

BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR FONDERIE

Épreuve E4 CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

Session 2024

Coefficient 4 – Durée 6 heures

Aucun document autorisé

Les calculatrices de poche sont autorisées, conformément à la réglementation en vigueur
Crayons de couleur recommandés



Constitution du sujet :

- **Dossier Sujet** (*mise en situation et questions à traiter par le candidat*)
 - **Mise en situation** (30 minutes)Page 2 et 4
 - **PARTIE 1** (1 heure)Pages 4 et 5
 - **PARTIE 2** (1 heure 30 minutes)Pages 5 et 6
 - **PARTIE 3** (30 minutes)Pages 6 et 7
 - **PARTIE 4** (1 heure)Pages 7 et 8
 - **PARTIE 5** (1 heure 30 minutes)Pages 8 et 9
- **Dossier Technique**Pages 10 à 25
- **Documents Réponse**.....Pages 26 à 30

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

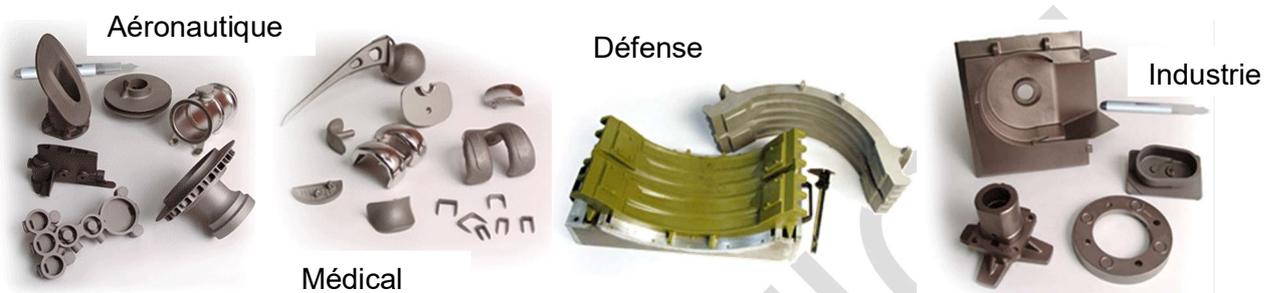
Les documents réponses DR1 à DR5 seront à rendre (même vierges) avec les copies.

BTS FONDERIE - Corrigé		Session 2024
Épreuve E4 : conception préliminaire	Code : 24FO4CP/Bis	Page 1 / 35

Mise en situation

L'entreprise **PRECICAST** est une fonderie de précision, procédé "cire perdue", produisant des composants techniques pour les industries de l'aéronautique, de l'énergie, de l'hydraulique et du médical.

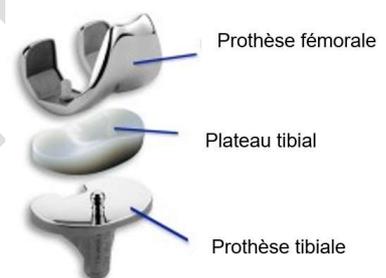
PRECICAST est positionnée sur des marchés de petites et moyennes séries, transforme des alliages bases fer, principalement inoxydables, des alliages bases cobalt, bases nickel ainsi que quelques alliages à base de cuivre ou d'aluminium coulés à l'air ou sous vide.



L'entreprise a été sollicitée pour la production de prothèses de genoux.

Les prothèses du genou ont pour but de remplacer l'articulation du genou en cas d'arthrose, c'est-à-dire lorsque le cartilage articulaire a disparu.

Cette prothèse de genou peut être totale, remplaçant les trois compartiments du genou (interne, externe et rotulien) ou partielle remplaçant un seul compartiment (interne ou externe).



Environ 40 000 prothèses du genou sont posées chaque année. Elles permettent le plus souvent de faire disparaître les douleurs et de retrouver une bonne mobilité.

Le chirurgien va remplacer la totalité des surfaces articulaires du fémur, du tibia et de la rotule par une prothèse totale qui se compose de trois implants différents :

- La prothèse fémorale va glisser et rouler sur le plateau tibial en polyéthylène.
- La prothèse tibiale qui comprend elle-même deux parties :
 - Un plateau métallique ancré dans le tibia.
 - Une plateforme rotative ou fixe en polyéthylène qui repose sur le plateau métallique tibial.
- La prothèse de la rotule : en polyéthylène, elle n'est pas posée systématiquement, cela dépend de l'usure de la rotule et du type de prothèse utilisée.



Généralement les implants métalliques sont en Chrome-Cobalt (alliage inoxydable médical), cependant ce type d'alliage comporte des traces de Nickel. En cas d'allergie au Nickel, l'usage d'implants en titane est possible.

Pour s'adapter à toutes les morphologies, les prothèses sont déclinées en plusieurs types : TP (Très Petite), P (Petite), M (Moyenne), G (Grosse), TG (Très Grosse) pour genoux droit et gauche (les dimensions des pièces varient quelque peu en fonction du type).

BTS FONDERIE - Corrigé		Session 2024
Épreuve E4 : conception préliminaire	Code : 24FO4CP/Bis	Page 2 / 35

Sujet de l'étude :

Dans ce sujet il vous est proposé d'étudier la fabrication de la prothèse fémorale ci-contre :

Pièce : Prothèse fémorale PFDTP BR22 (sujet de l'étude – Prothèse Fémorale Droite Très Petite)

Domaine : Médical

Alliage : NF ISO 5832-4 (voir analyse spectrographique DT15) :

STELLITE (nom commercial appartenant à Kennametal Inc)



Extrait du cahier des charges :

R_m mini : 665 MPa

R_{pe} mini : 450 MPa

Allongement mini : 8 %

État de livraison : brut avec forme extérieure polie

Retrait linéaire métal : 1,7 %

Tolérance générale : $\pm 0,2$ mm

Rugosité générale R_a : 1,6 μm

Rugosité générale sur 100 % de la surface de frottement de la pièce : $R_a 0,2 \mu\text{m}$

Nombre de moules d'injection cire : 5 pour les pièces de type « gauche » et 5 pour les pièces de type « droit ». Soit dix moules au total pour pouvoir faire toutes les tailles.

Nombre d'empreinte par moule d'injection cire : 1

Objectif de production, contraintes :

- les premiers prototypes seront à livrer au 4^{ème} trimestre de l'année prochaine ;
- par la suite, la production sera de 30 pièces / mois pour chaque type dès la première année sur 5 ans.

Travail demandé

PARTIE 1 – Etude de la prothèse

Avant toute chose, il faut déterminer les cadres d'utilisations de la prothèse. Pour ce faire nous allons prendre le cas de la pose d'une prothèse droite sur un enfant mâle de 9 ans. La prothèse sera un modèle TP droite.

Question 1.1 | À l'aide de la courbe de croissance et de la courbe de l'indice de masse corporelle, vous devez **déterminer** à quel effort est soumise la prothèse. On suppose que l'enfant à un indice de masse corporelle idéal. On considère que $g = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$.
DT1, DT2
Feuille de copie

IMC : 16

Taille : 1.33 m

$$\text{IMC} = \frac{m}{\text{Taille}^2} \Rightarrow 16 = \frac{m}{1.33^2}$$

$$m = 16 \times 1.33^2 = 28.3 \text{ kg}$$

$$P = 28.3 \times 9.81 = 277.623 \text{ N}$$

$$16 = \frac{m}{1.33^2}$$

Une étude statique avec une simulation d'un cas de charge a été réalisée.

Question 1.2 | **Relever** la contrainte maximale dans la pièce.

DT3

Feuille de copie

177.1 MPa

La prothèse a pour but d'assurer une vie la plus normale possible. L'étude précédente ne tenait compte que du poids de l'enfant. En considérant que celui-ci a une masse de **28 kg**. On effectue donc une nouvelle étude, en tenant compte des efforts dynamiques.

Question 1.3 | **Calculer** l'effort qui doit être indiqué dans le logiciel de simulation pour représenter les efforts maximaux de la vie courante, même lors d'activités physiques.

DT4

Feuille de copie

$$F = m \times k \times g$$

$$m = 28 \text{ kg} \quad k = 8 \quad g = 9.81$$

$$F = 28 \times 8 \times 9.81 = 2197.44$$

Soit environ 2200 N

L'étude en mouvement représente les efforts auxquels est soumise la prothèse lors d'une activité physique.

Question 1.4 | **Relever** la contrainte maximale de cette nouvelle étude.

DT5

Feuille de copie

267 MPa

L'étude en mouvement est choisie comme étude de référence pour réaliser une simulation de déformation.

Question 1.5 | **Vérifier**, à l'aide de la déformée obtenue par la simulation et du dessin de définition, si l'exigence ID 3.4 est respectée.

DT6, DT7, DT8

Feuille de copie

Déformation réelle = 0.1 mm

Déformation admissible = $\frac{46 \times 8}{100} = 3.68$ mm

Déformation réelle < Déformation admissible

Donc oui

Question 1.6 | Compte tenu des résultats de l'étude en mouvement, **déterminer** le coefficient de sécurité vis-à-vis de la résistance pratique élastique.

Mise en situation,

DT5, DT7

Feuille de copie

$R_{pe} \leq \sigma_{max}$

$$R_{pe} = \frac{R_p}{s} \Rightarrow s = \frac{R_p}{R_{pe}}$$

$$s = \frac{R_p}{R_{pe}} = \frac{450}{267} = 1.69 \text{ soit } 1.7$$

Question 1.7 | D'après les réponses aux précédentes questions, **conclure** sur la conformité du choix de l'alliage.

Mise en situation,

DT7

Feuille de copie

Le coefficient de sécurité est respecté.

La déformation admissible est respectée.

Le choix de l'alliage est conforme.

PARTIE 2 – Etude de faisabilité

Dans cette partie, on souhaite justifier le choix du moulage en cire perdue et vérifier l'aptitude des moyens de production en fonction des contraintes exigées par l'extrait du cahier des charges (série, délai, précision dimensionnelle, rugosité).

Question 2.1 | **Relever** la spécification dimensionnelle et la spécification géométrique dont les intervalles de tolérance sont les plus faibles.

DT8

DR1

Spécification	
Dimensionnelle	40 (0/-0,2)
Géométrique	// 0,05 E

Question 2.2 | **Déterminer** les classes de tolérances dimensionnelles correspondant à l'alliage et au procédé.

Mise en situation

DT8, DT11, DT12

Feuille de copie

Relever les intervalles de tolérance correspondants pour les pions de $\varnothing 8$ mm.
Vérifier si ces intervalles respectent les exigences du cahier des charges.

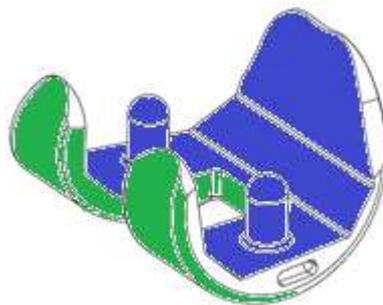
Classes 4 à 6. Intervalles : 0,26-0,36-0,52. IT de 0,4 sur DT8 donc les classes 5 et 6 sont bonnes

On souhaite identifier les surfaces fonctionnelles de la pièce et leurs spécificités.

Question 2.3 | **Colorier** en vert la ou les surfaces en contact avec le plateau tibial et en bleu les surfaces en contact avec l'os du fémur.

Mise en situation,
DT8

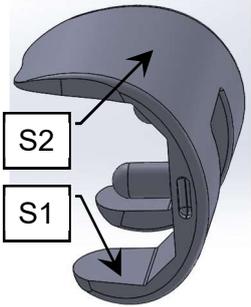
DR1



Question 2.4 | **Indiquer** les rugosités spécifiées des deux surfaces proposées.

DT7, DT8

DR1

	Surface	Valeur de la rugosité en Ra
	S1	Ra = 1.6
	S2	Ra = 0.2

Question 2.5 | **Indiquer** si les valeurs des rugosités du cahier des charges sont réalisables avec le procédé cire perdue. Dans le cas contraire, **proposer** un procédé permettant de garantir en standard cette qualité de surface.

DT7, DT8, DT10, DT14

DR1

Surface	Adéquation avec le procédé cire perdue	Si « non », autre procédé si nécessaire
S1	Oui / Non	
S2	Oui / Non	Polissage mécanique

On se propose de vérifier que l'outillage d'injection de la cire permet de réaliser la série demandée ou s'il est nécessaire de prévoir un outillage supplémentaire.

Question 2.6 | **Calculer** le nombre de pièces de la série.

Mise en situation,

DT7, DT11

Feuille de copie

Vérifier si la durée de vie de l'outillage correspond à la quantité de pièces à produire.

Nombre de pièce de la série = $30 \times 12 \times 5 = 1800$

Oui car l'outillage correspond à des séries de 500 à 5000.

Question 2.7 | Compte tenu des réponses précédentes **conclure** quant à la compatibilité du procédé cire perdue.
DT7, DT8, DT10, DT11, DT12
Justifier votre réponse.
Feuille de copie

Le procédé convient, il correspond à la qualité et à la série souhaitée.

La cire à un taux de cendre de 0,05% maxi.

Question 2.8 | **Expliquer** en quoi ce taux de cendre peut impacter la qualité de la pièce.
DT13
Indiquer à quelle étape du cycle de fabrication les cendres apparaissent.
Feuille de copie

La présence de cendre dans la carapace peut générer des inclusions. Ce problème provient de l'étape de décirage.

Question 2.9 | **Expliquer** la fonction des formes 1 et 2 de la grappe en cire.
DT13, DT17
Justifier votre réponse.
Feuille de copie

Forme 1 : Médaille pour analyse spectrographique
Forme 2 : Formes dédiées à l'opération de décirage

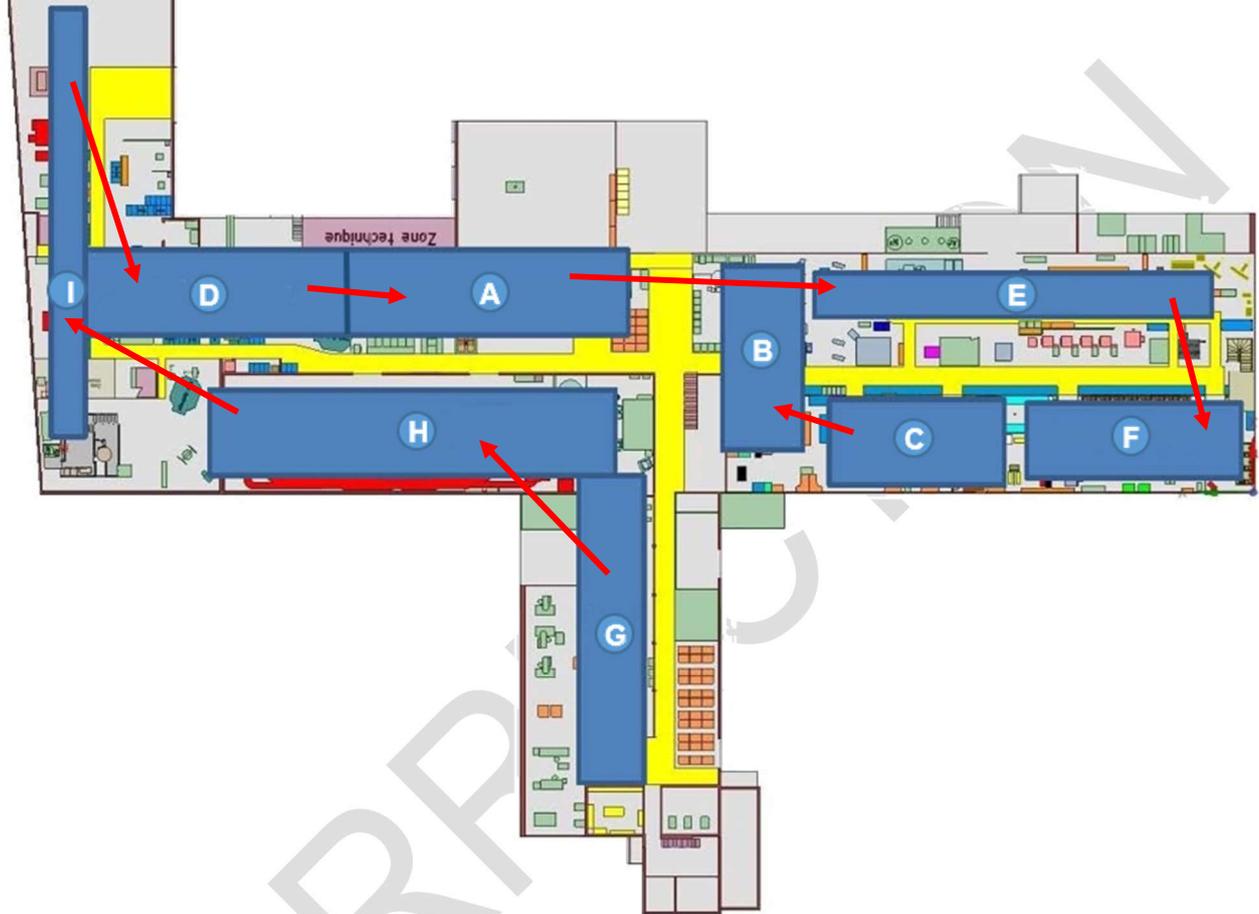
Question 2.10

DT13, DT14

DR2

Tracer le cheminement de la réalisation de la pièce dans l'atelier (relier les lettres par des flèches). **Commenter** le flux de production.

Plan d'établissement / Flux de production



Commenter le flux de production.

Du parachèvement 1, on passe au parachèvement 2 en passant par l'expédition.
Risque de problème de flux.

PARTIE 3 – Étude de l'alliage

Le procédé de moulage étant défini, procédé cire perdue et four par retournement, on souhaite maintenant vérifier la conformité de l'alliage. L'élaboration du lit de fusion s'effectue à partir de la composition chimique de l'alliage relatif à la norme NF ISO 5832-4.

Question 3.1 | **Calculer** la masse d'alliage nécessaire à la réalisation d'une grappe

DT22

Feuille de copie

Volume grappe : $1\,752\,757\text{ mm}^3 \Rightarrow 0.001752757\text{ m}^3$

Masse grappe = $8\,300 \times 0.001752757 = 14.55\text{ kg}$

Une analyse spectrographique est réalisée sur l'alliage avant la coulée.

Question 3.2 | **Relever** la ou les valeurs hors limites de l'analyse spectrographique. **Calculer** la ou les masses du ou des éléments d'alliage qu'il est nécessaire d'ajouter pour être en accord avec les valeurs visées (considérer la valeur moyenne).

DT15

Feuille de copie

chrome : 27-30 : 26,5 manque 2%

Ou en indiquant de rajouter 0.5%

Mg = 14,55 kg - Cr : 2% : 291gr

Et le calcul masse

On part de l'hypothèse que l'alliage est considéré comme binaire.

Question 3.3 | Si on se considère à 30% de Chrome, **donner** à l'aide du diagramme d'équilibre la température de consigne du four pour une surchauffe de 100°C .
Justifier votre réponse.

DT16

Feuille de copie

$\theta = 1600 + 100 = 1700^\circ\text{C}$

À la suite du premier prototype, on constate un problème de « mal venue » dans les zones de faibles épaisseurs sur la pièce.

Question 3.4 | **Proposer** deux solutions de mise en œuvre pour résoudre ce problème.

DT8, DT17

Feuille de copie

Justifier votre réponse.

Coulée sous vide / événements

Ces solutions permettront un meilleur remplissage des empreintes dans les zones de faibles épaisseurs avant la solidification de l'alliage.

Une opération de traitement thermique est nécessaire dans la gamme de fabrication pour garantir les caractéristiques mécaniques demandées par le client.

Question 3.5 | **Positionner** cette opération dans la gamme.

DT14

Feuille de copie

PH 85

PARTIE 4 – Étude de l'outillage d'injection cire

L'objectif de cette partie est de valider l'outillage d'injection cire.

Question 4.1 | **Déterminer** les éléments susceptibles de subir une usure. **Préciser** comment ce problème a été pris en compte par les concepteurs.

Mise en situation

DT9, DT18, DT20

Feuille de copie

Les tiroirs rep 2 et 11.

Les plaques d'usures en bronze rep 3

Question 4.2 | **Déterminer** quels éléments réalisent sur le modèle cire les poches définies dans les détails C et D du dessin de définition.

DT8, DT18, DT20

Feuille de copie

Les tiroirs à noyau rep 6 et 7

Question 4.3 | L'outillage présente une dimension de $\varnothing 8,17$ mm. Cette dimension correspond au pion de $\varnothing 8$ mm sur la prothèse. **Expliquer** et **justifier** par le calcul cet écart dimensionnel.

Mise en situation,
DT8, DT22

Feuille de copie

Retrait de la cire : 0.5% et retrait de l'alliage : 1.7%

$8.17 \times ((1 - 0.005) \times (1 - 0.017)) = 7.99$ environ 8mm

Question 4.4 | **Expliquer** pourquoi les pièces « Tiroir noyau », repère (6) et (7), ne sont pas identiques.

DT8, DT18,
DT19, DT20

Feuille de copie

Le tiroir à noyau 2 comporte le canal et le seuil d'injection

On souhaite vérifier que la presse à injecter retenue est adaptée.

Question 4.5 | **Calculer** la force d'ouverture du moule lors de l'injection et **vérifier** qu'elle est inférieure à la force de fermeture de la presse en sachant que le coefficient de sécurité souhaité de la presse est de 3.

DT9, DT20, DT22

Feuille de copie

$$F_o = P \times S_p = (2000000/0,003020) \times 3 = 18120 \text{ N soit } 1847 \text{ Kg}$$

$F_f > F_o$ correct

Il est possible de faire varier plusieurs paramètres dans le cas où le modèle en cire présente des défauts. Certains de ces paramètres sont de l'ordre de la conception, d'autres de l'ordre des réglages lors de la fabrication.

Question 4.6 | **Indiquer** pour chacun des paramètres s'il est à prendre en compte lors de la conception et/ou de la fabrication.

DT8, DT20

DR3

Paramètre	Conception de l'outillage	Fabrication
Température du moule	X	X
Diamètre d'injection	X	
Pression d'injection		X
Diamètre de l'attaque	X	
Température du plateau de la presse		X
Température de la cire		X
Modification ou ajout de tirage d'air	X	

Question 4.7 | **Expliquer** le choix du matériau des pièces repère 5 et 13 (*bloc central, noyau...*) 2017 A (AlCu4Mg).

DT9, DT20, DT21

Feuille de copie

De bonnes caractéristiques mécaniques, une bonne inertie thermique, assez léger pour être manipulé à la main et une bonne usinabilité.

Question 4.8 | Après analyse de l'outillage, **compléter** la gamme de fabrication du modèle en cire.

DT9, DT18,
DT20,
DR3.

N° Phase	Opérations
10	Inspection outillage
20	Mise en place de l'outillage
30	Vaporisation spray de démoulage
40	Fermeture outillage
50	Injection cire
60	Refroidissement
70	Ouverture du moule
80	Ouverture des tiroirs repères (2) et (11)
90	Ouverture des tiroirs repères (6) et (7)
100	Ejection de la pièce
110	Nettoyage outillage

Question 4.9 | **Expliquer** quelles sont les fonctions assurées par les pièces Talon (14).

DT20, DT23
Feuille de copie

Les Talons (14) servent à maintenir fermés les tiroirs lors de l'injection et assurent une mise en place automatique des tiroirs lors de la fermeture de l'outillage.

PARTIE 5 – Élaboration d'un devis

L'entreprise recherche désormais à vérifier la viabilité économique de ses choix de production.

Question 5.1 | **Calculer** la mise au mille. **Commenter** la valeur obtenue en la comparant aux mises au mille usuelles.

Mise en situation,

DT17, DT22

Feuille de copie

Proposer une amélioration pour diminuer le coût matière.

Masse de la grappe : $8300 \times 0.001752757 = 14.54 \text{ kg}$

Masse totale pièce : $222 \times 12 = 2.66 \text{ kg}$

Mise au mille : $\frac{\text{masse grappe}}{\text{masse totale pièce}} = \frac{14.54}{2.664} = 5.46$

La mise au mille est importante, habituellement elle se situe entre 1 et 3 environ.

L'utilisation de chenaux et attaques standards « surdimensionnés » explique cela. Il pourrait être souhaitable de calculer les sections de ces éléments afin d'optimiser le système de remplissage et ainsi d'améliorer la mise au mille.

On considère que la production génère un taux de rebut de 3 %.

Question 5.2 | **Calculer** la série minimale à produire annuellement.

Mise en situation

Feuille de copie

30 pièces / mois pendant 5 ans.

Donc : $30 \times 12 \times 5 = 1800$

Rebut de 3% : $\frac{1800}{1-3\%} = 1855.7$

Série totale : 1856

Donc série minable sur 5 ans $\frac{1856}{5} = 371,2$

Soit 372 pièces par an sur 5 ans.

Le prix de revient d'une pièce est composé de frais fixes et de frais variables suivant la série demandée.

Dans cette partie comparative, l'obtention des modèles qui seront montés sur l'arbre en cire peut se faire de deux façons :

- 1) Injection de cire dans un outillage
- 2) Prototypage rapide

Pour cette partie de l'étude, nous considérerons une série de 1920 modèles, soit 160 grappes.

Question 5.3 | **Calculer** le prix de revient des 12 modèles pour chaque procédé.

DT14, DT22
DR4

Coût des modèles obtenus par procédé d'injection cire				
		Temps ou Masse	Coût	Coût (€)
Masse des modèles		$1920 \times 100 = 192000 \text{ g}$	4.89 €/kg	$192 \times 4.89 = 938.88$
PH10	Coût total de la production des modèles en injection cire	$10.44 / 60 = 0.174 \text{ h}$	61 €/H	$0.174 \times 61 \times 1920 = 20378.88$
Coût total (matière + main d'œuvre) :				21317.76
Coût d'un modèle injecté :				11.103

Coût des modèles obtenus par prototypage				
		Temps ou Masse	Coût	Coût (€)
Coût matière cire pour les modèles		107.5 g	600 €/kg	$0.1075 \times 600 \times 1920 = 123840$
Coût matière support pour les modèles		61 g	400 €/kg	$0.061 \times 400 \times 1920 = 46848$
PH200	Réalisation des modèles en cire	1.2 h	50 €/H	$1.2 \times 50 \times 1920 = 115200$
PH210	Dissolution du support / Main œuvre	1.5 h	26 €/H	$1.5 \times 26 \times 1920 = 74880$
Coût total des modèles en prototypage cire :				360768
Coût d'un modèle en prototypage cire :				187.9

Le coût d'obtention d'un modèle en prototypage cire est 16 à 17 fois plus important que le procédé d'obtention d'un modèle cire en injection.

On souhaite déterminer à partir de combien de modèles il est avantageux d'investir dans un outillage plutôt que de produire les modèles en prototypage.

Question 5.4 | **Déterminer** la fonction du coût $C_i(n)$ de production de n modèles en injection en intégrant le coût de l'outillage.
 DT22
 Feuille de copie | **Déterminer** la fonction du coût $C_p(n)$ de production de n modèles en prototypage.

Injection cire : fonction de la forme $f(x) = A \times X + B = 11.103 \times X + 5500$
 Prototypage rapide : courbe de la forme $g(x) = C \times X = 187.9 \times X$

Question 5.5 | **Tracer** les deux fonctions coût qui correspondent aux équations de chaque procédé et **mettre** en évidence le point qui vous permet de faire le choix du procédé. (Utiliser le bleu pour l'injection cire et le vert pour le prototypage cire.)
 DR4
 Feuille de copie | **Déterminer** graphiquement et analytiquement le nombre de modèles à partir duquel l'investissement dans un outillage d'injection est rentable.
Justifier votre réponse.

Calcul du point d'intersection :

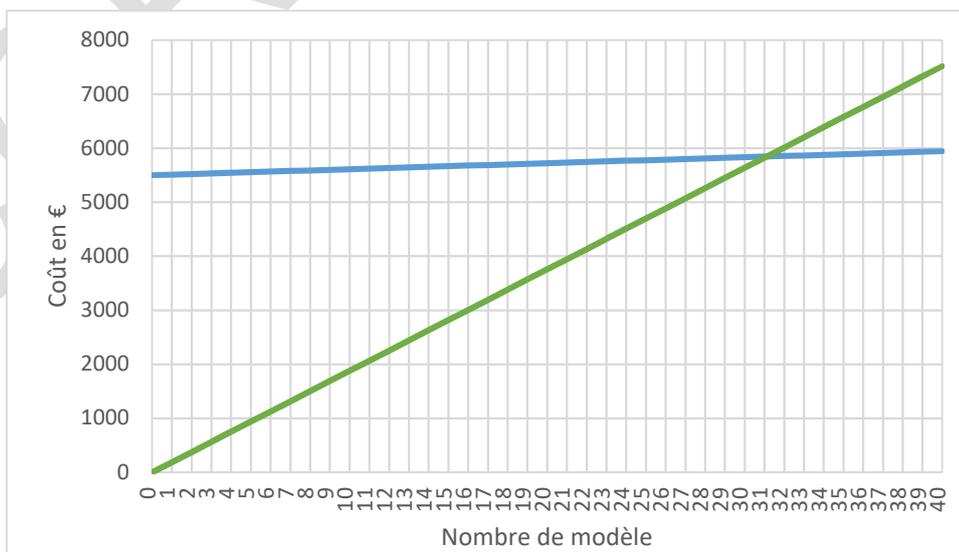
$$A \times X + B = C \times X$$

$$B = C \times X - A \times X$$

$$B = (C - A) \times X$$

$$\frac{B}{C - A} = X$$

$$\frac{5500}{187.9 - 11.103} = 31.109 \text{ soit } 3 \text{ grappes de coulée soit } 36 \text{ prothèses}$$



Pour le reste de la fabrication le procédé reste le même. Pour la suite de l'étude, nous considérerons les coûts des modèles suivants :

- Coût d'un modèle en injection cire : 12 euros
- Coût d'un modèle en prototypage cire : 188 euros

Question 5.6 | **Calculer** le prix de revient global d'une prothèse. **Comparer** le prix de revient pour chaque procédé.

DT14, DT22

DR5

Feuille de copie

Coût de l'assemblage de l'arbre en cire				
		Temps (min)	Coût horaire (€/h)	Coût (€)
PH20	Assemblage de la grappe	62.28	26	$1.038 \times 26 = 26.99$
Coût de la masse de cire du cadre				5.87
Coût total de l'arbre en cire				32.86

Coût de la réalisation de la carapace				
		Temps (min)	Coût horaire (€/h)	Coût (€)
Coût des composants pour une carapace				7.98
PH30	Réalisation de la carapace	6.45	82	$0.1075 \times 82 = 8.82$
Coût total de la réalisation de la carapace				16.8

Coût du déçirage et de la coulée				
		Temps (min)	Coût horaire (€/h)	Coût (€)
Coût de la coulée				700
PH50	Déçirage / Coulée à l'air / Solidification	15.5	54	$0.2583 \times 55 = 13.95$
Coût total du déçirage et de la coulée à l'air				713.95

Coût décochage / finition / contrôle / marquage				
		Temps (min)	Coût horaire (€/h)	Coût (€)
PH60	Décochage	6	35	$0.1 \times 35 = 3.5$
PH70	Tronçonnage	6,24	35	3,6
PH80	Reprise tronçonnage	29,04	35	16,9
PH90	Ébarbage - Grenailage	30	35	17,5
PH100	Finition	70,32	28	32,8
PH110	Sablage	9,96	28	4,6
PH120	Calibrage / Contrôles	78,96	28	36,8
PH130	Ressuage	13,2	33	7,3
PH140	Contrôle Rayon X	36,6	53	32,3
PH150	Marquage	6,6	34	3,7

PH XX	Traitement thermique	140	100	$2.3333 \times 100 = 233.33$
Coût total décochage / finition / contrôle / marquage				292.33

Coût total outillage d'injection cire

Coût total pour une grappe	$(1055.94 \times 160) + 5500 + (12 \times 1920) = 197490.4$
Coût total pour une pièce	$197490.4 / 1920 = 102.86$

Coût total prototypage

Coût total pour une grappe	$(1055.94 \times 160) + (188 \times 1920) = 529910.4$
Coût total pour une pièce	$529910.4 / 1920 = 275.995$

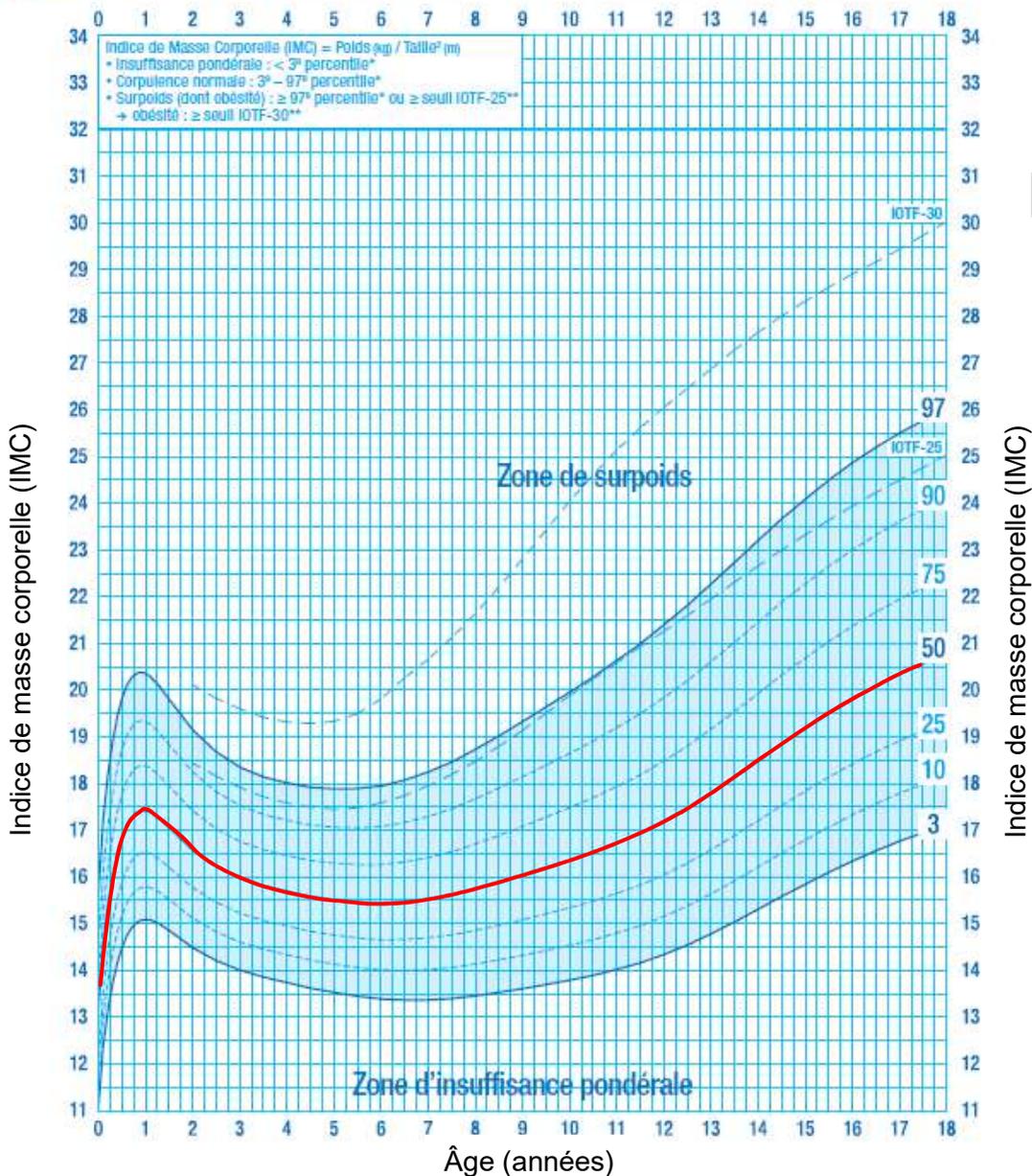
Le prototypage rapide peut être un avantage concernant les types de prothèses (TP, P et G, TG) qui ont des séries moins importantes sachant qu'un investissement dans des outillages sera trop important au regard de la série.

DT1 – Courbe d'indice de masse corporelle chez l'homme



Courbe de Corpulence chez les garçons de 0 à 18 ans

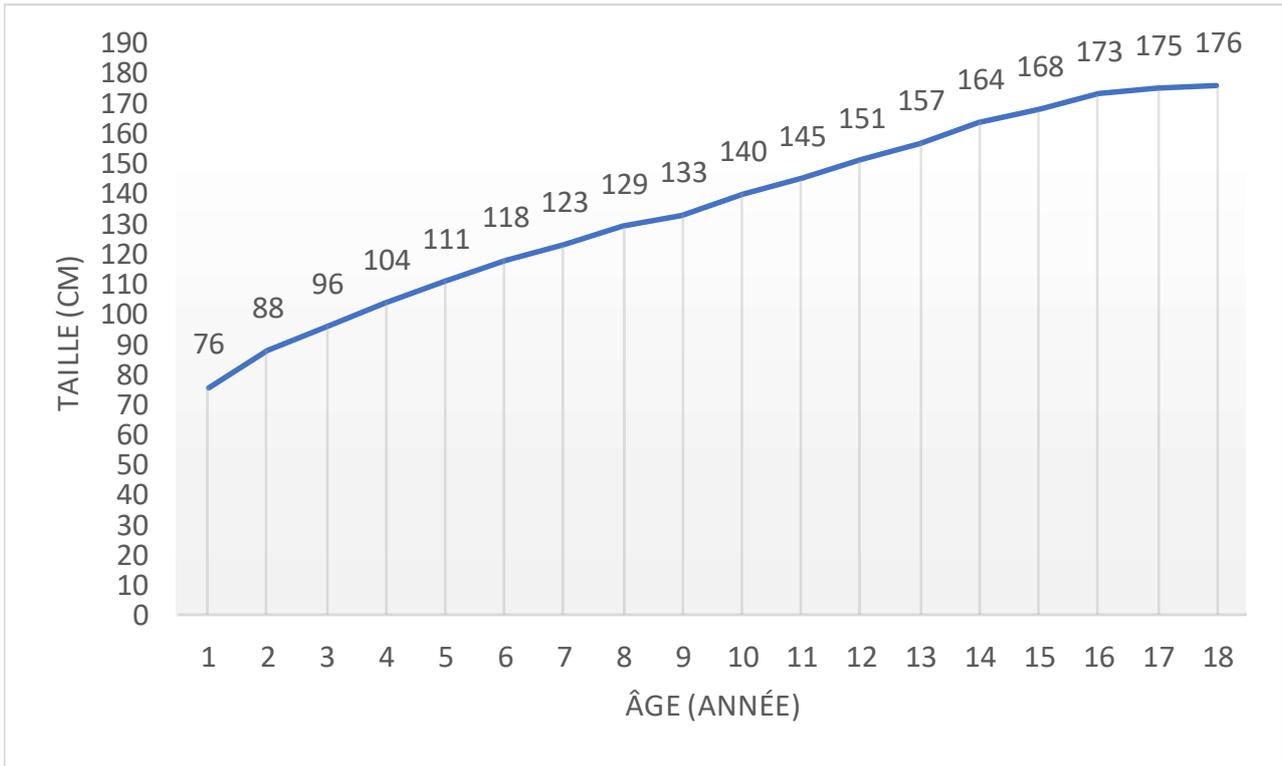
Nom : _____ Prénom : _____ Date de naissance : _____



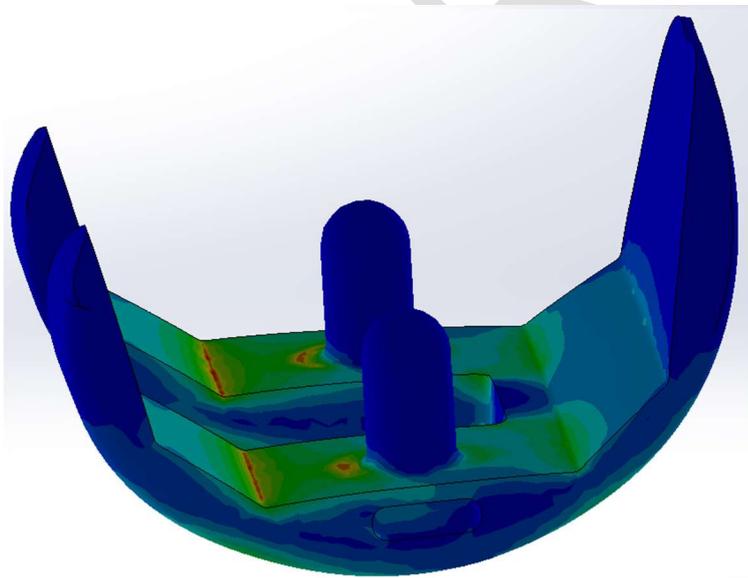
— IMC idéal

$$IMC = \frac{\text{Masse (en kg)}}{\text{Taille}^2 \text{ (en m)}}$$

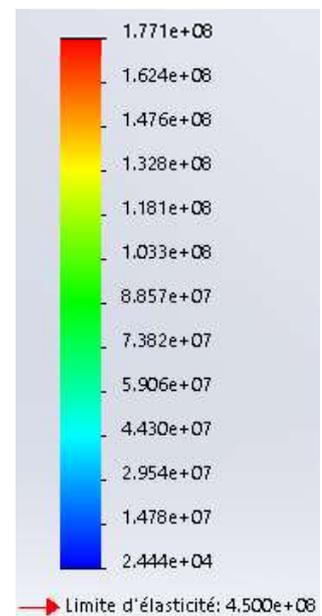
DT2 – Courbe de croissance pour un homme



DT3 – Étude statiques



Contrainte en N.m²



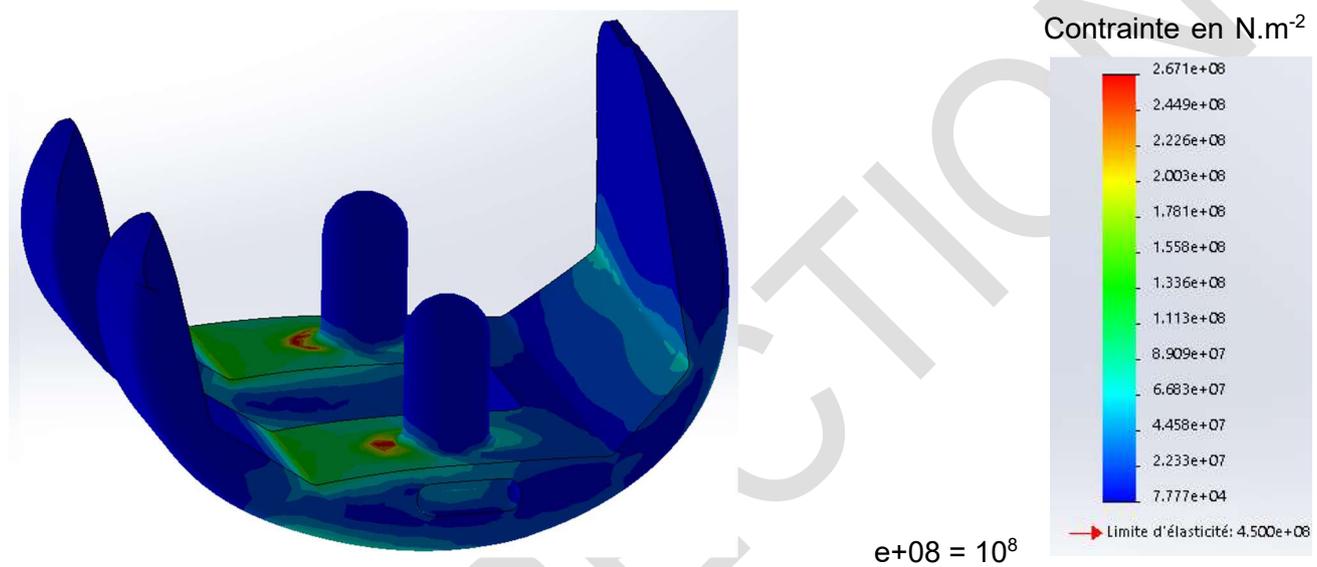
e+08 = 10⁸

DT4 – Extraits d'étude biomécanique sur la prothèse de genou

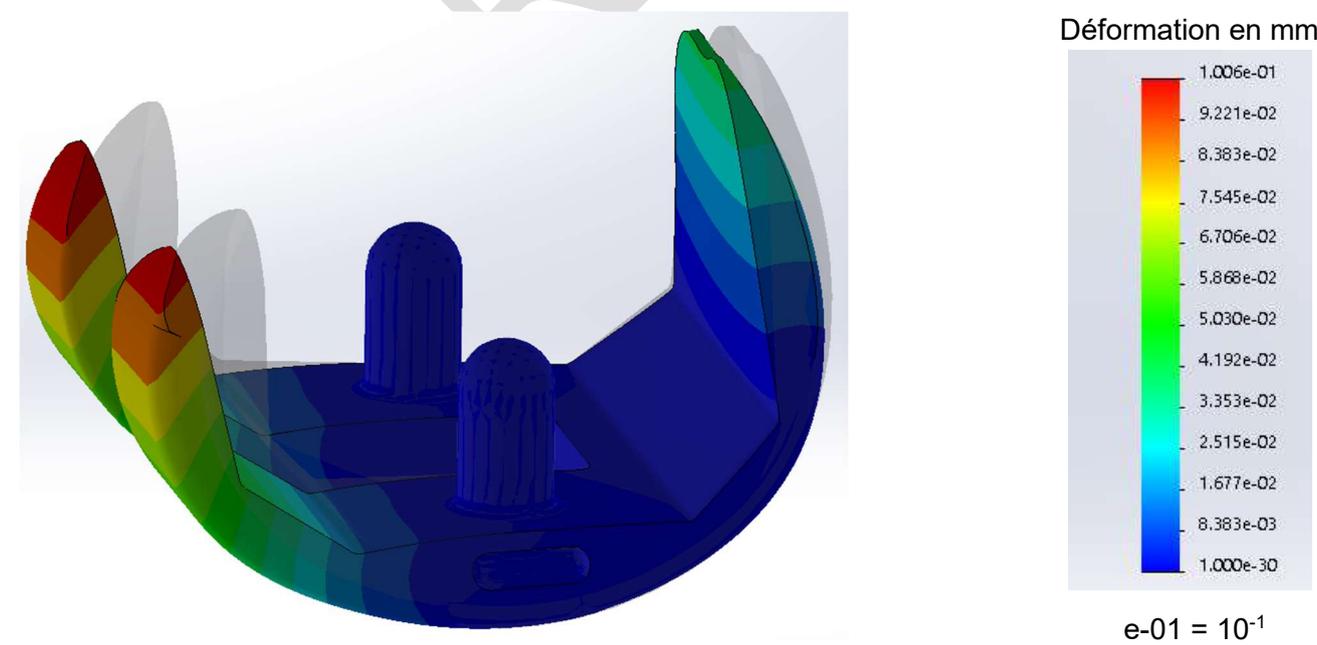
Des études biomécaniques ont pu montrer que les contraintes sur le genou naturel varient de 3 à 8 fois le poids du corps lors de la descente et montée d'escaliers.

Au cours de la marche les contraintes sont de l'ordre de 3 fois le poids du corps, lors du jogging elles sont multipliées par 8, lors du pédalage en vélo par 1,2, lors de la descente d'escaliers par 7.

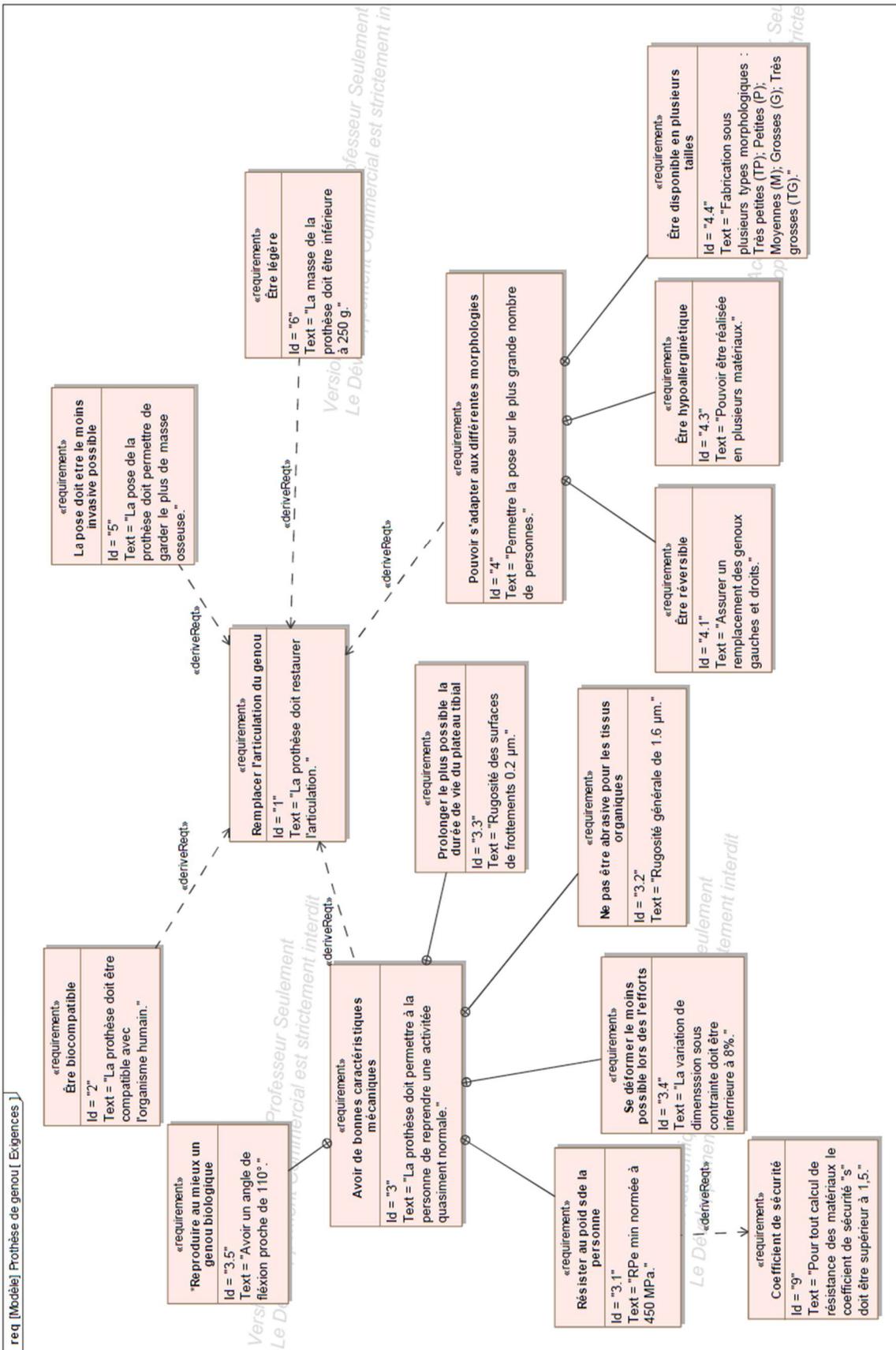
DT5 – Étude en mouvement



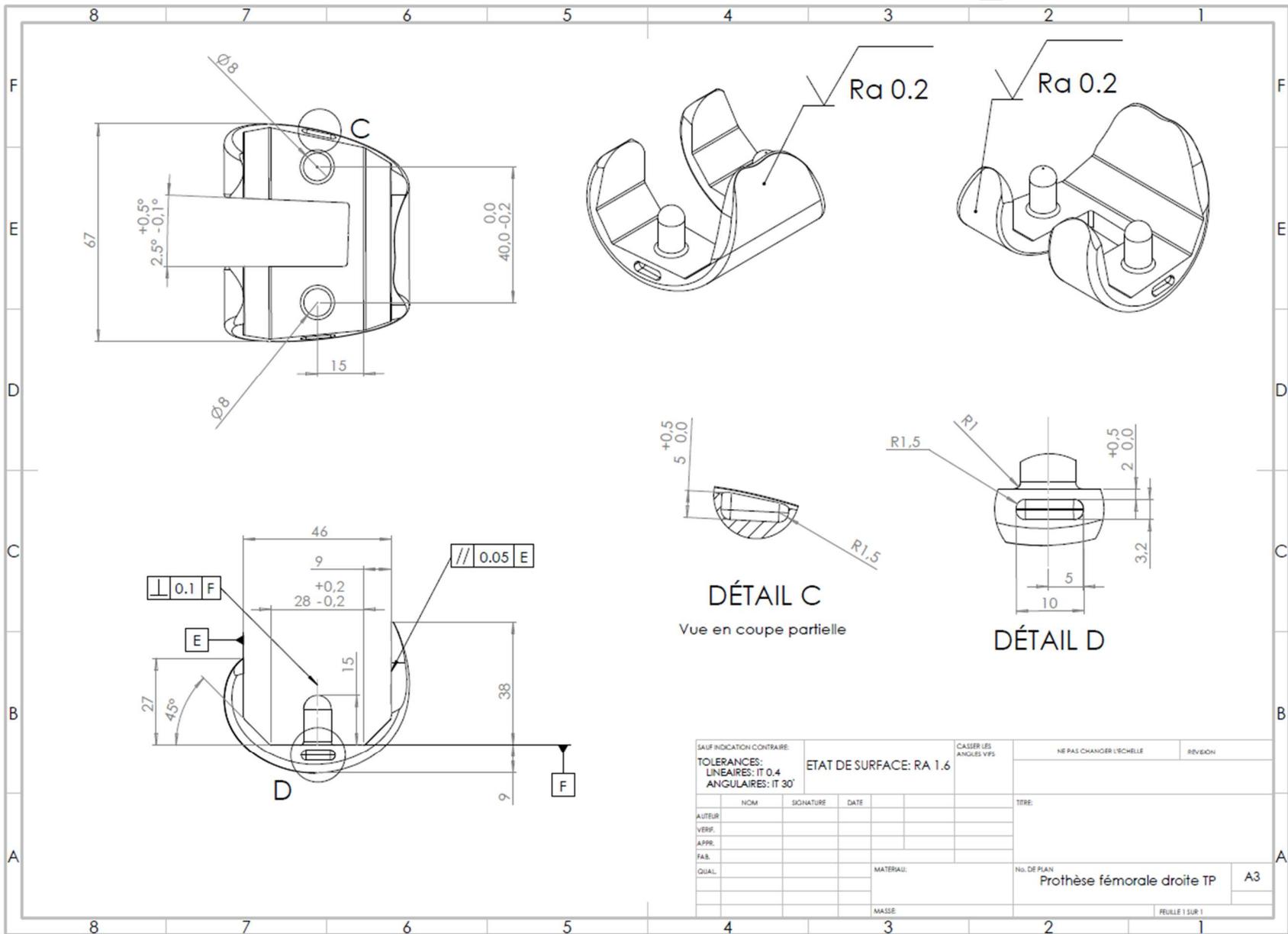
DT6 – Étude de déformation



DT7 – Diagramme d'exigence de la prothèse de genou

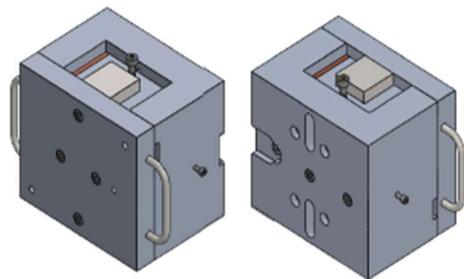
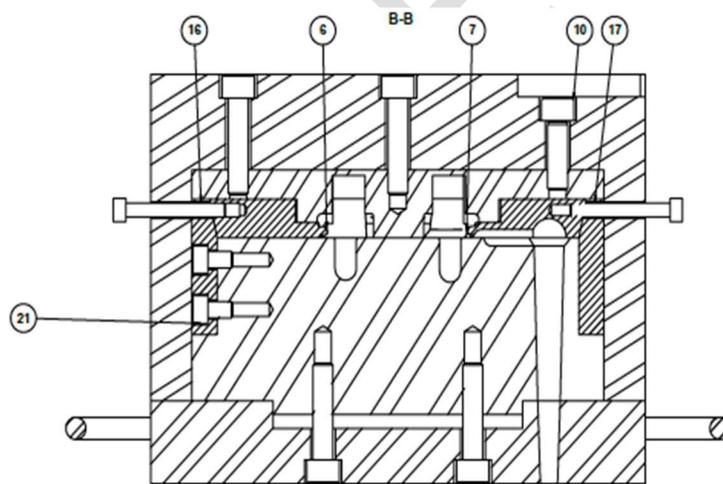
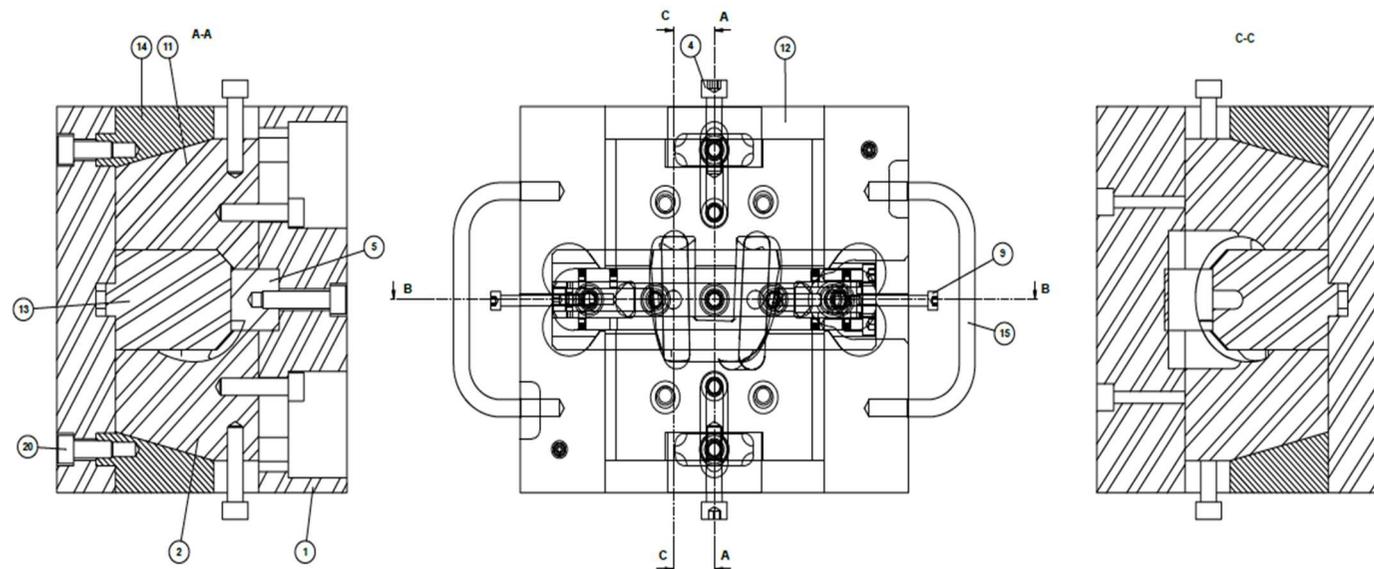


DT8 – Dessin de définition partiel de la prothèse fémorale



SAUF INDICATION CONTRAIRE:			ETAT DE SURFACE: RA 1.6		CASSER LES ANGLES VFS	NE PAS CHANGER L'ECHELLE	REVISION
TOLERANCES: LINEAIRES: IT 0.4 ANGULAIRES: IT 30°							
	NOM	SIGNATURE	DATE		TITRE:		
AUTEUR:							
VERIF:							
APPR:							
FAB:							
QUAL:				MATERIAU:	No. DE PLAN		
					Prothèse fémorale droite TP		A3
				MAISE			FEUILLE 1 SUR 1

DT9 – Dessin d'ensemble de l'outillage d'injection cire (feuille 1/2)



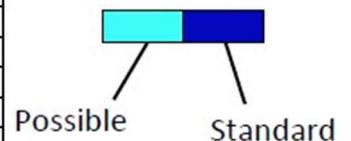
DT9 – Dessin d'ensemble de l'outillage d'injection cire (feuille 2/2)

No. ARTICLE	Désignation	Matière	QTE
1	Bloc inferieur	2017 (AlCu4Mg)	1
2	Tiroir	2017 (AlCu4Mg)	1
3	Plaque usure	CuSn10Pb10	4
4	Ø7160-08x35	NF E25-125	8
5	Noyau	2017 (AlCu4Mg)	1
6	TIROIR NOYAU	C38	1
7	TIROIR NOYAU 2	C38	1
8	Vis Hc M4x8 a teton	NF E25-125	8
9	Ø7160-05x40	NF E25-125	2
10	vis_uni_5931_m8x25-4_8_0	NF E25-125	1
11	Tiroir 2	2017 (AlCu4Mg)	1
12	Plateau superieur	2017 (AlCu4Mg)	1
13	Bloc central	2017 (AlCu4Mg)	1
14	Talon	C38	2
15	Poignee	S235	2
16	Cale blocage	C38	1
17	Cale blocage 2	C38	1
18	Broche	C38	2
19	Patin Broche	PA6	2
20	Ø7160-08x20	NF E25-125	2
21	Ø7160-06x10	NF E25-125	6
22	prothese	Cire	1

DT10 – Relation rugosité / procédé

Procédés d'élaboration et états de surface

Procédé d'obtention	Rugosité moyenne Arithmétique : Ra											
	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025
Moulage en sable	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Moulage en cire perdue	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Moulage en moule métallique	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Moulage sous pression	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Matricage à chaud	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Fraisage carbure	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Tournage ébauche	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Tournage finition	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Tournage outil diamant carbure	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Perçage au foret	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Alésage à l'outil	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Alésage à l'alésoir	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Alésage outil diamant carbure	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Brochage	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Rectification de production	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Rectification de précision	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Rodage au rodoir	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Polissage mécanique	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Superfinition	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Galetage	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█



DT11 – Aptitude 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	> 25 à 12,5	12,5 à 8,3	12,5 à 3,2		0,6 à 0,8 (Moule poli grade 240)	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						

DT12 – Classe de tolérances (feuille 1/2)

Tableau A.1 — Classes de tolérances dimensionnelles des pièces moulées pour une production en grande série, ou en masse, de pièces moulées brutes de fonderie

Méthode	Classe de tolérance dimensionnelle (DCTG) pour les métaux et alliages coulés								
	Acier	Fonte grise	Fonte à graphite sphéroïdal	Fonte malléable	Alliages de cuivre	Alliages de zinc	Alliages de métaux légers	Alliages à base de nickel	Alliages à base de cobalt
Moulage en sable, moulage main	11 à 14	11 à 14	11 à 14	11 à 14	10 à 13	10 à 13	9 à 12	11 à 14	11 à 14
Moulage en sable, moulage machine et moulage en carapace	8 à 12	8 à 12	8 à 12	8 à 12	8 à 10	8 à 10	7 à 9	8 à 12	8 à 12
Moule métallique permanent (à l'exception de la coulée sous pression)	—	7 à 9	7 à 9	7 à 9	7 à 9	7 à 9	6 à 8	—	—
Coulée sous pression	—	—	—	—	6 à 8	3 à 6	^b	—	—
Moulage de précision (cire perdue)	a	a	a	—	a	—	a	a	a

NOTE 1 Les classes de tolérances indiquées sont celles qui peuvent être normalement tenues pour les pièces moulées produites en grandes séries et lorsque les facteurs de production qui influencent la précision dimensionnelle du moulage ont été complètement mis au point.

NOTE 2 Pour les pièces moulées complexes, il est recommandé de prendre une classe de tolérance plus large.

^a Pour les moulages de précision, suivant la plus grande dimension hors tout, on applique ce qui suit:
 — ≤ 100 mm: classe 4 à 6
 — > 100 mm ≤ 400 mm: classe 4 à 8
 — > 400 mm: classe 4 à 9.

^b La plus grande dimension hors tout a une forte influence sur le choix de la classe de tolérance. Les classes de tolérance DCTG suivantes sont recommandées pour la plus grande dimension hors tout:
 — ≤ 50 mm: DCTG 6
 — > 50 mm ≤ 180 mm: DCTG 7
 — > 180 mm ≤ 500 mm: DCTG 8
 — > 500 mm: DCTG 9.

Tableau 2 — Tolérances dimensionnelles linéaires de pièce moulée (DCT)

Dimensions en millimètres

Cotes nominales de la pièce brute		Tolérances dimensionnelles linéaires pour la classe de tolérance dimensionnelle (DCTG) ^a															
		DCTG 1	DCTG 2	DCTG 3	DCTG 4	DCTG 5	DCTG 6	DCTG 7	DCTG 8	DCTG 9	DCTG 10	DCTG 11	DCTG 12	DCTG 13	DCTG 14	DCTG 15	DCTG 16 ^b
—	≤ 10	0,09	0,13	0,18	0,26	0,36	0,52	0,74	1	1,5	2	2,8	4,2	—	—	—	—
> 10	≤ 16	0,1	0,14	0,2	0,28	0,38	0,54	0,78	1,1	1,6	2,2	3	4,4	—	—	—	—
> 16	≤ 25	0,11	0,15	0,22	0,3	0,42	0,58	0,82	1,2	1,7	2,4	3,2	4,6	6	8	10	12
> 25	≤ 40	0,12	0,17	0,24	0,32	0,46	0,64	0,9	1,3	1,8	2,6	3,6	5	7	9	11	14
> 40	≤ 63	0,13	0,18	0,26	0,36	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,6	8	10	12	16
> 63	≤ 100	0,14	0,2	0,28	0,4	0,56	0,78	1,1	1,6	2,2	3,2	4,4	6	9	11	14	18
> 100	≤ 160	0,15	0,22	0,3	0,44	0,62	0,88	1,2	1,8	2,5	3,6	5	7	10	12	16	20
> 160	≤ 250	—	0,24	0,34	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,6	8	11	14	18	22
> 250	≤ 400	—	—	0,4	0,56	0,78	1,1	1,6	2,2	3,2	4,4	6,2	9	12	16	20	25
> 400	≤ 630	—	—	—	0,64	0,9	1,2	1,8	2,6	3,6	5	7	10	14	18	22	28
> 630	≤ 1 000	—	—	—	—	1	1,4	2	2,8	4	6	8	11	16	20	25	32
> 1 000	≤ 1 600	—	—	—	—	—	1,6	2,2	3,2	4,6	7	9	13	18	23	29	37
> 1 600	≤ 2 500	—	—	—	—	—	—	2,6	3,8	5,4	8	10	15	21	26	33	42
> 2 500	≤ 4 000	—	—	—	—	—	—	—	4,4	6,2	9	12	17	24	30	38	49
> 4 000	≤ 6 300	—	—	—	—	—	—	—	—	7	10	14	20	28	35	44	56
> 6 300	≤ 10 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11	16	23	32	40	50	64

^a Pour les épaisseurs de paroi des classes DCTG 1 à DCTG 15, la classe immédiatement supérieure s'applique (voir Article 7).

^b La classe DCTG 16 n'existe que pour les épaisseurs de paroi des pièces moulées généralement spécifiées en DCTG 15.

DT12 – Classe de tolérances (feuille 2/2)

Tableau A.3 — Classes de tolérances géométriques pour pièces moulées

Méthode	Classe de tolérance géométrique (GCTG) pour les métaux et alliages coulés								
	Acier	Fonte grise	Fonte à graphite sphéroïdal	Fonte malléable	Alliages de cuivre	Alliages de zinc	Alliages de métaux légers	Alliages à base de nickel	Alliages à base de cobalt
Moulage en sable, moulage main	6 à 8	5 à 7	5 à 7	5 à 7	5 à 7	5 à 7	5 à 7	6 à 8	6 à 8
Moulage en sable, moulage machine et moulage en carapace	5 à 7	4 à 6	4 à 6	4 à 6	4 à 6	4 à 6	4 à 6	5 à 7	5 à 7
Moule métallique permanent (à l'exception de la coulée sous pression)	—	—	—	—	3 à 5	—	3 à 5	—	—
Coulée sous pression ^b	—	—	—	—	2 à 4	2 à 4	2 à 4	—	—
Moulage de précision (cire perdue)	a	3 à 5	3 à 5	3 à 5	3 à 5	2 à 4	3 à 5	a	a
<p>^a Pour les moulages de précision, suivant la plus grande dimension hors tout, on applique ce qui suit:</p> <p>— ≤ 100 mm: classe 4 à 6;</p> <p>— > 100 mm ≤ 400 mm: classe 4 à 8;</p> <p>— > 400 mm: classe 4 à 9.</p> <p>^b Pour les moulages de précision, on applique ce qui suit:</p> <p>— Classe GCTG 2: à n'utiliser que par accord spécial;</p> <p>— Classe GCTG 3: pièces moulées ordinaires, sans coulisseaux latéraux pour la forme extérieure;</p> <p>— Classe GCTG 4: pièces moulées complexes et pièces moulées avec coulisseaux latéraux pour la forme extérieure.</p>									

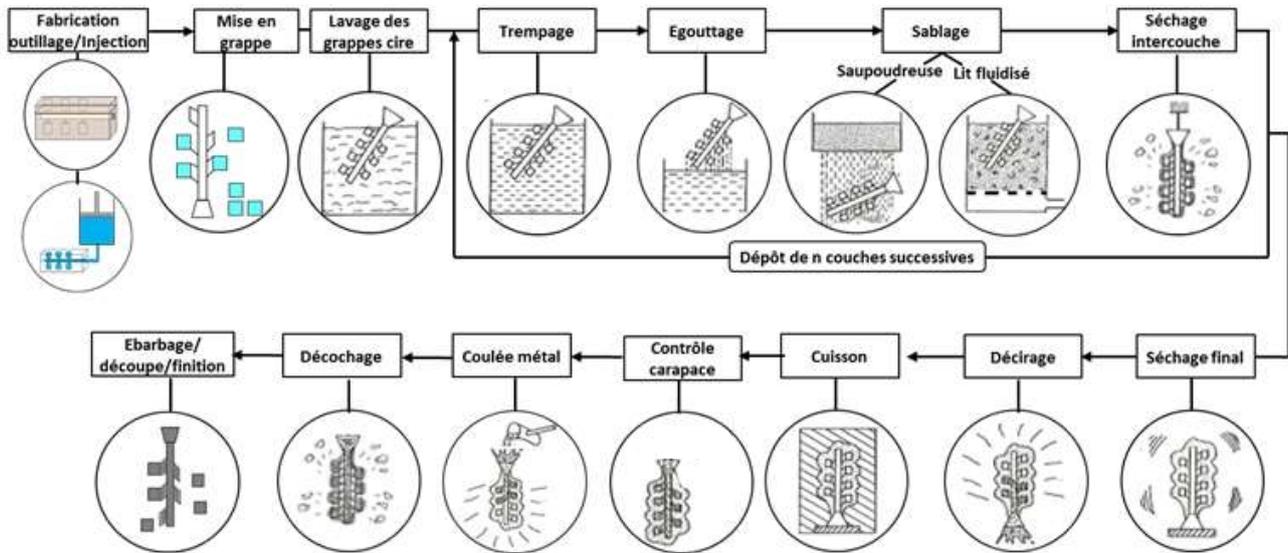
Note : Il n'est pas donné de valeurs de GCT pour la classe GCTG 1. Cette classe est réservée à des valeurs plus faibles dont on peut avoir besoin dans le futur.

Tableau 5 — Tolérances pour la circularité, le parallélisme, la perpendicularité, et la symétrie de pièce moulée

Dimensions en millimètres

Cote nominale de l'élément de la pièce brute		Tolérance pour la classe de tolérance géométrique de la pièce moulée (GCTG)						
		GCTG 2	GCTG 3	GCTG 4	GCTG 5	GCTG 6	GCTG 7	GCTG 8
—	≤ 10	0,18	0,27	0,4	0,6	0,9	1,4	2
> 10	≤ 30	0,27	0,4	0,6	0,9	1,4	2	3
> 30	≤ 100	0,4	0,6	0,9	1,4	2	3	4,5
> 100	≤ 300	0,6	0,9	1,4	2	3	4,5	7
> 300	≤ 1 000	0,9	1,4	2	3	4,5	7	10
> 1 000	≤ 3 000	—	—	—	6	9	14	20
> 3 000	≤ 6 000	—	—	—	12	18	28	40
> 6 000	≤ 10 000	—	—	—	24	36	56	80

DT13 – Procédé d'obtention cire perdue



DT14 – Gamme de fabrication

N° Phase	Opérations	Temps (min)	Coût (€/H)
10	Production des modèles en cire	10,44	61
20	Assemblage de la grappe	62,28	26
30	Réalisation de la carapace (Robot)	6,45	82
40	Stockage de la carapace	-	-
50	Décirage / Coulée à l'air par retournement / Solidification	15,5	54
60	Décochage	6	35
70	Tronçonnage	6,24	35
80	Reprise tronçonnage	29,04	35
90	Ébarbage - Grenailage	30	35
100	Polissage face externe	70,32	28
110	Sablage face interne	9,96	28
120	Calibrage / Contrôles	78,96	28
130	Ressuage	13,2	33
140	Contrôle Rayon X	36,6	53
150	Marquage	6,6	34
XX	Traitement Thermique sous vide (850°C puis 1200°C) – 25 à 34 HRC	140	100

DT15 – Informations sur la composition de l'alliage

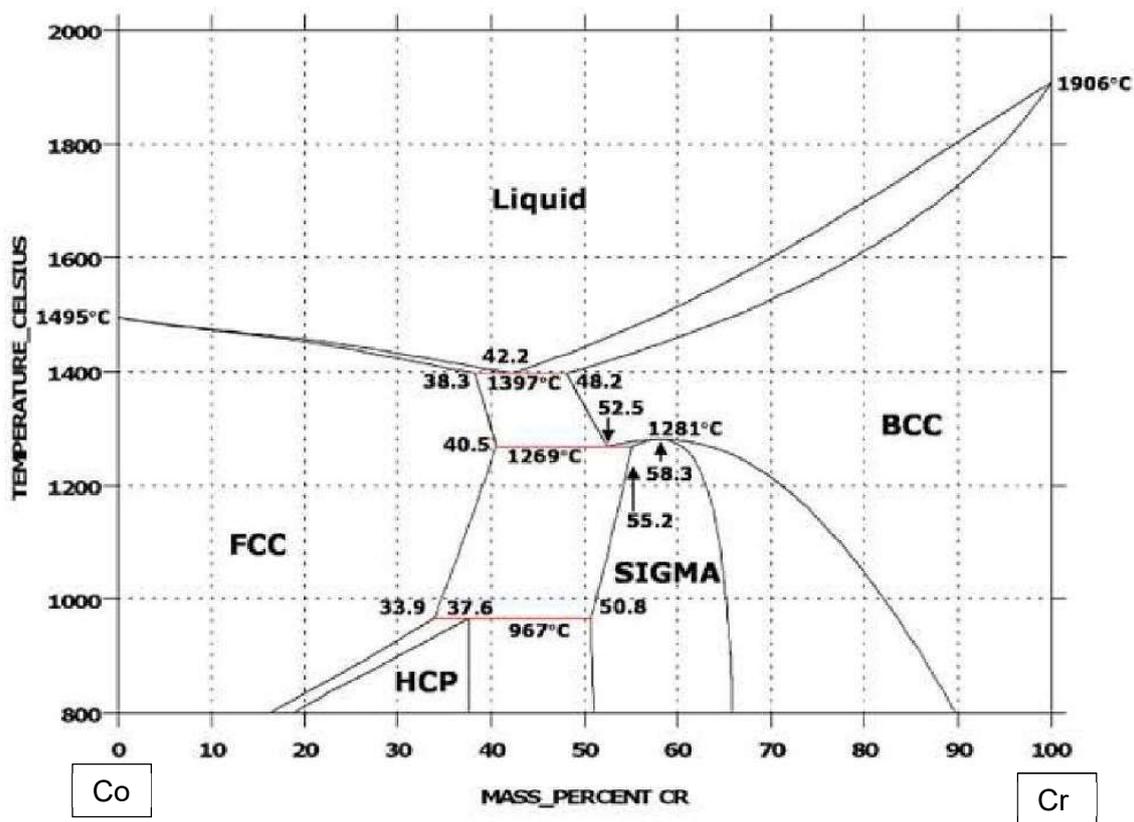
Extrait de la norme NF ISO 5832-4 :

Élément	Limites de la composition en %
Chrome	De 27 à 30
Molybdène	De 5 à 7
Nickel	De 0 à 0,5
Fer	De 0 à 0,75
Carbone	De 0 à 0,35
Manganèse	De 0 à 1
Silicium	De 0 à 1
Cobalt	Le reste

Analyse spectrographique du lit de fusion avant la coulée :

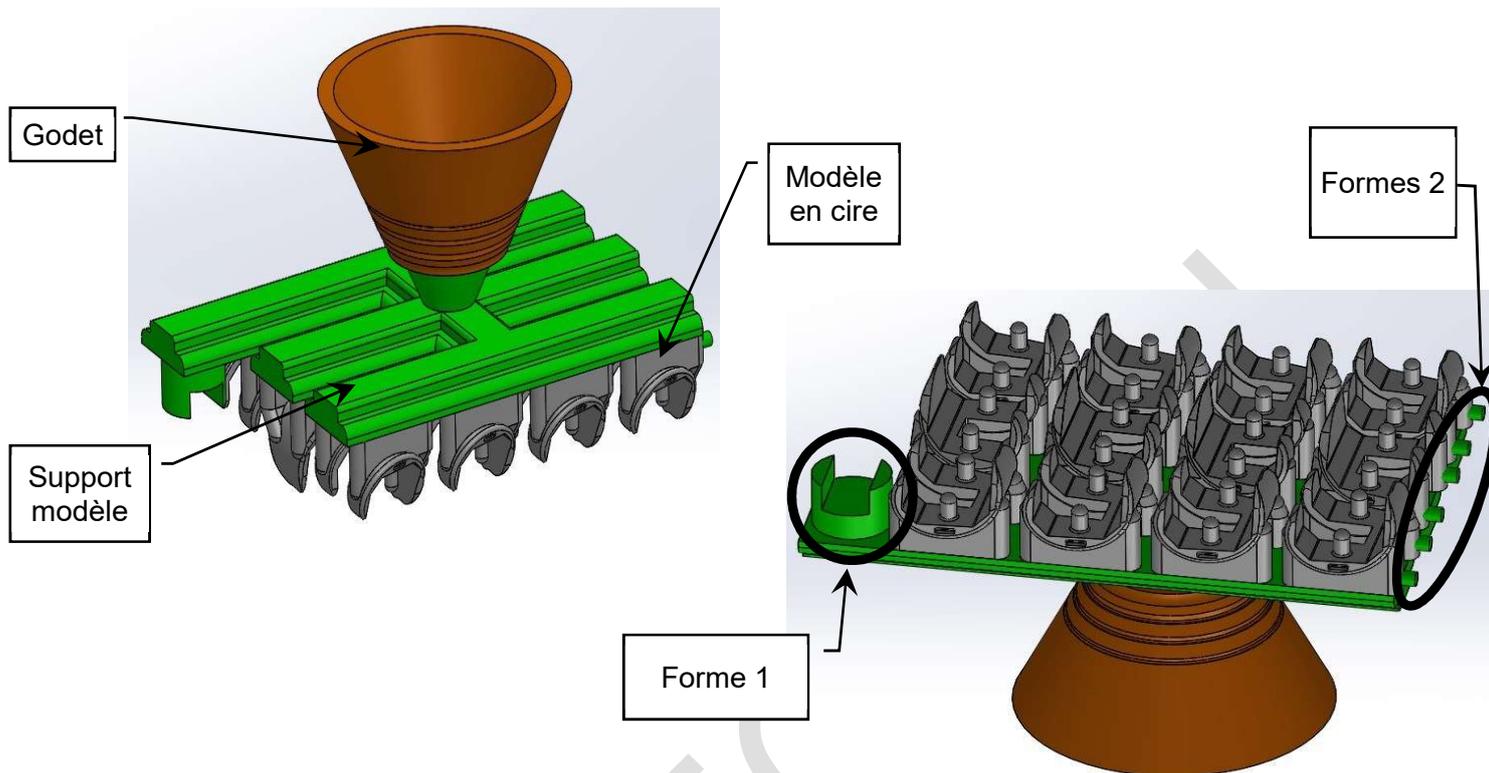
	Spécifications		Analyse	% / ppm
	Min	Max		
C	0	0,35	0,253	%
Si	0	1	0,863	%
Mn	0	1	0,536	%
P	0	0,02	0,003	%
S	0	0,01	0,001	%
Al	0	0,1	0,044	%
B	0	0,01	0,002	%
Co	-----	Le reste	-----	%
Cr	27	30	26,5	%
Fe	0	0,75	0,271	%
Mo	5	7	6,562	%
N	0	0,25	0,012	%
Ni	0	0,5	0,137	%
Ti	0	0,1	0,02	%
W	0	0,2	0,049	%

DT16 – Diagramme d'équilibre Co-Cr



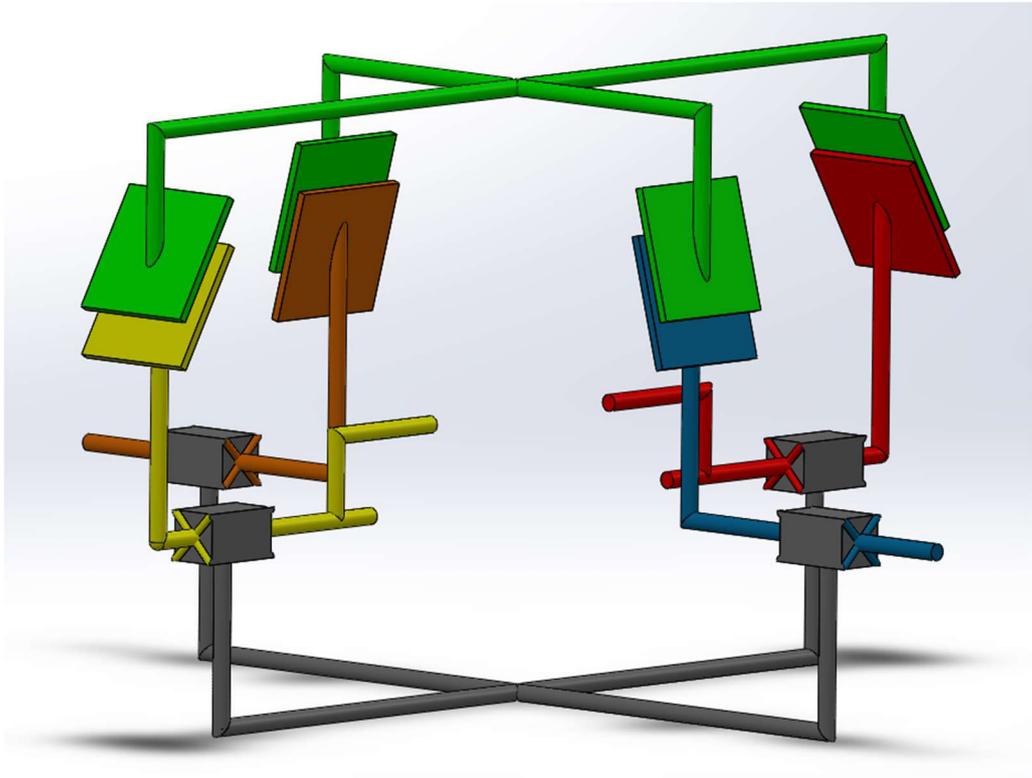
CORRIGÉ

DT17 – Grappe en cire (12 modèles)



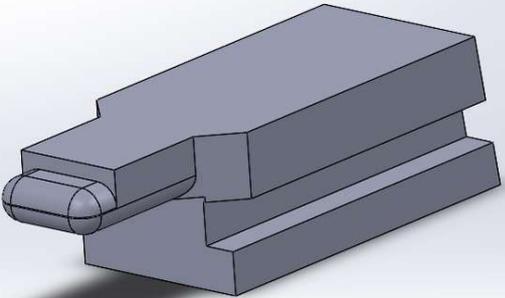
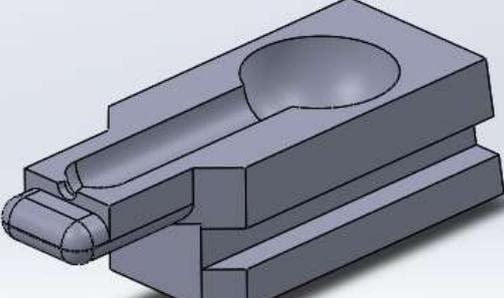
CORRREC

DT18 – Schéma cinématique de l'outillage

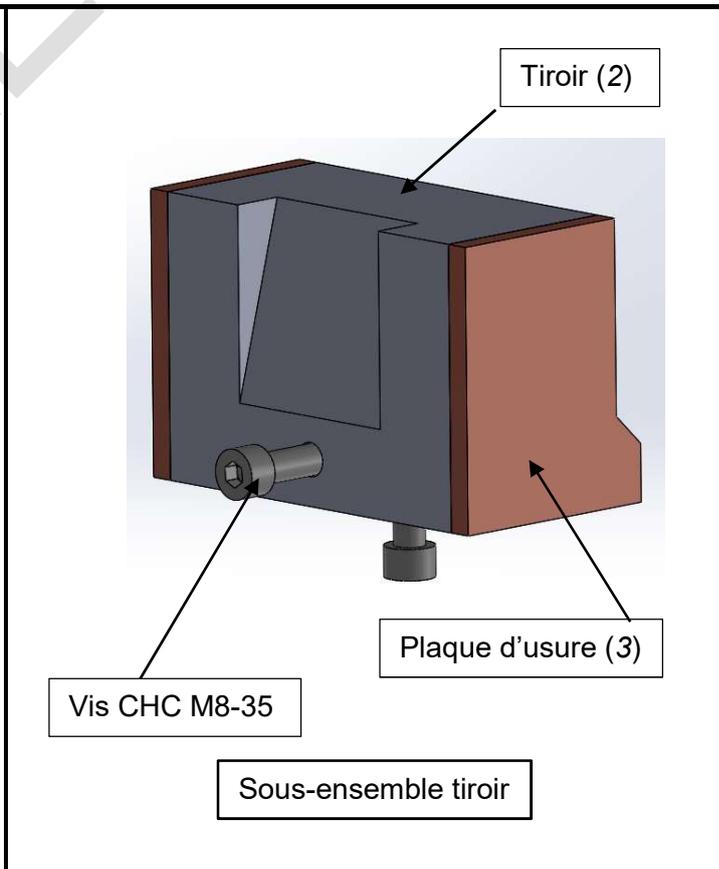
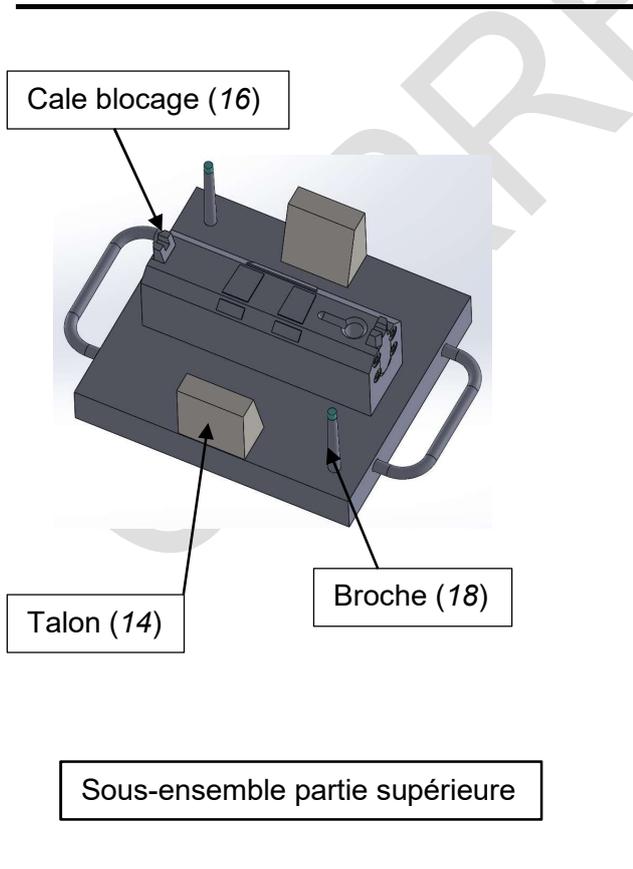
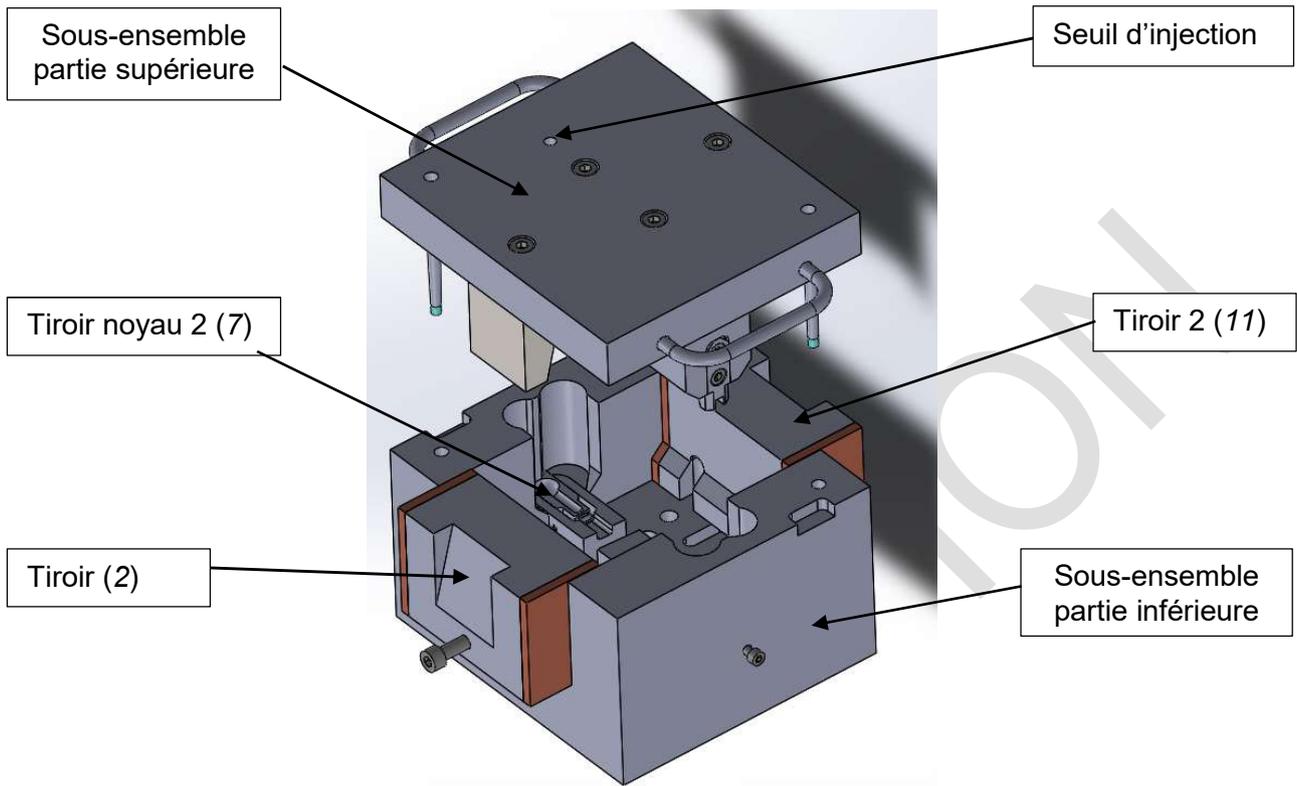


	Partie supérieure		Tiroir noyau		Tiroir
	Partie inférieure		Tiroir noyau 2		Tiroir 2

DT19 – Détails tiroir à noyaux

Tiroir noyau (6)	Tiroir noyau 2 (7)
	

DT20 – Photos de l'outillage



DT21 – Caractéristiques des matériaux

Matériaux	Limite élastique En Mpa	Contrainte de rupture en Mpa	Inertie thermique en W / m . C	Masse volumique en kg / m ³	Facteur d'usinabilité sur 5
CuNi10Fe1Mn1	140	310	44	8 890	5
AlCu4Mg	330	445	123	2 800	5
EN GJS 350 22	259	400	44	7 150	4
ZA-12	320	405	119	6 080	5

DT22 – Données de calcul

Données de couts :

Coût des composants pour une carapace : 7,98 €

Coût de la coulée pour une grappe : 700 €

Coût de la cire : 4,89 €/kg

Coût de la cire modèle pour le procédé prototypage rapide : Cire modèle : 600 €/kg

Coût du support pour le procédé prototypage rapide : 400 €/kg

Coût horaire dissolution du support / Main d'œuvre : 26 €/h

Coût horaire de la machine de prototypage cire : 50 €/h

Coût d'un outillage d'injection cire : 5 500 €

Données de presse :

Pression d'injection : 20 bars

Force de fermeture : 10 t

Surface projetée de la pièce en cire : 3 020 mm²

Données cires :

Masse volumique de la cire : 1 600 kg·m⁻³

Cout de la masse de cire du cadre : 5,868 €

Retrait cire : 0,5%

Données modèles en cire :

Masse totale de la pièce en cire : 100 g

Masse de cire pour une pièce (prototypage) : 107,5 g

Masse du support pour une pièce (prototypage) : 61 g

Durée d'impression d'un modèle (prototypage) : 1,2 h

Durée pour la dissolution du support + main d'œuvre (prototypage) : 1,5 h

Masse totale de l'arbre en cire : 2 623 g

Données pièce :

Température de coulée : 1 540°C

Température des carapaces pour la coulée : 1 050°C

Masse pièce après finition : 222 g

Volume total de la grappe après décochage : 1 752 757 mm³

Masse volumique de l'alliage : 8 300 kg·m⁻³