

BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR FONDERIE

Épreuve E4 CONCEPTION PRÉLIMINAIRE - Session 2024 -

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.

Crayons de couleur recommandés



Constitution du sujet :

- **Dossier Sujet** (*mise en situation et questions à traiter par le candidat*)
 - **Mise en situation** (30 minutes) Pages 2 et 3
 - **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 Réponses** 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 non agrafés (même vierges) avec les copies.

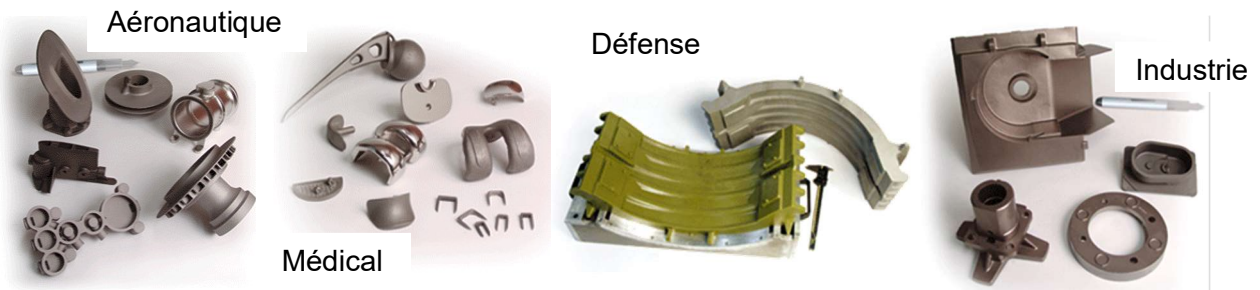
Il vous appartient de compléter le bandeau au verso des documents réponses.

BTS FONDERIE		Session 2024
Épreuve E4 : conception préliminaire	Code : 24FO4CP	Page 1 / 30

Mise en situation

L'entreprise 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.

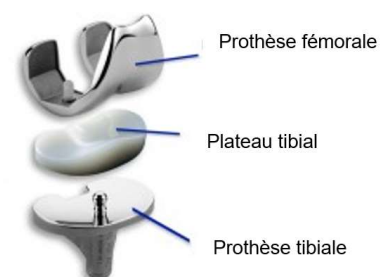
L'entreprise est positionnée sur des marchés de petites et moyennes séries, transforme des alliages à base de fer, principalement inoxydables, des alliages à base de cobalt, de nickel, ainsi que quelques alliages à base de cuivre ou d'aluminium coulés à l'air ou sous vide.



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 qui 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		Session 2024
Épreuve E4 : conception préliminaire	Code : 24FO4CP	Page 2 / 30

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 μm ;
- 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.

BTS FONDERIE		Session 2024
Épreuve E4 : conception préliminaire	Code : 24FO4CP	Page 3 / 30

Travail demandé

PARTIE 1 – Étude de la prothèse

L'étude consiste à déterminer les cadres d'utilisations de la prothèse.

On retient le cas de la pose d'une prothèse droite sur un garçon de 9 ans. La prothèse sera un modèle TP droite.

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

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 | |

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 avait 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, y compris lors d'activités physiques. |
| DT4 | |
| Feuille de copie | |

L'étude en mouvement montre les contraintes auxquelles est soumise la prothèse lors d'une activité physique.

- | | |
|------------------|--|
| Question 1.4 | Relever la contrainte maximale de cette nouvelle étude. |
| DT5 | |
| Feuille de copie | |

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 et du dessin de définition, si l'exigence ID 3.4 est respectée. |
| DT6, DT7, DT8 | |
| Feuille de copie | |

- | | |
|--------------------|--|
| Question 1.6 | Déterminer , compte tenu des résultats de l'étude en mouvement, le coefficient de sécurité vis-à-vis de la résistance pratique élastique. |
| Mise en situation, | |
| DT5, DT7 | |
| Feuille de copie | |

Question 1.7	Conclure , d'après les réponses aux 2 questions précédentes, sur la conformité du choix de l'alliage.
Mise en situation, DT7	
Feuille de copie	

PARTIE 2 – Étude 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, objectifs de production).

Question 2.1	Relever la spécification dimensionnelle et la spécification géométrique dont les intervalles de tolérance sont les plus faibles.
DT8 DR1	

Question 2.2	Déterminer les classes de tolérances dimensionnelles correspondant à l'alliage et au procédé.
Mise en situation DT8, DT11, DT12	Relever les intervalles de tolérance correspondants pour les pions de Ø 8 mm.
Feuille de copie	Vérifier si ces intervalles respectent les exigences du cahier des charges.

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	

Question 2.5	Indiquer si les valeurs des rugosités du cahier des charges sont réalisables avec le procédé cire perdue.
DT7, DT8, DT10	Proposer , dans le cas contraire, un procédé permettant de garantir en standard cette qualité de surface.
DR1	

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, DT11	Vérifier si la durée de vie de l'outillage correspond à la quantité de pièces à produire.
Feuille de copie	

BTS FONDERIE		Session 2024
Épreuve E4 : conception préliminaire	Code : 24FO4CP	Page 5 / 30

Question 2.7

DT7, DT8, DT10,
DT11, DT12

Feuille de copie

Conclure, compte-tenu des réponses aux questions précédentes, quant à la compatibilité du procédé cire perdue.

Justifier votre réponse.

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

Question 2.8

DT13

Feuille de copie

Expliquer en quoi ce taux de cendre peut impacter la qualité de la pièce.

Indiquer à quelle étape du cycle de fabrication ces cendres apparaissent.

Question 2.9

DT13, DT17

Feuille de copie

Expliquer la fonction des formes 1 et 2 de la grappe en cire.

Justifier votre réponse.

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.

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

DT22

Feuille de copie

Calculer la masse d'alliage nécessaire à la réalisation d'une grappe.

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

Question 3.2

DT15

Feuille de copie

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).

On fait l'hypothèse que l'alliage est binaire.

Question 3.3

DT16

Feuille de copie

Donner, en considérant 30 % de chrome et à l'aide du diagramme d'équilibre, la température de consigne du four si une surchauffe de 100°C est retenue.

Justifier votre réponse.

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

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

DT8, DT17

Feuille de copie

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

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

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

DT8, DT18, DT20

Feuille de copie

L'outillage présente une dimension de $\varnothing 8,17$ mm. Cette dimension correspond au pion de $\varnothing 8$ mm sur la prothèse.

Question 4.3 | **Expliquer** et **justifier** par le calcul cet écart dimensionnel.

Mise en situation

DT8, DT22

Feuille de copie

Question 4.4 | **Expliquer** les raisons pour lesquelles les pièces « Tiroir noyau », repères (6) et (7), ne sont pas identiques.

DT8, DT9, DT18,
DT19, DT20

Feuille de copie

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

Question 4.5

DT9, DT20, DT22

Feuille de copie

Calculer la force d'ouverture du moule lors de l'injection.

Vérifier que cette force est inférieure à la force de fermeture de la presse, sachant que le coefficient de sécurité souhaité de la presse est de 3.

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

DT8, DT20

DR3

Indiquer, pour chacun des paramètres indiqués sur le DR3, s'il est à prendre en compte lors de la conception et/ou de la fabrication.

Question 4.7

DT9, DT20, DT21

Feuille de copie

Expliquer le choix du matériau des pièces repères (5) et (13) (noyau, bloc central) : 2017 A (AlCu4Mg).

Question 4.8

DT9, DT18, DT20

DR3

Compléter, après analyse de l'outillage, la gamme de fabrication du modèle en cire.

Question 4.9

DT20

Feuille de copie

Expliquer quelles sont les fonctions assurées par les pièces talon (14).

PARTIE 5 – Élaboration d'un devis

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

Question 5.1

Mise en situation,

DT17, DT22

Feuille de copie

Calculer la mise au mille.

Commenter la valeur obtenue en la comparant aux valeurs usuelles.

Proposer une amélioration de celle-ci.

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

Question 5.2

Mise en situation

Feuille de copie

Calculer la série minimale à produire annuellement.

BTS FONDERIE		Session 2024
Épreuve E4 : conception préliminaire	Code : 24FO4CP	Page 8 / 30

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 :

- injection de cire dans un outillage ;
- prototypage rapide.

Pour cette partie de l'étude, on considérera une série de 1 920 modèles, soit 160 grappes.

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

DT14, DT22

DR4

On souhaite déterminer le nombre de modèles à partir duquel 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.

Question 5.5 | **Tracer** les deux fonctions du coût qui correspondent aux équations de chaque procédé et **mettre** en évidence le point permettant 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.

Pour la suite de l'étude, on considérera les coûts des modèles suivants :

- coût d'un modèle en injection cire : 12 € ;
- coût d'un modèle en prototypage cire : 188 €.

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

DT14, DT22

DR5

Feuille de copie

Comparer les prix de revient.

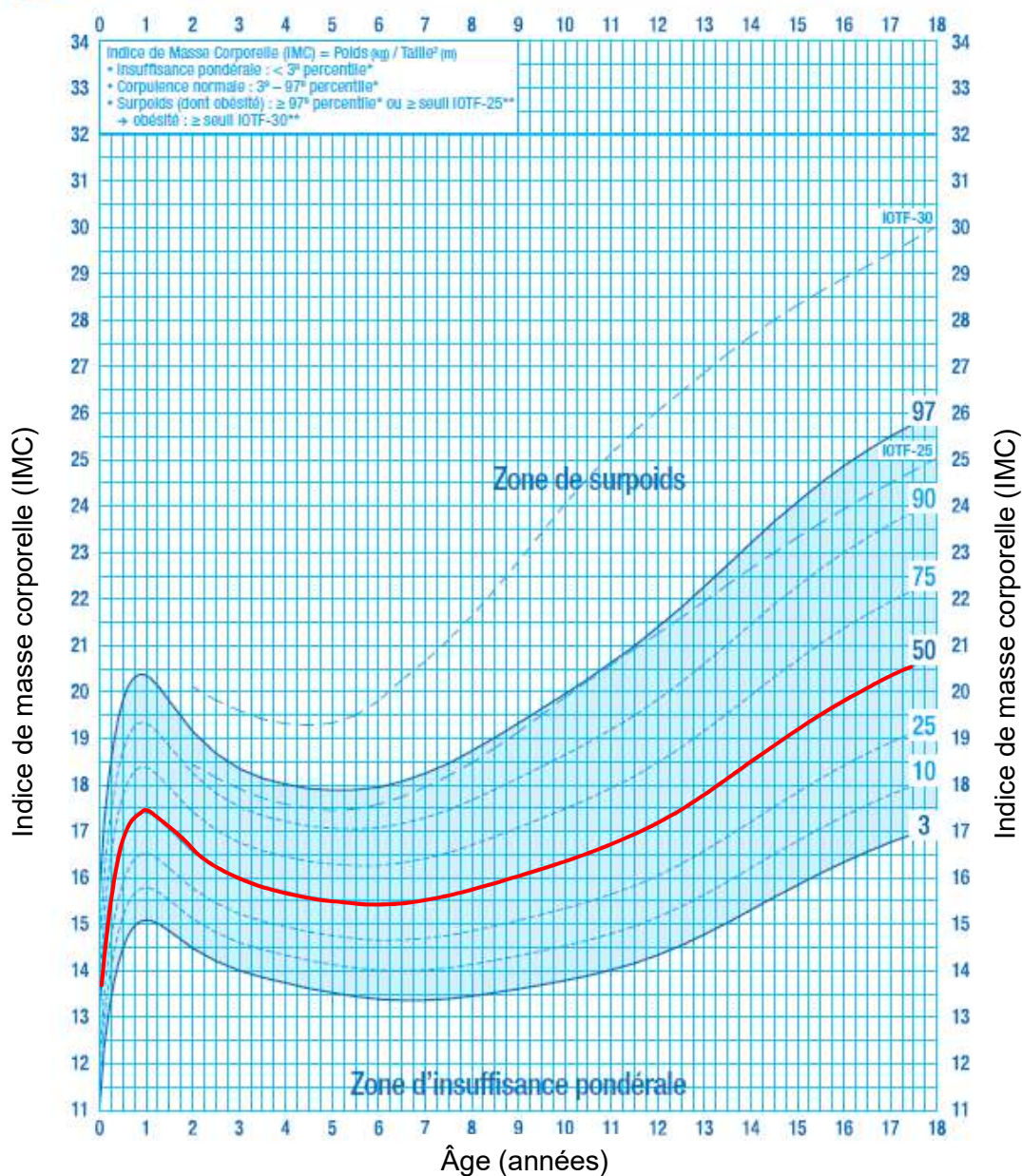
BTS FONDERIE		Session 2024
Épreuve E4 : conception préliminaire	Code : 24FO4CP	Page 9 / 30

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



Courbe de Corpulence chez les garçons de 0 à 18 ans

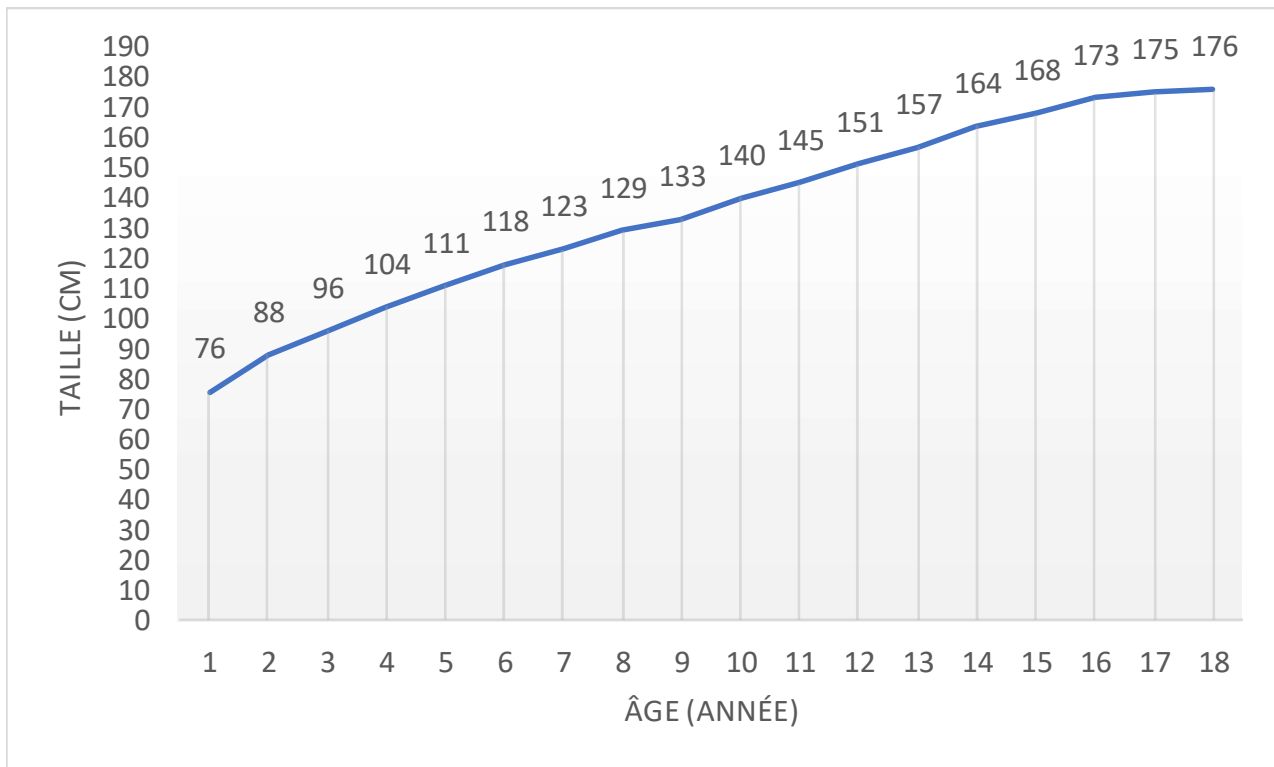
Nom : _____ Prénom : _____ Date de naissance : _____



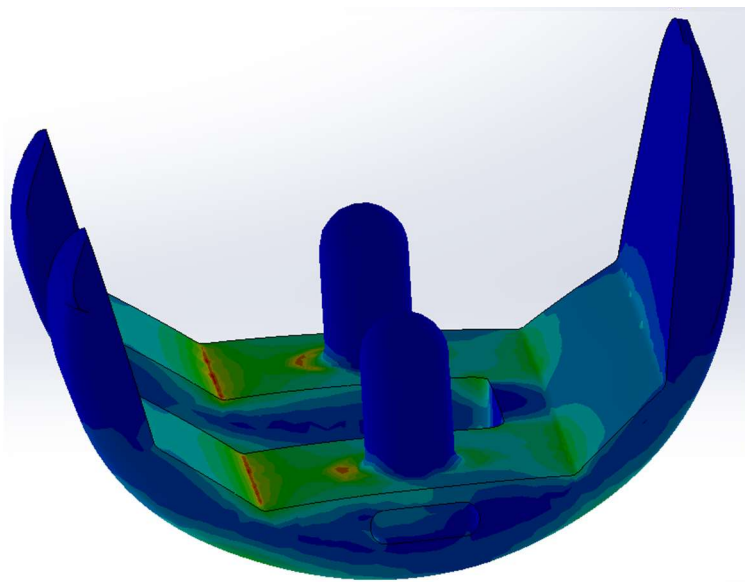
— IMC idéal

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

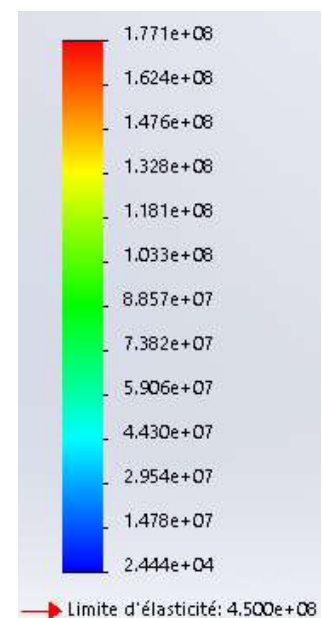
DT2 – Courbe de croissance pour un homme



DT3 – Étude statique



Contrainte en $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$



→ Limite d'élasticité: 4.500×10^8

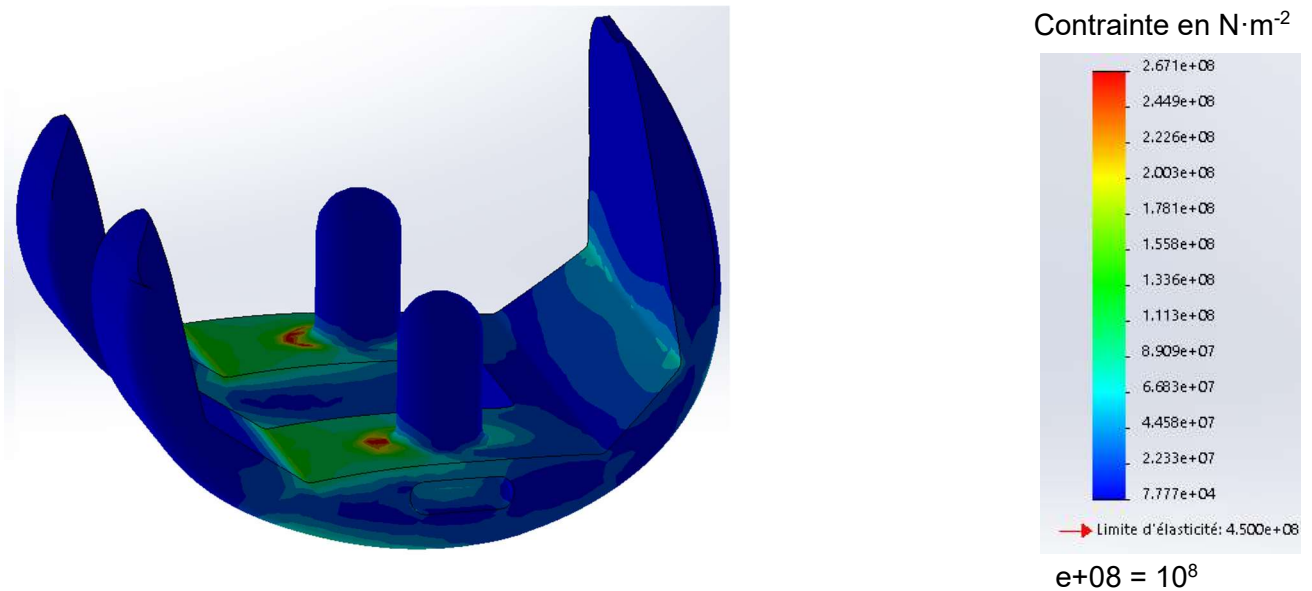
$\text{e}+08 = 10^8$

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

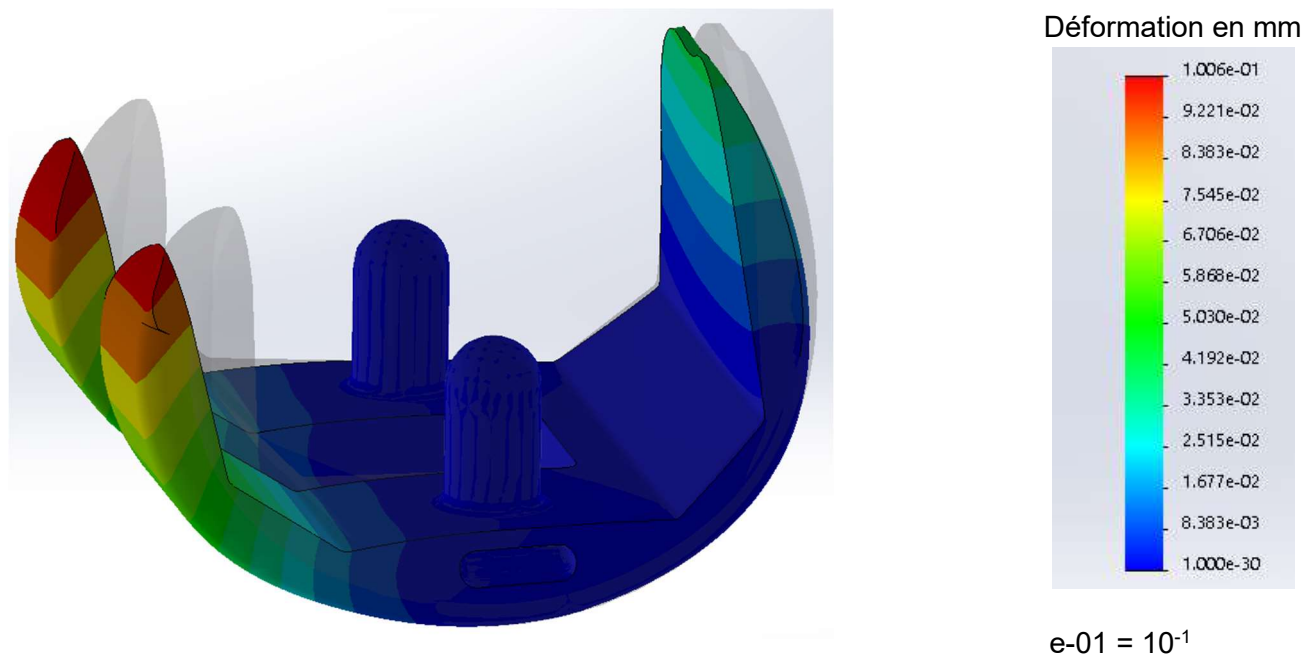
Des études biomécaniques ont pu montrer que les efforts sur le genou naturel varient de 3 à 8 fois plus que lors des sollicitations en statique.

Au cours de la marche, les efforts sont multipliés par 3, lors du jogging ils sont multipliés par 8, lors du pédalage en vélo par 1.2, lors de la descente d'escaliers par 7.

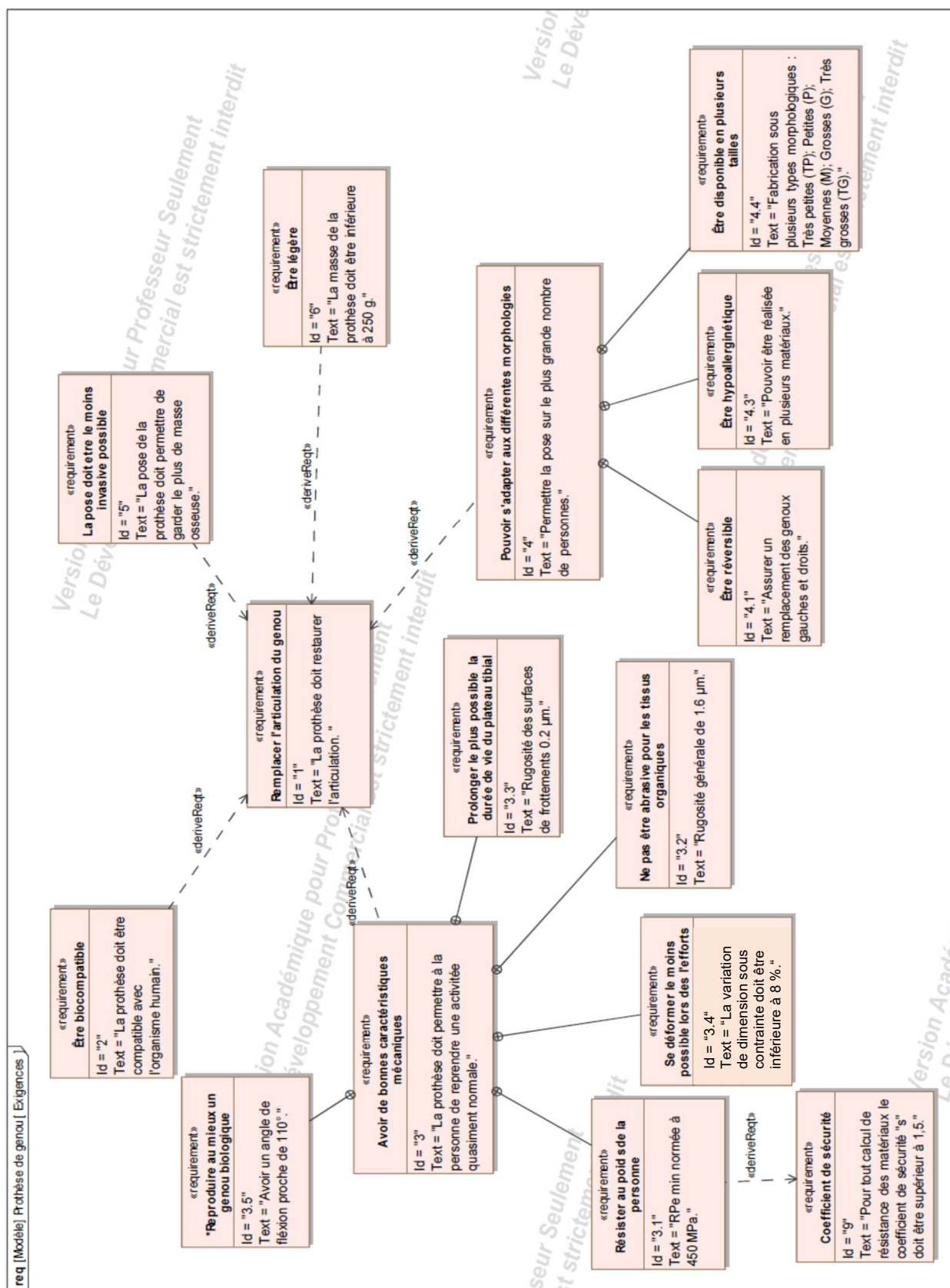
DT5 – Étude en mouvement



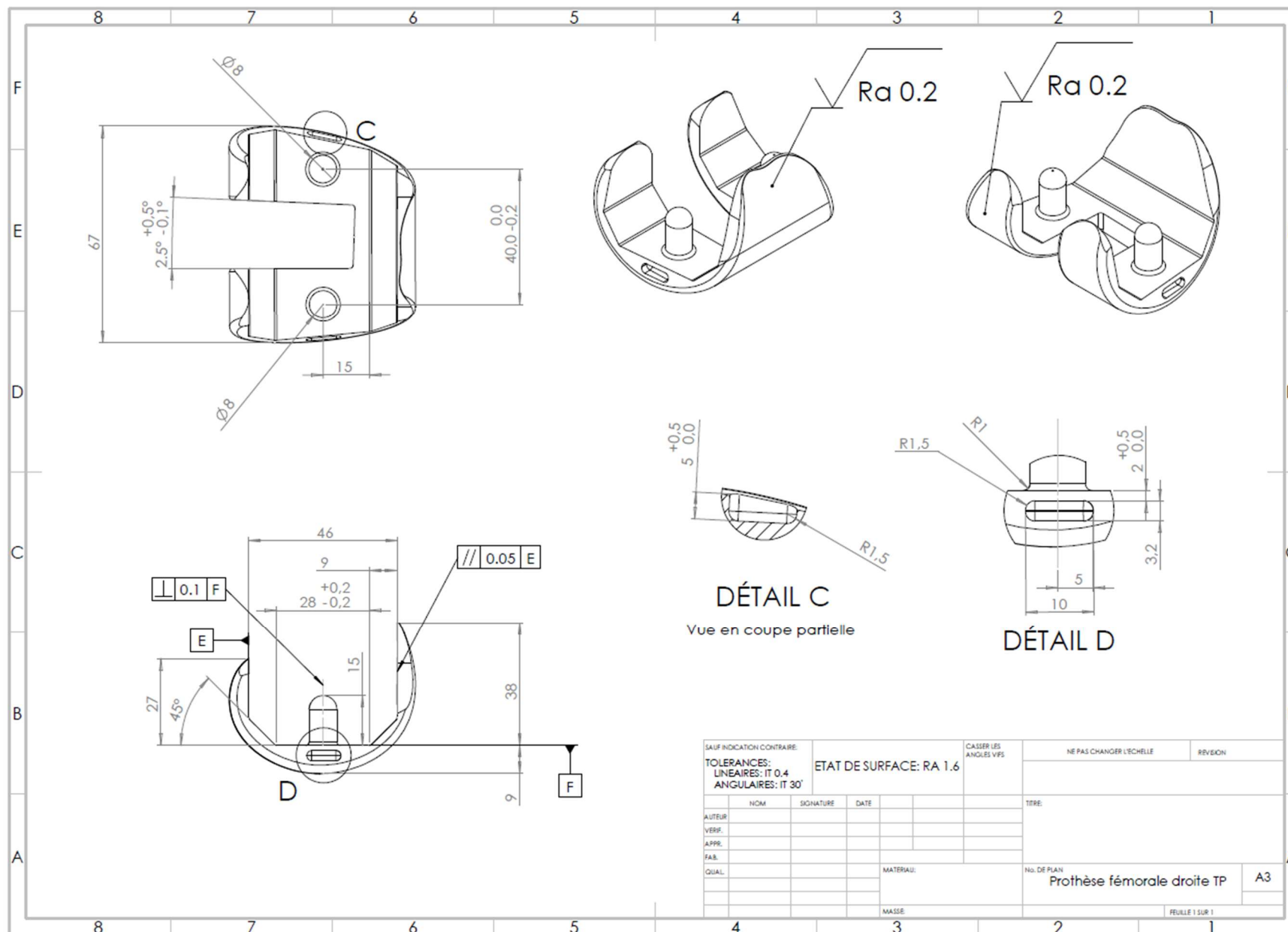
DT6 – Étude de déformation en mouvement



DT7 – Diagramme d'exigence de la prothèse de genou



DT8 – Dessin de définition partiel de la prothèse fémorale



BTS FONDERIE

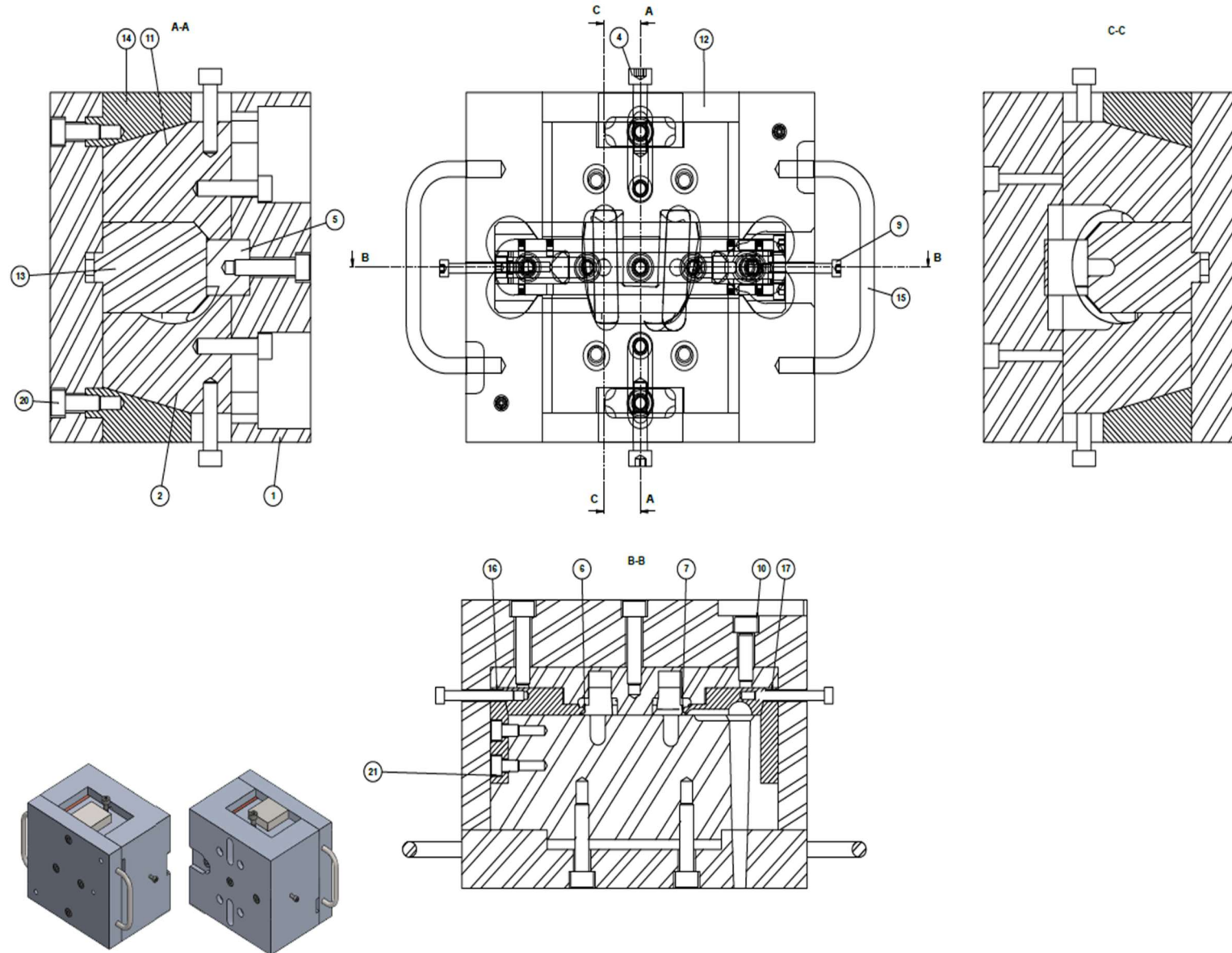
Épreuve E4 : conception préliminaire

Code : 24FO4CP

Session 2024

Page 14 / 30

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



BTS FONDERIE

Épreuve E4 : conception préliminaire

Code : 24FO4CP

Session 2024

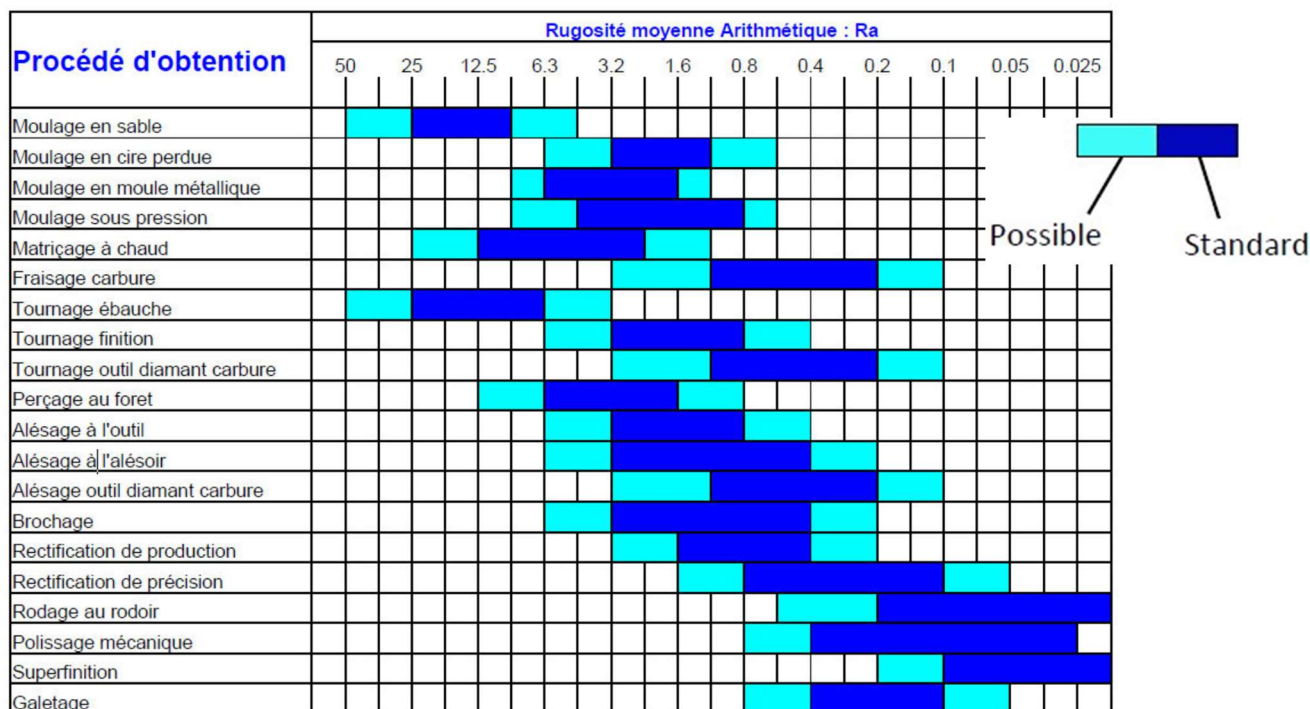
Page 15 / 30

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	07160-08x35	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	07160-05x40	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	07160-08x20	NF E25-125	2
21	07160-06x10	NF E25-125	6
22	prothese	Cire	1

DT10 – Relation rugosité / procédé

Procédés d'élaboration et états de surface



DT11 – Aptitude des principaux procédés de moulage

Critères	Procédés					Moulage de précision (1)
	Sable		Coquille		Sous Pression	
	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 (feuillet 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.									
<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 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 :</p> <p>— ≤ 50 mm : DCTG 6</p> <p>— > 50 mm ≤ 180 mm : DCTG 7</p> <p>— > 180 mm ≤ 500 mm : DCTG 8</p> <p>— > 500 mm : DCTG 9.</p>									

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 (feuillet 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>									

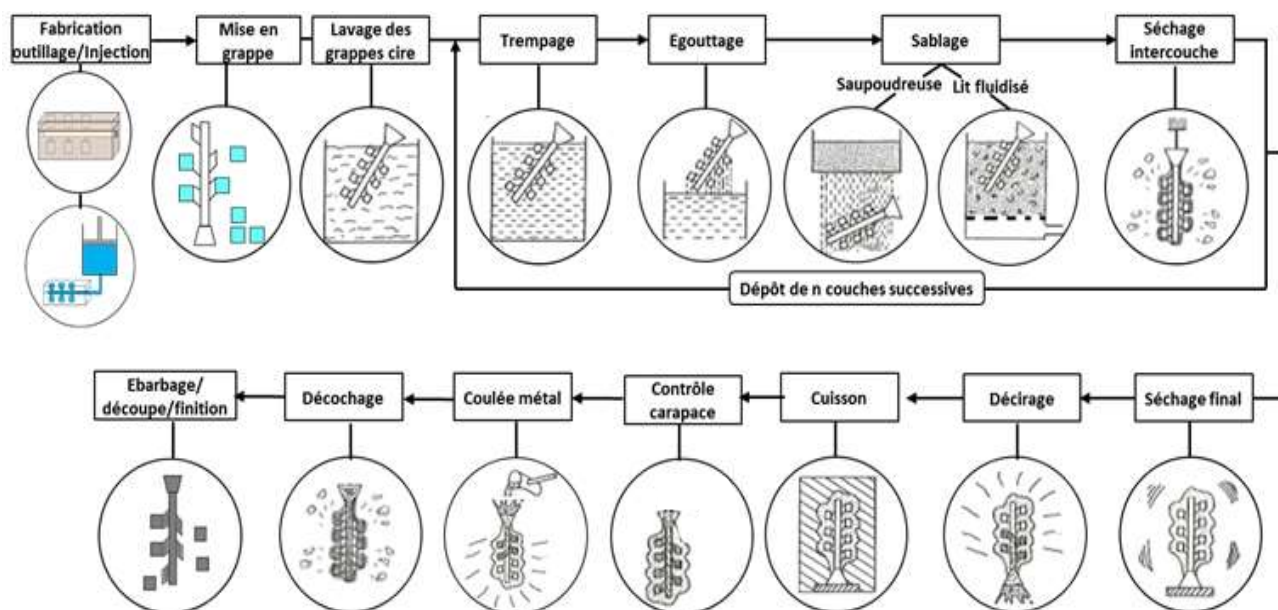
Note : Il n'est pas donné de valeurs de GCT pour la classe GCTG 1. Cette classe est réservée à des valeurs plus faibles dont on peut avoir besoin dans le futur.

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 d'un modèle en cire (en injection cire)	10,44	61
20	Assemblage de la grappe	62,28	26
30	Réalisation de la carapace (Robot)	6,45	82
40	Stockage des modèles	-	-
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

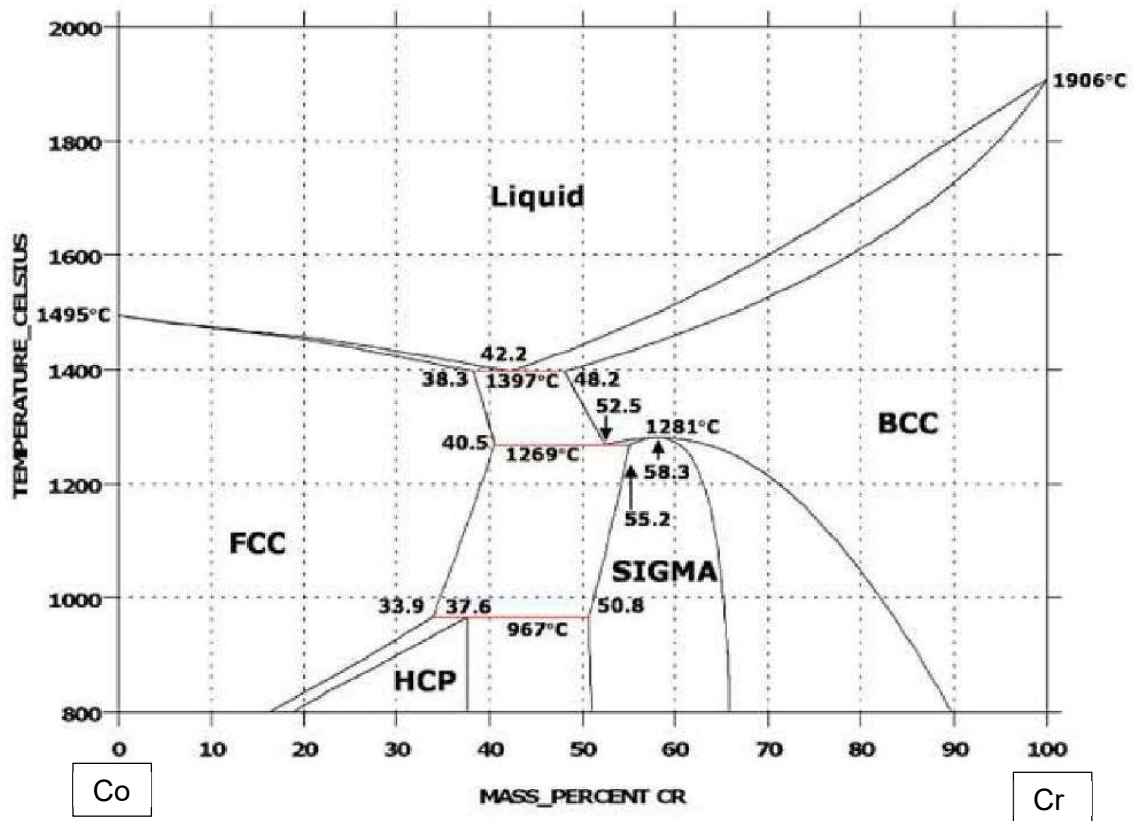
Extrait de la norme NF ISO 5832-4 :

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

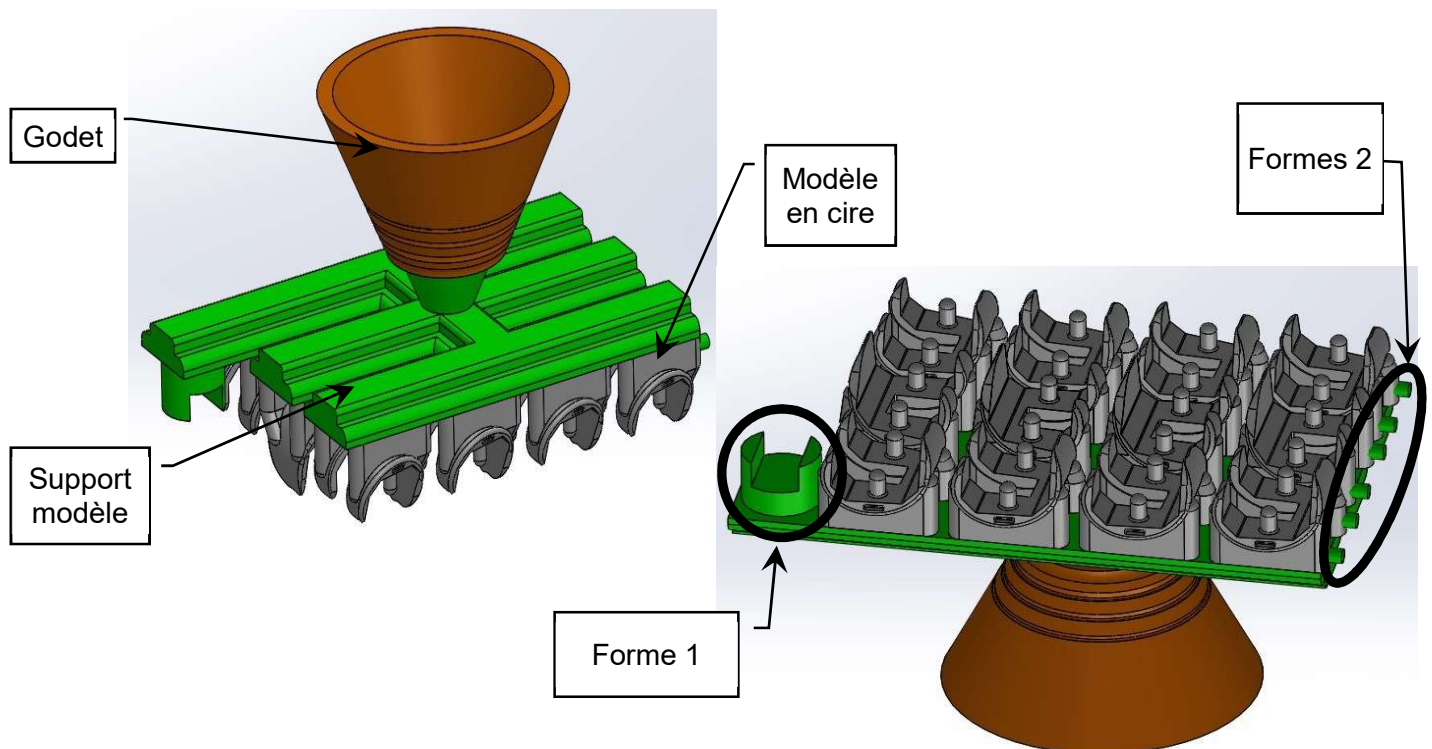
Analyse spectrographique du lit de fusion avant la coulée :

	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	-----	Balance	-----	%
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	%

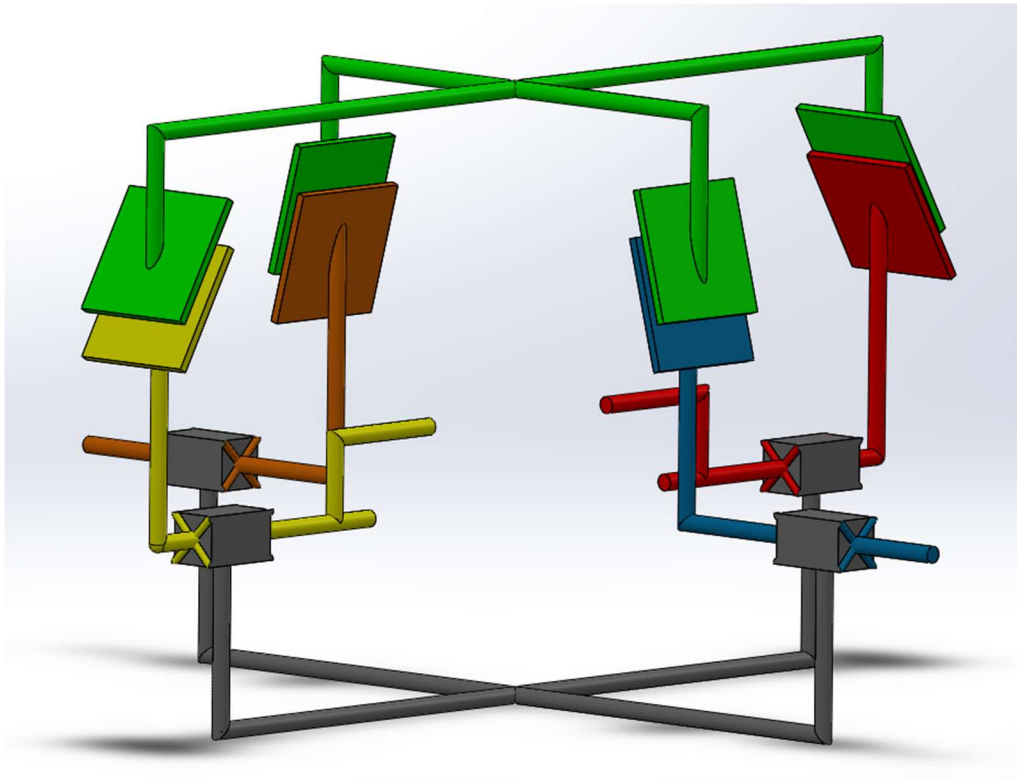
DT16 – Diagramme d'équilibre Co-Cr




DT17 – Grappe en cire (12 modèles)

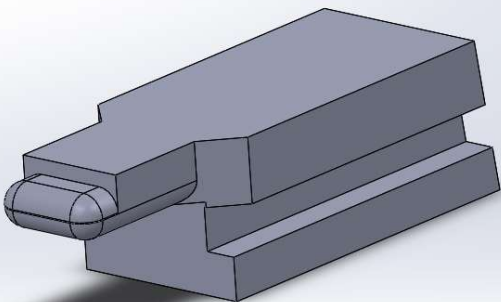
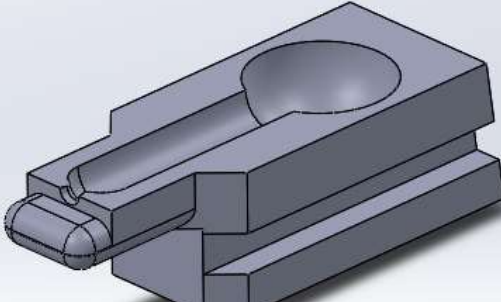


DT18 – Schéma cinématique de l'outillage

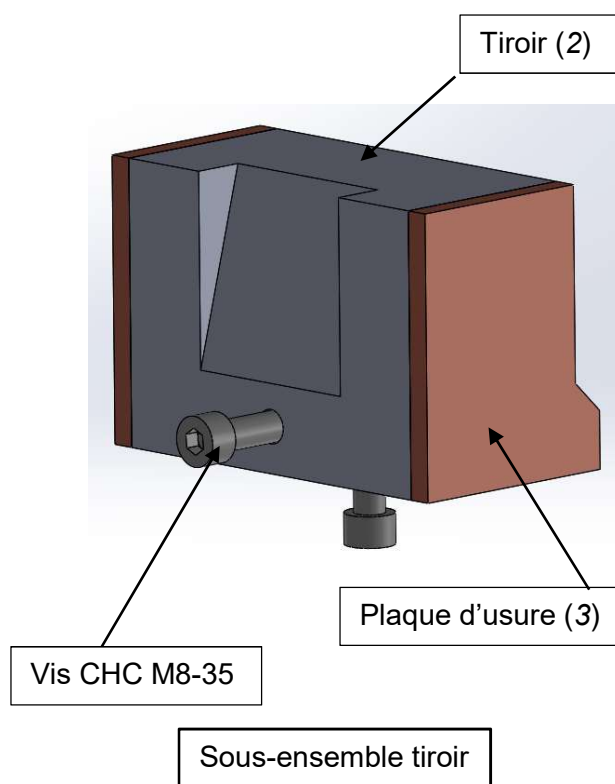
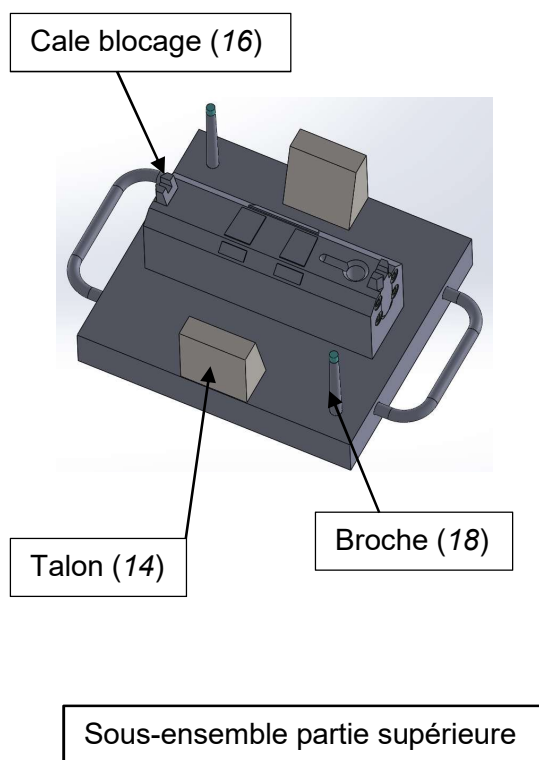
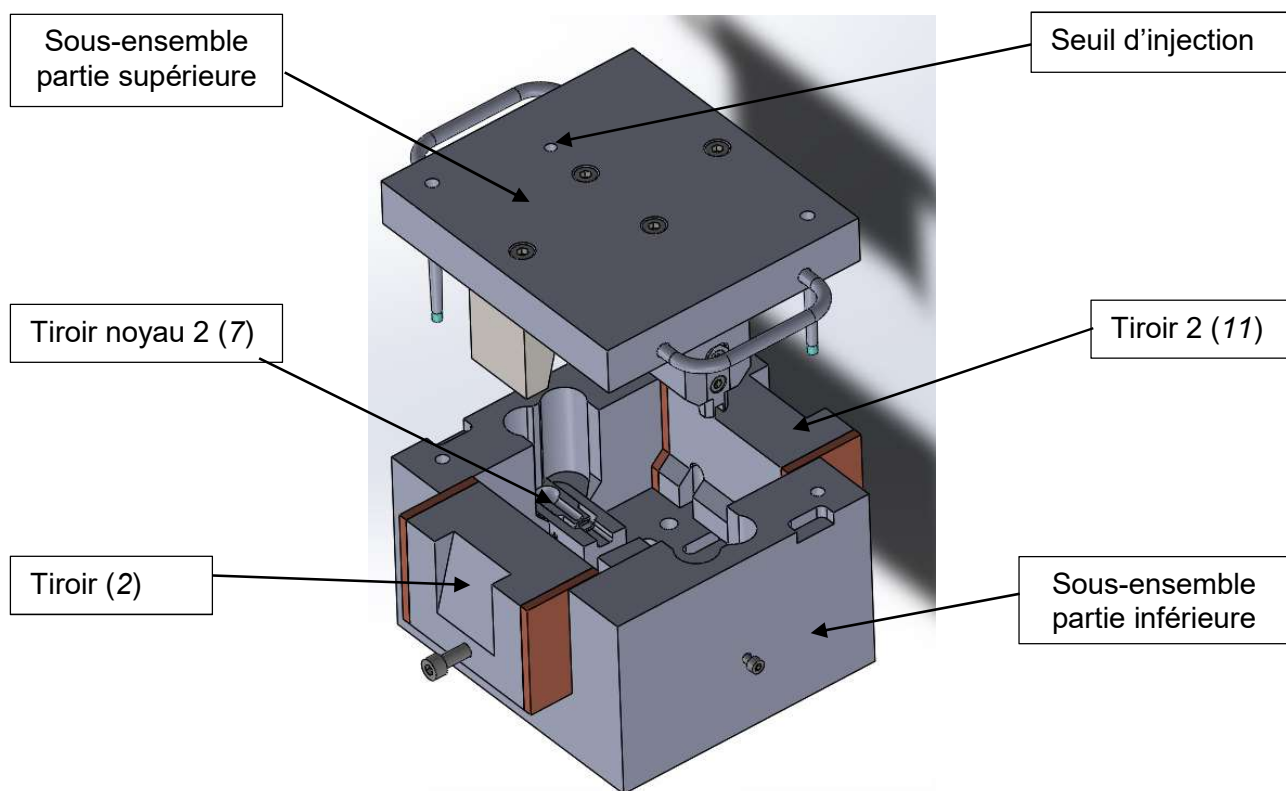


	Partie supérieure		Tiroir noyau		Tiroir
	Partie inférieure		Tiroir noyau 2		Tiroir 2

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

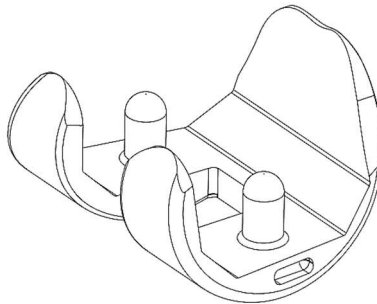
Données de coûts :
Coût des composants pour une carapace : 7,98 €
Coût de la coulée pour une grappe : 700 €
Coût de la cire (injection) : 4,89 €/kg
Coût de la cire modèle pour le procédé prototypage rapide : cire modèle : 600 €/kg
Coût du support pour le procédé prototypage rapide : 400 €/kg
Coût horaire 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
Coût de la masse de cire du cadre : 5,868 €
Retrait cire : 0,5 %
Données modèles en cire :
Masse totale de la pièce en cire (injection) : 100 g
Masse de cire pour une pièce (prototypage) : 107,5 g
Masse du support pour une pièce (prototypage) : 61 g
Durée réalisation des modèles (prototypage) : 14,16 h
Durée pour la dissolution du support + main d'œuvre (prototypage) : 13 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 mm ³
Masse volumique de l'alliage : 8 300 kg·m ⁻³

DR1 – Document réponse 1

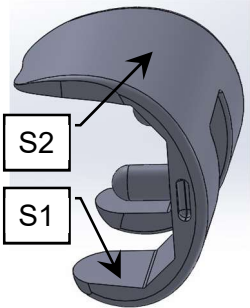
Question 2.1 **Relever** la spécification dimensionnelle et la spécification géométrique dont les intervalles de tolérance sont les plus faibles.

Spécifications	
Dimensionnelle	
Géométrique	

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.



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

	Surface	Valeur de la rugosité en Ra
	S1	
	S2	

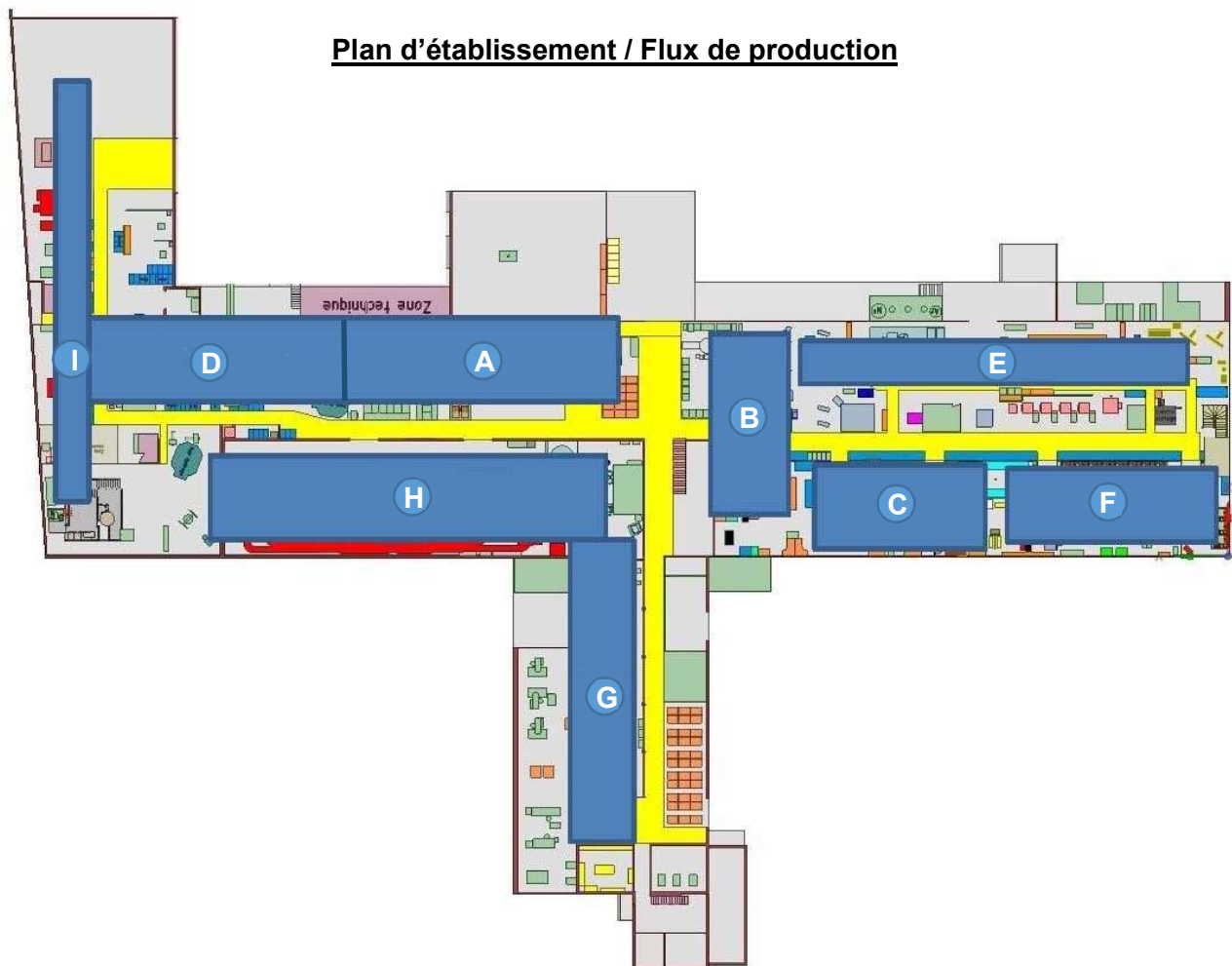
Question 2.5 **Indiquer** si les valeurs des rugosités du cahier des charges sont réalisables avec le procédé cire perdue. **Proposer**, dans le cas contraire, un procédé permettant de garantir en standard cette qualité de surface.

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

Barrer la mention fausse

DR2 – Document réponse 2

Question 2.10 **Tracer** le cheminement de la réalisation de la pièce dans l'atelier (relier les lettres par des flèches).



Zones :

- A- Parachèvement 1 (PA1) → Décochage/grenailage, déburrage et tronçonnage
- B- Expédition
- C- Contrôles → MMT, Ressuage, Rayon X
- D- Décirage / Coulée
- E- Parachèvement 2 (PA2) → Ébarbage (manuel, robot ou sur centre) et traitement thermique
- F- Finition / Calibrage
- G- Injection cire / Montage des grappes
- H- Réalisation des carapaces
- I- Stockage des carapaces

Question 2.10 **Commenter** le flux de production.

DR3 – Document réponse 3

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

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

Cocher une des cases sur chaque ligne

Question 4.8 **Compléter**, après analyse de l'outillage, la gamme de fabrication du modèle en cire.

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

(en majuscules)

[illegible]

PRENOM :

RENOM
(en majuscules)

[illegible]

N° candidat :

[illegible]

N° d'inscription :

--	--	--



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Né(e) le :

--	--	--	--

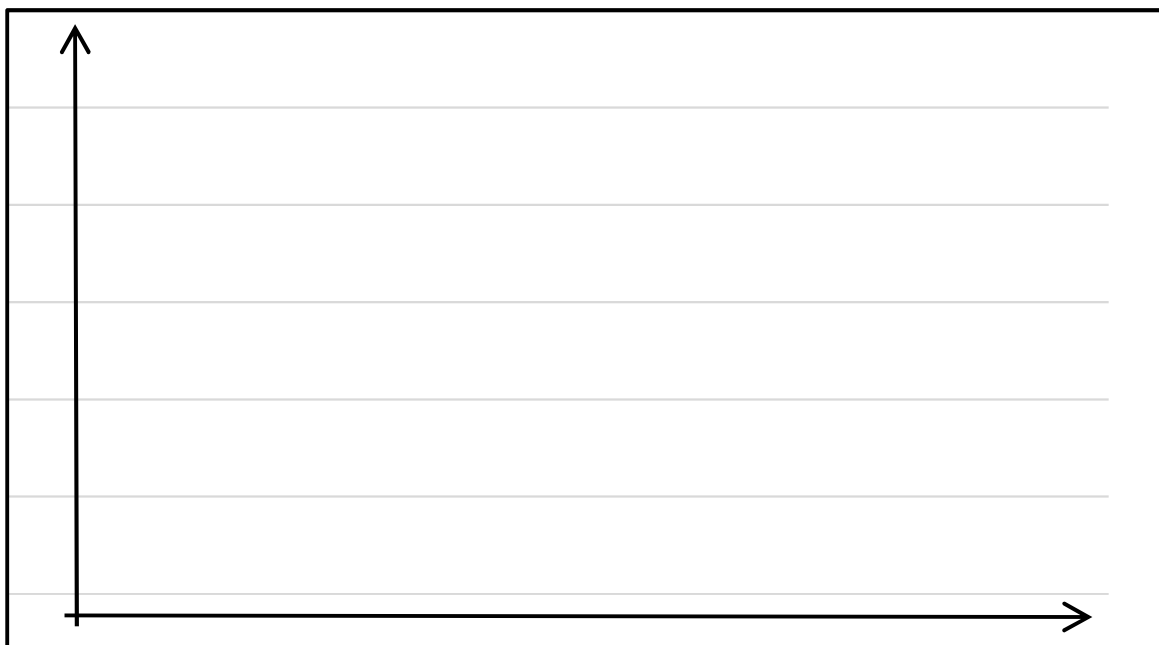
DR4 – Document réponse 4

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

Coût des modèles obtenus par procédé d'injection cire				
		Temps ou Masse	Coût	Coût (€)
Masse des modèles		g	€/kg	
PH10	Coût total de la production d'un modèle en injection cire	h	€/h	

Coût des modèles obtenus par prototypage				
		Temps ou Masse	Coût	Coût (€)
Coût matière cire pour les modèles		g	€/kg	
Coût matière support pour les modèles		g	€/kg	
PH200	Réalisation des modèles en cire	h	€/h	
PH210	Dissolution du support / Main œuvre	h	€/h	
Coût total des modèles en prototypage cire				

Question 5.5. **Tracer** les deux fonctions du coût qui correspondent aux équations de chaque procédé et **mettre** en évidence le point permettant de faire le choix du procédé (utiliser le bleu pour l'injection cire et le vert pour le prototypage cire).



(en majuscules)

[illegible]

PRENOM :

RENOM
(en majuscules)

[illegible]

N° candidat :

[illegible]

N° d'inscription :

--	--	--



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Né(e) le :

DR5 – Document réponse 5

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

Coût de l'assemblage de l'arbre en cire				
		Temps (min)	Coût horaire (€/h)	Coût (€)
PH20	Assemblage de la grappe			
Coût de la masse de cire du cadre				
Coût total de l'arbre en cire				

Coût de la réalisation de la carapace				
		Temps (min)	Coût horaire (€/h)	Coût (€)
Coût des composants pour une carapace				
PH30	Réalisation de la carapace			
Coût total de la réalisation de la carapace				

Coût du décirage et de la coulée				
		Temps (min)	Coût horaire (€/h)	Coût (€)
Coût de la coulée				
PH50	Décirage / Coulée à l'air / Solidification			
Coût total du décirage et de la coulée à l'air				

Coût décochage / finition / contrôle / marquage				
		Temps (min)	Coût horaire (€/h)	Coût (€)
PH60	Décochage			
PH70	Tronçonnage	6,24	35	3,6
PH80	Reprise tronçonnage	29,04	35	16,9
PH90	Ébarbage - Grenaillage	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			
Coût total décochage / finition / contrôle / marquage				

Coût total outillage d'injection cire	
Coût total pour une grappe	
Coût total pour une pièce	

Coût total prototypage	
Coût total pour une grappe	
Coût total pour une pièce	

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

(en majuscules)

PRENOM :

RENOWN
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)