

SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGENIEUR

Séquence 13

Conception

TD 4

Cotation GPS

Exercice I : Rugosité

I. Présentation

Dans l'industrie, le contrôle de la rugosité fait partie des processus de validation des cotes et assure la conformité de la pièce durant sa fabrication. Afin de caractériser la rugosité d'une pièce, on peut utiliser un rugosimètre qui va permettre de mesurer l'altitude des points de la surface à caractériser.

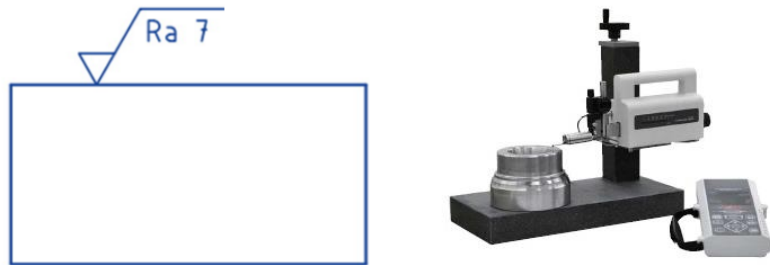


Figure *Rugosité d'une pièce mécanique*

On donne ci-dessous le relevé de points mesurés à l'aide d'un rugosimètre :

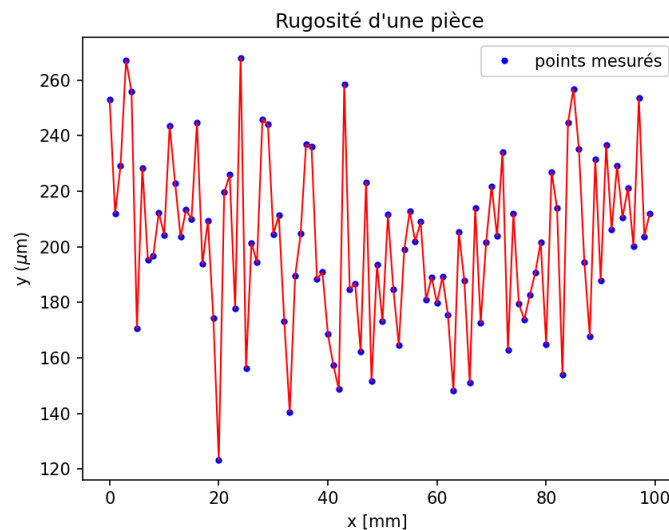


Figure *Relevé des points de mesures de la surface de la pièce réalisé à l'aide d'un rugosimètre*

— Objectif —

Vérifier la rugosité de la surface d'une pièce mécanique à partir d'un relevé de points de mesure

II. Travail demandé

II.1. Expression de la rugosité

Afin de caractériser la rugosité d'une surface, il faut définir un critère. Le critère le plus utilisé est le critère de la hauteur moyenne arithmétique noté R_a .

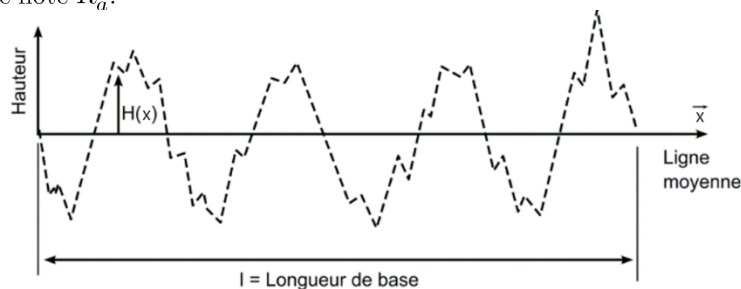


Figure Hauteur d'une surface

Question 1. En utilisant la figure ci-dessus, donner l'expression mathématique de R_a en fonction des paramètres de la figure.

II.2. Méthode des rectangles

En analyse numérique, la méthode des rectangles est une méthode simple pour le calcul numérique d'une intégrale tel que :

$$\int_a^b f(x).dx = \frac{b-a}{n} \sum_{i=1}^n f\left(a + i \cdot \frac{b-a}{n}\right)$$

Que l'on peut illustrer par :

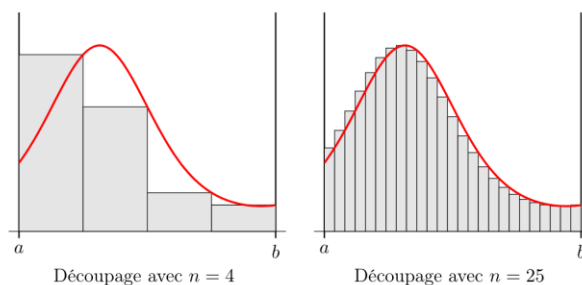


Figure Illustration de la méthode des rectangles pour différentes valeurs de n

Nous souhaitons alors déterminer la rugosité R_a à l'aide de la méthode des rectangles.

Question 2. En déduire l'expression de la rugosité R_a sous la forme d'une somme des n hauteurs H_i par rapport à la ligne moyenne.

II.3. Tracé des points mesurés

On souhaite ensuite vérifier si la rugosité de la pièce est bien valide. Pour se faire, nous disposons du relevé de points de mesures, obtenu à l'aide d'un rugosimètre, sur un fichier texte : *donnees.txt*.

Copier le dossier Python fourni sur le bureau

Question 3. Ouvrir le code Python fourni, qui permet de lire le fichier *donnees.txt*. Pour se faire, modifier le répertoire de travail et exécuter le programme. Afficher ensuite le *tableau*.

Question 4. A partir du *tableau*, remplir deux vecteurs, *x_exp* et *h_exp*, correspondant à l'abscisse et la hauteur des points mesurés de la rugosité de la surface de la pièce.

Question 5. Tracer ces points de mesures.

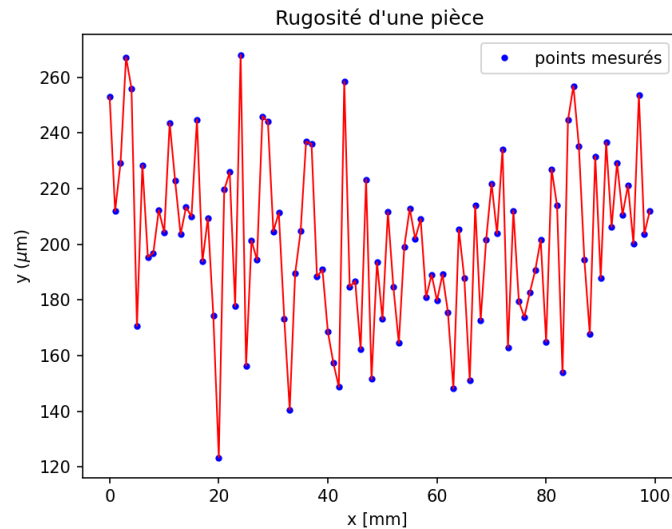


Figure Points mesurés à l'aide d'un rugosimètre

La rugosité R_a est obtenu à l'aide de la ligne moyenne.

Question 6. Créer une fonction, nommée *moyenne*, permettant de calculer la valeur moyenne d'une liste de valeur.

Calculer alors la valeur moyenne des hauteurs des points mesurés. Tracer cette valeur sur votre graphe.

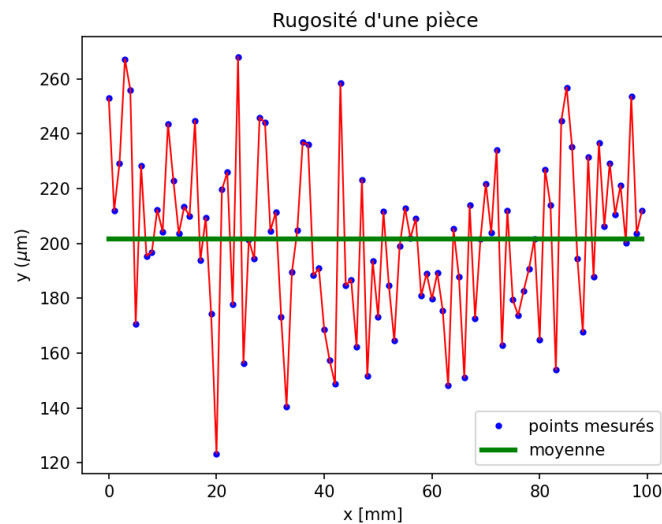


Figure Points mesurés et moyenne

II.4. Vérification de la rugosité

La rugosité R_a est obtenu à l'aide des valeurs de la hauteur des points par rapport à la ligne moyenne.

Question 7. Calculer les nouvelles valeurs des hauteurs corrigés, notées h_{cor} , correspondant aux hauteurs des points par rapport à la ligne moyenne (et non pas les hauteurs dans l'absolue noté h_{exp}).

Question 8. Ecrire une fonction permettant de calculer la valeur de la rugosité R_a . Calculer cette valeur. Tracer cette valeur sur votre graphe.

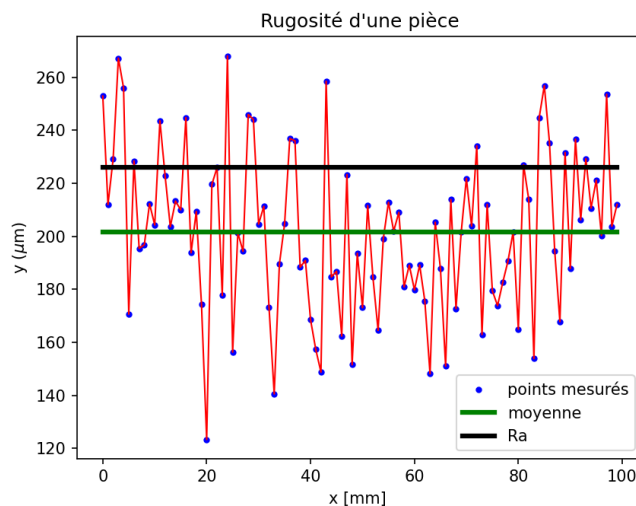


Figure Rugosité R_a

Question 9. Conclure sur la validité de la rugosité voulue.

Question 10. Proposer une solution permettant d'avoir la rugosité voulue.

III. Pour aller plus loin

Il existe d'autre critère permettant de caractériser la rugosité :

- La rugosité maximale R_{max} : représente la hauteur maximale des irrégularités du profil de rugosité.
- La rugosité totale R_t : représente l'écart total entre le point le plus haut et le point le plus bas du profil, relevé sur toute la longueur

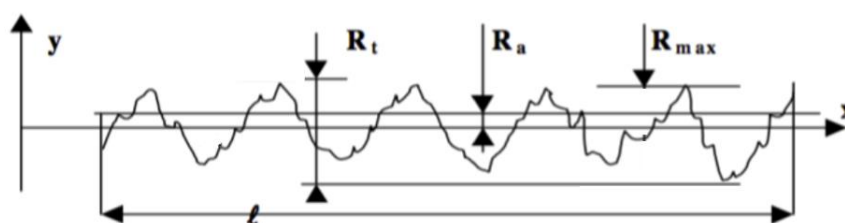


Figure Différents critères de rugosité

Question 11. Déterminer la rugosité maximale R_{max} de la surface de la pièce.

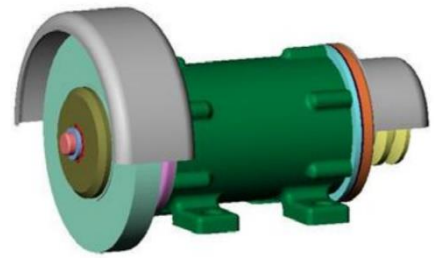
Question 12. Déterminer la rugosité totale R_t de la surface de la pièce.

Question 13. Ecrire une fonction qui permet de calculer chacune des rugosités en la choisissant. Vérifier ses résultats sur la surface de la pièce donnée.

Exercice II : Touret à meuler - ajustement

I. Présentation

Le touret à meuler est une machine qui permet d'enlever de la matière (acier, bois, ...) par abrasion (opération d'ébavurage, d'affûtage ...). Le touret à meuler, représenté sur le plan d'ensemble en **Annexe 1**, est fixé à une table support, par 4 vis. Un moteur électrique transmet son mouvement à la machine par l'intermédiaire d'un système poulies courroie.



— Objectif —

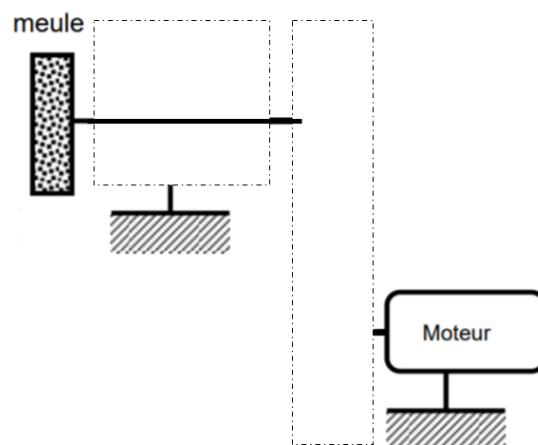
Choix des ajustements des coussinets d'un touret à meuler

II. Travail demandé

Question 1. Compléter le tableau ci-dessous en indiquant la désignation du composant et sa fonction.

Repère	Désignation	Fonction
3		
4		
5		
10		
12		
13		

Question 2. Compléter le schéma cinématique ci-dessous.



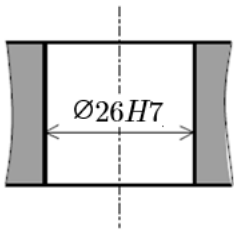
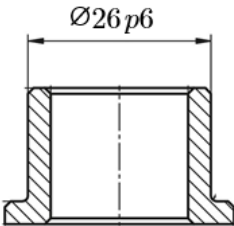
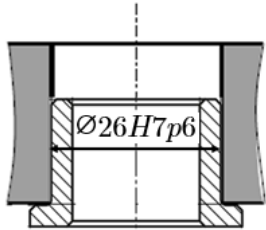
Question 3. Expliquer l'utilité des perçages au centre de l'arbre de transmission **2**. Proposer une autre solution permettant de remplacer ces perçages afin de ne pas fragiliser l'arbre de transmission **2**.

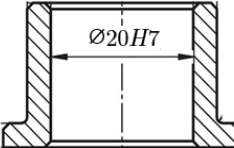
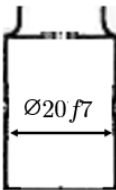
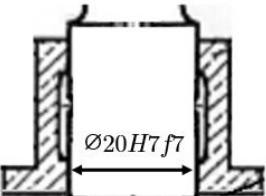
Question 4. Expliquer le rôle fonctionnel du jeu axial de l'arbre de transmission **2** par rapport au carter **1**.

Les constructeurs des coussinets annoncent des tolérances : $\varnothing p6$ pour le diamètre extérieur et $\varnothing H7$ pour le diamètre intérieur des coussinets **3**. Les coussinets **3** utilisés ici ont les dimensions suivantes : $D_{int} = 20 \text{ mm}$, $D_{ext} = 26 \text{ mm}$ et $L = 20 \text{ mm}$. On donne les tolérances de l'arbre de transmission **2** et du carter **1** au niveau des contacts avec les coussinets **3**.

- Tolérance de l'arbre de transmission **2** : $\varnothing 20 f7$
- Tolérance du carter **1** : $\varnothing 26 H7$

Question 5. Compléter les tableaux ci-dessous à l'aide de l'annexe et conclure sur les types d'ajustements (serré/glis-sant) entre l'arbre de transmission **2** et les coussinets **3**, ainsi qu'entre le carter **1** et les coussinets **3**.

Carter 1	Coussinets 3	Assemblage 1/3
		
$d =$	$d =$	$d =$
$\varnothing_{maxi} =$	$\varnothing_{maxi} =$	$Jeu_{maxi} =$
$\varnothing_{mini} =$	$\varnothing_{mini} =$	$Jeu_{min} =$
$IT =$	$IT =$	Ajustement :

Coussinets 3	Arbre 2	Assemblage 2/3
		
$d =$	$d =$	$d =$
$\varnothing_{maxi} =$	$\varnothing_{maxi} =$	$Jeu_{maxi} =$
$\varnothing_{mini} =$	$\varnothing_{mini} =$	$Jeu_{min} =$
$IT =$	$IT =$	Ajustement :

Question 6. Pourquoi avoir une forme brute de l'arbre de transmission **2** entre les deux coussinets **3**.

Question 7. Justifiez la présence d'un jeu radiale entre le couvercle **20** et l'arbre de transmission **2**.

Question 8. Le moteur a une vitesse de rotation nominale de $N_{mot} = 1000 \text{ tr/min}$, indiquez la vitesse de rotation nominale de la meule.

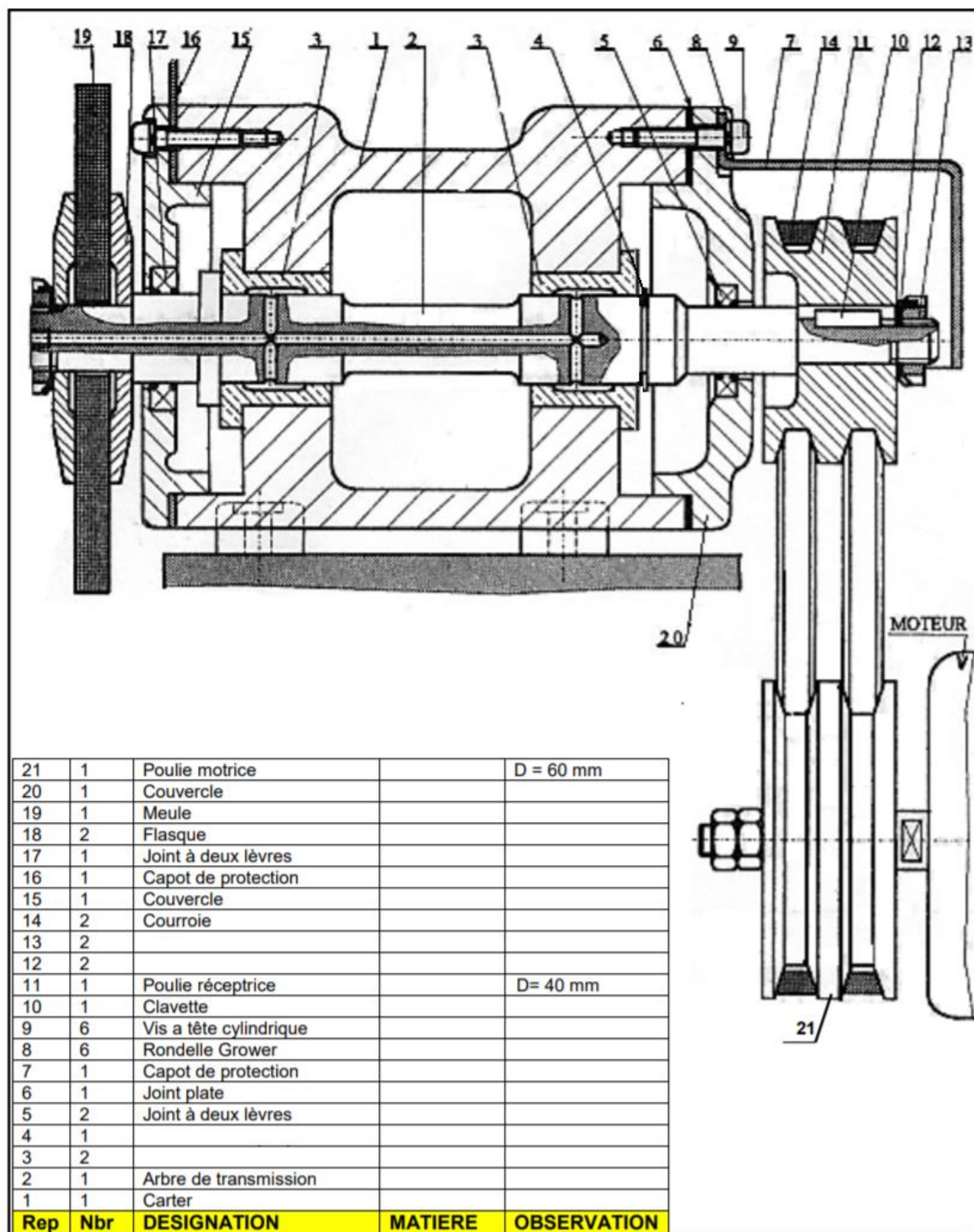
Question 9. Indiquez le type de matériaux utilisé pour obtenir le carter **1**, les coussinets **3** et la poulie **11**.

Question 10. Proposer des modes d'obtentions pour le carter **1**, les coussinets **3** et la poulie **11**.

Question 11. Proposer des types d'ajustements (glissant ou serré) pour les montages suivants :

- Carter **1** / Couvercle **20** :
- Arbre de transmission **2** / Poulie **11** :
- Arbre de transmission **2** / Flasques **18** :

Annexe 1 – Plan d'ensemble du touret à meuler



Annexe 2 – Ajustement

Extraits de tolérances ISO pour arbres (en microns : 1 μ = 0.001 mm)													
au-delà de à (inclus)		1	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315
		3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400
f7	es	-6	-10	-13	-16	-20	-25	-30	-36	-43	-50	-56	-62
	ei	-16	-22	-28	-34	-41	-50	-60	-71	-83	-96	-108	-119
f8	es	-6	-10	-13	-16	-20	-25	-30	-36	-43	-50	-56	-62
	ei	-20	-28	-35	-43	-53	-64	-76	-90	-106	-122	-137	-151
g5	es	-2	-4	-5	-6	-7	-9	-10	-12	-14	-15	-17	-18
	ei	-6	-9	-11	-14	-16	-20	-23	-27	-32	-35	-40	-43
g6	es	-2	-4	-5	-6	-7	-9	-10	-12	-14	-15	-17	-18
	ei	-8	-12	-14	-17	-20	-25	-29	-34	-39	-44	-49	-54
h5	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ei	-4	-5	-6	-8	-9	-11	-13	-15	-18	-20	-23	-25
h6	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ei	-6	-8	-9	-11	-13	-16	-19	-22	-25	-29	-32	-36
h7	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ei	-10	-12	-15	-18	-21	-25	-30	-35	-40	-46	-52	-57
h8	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ei	-14	-18	-22	-27	-33	-39	-46	-54	-63	-72	-81	-89
h9	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ei	-25	-30	-36	-43	-52	-62	-74	-87	-100	-115	-130	-140
h10	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ei	-40	-48	-58	-70	-84	-100	-120	-160	-185	-210	-230	-250
js5		± 2	$\pm 2,5$	± 3	± 4	$\pm 4,5$	$\pm 5,5$	$\pm 6,5$	$\pm 7,5$	± 9	± 10	$\pm 11,5$	$\pm 12,5$
js6		± 3	± 4	$\pm 4,5$	$\pm 5,5$	$\pm 6,5$	± 8	$\pm 9,5$	± 11	$\pm 12,5$	$\pm 14,5$	± 16	± 18
js7		± 5	± 6	$\pm 7,5$	± 9	$\pm 10,5$	$\pm 12,5$	± 15	$\pm 17,5$	± 20	± 23	± 26	$\pm 28,5$
js9		$\pm 12,5$	± 15	± 18	$\pm 21,5$	± 26	± 31	± 37	$\pm 43,5$	± 50	$\pm 57,5$	± 65	± 70
js11		± 30	$\pm 37,5$	± 45	± 55	± 65	± 80	± 95	± 110	± 125	± 145	± 160	± 180
js13		± 70	± 90	± 110	± 135	± 165	± 195	± 230	± 270	± 315	± 360	± 405	± 445
k5	es	+4	+6	+7	+9	+11	+13	+15	+18	+21	+24	+27	+29
	ei	0	+1	+1	+1	+2	+2	+2	+3	+3	+4	+4	+4
k6	es	+6	+9	+10	+12	+15	+18	+21	+25	+28	+33	+36	+40
	ei	0	+1	+1	+1	+2	+2	+2	+3	+3	+4	+4	+4
m6	es	+8	+12	+15	+18	+21	+25	+30	+35	+40	+46	+52	+57
	ei	+2	+4	+6	+7	+9	+9	+11	+13	+15	+17	+20	+21
m7	es	+12	+16	+21	+25	+29	+34	+41	+48	+55	+63	+72	+78
	ei	+2	+4	+6	+7	+8	+9	+11	+13	+15	+17	+20	+21
n5	es	+8	+13	+16	+20	+24	+28	+33	+38	+45	+51	+57	+62
	ei	+4	+8	+10	+12	+15	+17	+20	+23	+27	+31	+34	+37
n6	es	+10	+16	+19	+23	+28	+33	+39	+45	+52	+60	+66	+73
	ei	+4	+8	+10	+12	+15	+17	+20	+23	+27	+31	+34	+37
p6	es	+12	+20	+24	+29	+35	+42	+51	+59	+68	+79	+88	+98
	ei	+6	+12	+15	+18	+22	+26	+32	+37	+43	+50	+56	+62

Extraits de tolérances ISO pour alésages (en microns : 1 μ = 0.001 mm)													
au-delà de à (inclus)		1	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315
		3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400
H6	ES	+6	+8	+9	+11	+13	+16	+19	+22	+25	+29	+32	+36
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H7	ES	+10	+12	+15	+18	+21	+25	+30	+35	+40	+46	+52	+57
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H8	ES	+14	+18	+22	+27	+33	+39	+46	+54	+63	+72	+81	+89
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Exercice III : Cotation GPS

I. Présentation

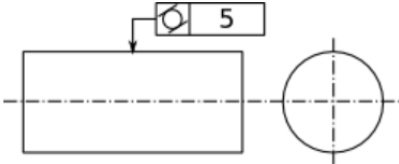
Un des objectifs de la cotation GPS est donc de **quantifier le défaut acceptable** afin de garantir une pièce et un assemblage fonctionnel.

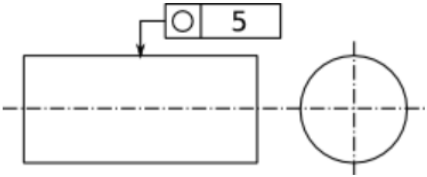
— Objectif —

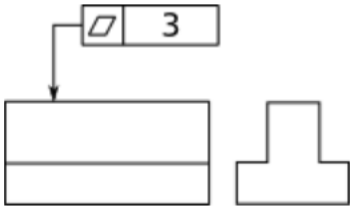
Traduire des spécifications géométriques types

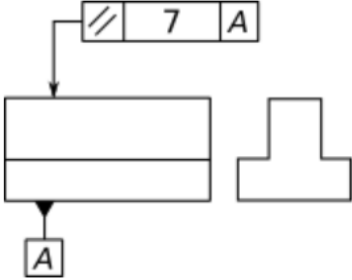
II. Travail demandé

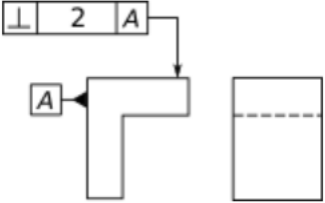
Question 1. En vous aidant du site : <http://tolerancement.allais.eu/>, compléter les tableaux traduisant les spécifications ci-dessous.

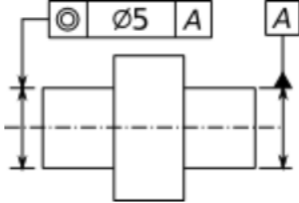
TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance LEC 1				
Symbole de la spécification	Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	Unique Groupe	Unique Multiples	Simple Commune Système	Simple Composée	Contraintes Orientation et/ou posi- tion par rapport à la référence spécifiée
Schéma Extrait du dessin de définition 					

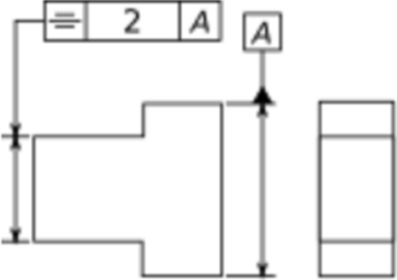
TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance LEC 1				
Symbole de la spécification	Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	Unique Groupe	Unique Multiples	Simple Commune Système	Simple Composée	Contraintes Orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Schéma Extrait du dessin de définition 					

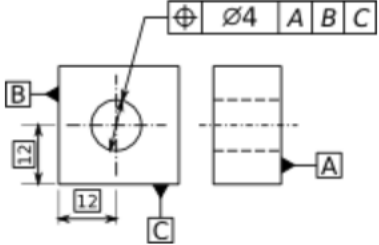
TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance LEC 1				
Symbole de la spécification	Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	Unique Groupe	Unique Multiples	Simple Commune Système	Simple Composée	Contraintes Orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Schéma Extrait du dessin de définition 					

TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance LEC 1				
Symbole de la spécification	Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	Unique Groupe	Unique Multiples	Simple Commune Système	Simple Composée	Contraintes Orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Schéma Extrait du dessin de définition 					

TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance LEC 1				
Symbole de la spécification	Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	Unique Groupe	Unique Multiples	Simple Commune Système	Simple Composée	Contraintes Orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Schéma Extrait du dessin de définition 					

TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance LEC 1				
Symbole de la spécification	Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	Unique Groupe	Unique Multiples	Simple Commune Système	Simple Composée	Contraintes Orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Schéma Extrait du dessin de définition 					

TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance LEC 1				
Symbole de la spécification	Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement	Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Référence(s) spéci- fiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	Unique Groupe	Unique Multiples	Simple Commune Système	Simple Composée	Contraintes Orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Schéma Extrait du dessin de définition 					

TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance LEC 1				
Symbole de la spécification	Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	Unique Groupe	Unique Multiples	Simple Commune Système	Simple Composée	Contraintes Orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Schéma Extrait du dessin de définition 					

Exercice IV : Rail de guidage

I. Présentation

On s'intéresse ici à un rail de guidage.

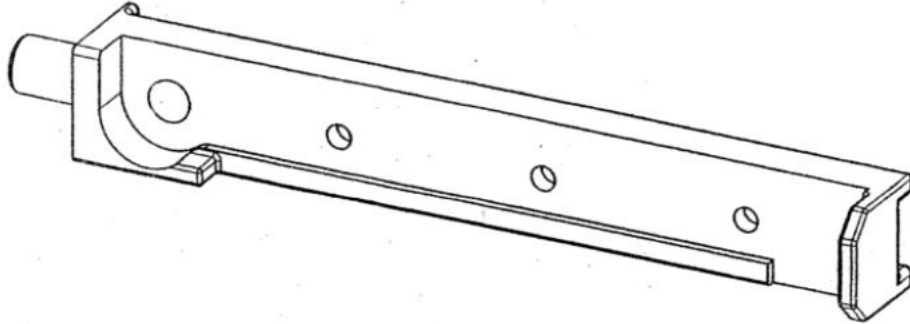


Figure *Rail de guidage*

— Objectif

Analyser et justifier les spécifications géométriques du rail

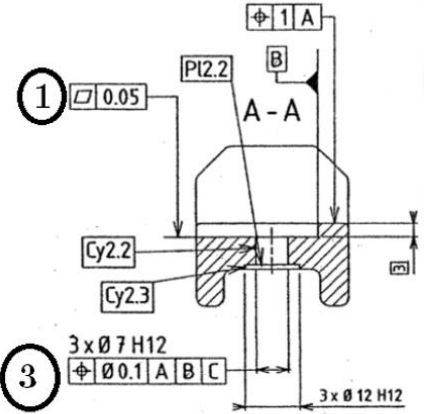
II. Travail demandé

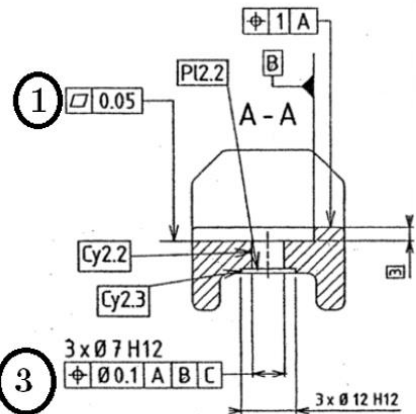
Pour les spécifications définies sur le plan de définition du rail, compléter les pages du document réponse prévues à cet effet sous forme de tableaux.

Question 1. Analyser la spécification 1

Question 2. Analyser la spécification 2

Question 3. Analyser la spécification 3

TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance LEC 1				
Symbole de la spécification	Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	Unique Groupe	Unique Multiples	Simple Commune Système	Simple Composée	Contraintes Orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Schéma Extrait du dessin de définition 					

TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance LEC 1				
Symbole de la spécification	Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	Unique Groupe	Unique Multiples	Simple Commune Système	Simple Composée	Contraintes Orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Schéma Extrait du dessin de définition 					

Exercice V : Micromoteur

I. Présentation

On s'intéresse à un micromoteur 2 temps de cylindrée 5 cm³ utilisé en micro modélisme. Cet ensemble est présenté dans le dessin en coupe sur la figure ci-dessous.

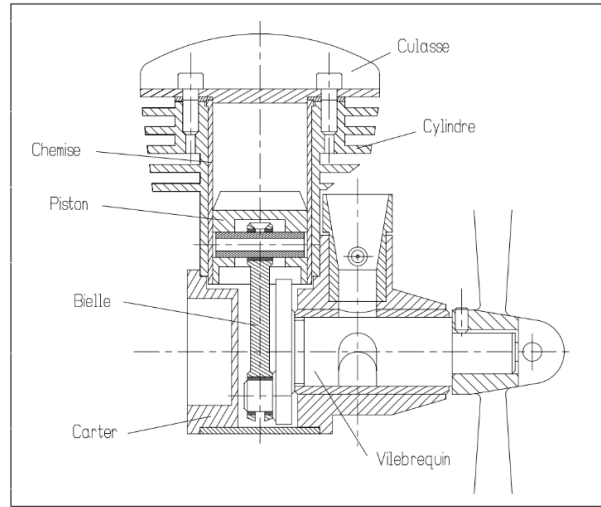


Figure *Micromoteur d'aéromodélisme*

Les conditions fonctionnelles attachées à ce mécanisme sont nombreuses : étanchéité, pression de contact entre surfaces, comportement de la chaîne cinématique, faisabilité de l'assemblage De cet ensemble de conditions, se déduit toute une série de contraintes dimensionnelles et géométriques attachées aux éléments non idéaux extraits du « skin modèle » des divers pièces constitutives de ce mécanisme.

— Objectif —

Proposer des spécifications traduisant les contraintes à imposer

II. Travail demandé

II.1. Spécification du vilebrequin

On s'intéresse dans un premier temps aux spécifications du vilebrequin. Les spécifications proposer seront à compléter sur le document en **Annexe 1**.

Question 1. Afin de réaliser l'assemblage entre le vilebrequin et le carte, proposer une spécification dimensionnelle portant sur le diamètre du vilebrequin.

Question 2. Afin de maintenir une pression répartie sur tout le vilebrequin, proposer une spécification géométrique portant sur la forme du vilebrequin. Analyser à l'aide du tableau fournit cette spécification.

Question 3. Afin de respecter la course du piston imposée par le cahier des charges, proposer une spécification géométrique portant sur la position du maneton (partie en contact avec la bielle) par rapport au vilebrequin. Analyser à l'aide du tableau fournit cette spécification.

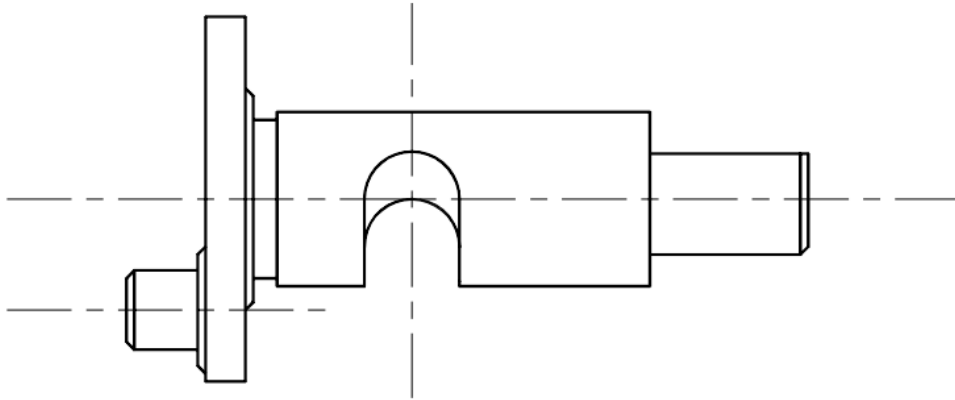
II.2. Spécification

On s'intéresse dans un second temps aux spécifications de la bielle. Les spécifications proposer seront à compléter sur le document en **Annexe 2**.

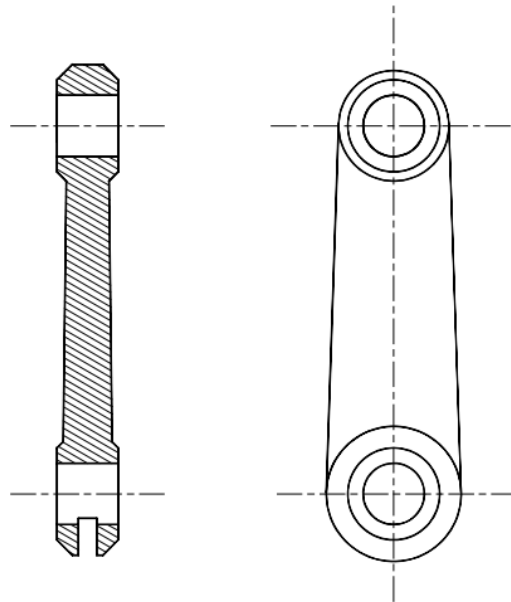
Question 4. Afin de limiter l'hyperstatisme du mécanisme, proposer une spécification géométrique portant sur l'orientation relative des alésages de la bielle. Analyser à l'aide du tableau fournit cette spécification.

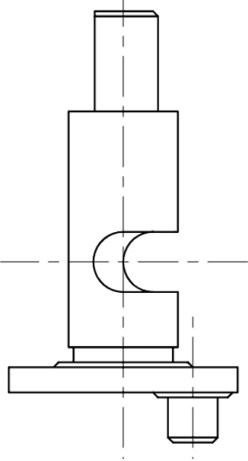
Question 5. Afin de respecter la course du piston imposée par le cahier des charges, proposer une spécification géométrique portant sur la position relative des alésages. Analyser à l'aide du tableau fournit cette spécification.

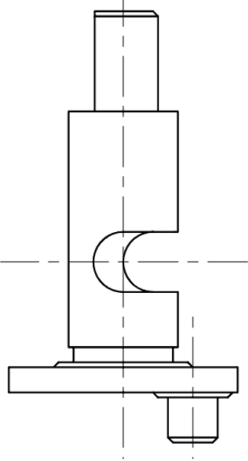
Annexe 1 – Vilebrequin

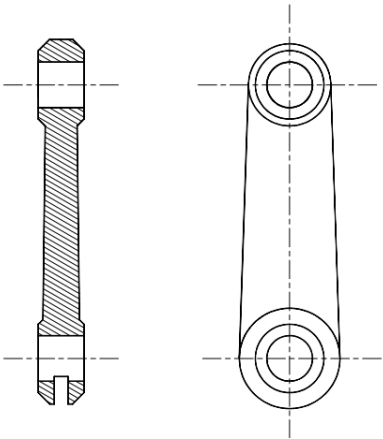


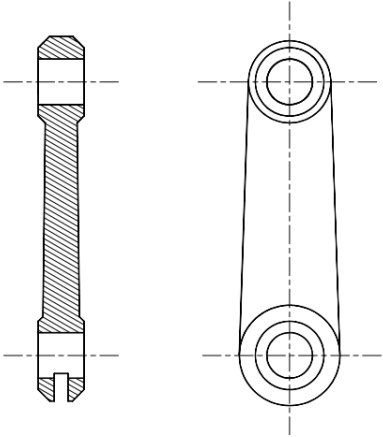
Annexe 2 – Bielle



TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance LEC 1				
Symbole de la spécification	Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	Unique Groupe	Unique Multiples	Simple Commune Système	Simple Composée	Contraintes Orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Schéma Extrait du dessin de définition 					

TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance LEC 1				
Symbole de la spécification	Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	Unique Groupe	Unique Multiples	Simple Commune Système	Simple Composée	Contraintes Orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Schéma Extrait du dessin de définition 					

TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance LEC 1				
Symbole de la spécification	Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	Unique Groupe	Unique Multiples	Simple Commune Système	Simple Composée	Contraintes Orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Schéma Extrait du dessin de définition 					

TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance LEC 1				
Symbole de la spécification	Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	Unique Groupe	Unique Multiples	Simple Commune Système	Simple Composée	Contraintes Orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Schéma Extrait du dessin de définition 					

Exercice VI : Vérification d'une rectitude

I. Présentation

Afin de garantir un bon assemblage, on souhaite imposer une tolérance de rectitude sur une pièce mécanique.

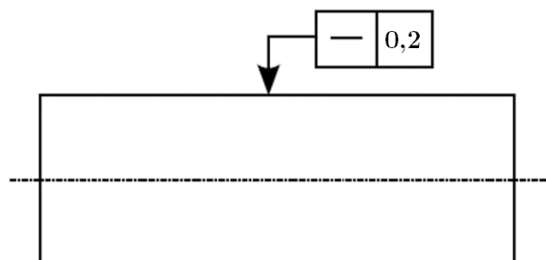


Figure Cotation et vérification d'une pièce mécanique

Afin de vérifier cette tolérance, on utilise une machine à mesurer tridimensionnelle, qui nous permet de mesurer plusieurs points sur la ligne tolérancé. On donne ci-dessous le relevé de mesure :

x_i (mm)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
y_i (mm)	0,5	0,55	0,62	0,59	0,57	0,62	0,71	0,59	0,57

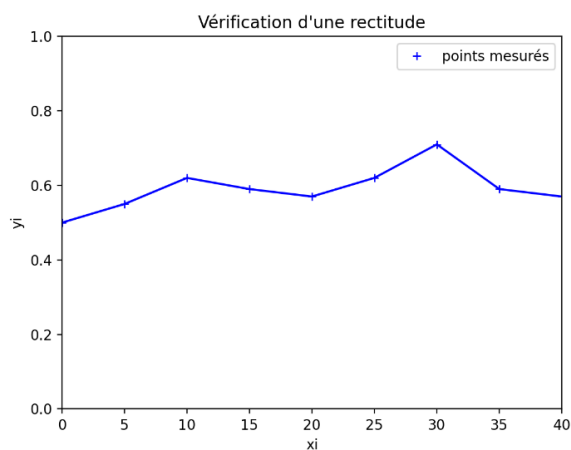


Figure Relevé des points de mesures de la pièce réalisé à la MMT

— Objectif —

Vérifier la tolérance de rectitude d'une pièce mécanique à partir d'un relevé de points de mesure

II. Travail demandé

II.1. Expression de la spécification de rectitude

Tout d'abord, expliciter la spécification de rectitude à l'aide de la fiche analyse.

Question 1. Remplir la fiche analyse concernant la spécification de rectitude.

II.2. Vérification de la spécification de rectitude – Moyenne

On souhaite vérifier si la spécification de rectitude de la pièce est bien valide. Pour se faire, nous disposons du relevé de points de mesures.

Question 2. Tracer les points de mesures sur Python.

Question 3. Tracer la zone de tolérance la plus simple, c'est-à-dire la zone autour d'une « droite moyenne ».

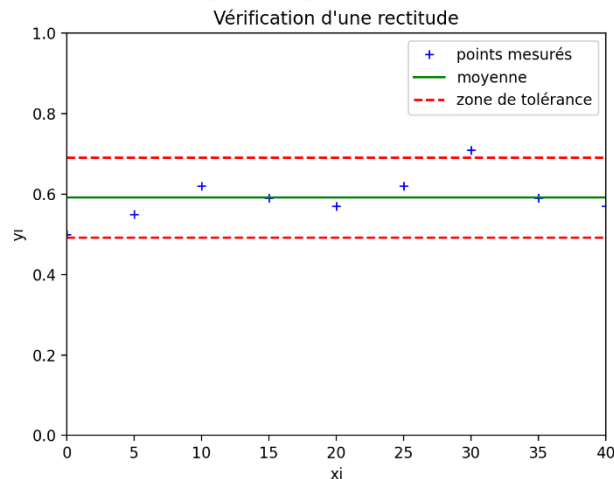


Figure Zone de tolérance « moyenne » de rectitude

Question 4. Déterminer l'écart maximale. Conclure sur la validité de la tolérance géométrique de la pièce.

II.3. Vérification de la spécification de rectitude – Régression linéaire

Une simple zone de tolérance montre que la pièce n'est pas bonne. Cependant, cette zone peut être améliorée, notamment à l'aide d'une droite obtenue par régression linéaire.

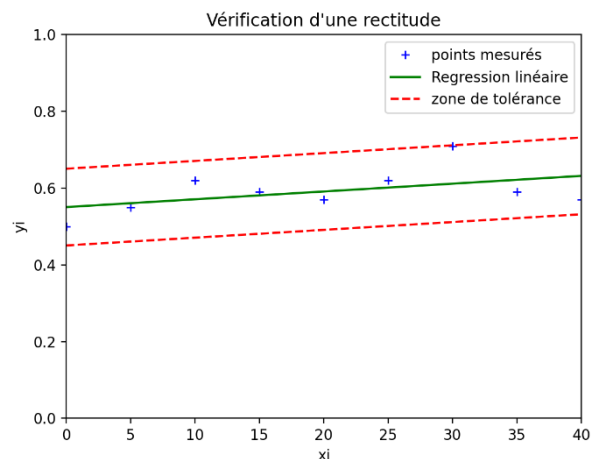


Figure Zone de tolérance « élaborée » de rectitude

Nous allons donc réaliser une régression linéaire des points de mesures par la méthode des moindres carrés. Cette méthode consiste à minimiser l'écart au carré, entre les points de mesures et les points de la droite obtenue par régression. On définit alors la sommes à minimiser :

$$S(a,b) = \sum_i \varepsilon_i^2 = \sum_i [y_i - (ax_i + b)]^2$$

Où (a,b) les coefficients de la droite obtenue par régression linéaire. On souhaite donc minimiser cette somme par rapport aux coefficients a et b .

Question 5. Exprimer $\frac{\partial S(a,b)}{\partial a}$.

Question 6. Exprimer $\frac{\partial S(a,b)}{\partial b}$.

Minimiser cette somme par rapport à (a,b) revient à déterminer (a,b) tel que :

$$\begin{cases} \frac{\partial S(a,b)}{\partial a} = 0 \\ \frac{\partial S(a,b)}{\partial b} = 0 \end{cases}$$

Question 7. Ecrire ce système d'équations sous forme matriciel :

$$A.X = B$$

Où A représente la matrice du système, X le vecteur d'inconnue $\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}$ et B un vecteur connu.

Question 8. Inverser ce système et déterminer numériquement les coefficients $\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}$.

On souhaite ensuite estimer avec précision le défaut de rectitude maximal de la pièce e_{max} afin de vérifier la tolérance géométrique. Pour se faire, nous allons d'abord déterminer tous les défauts e_i .

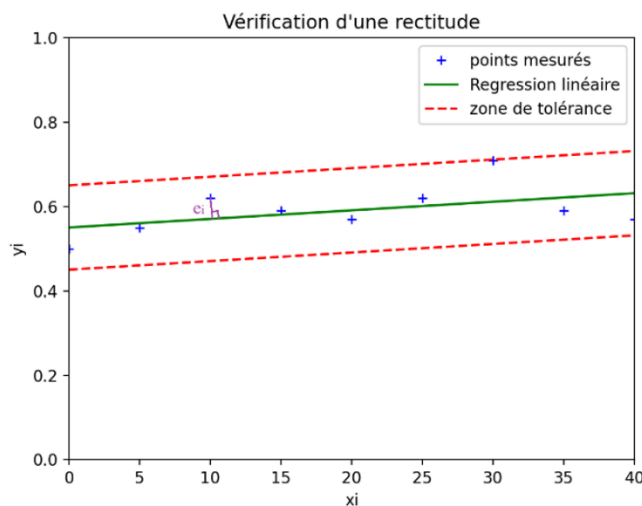


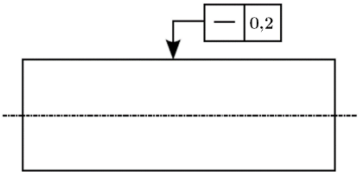
Figure Défaut de rectitude ε_i

Question 9. Compléter le tableau suivant en remplissant les écarts de rectitude ε_i , définis par la plus petite distance entre les points de mesures et la droite associée par régression linéaire.

x_i (mm)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
y_i (mm)	0,5	0,55	0,62	0,59	0,57	0,62	0,71	0,59	0,57
e_i (mm)									

Question 10. En déduire l'écart de rectitude maximal e_{max} . Conclure sur la validité de la spécification.

Fiche analyse de spécifications géométriques

TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance				
Symbole de la spécification	Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement	Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	unique groupe	unique multiples	simple commune système	simple composée	Contraintes orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Schéma Extrait du dessin de définition					
					

Exercice I : Vérification d'une circularité

I. Présentation

Afin de garantir un bon assemblage, on souhaite imposer une tolérance de rectitude sur une pièce mécanique.

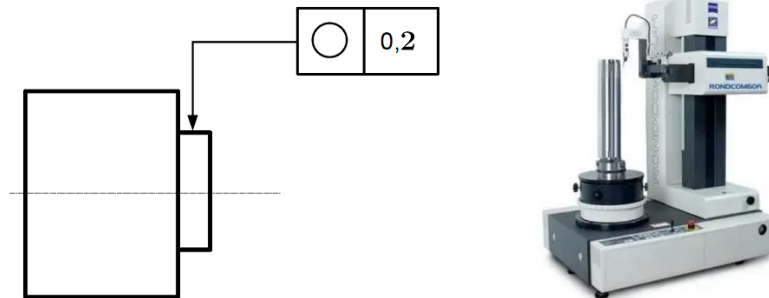


Figure *Cotation et vérification d'une pièce mécanique*

Afin de vérifier cette tolérance, on utilise une machine à mesurer tridimensionnelle, qui nous permet de mesurer plusieurs points sur la ligne tolérancée. On donne ci-dessous le relevé de mesure :

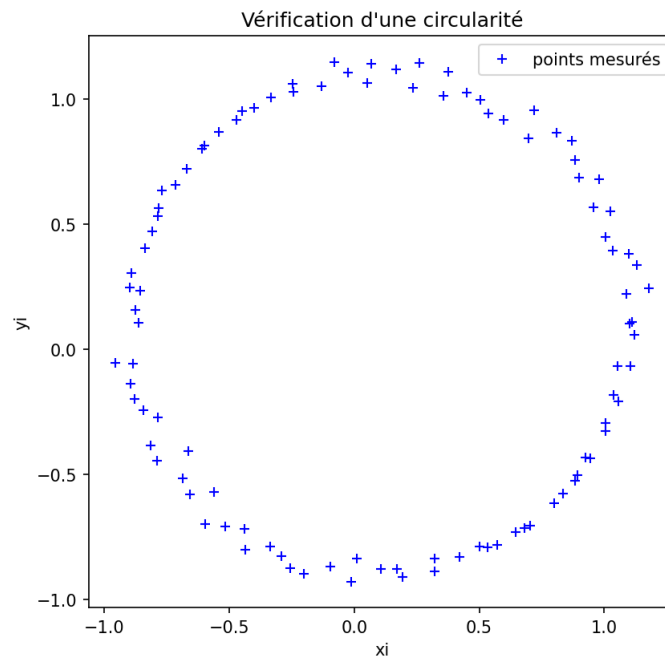


Figure *Relevé des points de mesures de la pièce réalisé à la MMT*

— Objectif —

Vérifier la tolérance de circularité d'une pièce mécanique à partir d'un relevé de points de mesure

II. Travail demandé

II.1. Expression de la spécification de rectitude

Tout d'abord, expliciter la spécification de circularité à l'aide de la fiche analyse.

Question 1. Remplir la fiche analyse concernant la spécification de circularité.

II.2. Vérification de la spécification de rectitude – Moyenne

On souhaite ensuite vérifier si la spécification de circularité de la pièce est bien valide. Pour se faire, nous disposons du relevé de points de mesures sur un fichier texte : *donnees.txt*.

Question 2. A partir du fichier texte *donnees.txt*, Tracer les points de mesures sur Python.

Question 3. Tracer la zone de tolérance la plus simple, c'est-à-dire la zone autour d'un cercle de rayon moyen et de centre (0,0). Conclure sur la validité de la tolérance géométrique de la pièce.

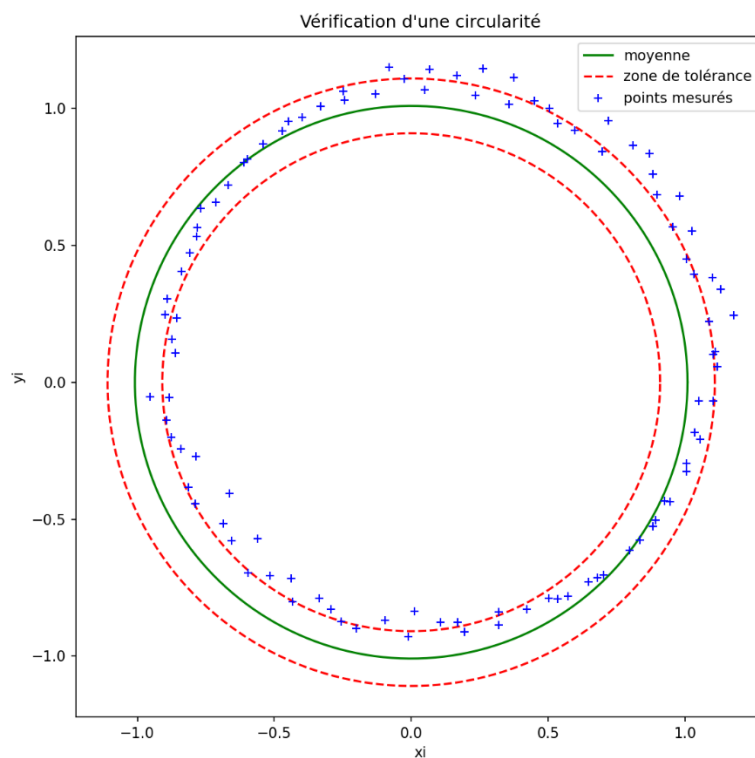


Figure Zone de tolérance « moyenne » de circularité

II.3. Vérification de la spécification de rectitude – Régression circulaire

Une simple zone de tolérance montre que la pièce n'est pas bonne. Cependant, cette zone peut être améliorée, notamment à l'aide d'un cercle obtenu par régression circulaire.

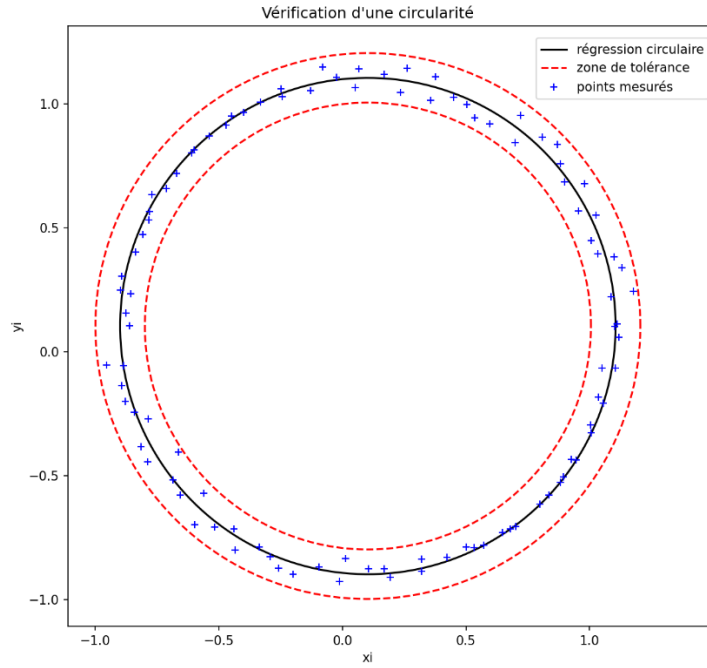


Figure Zone de tolérance « élaborée » de circularité

Nous allons donc tenter de réaliser une régression circulaire des points de mesures par la méthode des moindres carrés. Cette méthode consiste à minimiser l'écart au carré, entre les points de mesures et les points de la droite obtenue par régression.

On définit alors la sommes à minimiser :

$$S(x_0, y_0, r) = \sum_i \varepsilon_i^2 = \sum_i [(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 - r^2]^2$$

Où (x_0, y_0) représente les coordonnées du centre et r le rayon du cercle obtenu par régression circulaire. On souhaite donc minimiser cette somme par rapport aux coefficients (x_0, y_0, r)

Question 4. Exprimer $\frac{\partial S(x_0, y_0, r)}{\partial x_0}$.

Question 5. Exprimer $\frac{\partial S(x_0, y_0, r)}{\partial y_0}$.

Question 6. Exprimer $\frac{\partial S(x_0, y_0, r)}{\partial r}$.

Minimiser cette somme par rapport à (x_0, y_0, r) revient à déterminer (x_0, y_0, r) tel que :

$$\begin{cases} \frac{\partial S(x_0, y_0, r)}{\partial x_0} = 0 \\ \frac{\partial S(x_0, y_0, r)}{\partial y_0} = 0 \\ \frac{\partial S(x_0, y_0, r)}{\partial r} = 0 \end{cases}$$

Question 7. Peut-on écrire ce système d'équations sous forme matriciel :

$$A \cdot X = B$$

Où A représente la matrice du système, X le vecteur d'inconnue $\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ r \end{pmatrix}$ et B un vecteur connu.

Le système est non linéaire et ne peut être résolu par la méthode matriciel. Il existe différente méthode permettant de résoudre ce problème : [méthode de régression circulaire](#).

Nous allons opter ici pour une méthode numérique (voir Annexe). Nous allons donc minimiser numériquement la somme $S(x_0, y_0, r)$.

Question 8. A partir de l'Annexe, minimiser la somme $S(x_0, y_0, r)$ à partir des point (x_i, y_i) .

On souhaite ensuite estimer avec précision le défaut de circularité maximal de la pièce e_{max} afin de vérifier la tolérance géométrique. Pour se faire, nous allons d'abord déterminer tous les défauts e_i .

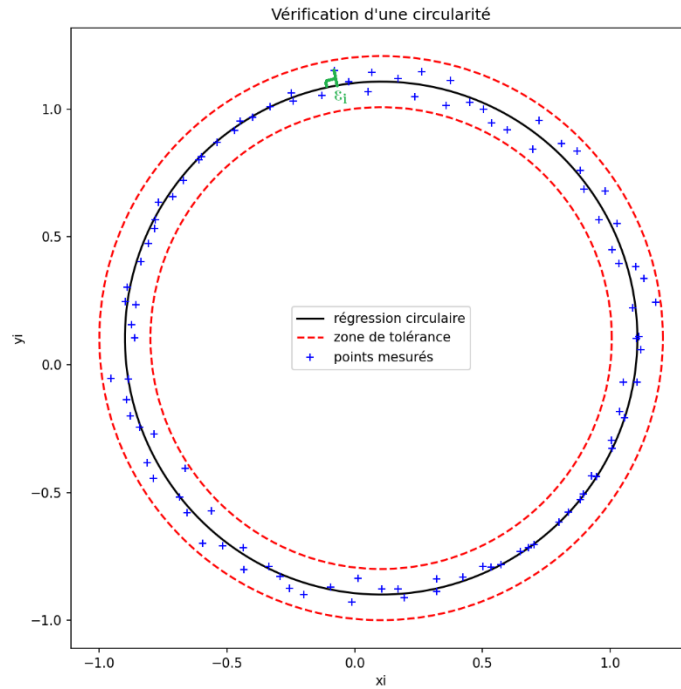
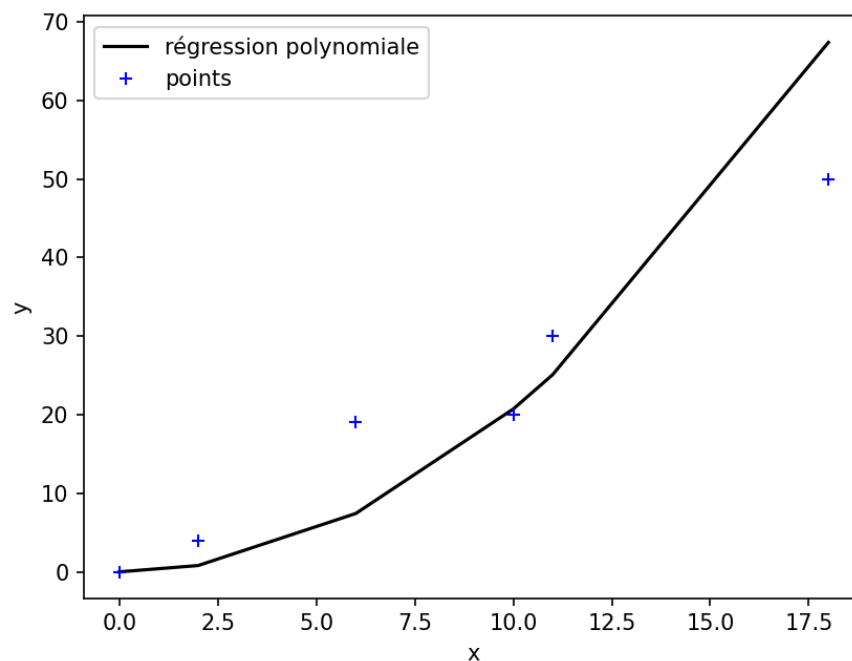


Figure Défaut de rectitude ε_i

Question 9. Déterminer l'écart maximal de circularité e_{max} , définis par la distance maximale perpendiculaire du point au cercle associée par régression circulaire. Conclure sur la validité de la spécification de circularité.

Annexe – Minimisation d'une fonction polynomiale

```
1 ## Bibliothèques
2 import numpy as np
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 import scipy.optimize as optimize
5
6 ## Liste de points
7 x = [0, 2, 6, 10, 11, 18]
8 y = [0, 4, 19, 20, 30, 50]
9 x = np.array(x)
10 y = np.array(y)
11
12 ## Régression polynomiale
13 #Fonction à minimiser
14 def f(params):
15     a, b, c = params
16     return np.sum((y-a*x**2+b*x+c)**2)
17 #Conditions initiales
18 initial_guess = [0, 0, 0]
19 #Minimisation
20 result = optimize.minimize(f, initial_guess)
21 #Résultats
22 a_reg = result.x[0]
23 b_reg = result.x[1]
24 c_reg = result.x[2]
25 y_reg=a_reg*x**2+b_reg*x+c_reg
```



Fiche analyse de spécifications géométriques

TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance				
Symbole de la spécification	Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement	Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	unique groupe	unique multiples	simple commune système	simple composée	Contraintes orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Schéma Extrait du dessin de définition 