettre la mise en place de la bobine remplie de fil ;
- FC1 : guider et assurer la tension du fil ;
- FC2 : s'installer dans le métier à tisser et permettre le mouvement de balancier ;
- FC3 : se plier sans rupture ;
- FC4 : ne pas abîmer le fil ;
- FC5 : résister au milieu ambiant.

### Caractérisation des fonctions

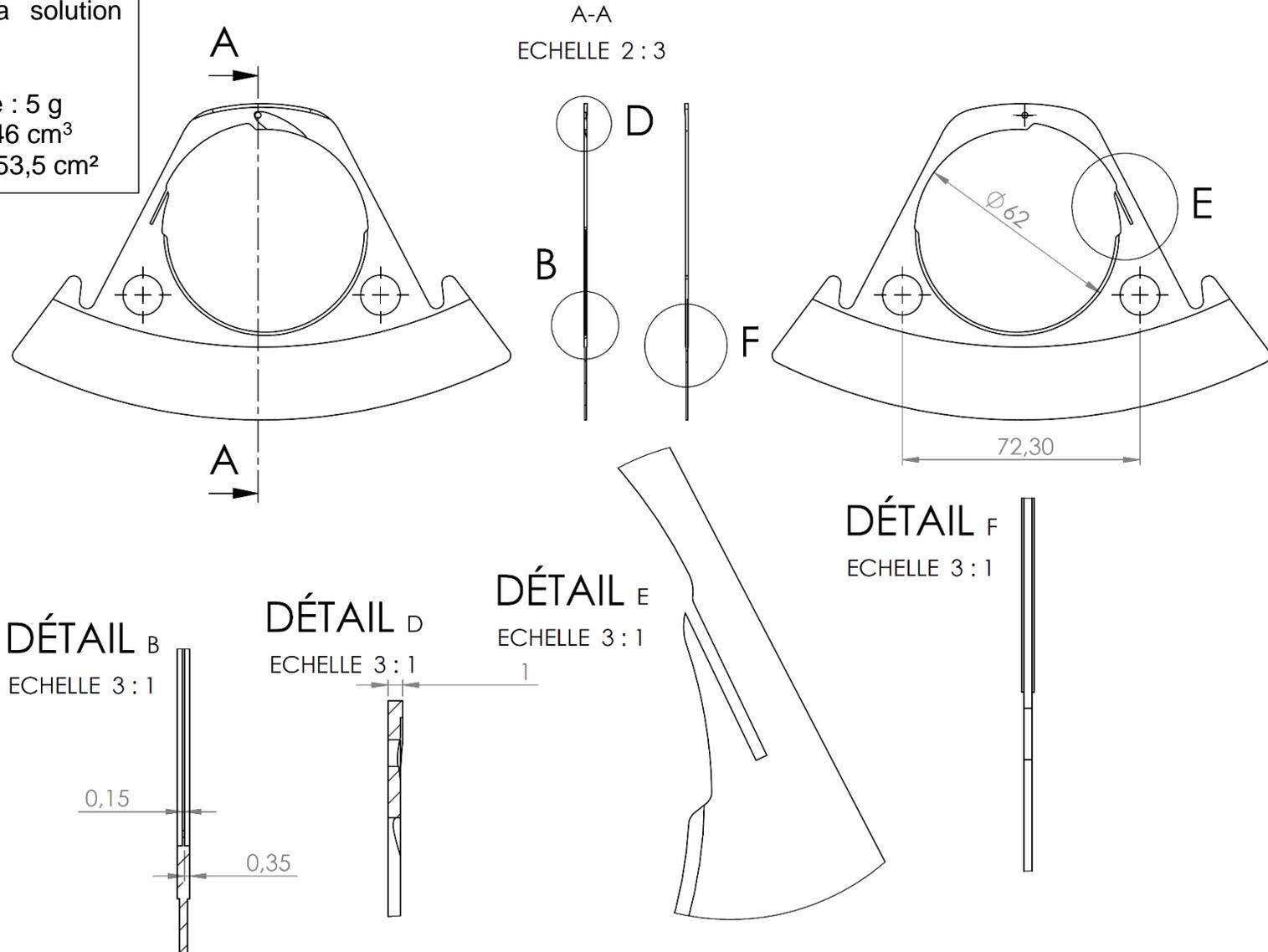
Fonction	Critère d'appréciation	Niveau	Flexibilité	Contrôle
FP1 : permettre la mise en place de la bobine remplie de fil	Positionnement et ajustement de la bobine	Øint = 62	F0	Mesure
FC1 : guider et assurer la tension du fil	Ajustement du ressort	Mesure de tension	F1	Mesure
FC2 : s'installer dans le métier à tisser et permettre le mouvement de balancier	Rigidité en flexion	Minimum 3000 MPa	F0	Matière
	Planéité	0,2	F0	Mesure
FC3 : se plier sans rupture	Pas de rupture franche en flexion		F0	Matière
FC4 : ne pas abîmer le fil	Aspect lisse	Pas de bavure Poli miroir	F1	Attribut
FC5 : résister au milieu ambiant	Température Résistance chimique	10°C à 60°C Huile, poussières	F0	Matière

# Dossier technique

## DT2 : plan du chariot Leavers

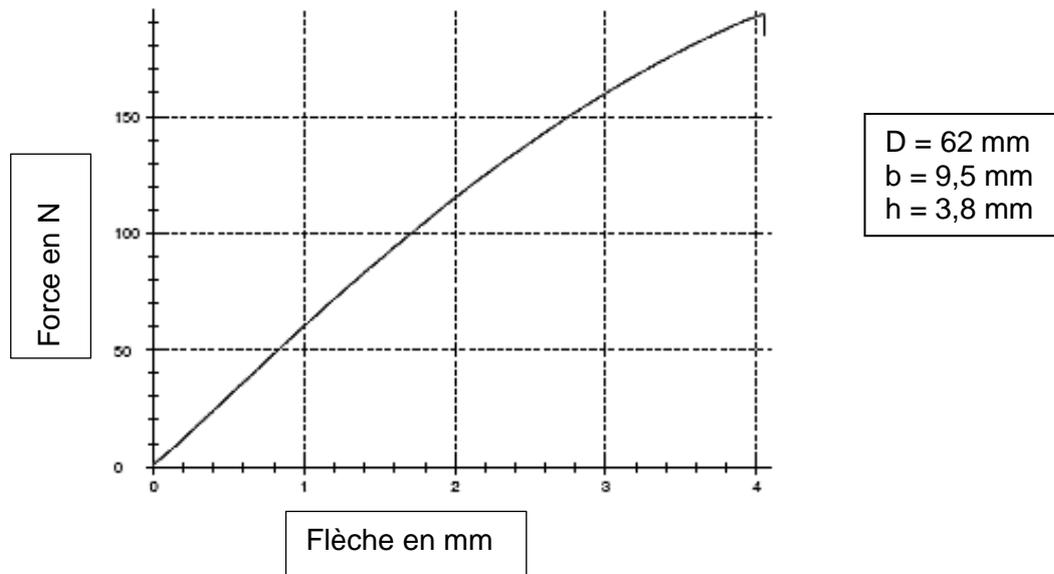
Données pour la solution polymère :

masse de la pièce : 5 g  
 volume pièce : 3,46 cm<sup>3</sup>  
 surface frontale : 53,5 cm<sup>2</sup>

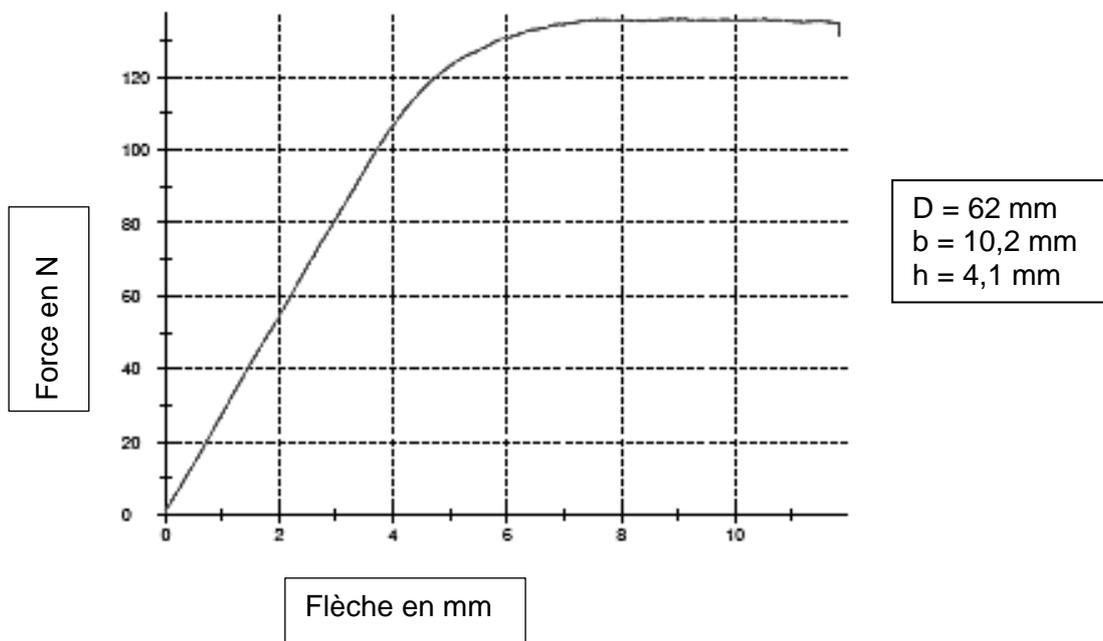


## DT3 : courbes de flexion du PPS et PC

Courbe de flexion 3 points du Poly(Sulfure de Phénylène) (PPS)

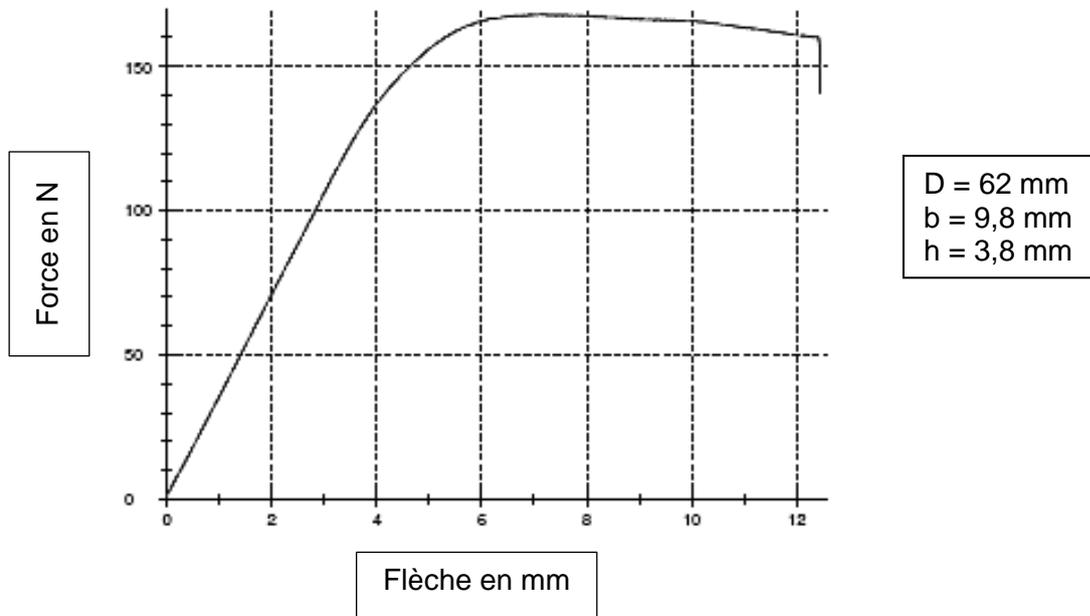


Courbe de flexion 3 points du polycarbonate (PC)

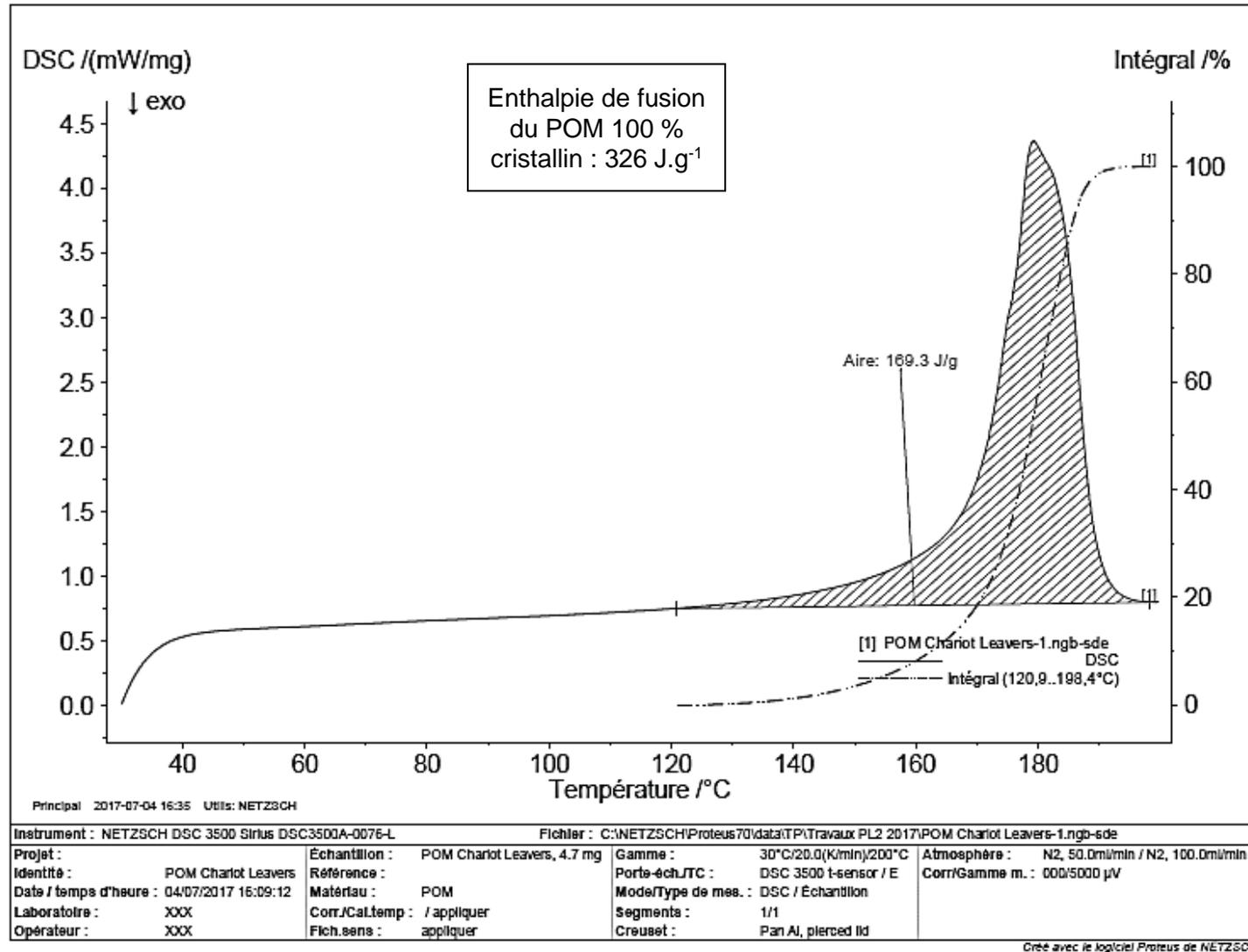


## DT4 : courbe de flexion du POM

Courbe de flexion 3 points du Polyoxyméthylène (POM)



## DT5 : DSC POM Chariot Leavers



# Dossier technique

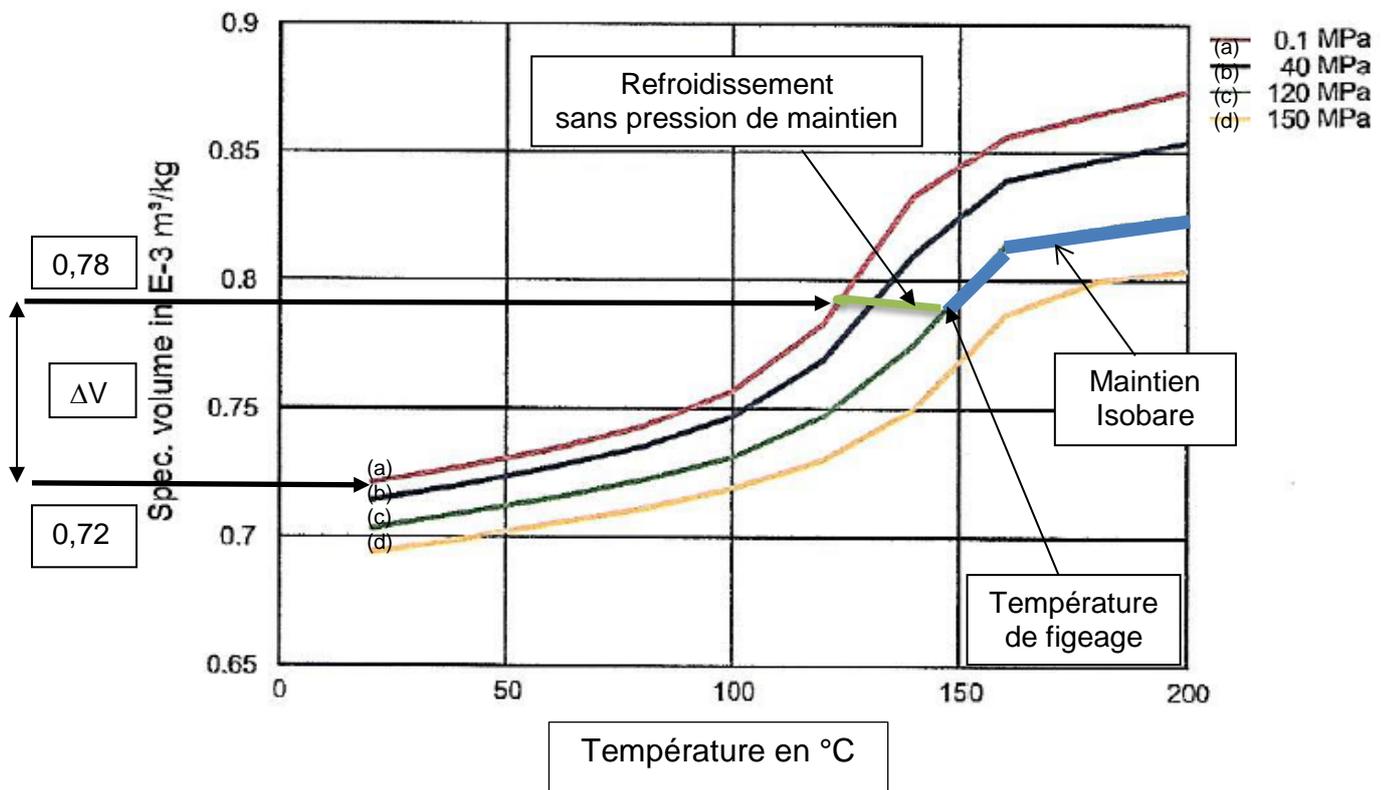
## DT6 : caractéristiques presse à injecter

### Presse

Force de fermeture	Diamètre de vis	Course d'injection	Volume injectable	Pression d'injection maxi	Vitesse d'injection maxi
<i>kN</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>cm<sup>3</sup></i>	<i>MPa</i>	<i>mm.s<sup>-1</sup></i>
<b>1 000</b>	<b>32</b>	<b>128</b>	<b>103</b>	<b>220</b>	<b>330</b>

Coût horaire machine + main d'œuvre + périphériques : 50 €/h

### Phase de refroidissement du moulage du chariot



# Dossier technique

## DT7 : fiche matière POM

DELIN 500 TL NC 010 POM Homopolymère

### Propriétés ASTM & ISO & DIN

Physique	Valeur	Unité	Norme du test
Masse volumique	1430	$kg.m^{-3}$	ISO 1183
Retrait au moulage linéaire	2,5	%	ISO 294-4
Thermique	Valeur	Unité	Norme du test
Température de fléchissement sous charge (1.8 Mpa)	103	°C	ISO 306
Température de fusion	173 à 180	°C	ISO 11357-3
Température de transition vitreuse	-50 à -55	°C	Méthode interne
Température de non écoulement	140	°C	Méthode interne
Conductivité thermique	0,31	$W.m^{-1}.K^{-1}$	DIN 52612
Chaleur spécifique	1470	$J.kg^{-1}.K^{-1}$	Méthode interne
Rhéologique	Valeur	Unité	Norme du test
Viscosité (pour 10 000 s <sup>-1</sup> )	96	Pa.s	ISO 51-560
MFR( 190°C/ 2,16 kg)	12	g/10min	ISO 1133
Moulage par injection	Valeur	Unité	Norme du test
Température de séchage	80	°C	
Temps de séchage	3 à 4	h	
Température pied de trémie	20 à 30	°C	
Température alimentation	170 à 180	°C	
Température homogénéisation	180 à 190	°C	
Température compression	190 à 200	°C	
Température buse	190 à 220	°C	
Température de masse	190 à 220	°C	
Température du moule	80 à 100	°C	
Pression d'injection	80-140	MPa	
Vitesse tangentielle de la vis	0,5	$m.s^{-1}$	
Masse volumique apparente	0,7	$g.cm^{-3}$	
Débit d'air préconisé pour le séchage d'1 kg de matière	2	$m^3.s^{-1}$	
Coût matière	4,5	€/kg <sup>1</sup>	

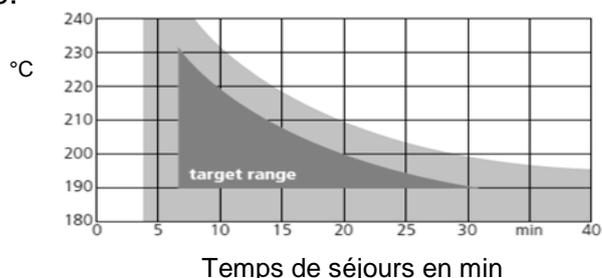
### Temps de séjour recommandé dans la vis de plastification

#### Consignes de sécurité au démarrage et à l'arrêt de production :

Vérifier que la buse est décollée du reçu de buse et qu'elle n'est pas obstruée.  
Mettre le cylindre en chauffe à 150°C environ puis augmenter les températures progressivement jusqu'à la température de consigne.

Consignes de sécurité lors d'un changement de matière :

- purger le fourreau avec une matière de purge avec une base PE ;
- vider le cylindre, purger et amener le cylindre à la température de mise en œuvre avant d'alimenter en POM.



Target range : temps de stagnation maxi en fonction de la T°C

Gaz produit lors de la dégradation : le formaldéhyde.

Gaz irritant pour les muqueuses et avec odeur piquante.

# Dossier technique

## DT8 : analyse rhéologique - position du seuil

### Étude 1 : point d'injection seuil de type capillaire

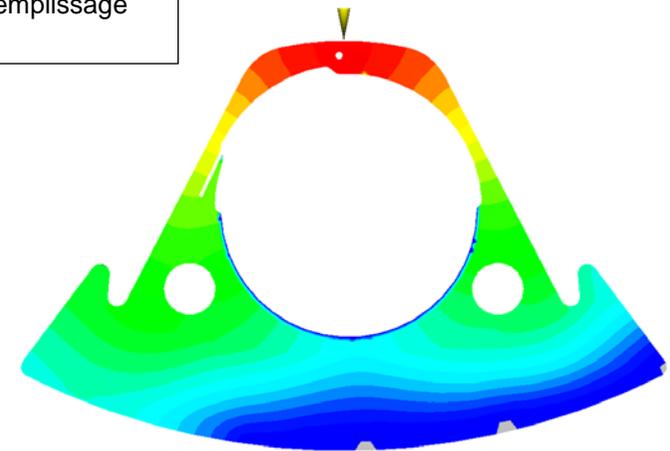
#### Données pour la matière DELRIN 500T NC 010 (POM) :

- température d'injection 220°C (plage de transformation entre 190 et 220°C) ;
- température moule 60°C (plage entre 50 à 60°C) ;
- temps d'ouverture fermeture moule : 3 secondes ;
- temps d'éjection par robot : 4 secondes.

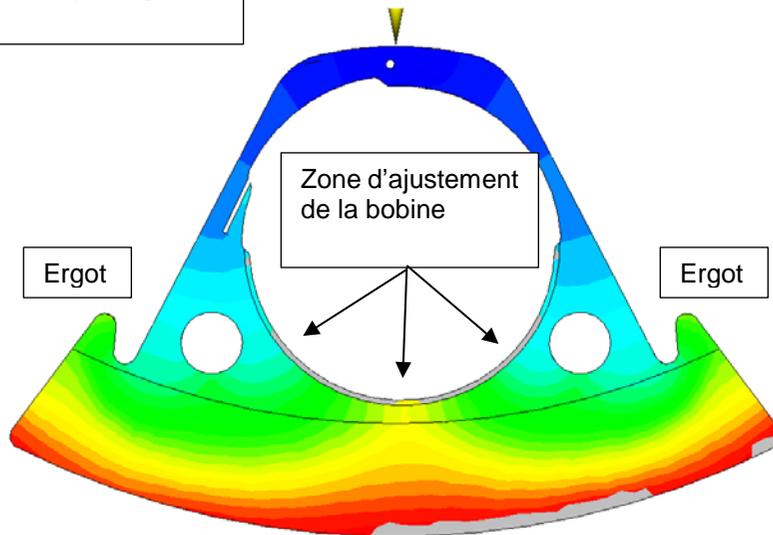
#### Exigences CDCF :

- éviter les lignes de soudure (LdS) dans la zone d'ajustement de la bobine ;
- temps de cycle le plus faible possible ;
- remplissage équilibré ;
- température homogène ;  $T^\circ$  front de matière  $>$   $T^\circ$  d'injection - 20°C.

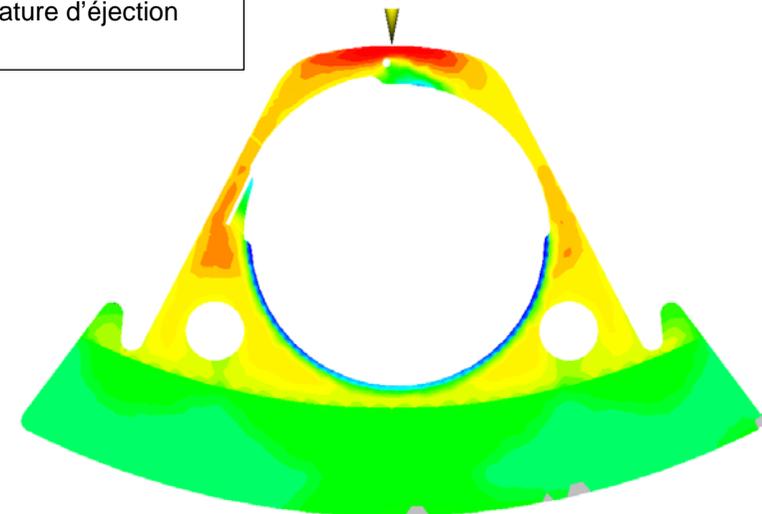
Pression de remplissage  
172,1 MPa



Temps de remplissage  
1,19 s



Temps pour atteindre la  
température d'éjection  
3,63 s



# Dossier technique

## DT9 : analyse rhéologique - position du seuil

### Étude 1 : point d'injection seuil de type capillaire

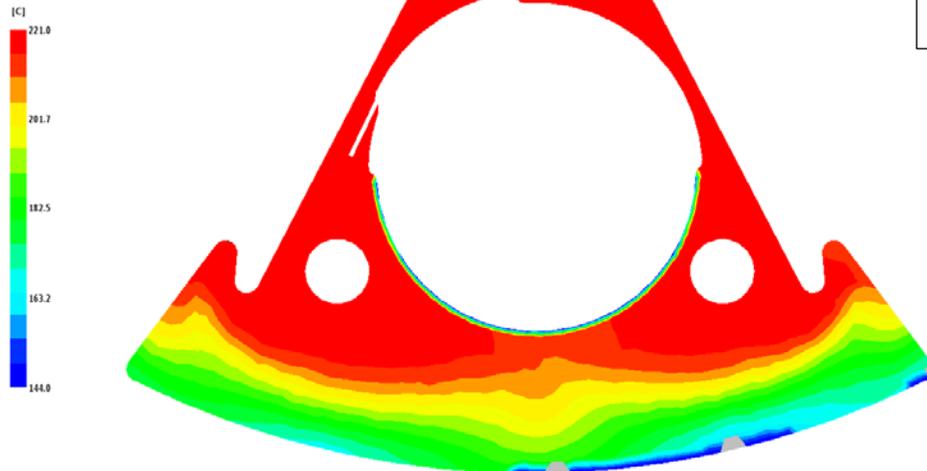
#### Données pour la matière DELRIN 500T NC 010 (POM) :

- température d'injection 220°C (plage de transformation entre 190 et 220°C) ;
- température moule 60°C (plage entre 50 à 60°C) ;
- temps d'ouverture fermeture moule : 3 secondes ;
- temps d'éjection par robot : 4 secondes.

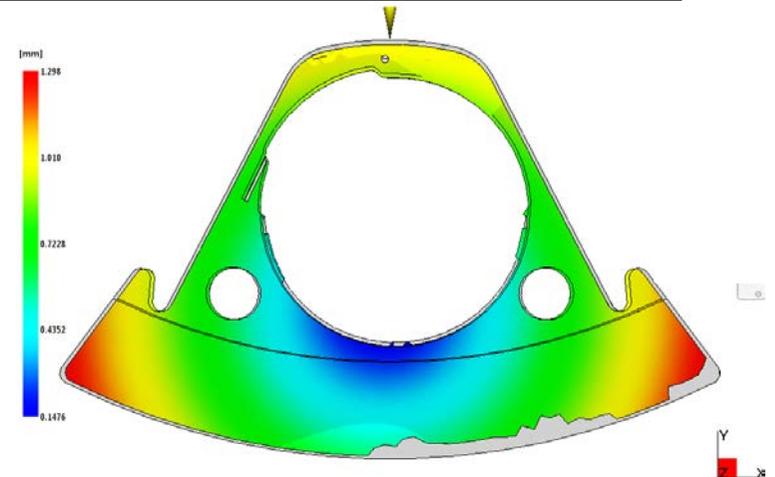
#### Exigences CDCF :

- éviter les lignes de soudure (LdS) dans la zone d'ajustement de la bobine ;
- temps de cycle le plus faible possible ;
- remplissage équilibré ;
- température homogène ;  $T^{\circ}$  front de matière  $>$   $T^{\circ}$  d'injection - 20°C.

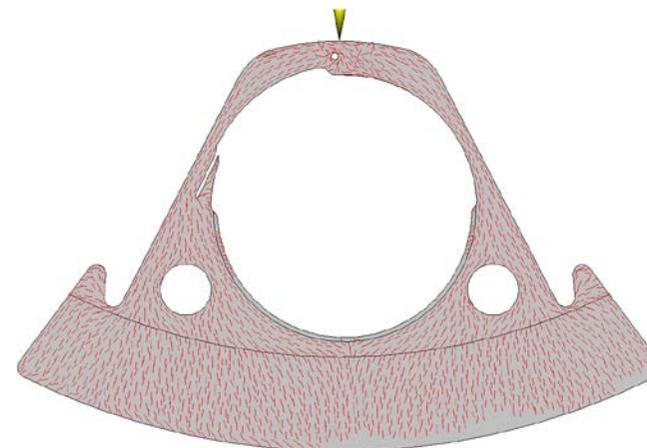
Température au front d'écoulement  
210 °C



Déplacement de tous les effets, Facteur d'échelle 1  
1,298 mm



Orientation de la matière



# Dossier technique

## DT10 : analyse rhéologique - position du seuil

**Etude 2** : point d'injection seuil de type capillaire buse chaude

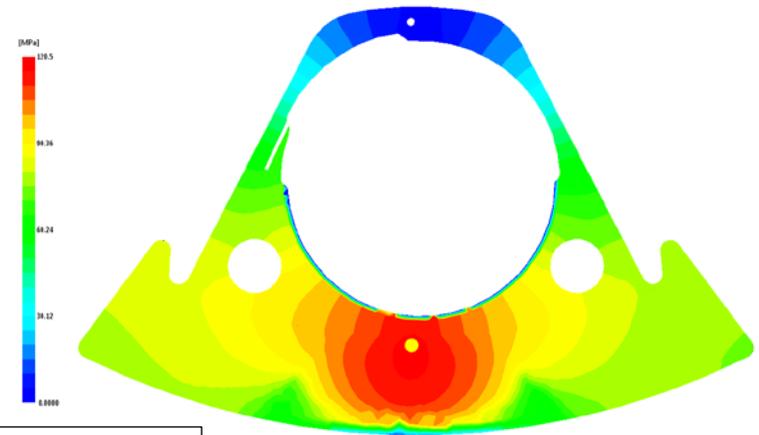
**Données pour la matière DELRIN 500T NC 010 (POM) :**

- température d'injection 220°C (plage de transformation entre 190 et 220°C) ;
- température moule 60°C (plage entre 50 à 60°C) ;
- temps d'ouverture fermeture moule : 3 secondes ;
- temps d'éjection par robot : 4 secondes.

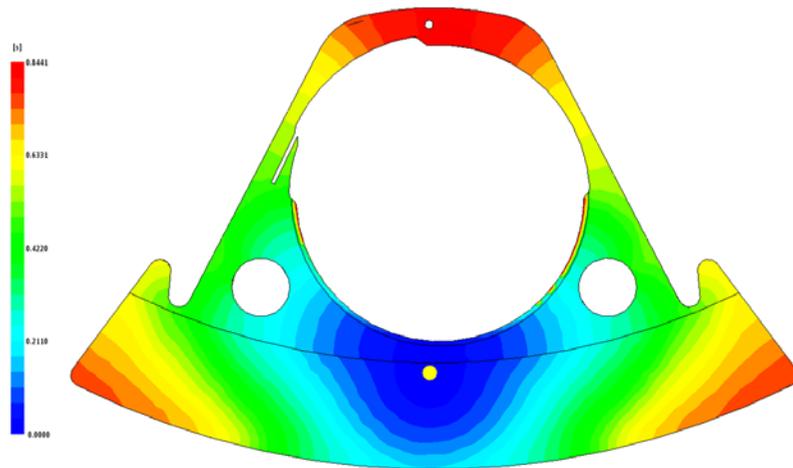
**Exigences CDCF :**

- éviter les lignes de soudure (LdS) dans la zone d'ajustement de la bobine ;
- temps de cycle le plus faible possible ;
- remplissage équilibré ;
- température homogène ;  $T^\circ$  front de matière  $>$   $T^\circ$  d'injection - 20°C.

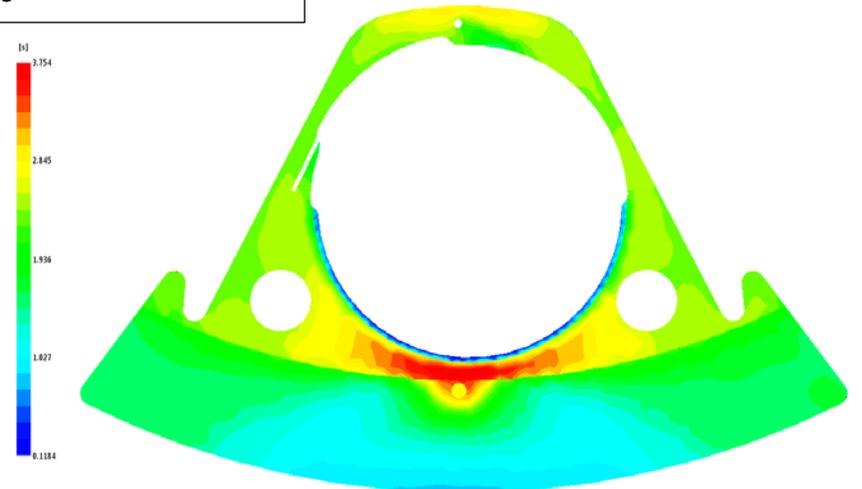
Pression de remplissage  
120,5 MPa



Temps de remplissage 0,84 s



Temps pour atteindre la  
température d'éjection  
3,75 s



# Dossier technique

## DT11 : analyse rhéologique - position du seuil

**Étude 2** : point d'injection seuil de type capillaire buse chaude

**Données pour la matière DELRIN 500T NC 010 (POM) :**

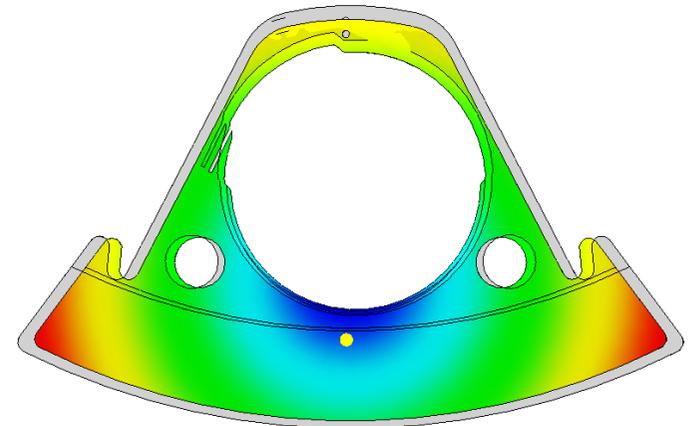
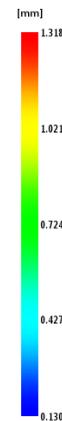
- température d'injection 220°C (plage de transformation entre 190 et 220°C) ;
- température moule 60°C (plage entre 50 à 60°C) ;
- temps d'ouverture fermeture moule : 3 secondes ;
- temps d'éjection par robot : 4 secondes.

**Exigences CDCF :**

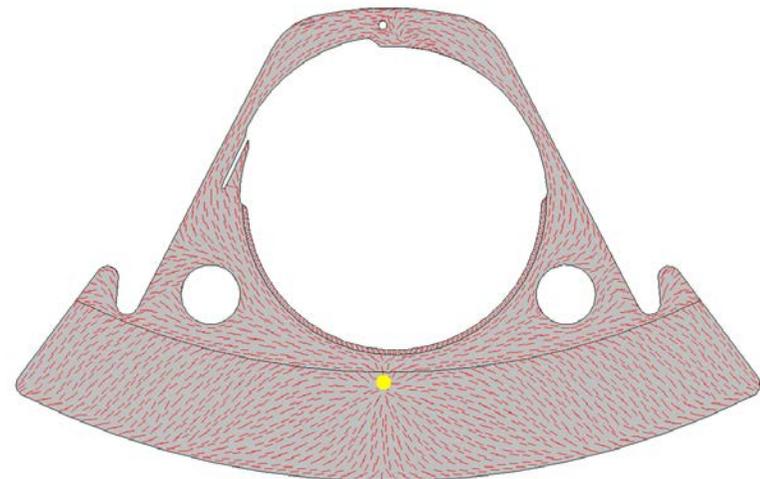
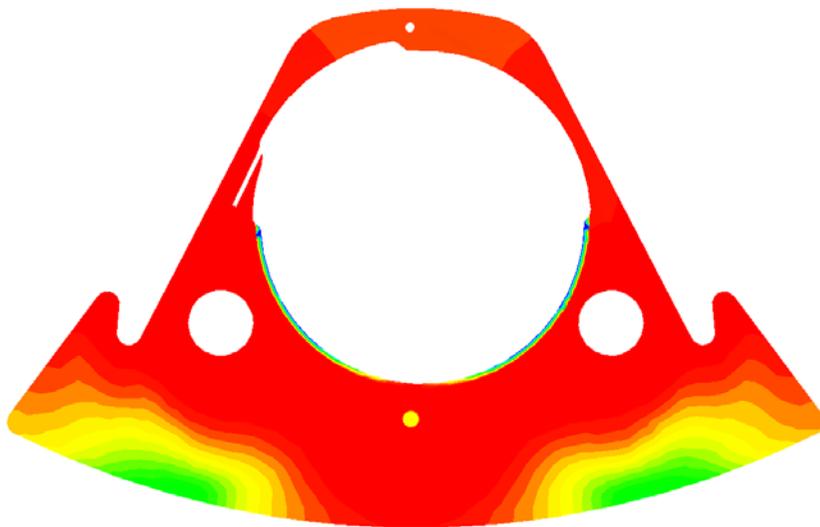
- éviter les lignes de soudure (LdS) dans la zone d'ajustement de la bobine ;
- temps de cycle le plus faible possible ;
- remplissage équilibré ;
- température homogène ;  $T^{\circ}$  front de matière  $>$   $T^{\circ}$  d'injection - 20°C.

Température au front d'écoulement 220,4 °C

Déplacement de tous les effets, Facteur d'échelle 3  
1,318 mm



Orientation de la matière



# Dossier technique

## DT12 : analyse rhéologique - position du seuil

### Étude 3 : point d'injection seuil de type capillaire

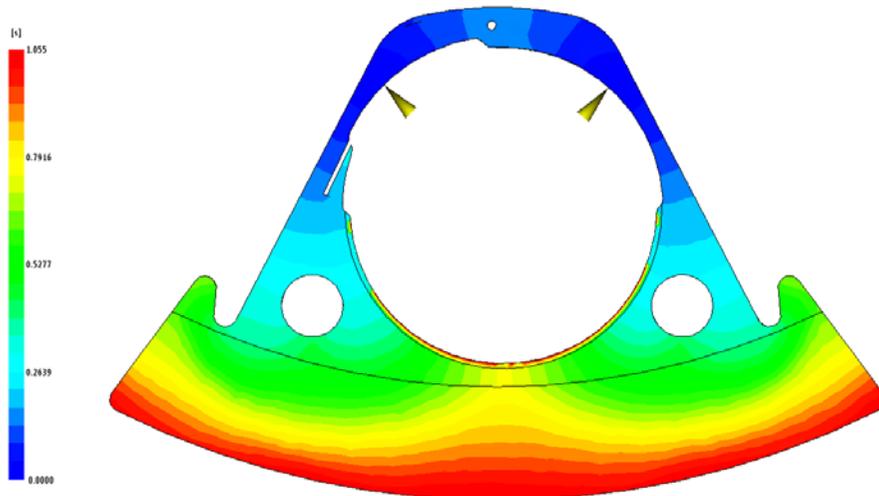
#### Données pour la matière DELRIN 500T NC 010 (POM) :

- température d'injection 220°C (plage de transformation entre 190 et 220°C) ;
- température moule 60°C (plage entre 50 à 60°C) ;
- temps d'ouverture fermeture moule : 3 secondes ;
- temps d'éjection par robot : 4 secondes.

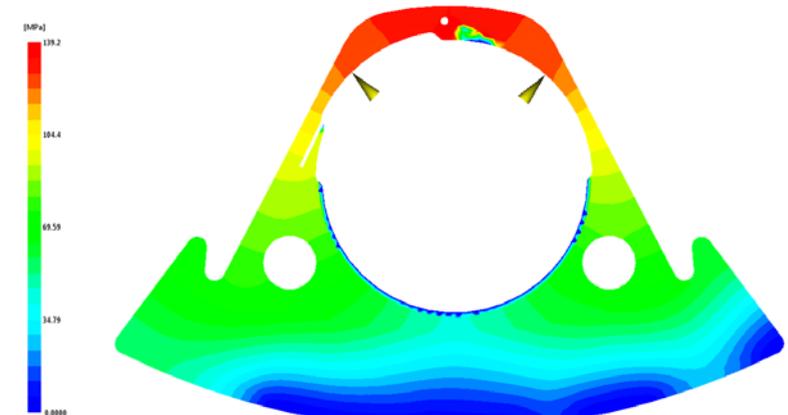
#### Exigences CDCF :

- éviter les lignes de soudure (LdS) dans la zone d'ajustement de la bobine ;
- temps de cycle le plus faible possible ;
- remplissage équilibré ;
- température homogène ;  $T^{\circ}$  front de matière  $>$   $T^{\circ}$  d'injection - 20°C.

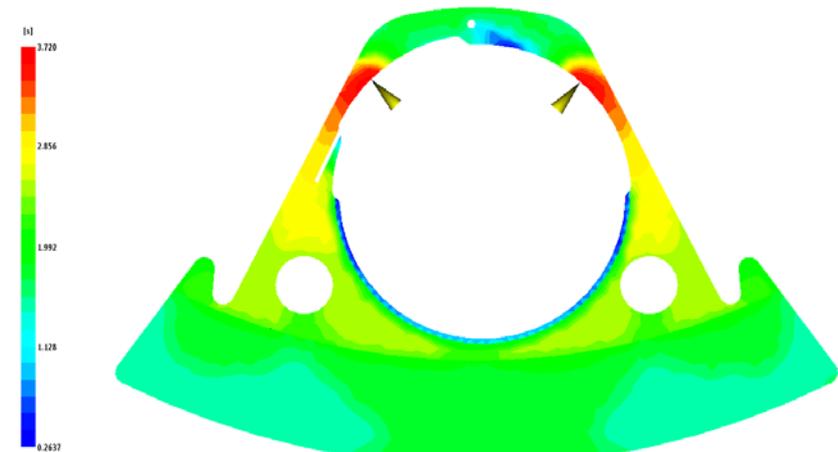
Temps de remplissage  
1,05 s



Pression de remplissage  
139,2 MPa



Temps pour atteindre la température d'éjection  
3,72 s



# Dossier technique

## DT13 : analyse rhéologique - position du seuil

### Étude 3 : point d'injection seuil de type capillaire

#### Données pour la matière DELRIN 500T NC 010 (POM) :

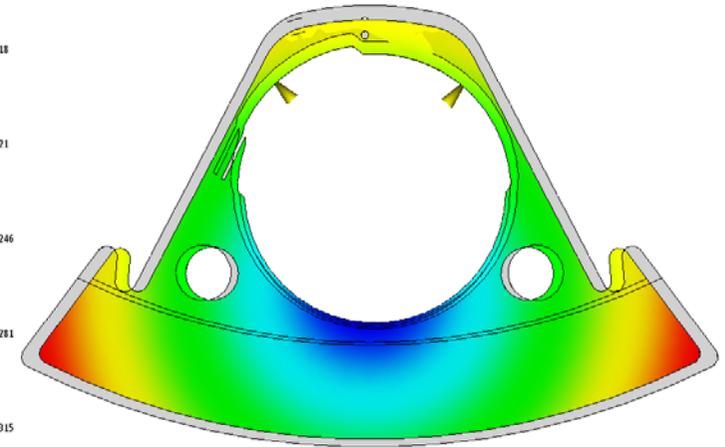
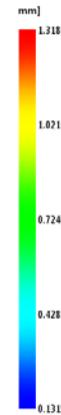
- température d'injection 220°C (plage de transformation entre 190 et 220°C) ;
- température moule 60°C (plage entre 50 à 60°C) ;
- temps d'ouverture fermeture moule : 3 secondes ;
- temps d'éjection par robot : 4 secondes.

#### Exigences CDCF :

- éviter les lignes de soudure (LdS) dans la zone d'ajustement de la bobine ;
- temps de cycle le plus faible possible ;
- remplissage équilibré ;
- température homogène ;  $T^{\circ}$  front de matière  $>$   $T^{\circ}$  d'injection - 20°C.

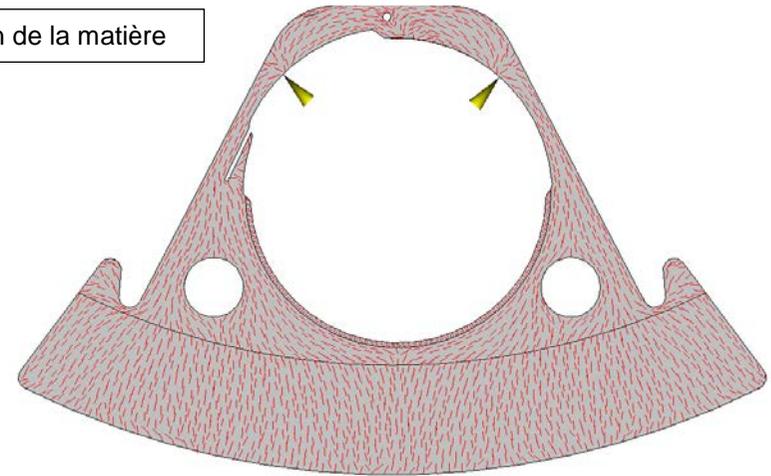
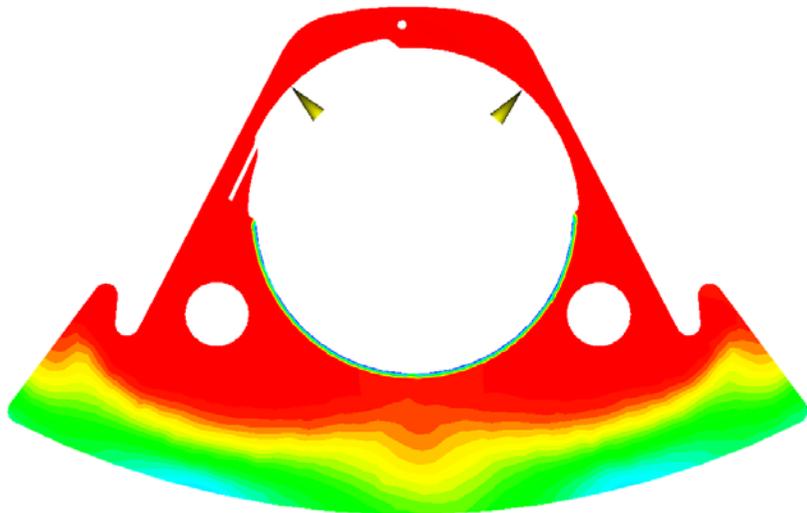
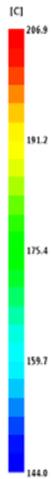
Température au front d'écoulement 206,9°C

Déplacement de tous les effets, facteur d'échelle 1,320 mm



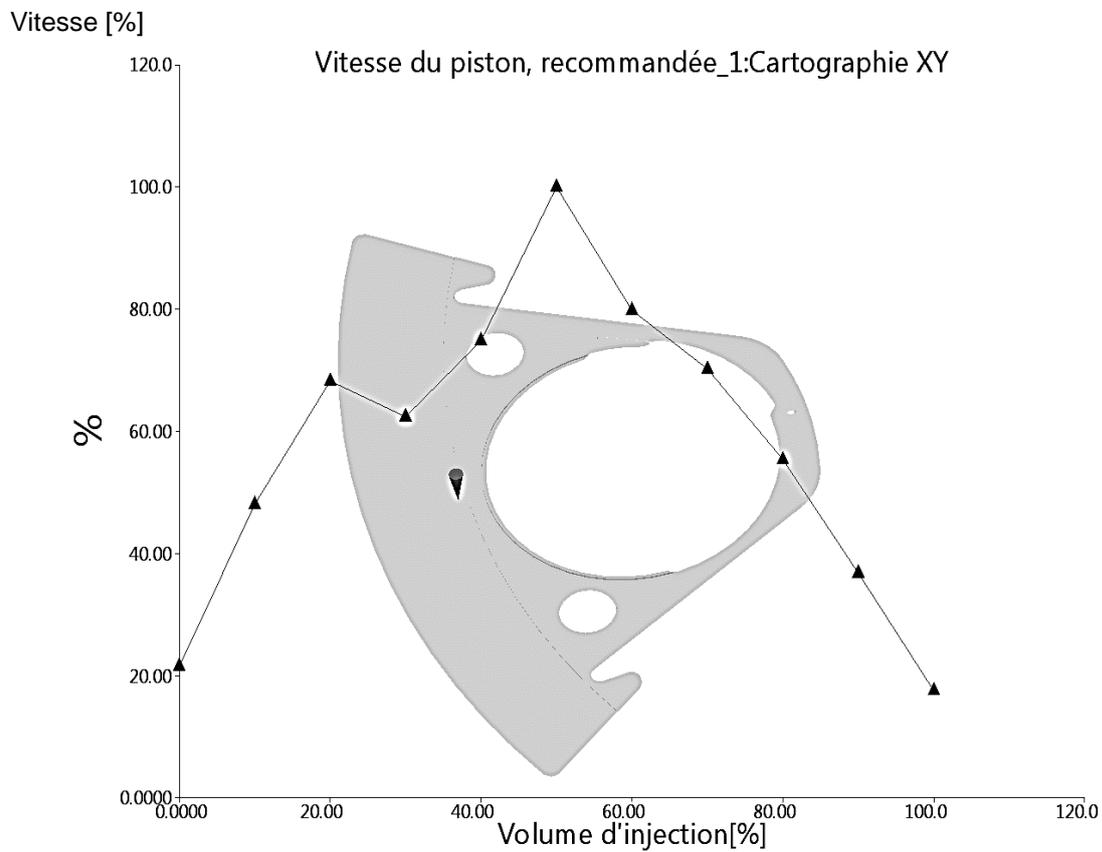
Orientation de la matière = 1.000

Orientation de la matière



## DT14 : courbe rhéologique du POM

Profil de vitesse d'injection préconisé (étude rhéologique)



# Dossier technique

## DT15 : plan d'expériences

Niveau des paramètres ou facteurs

Paramètre	Niveau 1	Niveau 2
A : verrouillage progressif	oui	non
B : température matière	190°C	220°C
C : température de l'outillage	80°C	100°C
D : vitesse d'injection	50 %	70 %

	A	B		C			D	
	1	2	3	4	5	6	7	Réponses Planéité en mm
1	1	1	1	1	1	1	1	0,02
2	1	1	1	2	2	2	2	0,01
3	1	2	2	1	1	2	2	0,06
4	1	2	2	2	2	1	1	0,05
5	2	1	2	1	2	1	2	0,18
6	2	1	2	2	1	2	1	0,2
7	2	2	1	1	2	2	1	0,22
8	2	2	1	2	1	1	2	0,26
<b>Moyenne des réponses</b>								<b>0,125</b>

### Détermination du module de rigidité en flexion

$$\text{Module de rigidité en flexion } E_b = \frac{D^3}{4.b.h^3} \cdot \frac{F}{Y}$$

D : distance entre appuis (mm)  
b : largeur de l'éprouvette (mm)  
h : hauteur de l'éprouvette (mm)  
F : force (N)  
Y : flèche (mm)

### Gradient de vitesse estimé dans un plan     $\dot{\gamma} = \frac{6 Q}{h^2.W}$

$\dot{\gamma}$  : gradient de vitesse ( $s^{-1}$ )  
Q : débit ( $mm^3.s^{-1}$ )  
h : épaisseur (mm)  
W : largeur (mm)

### Calcul du débit lors de l'injection

$$Q \text{ (mm}^3.s^{-1}\text{)} = \text{Vitesse d'injection (mm.s}^{-1}\text{)} \times S \text{ vis (mm}^2\text{)}$$

$$\text{Vitesse d'injection} = \frac{Q}{S \text{ vis}}$$

### Estimation du temps de maintien

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$$

$$\text{Temps maintien} = \frac{e^2}{\alpha \cdot \pi^2} \ln\left(\frac{4}{\pi} \times \frac{\theta_{inj} - \theta_{moule}}{\theta_{figeage} - \theta_{moule}}\right)$$

e : épaisseur du seuil  
 $\alpha$  : diffusivité thermique en  $m^2/s$   
 $\lambda$  : conductivité thermique de la matière ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )  
 $\rho$  : masse volumique de la matière en  $kg.m^{-3}$  à la température d'injection (**à déterminer sur la PVT**)  
c : chaleur spécifique de la matière en ( $J.kg^{-1}.K^{-1}$ )  
 $\theta_{inj}$  : température d'injection de la matière en °C  
 $\theta_{moule}$  : température du moule en °C  
 $\theta_{figeage}$  : température de figeage (cristallisation) de la matière en °C

### Calcul du retrait linéaire

Le retrait linéaire peut être estimé par :  $\Delta V/3$  (voir DT6)

# Dossier technique

## DT17 : documentation technique

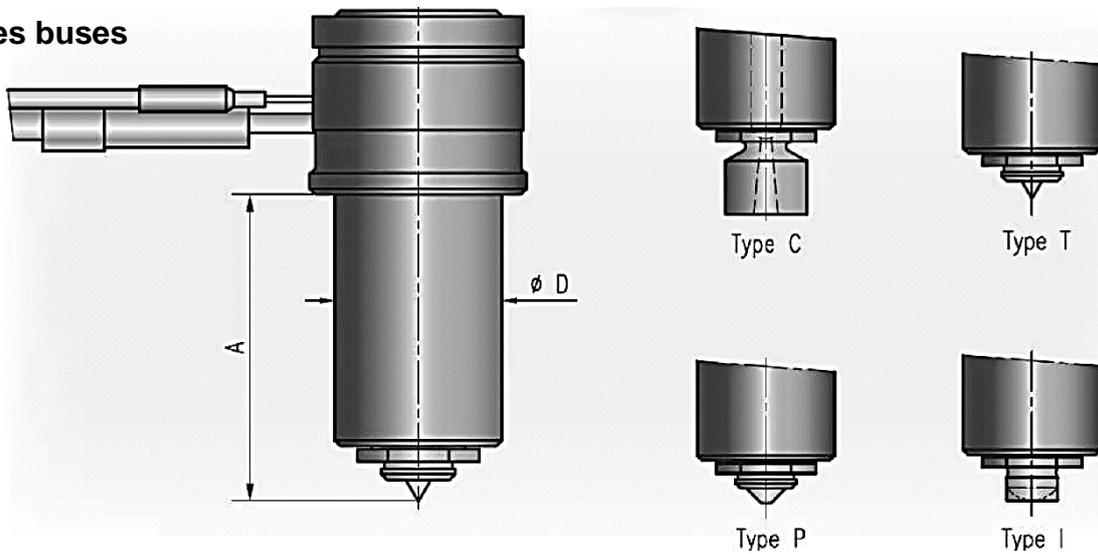
### Choix des buses

Le tableau ci-dessous indique la masse maximum, en grammes de matière, qu'il est possible de mouler avec les buses RP dans des conditions normales d'utilisation. Le calcul est fondé sur des valeurs moyennes de viscosité, des paramètres de réglage et sur notre expérience. Les valeurs annoncées sont communiquées à titre indicatif.

Modèle EMBOUT	RP 400		RP 600			
	C	T	C	T	P	I
Section maxi	Ø2	Ø1,6	Ø3	Ø2,4	Ø2,4	Ø2,4
PEbd	100	60	280	170	220	170
PEhd	80	48	220	130	170	130
PS	100	60	280	170	220	170
POM	100	60	280	170	220	170
PMMA			140	80	100	80

## DT18 : documentation technique

### Choix des buses

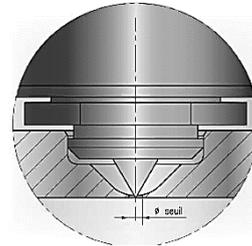


Série	Type	D	A														
			32	41	50	59	80	89	100	109	125	134	160	169	200	209	250
RP 400	C	18															
	I	18															
	T	18															
RP 600	C	27															
	T	27															
	I	27															
	P	27															

## DT19 : documentation technique

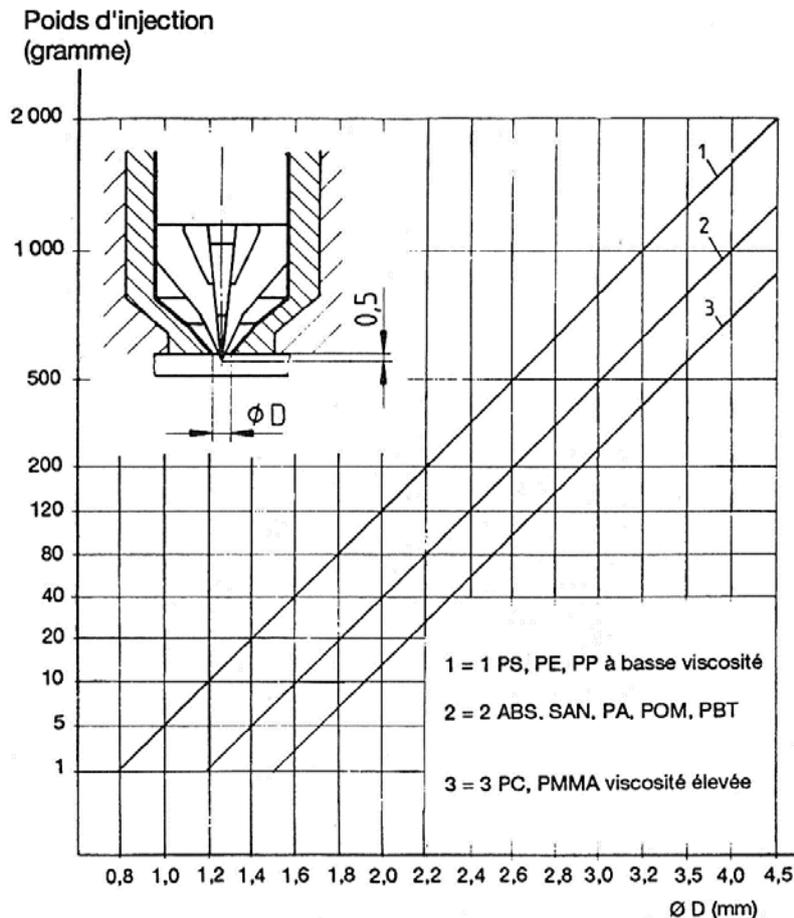
### Détermination des diamètres de seuils

La détermination des seuils est prépondérante dans la réussite d'un moulage. Les critères d'aspect, d'appréciation et d'expérience imposent le plus souvent la solution à retenir, parfois même à l'encontre des lois d'écoulement. Il n'est pas possible, par une règle simple, de valider un choix sans pratiquer une étude rhéologique.



Section de passage aux seuils

Ø mm	0,7	0,8	1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2
Section mm <sup>2</sup>	0,38	0,5	0,78	1,13	1,33	1,54	1,77	2,01	2,54	3,14
Ø mm	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4
Section mm <sup>2</sup>	3,8	4,52	5,31	6,16	7,07	8,04	9,08	10,18	11,34	12,56
Ø mm	4,2	4,4	4,6	4,8	5	5,2	5,4	5,6	5,8	6
Section mm <sup>2</sup>	13,85	15,2	16,62	18,18	19,63	21,24	22,9	24,63	26,42	28,27



## DT20 : cotes et tolérances

$$C_E = C_U / (1 - \text{Retrait relatif})$$

$$\text{Retrait relatif} = \text{Retrait au moulage linéaire} / 100$$

Avec :

- $C_E$  : cote empreinte
- $C_U$  : cote pièce utilitaire

On distingue :

- **Pour la pièce :**
  - les **dimensions nominales**  $C_N$  et les **tolérances nominales**  $T_N$  proposées par le concepteur de la pièce ;
  - les **dimensions utilitaires**  $C_U$  et les **tolérances utilitaires**  $T_U$  qui résultent des caractéristiques spécifiques de la matière et de l'influence des paramètres de transformation sur le retrait : reprise d'humidité, dilatation thermique, évaporation de composants volatils...
- **Pour le moule :**
  - les **dimensions de l'empreinte**  $C_E$  et les **tolérances de l'empreinte**  $T_E$  qui découlent des phénomènes liés à l'injection.

Dans tous les cas, on a : $T_N \geq T_U \geq T_E$
---

## DT21 : tolérances dimensionnelles Norme NFT-58000

La norme NFT-58000 définit 3 classes de tolérances pour les pièces plastiques produites par compression ou injection.

- **Classe de tolérance standard** : les pièces sont produites sur des machines, outils ou équipements standard avec un niveau limité de contrôle. Pas de règles d'inspection particulières en cours de fabrication.
- **Classe de tolérance réduite** : les pièces sont produites sur des machines, outils ou équipements avec un contrôle rigoureux en cours de fabrication ; leur coût est élevé.
- **Classe de tolérance de précision** : les pièces sont produites sur des machines, outils ou équipements de précision par des techniciens hautement qualifiés ; leur coût est très élevé.

Cotes en mm	Tolérance Standard (mm)	Tolérance Réduite (mm)	Tolérance de précision (mm)
Inf à 1,0 mm	± 0,13	± 0.08	± 0.06
1,0 - 3,0	± 0,15	± 0.09	± 0.07
3,0 - 6,0	± 0,17	± 0.10	± 0.08
6,0 - 10,0	± 0,20	± 0.11	± 0.09
10 - 15	± 0,22	± 0.13	± 0.10
15 - 22	± 0,25	± 0.15	± 0.11
22 - 30	± 0,28	± 0.17	± 0.13
30 - 40	± 0,32	± 0.20	± 0.15
40 - 53	± 0,37	± 0.24	± 0.17
53 - 70	± 0,44	± 0.28	± 0.20
70 - 90	± 0,50	± 0.34	± 0.24
90 - 115	± 0,60	± 0.41	± 0.29
115 - 150	± 0,75	± 0.50	± 0.35
150 - 200	± 0,95	± 0.65	± 0.45
200 - 250	± 1.20	± 0.80	± 0.55
250 - 315	± 1.40	± 0.95	± 0.66
315 - 400	± 1.80	± 1.20	± 0.82
400 - 500	± 2.20	± 1.50	± 1.00
500 - 630	± 2.80	± 1.90	± 1.20
630 - 800	± 3.50	± 2.40	± 1.50
800 - 1000	± 4.40	± 2.90	± 1.90
1000 - 1300	± 5.50	± 3.60	± 2.40
1300 - 1600	± 7.00	± 4.40	± 3.10
1600 - 2000	± 9.80	± 5.40	± 3.90

# Dossier questionnement

## ÉTUDE 1 : choix matière

Le cahier des charges a été établi sur des bases approximatives, la pièce d'origine n'ayant jamais été produite en polymère et les caractéristiques techniques du chariot, de par leur ancienneté de conception et de fabrication, n'ont pas été clairement posées par le client.

Lors de la réunion de projet, les problèmes qui semblent être les plus complexes à résoudre sont :

- le choix matière répondant au cahier des charges :
  - pas de rupture en flexion ;
  - module de flexion > 3000 MPa.
- la planéité ;
- le remplissage en parois fines.

Trois matières sont présélectionnées :

- une matière « super technique » poly(Sulfure de Phénylène) chargée à 20 % de fibres de verre : référence RYTON R-7-120NA, choisie pour ses excellentes propriétés mécaniques et sa capacité à être transformée sur des équipements d'injection classiques ;
- polycarbonate naturel : référence MAKROLON6255 choisi pour sa grande fluidité et son faible retrait ;
- polyoxyméthylène : référence DELRIN 500 TL NC 010, choisi pour sa faible résistance à la friction (rotation de la bobine).

Le laboratoire d'essai réalise des essais de flexion 3 points sur les différents polymères afin de vérifier :

- le module de rigidité en flexion ;
- la déformation maxi du polymère sans rupture.

### Q 1-1 Sur le document réponse DR1

À partir des courbes de flexion DT3, DT4 et du formulaire DT16 calculer et déterminer :

- le module de rigidité en flexion ;
- l'absence de rupture franche (avant une flèche de 6 mm).

### Q 1-2 Sur le document réponse DR1

À partir des analyses (Q 1-1), le polymère choisi est le DELRIN 500 TL NC 010. Expliquer les raisons du choix de ce polymère vis-à-vis des contraintes technologiques.

On veut choisir la meilleure position du point d'injection pour vérifier la capacité de remplissage.

### Q 1-3 Sur le document réponse DR2

À partir des analyses proposées DT8 à DT13, interpréter les résultats de rhéologie.

On vous demande de porter une attention toute particulière aux points ci-dessous :

- qualité du remplissage de l'empreinte (niveau de remplissage, équilibrage) ;
- temps de remplissage ;
- position, température des lignes de soudure ou de recollement dans la zone d'ajustement de la bobine ;
- pression de remplissage ;
- contraintes dans les zones sollicitées mécaniquement (ergots).

### Q 1-4 Sur le document réponse DR2

Conclure sur le choix du point d'injection.

BTS EuroPlastics et Composites (EPC)	SESSION 2020	
E4 : Répondre à une affaire - Conception préliminaire	Code : 20-EP4RACP-ME1	Page 25/38

# Dossier questionnement

## ÉTUDE 2 : conception du moule d'essai

Les essais seront réalisés sur un moule prototype. La carcasse du moule est standardisée pour ce type d'essai, seules les plaques empreintes et le système d'injection seront modifiés (usinage de plaques empreintes en aluminium).

Rappel : le polymère choisi est le POM DELRIN 500 TL NC 010.

### Q 2-1 Sur le document réponse DR3

Afin de mettre en évidence les difficultés d'obtention des empreintes, en vous aidant du plan du chariot DT2, tracer sur les vues proposées :

- la ligne de joint externe en rouge ;
- les lignes de joint internes en bleu.

### Q 2-2 Sur le document réponse DR4-1

Compléter, à main levée, les vues partielles (zone 1 et zone 2) des empreintes PM. Faire apparaître les éléments rapportés (broches, noyaux...).

Lors de la réunion avec le mouliste, pour des facilités d'usinage du moule prototype, nous avons décidé de retenir pour le système d'injection le choix de l'étude n°2 - Point d'injection seuil de type capillaire buse chaude (DT10 et DT11).

### Q 2-3 Sur le document réponse DR4-2

Choisir la buse d'injection à partir des documents techniques DT17 à DT19 et déterminer le diamètre du seuil à partir du document technique DT19.

Votre choix devra s'appuyer sur les données techniques pièce, privilégier le facteur économique (minimiser les coûts), réduire l'encombrement du moule au maximum et minimiser la trace sur la pièce. Justifiez vos choix.

### Q 2-4 Sur le document réponse DR4-2

Terminer l'implantation de la busette dans le moule. Compléter les formes de la plaque moule et les formes de la bague de centrage en sachant que celle-ci participe au blocage de la busette.

### Q 2-5 Sur le document réponse DR4-3

Nous allons nous intéresser uniquement à une des cotes fonctionnelles :

- le diamètre intérieur :  $C_U = \varnothing 62 \text{ mm}$

À partir du document technique DT20, choisir la tolérance proposée par la norme NFT-58000 pour la dimension retenue (classe réduite) (DT21).

En fonction du retrait prévisible du polymère (voir document technique DT7) et des tolérances relevées, calculer la cote maxi et mini de l'empreinte ( $C_E$ ) à usiner.

Exprimer le résultat sous la forme normalisée (cote nominale et intervalle de tolérance).

BTS EuroPlastics et Composites (EPC)	SESSION 2020	
E4 : Répondre à une affaire - Conception préliminaire	Code : 20-EP4RACP-ME1	Page 26/38

# Dossier questionnement

## ÉTUDE 3 : Préparation du moulage

La fabrication des pièces d'essais sera réalisée sur une presse électrique de 1 000 kN de force de fermeture avec un verrouillage progressif possible (caractéristiques presse DT6), sur un moule proto (sans busette dans un premier temps) qui n'a pas les caractéristiques du moule final.

### Q 3-1 Sur la feuille de copie

Calculer pour la matière choisie, à partir des simulations de l'étude 2 (DT10), la force de fermeture de la machine à régler (Surface frontale DT2).

### Q 3-2 Sur la feuille de copie

Calculer la course de dosage (Caractéristiques presse à injecter DT6, volume pièce DT2, masse volumique à chaud à relever sur la PVT DT6, masse des canaux du moule proto estimée à 5 g, matelas 10 mm).

Le moule prototype n'est pas réglé au niveau des empreintes, mais sur la périphérie du moule. Lors du moulage du POM, la cristallisation du polymère risque de ne pas être complète. Afin de vérifier la bonne cristallisation, le laboratoire d'essais réalise un essai de DSC sur le polymère vierge afin d'avoir une donnée fiable pour le suivi de ce paramètre.

### Q 3-3 Sur la feuille de copie

A partir de la courbe DSC jointe (DT5), déterminer la température de fusion et le taux de cristallinité du polymère vierge.

### Q 3-4 Sur la feuille de copie

La matière utilisée (POM homopolymère) est très sensible à la température (DT7). Elle se dégrade rapidement. Pour réaliser les pièces dans le moule prototype, on a choisi une machine en fonction de la carcasse de l'outillage mais de plus grande capacité (fermeture et volume injectable) que celle normalement nécessaire au moulage de la pièce.

Cela va entraîner une stagnation plus longue de la matière dans les filets de la vis.

Vérifier que la matière ne va pas se dégrader au cours de la production, par rapport :

- au temps de cycle (temps ouverture-fermeture + temps robot + temps de remplissage + le temps pour éjection de la pièce (Etude 2 DT10 et DT11), arrondi à l'unité supérieure) ;
- à la quantité de matière stagnante (estimé à 60 % du volume injectable DT6) ;
- à la température d'injection relevée sur les simulations (DT10 et DT11) ;
- au diagramme « Target range » DT7.

La planéité est la spécification géométrique la plus importante.

Lors du moulage de la pièce, on a réalisé un plan d'expérience pour mesurer l'influence des paramètres sur cette spécification.

### Q 3-5 Sur le document réponse DR5

À partir du plan d'expérience (DT15) :

- calculer les effets de A et B et compléter le tableau ;
- tracer le graphe des effets ;
- proposer le réglage qui permet de réduire au maximum cette déformation.

L'activation du verrouillage progressif sera-t-elle nécessaire pour la réalisation des pièces d'essais ? Justifier la réponse.

BTS EuroPlastics et Composites (EPC)	SESSION 2020	
E4 : Répondre à une affaire - Conception préliminaire	Code : 20-EP4RACP-ME1	Page 27/38

# Dossier questionnement

## ÉTUDE 4 : bilan économique du chariot

Le client souhaite avoir une estimation chiffrée du coût des chariots Leavers en polymère injecté. En effet, la durée de vie de ce type de chariot est plus courte que dans les deux autres propositions en métal (usinés et imprimés en 3D). L'évaluation se fait sur 30 ans.

Quantité à fabriquer :

- 70 000 chariots pendant 30 ans en polymère - durée de vie estimée 1 an/pièce ;
- 70 000 chariots usinés en métal - durée de vie estimée 10 ans/pièce ;
- 70 000 chariots imprimés en métal - durée de vie estimée 15 ans/pièce.

### Q 4-1 Sur la feuille de copie

À partir des données techniques de la pièce (DT2, DT6 et DT7), calculer le coût de production d'un chariot Leavers injecté en POM en incluant le coût de l'outillage et en déterminant :

- le coût du moulage (temps de cycle optimisé estimé à 12 secondes) ;
- le coût matière par pièce (masse des canaux non recyclés 5 g dans cette production) ;
- le coût pièce sur 30 ans.

### Q 4-2 Sur la feuille de copie

Comparer sur 30 ans le coût pour les 3 solutions (POM, imprimés, usinés) pour la production de :

- 70 000 chariots par an pendant 30 ans en polymère POM (coût de l'outillage 50 000 €)
- 70 000 chariots usinés (coût unitaire 35 €/ pièce) - durée de vie estimée 10 ans/pièce
- 70 000 chariots imprimés (140 €/ pièce) - durée de vie estimée 15 ans/pièce

### Q 4-3 Sur la feuille de copie

Conclure sur la rentabilité de la solution polymère.

# Dossier questionnement

**Préambule :** pour cette partie vous avez le choix entre deux études. Vous ne répondrez qu'à UNE SEULE DES DEUX études.

L'étude 5 choix 1 est orientée CO.

L'étude 5 choix 2 est orientée POP.

Quel que soit votre option vous pouvez choisir l'une des deux études.

## ÉTUDE 5 : choix 1 (orientée CO)

Dans la première solution, le ressort est moulé en polymère. Au vue des premières pièces, l'entreprise cliente souhaite conserver un ressort en métal permettant de régler la tension du fil.

Une solution de surmoulage est envisagée.

### Q 5-1 sur le document réponse DR6 (page 36/38)

Proposer une évolution des formes du ressort afin d'assurer son surmoulage au niveau de la zone A.

### Q 5-2 sur le document réponse DR6 (page 36/38)

Ébaucher, à main levée, l'outillage en fonction de votre proposition à la question 5-1 en intégrant une solution technique pour le maintien en position du ressort lors de sa mise en place par un opérateur ou un robot dans l'outillage avant surmoulage.

## ÉTUDE 5 : choix 2 (orientée POP)

Après moulage des premières pièces, on cherche à optimiser le réglage pour valider définitivement les choix effectués.

On a déterminé que le gradient de vitesse idéal ( $\dot{\gamma}$ ) se situe à  $10\,000\text{ s}^{-1}$ .

### Q 5-1 sur la feuille de copie

A l'aide du formulaire DT16, calculer le débit  $Q$  en  $\text{mm}^3.\text{s}^{-1}$  permettant de remplir cette partie de la pièce avec un gradient de vitesse de  $10\,000\text{ s}^{-1}$ .

On donne :  
Q : débit en  $\text{mm}^3.\text{s}^{-1}$   
h : épaisseur moyenne = 0,55 mm  
W : largeur = 70 mm

### Q 5-2 sur la feuille de copie

Calculer la vitesse d'injection « idéale » (formulaire DT16) - diamètre de vis : 32 mm

### Q 5-3 sur le document réponse DR7 (page 37/38)

Sur la courbe du profil de vitesse d'injection préconisée (DT14), la vitesse d'injection calculée à la question Q 5-2 correspond à la vitesse à 100 %

Préparer le réglage de la vitesse de remplissage (5 points de vitesse/course de dosage) :

- en traçant sur la courbe les 5 points du tableau (% volume injecté, % vitesse associée) ;
- en complétant le tableau.

# Dossier questionnement

## Q 5-4 sur la feuille de copie

À partir du tracé de la phase de moulage mis en évidence sur la courbe PVT (DT6) et du formulaire (DT16), estimer la durée palier de maintien isobare à 120 Mpa à régler sur la machine (température de figeage ou de non écoulement estimée à 140°C - Température d'injection et du moule à relever sur DT10 à DT11) - caractéristiques thermiques de la matière sur DT7.

Epaisseur retenue : 0,55 mm

## Q 5-5 sur la feuille de copie

Vérifier que le retrait estimé à 2,5 % est respecté avec ce réglage.

## Q 5-6 sur le document réponse DR8 (page 38/38)

La presse à injecter, destinée à la production, est équipée d'un robot. Celui-ci est utilisé pour :

- récupérer la pièce dans le moule ;
- placer le ressort pour le surmoulage (ces deux actions sont réalisées par une seule avancée du bras : prise de la pièce puis mise en place du ressort) ;
- ranger la pièce dans un carton.

Sur le diagramme de Gantt, préparer à destination du programmeur les étapes logiques à inclure dans le cycle de la presse et permettant :

- l'extraction de la pièce après ouverture du moule et la mise en place du ressort pour le surmoulage ;
- le rangement de la pièce dans le carton.

Début du cycle : moule ouvert - pièce moulée éjectée et prête à être récupérée - dosage fait - ressort dans la main du robot (vous inclurez dans votre démarche le cycle de la presse).

Vous tracerez, d'une couleur différente, les actions du robot et de la presse.

Temps de cycle complet (Ouverture - fermeture + robot + temps pour l'éjection DT8 à DT13)

Phases du cycle presse	Temps en s	Phases du cycle robot	Temps en s
Fermeture presse	1	Mise place du ressort	0,65
Verrouillage	0,35	Recul bras robot	0,35
Avance ponton	0,65	Avance du bras du robot	0,65
Injection	1	Prise pièce	0,65
Maintien	0,35	Recul bras robot avec pièce	0,35
Dosage	2,65	Rangement de la pièce en carton	2
Refroidissement sans pression	3,65	Prise d'un ressort par la main du robot	1
Recul ponton	1		
Ouverture presse	1,35		
Éjection	0,65		

# Documents réponses

## DR1 : courbes de flexion et choix du polymère

En référence à la question Q 1-1 Détail des calculs des modules de flexion

Matière	PPS	PC	POM
Valeur du module (Mpa)			
Rupture (oui/non)			

En référence à la question Q 1-2 Justification du choix du polymère

## Documents réponses

### DR2 : analyse des essais de rhéologie

En référence à la question Q 1-3 : analyse des essais de rhéologie

	Qualité du remplissage	Temps de remplissage	Position et température des lignes de soudure	Pression de remplissage	Contrainte dans les ergots
<b><u>Étude 1</u></b> Point d'injection seuil de type capillaire					
<b><u>Étude 2</u></b> Point d'injection seuil de type capillaire buse chaude					
<b><u>Étude 3</u></b> Point d'injection seuil de type capillaire					

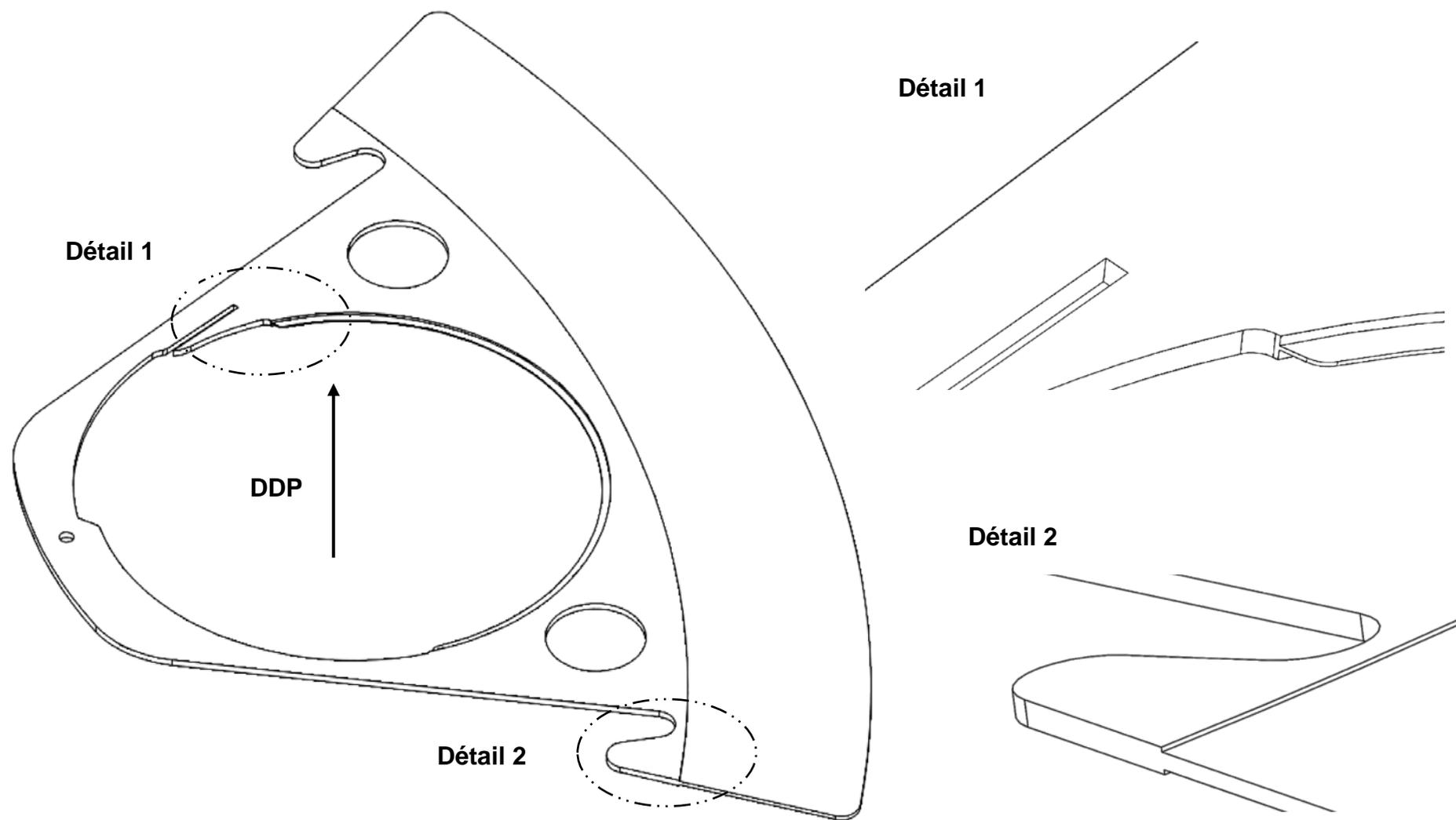
En référence à la question Q 1-4 : conclure sur le choix du point d'injection

# Documents réponses

## DR3 : lignes de joint

En référence à la question Q 2-1

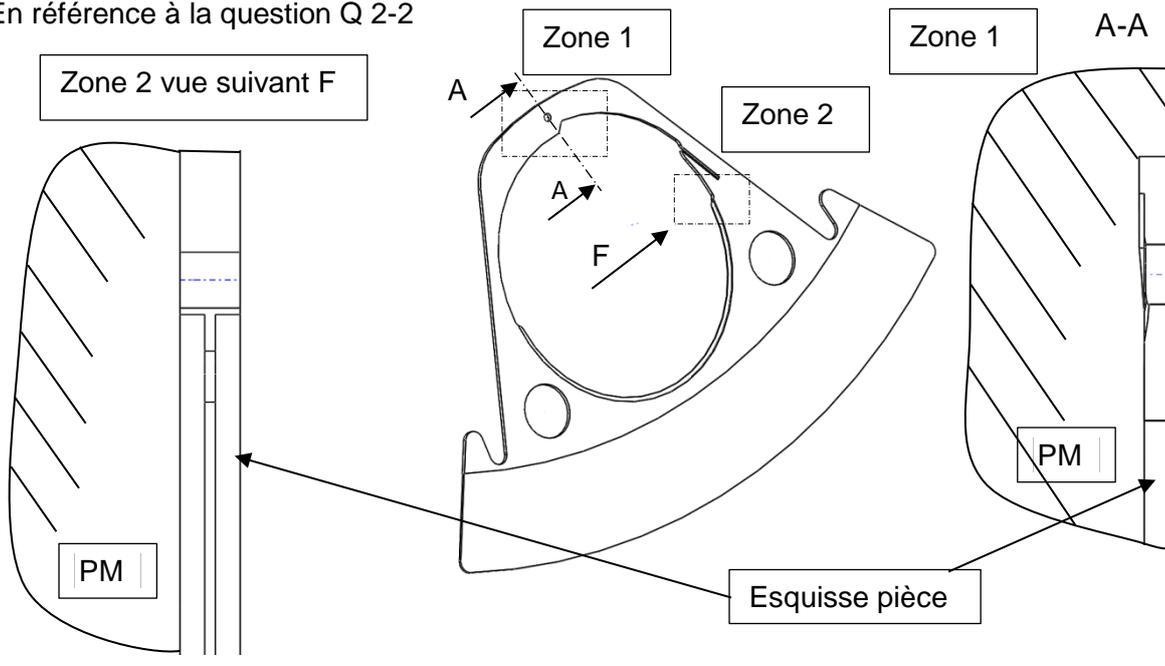
Q 2-1 Lignes de joint



# Documents réponses

## DR4-1 : dessin des empreintes

En référence à la question Q 2-2

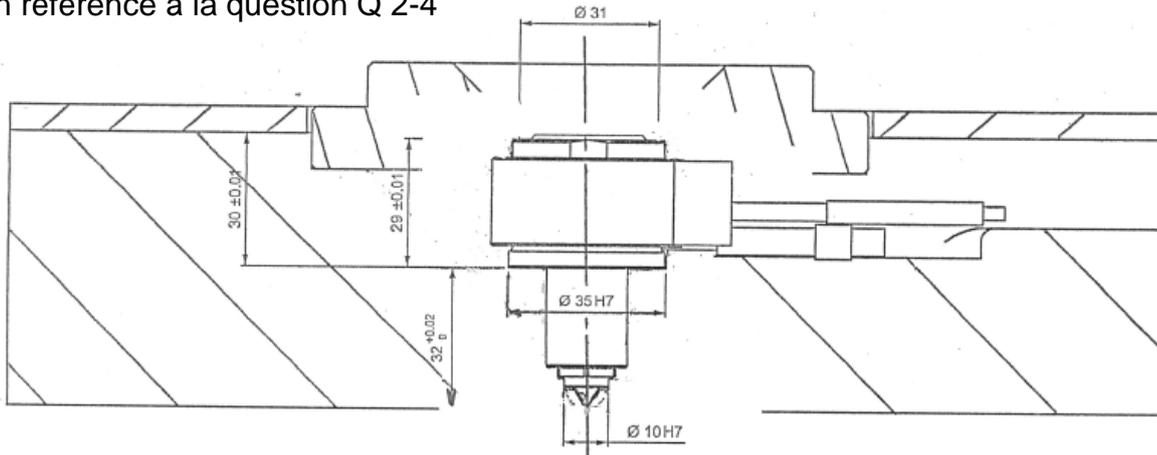


Nota : Considérer les esquisses de la pièce comme transparentes dans les zones 1 et 2.

En référence à la question Q 2-3 **Choix de la buse d'injection et du diamètre du seuil**

## DR4-2 : implantation buse d'injection

En référence à la question Q 2-4



## DR4-3 : cotation fonctionnelle

En référence à la question Q 2-5

Choix de la tolérance (classe réduite) :

Calcul de la cote empreinte  $C_E$  :

BTS EuroPlastics et Composites (EPC)	SESSION 2020	
E4 : Répondre à une affaire - Conception préliminaire	Code : 20-EP4RACP-ME1	Page 34/38

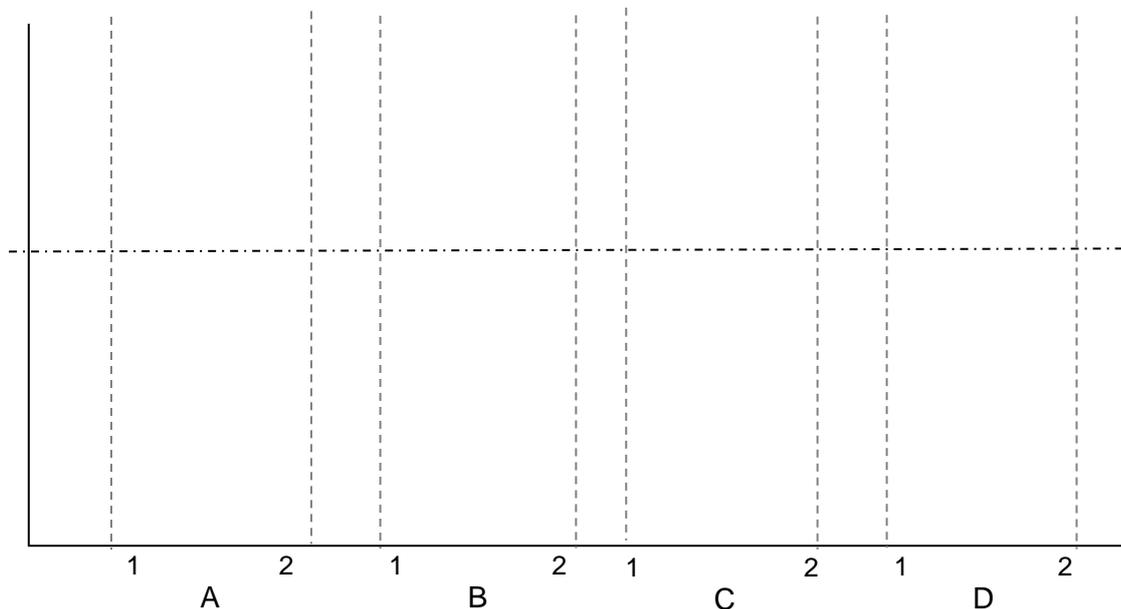
# Documents réponses

## DR5 : analyse du plan d'expérience

En référence à la question Q 3-5

	Facteur A	Facteur B	Facteur C	Facteur D
Niveau 1			-0,008	-0,005
Niveau 2			0,008	0,005

Graphe des effets à compléter



Paramètre	Niveau 1	Niveau 2
A : verrouillage progressif	oui	non
B : température matière	190°C	220°C
C : température de l'outillage	80°C	100°C
D : vitesse d'injection	50 %	70%

Réglage machine proposé :

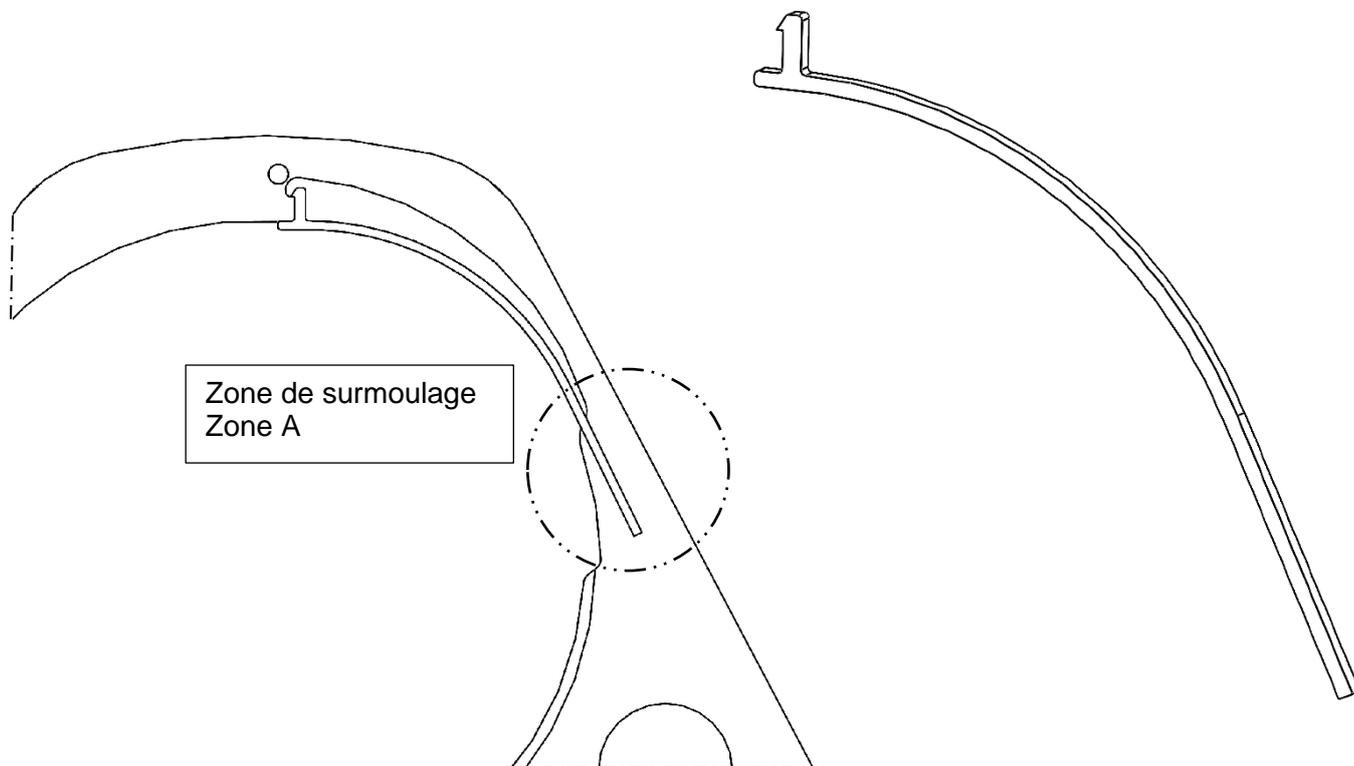
Le verrouillage progressif sera-t-il nécessaire ?

# Documents réponses

## ÉTUDE 5 : choix 1 (orientée CO)

### DR6 : solutions pour le surmoulage du ressort

En référence à la question Q 5-1 évolution forme ressort pour le surmoulage



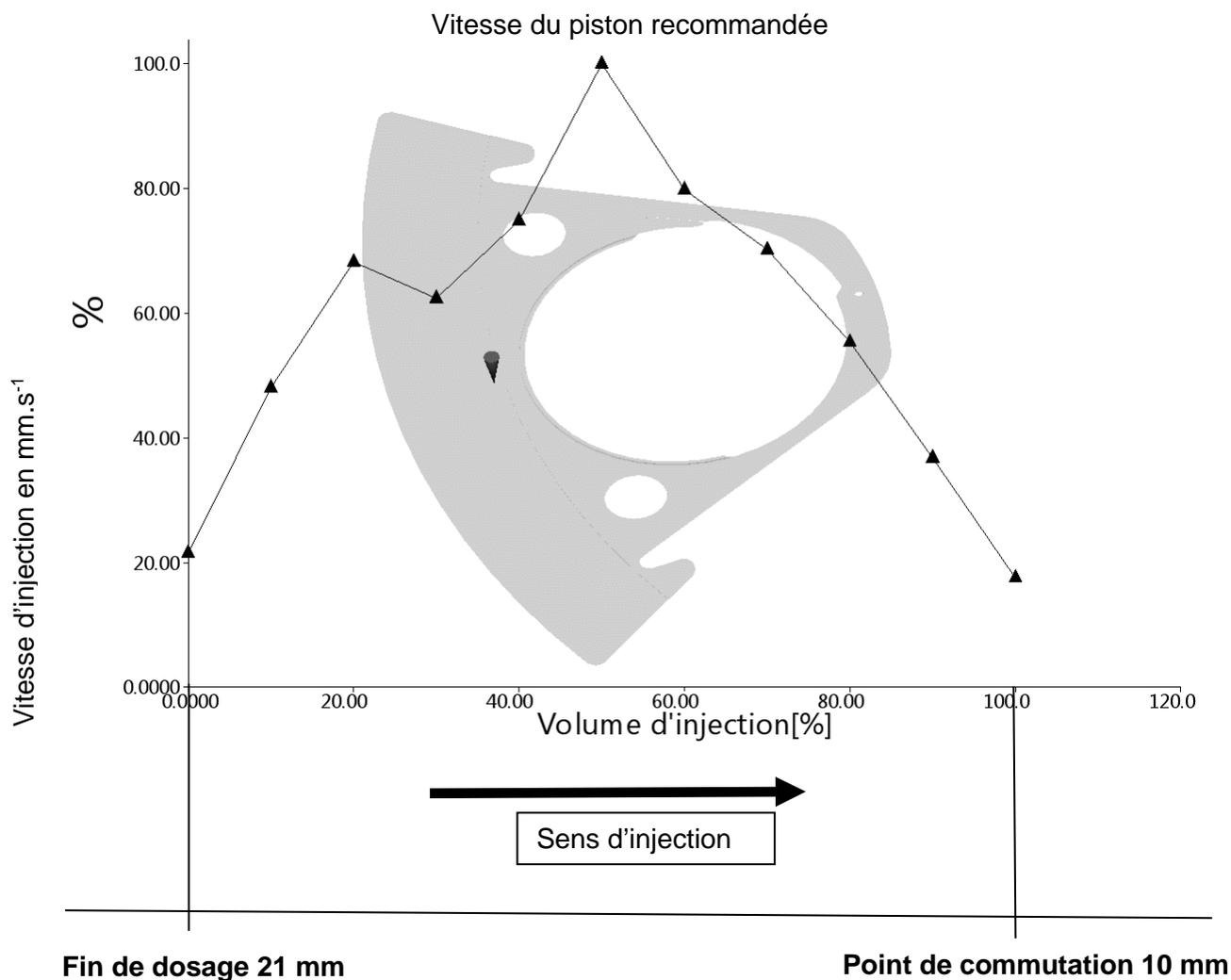
En référence à la question Q5-2 proposer à main levée une solution d'empreinte en fonction de vos choix ci-dessus.

# Documents réponses

## ÉTUDE 5 : choix 2 (orientée POP)

### DR7 : vitesse de réglage d'injection

En référence à la question Q 5-3



<b>Pourcentage du volume injecté</b>	0 %	20 %	30 %	50 %	80 %	100 % Fin de la phase dynamique
<b>Course (mm)</b>				5,5 + (10 mm de matelas)		10 mm Commutation
<b>Pourcentage de vitesse « idéale »</b>				100		
<b>Vitesse (mm.s<sup>-1</sup>)</b>				44		

