BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR
Conception des Processus de Réalisation de Produits
Épreuve E4 – CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

SESSION 2025

Coefficient 6 – Durée 6 heures

Aucun document n'est autorisé.

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

DOSSIER TECHNIQUE

DT1 : Dessin de définition du pivot de fusée ……. page 12

DT2 : Détails complémentaires de définition du pivot de fusée ……..…….. page 13

DT3 : Situation des éléments du demi train roulant et du pivot de roue ……. page 14

DT4 : Extrait de diagramme des exigences SysML …… page 14

DT5 : Repérage et génération des surfaces …… page 15

DT6 : Informations générales des procédés de fonderie en moule permanent ……. page 16

DT7 : Caractéristiques des centres d'usinage multiaxes Samag MFZ4-2W …… page 17

DT8 : Caractéristiques d'éléments modulaires et de tête sphérique d'usinage …….. page 18

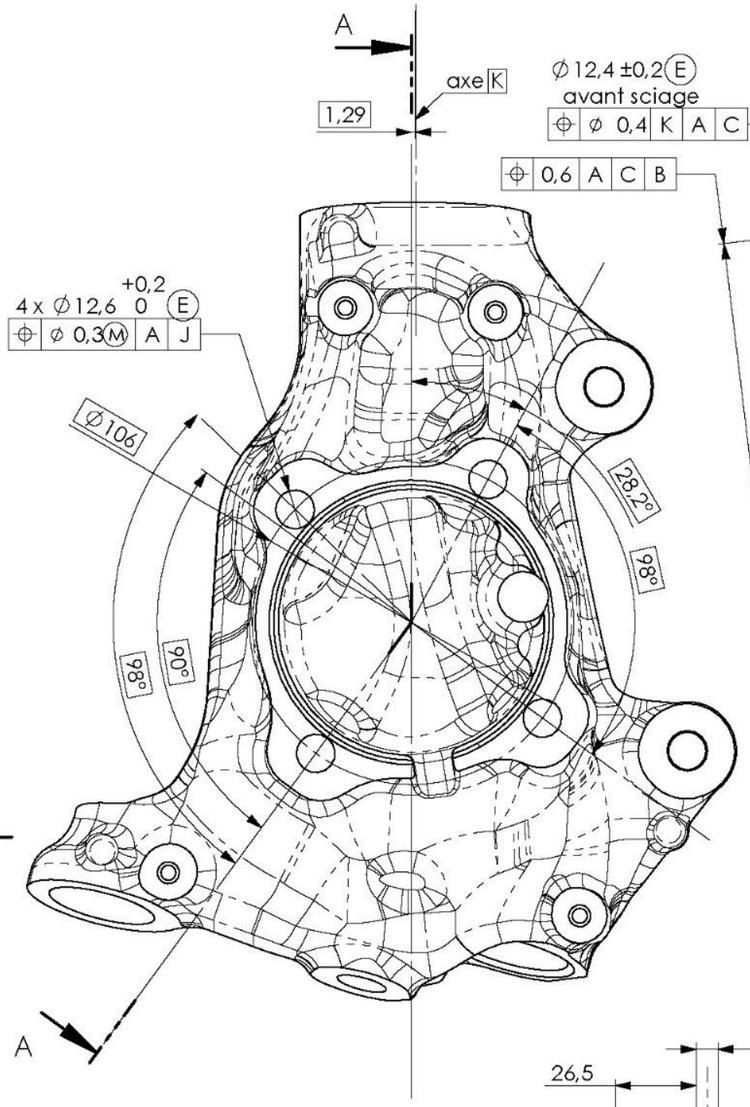
DT9 : Caractéristiques des brides de serrage ……. page 18

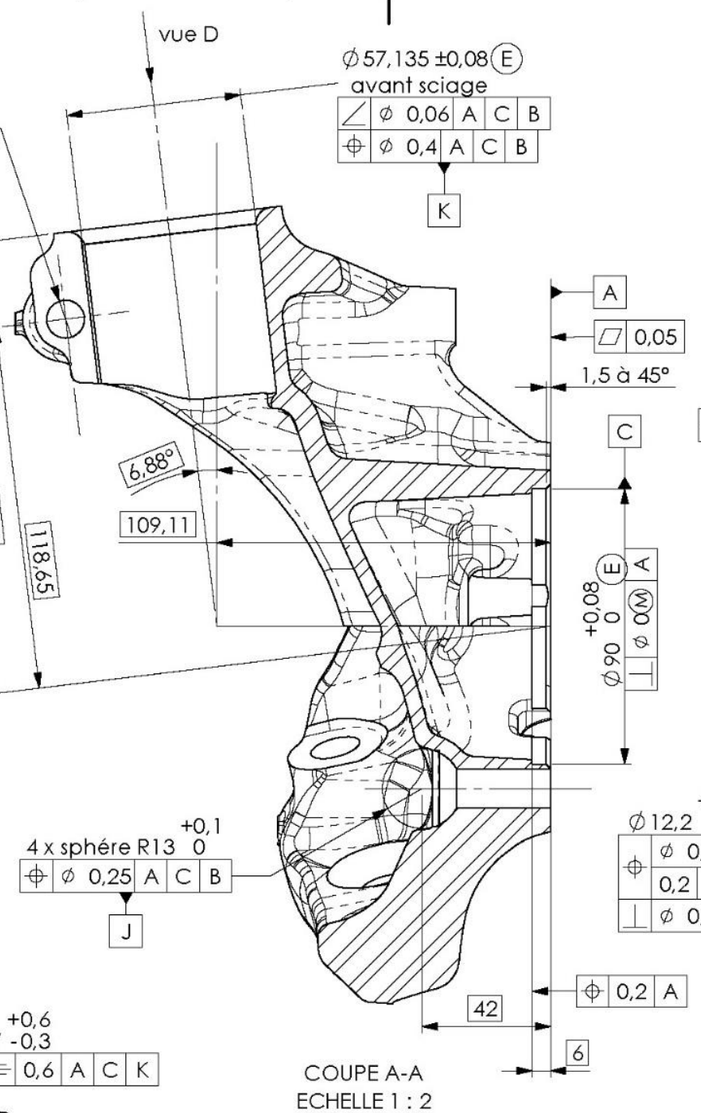
DT10 : Résultats de simulation de comportement sous efforts …..……. page 19

DT11 : Graphique de conversion rugosité - Paramètres de balayage en UGV ….. page 19

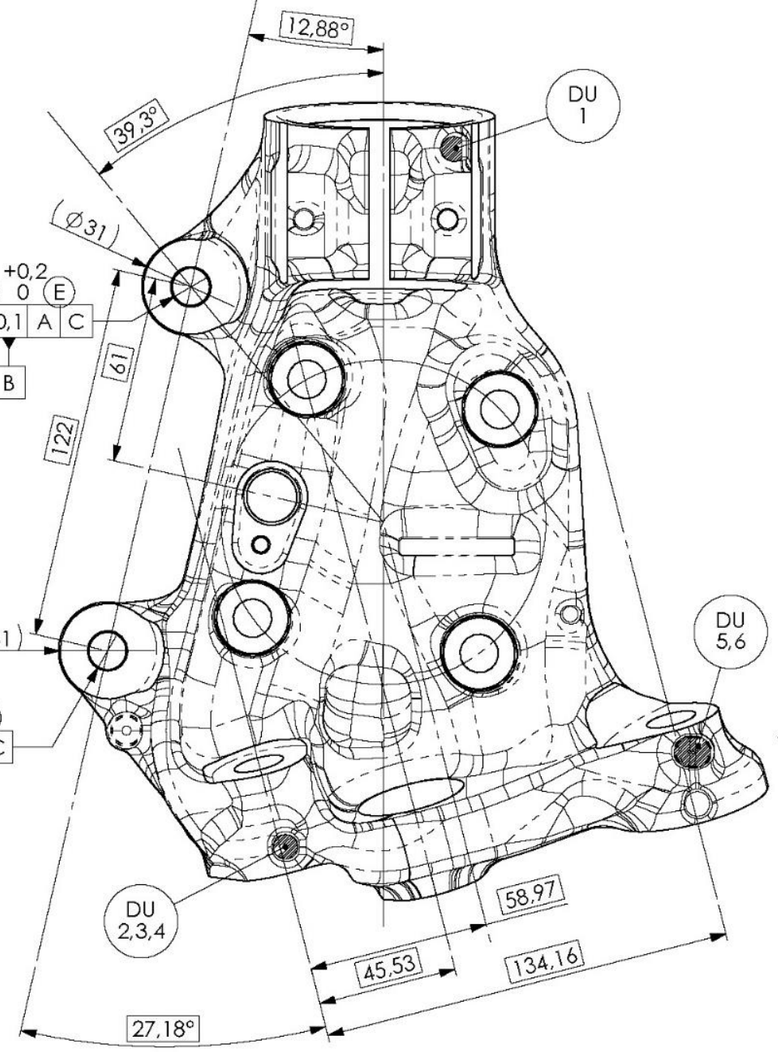
DT12 : Caractéristiques des fraises de balayage d'empreinte …… page 20

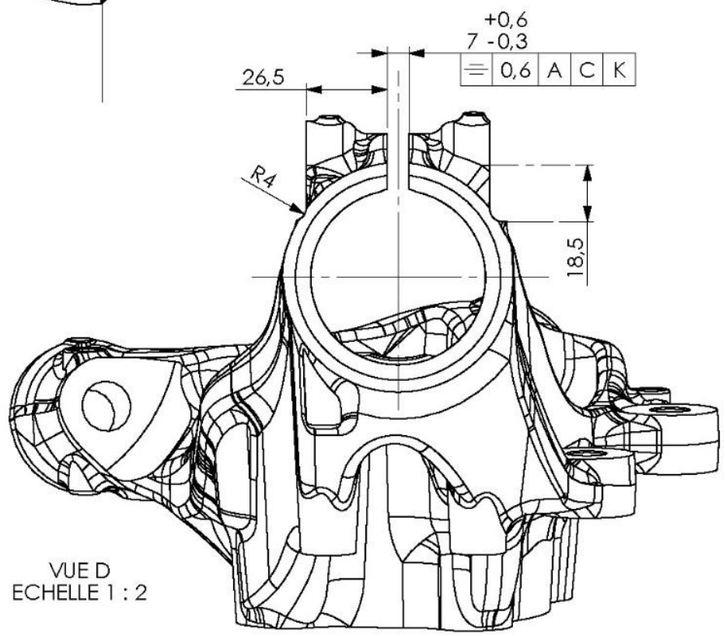
DT13 : Performances d'enfonçage par électroérosion ……..……. page 20





COUPE A-A
ECHELLE 1 : 2





VUE D
ECHELLE 1 : 2

Cotation partielle

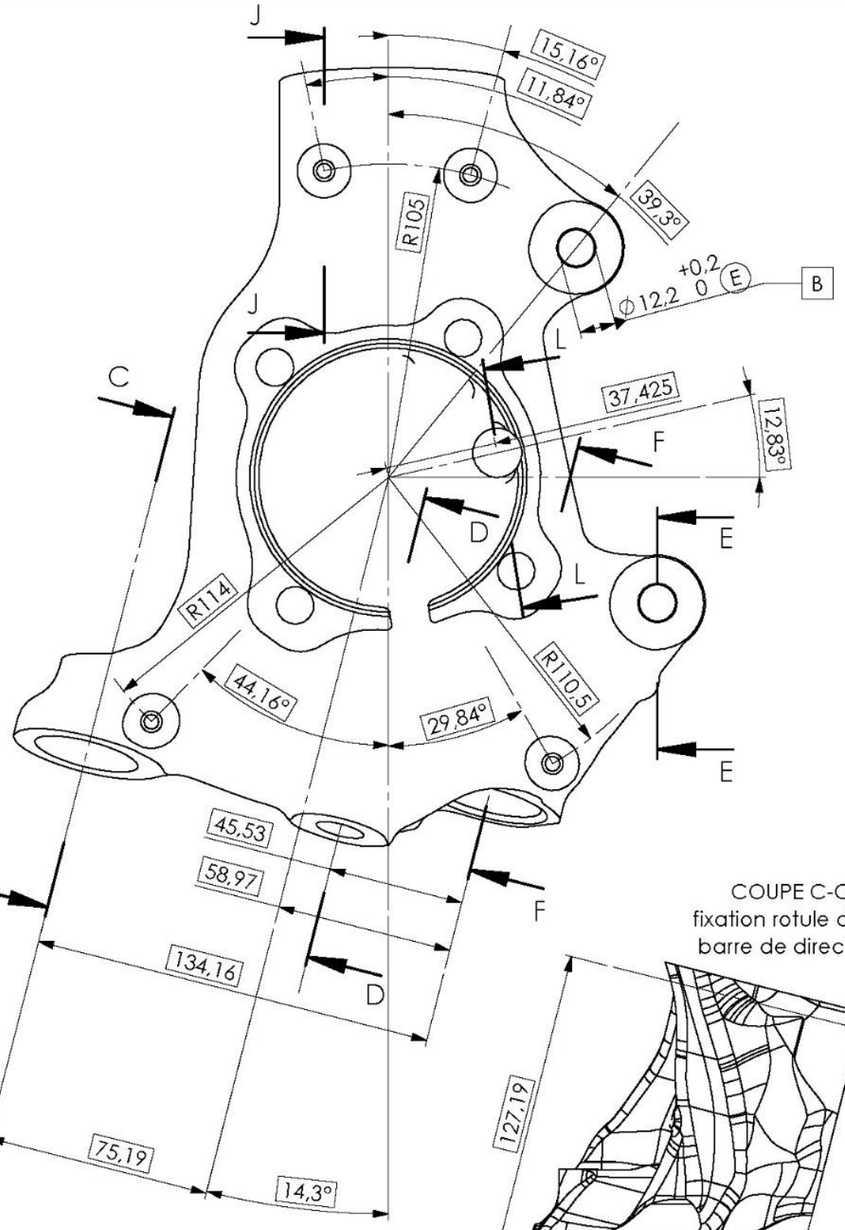
Tolérance générale surfaces usinées ISO 2768-2 mK

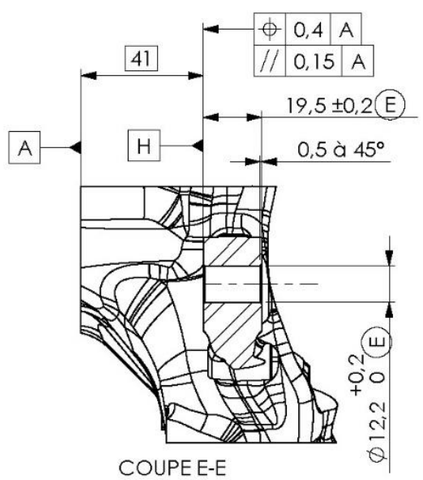
Rugosité générale surfaces usinées $\sqrt{}$ Ra 1,6µm Rz 6,3µm

Tolérance générale surfaces brutes ± 0.95 surépaisseurs +0.8 - 0.5

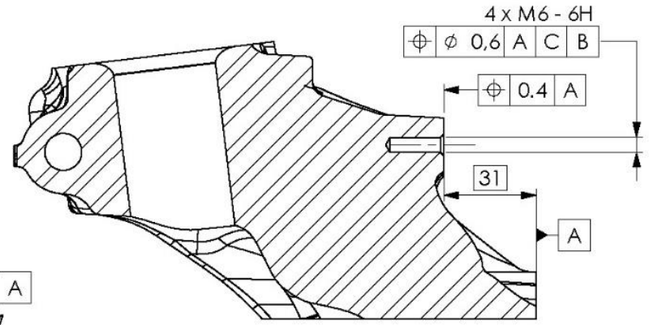
Rugosité générale surfaces brutes $\sqrt{}$ Ra 10µm Rz 40µm

Matière : Al Si 7 Mg 0.3 KT6 EN AG-42100 KT6	Pivot de fusée	**DT 1**	A3
Masse du brut: 3.120 Kg			
Masse pièce finie: 2.625 Kg	ECHELLE: 1 : 2 FEUILLE 1 SUR 2	Page : 12 sur 31	

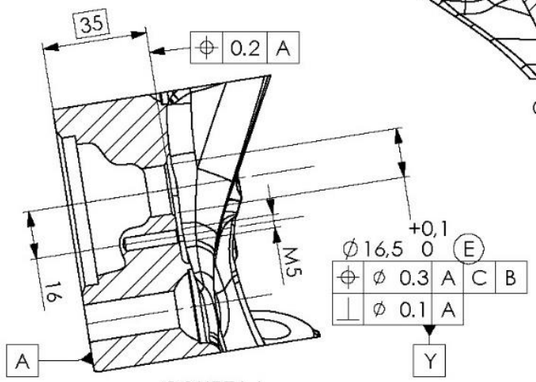




COUPE E-E
Fixation étrier freinage

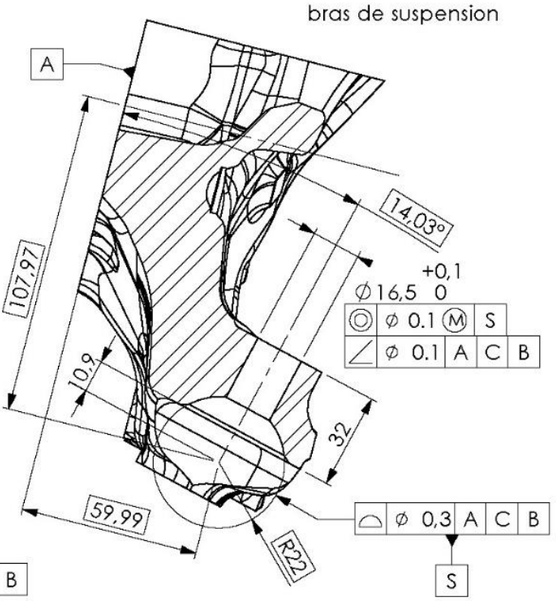


COUPE J-J Fixation pare gravillons

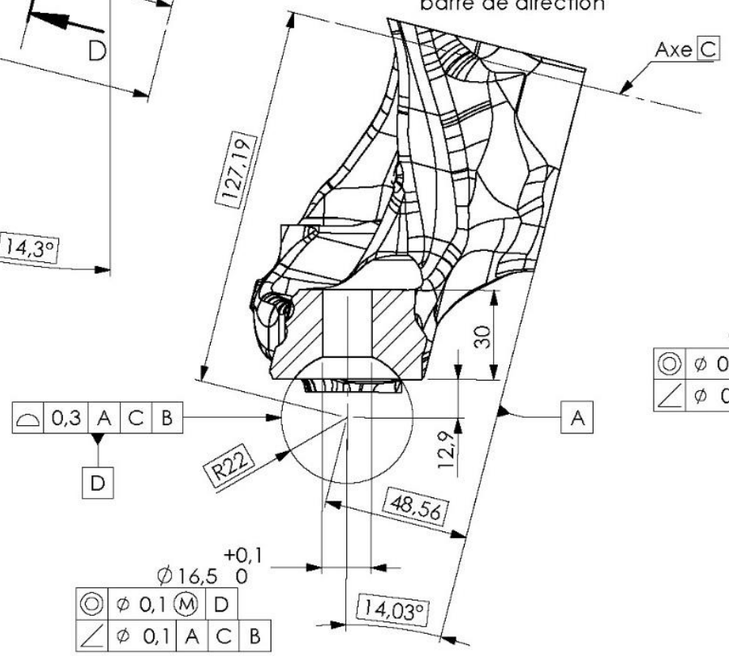


COUPE L-L
fixation capteur ABS

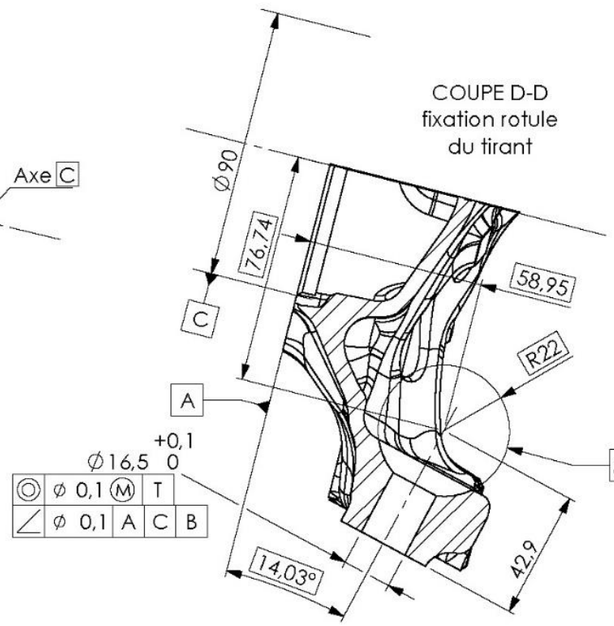
COUPE F-F
fixation rotule du
bras de suspension



COUPE C-C
fixation rotule de la
barre de direction



COUPE D-D
fixation rotule
du tirant

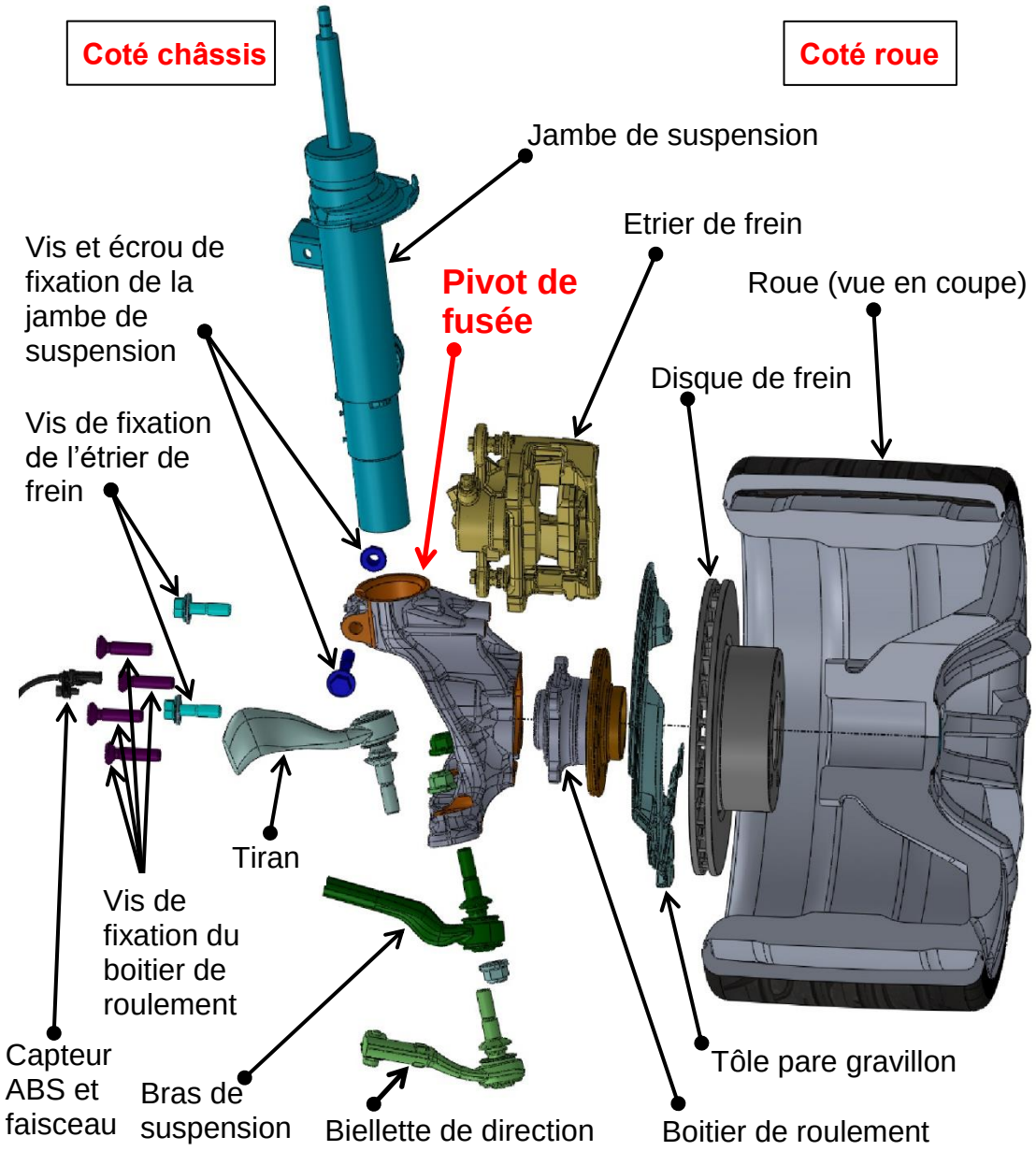


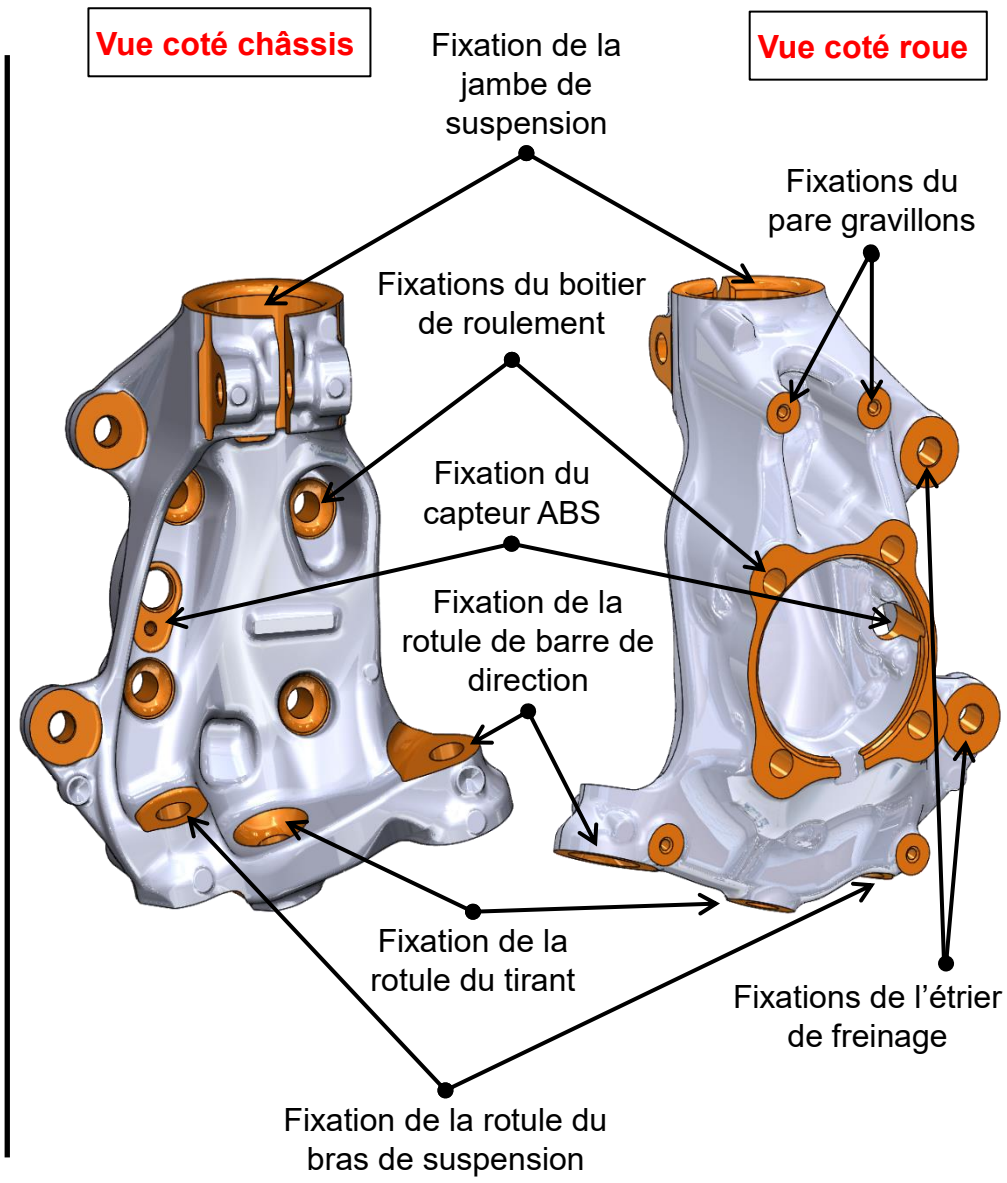
Cotation partielle

ECHELLE: 1 : 2

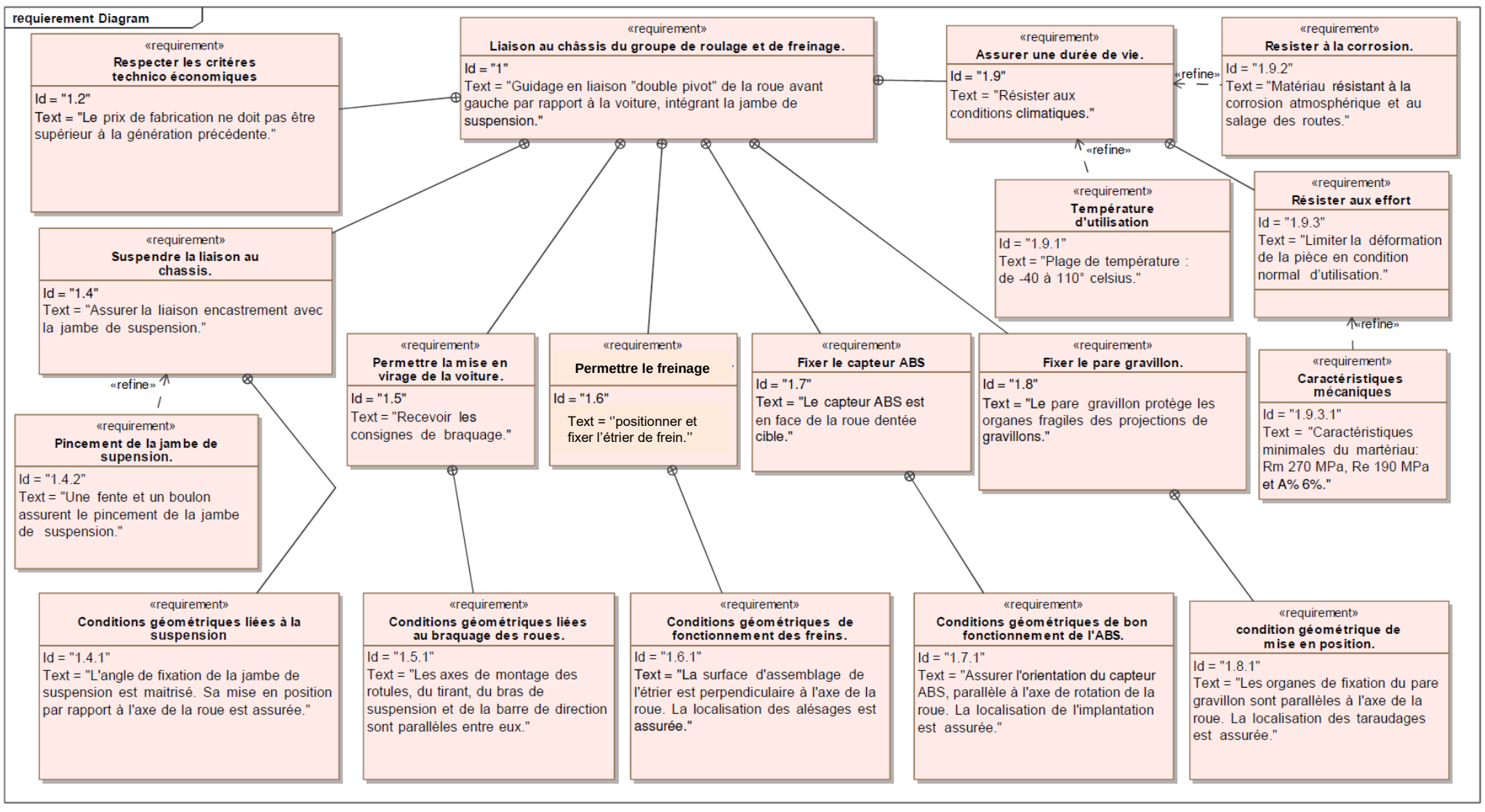
DT 2	A3
FEUILLE 2 SUR 2	Page : 13 sur 31

DT3 : Situation des éléments du demi train roulant et du pivot de roue





DT4 : Extrait de diagramme des exigences SysML.

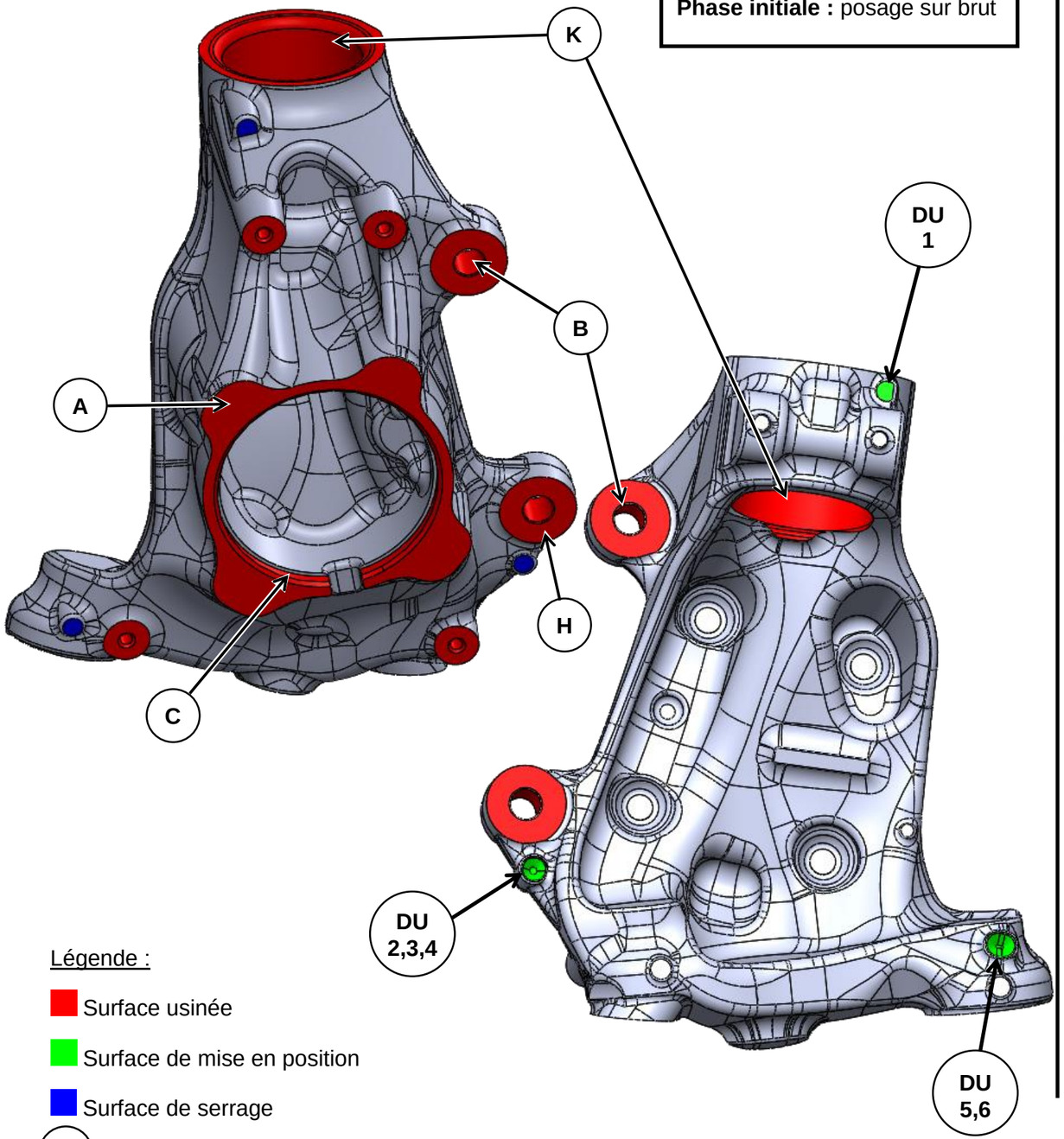


DT5 : Repérage et génération des surfaces.

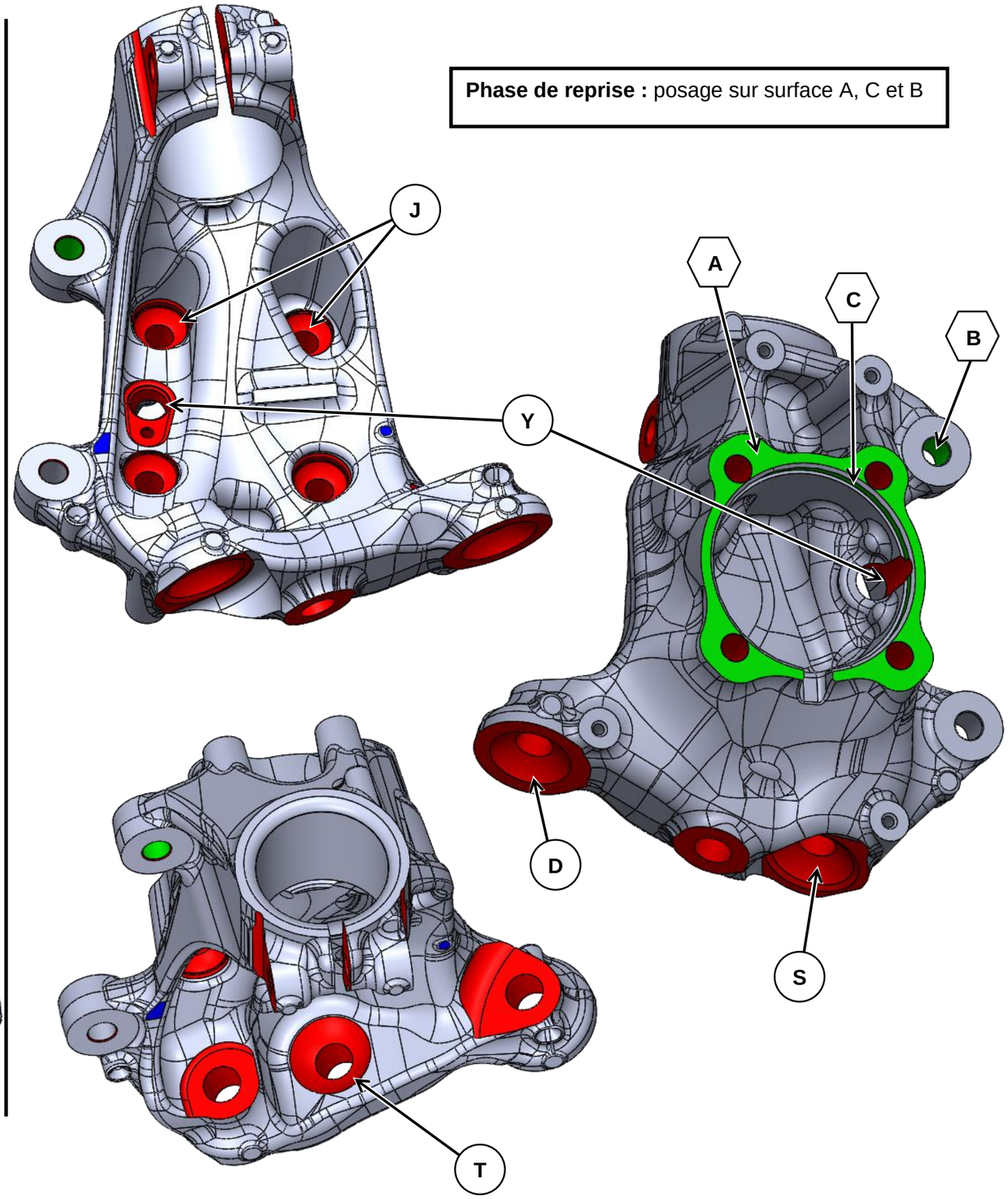
Par convention, on notera K la surface permettant de construire la référence [K], ainsi que pour chacune des surfaces de référence (A, B, C,…).

Pièce brute : Pivot moulé et ébarbé

Phase initiale : posage sur brut



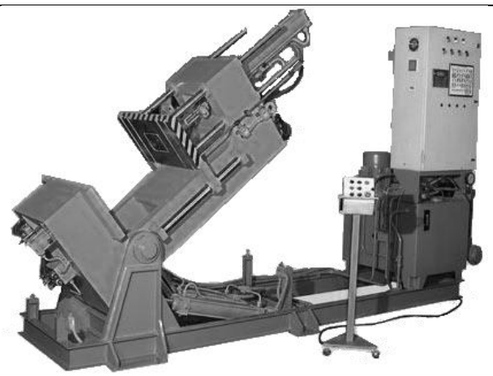
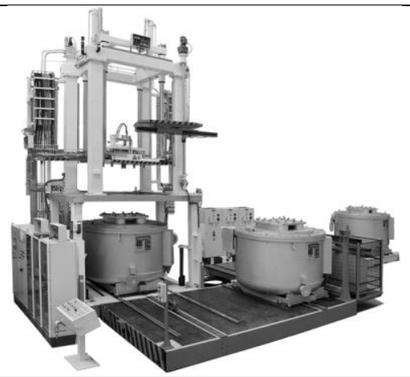
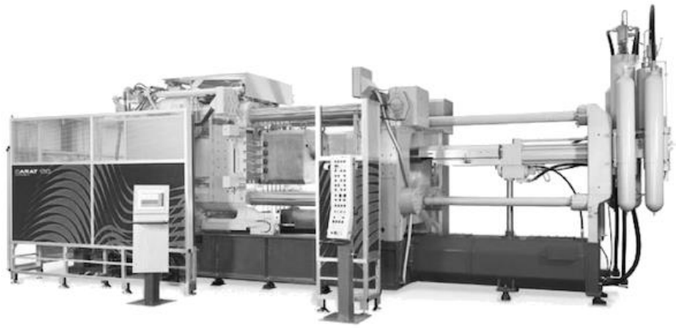
Phase de reprise : posage sur surface A, C et B



Légende :

- Surface usinée
- Surface de mise en position
- Surface de serrage
- (_) Repère de la surface

DT6 : Informations générales des procédés de fonderie en moule permanent

	Fonderie en moule par gravité	Coulée en moule sous basse pression	Moulage sous pression
			
Principe	Le moule est monté sur une presse basculante. L'écoulement du métal à l'entrée du moule est contrôlé selon l'angle et la vitesse de basculement du moule. L'aluminium doit être coulé en source au bas du moule pour éviter l'oxydation. Le basculement contrôlé du moule permet de ralentir le remplissage, de réduire les turbulences et d'uniformiser le profil thermique du moule.	Ce procédé permet d'introduire le métal à faible pression dans l'outillage. Le moule est placé sur une presse au-dessus du four. Il est relié au bain de métal par un tube de transfert. Pendant la phase de coulée, une pression d'air inférieure à 1 bar est appliquée dans le four pour remplir le moule par le bas afin d'éliminer la turbulence par un remplissage contrôlé du moule.	Le procédé consiste à injecter l'alliage à grande vitesse (40 à 50 m/s) dans un moule en acier et à appliquer une pression importante (70 à 100MPa) pendant toute la durée de la solidification. Deux types de presses sont utilisées : des presses « à chambre froide » (aluminium, magnésium, laiton, plomb) et des presses « à chambre chaude » (zamak, magnésium)
Alliages	Le moulage en coquille par gravité ou en coulée sous basse pression permet de mouler des alliages d'aluminium de première fusion à faible teneur en fer (AlSi7Mg0.3, AlSi7Mg0.6, etc…), des alliages cuivreux ou divers (étain, plomb ou magnésium) et exceptionnellement en gravité uniquement des alliages ferreux. La réduction des turbulences au remplissage améliore nettement la ductilité et la tenue en fatigue des alliages.		La fonderie sous pression est utilisée pour des pièces en aluminium de deuxième fusion (AlSi9Cu3, AlSi10Mg…), des alliages de zinc (zamak3 ou 5), de cuivre (laiton 60/40) ou de magnésium (AZ91).
Remplissage	Le remplissage est plus rapide qu'en coulée basse pression, mais doit être orienté du bas vers le haut du moule avec une attaque restreinte. Ceci est obtenu par le basculement de la presse pour remplir à une vitesse optimisée qui réduit la turbulence et permet de remplir l'empreinte avant le début de la solidification.	Le remplissage de bas en haut, relativement lent et à vitesse maîtrisée permet une très bonne santé interne de l'alliage en éliminant les risques de turbulences. La qualité et la résistance mécanique des produits moulés en basse pression est supérieure à ceux en moulage coquille par gravité, mais la cadence de production est inférieure.	La grande vitesse de remplissage conduit à des niveaux de santé internes des alliages inférieurs à ceux obtenus par d'autres procédés de fonderie. Les porosités sont piégées, les qualités mécaniques des pièces sont en-dessous de celles obtenues avec les autres types de coulées.
Moule	La contraction du liquide avant la solidification est compensée par des masselottes. La mise au mille est assez élevée (1,6 à 2,2). L'ébarbage nécessaire en plusieurs zones est donc plus important et plus long.	La pression est maintenue en fin de remplissage afin d'alimenter le moule et réduire la porosité. La pression est ensuite relâchée dans le tube de transfert, avec donc peu de métal consommé pour alimenter le moule (rendement 90%).	Il est préférable d'utiliser des sections uniformes se solidifiant simultanément. Il n'y a pas de masselottes et les attaques sur les pièces sont petites afin de faciliter la coupe sur des presses d'ébavurage après la coulée.
Série	Pour moyennes et grandes séries, la robotisation est possible pour les systèmes de coulée, d'éjection et de retrait des pièces. Les pièces de complexité moyenne ont des parois à partir de 3mm environ. Les temps de coulées sont de quelques minutes. Le poteyage et son renouvellement entraîne des baisses de rendement de production.		Pour les grandes séries, le procédé est très automatisé. Le temps de cycle est court (de 20 s à100 s). Le procédé est bien adapté aux parois minces jusqu'à 1,5mm.

DT7 : Caractéristiques des centres d'usinage bi-broches multiaxes Samag MFZ4-2W

Extraits de la documentation Samag

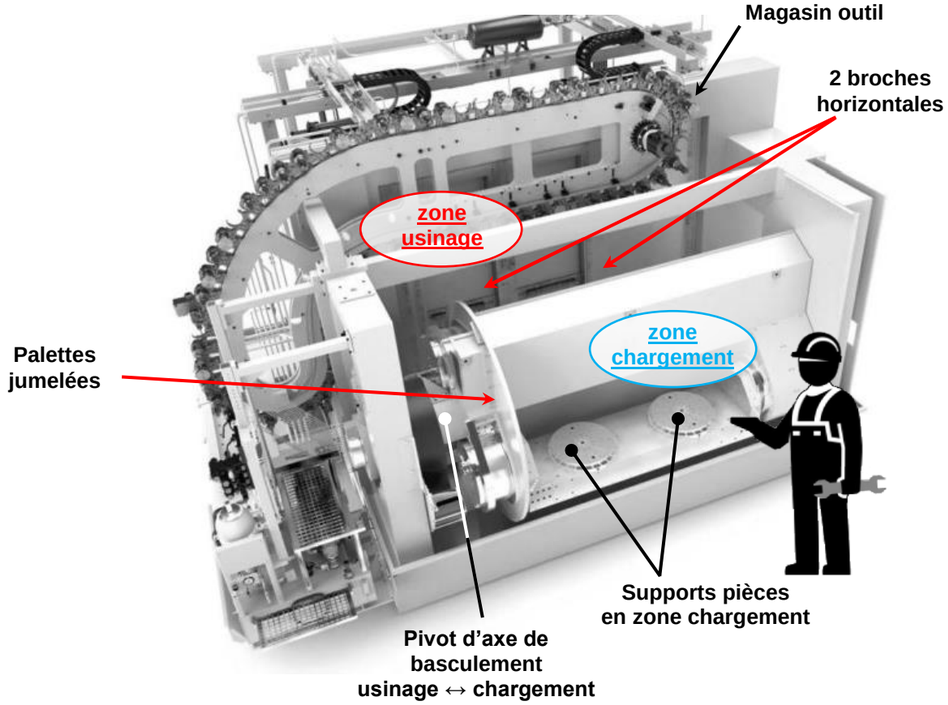
Centre Samag MFZ4-2W

La MFZ 4-2W fait partie de la famille MFZ de machines modulaires multi-broches pour l'usinage complet horizontal de pièces cubiques en acier, fonte ou aluminium.

Le résultat est une solution d'usinage extrêmement puissante et hautement productive pour la production de moyennes à grandes séries.

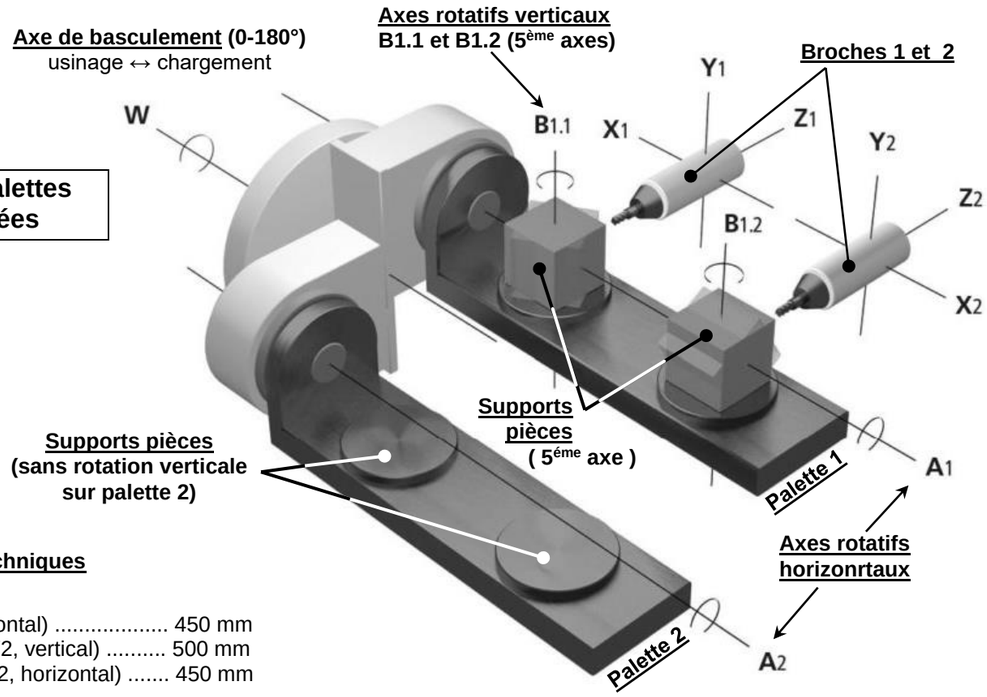
La version MFZ 4-2W, définie pour l'usinage simultané sur 5 axes, possède des axes rotatifs verticaux B avec technologie d'entraînement direct. Elle est équipée de deux unités de broches indépendantes pour un usinage simultané sur cinq faces. La rigidité particulière de l'axe A est assurée par un roulement à rouleaux axial-radial rigide, associé à un rotor externe puissant à fort moment de couple en position repos.

La plage de déplacement et de force d'avance des trois axes principaux donnent à la machine des vitesses comparables à celles des machines à entraînement direct. Ce centre garantit des temps de changement d'outil rapides et dispose d'axes A et B équipés de systèmes numérisés directs. Il n'y a pas de production lors du changement d'outil.



Structure centre Samag MFZ4-2W sans carters

Détail palettes jumelées



Données techniques

• Courses
X-axis (horizontal) ..... 450 mm
Y-axis (Y1, Y2, vertical) ..... 500 mm
Z-axis (Z1, Z2, horizontal) ..... 450 mm

• Broches
2 broches indépendantes (unités Z1, Z2)
Espacement entraxe..... 450 mm
Nez de broche HSK-A63
Puissance par broche ..... 28 KW
Couple par broche ..... 63 N.m
Fréquence maxi ..... 16000 tr/min

• Axes déplacement
Vitesse maxi X/Y/Z (Z1, Z2) ..... 70 / 70 / 75 (2×80) m/min
Poussée maxi X/Y/Z (Z1, Z2) ..... 10 / 10 / 10 (2×4) kN
Accélération maxi X/Y/Z (Z1, Z2) ... 1.0 / 1.0 / 1.1 (2x1.5) g

• Magasin outils
Porte outils HSK-A63
Nombre de places 100
Diamètre maxi par emplacement ..... Ø85 / Ø160 adjacents libres
Longueur maxi ..... 350 mm
Poids maxi ..... 6 kg
Temps de changement outils ..... 2.5 s

• Unités supports porte-pièce
Axe de basculement W zones usinage / chargement ..... 2 positions 0° - 180°
2 palettes rotatives horizontales (A1, A2) ..... axe numérique 360° / palier
2 unités axes rotatifs verticaux sur 1 palette (B1.1, B1.2) ..... axe numérique 360° / palier
Axes A zone de travail / entraxe ..... 2 × Ø700 / 1100mm
Axes B zone de travail / hauteur maxi / hauteur travail ..... 2 × Ø450 / 310 / 280mm
Entraînements indépendants et pré-équipement hydraulique de serrage
Charge maxi par palette axes A ..... 650 kg
Charge maxi des unités axes B ..... 2 × 150 kg

• Installation
Poids total ..... 21000 kg
Dimensions (L x T x H en mm) ..... 6800 x 6200 x 2780

DT8 : Caractéristiques d'éléments modulaires et tête sphérique d'usinage

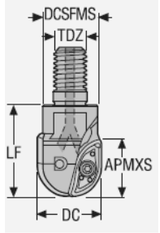
Extraits du catalogue SECO : Gamme combimaster

SECO

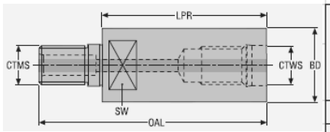
90° fraise boule diamètre 12-50

Fraise à copier R218.20

Références	Type de montage	Dimensions en mm APMXS	DC	DCSFMS	TDZ	LF	RMPX°	
R218.20-1220.RE-18A	Combimaster	18,0	20,0	21,5	M12	35,0	45,0	2
R218.20-1225.RE-22A	Combimaster	22,0	25,0	21,5	M12	35,0	45,0	2
R218.20-1630.RE-26A	Combimaster	27,0	30,0	28,5	M16	40,0	45,0	2
R218.20-1632.RE-28A	Combimaster	28,0	32,0	28,5	M16	40,0	45,0	2
R218.20-1640.RE-35A	Combimaster	35,0	40,0	34,0	M16	54,9	45,0	2
R218.20-2040.RE-35A	Combimaster	35,0	40,0	36,5	M20	54,9	45,0	2
R218.20-2044.RE-44A	Combimaster	44,0	44,0	36,5	M20	59,9	45,0	2



Rallonges combimaster M5820



Côté pièce Combimaster CTMS	Côté pièce Combimaster CTWS	Références	Dimension en mm LPR	BD	OAL	SW
M6	M6	BS00658200625	25,0	11,0	38,5	9,0
M8	M8	BS00858200830	30,0	13,5	47,75	11,0
M10	M10	BS01058201035	35,0	18,5	53,75	15,0
M12	M12	BS01258201240	40,0	23,0	61,75	19,0
M16	M16	BS01658201640	40,0	30,0	62,75	26,0
M20	M20	BS02058202045	45,0	36,5	72,0	32,0

Porte outils Combimaster Steadyline HSK-A/ ISO 12164-1

Figure 1 (K820)

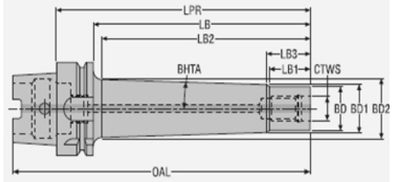
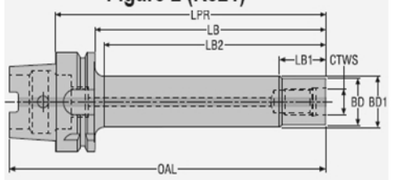


Figure 2 (K821)



Côté machine Cône	Côté pièce Combimaster CTWS	Références	Dimensions en mm LPR	LB	LB2	LB1	BD	BD2	BD1	OAL	BHTA°	Figure
HSK-A63												
	M12	E9304K82012185	185,0	159,0	154,2	20,0	23,0	42,0	29,5	217,0	2,8	1
	M16	E9304K82116160	160,0	134,0	129,0	22,0	30,0	–	30,5	192,0	–	2
	M16	E9304K82016185	185,0	159,0	154,2	20,0	30,0	59,5	37,0	217,0	2,8	1
	M16	E9304K82016235	235,0	209,0	190,6	20,0	30,0	53,0	37,0	267,0	2,8	1
	M20	E9304K82020160	160,0	134,0	129,0	24,7	36,5	–	45,0	192,0	–	2
	M20	E9304K82020185	185,0	159,0	140,2	24,7	36,5	55,7	45,0	217,0	2,7	1
	M20	E9304K82020235	235,0	209,0	186,4	24,7	36,5	60,1	45,0	267,0	2,7	1
HSK-A100												
	M12	E9306K82012235	235,0	206,0	201,2	20,0	23,0	46,6	29,5	285,0	2,8	1
	M16	E9306K82016235	235,0	206,0	201,2	20,0	30,0	54,0	37,0	285,0	2,8	1
	M16	E9306K82016285	285,0	256,0	251,2	20,0	30,0	58,8	37,0	335,0	2,8	1
	M16	E9306K82116185	185,0	156,0	151,0	22,0	30,0	–	30,5	235,0	–	2
	M20	E9306K82020235	235,0	206,0	201,2	24,7	36,5	61,6	45,0	285,0	2,7	1
	M20	E9306K82020285	285,0	256,0	251,2	24,7	36,5	66,4	45,0	335,0	2,7	1

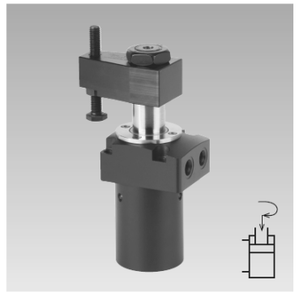
DT9 : Caractéristiques des brides de serrage

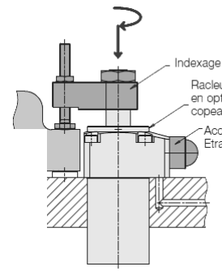
ROEMHELD
HILMA ▪ STARK

Extraits de la documentation Roemheld

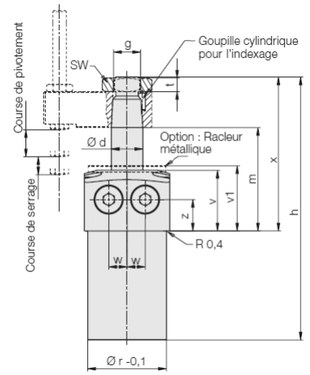
B 1.8500

Vérins de serrage pivotant avec mécanisme de pivotement robuste
Flasque supérieur, avec contrôle de position en option,
double effet, pression de fonctionnement maxi. 70 bars





Avantages
- 4 tailles disponibles
- Construction compacte peut être monté partiellement noyé
- Force de serrage élevée à 70 bars
- Mécanisme de pivotement robuste
- Temps de serrage très court
- Insensible aux débits élevés
- Indexage de la bride de serrage possible dans la position prédéterminée
- Angles de pivotement spéciaux faciles à réaliser
- Racleur FKM standard
- Racleur métallique au choix
- Etrangleurs disponibles comme accessoire
- Contrôles de position disponibles comme accessoire
- Montage dans n'importe quelle position

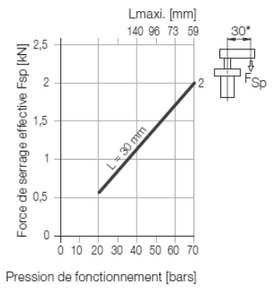


Données techniques

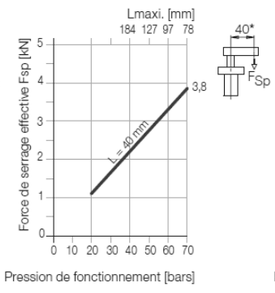
Force de traction maxi. (70 bars)	[kN]	2,35	4,46	9,9	16,1
Force de serrage effective	[kN]	voir diagrammes			
Course de serrage	[mm]	8	8	10	10
Course de pivotement	[mm]	8	13	17	19
Course totale	[mm]	16	21	27	29
Pression de commande mini.	[bars]	20	20	20	20
Débit admissible Brider	[cm³/s]	13,5	33,5	96	167
Débrider	[cm³/s]	20	53,5	145	255
Section de piston Brider	[cm²]	3,36	6,37	14,16	23
Débrider	[cm²]	4,9	10,17	21,23	33,18
Consommation d'huile/course	[cm³]	5,4	13,4	38,3	66,7
Consommation d'huile/rappel	[cm³]	7,9	21,4	57,4	102
Piston Ø	[mm]	25	36	52	65
Ø d	[mm]	14	22	30	36
Ø r -0,1	[mm]	35	47	63	78
w	[mm]	8,1	11	15	19
Poids env.	[kg]	0,7	1,5	3,0	5,0
Référence Rotation à 90°		**1853 - 090 - 16**	**1854 - 090 - 21**	**1856 - 090 - 27**	**1857 - 090 - 29**

Force de serrage effective avec accessoire bride de serrage en fonction de la pression de fonctionnement

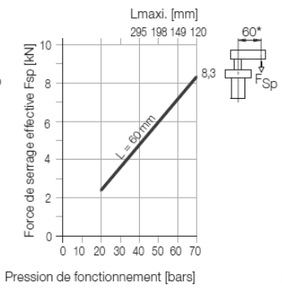
1853



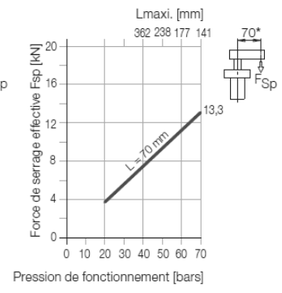
1854



1856

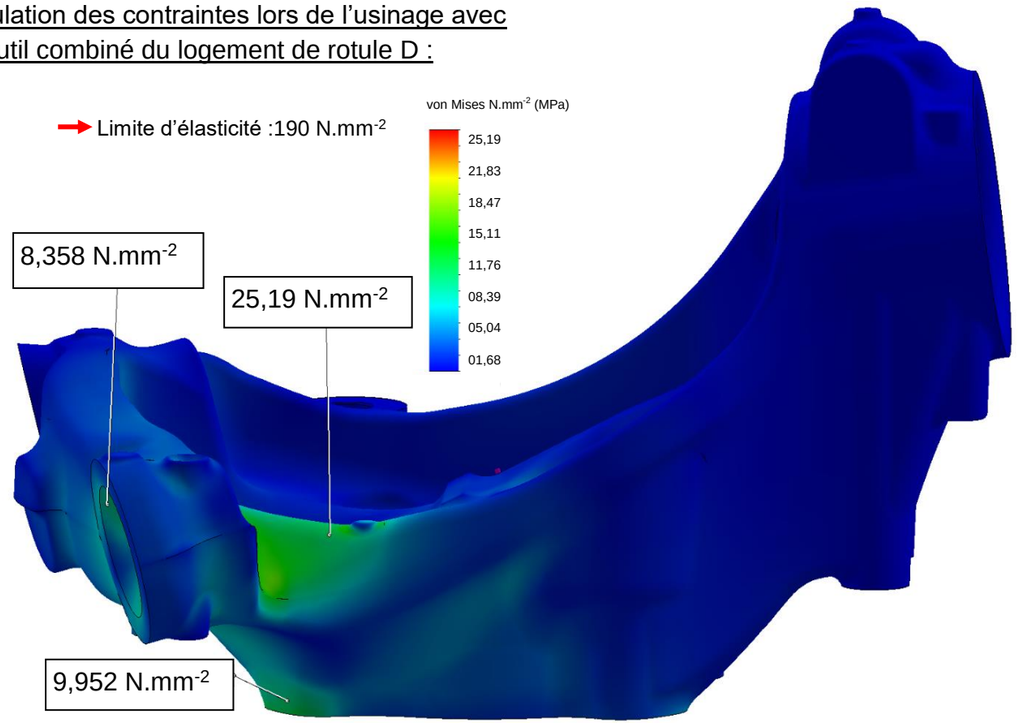


1857

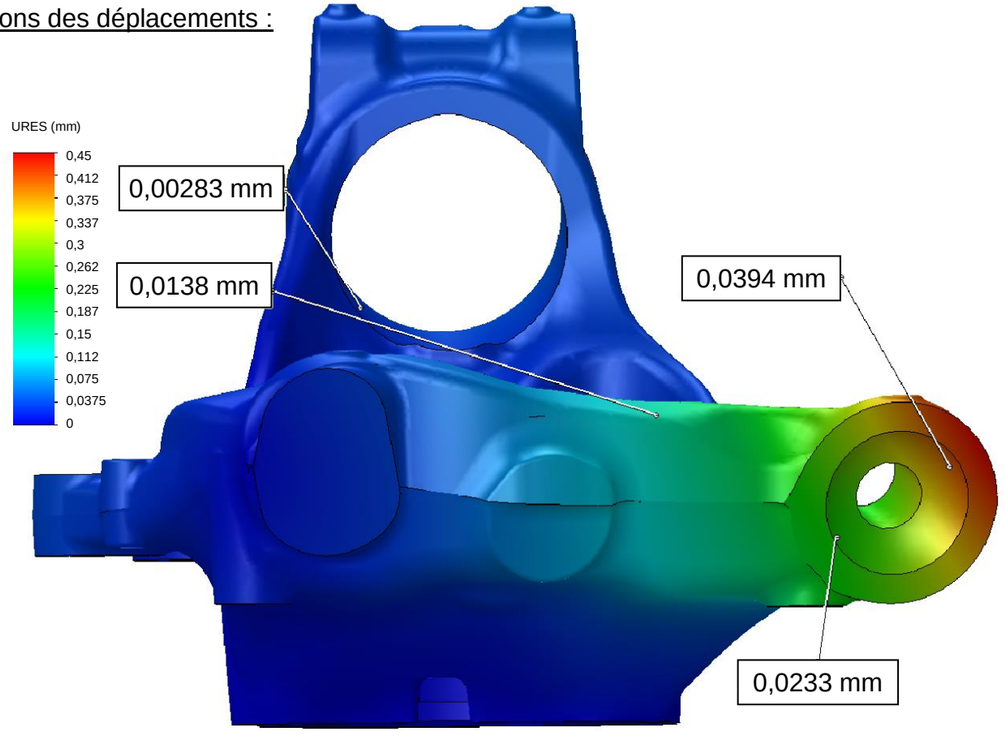


DT10 : Résultats de simulation de comportement sous efforts

Simulation des contraintes lors de l'usinage avec un outil combiné du logement de rotule D :



Simulations des déplacements :



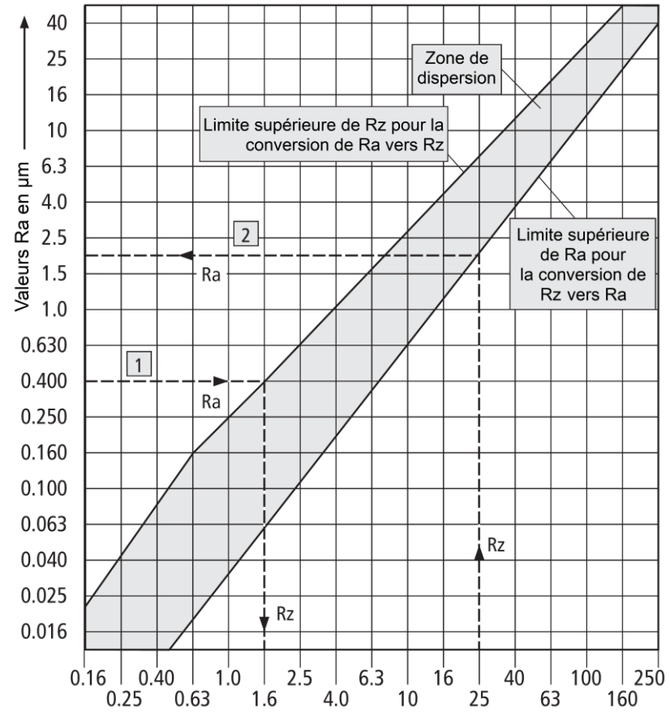
DT11 : Graphique de conversion rugosité – Paramètres de balayage UGV

Graphe de conversion Ra – Rz

La zone de dispersion (zone grisée) définie la majorité des correspondances de rugosité Ra et Rt pour toutes les surfaces produites par enlèvement de copeaux.

Pour déterminer Rz avec Ra donnée, prendre la limite supérieure de Rz pour conversion de Ra vers Rz (exemple 1).

Pour déterminer Ra avec Rz donnée, prendre la limite supérieure de Ra pour conversion de Rz vers Ra (exemple 2).



Paramètre de balayage en UGV

La valeur théorique de hauteur totale de rugosité Rz est calculée en fonction du rayon effectif de coupe re et du pas de balayage radial br .

$$Rz = Øe - \sqrt{\frac{Øe^2 - br^2}{4}}$$

ou

$$Rz = re - re\sqrt{1 - \left(\frac{2\,.\,br}{re}\right)^2}$$

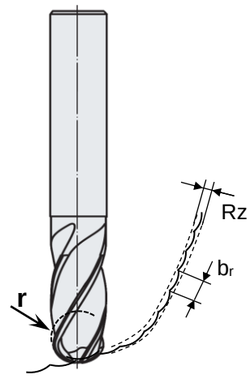
soit en considérant $re \gg br$

$$Rz \approx re - re\,.\left(1 - \left(\frac{2\,.\,br}{re}\right)^2\right)$$

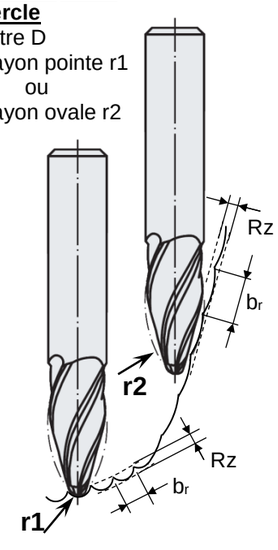
donc

$$\boxed{Rz \approx \frac{br^2}{4.re}}$$

Fraise hémisphérique
diamètre D
re = rayon r



Fraise à segment de cercle
diamètre D
re = rayon pointe r1
ou
re = rayon ovale r2



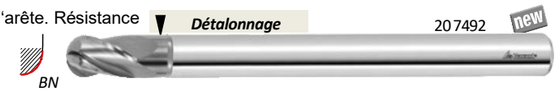
DT12 : Caractéristiques des fraises de balayage d'empreinte.

Carbure Mono-bloc | Norme | Type N | f8 | 4 | 30° | ae Q3xD | ae Q05xD | h6 DIN 6535 HA | HPC

Extrait du catalogue Hoffmann 2020

Garant Fraise à bout hémisphérique carbure monobloc HPC GARANT Master Steel

Rectifiées avec précision pour un très haut niveau de qualité géométrique.
Tolérance: contour de rayon = **±0,005 mm.**
Meilleure protection des arêtes de coupe grâce à un léger chanfrein d'arête. Résistance extrême à la rupture par flexion grâce à l'utilisation d'un substrat à grains ultra-fins.



Application/ v_c [m/min]	Alu Thermo Pl.	Alu	Fonte d'Alu > 10 % Si	< 500 N	< 750 N	< 900 N	< 1100 N	< 1400 N	< 55 HRC	< 60 HRC	< 65 HRC	< 67 HRC	INOX < 900 N	INOX > 900 N	Ti > 850 N	Inconel®	Fonte + FGS
Code ISO	N	N	N	P	P	P	P	P	H	H	H	H	M	M	S	S	K
20 7492				270	240	220	190	170	140				90	80			400

Øf8 D_c	207 492	L_{tot}	L_s	L_4	ø D_4		< 900 N	< 900 N
	Fraise à bout hémisphérique carbure monobloc							
	HPC						fz par dent	fz par dent
mm	TiAlN	mm	mm	mm	mm	mm	mm.tr^{-1}	mm.tr^{-1}
4		8	18	3,8	75	4	0,03	0,035
5		9	18	4,8	75	6	0,035	0,04
6		10	21	5,8	100	6	0,045	0,05
8		12	27	7,8	100	8	0,06	0,065
10		14	32	9,5	100	10	0,065	0,07
12		16	38	11,5	100	12	0,07	0,075

Carbure Mono-bloc | Type N | f8 | 30° | a_e 0,05xD | a_e 0,05xD | h6 DIN 6535 HA | PPC

Garant Fraises tonneau en carbure monobloc, PPC

Outil hautes performances **pour un usinage de finition extrêmement efficace sur les surfaces de forme libre.** Pour des qualités d'état de surface exceptionnelles dans des **délais d'usinage ultra-courts.** Pour utilisation sur des fraiseuses 5 axes modernes avec prise en charge CAO / FAO.
Recommandation(s): Pour les opérations de finition, nous recommandons une surépaisseur de 0,05 à 0,2 mm.

Application/ v_c [m/min]	Alu Thermo Pl.	Alu	Fonte d'Alu > 10 % Si	< 500 N	< 750 N	< 900 N	< 1100 N	< 1400 N	< 55 HRC	< 60 HRC	< 65 HRC	< 67 HRC	INOX < 900 N	INOX > 900 N	Ti > 850 N	Inconel®	Fonte + FGS
Code ISO	N	N	N	P		P	P	P	P	H	H	H	H	M	M	S	S	K
20 7517	330	300	230														
20 7525		200	200	250		200	180	150	130	90				130	120	60		300
20 7523									200	170	150	110					
20 7535		200	200											150	140	70	60	

Fraises tonneau en carbure monobloc, forme tangentielle

La géométrie de coupe frontale est conçue pour obtenir des copeaux en optimisant leurs formes et leur évacuation, en particulier en utilisant le rayon en bout.
Le nombre de dents se limite de ce fait au nombre de dents frontales effectif.

207525

Øf8 D_c / R_w	207 525	L_s	R_w	RS_1	L_{tot}		< 900 N	< 900 N
	Fraise tonneau en carbure monobloc, forme tangentielle							
	PPC						fz par dent	fz par dent
mm	TiAlN	mm	mm	mm	mm	mm	mm.tr^{-1}	mm.tr^{-1}
6/100		20,5	100	1	62	6	0,04	0,05
8/95		22	95	1,5	70	8	0,05	0,06
10/90		24,5	90	2	80	10	0,06	0,08
12/85		27	85	2	93	12	0,07	0,09

DT13 : Performances d'enfonçage par électroérosion

D'après documents CHARMILLES 140 000 244

⊕ Graphite
⊖ Acier

Débit d'enlèvement matière en mm^3·min^{-1}
(et régimes de puissance P en A)

Régime	Rugosité Ra (µm)	Usure volumétrique de l'électrode : de 25 à 100%	de 5 à 25%	de 1 à 5%	de 0,3 à 1%	de 0,1 à 0,3%	de 0 à 0,1%
CH 20	1	0,2 (1,5A)					
CH 21		0,3 (2A)	0,25 (1,5A) à 0,3 (2A)				
CH 22			0,2 (1,5A) à 0,32 (2A)				
CH 23		2,2 (3A)	0,36 (2A)				
CH 24	1.6	3 (4A)	2,6 (3A)	0,32 (2A)			
CH 25		3,5 (4A)	2,5 (3A)				
CH 26	2	4,6 (6A)	4 (4A)	1,9 (3A)			
CH 27		7 (6A)	4,2 (4A)				
CH 28		13 (8A)	9,5 (6A)	3,5 (4A)			
CH 29			11 (6A) à 22 (12A)			3,2 (4A)	
CH 30	3.2			9 (6A)	39 (12A)		
CH 31			61 (16A)	25 (8A)		6 (6A)	
CH 32			105 (24A)	22 (8A) à 44 (12A)			
CH 33				70 (16A)		13 (8A)	
CH 34			160 (32A)	42 (12A)			
CH 35				70 (16A) à 130 (24A)	38 (12A)		
CH 36	6.3			200 (32A)			27 (12A)
CH 37	7			131 (24A) à 310 (48A)		55 (16A)	
CH 38	8			210 (32A) à 380 (64A)			45 (16A)
CH 39	9				115 (24A)		24 (16A)
CH 40	10			360 (48A)	190 (32A)		107 (24A)
CH 41					480 (64A)		95 (24A) à 150 (32A)
CH 42				900 (96A)		320 (48A)	130 (32A)
CH 43	14			1150 (128A)		470 (64A)	300 (48A)
CH 44	16					800 (96A)	260 (48A) à 420 (64A)
CH 45	18					1100 (128A)	350 (64A) à 680 (96A)
CH 46							530 (96A) à 1040 (96A)
CH 47							770 (128A)

P régime de même intensité avec variation des temps d'impulsion A

Indices de rugosité : indice Charmille $CH = 20 \times \log(10 \times Ra)$ Rugosité arithmétique en µm $Ra = 10^{(\frac{CH}{20}-1)}$