

# BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR FONDERIE

## Épreuve E4 CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

Session 2023

Coefficient 4 – Durée 6 heures

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.



*Piston automobile*

### Constitution du sujet :

- **Dossier sujet** (*mise en situation et questions à traiter par le candidat*)
  - **Mise en situation** ..... Pages 2 à 4
  - **PARTIE 1** ..... Pages 5 à 7
  - **PARTIE 2** ..... Pages 7 et 8
- **Documents Techniques (DT)** ..... Pages 9 à 25
- **Documents Réponses (DR)** ..... Pages 26 à 28

**Le sujet comporte deux parties indépendantes qui peuvent être traitées dans un ordre indifférent.**

**Les documents réponses DR1 à DR6 seront à rendre non agrafés (même vierges) avec les copies.**

Il vous appartient de compléter le bandeau au verso des documents réponses.

BTS FONDERIE		Session 2023
Épreuve E4 : Conception préliminaire	Code : 23FO4CP	Page 1 / 28

## Mise en situation

Un constructeur a lancé sur le marché un nouveau modèle.

Ce modèle est commercialisé en 2 motorisations 4x2 diesel 130 chevaux (dCi 130) et 4 x 2 diesel 175 chevaux.

Le prix de lancement est de 29 900 euros TTC pour la version dCi 130 deux roues motrices.

Le marché français est de 3 000 unités de la version dCi 130, ce qui représente 26 % des ventes totales de ce modèle.

Le constructeur a donc produit 11 500 exemplaires avec la motorisation dCi 130.

## Appel d'offre :

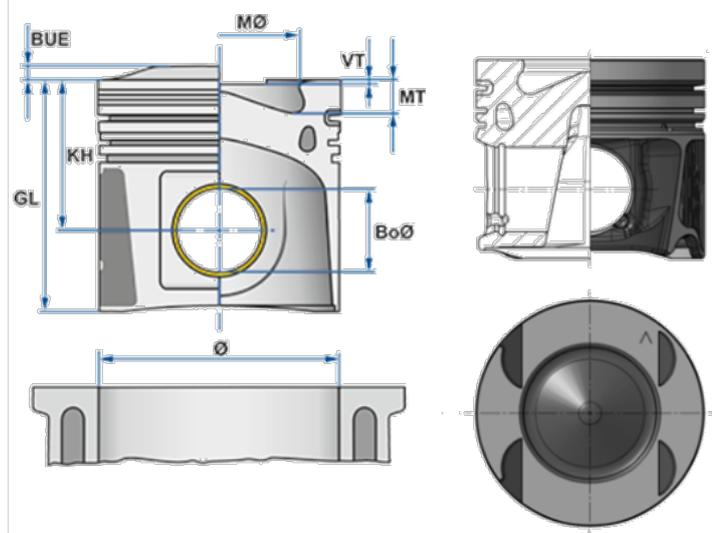
Le constructeur souhaite faire fabriquer par une entreprise sous-traitante les pistons pour la motorisation du modèle dCi 130 : soit un volume annuel de 50 000 pistons dans un délai de 5 semaines.

Fiche technique des pistons :

Constructeur	Série de modèles	Véhicule	Années de construction	Moteur	Type de carburant	KW	PS
		dCi 130	08.2016 →		D	96	130

## Fiche produit piston 40 892 600

diamètre du cylindre ( $\emptyset$ )	80,019 mm
hauteur de compression (KH)	45,946 mm
profondeur de la chambre (MT)	12,39 mm
diamètre de chambre de combustion (M $\emptyset$ )	46,5 mm
longueur totale (GL)	70,481 mm
diamètre d'axe (Bo $\emptyset$ )	30,0 mm
longueur d'axe	60,0 mm
numéro de pièce brute	080 340
Type de piston	RTK, TPL, KKK



## L'entreprise sous-traitance

**Vocation** : développement et fabrication de pistons en aluminium moulés en coquille par gravité, pour moteurs essence et diesel.

**Localisation** : zone industrielle de Basse-Ham, à proximité de Thionville en Moselle qui est une région frontalière avec le Luxembourg, l'Allemagne et la Belgique.

L'entreprise sous-traitante fait partie d'un groupe qui est l'un des premiers fournisseurs de composants de moteurs pour le marché indépendant de la pièce de rechange sous plusieurs grandes marques. Un assortiment large et complet permet aux clients d'acquérir leurs pièces moteurs en provenance d'une seule source.

L'entreprise sous-traitante, est leader en France pour la distribution des pièces pour le moteur et sa gestion. Elle fournit aux rectifieurs, reconstruc-teurs et distributeurs, la totalité des pièces pour la remise en état des moteurs VL, VUL, PL, agricoles et stationnaires.

**Banques de données techniques** (capacités machines, équipements, environnement) :

### a. Moyens techniques de réalisation :

La fonderie comprend un four à gaz de 3 tonnes et trois fours de fusion à induction (deux avec une capacité de 3 tonnes et un avec une capacité d'une tonne), pour fondre les lingots d'alliage.

L'entreprise est livrée en lingots par deux fournisseurs. Selon la demande en aluminium, il est possible que la fonderie reçoive des poches d'aluminium déjà liquide.

L'alliage est ensuite acheminé, soit dans les fours mobiles, soit dans des fours à bassin fixe sur les chantiers.

Dès que les pistons sont coulés, ils sont acheminés par bennes vers la zone de traitements thermiques.

La zone comprend :

- 2 fours de stabilisation, un pour les pistons essence et l'autre pour les pistons diesel ;
- 1 four de mise en solution, avec bac de trempe ;
- 1 unité de dissolution haute pression ;
- 1 four de chauffe de noyau ;
- 1 four d'alfinage (voir DT6) ;
- 1 four de revenu ;
- 3 coquilleuses.

### b. Moyens techniques de contrôle :

- 4 postes de contrôle à ultrasons ;
- 1 spectromètre ;
- 1 cabine de contrôle à rayon-X ;
- 1 chaîne de ressuage ;
- 1 banc de contrôle d'étanchéité ;
- 1 machine de contrôle de dureté Brinell.

BTS FONDERIE		Session 2023
Épreuve E4 : Conception préliminaire	Code : 23FO4CP	Page 3 / 28

**c. Qualité certifiée :**

Le groupe accorde une grande importance à la qualité.

L'entreprise est certifiée selon la norme ISO 9001 afin de satisfaire aux exigences des normes internationales en vigueur.

**d. Les économies d'énergie :**

La certification ISO 50001 obtenue le 10 juillet 2015 a permis de faire 63 000 euros d'économie en récupérant de la chaleur produite par les compresseurs d'air pour le chauffage, en installant des destratificateurs sur 1 400 m<sup>2</sup> ainsi qu'en traitant les fuites du réseau d'air comprimé.

**e. Le respect de l'environnement :**

L'entreprise est certifiée ISO 14001.

**f. Garantie d'origine :**

Les hologrammes infalsifiables sont apposés sur l'emballage garantissant ainsi les produits d'origine.



## Travail demandé

L'objectif est de répondre à l'appel d'offre du constructeur pour la fabrication des pistons de son nouveau SUV DCi 130 chevaux en réalisant une étude des coûts de fabrication et de revient en fonction des moyens techniques de l'entreprise.

### PARTIE 1- Étude technique

Question 1.1 | En fonction du cahier des charges du piston et de la simulation de résistance des matériaux, **déterminer** le Re mini et **choisir** le matériau à utiliser pour fabriquer le piston.

DT1, DT2, DT3 et DT4

Feuille de copie

**Justifier** vos réponses.

Afin d'atteindre les caractéristiques souhaitées, un traitement thermique doit être effectué sur les pièces moulées.

Question 1.2 | **Tracer** la courbe correspondant au cycle du traitement thermique de l'alliage choisi, en utilisant les temps de traitement maxi.

DT4 et DT21

DR1 et DR2

**Définir** les phases du traitement thermique et les **positionner** dans la gamme de fabrication.

Question 1.3 | En fonction des spécifications brutes de la pièce, à savoir l'intervalle de tolérance de la cote  $\varnothing 63.5^{+/-0.55}$  et la rugosité générale des surfaces brutes, **déterminer** les procédés de moulage adaptés. **Justifier** votre réponse.

Mise en situation, DT5, DT7 et DT8

Feuille de copie

En fonction des moyens de production de l'entreprise, **choisir** le procédé à retenir.

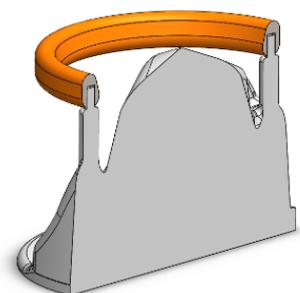
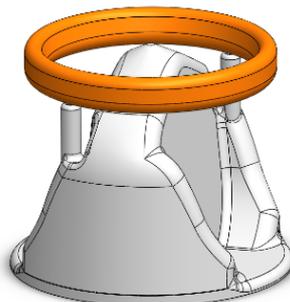
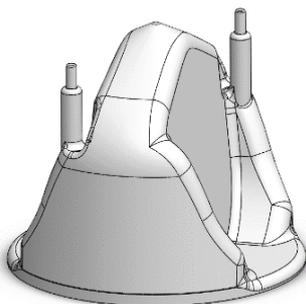
Question 1.4 | En fonction du cahier des charges et des exigences de fonctionnement du système, **justifier** la présence d'une cavité interne dans le piston.

DT1 et DT2

Feuille de copie

Le noyau permettant d'obtenir cette cavité devra résister aux différentes manipulations et mise en position mais également être en phase avec le respect de l'environnement de la norme ISO 14001.

*Le noyau, précédemment chauffé, sera positionné par l'opérateur à l'aide d'une pince dans l'outillage sur deux supports dans l'empreinte, puis emmanché avec une presse :*



- Question 1.5 | **Déterminer** le procédé le plus approprié pour créer cette cavité.  
**Justifier** votre réponse.  
 Mise en situation, DT9  
 Feuille de copie
- Question 1.6 | **Calculer** le volume occupé par le noyau réalisant la cavité.  
 DT11  
 Feuille de copie
- Question 1.7 | À partir des données fournies, **calculer** la poussée d'Archimède exercée sur le noyau pendant la coulée.  
 DT4  
 Feuille de copie  
 Données : poussée d'Archimède  $PA$  en Newton [ N ] :  $PA = \rho \times V \times g$   
 $\rho$  : masse volumique de l'alliage en  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$   
 $V$  : volume du liquide déplacé en  $\text{m}^3$   
 $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
- Question 1.8 | Pour le calcul suivant, on considérera un effort de soulèvement de 0,2 N devant être compensé par les deux portées. **Déterminer** l'ajustement permettant de maintenir le noyau en position.  
 DT10  
 Feuille de copie
- Question 1.9 | **Déterminer** les conditions de pression et de température les plus favorables à la dissolution du noyau de sel.  
 DT12 et DT21  
 DR3  
 Feuille de copie  
**Positionner** et **compléter** dans la gamme de fabrication, la phase de dissolution du noyau.
- Question 1.10 | **Proposer** le moyen de contrôle disponible le plus pertinent pour vérifier après fabrication, la disparition totale du noyau.  
 Mise en situation  
 Feuille de copie
- Un anneau porte-segment est placé dans l'outillage avant la coulée.*
- Question 1.11 | **Déterminer** à quelle exigence du cahier des charges répond l'insertion de cet anneau porte-segment en fonte dans le piston.  
 Mise en situation DT1 et DT2  
 Feuille de copie
- Question 1.12 | **Rechercher**, dans la gamme de fabrication, le procédé permettant d'obtenir une bonne continuité matière entre l'anneau porte-segment en fonte et le piston en l'aluminium.  
 Mise en situation, DT21  
 Feuille de copie
- Question 1.13 | **Expliquer** pourquoi le taux de fer varie dans le bain d'alfin (aluminium pur).  
**Conclure** sur les conséquences techniques et économiques.  
 DT6  
 Feuille de copie

Question 1.14 | À partir des moyens disponibles dans l'entreprise, **déterminer** un contrôle non destructif de la continuité totale de matière entre l'anneau porte-segment et le piston.  
Mise en situation  
Feuille de copie

*Deux études de remplissage ont été réalisées par le bureau des méthodes.*

Question 1.15 | **Identifier**, à partir du tableau, le type de coulée commun aux deux solutions.  
DT13 et DT14  
Feuille de copie  
**Choisir** une solution après avoir identifié les avantages et les inconvénients de chacune d'entre elles.

Question 1.16 | **Calculer** la mise au mille des deux solutions de moulage.  
DT13 et DT17  
Feuille de copie  
**Calculer**, en fonction des résultats trouvés et en sachant qu'une tonne d'alliage coûte 1 780 €, le coût matière par pièce pour chaque solution.

Question 1.17 | En étudiant les simulations de remplissage, **déterminer** les temps de coulée pour chacune des solutions proposées.  
DT15 et DT21  
DR4  
Feuille de copie  
**Renseigner** ces durées dans la gamme de fabrication du DR4.

Question 1.18 | En étudiant les deux simulations de solidification, **identifier et entourer** les zones où devront se concentrer les contrôles de conformité dans le piston.  
DT15  
DR5

Question 1.19 | **Déterminer** les dispositifs permettant de garantir la santé matière de ces zones.  
DT15  
Feuille de copie

*Actuellement le contrôle des micro-retassures est réalisé par contrôle destructif par échantillonnage.*

Question 1.20 | **Choisir** un contrôle non destructif disponible dans l'entreprise permettant de révéler la présence de ces défauts internes.  
Mise en situation,  
DT15  
Feuille de copie

## **PARTIE 2 – Calcul du coût de production des pistons en fonderie**

L'objectif de cette partie est de déterminer le coût de revient des pistons avant traitement thermique.

Pour la réalisation de cette série de pistons, l'entreprise envisage d'attribuer 2 postes de production avec 2 opérateurs par poste travaillant chacun 8 heures par jour, 5 jours par semaine.

On considérera que le coût d'un piston est de 1.70 € pour la solution 1 et de 1.60 € pour la solution 2 (voir DT13)

Question 2.1 | **Déterminer** la solution de moulage (à 1 ou 2 pistons) la plus économique pour la production de la série des pistons. **Justifier** votre réponse.

DT19

Feuille de copie

L'entreprise dispose d'un four de fusion modèle K,KF400/12.

Question 2.2 | **Vérifier** la capacité du four à produire assez d'alliage liquide pour la production de 800 pistons toutes les 8 heures.

DT13 et DT16

Feuille de copie

Nous voulons déterminer si les moyens techniques et humains sont suffisants pour réaliser la série de pistons.

Question 2.3 | En fonction de la gamme de production, **calculer** le temps de fabrication (hors temps de préparation et traitement thermique) de deux pistons.

DT21

Feuille de copie

**En déduire** le nombre de pièces produites par heures.

Question 2.4 | Chaque poste étant équipé d'un four de maintien modèle T110/10, **calculer** le coût énergétique du maintien en fusion de l'alliage sur un poste de 8 heures.

DT18

Feuille de copie

Données : Prix du kWh = 0,0827 €

Question 2.5 | La production prévue étant de 50 000 pistons, **calculer** le nombre d'heures de travail pour la réalisation de cette série.

DT21

Feuille de copie

Question 2.6 | En considérant que l'on produit 50 pièces par heure, **calculer** le coût de revient d'un piston, avant traitement thermique.

DT2, DT18 et DT19

DR6

Feuille de copie

**Conclure** par rapport au coût défini dans le cahier des charges.

Question 2.7 | **Déterminer** le nombre de pistons à produire en considérant un pourcentage de rebut prévisionnel de 3%.

Feuille de copie

Question 2.8 | **Calculer** le temps nécessaire à cette production.

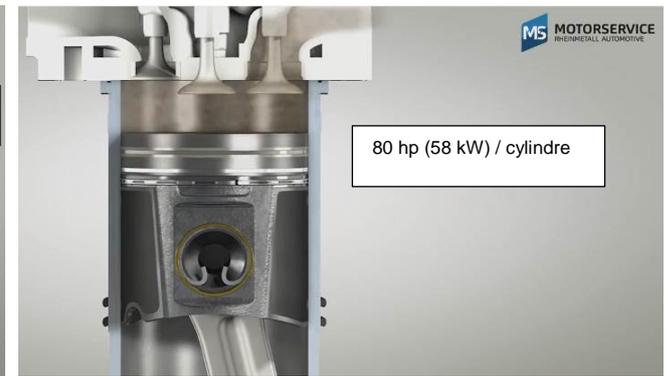
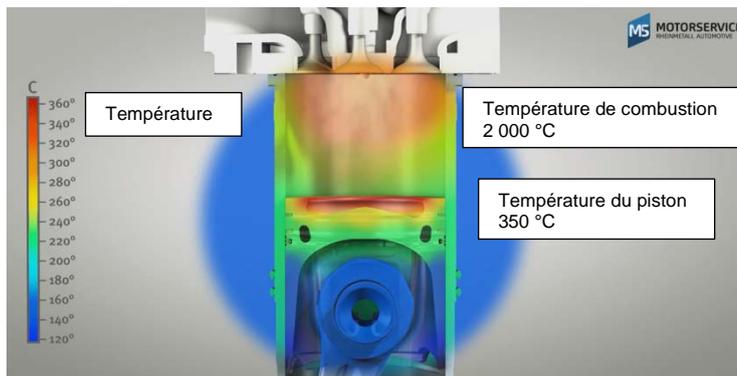
Mise en situation

Feuille de copie

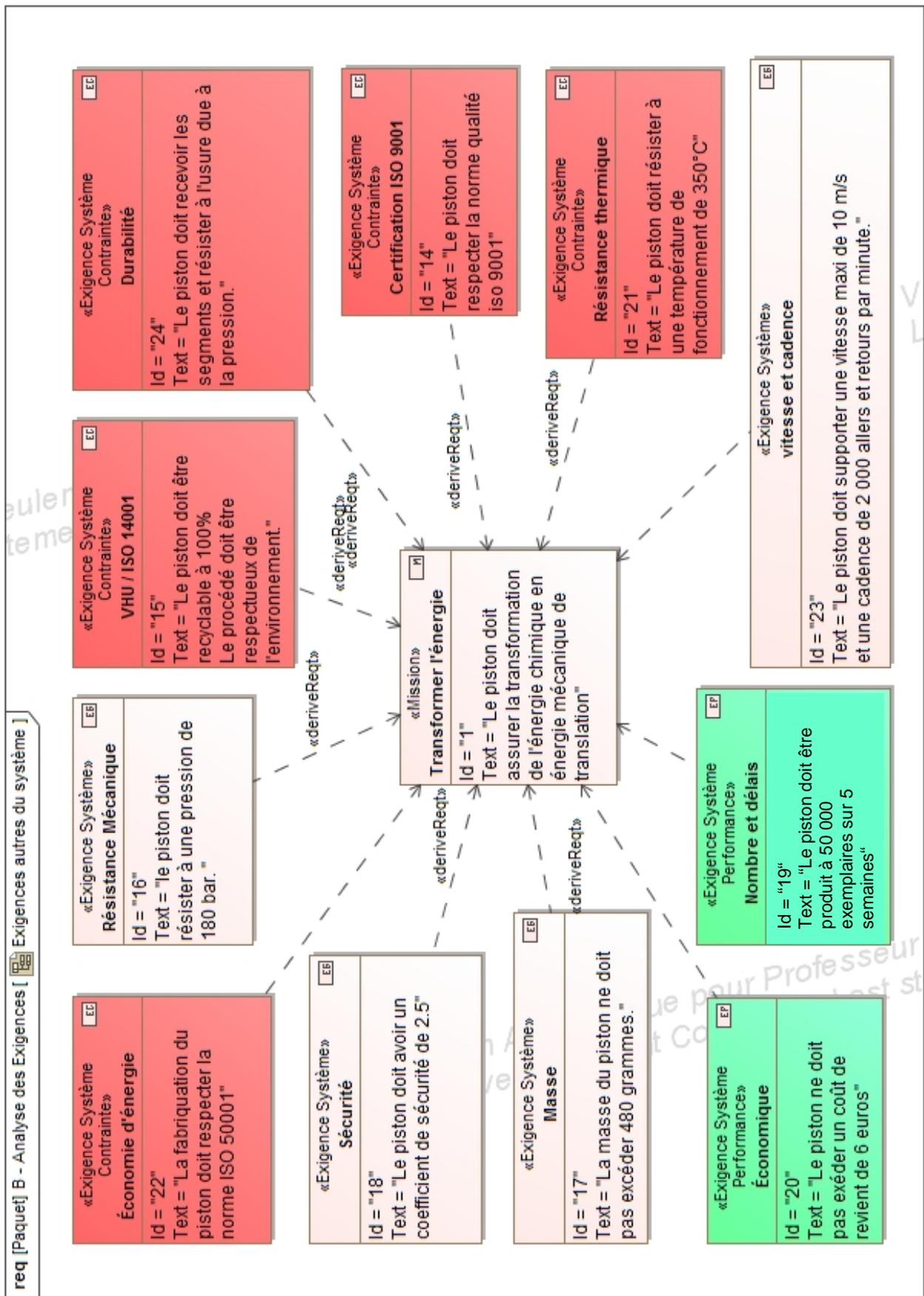
**Déterminer**, en fonction de l'appel d'offre, le nombre de postes nécessaires pour sa réalisation.

**Justifier** votre réponse.

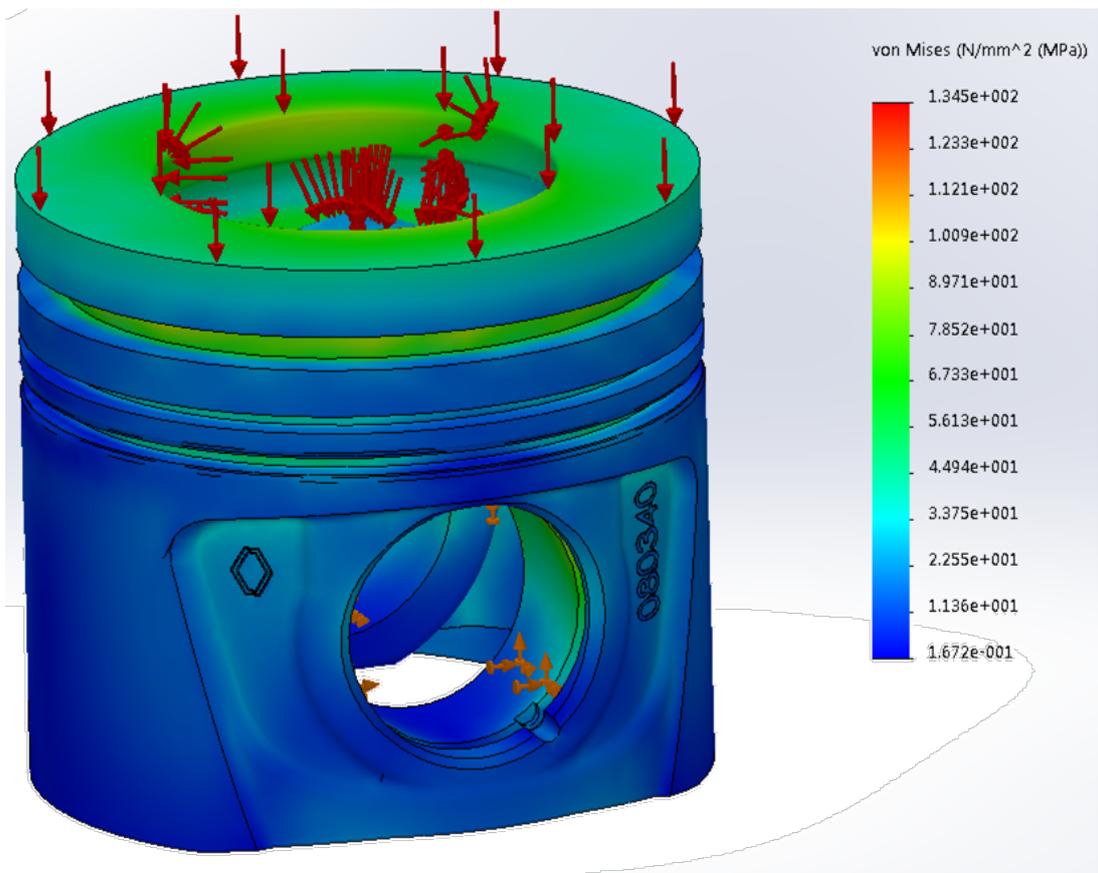
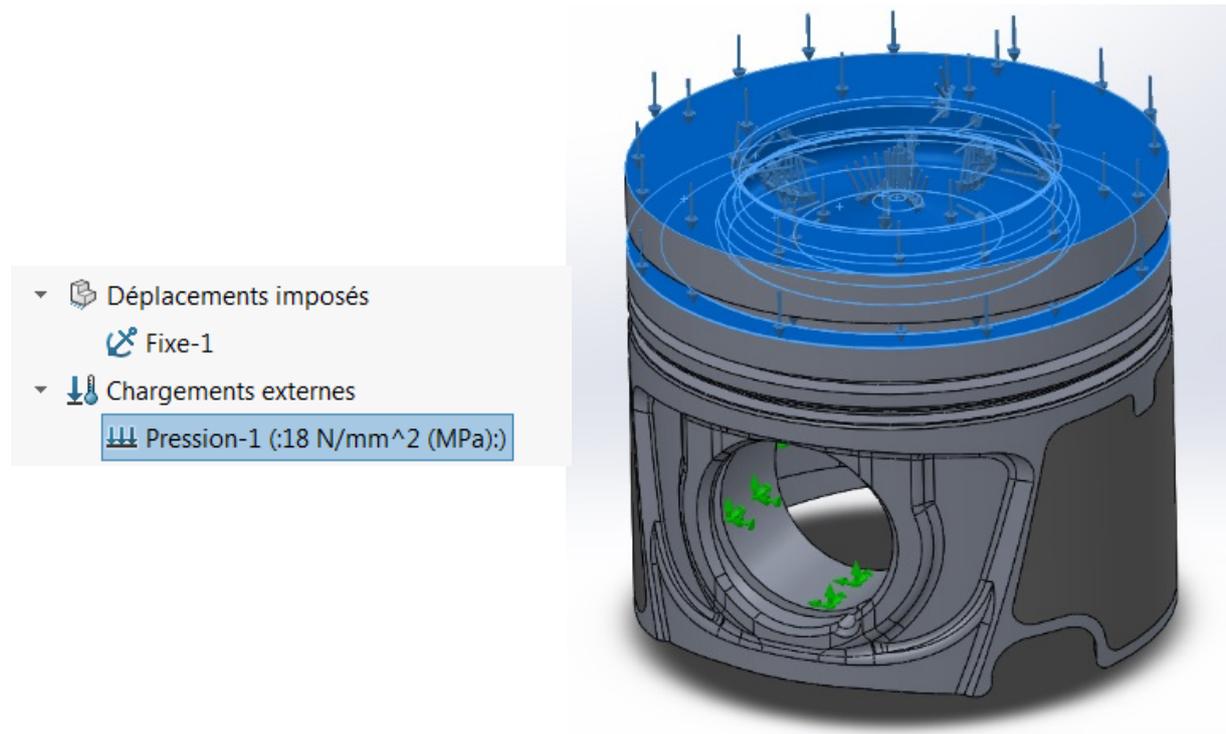
## DT1 – Performances attendues du piston



## DT2 – Cahier des charges du piston



# DT3 – Simulation de résistance des matériaux – Pression de 180 bar



## DT4 – Sélection des nuances d'aluminium

Désignation	Désignation chimique des alliages	état	température de mise en solution [°C]	Durée de mise en solution [h]	Trempe température de l'eau [°C]	Température du revenu [°C]	Durée du revenu [h]
Anticorodal-50	AlSi5Mg	T6	520-535	4-8	20	155-180	7-9
		T4	520-535	4-8	20	15-30	120
Anticorodal-70	AlSi7Mg0,3	T6	520-545	4-10	20	155-165	6-8
		T64	520-545	4-10	20	150-160	2-3
Silafont-30	AlSi9Mg	T6	520-535	6-10	20	160-170	6-8
Silafont-20	AlSi11Mg	T6	520-535	6-10	20	130-170	6-8
		T5	-	-	à l'air	210-230	5-8
Silafont-70	AlSi12CuNiMg	T6	520-530	5-10	20-80	165-185	5-8
		T5	-	-	à l'air	210-220	10-12
Silafont-92	AlSi18CuNiMg	T6	505	4	20	220	6

Désignation	Désignation Chimique	Procédé de moulage	Masse volumique en kg.dm <sup>-3</sup>	État	Limite d'élasticité Re (N.mm <sup>-2</sup> )	Résistance à la traction Rm (N.mm <sup>-2</sup> )	Domaines d'application
Anticorodal-70	AlSi7Mg0,3	S	2,66	F	80-140	140-220	Construction mécanique, industrie automobile et aéronautique, construction navale, électrotechnique et électromécanique, machines destinées à l'industrie alimentaire.
		S		T64	120-170	200-270	
		S		T6	220-280	240-320	
		C		F	90-150	180-240	
		C		T64	180-200	250-270	
		C		T6	220-280	290-340	
Silafont-70	AlSi12CuNiMg	S	2,68	F	120-170	130-180	Pistons pour moteurs à combustion, engrenages, galets de frottement, pièces pour pompes, pièces soumises à de fortes sollicitations mécaniques à température élevée.
		S		T6	200-300	220-300	
		S		T5	140-190	160 -190	
		C		F	190-260	200-270	
		C		T6	320-390	350-400	
		C		T5	185-210	200-230	
Silafont-92	AlSi18CuNiMg	C	2,68	F	165-200	180-235	Alliage pour pistons et cylindres destinés aux industries automobile et navale, pièces exposées à l'usure, et à de fortes sollicitations mécaniques à température élevée
		C		T6	170-200	240-310	
		C		T7	260-315	270-320	
		C		T5	160-225	165-230	
		P		T5	220-265	230-295	

### Procédés de moulage

Les abréviations utilisées pour désigner les procédés de moulage sont les suivantes :

<b>S</b>	moulage en sable coulée par gravité
<b>C</b>	moulage en coquille coulée par gravité
<b>P</b>	moulage sous pression

État	Description
F	Brut de coulée
O	Recuit
T1	Auto trempé
T4	Trempé et mûri
T5	Stabilisé
T6	Trempé et revenu partiel
T64	Trempé et revenu partiel
T7	Trempé et sur-revenu

## DT5 – Classes de tolérance

Cote nominale de la pièce brute (mm)		Tolérance dimensionnelles des pièces moulées															
		Tolérance totales des pièces moulées (en mm)															
		Classes de tolérances dimensionnelles CT des pièces moulées															
au-delà de	jusqu'à inclus	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8	CT9	CT10	CT11	CT12	CT13	CT14	CT15	CT16
10	10-16			0.18 0.20	0.26 0.28	0.36 0.38	0.52 0.54	0.74 0.78	1.0 1.1	1.5 1.6	2.0 2.2	2.8 3.0	4.2 4.4	- -	- -	- -	- -
16	16-25			0.22	0.30	0.42	0.58	0.82	1.2	1.7	2.4	3.2	4.6	6	8	10	12
25	25-40			0.24	0.32	0.46	0.64	0.90	1.3	1.8	2.6	3.6	5.0	7	9	11	14
40	40-63			0.26	0.36	0.50	0.70	1.0	1.4	2.0	2.8	4.0	5.6	8	10	12	16
63	63-100			0.28	0.40	0.56	0.78	1.1	1.6	2.2	3.2	4.4	6	9	11	14	18
100	100-160			0.30	0.44	0.62	0.88	1.2	1.8	2.5	3.6	5.0	7	10	12	16	20
160	160-250			0.34	0.50	0.70	1.0	1.4	2.0	2.8	4.0	5.6	8	11	14	18	22
250	250-400			0.40	0.56	0.78	1.1	1.6	2.2	3.2	4.4	6.2	9	12	16	20	25
400	400-630				0.64	0.90	1.2	1.8	2.6	3.6	5	7	10	14	18	22	28
630	630-1000					1.0	1.0	2.0	2.8	4.0	6	8	11	16	20	25	32
1000	1000-1600						1.6	2.2	3.2	4.6	7	9	13	18	23	29	37
1600	1600-2500							2.6	3.8	5.4	8	10	15	21	26	33	42
2500	2500-4000								4.4	6.2	9	12	17	24	30	38	49
4000	4000-6300									7.0	10	14	20	28	35	44	56
6300	6300-10000										11	16	23	32	40	50	64

## DT6 – Bain d'alfin et mise en place de l'anneau porte segment

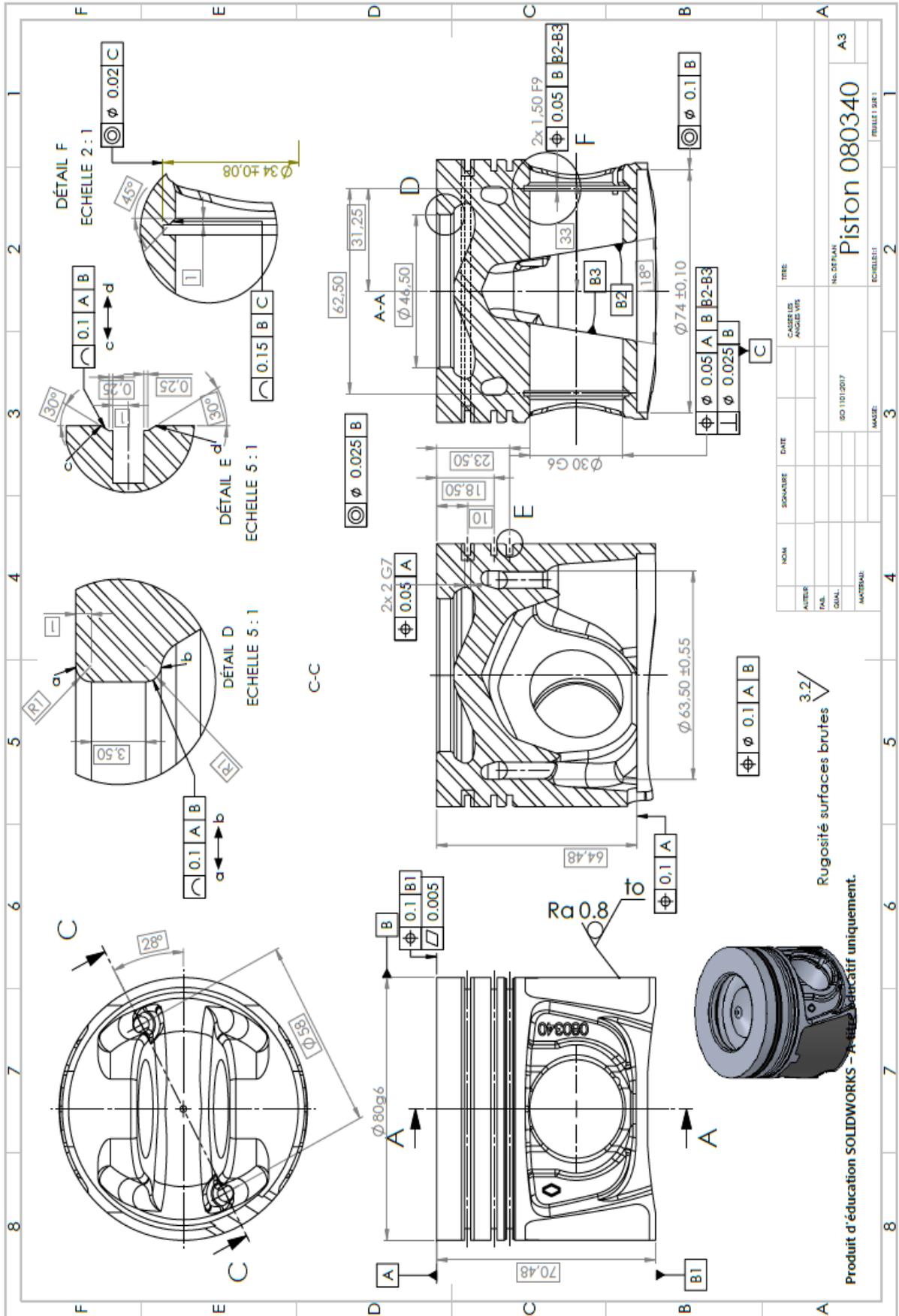
L'alfinage est un procédé qui permet d'optimiser le collage d'un insert en alliage non aluminium par trempage de celui-ci dans un bain d'aluminium pur afin de déposer une fine couche fusible qui servira d'accroche lors de la coulée des pièces.



## DT7 – Aptitudes des principaux procédés de moulage

Aptitudes des principaux procédés de moulage						
Critères	Procédés					
	Sable		Coquille		Sous Pression	Moulage de précision(1)
	Sable à vert	Prise chimique	Gravité	Basse pression		
Masse des pièces	Quelques dizaines de grammes à 500 kg	Quelques dizaines de grammes à environ 2 t	Jusqu'à 100 kg		Quelques grammes à 50 kg	Quelques grammes à 40 kg
Série minimale	Quelques pièces		1 000 à 5 000		10 000 à 25 000	500 à 5 000
Durée de vie de l'outillage	Limité par la classe du modèle		50 000 à 100 000		100 000 à 250 000	15 000 à 20 000
Coût de l'outillage	Faible à moyen		Élevé		Très élevé	Moyen
Aptitudes à réaliser des pièces complexes	Très bonne à excellente		Très bonne	Bonne	Très bonne sous réserve de rendre les formes intérieures et extérieures démoulables	Excellente
État de la surface brute (2) Ra en µm	2/0S1-1S1 > 25 à 12,5	2/0S1-1S1 12,5 à 8,3	2/0S1-3/0S1 12,5 à 3,2		3/0S1-4/0S1 0,6 à 0,8 (moule poli grade 240)	3/0S1-4/0S1 0,8 à 1,6
Dépouilles générales courantes	3°	3° à 1°	3° à 1°		1,5° à 1°	30' à 15'
Épaisseurs (en mm)						
- Minimales (courantes)	4	2,5	2,5 à 3,5		1	0,8 à 1,25
- Maximales (courantes)	-	-	50		12	12
Tolérances dimensionnelles générales (3)	CT 10 à 13 (petites séries) CT 7 à 12 (grandes séries)		CT 6 à 8		CT 5 à 7	CT 1 à 6
Aptitude à la productivité (cadence)	Très bonne	Moyenne à bonne	Très bonne à excellente	Moyenne à bonne	Excellente	Moyenne à bonne
Possibilité de traitement thermique	Oui		Oui		Non (sauf procédés spéciaux)	Oui
Caractéristiques mécaniques (4) :						
- sans traitement thermique	Moyen		Moyen		Bon	Moyen
- avec traitement thermique	Bon		Très bon		Inapplicable (sauf procédés spéciaux)	Bon
Aptitude au soudage	Bonne		Très bonne		Médiocre à bonne	Bonne
Aptitude à l'anodisation de décoration	Bonne		Très bonne		Médiocre	Très bonne
Degré d'automatisation possible du procédé	Complète	Partielle à complète	Partielle à complète		Complète	Partielle à complète
Incompatibilité avec certains alliages	Aucune		Limitation : alliages sensibles à la crique		Limitation : alliages sensibles à la crique et alliages à faible teneur en fer sans manganèse	Aucune
Les valeurs ou appréciations indiquées dans le tableau correspondent aux possibilités normales des procédés et sont données à titre indicatif.						
(1) Le terme « moulage de précision » englobe le moulage à modèle perdu « cire perdue » et le moulage céramique monobloc. (2) Selon la norme NF EN 1370 de février 1997 et la recommandation technique du BNIF n°359 (3) Valeurs pour cotes non tolérancées selon la norme française NF EN ISO 8062 (4) Dépend également de l'épaisseur des pièces, du soin apporté au moulage et à la fusion, et de l'utilisation ou non de refroidisseurs						

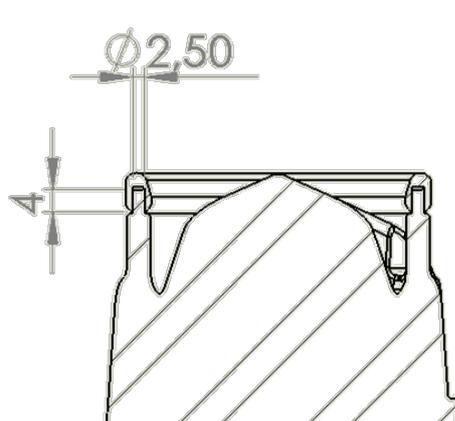
# DT8 – Dessin de définition du piston usiné (cotation partielle)



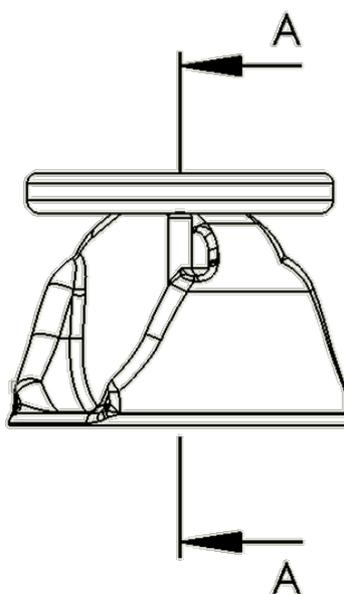
## DT9 – Tableau des sables et sels de noyautage

Procédé	Type de liant	Moyen de prise	Taux de liant en %	Temps de démoulage	Durée de vie	Aptitude au débouillage	Résistance mécanique	Série			Impact sur l'environnement	Coût de 100 kg en €
								1 à 100	100 à 1000	>1000		
Sables à l'huile	Huiles végétale et/ou Minérales	Étuvage	1,0 à 4,0	Immédiat	2 à 8 h	Médiocre	Bonne	Noyaux			Médiocre	5,10 €
Croning	PF Novolaque	HMTA + Outillage chaud (250-300)	2,0 à 6,0	2-3 mn	Infini	Bonne	Bonne			Moules et noyaux	Médiocre	9,07 €
Boîte chaude	UF,PF résols, UF/PF UF/AF, UF/PF/AF	Sels d'acide + outillage chaud (200-250 °C)	1,2 à 2,5	< 1 mn	2 à 6 h	Très bonne	Bonne			Noyaux	Médiocre	5,48 €
Silicate ester	Silicate de soude	Esters organiques	2,5 à 3,5	5 à 60 mn	2 à 5 h	Faible	Bonne	Moule et Noyaux			Passable	3,81 €
Furaniques	UF/AF, PF/AF UF/PF/AF	Acide phosphorique Acide sulfurique Acides sulfoniques	0,8 à 1,5	6 à 60 mn	1 à 60 mn	Excellente	Bonne	Moules et noyaux			Médiocre	8,38 €
Phénolate alcalin-Silicate-CO2	Phénolates alcalins Silicate de soude	CO 2	2,5 à 4,0	Immédiat	2 à 24 h	Faible	Bonne	Moules et noyaux (surtout)			Bon	6,71 €
Phénoliques	PF résols	Acide phosphorique Acide sulfurique Acides sulfoniques	0,8 à 1,5	10 à 30 mn	5 à 15 mn	Médiocre	Bonne	Moules et noyaux			Médiocre	7,16 €
NaCl	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Haute pression			Infini	Très bonne	Très élevée	Noyaux	Noyaux	Noyaux	Bon	55,25 €
KaCl	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Haute pression				Très bonne	Très élevée	Noyaux	Noyaux	Noyaux	Bon	75,16 €

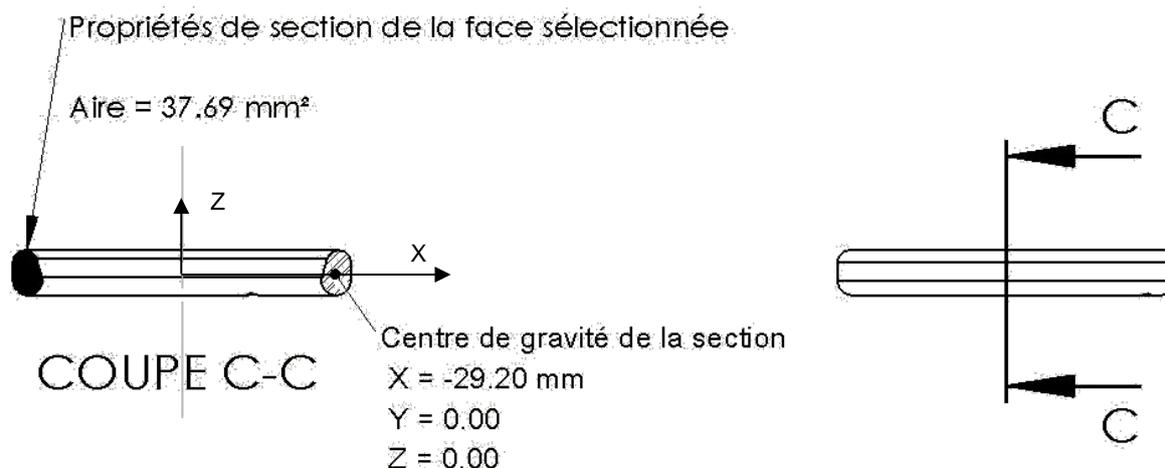
## DT10 – Ajustement de la mise en place du noyau



COUPE A-A



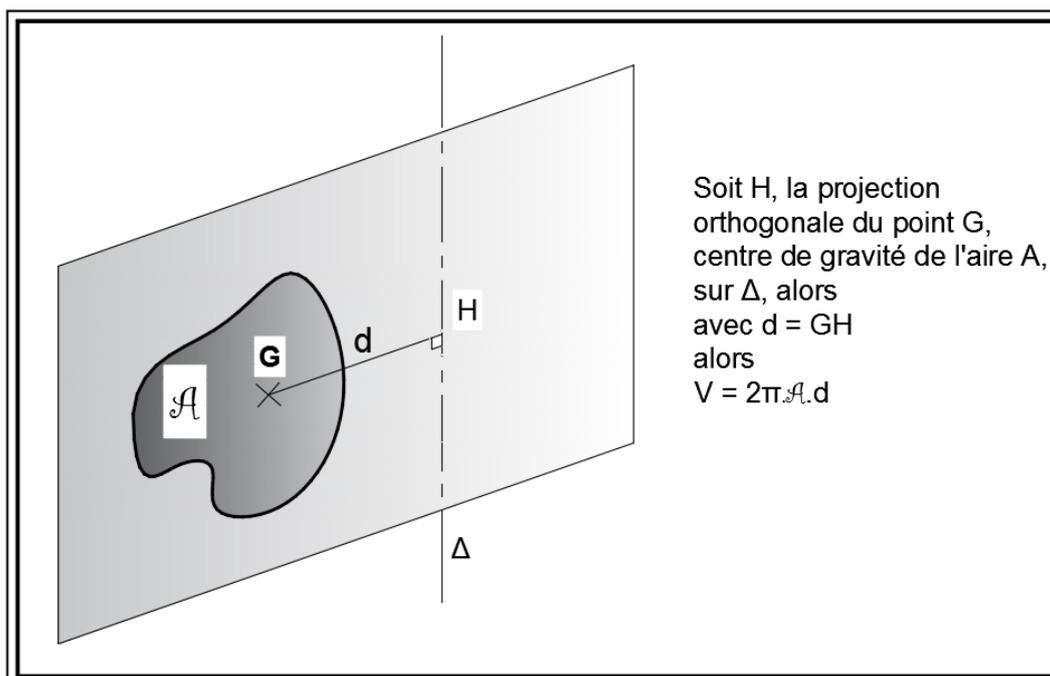
Ajustement	Longueur de l'assemblage en mm	Diamètre de l'alésage en mm	Surface de contact en mm <sup>2</sup>	Pression de frettage en MPa	Effort axial transmissible en N
Ø H7 g6	4	2.5	31.4	0	0
	8	2.5	62.8	0	0
	16	2.5	125.6	0	0
Ø H7 k6	4	2.5	31.4	0.2	0
	8	2.5	62.8	0.2	0.1
	16	2.5	125.6	0.2	0.2
Ø H7 m6	4	2.5	31.4	0.5	0.1
	8	2.5	62.8	0.5	0.2
	16	2.5	125.6	0.5	0.4
Ø H7 p6	4	2.5	31.4	1.2	0.2
	8	2.5	62.8	1.2	0.5
	16	2.5	125.6	1.2	0.9



**Théorème de GULDIN**

**Mathématicien suisse (1577-1643)**

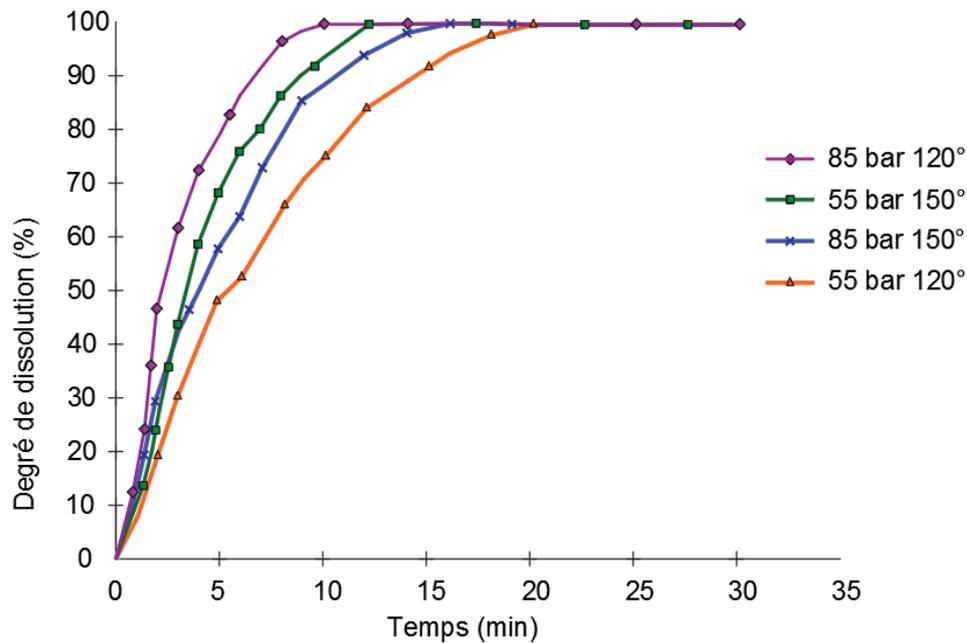
Le théorème de Guldin permet de calculer le volume engendré par un objet plan d'aire  $A$  en révolution autour d'un axe  $\Delta$  situé dans le même plan



## DT12 – Propriétés de dissolution du sel

### DISSOLUTION DES NOYAUX DE SEL

(PRESSION, TEMPERATURE)



## DT13 – Solutions de moulage

Solution 1 : un piston

Masse = 941,83 g

Volume = 348 827,67 mm<sup>3</sup>

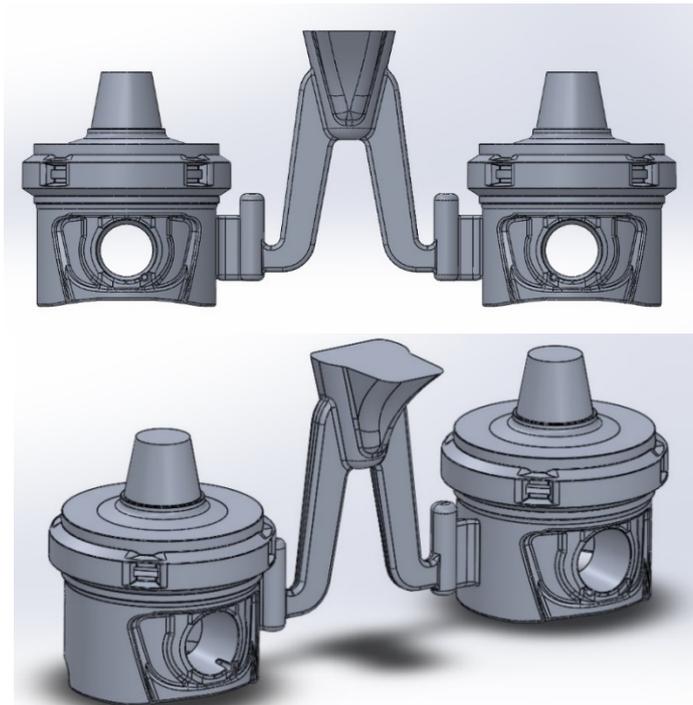
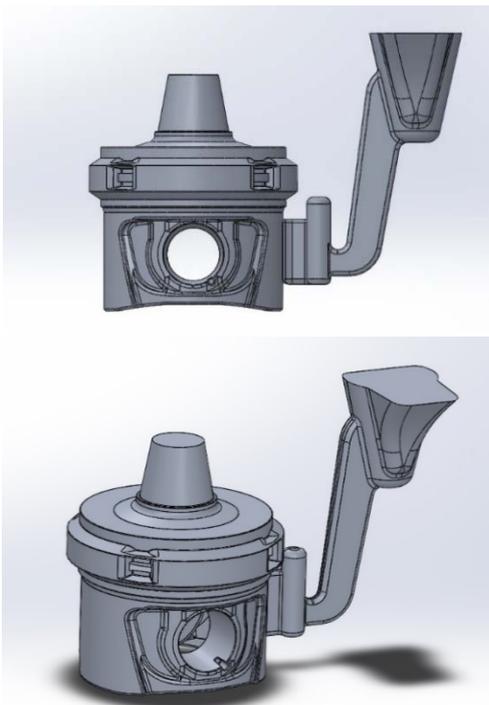
Superficie = 68 474,59 mm<sup>2</sup>

Solution 2 : deux pistons

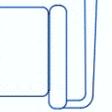
Masse = 1 763 ,93 g

Volume = 653 306,82 mm<sup>3</sup>

Superficie = 129 037,91 mm<sup>2</sup>



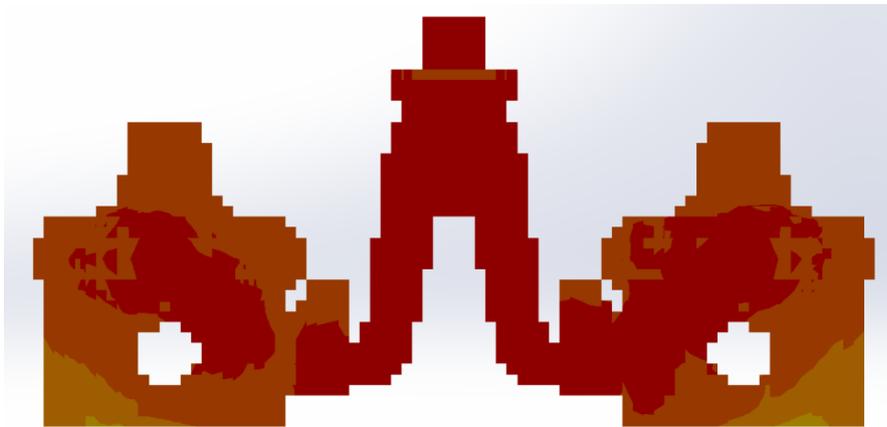
## DT14 – Types de coulée

TYPE DE COULÉE	REPLISSAGE	ÉBARBAGE	MISE AU MILLE	ASPECT THERMIQUE	REMARQUES
<p>Coulée en chute directe</p> 	<p>« Mouvementé ». Défavorable du point de vue des entraînements d'air et de l'oxydation. Mal adapté à la fabrication de pièces de haute qualité métallurgique.</p>	<p>Il est limité au sciage du canal d'alimentation ou de la descente.</p>	<p>Ce procédé conduit à la mise au mille minimale.</p>	<p>Ce procédé dirige naturellement la solidification de bas en haut, ce qui réduit au minimum les risques de formation de retassures.</p>	<p>La coulée statique en chute directe est déconseillée pour les alliages très oxydables (alliages aluminium-magnésium par exemple).</p>
<p>Coulée en chute avec masselotte</p> 	<p>Sensiblement identique à celui rencontré avec la coulée en chute directe. Néanmoins, la masselotte peut absorber une partie de l'effet dynamique induit par le versement du métal.</p>	<p>Il est limité au sciage du col de la masselotte.</p>	<p>De moyenne à élevée en fonction de la taille de la masselotte. Faible hors masselottage.</p>	<p>On retrouve l'avantage d'une solidification dirigée de bas en haut. L'alimentation par la masselotte en fin de remplissage est très efficace car, étant remplie en dernier, elle contient le métal le plus chaud.</p>	<p>Inclusions d'oxydes et emprisonnements d'air sont un peu moins sévères qu'en coulée en chute directe. Mode de coulée assez fréquent pour des pièces cylindriques creuses, avec une masselotte annulaire.</p>
<p>Coulée en chute avec canaux de répartition</p> 	<p>L'effet dynamique du métal est réduit par les coudes et changement de direction (perte de charge). Risque supplémentaire d'emprisonnement de peaux d'oxydes à la réunion des fronts de métal.</p>	<p>Son importance est déterminée par la complexité du système.</p>	<p>Elle peut devenir élevée si le nombre de canaux secondaires est important.</p>	<p>Ce système conduit également à une solidification dirigée de bas en haut et procure une bonne répartition du métal, ce qui évite la surchauffe d'éléments de coquille, notamment pour les grandes pièces.</p>	<p>Ce type de remplissage est rarement employé. Les principales applications concernent des pièces de grande surface et de faible épaisseur.</p>
<p>Coulée en chute avec coquille inclinée</p> 	<p>Ce mode de coulée constitue une variante de la coulée en chute directe. L'inclinaison de la coquille a pour effet de réduire artificiellement la hauteur de chute et donc la vitesse d'impact du métal. Risque néanmoins de création de vortex suivant la forme de la pièce.</p>	<p>Ébarbage faible.</p>	<p>Elle dépend essentiellement de la longueur de canal d'alimentation.</p>	<p>Risque de création d'un point chaud au niveau de l'attaque. La zone proche de l'attaque sera plus chaude que la partie supérieure de la pièce dans le moule. Cela peut entraîner l'apparition de retassures.</p>	<p>Ce type de coulée est réservé à des pièces longues et étroites. Ce type d'attaque n'est utilisé qu'en mode statique.</p>
<p>Coulée en source</p> 	<p>Théoriquement, ce système conduit au remplissage le plus calme. Cependant, la pratique a montré qu'une hauteur de descente élevée provoque un jaillissement important du métal dans la coquille. Il se crée ainsi des tourbillonnements qui peuvent induire une forte oxydation et des emprisonnements d'air.</p>	<p>Son importance dépend de la présence ou non de masselottes sur la partie supérieure de la pièce.</p>	<p>Généralement importante en raison de la longueur de la descente et de la quasi obligation d'avoir un masselottage important en partie supérieure de la pièce.</p>	<p>La totalité du métal de l'empreinte et des masselottes passant par l'attaque, il se crée un point chaud à cet endroit. Diminution de l'efficacité du masselottage et problèmes de retassures.</p>	<p>La hauteur de chute du métal en début de coulée étant supérieure à la hauteur totale de la pièce, cela conduit à réserver ce système à des pièces peu massives.</p>
<p>Coulée latérale en source</p> 	<p>Le remplissage est assez bon si l'épaisseur d'attaque est suffisamment faible pour assurer un remplissage partiel de la masselotte, avant que le métal ne pénètre dans l'empreinte. Dans ce cas, la masselotte joue le rôle de chambre de détente, ce qui réduit l'effet dynamique du début de l'écoulement. Par ailleurs, les bulles d'air éventuellement emprisonnées dans la descente peuvent remonter dans la masselotte et s'échapper.</p>	<p>Son importance dépend de la longueur entre la masselotte et la pièce.</p>	<p>La mise au mille est directement liée au volume de la masselotte. Celle-ci devant être relativement volumineuse pour jouer un rôle significatif, il en résulte que la mise au mille est, en général, assez élevée.</p>	<p>En dehors du risque de dissymétrie thermique latérale, ce système conduit à un profil thermique satisfaisant. La solidification est dirigée et la pièce est bien alimentée par masselotte (sous réserve d'un choix correct du sens de moulage).</p>	<p>Ce type de coulée est fréquemment utilisé et se prête assez bien à la technique de remplissage par basculement.</p>
<p>Coulée latérale directe avec attaque en lame</p> 	<p>Ce système conduit à un remplissage assez satisfaisant. Écoulement plus rapide et plus calme dans l'empreinte. Il se prête bien à la coulée par basculement. À utiliser avec prudence dans le cas de grande hauteur car la durée du régime turbulent transitoire risque d'augmenter.</p>	<p>Il est en général, assez élevé et dépend de la longueur et de la forme de l'attaque en lame.</p>	<p>La mise au mille se situe à un niveau moyen et dépend essentiellement du taux de masselottage.</p>	<p>Ce système présente un risque de dissymétrie thermique latérale et peut conduire à une solidification plus ou moins dirigée (par couches successives).</p>	<p>Ce type de coulée est souvent employé associé à une masselotte intermédiaire, sauf pour les pièces minces ou cylindriques d'épaisseur régulière.</p>
<p>Coulée latérale avec remontée dans masselotte intermédiaire</p> 	<p>Ce système est très proche de la coulée latérale directe avec remontée et attaque en lame. Cependant, il présente en plus l'avantage de permettre une décantation du métal dans la masselotte intermédiaire, si celle-ci a une section importante. Dans ces conditions, la détente provoquée par l'augmentation brusque du volume permet aux oxydes formés et aux bulles d'air éventuellement entraînées d'être piégées.</p>	<p>Il est analogue à celui de tous les systèmes avec attaque en lame.</p>	<p>La mise au mille est très élevée en raison de la nécessité de disposer d'une masselotte de forte section.</p>	<p>On observe le même déséquilibre thermique que celui observé avec l'attaque latérale en lame. La présence de la masselotte aurait même tendance à aggraver le phénomène.</p>	<p>Ce type de coulée, bien qu'intéressant du point de vue du remplissage, est cependant très pénalisant du point de vue de la mise au mille. Il convient de remarquer qu'ici, la masselotte joue essentiellement le rôle de chambre de détente.</p>

## DT15 – Simulations (feuille 1/2)

### Deux pistons par grappe

- Répartition de la température en fin de remplissage



Temperature [C]

Temps : 3.3404 s

750.0

701.3

652.7

604.0

555.3

506.7

458.0

409.3

360.7

312.0

263.3

214.7

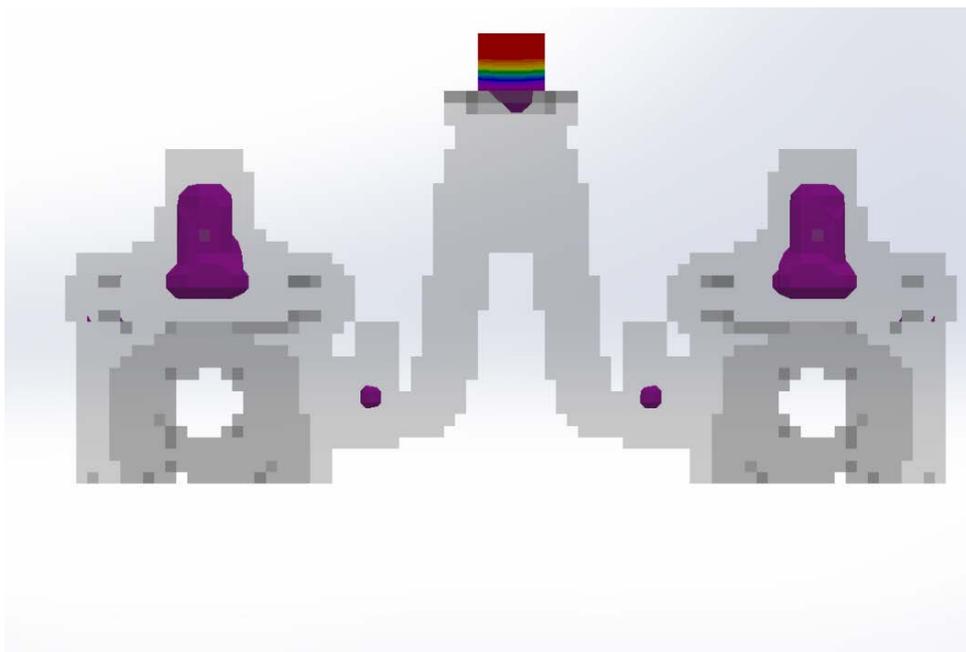
166.0

117.3

68.7

20.0

- Prévion du retrait en fin de solidification



Porosite et retassures [%]

Temps : 124.0884 s

100.0

93.3

86.7

80.0

73.3

66.7

60.0

53.3

46.7

40.0

33.3

26.7

20.0

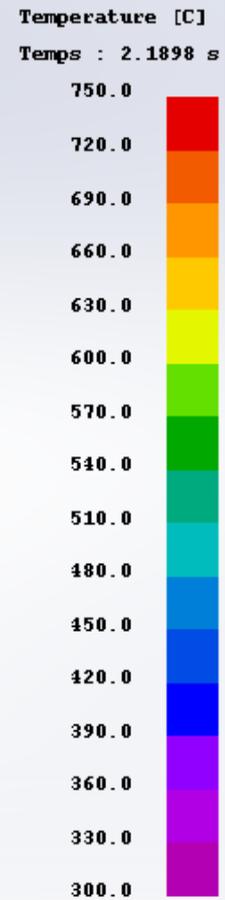
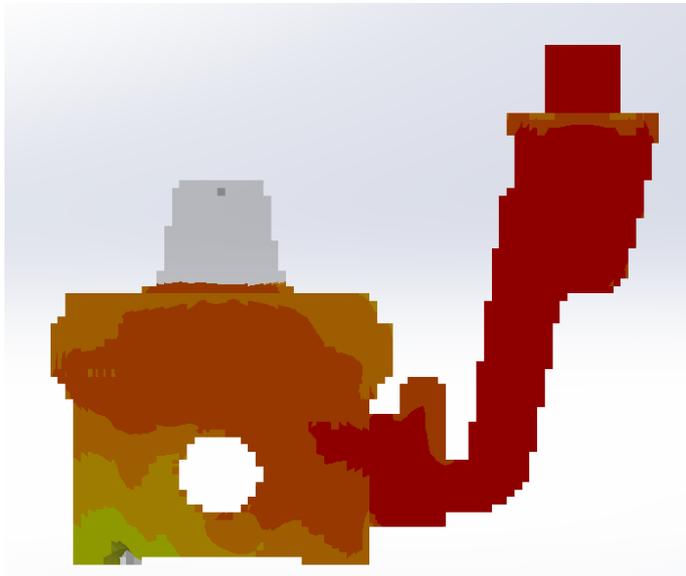
13.3

6.7

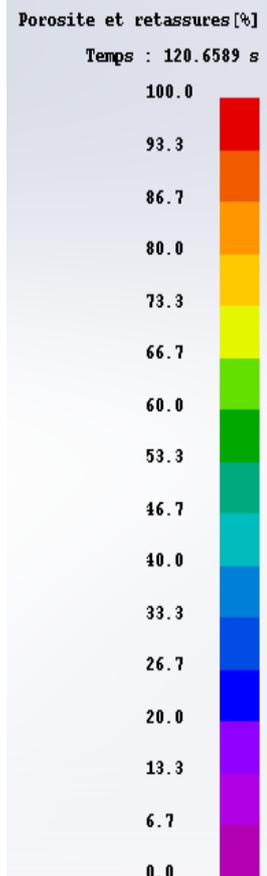
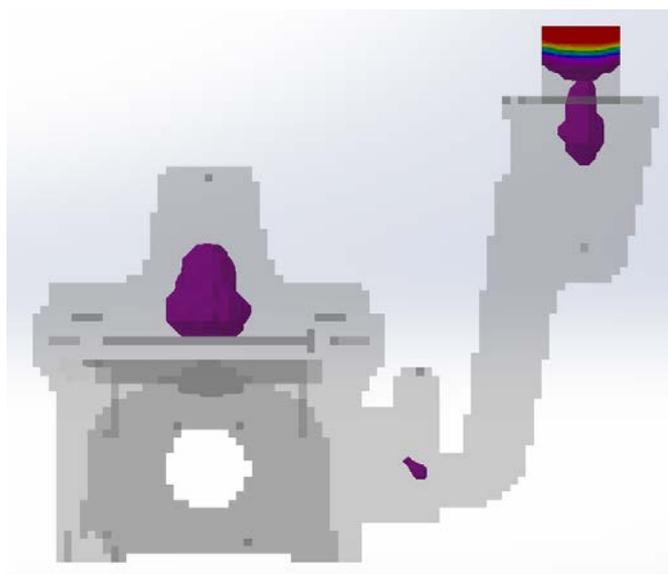
## DT15 – Simulations (feuille 2/2)

### Un piston par grappe

- Répartition de la température en fin de remplissage



- Prévision du retrait en fin de solidification



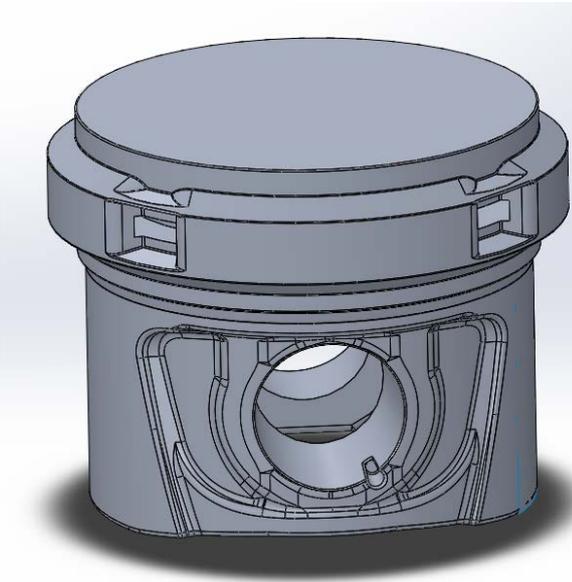
## DT16 – Four à creuset basculant K



Modèle	Tmax	Creuset	Capacité en alliage d'aluminium Kg	Dimensions extérieures en mm			Puissance de chauffe Kw	Poids Kg	Puissance de fusion Kg/h	Maintien de la chaleur couvercle fermé/ouvert Kw
	°C			L	P	H				
K,KF10/12	1200	A 70	20	1510	1240	1040	16	750	32	3/7
K,KF20/12	1200	A 150	45	1660	1360	1060	20	940	42	3/7
K,KF40/12	1200	A 300	90	1740	1470	1140	26	1270	58	3/7
K,KF80/12	1200	TP 287	180	1800	1700	1180	50	1430	126	4/10
K,KF150/12	1200	TP 412	330	1870	1900	1460	60	1800	147	5/12
K,KF240/12	1200	TP 587	570	2010	2000	1460	80	2290	210	8/17
K,KF300/12	1200	TP 587H	650	2010	2000	1560	80	2400	210	9/18
K,KF360/12	1200	BUK 800	750	2120	2100	1550	100	2780	260	11/20
K,KF400/12	1200	TBN 1100	1050	2120	2100	1700	126	3030	295	12/22
K,KF10/13	1300	A 70	20	1510	1240	1040	16	800	32	5/8
K,KF20/13	1300	A 150	45	1660	1360	1060	20	1040	42	5/8
K,KF40/13	1300	A 300	90	1740	1470	1140	26	1350	58	5/8
K,KF80/13	1300	TP 287	180	1800	1700	1180	50	1600	126	6/11

# DT17 – Masses d'un piston

## Masse d'un piston brut



Propriétés de masse

Piston 080340 masse brute.SLDPRT

Options...

Remplacer les propriétés de masse... Recalculer

Inclure les corps/composants cachés

Créer la fonction Centre de masse

Afficher la masse du cordon de soudure

Indiquer les valeurs de coordonnées relatives à: -- par défaut --

Masse = 714.33 grammes

Volume = 264567.26 millimètres cubes

Superficie = 52830.13 millimètres carrés

Centre de gravité: ( millimètres )  
X = -0.06  
Y = 23.57  
Z = 0.11

Principaux axes et moments d'inertie: ( grammes \* millimètres carrés )  
Pris au centre de gravité.  
Ix = ( 0.07, -0.03, 1.00) Px = 620370.91  
Iy = ( 1.00, 0.02, -0.07) Py = 644728.91  
Iz = (-0.02, 1.00, 0.03) Pz = 741628.17

Moments d'inertie: ( grammes \* millimètres carrés )  
Pris au centre de gravité et aligné avec le système de coordonnées de sortie.  
Lxx = 644640.59 Lxy = 1857.95 Lxz = 1799.80  
Lyx = 1857.95 Lyy = 741494.40 Lyz = -3412.2  
Lzx = 1799.80 Lzy = -3412.22 Lzz = 620593

Moments d'inertie: ( grammes \* millimètres carrés )

Aide Imprimer... Copier dans le Presse-papiers

## Masse d'un piston usiné



Propriétés de masse

Piston 080340.SLDPRT

Options...

Remplacer les propriétés de masse... Recalculer

Inclure les corps/composants cachés

Créer la fonction Centre de masse

Afficher la masse du cordon de soudure

Indiquer les valeurs de coordonnées relatives à: -- par défaut --

Masse = 479.70 grammes

Volume = 171322.96 millimètres cubes

Superficie = 56113.31 millimètres carrés

Centre de gravité: ( millimètres )  
X = -0.06  
Y = 18.84  
Z = 0.10

Principaux axes et moments d'inertie: ( grammes \* millimètres carrés )  
Pris au centre de gravité.  
Ix = ( 0.05, -0.02, 1.00) Px = 378734.21  
Iy = ( 1.00, 0.02, -0.05) Py = 401550.68  
Iz = (-0.02, 1.00, 0.02) Pz = 467190.41

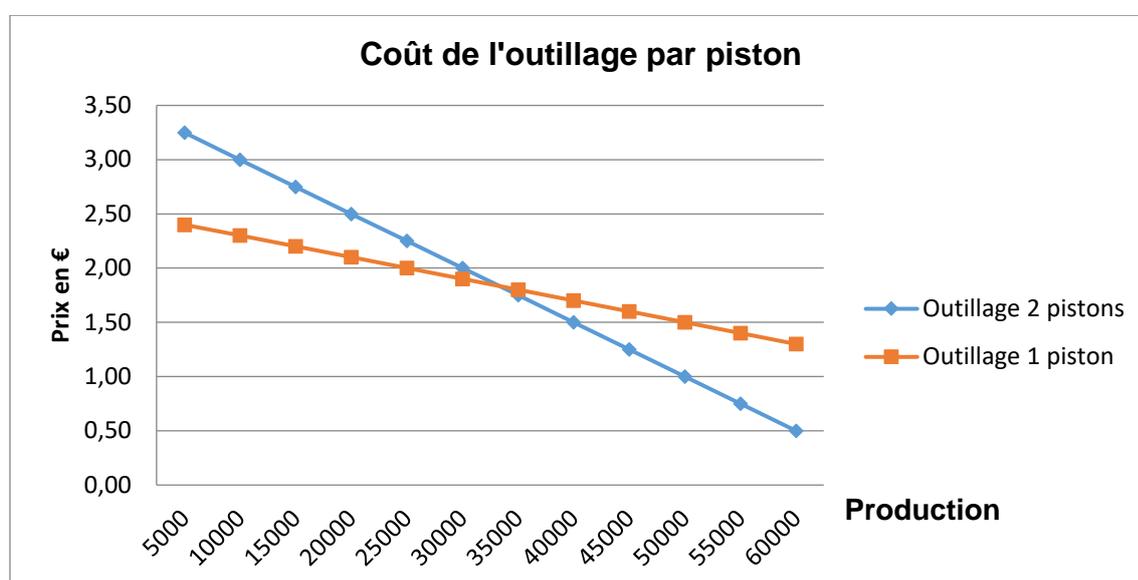
Moments d'inertie: ( grammes \* millimètres carrés )  
Pris au centre de gravité et aligné avec le système de coordonnées de sortie.  
Lxx = 401508.26 Lxy = 1115.82 Lxz = 1213  
Lyx = 1115.82 Lyy = 467131.58 Lyz = -185  
Lzx = 1213.89 Lzy = -1856.12 Lzz = 3788

Aide Imprimer... Copier dans le Presse-papiers

## DT18 – Four de maintien à creuset non-basculant

Modèle	Tmax	Creuset	Capacité en alliage d'aluminium kg	Dimensions extérieures en mm			Puissance de chauffe kW	Poids kg	Puissance de fusion kg/h	Maintien de la chaleur couvercle ouvert kW
				L	P	H				
T110/10	1000	BU 200	300	1240	1240	1130	26	890		10 pour 700°C

## DT19 – Coût de l'outillage par pièce



## DT20 – Données financières

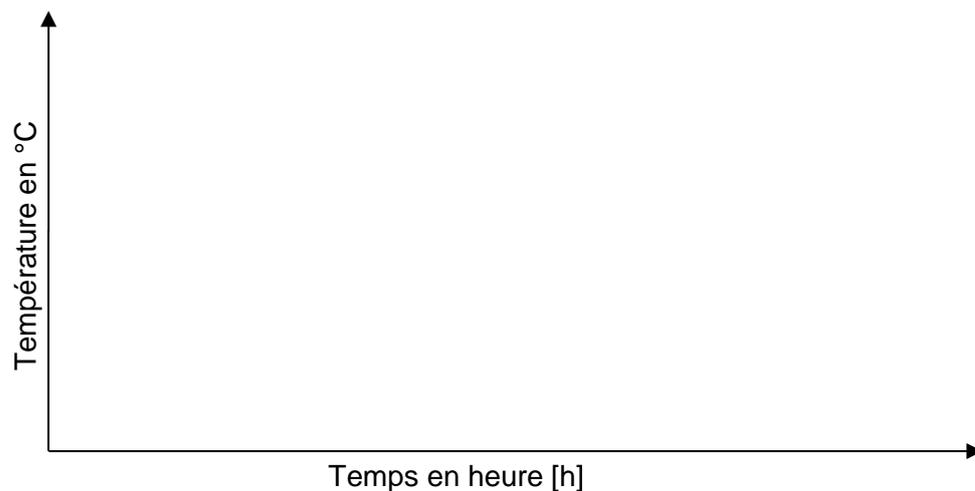
Coût énergétique de la fusion d'un piston	0,05 €
Prix d'un anneau porte segment	0,80 €
Prix de l'alfinage pour 500 anneaux	60 €
Prix d'un noyau de sel	0,08 €
Coût énergétique du four de préchauffage pour 100 noyaux	1,03 €
Coût horaire opérateur pour ce poste	28,50 €

## DT21 – Gamme de fabrication

<b>GAMME DE FABRICATION</b>		<b>ENSEMBLE</b>		
		Pièce :	Matière :	Brut :
		PISTON DIESEL	AlSi12CuNiMg	
		Nombre : 2	Date :	Établi par :
PHASE	Désignation des phases  Opérations	Machines  Outillages	Observations / Temps	
<b>10</b>	Préparation du poste  a) Poteyer les parties 1, 2 et 3 de la coquille b) Chauffer les noyaux de sel	- Buse de poteyage - Four	- / 10 secondes - 180°C / 10 minutes	
<b>20</b>	Mettre en place les noyaux de sel sur le support	- Pince	Montage serré / 10 secondes	
<b>30</b>	Monter en force les noyaux de sel	- Presse	500 N/ 4 secondes	
<b>40</b>	Fermer partie 1 et 2 de la coquille	- Vérins V1 et V2  - Demi-coquilles 1 et 2	/ 2 secondes	
<b>50</b>	Mettre en place « anneau porte segment »  a) Plonger l'anneau dans un bain d'Alfin b) Mettre en place l'anneau sur son support dans la coquille	- Pince	- / 5 secondes - / 10 secondes	
<b>60</b>	Fermer partie supérieure 3 de la coquille	- Vérins V3  - Partie supérieure 3	/ 2 secondes	
<b>70</b>	Remplir La louche céramique d'alliage liquide	- Four de maintien - Louche céramique	Métal liquide 700°C / 5 secondes	
<b>80</b>	Positionner la louche sur entonnoir de coulée	- Bras automatisé BA1 - Louche céramique	- / 3 secondes	
<b>90</b>	Remplir entonnoir	- Bras automatisé BA1 - Louche céramique	- / 2 secondes	
<b>100</b>	Basculer coquilleuse et louche	- Bras automatisé BA1 - Vérins V4 - Louche céramique	Entonnoir rempli / - secondes	
<b>110</b>	Attendre solidification /  Souffler la louche	- Buse de soufflerie	- / 90 secondes	
<b>120</b>	Ouvrir partie supérieure 3 de la coquille	- Vérins V3  - Partie supérieure 3	- / 2 secondes	
<b>130</b>	Ouvrir partie 1 et 2 de la coquille	- Vérins V1 et V2  - Demi-coquilles 1 et 2	- / 2 secondes	
<b>140</b>	Retirer la Grappe	- Pince	- / 5 secondes	
<b>150</b>	Tronçonner les masselottes et attaques	- Bras automatisé BA2 - Pince - Tronçonneuse	- / 10 secondes	

## DR1 – Document réponse 1

Question 1.2



## DR2 – Document réponse 2

Question 1.2

<b>PHASE</b>	<b>Désignation des phases</b> Opérations	<b>Machines</b> <b>Outillages</b>	<b>Observations / Temps</b>
151			
152			
153			

## DR3 – Document réponse 3

Question 1.9

<b>PHASE</b>	<b>Désignation des phases</b> Opérations	<b>Machines</b> <b>Outillages</b>	<b>Observations / Temps</b>
	Dissoudre les noyaux de sel	- Dessaleuse	



## DR4 – Document réponse 4

Question 1.17

Solution pour un piton

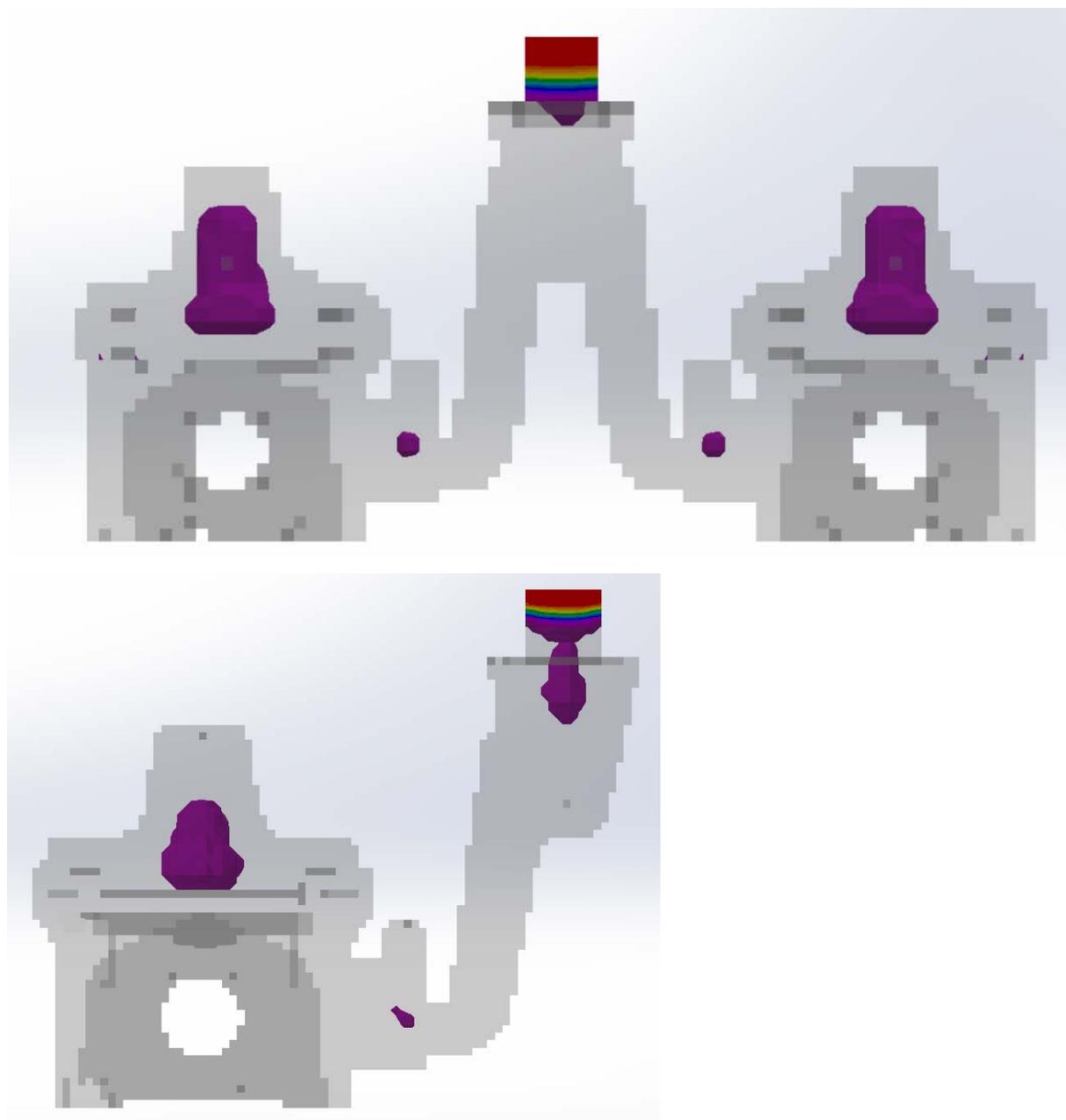
100	Basculer coquilleuse et louche	- Bras automatisé BA1 - Vérins V4 - Louche céramique	Entonnoir rempli / secondes
-----	--------------------------------	--	-----------------------------

Solution pour deux pistons

100	Basculer coquilleuse et louche	- Bras automatisé BA1 - Vérins V4 - Louche céramique	Entonnoir rempli / secondes
-----	--------------------------------	--	-----------------------------

## DR5 – Document réponse 5

Question 1.18





**DR6 – Document réponse 6**

## Question 2.6

<b>Désignation</b>	<b>Coût</b>	<b>Coût par piston</b>
Coût matière		
Coût outillage		
Coût énergétique de maintien de fusion		
Coût énergétique de fusion pour un piston	<b>0,05 €</b>	
Coût anneau porte segment	<b>0,80 €</b>	
Coût de l'alignage de 500 segments	<b>60 €</b>	
Coût d'un noyau de sel	<b>0,08 €</b>	
Coût énergétique de chauffage de 100 noyaux	<b>1,03 €</b>	
Coût horaire opérateur pour un poste	<b>28,50 €</b>	
	<b>TOTAL</b>	

