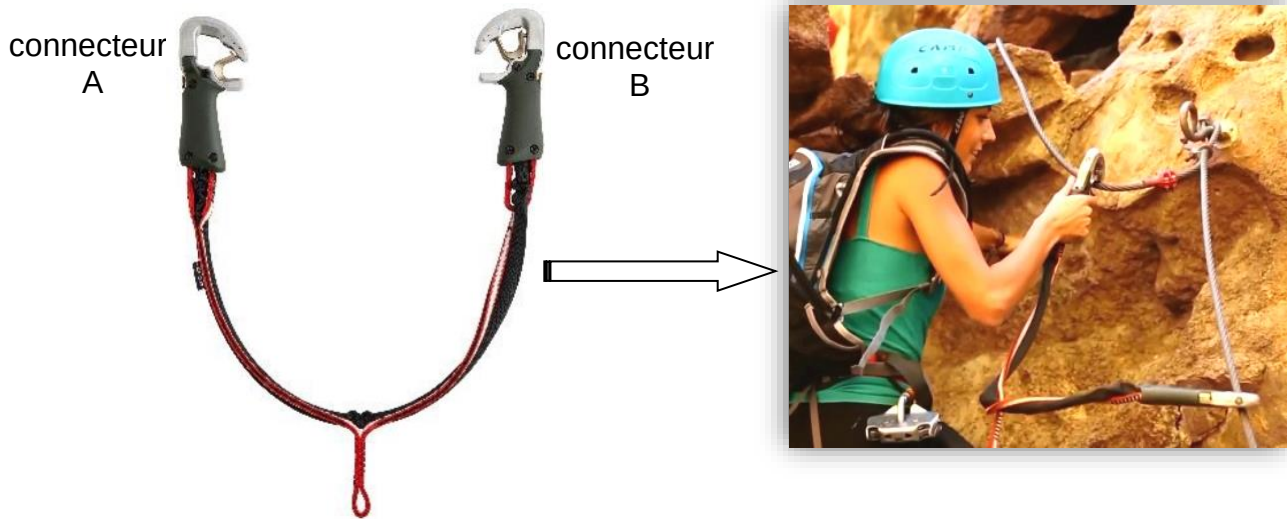


La société CLIC IT a conçu, développé et breveté une gamme de longues équipées de 2 connecteurs A et B, comme illustré ci-dessous, qui interdit le décrochage simultané des 2 points d'ancrage.



Partie 1 Quel est l'impact des modifications de certaines pièces sur l'assemblage du produit ?

L'assemblage d'une longe se fait en 2 phases, l'étude porte uniquement sur la phase 20 décrite sur le **DT3**.

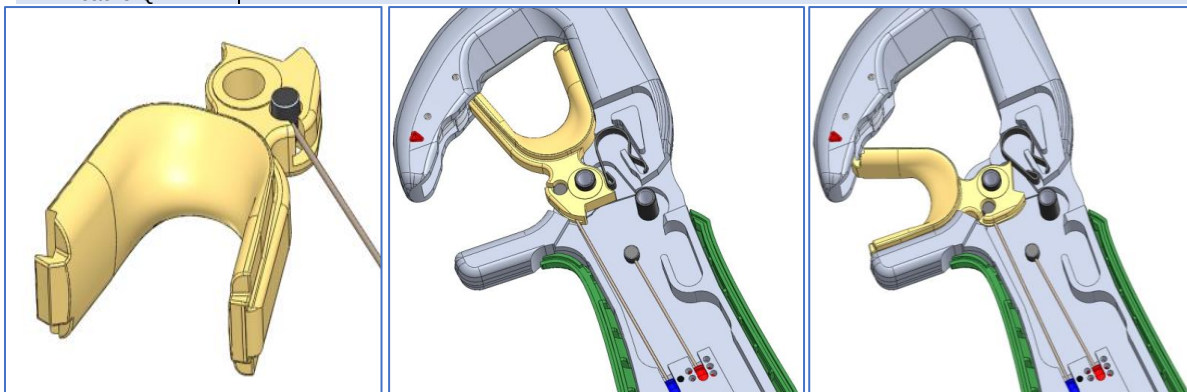
⇒ Phase 10 : assemblage des sous-ensembles (cadre gauche du **DT3**).

⇒ Phase 20 : assemblage de la longe sur un montage permettant de mettre et de maintenir en position les 2 sous-ensembles assemblés en phase 10.

Question 1-1.1

Voir DT1 et DT3
DR1 cadre Q1-1.1

Justifier, sur le document **DR1**, l'introduction du barillet sur l'extrémité du câble approprié, **avant** montage du barillet sur son insert métallique.

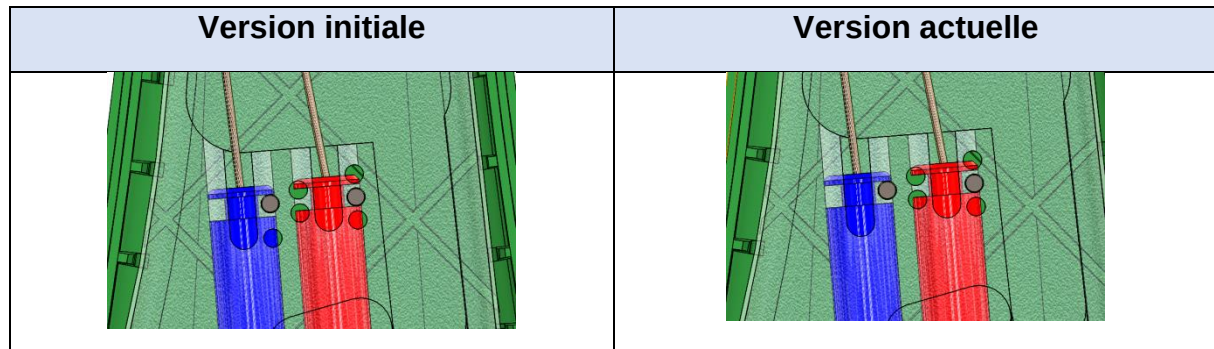


Sur les images son constate que pour associer le câble et le barillet, il faut faire suivre au câble une trajectoire qui n'est pas compatible avec les formes du carter.

Question 1-2.1

Voir DT1
DR1 cadre Q1-2.1

Calculer, pour la version initiale et la version actuelle, le nombre de positions de réglage possibles par connecteur.



Dans la **version initiale**, le câble bleu a 2 positions possibles et le câble rouge 5 positions possible. Il y a donc 10 réglages différents possibles

Dans la **version actuelle**, le câble bleu a une seule position possible et le câble rouge 5. Il y a donc 5 réglages différents possibles.

Question 1-2.2

DR1 cadre Q1-2.2

Conclure sur l'intérêt de cette modification pour cette phase d'assemblage, dans la mesure où la position des loquets (6) est réglée par rapport à la position des barillets (5) en position "FERMÉ".

Plutôt que de régler les 2 extrémités des câbles, on ne règle que l'extrémité côté loquet ce qui simplifie le montage et fait gagner du temps.

Question 1-2.3

Voir DT4
DR1 cadre Q1-2.3

Identifier, sur **DT4** l'exigence (ID) à laquelle répond ce réglage, répondre sur **DR1**.

Ce réglage correspond à l'exigence ID= «1.6 »

<<requirement>>
Interverrouiller les connecteurs A et B
Text = " la déconnexion d'un connecteur empêche la déconnexion de l'autre connecteur"
ID = "1.6"

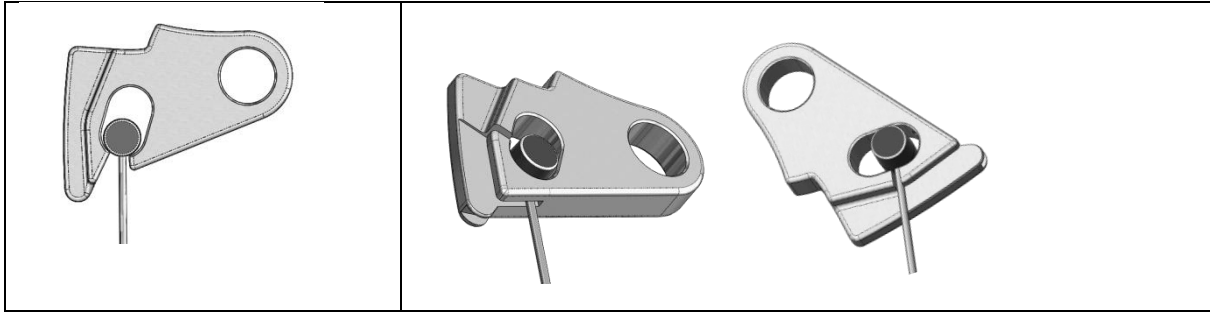
Question 1-3.1

Voir DT3
Feuille de copie

Préciser si ce futur loquet peut être monté avec la même procédure que la version actuelle (montage des loquets sur les sous-ensembles, puis mise en place de l'extrémité des câbles dans les loquets).

Justifier votre réponse.

Loquet actuel	Loquet futur
---------------	--------------



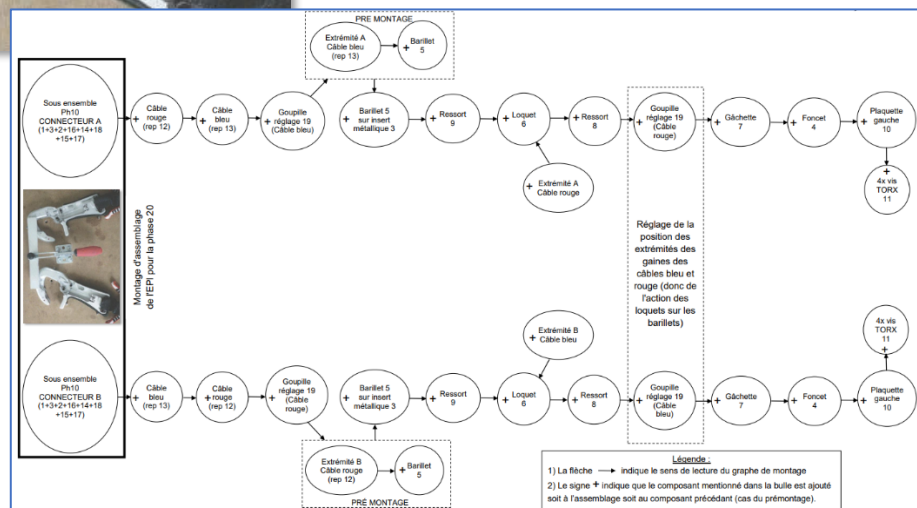
Sur le loquet actuel, le montage de l'extrémité du câble dans le trou oblong se fait par le dessus de la pièce, une fois le loquet assemblé sur le carter.

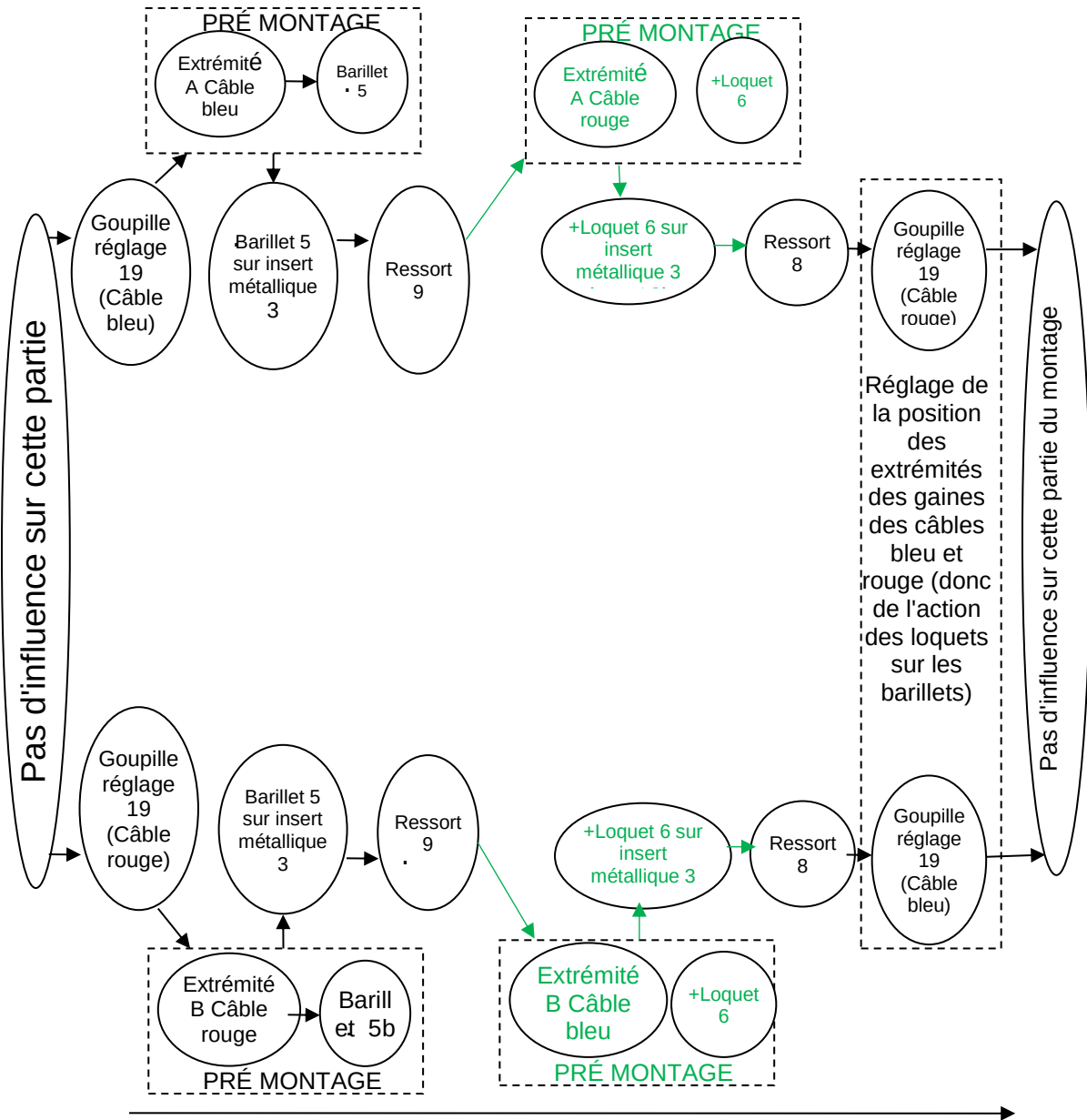
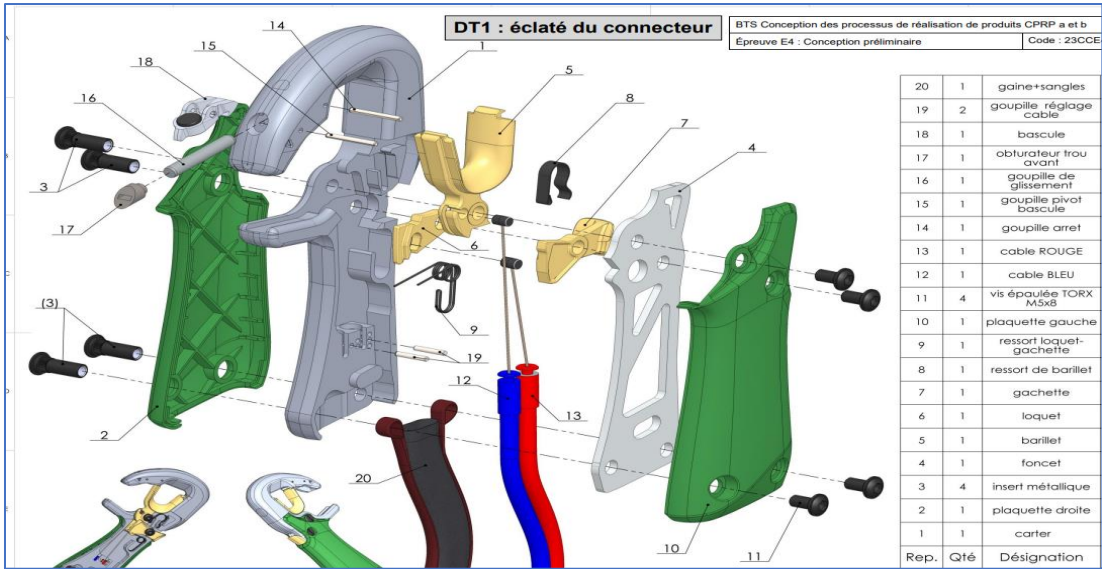
Pour le loquet futur, il faudra d'abord assembler le câble sur le loquet, en l'insérant dans la rainure du côté du loquet, avant d'installer l'ensemble sur le carter. Car une fois le loquet assemblé l'accès à la rainure est difficile.

Question 1-3.2

Voir DT3
DR1

Compléter le nouveau graphe de montage (partiel) sur le **DR1** en modifiant la partie relative au montage des nouveaux loquets.





Question 1-3.3

Feuille de copie

Conclure sur les conséquences de ces modifications sur l'assemblage du produit en phase 20.

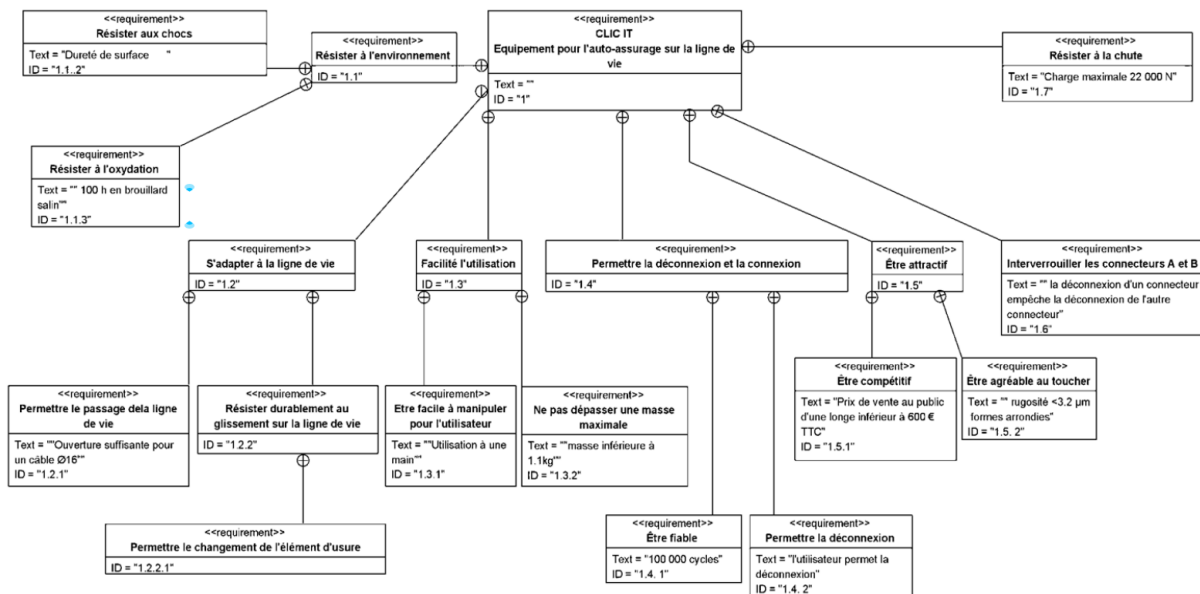
Ces modifications feront gagner du temps lors de l'assemblage car il y a moins de positions de réglage et le câble une fois mis en place sur le loquet ne peut plus s'en déloger lors du montage.

Partie 2 Le couple matériau / procédé retenu pour l'obtention du brut du carter est-il le mieux adapté ?

Question 2-1

Voir DT4
DR2

Le **DT4** donne le diagramme partiel des exigences de la longe. Les critères ci-dessous impactent le choix du matériau du carter. **Écrire** dans le **DR2** les exigences correspondant à chacun de ces critères.



Critère	Identifiant	Exigence (<<requirement>>)
Limite élastique (Re) supérieure ou égale à 200 MPa	Id =1.7	Résister à la chute
Ténacité supérieure ou égale à 10 MPa·m ^{0.5}	Id = 1.7	Résister à la chute
Masse volumique inférieure à 3,5 kg·dm ⁻³	Id =1.3.2	Ne pas dépasser la masse maximale
Prix matière inférieur à 2,5 €·kg ⁻¹	Id = 1.5.1	Être compétitif
Coût unitaire de production le plus faible possible	Id =1.5.1	Être compétitif
État de surface « très lisse »	Id =1.5.2	Être agréable au toucher
Excellente résistance à la corrosion	Id =1.1.3	Résister à l'oxydation

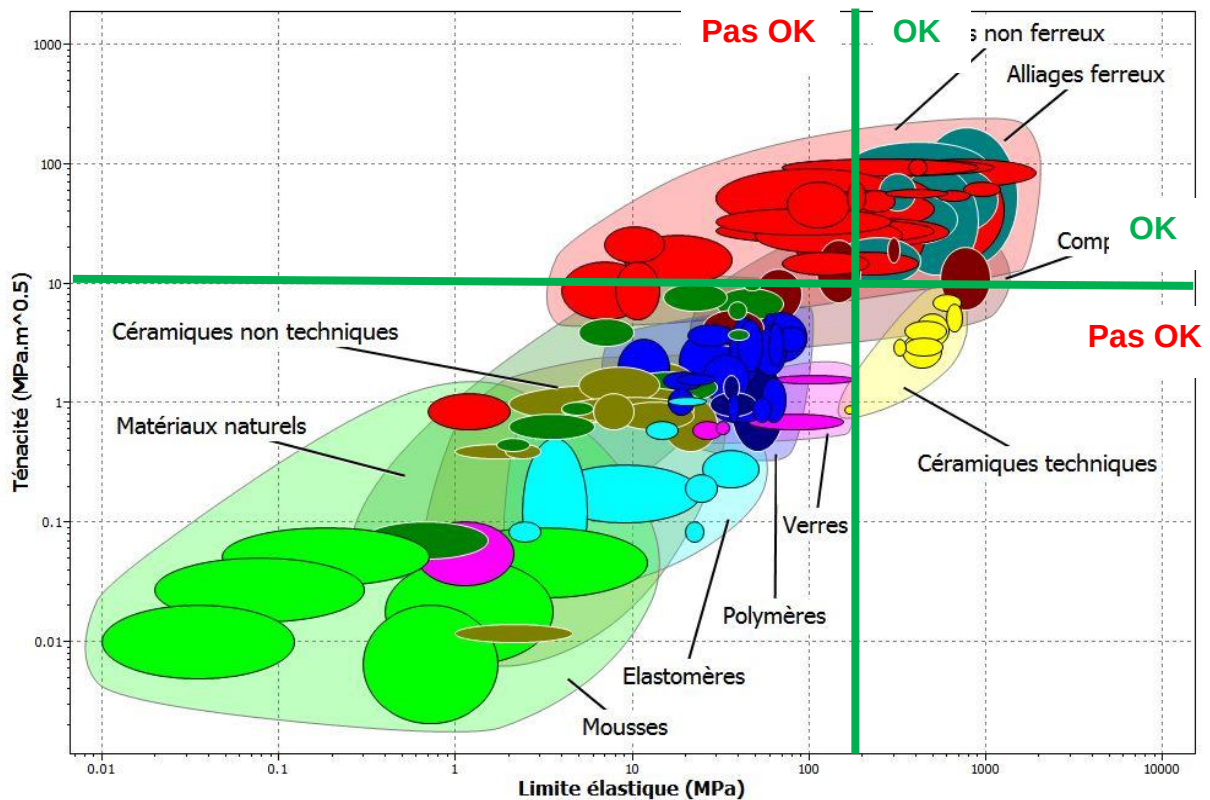
Question 2-2

DR2 et feuille de copie

Sur le graphique 1 du **DR2**, **hachurer** la zone où les matériaux ne correspondent pas aux critères retenus. **Lister** sur feuille de copie les familles de matériaux qui peuvent être retenues.

Dans un premier temps, il s'agit d'éliminer les familles de matériaux pour lesquelles aucun élément ne répond aux 2 critères mécaniques suivants :

- $Re_{mini} \geq 200 \text{ MPa}$;
- $ténacité \geq 10 \text{ MPa} \cdot m^{0,5}$.



Les familles de matériaux pouvant être retenues sont :

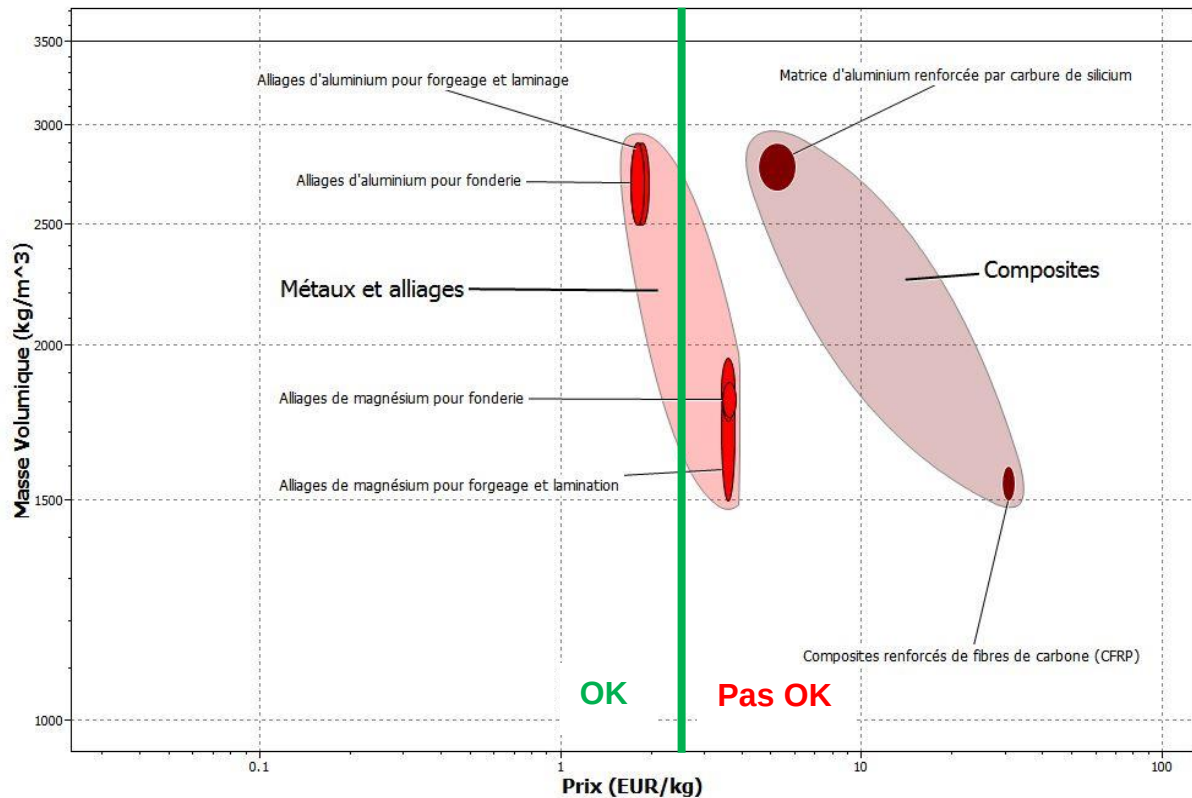
- Alliages ferreux
- Alliages non ferreux
- Composites

Question 2-3

DR2 et feuille de copie

Tracer cette limite de prix sur le graphique 2 du **DR2** et **indiquer**, sur feuille de copie, le ou les matériaux qui peuvent être retenus.

on souhaite ne conserver que les matériaux dont le prix au kg est inférieur à 2,50 €.



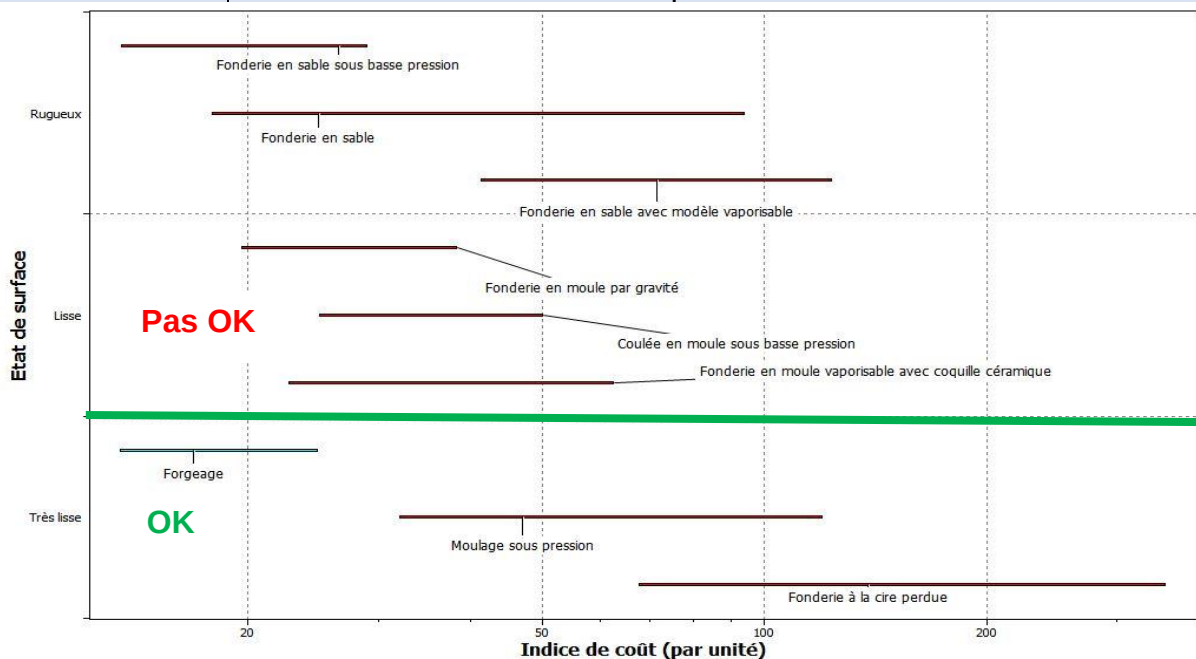
Les matériaux pouvant être retenus sont :

- Alliages d'aluminium pour forgeage et laminage,
- Alliages d'aluminium pour fonderie,
- Alliages de magnésium pour fonderie,
- Alliages de magnésium pour forgeage et laminage.

Question 2-4
DR2 et feuille de copie

Identifier parmi les procédés, sur le graphique 3 du **DR2**, celui qui permet l'obtention d'une pièce :

- avec un état de surface très lisse;
- au coût unitaire le plus faible.



Le forgeage est le procédé qui permet de valider les 2 critères.

Question 2-5

Feuille de copie

Parmi les alliages d'aluminium aptes au matriçage (forgeage des alliages non ferreux) listés dans le tableau ci-dessous, **indiquer**, en justifiant votre réponse, les nuances qui respectent les critères suivants :

- une excellente aptitude au matriçage;
- une excellente résistance à la corrosion;
- une limite Rp 0,2 (0,2 % de déformation plastique résiduelle) minimale de 200 MPa.

Désignation selon Norme Européenne	Densité	Caractéristiques mécaniques					Matriçage	Usinabilité	Polissage	Anodisation	Résistance à la corrosion	Domaine d'utilisation
		Etat	Rm	Rp 0.2	A%	HB						
EN 573-3			N.mm ⁻²	N.mm ⁻²	mm							
EN AW-1050A (Al99.5)	2,70	0 H18	60 145	125	25 3	20 42	A	C	A	A	A	Utilisé pour des composants mécaniques avec anodisation (électricité, chimie, agroalimentaire)
EN AW-2017A AlCu4MgSi AU4G	2,79	T4	390	235	12	105	B	A	B	B	C	Utilisé dans l'industrie dont l'aéronautique
EN AW-2024 AlCu4Mg1 AU4G1	2,77	T4	440	300	11	110	B	A	B	B	C	Utilisé dans l'industrie dont l'aéronautique
EN AW-2618A AlCu2Mg1.5Ni	2,76	T4	440	390	8,5	135	B	A	B	B	C	Utilisé dans l'industrie dont l'aéronautique
EN AW-5754 AlMg3 AG3	2,67	0	220	100	23	50	B	C	A	A	B	Utilisé dans le bâtiment
EN AW-6060 AlMgSi ASG	2,7	T6	305	270	13	95	A	C	A	A	A	Utilisé dans l'industrie automobile et nautique (résistance à la corrosion)
EN AW-6082 AlSiMgMn ASG	2,71	T6	310	280	12	95	A	C	A	A	A	Utilisé dans l'industrie automobile et nautique (résistance à la corrosion)
EN AW-7075 AlZn5.5MgCu AZ5GU	2,8	T6	530	450	8	150	B	A	B	B	C	Utilisé dans l'armement, l'aéronautique et le sport (résistance mécanique)

Question 2-6

Voir DT1

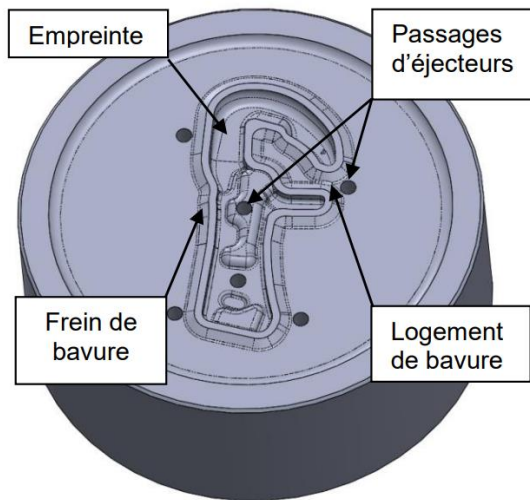
Feuille de copie

Conclure sur le choix du matériau du carter mentionné dans la nomenclature.

Dans la nomenclature, on lit que le carter est en EN AW-6082 or ce matériau est l'un des deux matériaux que nous avons sélectionnés.

Donc le matériau choisi convient.

Partie 3 Le procédé actuel pour réaliser les empreintes sur les inserts de matriçage est-il le meilleur ?



On va comparer le fait de réaliser les empreintes sur les inserts de matriçage en :

- **EEE** : électroérosion par enfonçage,
- **Usinage** sur centre d'usinage 3 axes,
- **PECM** : usinage électro-chimique de précision.

Sous-partie 3-1 Réalisation en électroérosion par enfonçage (EEE)

Question 3-1.1

Voir DT5
Feuille de copie

À partir du volume total de matière à enlever dans l'empreinte et des volumes enlevés en finition et demi-finition, **calculer** le volume à enlever lors du régime d'ébauche.

Régime	Volume matière enlevé (mm ³)
Ébauche	Sur feuille de copie
Demi-finition	3732
Finition	1244
Volume total de l'empreinte →	47719

$$V_{\text{ébauche}} = 47\,719 - 3732 - 1244$$

$$V_{\text{ébauche}} = 42\,743 \text{ mm}^3$$

Question 3-1.2

Voir DT5
Feuille de copie

Calculer, pour le régime d'ébauche, le temps d'usinage ainsi que la durée totale d'électroérosion pour l'obtention de l'empreinte dans l'insert de matriçage inférieur.

Régime	Volume matière enlevé (mm ³)	Débit Vw (mm ³ ·min ⁻¹)	Durée d'usinage (min)
Ébauche	Sur feuille de copie	800	Sur feuille de copie
Demi-finition	3732	28	133,28
Finition	1244	6	207,33
Volume total de l'empreinte →	47719	Durée totale de l'usinage →	Sur feuille de copie

$$T_{\text{ébauche}} = 42743 / 800 = 53,43 \text{ min}$$

$$T_{\text{total}} = 53,43 + 133,28 + 207,33 = 394,04 \text{ min} \quad (= 6 \text{ heures } 34 \text{ min } 02 \text{ sec})$$

Sous-partie 3-2 Réalisation sur centre d'usinage 3 axes

Question 3-2.1
Feuille de copie

Calculer le temps « copeaux » total pour l'ébauche et la réalisation des surfaces planes.

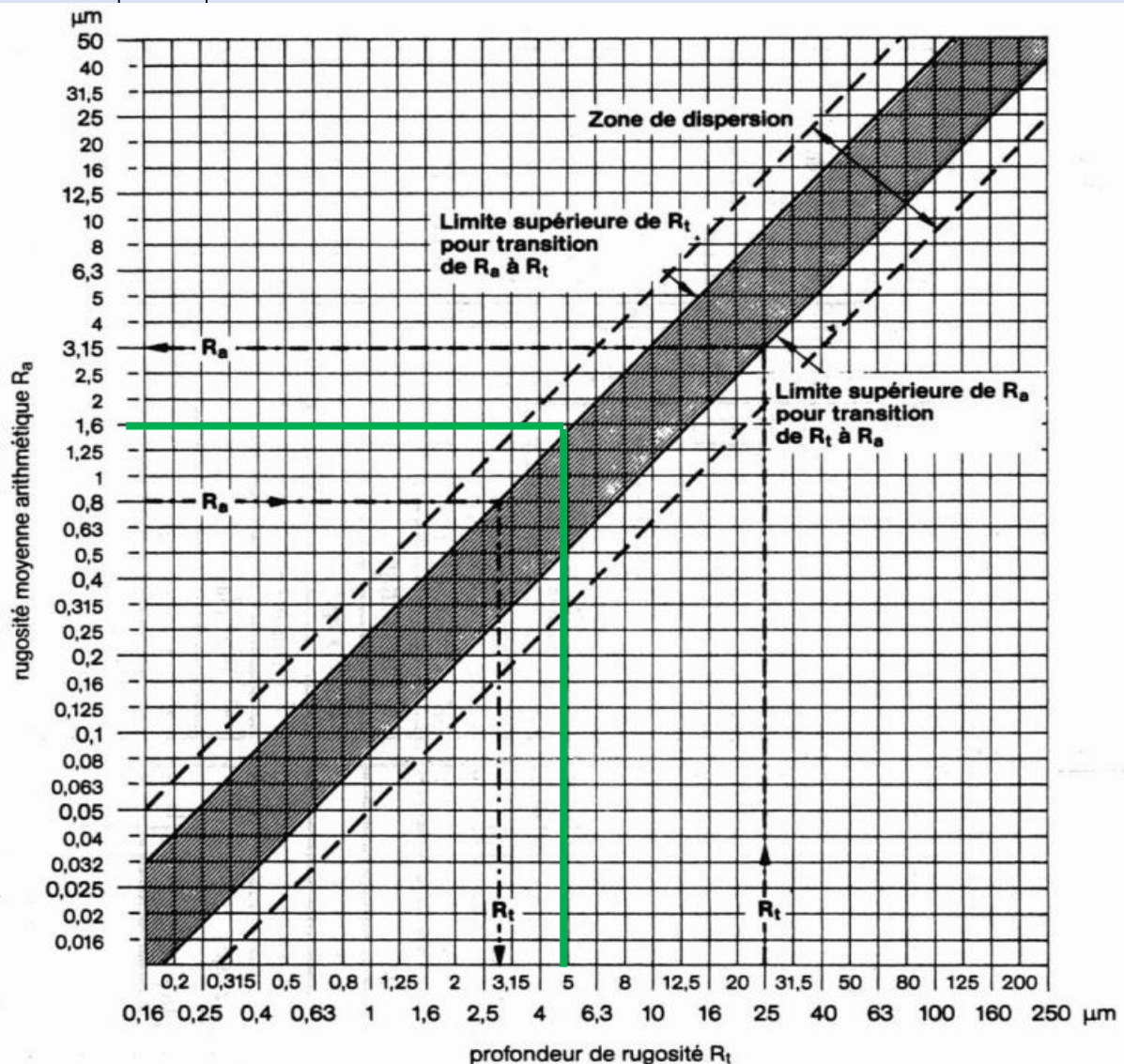
	Fraise torique	Temps copeaux
Opération 1	Diamètre 10 rayon 1	14 min 53 s
Opération 2	Diamètre 8 rayon 1	10 min 46 s
Opération 3	Diamètre 6 rayon 1	4 min 15 s
Opération 4	Diamètre 4 rayon 0.5	2 min 54 s

Le temps total s'obtient en faisant la somme des temps des 4 opérations :

$$T_{\text{total}} = 14\text{min}53\text{s} + 10\text{min}46\text{s} + 4\text{min}15\text{s} + 2\text{min}54\text{s} = 32\text{min } 48\text{s}$$

Question 3-2.2
Voir DT5
Feuille de copie

On souhaite une rugosité R_a 1,6 μm . **Déterminer** à partir de l'abaque de conversion $R_a - R_t$ la hauteur maximale du profil de rugosité R_t .



Transition de R_a à R_t donc un R_a de 1,6 μm donne un R_t de 5 μm

Question 3-2.3

Voir DT5
Feuille de copie

À partir du formulaire donné en **DT5**, **calculer** la valeur du pas de balayage a_e pour respecter le critère d'état de surface R_t obtenu précédemment à l'aide de la fraise de diamètre 2 mm.

Formulaire de calcul de a_e et f_z en fonction de R_t

Amplitude de rugosité dans le sens du pas de balayage a_e

$$R_t = \left(\frac{d}{2} - \sqrt{\frac{d^2 - a_e^2}{4}} \right) \times 1000 \qquad a_e = \sqrt{d^2 - \left(d - \frac{R_t}{500} \right)^2}$$

Avec R_t exprimé en μm , d et a_e en mm

Amplitude de rugosité dans le sens de l'avance v_f

$$R_t = \left(\frac{d}{2} - \sqrt{\frac{d^2 - f_z^2}{4}} \right) \times 1000 \qquad f_z = \sqrt{d^2 - \left(d - \frac{R_t}{500} \right)^2}$$

Avec R_t exprimé en μm , d en mm et f_z en $\text{mm} \cdot \text{tr}^{-1}$ pour une dent

On a $R_t = 5 \mu\text{m}$ et $d = 2 \text{ mm}$, donc :

$$a_e = \sqrt{2^2 - \left(2 - \frac{5}{500} \right)^2} = 0,1997 \text{ mm}$$

Question 3-2.4

Feuille de copie

Calculer la fréquence de rotation N et la vitesse d'avance V_f .

Les paramètres de coupe préconisés pour l'utilisation de la fraise hémisphérique de diamètre 2 mm sont : $f_z = 0,025 \text{ mm par dent}$; $V_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $z = 2 \text{ dents}$.

La fréquence de rotation est :

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 200}{\pi \times 2} = 31\,847 \text{ tr/min}$$

La vitesse d'avance est :

$$V_f = N \times f_z \times Z = 31\,847 \times 0,025 \times 2 = 1\,592 \text{ mm/min}$$

Question 3-2.5

Feuille de copie

Calculer, à l'aide de V_f et a_e , le temps nécessaire au balayage d'une surface de 100 mm^2 .

La fréquence de rotation maximale de la broche étant limitée à $10\,000 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$, les paramètres de coupe seront les suivants :

$$N = 10\,000 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1} ; a_e = 0,2 \text{ mm} ; V_f = 500 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$T_{100} = \frac{\text{surface}}{a_e \times V_f} = \frac{100}{0,2 \times 500} = 1 \text{ minute}$$

Question 3-2.6

Feuille de copie

La surface à balayer étant de 7400 mm^2 , **évaluer** le temps d'usinage pour la fraise hémisphérique de diamètre 2 mm.

$$T_{7400} = \frac{\text{Surface à balayer}}{100} \times T_{100} = \frac{7400}{100} \times 1 = 74 \text{ min}$$

Question 3-2.7

Feuille de copie

Calculer le temps « copeaux » total (les 4 opérations d'ébauche et les 2 opérations de finition) pour la réalisation complète de l'empreinte.

Ebauche :

	Fraise torique	Temps copeaux
Opération 1	Diamètre 10 rayon 1	14 min 53 s
Opération 2	Diamètre 8 rayon 1	10 min 46 s
Opération 3	Diamètre 6 rayon 1	4 min 15 s
Opération 4	Diamètre 4 rayon 0.5	2 min 54 s

On a calculé (Q3-2.1) :

$$T_{\text{ébauche}} = 32 \text{ min } 48 \text{ s}$$

On a calculé (Q3-2.7) :

$$T_{\text{finition:2mm}} = 74 \text{ min}$$

L'énoncé indique :

La durée d'usinage avec la fraise hémisphérique de diamètre 1 mm est estimée, de la même manière, à 31 min 30 s.

$$T_{\text{finition:1mm}} = 31 \text{ min } 30 \text{ s}$$

La durée totale est:

$$T_{\text{totale}} = 32 \text{ min } 48 \text{ s} + 74 \text{ min} + 31 \text{ min } 30 \text{ s} = 2 \text{ heures } 18 \text{ min } 18 \text{ s}$$

Question 3-2.8

Feuille de copie

Citer d'autres facteurs que la simple comparaison des temps d'usinage de l'empreinte qui peuvent influencer le choix entre ces 2 procédés (EEE et fraisage).

D'autres facteurs à prendre en compte peuvent être :

- La durée du polissage peut être plus importante en EEE qu'en fraisage,
- L'EEE nécessite la réalisation de 3 électrodes qui n'ont pas été intégrées dans la durée de réalisation des empreintes,
- La réalisation de l'empreinte sur le centre d'usinage permet de gagner une phase dans la réalisation des matrices : le regroupement des phases 60 et 70 sur le centre d'usinage permet un gain de temps supplémentaire lors des réglages.

Sous-partie 3-3 Réalisation en usinage électrochimique de précision (PECM)

Question 3-3.1

Voir DT6
Feuille de copie

Préciser quelle information permet de garantir le respect d'une rugosité de $Ra\ 1.6\ \mu m$, par ce procédé.



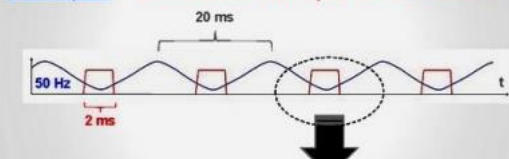

L'usinage électrochimique de précision ou PECM est un procédé spécifique permettant d'enlever de la matière métallique par dissolution ionique (Loi de Faraday). Dans un électrolyte conducteur (eau salée) une pièce à usiner chargée positivement (anode) prend progressivement la forme en creux de l'électrode chargée négativement (cathode) à l'aide d'impulsions électriques.

L'usinage électrochimique dit « de précision » (PECM) est une évolution de l'usinage électrochimique simple (ECM). C'est l'emploi combiné d'une électrode vibrante et d'impulsions électriques qui permet de travailler avec un espace inter-électrode de très petite taille (gap) conduisant à l'obtention du niveau de précision et de l'état de surface recherché.

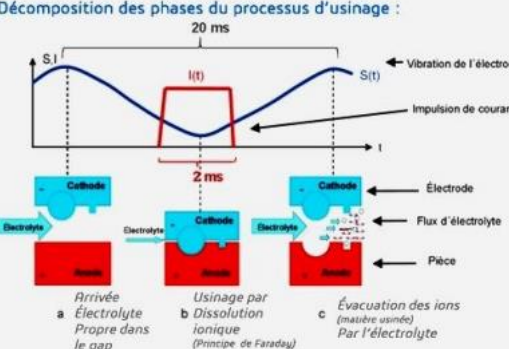
Usinage ElectroChimique de Précision

Precise ElectroChemical Machining (P.E.C.M.)

Principe : Dissolution ionique de la matière



Décomposition des phases du processus d'usinage :



Points Forts de la technologie P.E.C.M.

- Très bonne **répétabilité** du cycle d'usinage.
- Aucune **incidence thermique** sur la structure métallique ! (Température du processus entre 20 – 50°C).
- Aucun **risque de micro-fissure** - Pas de surface blanche.
- Vitesse d'usinage de **0,1 à 3 mm/min**.
- Réalisation de **formes complexes** irréalisables par un autre procédé.
- Rugosité pouvant atteindre **Ra 0,03µm**. (poli miroir)

Sur le DT3, on lit que l'on peut atteindre la rugosité $Ra\ 0,03\ \mu m$. La rugosité demandée ($Ra\ 1,6\ \mu m$) étant supérieure, elle peut donc être obtenue par ce procédé.

Question 3-3.2

Voir DT6
Feuille de copie

Relever la plage de vitesse d'usinage utilisée par ce procédé.

La plage de vitesses utilisées par ce procédé est 0,1 à 3 mm/min

Question 3-3.3

Feuille de copie

Calculer la durée d'usinage de cette empreinte pour la phase d'électrochimie, sachant que la profondeur maximale de l'empreinte à usiner est de 10,22 mm.

Afin d'être dans le cas le plus défavorable pour cette étude, la vitesse moyenne d'usinage par électrochimie est prise égale à $0,1\ mm \cdot min^{-1}$.

La durée d'usinage sera de $10,22 / 0,1 = 102,2\ minutes = 1h\ 42min$

Sous-partie 3-4 Étude technico-économique

Question 3-4.1

Feuille de copie

À ce stade de l'étude, **indiquer**, parmi les 3 procédés d'usinage proposés, celui qui est le plus rapide pour l'obtention de l'empreinte.

Les 3 procédés étudiés sont :

- EEE : électroérosion par enfonçage
- Usinage sur CU 3 axes
- PECM : Usinage électrochimique de précision

Les durées trouvées pour réaliser l'empreinte sont :

- EEE : 6h 34 min 2s
- Usinage : 2h 18 min 18s
- PECM : 1h42min

Le procédé le plus rapide est donc le PECM.

Question 3-4.2

Feuille de copie

Expliquer l'intérêt de cette solution.

L'intérêt du « relavage » (=re-usinage) des empreintes nitrurées lorsqu'elles sont usées est de conserver le bloc d'acier (pas d'achat matière) et de ne pas refaire les premières phases d'usinage de l'insert de matriçage (phases 10 à 40).

Question 3-4.3

Feuille de copie

Pour chaque situation ci-dessus, **lister** le ou les procédés (EEE, fraisage et PECM) adapté(s) en fonction :
- du nombre d'empreintes à usiner ;
- d'un relavage de l'empreinte ou non (outillages neufs).

Justifier vos réponses pour chacune des 4 situations ci-dessus, à l'aide de critères technico-économiques (faisabilité, durée, coût).

Nombre d'empreintes à réaliser	Relavage des empreintes	Pas de relavage des empreintes (outillages neufs)
Inférieur à 30	Situation 1	Situation 2
Supérieur ou égal à 30	Situation 3	Situation 4

- Relavage des empreintes, impossible sur CU (matériau trop dur HV1000)
- PECM nécessite la réalisation d'électrodes. Rentable à partir de 30 empreintes

Situation 1 : l'EEE permet le relavage des empreintes et reste moins coûteux que le PECM

Situation 2 : Le CU 3 axes est plus rapide que l'EEE et moins coûteux que le PECM. De plus, il ne nécessite pas la réalisation d'électrodes (EEE) ou d'outillage spécifiques (PECM).

Situation 3 : Le PECM permet le relavage des empreintes (contrairement au fraisage) et devient moins coûteux que l'EEE.

Situation 4 : le PECM ou le CU 3 axes (moins coûteux que l'EEE).

Le CU 3axes ne nécessite pas la réalisation d'outillages spécifiques et il permet éventuellement des évolutions des formes de l'empreinte. Par contre le PECM est plus rapide et deviendra plus économique à partir d'un seuil (à définir) si la quantité de pièces à produire augmente.

Question 3-4.4

Feuille de copie

Calculer la production totale pour ce modèle de carter.

La production annuelle de carter est estimée à 20 000 pour une durée de 5 ans.

Production totale : $20\,000 \times 5 = 100\,000$ carters.

Question 3-4.5

Feuille de copie

Calculer le nombre d'outillages nécessaire pour assurer la production sur 5 ans.

La durée de vie d'un outillage de matriçage est actuellement estimée à 8 000 carters.

$N = 100\,000 / 8\,000 = 12,5$

Il faudra donc 13 outillages de matriçage.

Question 3-4.6

Voir DT5
Feuille de copie

Dans l'hypothèse où l'augmentation des quantités de pièces à produire justifie le PECM, **proposer** une modification du processus de réalisation actuel décrit sur le **DT5** dans la gamme de fabrication actuelle des inserts de matriçage.

Gamme de fabrication actuelle des inserts de matriçage

Phase	Opérations	Machine / Poste
10	SCIAGE	Scie
20	TOURNAGE	Tour C.N. 2 axes
30	FRAISAGE C.N. (face arrière)	C.U. 3 axes
40	TRAITEMENTS THERMIQUES	Poste Tth
50	RECTIFICATION	Rectifieuse plane
60	FRAISAGE C.N. (logement et frein de bavure coté empreinte)	C.U. 3 axes
70	ÉROSION ENFONCAGE (empreinte)	E.E.E.
80	AJUSTAGE et POLISSAGE	Poste ajustage
90	CONTROLE	Méetrologie
100	NITRURATION DES EMPREINTES	Sous-traitance

Si la quantité de pièces à produire augmente et par conséquent le nombre d'inserts de matriçage à réaliser, les phases 60 et 70 peuvent être regroupées en 1 seule phase.

Les applications courantes de la **nitruration** sont les pièces d'outillage pour limiter le frottement et résister à l'abrasion. (moules, empreintes, matrices...)

Partie 4 Quel est le moyen le plus adapté pour usiner le carter ?

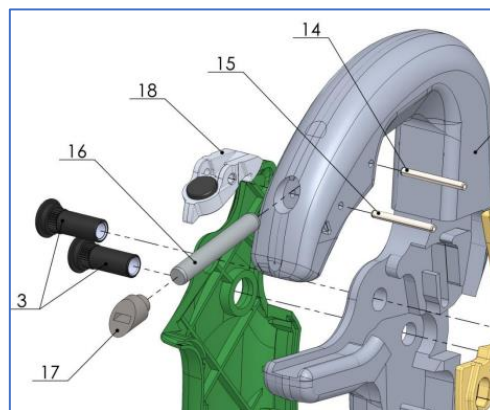
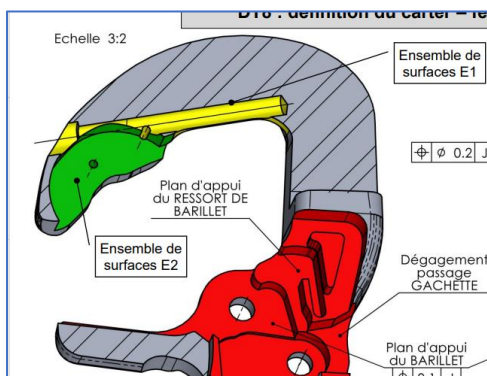
Sous-partie 4-1 Étude du groupe de surfaces associées à la goupille de glissement

Question 4-1.1

Voir DT1
Feuille de copie

Justifier la présence de la goupille de glissement insérée dans le carter du connecteur

Goupille de glissement (rep 16)



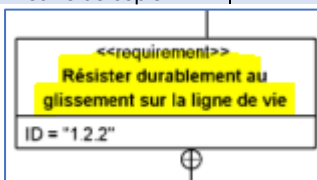
La dureté de l'acier de la ligne de vie (câble) est HB100. La dureté de l'alliage constituant le carter est HB95. La dureté de la goupille de glissement est HRC 60. Un matériau de dureté HRC 60 est plus dur qu'un matériau de dureté HB 100.

La goupille de glissement empêche le frottement du carter sur le câble. Sans cela, la dureté du carter étant moins importante que celle du câble, le carter s'userait plus rapidement.

Question 4-1.2

Voir DT4
Feuille de copie

À l'aide du diagramme partiel des exigences, **identifier** à quelle exigence satisfait la goupille de glissement.

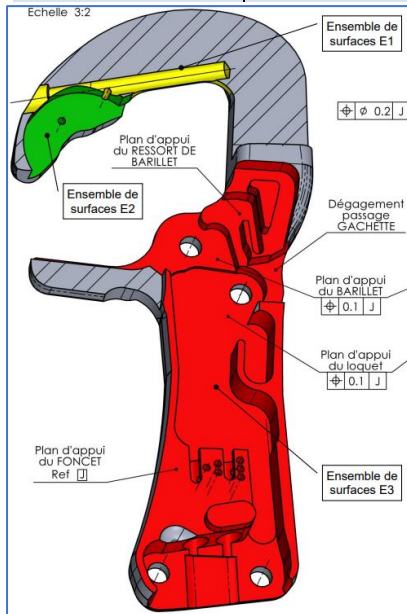


La goupille satisfait l'exigence ID= « 1.2.2 » : Résister durablement au glissement sur la ligne de vie.

Question 4-1.3

Voir DT8, 9 et 10
DR3 - Partie A

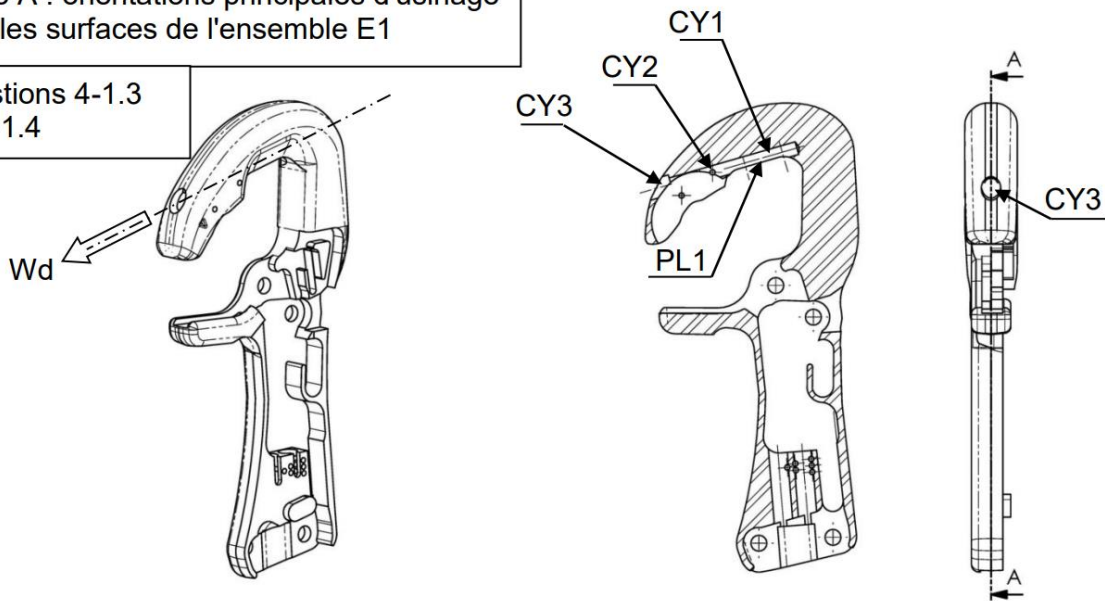
Compléter la première ligne du tableau du **DR3 - Partie A** "Orientations principales d'usinage" en indiquant les surfaces réalisées de E1 usinables suivant l'orientation Wd.



Orientations principales	Surface(s) réalisée(s)
Wd	CY3, CY1

Partie A : orientations principales d'usinage pour les surfaces de l'ensemble E1

Questions 4-1.3 et 4-1.4



Question 4-1.4

Voir DT8, 9 et 10
DR3 - Partie A

Compléter le tableau du **DR3 - Partie A** "Orientations principales d'usinage", en écrivant toutes les surfaces de E1 et les orientations d'usinage (Wa ou Wb ou Wc) associées à ces surfaces (une ligne par orientation, certaines lignes peuvent rester vides).

Orientations principales	Surface(s) réalisée(s)
Wd	CY3, CY1
Wa ou Wc	CY2, PL1

Sous-partie 4-2 Étude de la faisabilité de l'usinage du carter

Question 4-2.1

Voir DT11
DR4 - Partie A

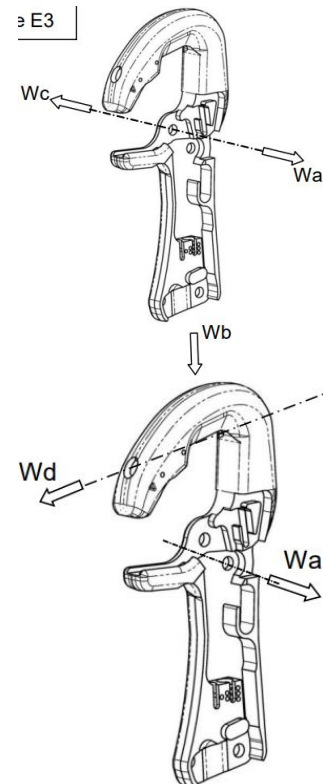
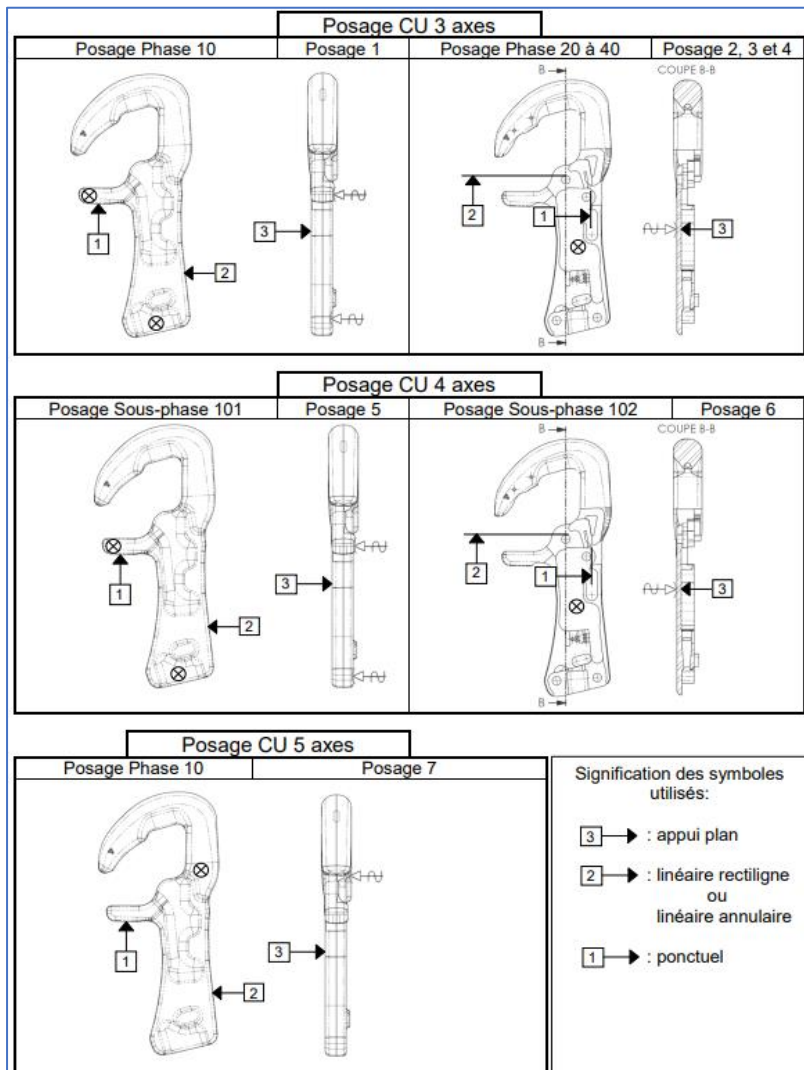
Indiquer, pour chaque posage sur CU 4 axes et CU 5 axes, les orientations d'usinage (Wa, Wb et Wd) correspondant aux surfaces réalisées avec ce posage.

Partie A - Posages possibles – Question 4-2.1

CU 3 axes	
Numéro du posage	Repère(s) de l'orientation ou des orientation(s) principale(s)
1	Wa
2	Wb
3	Wc
4	Wd

CU 4 axes	
Numéro du posage	Repère(s) de l'orientation ou des orientation(s) principale(s)
5	Wd, Wa (et Wc)
6	Wb

CU 5 axes	
Numéro du posage	Repère(s) de l'orientation ou des orientation(s) principale(s)
7	Wa, Wb, Wd (et Wc)



Question 4-2.2

Voir DT7
DR4 - Partie B

Indiquer si les règles 1 et 2 sont prises en compte pour la phase concernée pour le choix CU 4 axes ou CU 5 axes

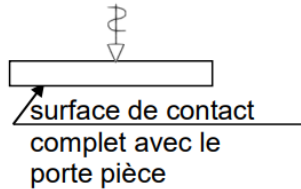
Remarque : pour exemple, le tableau relatif au centre d'usinage 3 axes est complété.

Partie B : règles de maintien en position

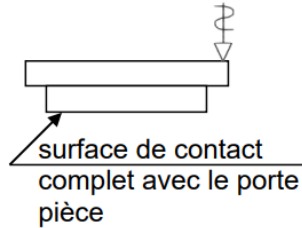
Règle n°1 :

Le maintien en position (MAP) doit avoir tendance à appliquer la pièce sur ses contacts avec le porte-pièce.

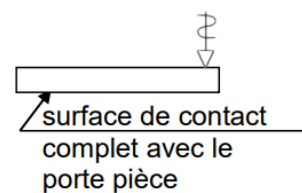
Exemple : (la flèche  représente l'action de l'élément de serrage)



règle 1 respectée



règle 1 non respectée
basculement de la pièce



règle 1 non respectée
contact non garanti avec la surface d'appui (surface de contact), risque de vibrations pendant l'usinage

Règle n°2 :

Mettre en place plusieurs éléments de MAP si nécessaire.

Critère "Faisabilité du maintien en position"					
	CU 3 axes		CU 4 axes		CU 5 axes
	Ph 10	Ph 20 à 40	sph 101	sph 102	Ph 10
Règle 1	oui	oui	Oui	Oui	oui
Règle 2	oui	non	oui	non	Non

Question 4-2.3

Feuille de copie

Conclure sur la faisabilité du maintien en position pour les trois machines.

Le maintien en position n peut pas être réalisé sur le CU 5 axes au regard de la règle 2.

Étude du critère « Spécifications entre surfaces »

On souhaite chiffrer les dispersions pour les spécifications suivantes :

ϕ 0.4 A	ϕ Ø0.2 J D-E D	ϕ 0.1 J
--------------	---------------------	--------------

Les valeurs des dispersions sont :

- 0,02 mm pour la dispersion d'usinage sur chaque surface usinée;
- 0,05 mm pour la dispersion de reprise « sur usiné » ;
- 0,1 mm pour la dispersion de reprise « sur brut ».

Question 4-2.4

Voir DT7 et DT8
DR4 - Partie B

Compléter, pour le CU 4 axes, le tableau relatif au critère « Spécifications entre surfaces » en indiquant, pour chaque spécification :

- les valeurs des dispersions à prendre en compte;
- la valeur de la dispersion totale.

CU 3 axes		Critère "Spécifications entre surfaces"				
Spécification	Type de surface	Phase où est usinée la surface	Dispersion de reprise sur brut	Dispersion de reprise sur usiné	Dispersion d'usinage	Dispersion totale
⌀ 0.4 A	Référence	brute	0.1	X	0.02	0.12
	Tolérancée	10				
⌀ Ø0.2 J D-E D	Référence	10	X	0.05	0.02	0.07
	Tolérancée	40				
⌀ 0.1 J	Référence	10	X	X	0.02	0.02
	Tolérancée	10				
CU 4 axes		Critère "Spécifications entre surfaces"				
Spécification	Type de surface	Phase où est usinée la surface	Dispersion de reprise sur brut	Dispersion de reprise sur usiné	Dispersion d'usinage	Dispersion totale
⌀ 0.4 A	Référence	brute	0,1	X	0,02	0,12
	Tolérancée	Ph 10 sph 101				
⌀ Ø0.2 J D-E D	Référence	Ph 10 sph 101	X	X	0,02	0,02
	Tolérancée	Ph 10 sph 101				
⌀ 0.1 J	Référence	Ph 10 sph 101	X	X	0,02	0,02
	Tolérancée	Ph 10 sph 101				

Compléter les cases grisées

Question 4-2.5

Feuille de copie

Conclure en indiquant les machines utilisables par rapport au critère "Spécifications entre surfaces".

Le CU 3 axes et le CU 4 axes conviennent.

Le critère « spécifications entre surfaces » ne permet pas de faire un choix entre CU 3 axes et CU 4 axes.

Étude du critère « Disponibilité des machines »

Question 4-2.6

Feuille de copie et
DR4 - Partie B

Sur feuille de copie, **calculer** le taux de charge des CU 3 axes et des CU 4 axes, en intégrant l'usinage des carters. **Compléter** le tableau Critère « Disponibilité des machines ».

- Pour les CU 3 axes, la charge (avec les carters) est égale à 7 800 heures. La capacité est de 7 200 heures, donc le taux de charge est $7800/7200 = 1,08$.
- Pour les CU 4 axes, la charge (avec les carters) est égale à 5 600 heures. La capacité est de 5 760 heures, donc le taux de charge est $5600/5760 = 0,97$

Critère " Disponibilité des machines"				
	Charge usinage carter (en h)	Charge usinage autres pièces (en h)	Capacité (en h)	Taux de charge (en %)
CU 3 axes	1800	6000	7200	108%
CU 4 axes	1600	4000	5760	97%

Question 4-2.7

Feuille de copie

Indiquer les machines disponibles pour réaliser les usinages du carter, en justifiant votre réponse.

Le taux de charge de la CU 3 axes dépasse 100% donc on ne peut pas la choisir.

On choisit donc la CU 4 axes.

Question 4-2.8

Feuille de copie

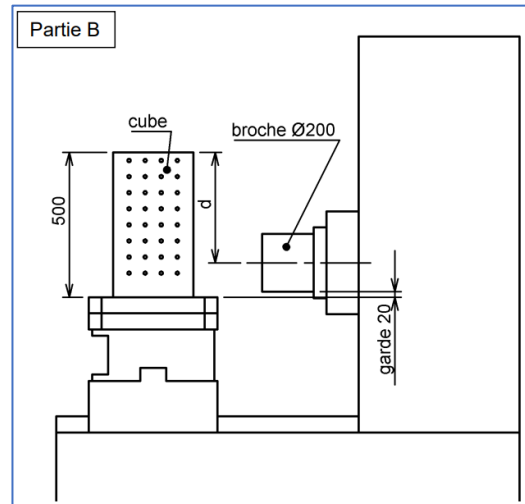
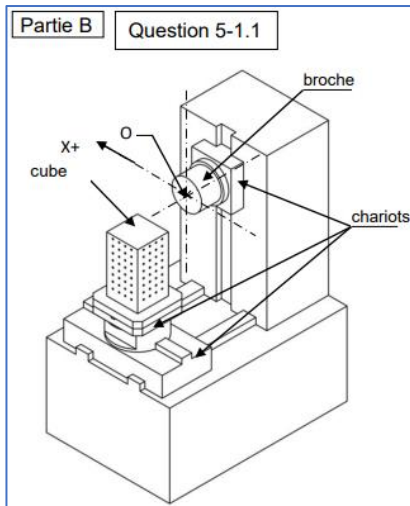
Conclure, en prenant en compte les différents critères, sur le moyen le plus adapté pour usiner le carter.

- Sur CU 5 axes, on ne peut pas réaliser le maintien en position
- Sur le CU 3 axes, on serait en surcharge
- Le CU 4 axes valide tous les critères d'étude.

Partie 5 Combien faut-il de porte-pièces pour minimiser le coût de production ?

La phase Ph10 sur CU 4 axes comprend 2 sous-phases : la sous-phase sph101 et la sous-phase sph102. Le cube monté sur le CU 4 axes a pour dimensions 250x250x500 mm.

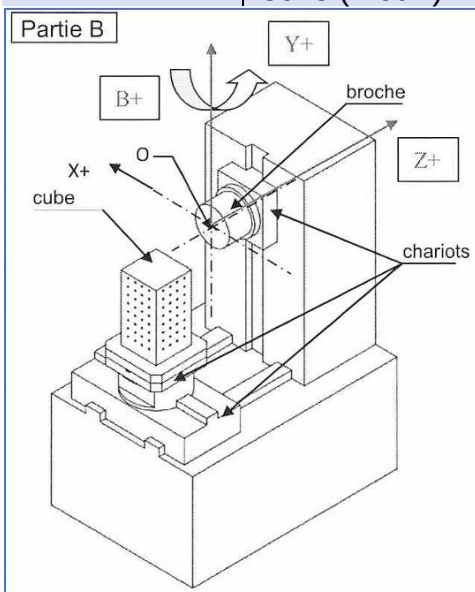
La broche a un diamètre de 200 mm (voir **DT10 - Partie B**).



Question 5-1.1

DR3 - Partie B

Tracer les autres axes de programmation de la machine, dans le sens positif, en partant du point O. **Indiquer** le nom de chaque axe et son sens (+ ou -).

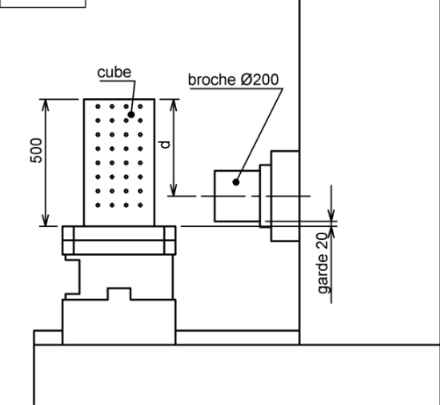


Question 5-1.2

Voir DT10 - Partie B
Feuille de copie

Sur feuille, **calculer** la dimension « d » en justifiant votre réponse.

Partie B



$$d = 500 - 20 - (200/2) = 380 \text{ mm}$$

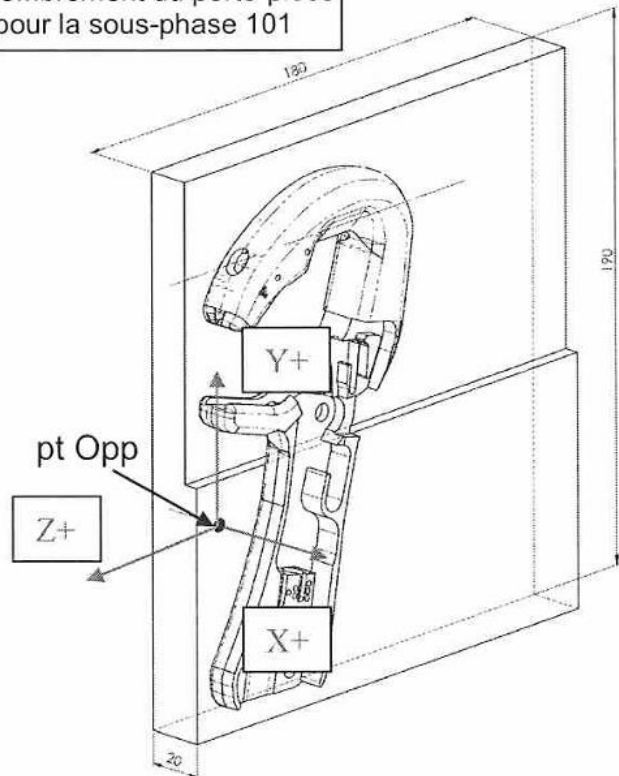
Question 5-1.3

DR3 - Partie C

Le porte pièce est en position d'usage. **Tracer**, en partant du point « Opp », les axes de programmation pour réaliser les surfaces associées à l'orientation d'usinage Wd. **Indiquer** le nom de chaque axe et son sens (+ ou -).

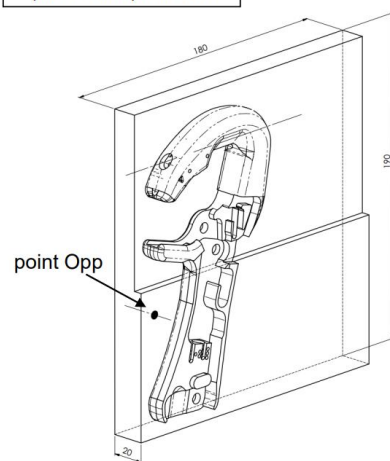
Partie C

Encombrement du porte-pièce
pour la sous-phase 101



Partie C

Encombrement du porte-pièce
pour la sous-phase 101



Question 5-1.3

Question 5-1.4

Feuille de copie

Calculer le nombre de porte-pièces que l'on peut monter sur une face du cube, pour la sous-phase sph101, en justifiant votre réponse.

$$\text{Nombre de porte-pièces} = 380 / 190 = 2$$

Question 5-1.5

Feuille de copie

Justifier ce choix.

On évite les « en cours »

A priori, le porte-pièce pour la sous-phase 102 est moins encombrant (en y) que le porte-pièce pour la sous-phase 101.

Sous-partie 5-2 Nombre de faces du cube à utiliser pour la phase ph10

Coûts "machine" et "porte-pièce"

Coût horaire de la machine (un opérateur par machine)	150	euros	Cas d'utilisation pour une face utilisée sur le cube pour la sous phase 101
Coût horaire de la machine (un opérateur pour 2 machines)	105	euros	Cas d'utilisation pour 2 faces utilisées sur le cube pour la sous phase 101
Coût de l'ensemble des porte-pièces (sur une face) pour la sous phase 101	800	euros	
Coût de l'ensemble des porte-pièces (sur une face) pour la sous phase 102	700	euros	

Temps et coûts d'utilisation d'une face pour la sous-phase
101 et d'une face pour la sous-phase 102

Temps usinage	1820	cmin	Pour 2 pièces
Temps de rotation palette hors usinage en cours de sous phase	20	cmin	
Temps montage	90	cmin	
Temps total	1930	cmin	
Coût total	48.25	euros	

Temps et coûts d'utilisation de 2 faces pour la sous-phase
101 et de 2 faces pour la sous-phase 102

Temps usinage	3640	cmin	Pour 4 pièces
Temps de rotation palette hors usinage	40	cmin	
Temps montage	200	cmin	
Temps total	3880	cmin	
Coût total	67.90	euros	

Le cube du CU4 axes possède quatre faces et on envisage de positionner 2 pièces par face. Le bureau des méthodes demande d'étudier deux possibilités :

- *utiliser une face du cube pour la sous-phase sph101 et une face du cube pour la sous-phase sph102;*
- *utiliser 2 faces du cube pour la sous-phase sph101 et 2 faces du cube en sous-phase sph102.*

La relation permettant de calculer le coût d'un lot de n_1 pièces, si on utilise une seule face du cube en sous-phase sph101, est $C_1 = (24,13 \times n_1) + 1500$

Question 5-2.1

Voir DT12
Feuille de copie

Expliquer comment cette relation est obtenue.

Dans le tableau, le temps d'usinage est donné pour 2 pièces. Pour l'avoir pour 1 pièce, il faut diviser par 2 le coût indiqué : $48,25\text{€}/2 = 24,13\text{€}$

Le coût de l'ensemble des porte-pièces est 1500€ (=800€ + 700€)

D'où l'équation :

$$C_1 = (24,13 \times n_1) + 1500$$

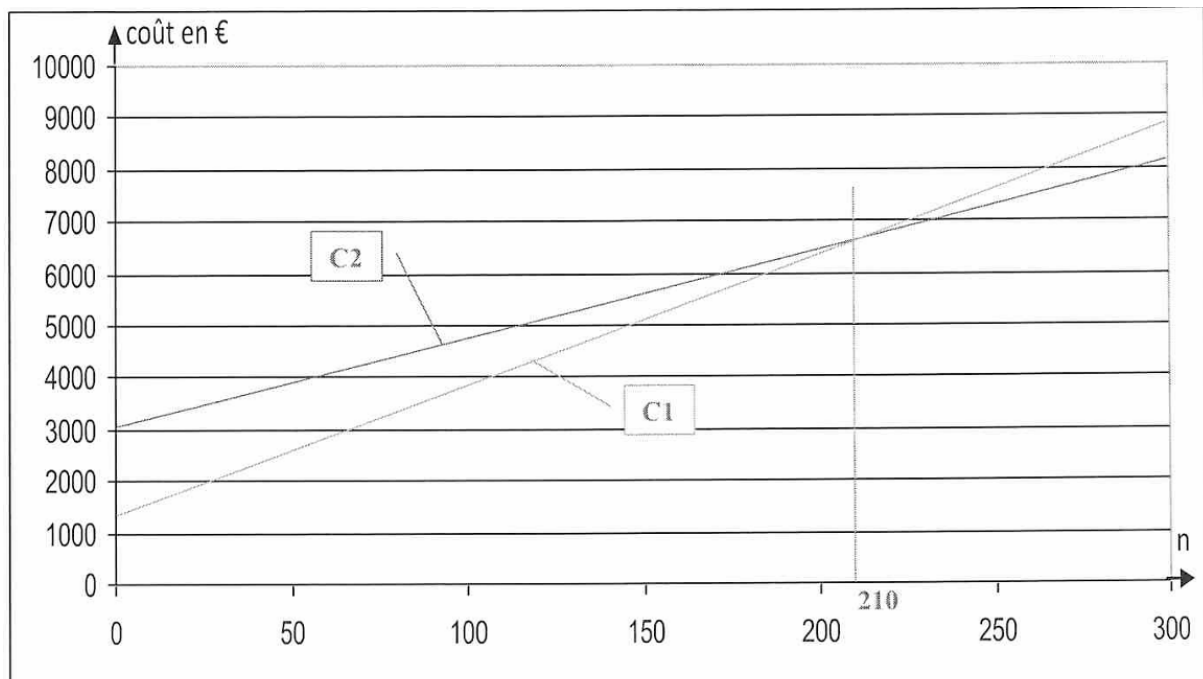
La relation permettant de calculer le coût d'un lot de n_2 pièces, si on utilise 2 faces du cube en sous-phase ph101, est $C_2 = (16,98 \cdot n_2) + 3000$

Question 5-2.2

DR5 - graphique 1

Sur le **DR5**, tracer en les identifiant par C_1 et C_2 :

- la droite de variation du coût C_1 en fonction du nombre de pièces n ;
- la droite de variation du coût C_2 en fonction du nombre de pièces n .



Question 5-2.3

DR5 - cadre Q5-2.3

À partir des tracés de la question 5-2.2, **déterminer** le nombre de pièces à partir duquel la solution consistant à utiliser deux faces du cube pour la sous phase sph101 donne un coût de pièce moins élevé.

Par lecture sur le graphique on trouve que le nombre de pièces est 210.

Question 5-2.4

DR5 - cadre Q5-2.4

Préciser et justifier, dans ce cas, la configuration à retenir.

On utilise 2 faces (donc 4 porte-pièces) pour la sous-phase 101 et 2 faces (donc 4 porte-pièces) pour la sous-phase 102 car le coût est moins élevé pour la quantité à produire.

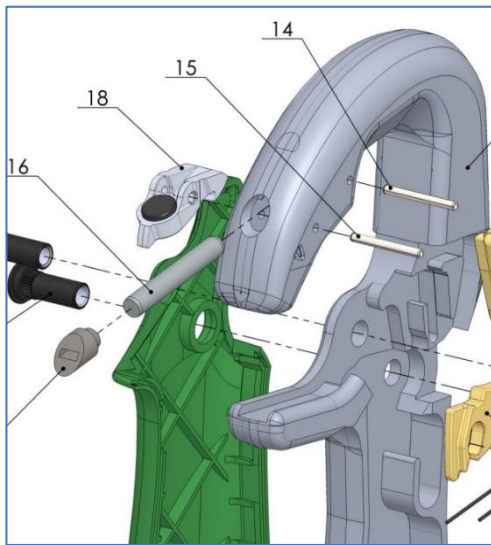
Question 5-2.5

DR5 - cadre Q5-2.5

Conclure sur les moyens (machine, porte pièces) à mettre en œuvre pour réaliser le carter.

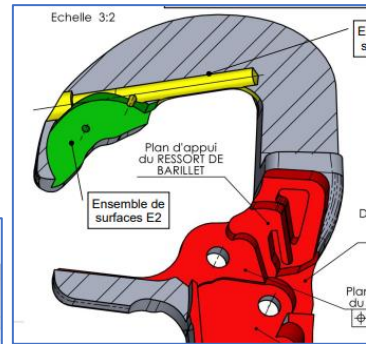
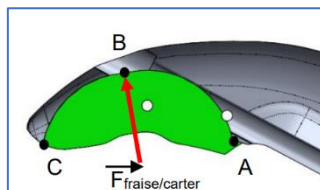
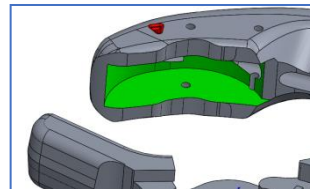
On choisira de mettre en œuvre le centre d'usinage 4 axes avec 2 porte-pièces sur chaque face.

Partie 6 Quelles précautions prendre pour maîtriser les déformations du carter lors de l'usinage ?



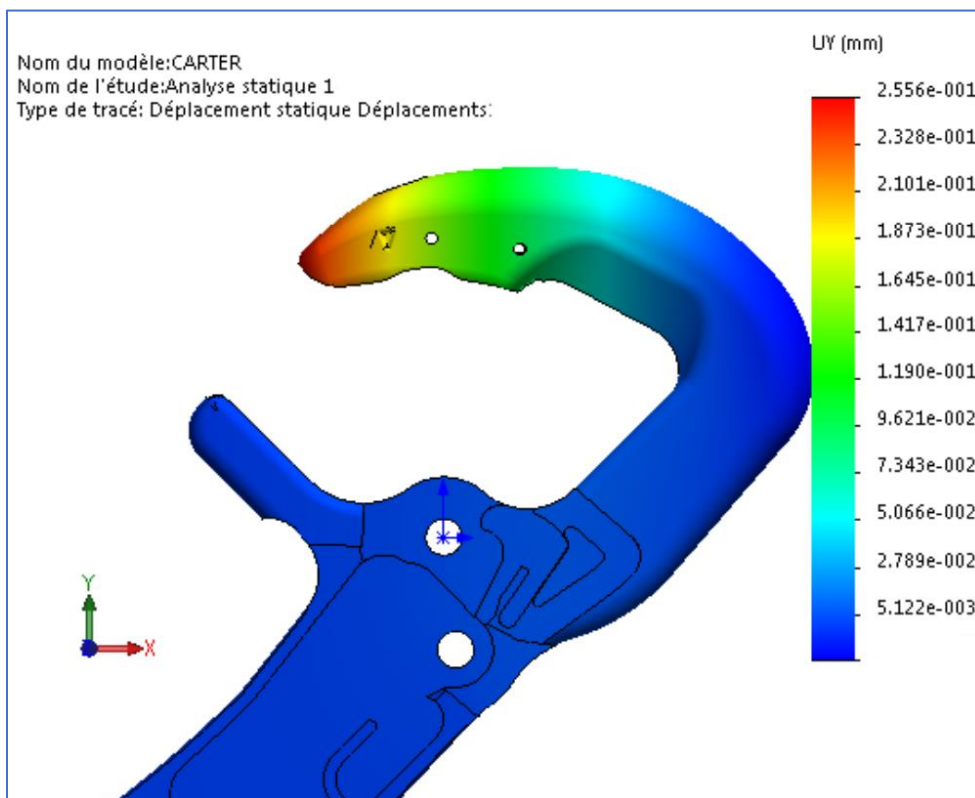
Bascule (rep.18)

Logement de la bascule (rep.18)



Dans la suite de l'étude, le point B sera considéré comme le point d'effort maximum $F_{\text{fraise/carter}}$, de la fraise sur la pièce tendant à déformer cette dernière.

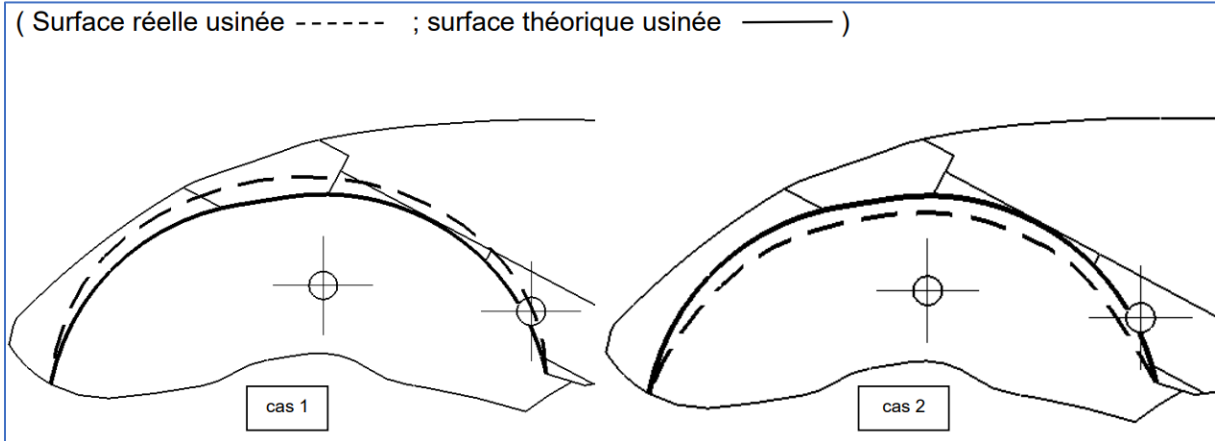
Un calcul par excès a permis d'évaluer $F_{\text{fraise/carter max}} = 200 \text{ N}$.



Question 6-1
DR6

Indiquer, en choisissant parmi les 2 cas proposés dans le cadre 1 du **DR6**, l'allure de la surface "réelle" usinée par rapport à la surface "théorique" usinée. **Justifier** la réponse.

(Surface réelle usinée - - - - - ; surface théorique usinée ———)

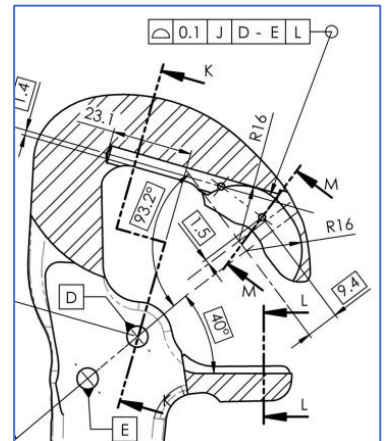
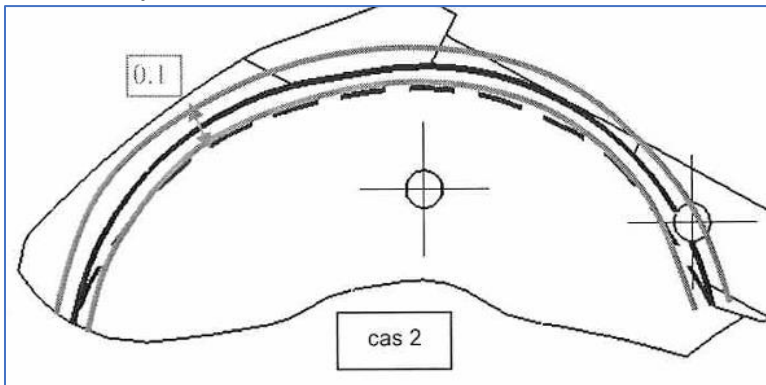


Le résultat après usinage correspondra au cas n°2 car l'effort F_{max} déformera la pièce suivant $Y+$ et la fraise 3 tailles enlèvera moins de matière que prévu. La surface réelle sera donc à l'intérieur (suivant $Y-$) de la forme usinée.

Question 6-2
Voir DT8
DR6

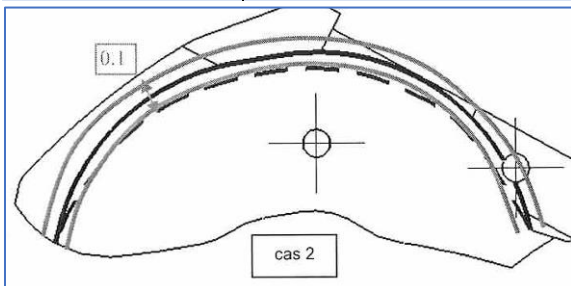
Pour la spécification ci-dessus, **tracer**, en couleur, les 2 surfaces limites définissant la zone de tolérance.

Le dessin de définition **DT8** spécifie la tolérance $\Delta 0.1 \text{ J D - E L}$ sur la surface "théorique" usinée, représentée en trait continu dans les 2 vues du cadre 1 du **DR6**.



Question 6-3
DR6

Coter la valeur de la zone de tolérance.



L'écart entre les 2 droites est de 0,1 mm.

Question 6-4
Feuille de copie

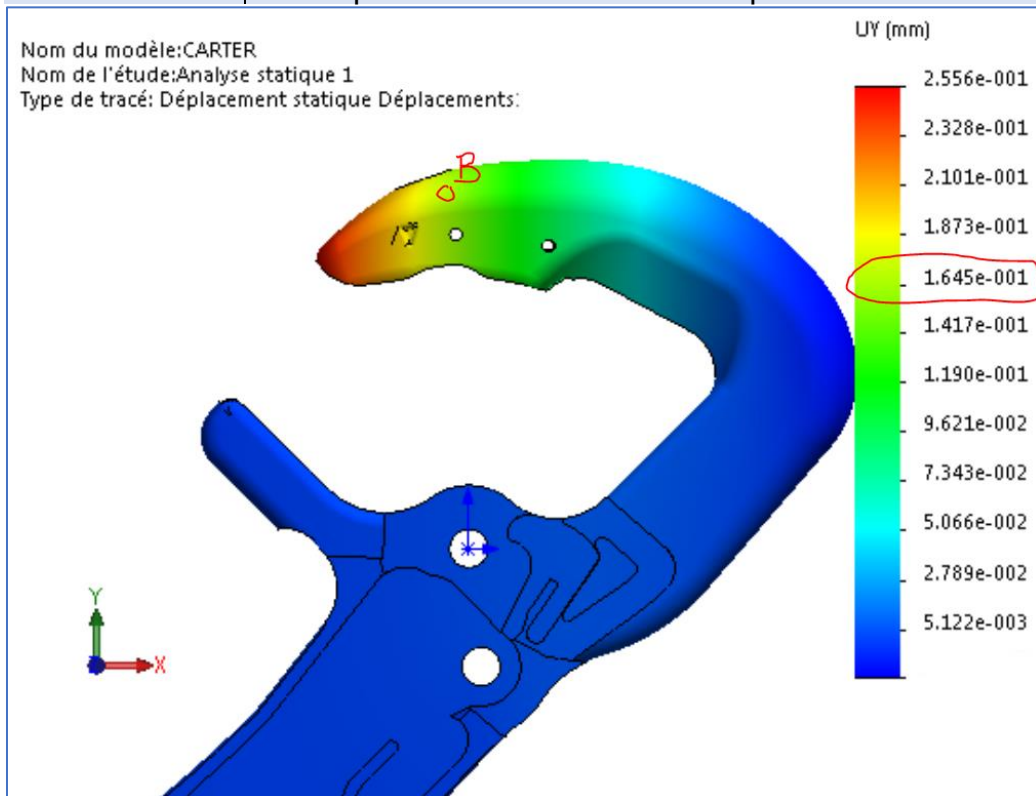
À partir de la spécification, **calculer** l'écart maximum toléré entre la surface "réelle" usinée et la surface "théorique" usinée.

L'IT (intervalle de tolérance) se répartit de part et d'autre de la surface théorique attendue.

L'IT vaut 0,1 mm donc l'écart maximal toléré par rapport à la surface théorique est de 0,05 mm.

Question 6-5
DR6

Entourer, sur la représentation couleur du carter, la zone correspondant à la localisation du point B.



Question 6-6
Feuille de copie

Évaluer cet écart.

L'échelle à droite de la représentation du carter déformé nous donne pour la zone de déformation en B, une déformation d'environ 0,16 mm.

Question 6-7
Feuille de copie

Conclure sur la conformité de la pièce en justifiant votre réponse.

La pièce sera considérée comme non conforme car la déformation maximale liée aux efforts d'usinage ne doit pas dépasser 0,05 mm et sur la simulation on lit une déformation d'environ 0,16 mm.

Question 6-8

Feuille de copie

Dans l'hypothèse où l'usinage en une passe ne permet pas de satisfaire les exigences du tolérancement, **proposer** succinctement une ou plusieurs solutions pour diminuer les déformations.

On peut :

- Réduire la profondeur de passe et effectuer l'usinage en plusieurs passes avec un ou plusieurs outils,
- Réduire l'avance,
- Mettre en place un maintien de contact sur le montage d'usinage.

Classe de rugosité VDI

Qu'est-ce que la Norme de rugosité des matériaux VDI 3400?

La **Norme VDI 3400** est une norme allemande qui définit la rugosité superficielle des matériaux. Cette norme, émise par la **Verein Deutscher Ingenieure** (VDI), est utilisée pour décrire et mesurer la texture des surfaces en termes de finition. Elle est fondamentale dans les applications où la précision et la qualité de la surface affectent la performance du produit.

Détails de la Norme VDI 3400

La Norme VDI 3400 établit une série de classes de rugosité, numérotées de **0 à 45**. Chaque classe spécifie une plage particulière de caractéristiques de surface, telles que la hauteur, l'amplitude et l'espacement des irrégularités de la surface du matériau. Ces caractéristiques sont essentielles pour garantir la qualité et la fonctionnalité dans diverses applications industrielles. La norme VDI 3400 utilise des valeurs de R_a (rugosité moyenne), N3-N10 (classification de rugosité), ISO 1302 et RMS (Root Mean Square) pour représenter chaque degré de rugosité.

Classes Norme VDI 3400

Classe	Rugosité moyenne (R_a)	RA (μm)	RA (μin)	N3-N10	ISO 1302 (RT μm)	RMS
Classe 0	0.007 μm	0.10	4.00	N3	4.90	
Classe 1	0.015 μm	0.112	4.48		5.50	
Classe 2	0.030 μm	0.126	5.04		5.90	
Classe 3	0.060 μm	0.14	5.60		6.90	
Classe 4	0.120 μm	0.16	6.40		7.90	
Classe 5	0.250 μm	0.18	7.20	N4	8.90	
Classe 6	0.500 μm	0.20	8.00		9.90	
Classe 7	1.000 μm	0.22	8.80		10.80	
Classe 8	2.000 μm	0.25	10.00		12.30	
Classe 9	4.000 μm	0.29	11.20		13.80	
Classe 10	8.000 μm	0.32	12.80		15.80	
Classe 11	16.000 μm	0.35	14.00	N5	17.20	1.6