TP de métrologie 1

Sidonie MOLY, Arnaud RASTETTER - GM3-A2

04/12/2023

1 Capabilité des moyens de contrôle

1.1 Objectif

L'objectif de cette première partie est de déterminer, pour un instrument donné, l'intervalle de tolérance minimal pouvant être controlé en respectant le critère de capabilité du moyen de contrôle. Ceci permet de choisir le moyen de mesure adapté à une situtation donnée.

1.2 Analyse de la spécification

L'analyse de la spécification géométrique fait partie du travail préparatoire.

⌖	0.2	A

Figure 1: spécification 1

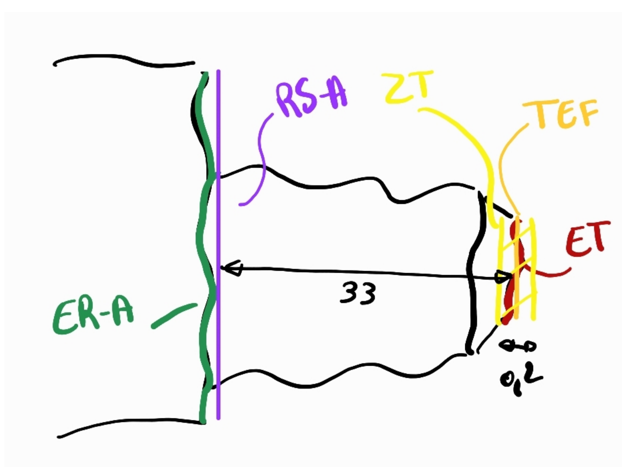


Figure 2: Schéma de la spécification 1

- Le principe de l'indépendance est respecté
- Tolérance de position de type localisation
- ET (élement tolérancé) : Surface nominalement plane
- ER-A (élément de référence) : Surface nominalement plane
- RS-A (référence spécifiée) : Plan tangent extérieur matière à l'ER-A minimisant l'écart maximal.
- TEF (élément théorique exact) : Plan parallèle à RS-A, à une distance L (33mm) de RS-A et de même étendue que ET

- ZT (zone de tolérance) : Esspace compris entre deux plans parallèles placés symétriquement par rapport au TEF, et de même étendue que l'ET.

1.3 Protocole

Nous avons tout d'abord mesuré 10 fois chacun (2 personnes) le diamètre de la pièce avec le micromètre puis avec le pied à coulisse. Enfin, nous avons fait 10 mesures chacun de la longueur entre la face et l'épaulement.

1.4 Résultats

Résultats des feuilles de calcul
Les feuilles de calculs complètes sont disponibles en annexe.

- Micromètre d'extérieur gradué au $1/100^{ème}$ de mm

Avec un intervalle de tolérance de 0.2 mm autour de la côte nominale, on trouve une capabilité du moyen de mesure de 25.5 : le processus est capable

- Pied à coulisse gradué au $1/50^{ème}$ de mm

Avec un intervalle de tolérance de 0.2 mm autour de la côte nominale, on trouve une capabilité du moyen de mesure de 5.1 : le processus est capable.

- Jauge de profondeur graduée au $1/50^{ème}$ de mm

Avec un intervalle de tolérance de 0.2 mm autour de la côte nominale, on trouve une capabilité du moyen de mesure de 4.03 : le processus est capable

Interprétation des résultats

Nous constatons une zone de conformité plus étendue pour le micromètre que pour le pied à coulisse. On privilégiera donc le micromètre pour cette mesure. On peut voir tout de même que tous les outils ont été capables, donc il n'est pas faux d'utiliser un pied à coulisse pour contrôler une pièce avec cette précision de cotation. Cependant, si l'objectif est d'optimiser les tolérances, utiliser un micromètre permettra de diminuer l'IT.

Influence de la température

La variation de température est prise en compte dans le calcul de l'incertitude de type combinée. Dans le cas d'une variation élevée de témpérature entre appareil de mesure et pièce, par exemple pour une mesure lors de l'usinage, il est intéressant d'évaluer l'impact de la température sur la dispersion globale et la capabilité du moyen de mesure. Avec une capabilité du moyen de mesure initiale de 25.5 pour le micromètre, on obtient, après une variation de température de 30°C, Cmc = 22.3, soit une diminution de capabilité d'environ 3. La capabilité du moyen de mesure diminiue donc bien lors d'une variation de température entre pièce et outil de mesure.

Valeurs de l'intervalle de tolérance
L'intervalle de tolérance atteignable est calculé à partir du cas d'égalité où $Cmc = \frac{IT}{6\sigma} = 4$, et σ est l'incertitude étendue. Nous trouvons alors les valeurs suivantes :

- Micromètre extérieur : IT = 31 µm donc une tolérance h8
- Pied à coulisse : IT = 156 µm donc une tolérance h12
- Jauge de profondeur : IT = 198 µm

2 Mesure de spécifications géométriques : rectitude

2.1 Objectif

L'objectif de cette partie est de vérifier une spécification géométrique de forme, la rectitude.

2.2 Analyse des spécifications

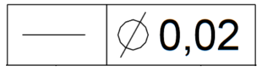


Figure 3: spécification 2 et 3

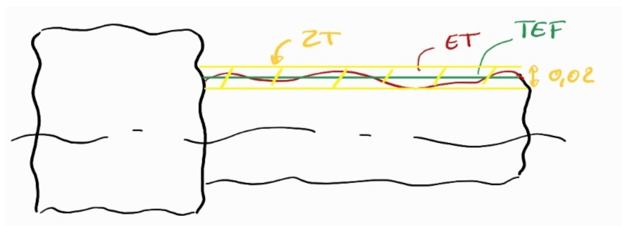


Figure 4: Schéma de la spécification 2

- Le principe de l'indépendance est respecté
- Tolérance de forme de type rectitude
- ET: Ligne extraite appartenant au plan longitudinal. Le plan longitudinal passe par l'axe du cylindre construit avec la méthode des moindres carrés.
- TEF: La droite appartenant au plan longitudinal qui passe par l'axe du cylindre construit avec la méthode des moindres carrés, et appartenant aussi à la surface du même cylindre fictif et de même étendue que l'ET
- ZT: Espace compris entre deux segments compris dans le plan longitudinal, espacés de 0.02mm, répartis de manière symétrique par rapport au TEF et de même étendue que l'ET

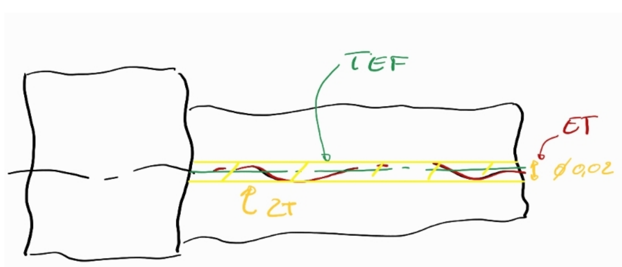


Figure 5: Schéma de la spécification 3

- Le principe de l'indépendance est respecté
- Tolérance de forme de type rectitude
- ET: Ligne dérivée extraite de la surface nominalement cylindrique
- TEF: Axe du cylindre construit par la méthode des moindres carrés, de même étendue que l'ET
- ZT: Cylindre d'axe le TEF de diamètre 0.02 mm et de même étendue que l'ET.

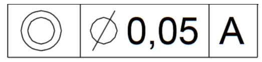


Figure 6: spécification 4

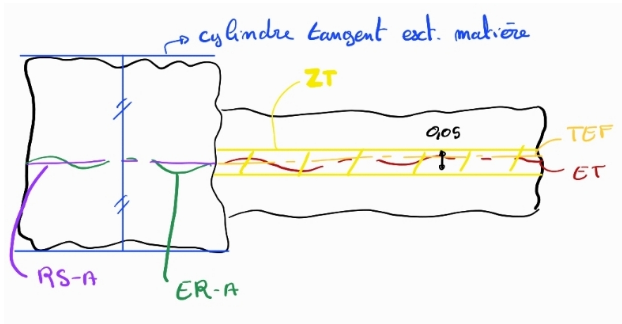


Figure 7: Schéma de la spécification 4

- Le principe de l'indépendance est respecté
- Tolérance de localisation de type coaxialité
- ET: Ligne dérivée extraite de la surface nominalement cylindrique
- ER-A: Ligne dérivée extraite de la surface nominalement cylindrique
- RS-A: Axe du plus petit cylindre tangent extérieur matière à ER-A
- TEF: Axe coïncident avec RS-A de même étendue que l'ET
- ZT: Cylindre d'axe le TEF de diamètre 0.02mm et de même étendue que l'ET

2.3 Protocole

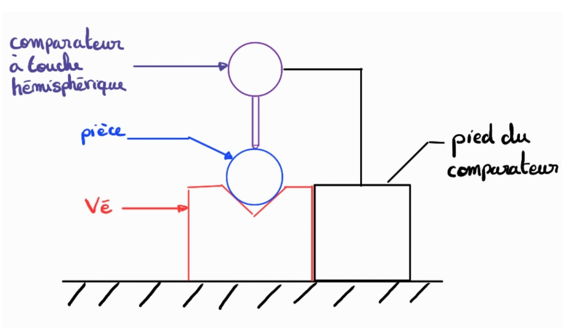


Figure 8: Schéma du protocole

Figure 9: Montage réel

Nous utilisons un vé pour les mesures, ce qui ne respecte pas la spécification étudiée. En effet, le vé nous donne accès à un cylindre tangent extérieur matière et non à celui des moindres carrés accessible à

l'aide d'une machine de mesure 3-dimensionnelle et un nombre important de mesures. Pour simplifier notre modèle, nous faisons l'hypothèse d'un défaut de forme suffisamment faible pour que les deux cylindres soient suffisamment confondus. Dans notre cas, nous avons ajouté un bloc de précision entre le vé et le pied du comparateur pour déplacer la pièce parallèlement au bloc du comparateur.
Par manque de temps, nous avons réalisé deux séries de mesures (contrairement aux 3 suggérées dans l'énoncé) tous les centimètres sur chacune des quatre génératrices.

2.4 Résultats

2.4.1 Méthode 1 : graphiquement

Après avoir tracé les droites d0, d1 et d2 sur Excel on calcule la distance $d = |d1 - d2|$. Etant donné que le repère n'est pas orthonormé, nous ne pouvons pas mesurer cette distance directement sur le graphique. Cependant, on peut écrire $d1 = ax + b_1$ et $d2 = ax + b_2$ car les droites sont parallèles. Alors par résolution géométrique on a $d = |b_1 - b_2| \cos\left(90 - arctan(\frac{1}{a})\right)$

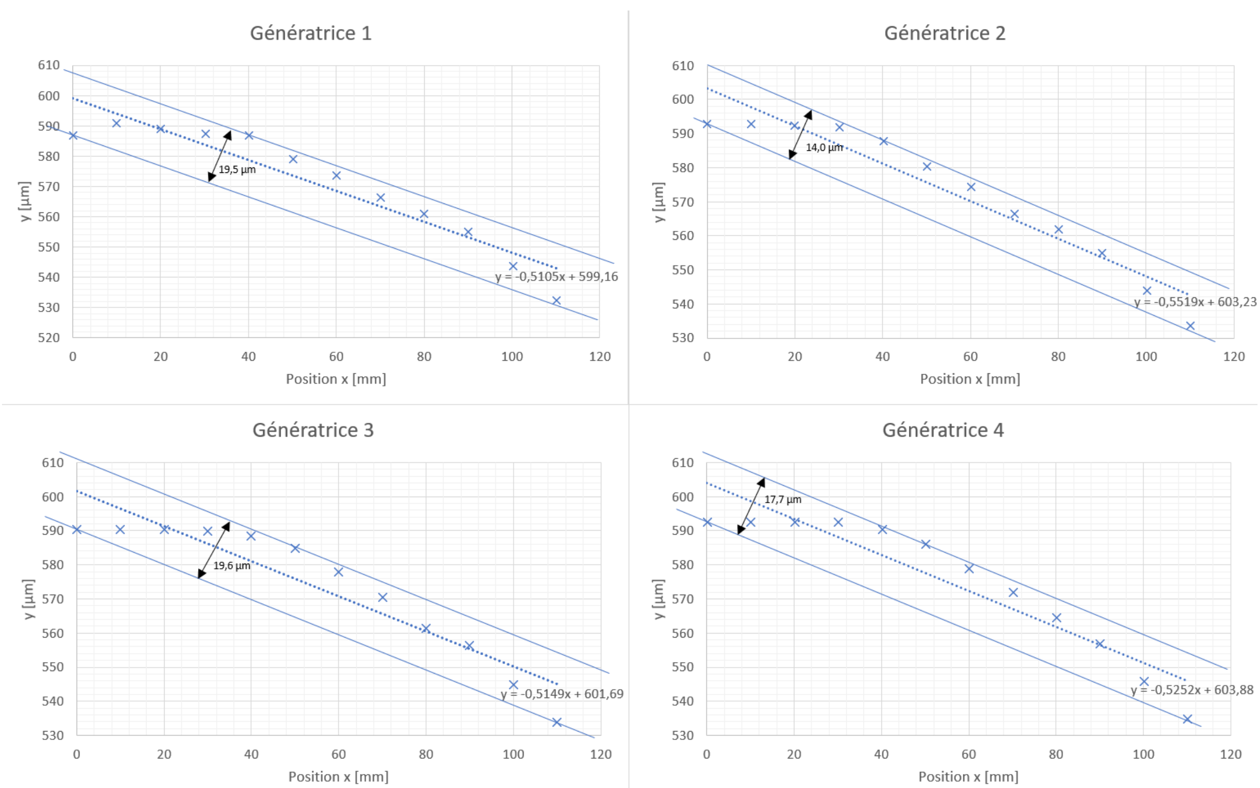


Figure 10: Méthode graphique

Pour la deuxième génératrice la distance entre les droites est minimale : 14 µm. Le défaut de rectitude est donc compris entre 14 et 19,6 µm, et donc inférieur à la limite imposée de 20µm : la spécification est respectée.

2.4.2 Méthode 2 : analytiquement

Expression de a et b en fonction de x_i et y_i

$$\begin{cases} a\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + b\sum_{i=1}^{n} x_i = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i \\ a\sum_{i=1}^{n} x_i + bn = \sum_{i=1}^{n} y_i \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} a = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i y_i)n - \sum_{i=1}^{n} y_i \sum_{i=1}^{n} x_i}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} x_i)^2} \\ \\ b = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 \sum_{i=1}^{n} y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i y_i \sum_{i=1}^{n} x_i}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} x_i)^2} \end{cases}$$

Expression l'écart d'un point à une droite

$$\frac{|ax_i - y_i - b|}{\sqrt{a^2+1}}$$

Résultats

a	b
-0,51048951	599,1602564
-0,551923077	603,2307692
-0,51486014	601,6923077
-0,525174825	603,8846154

Figure 11: a et b (y=ax+b)

d_rectitude
18,1868817
14,9509145
17,9976526
17,4930893

Figure 12: défaut de rectitude

Tout d'abord, on peut affirmer que la spécification est respectée, car on est en dessous des 20µm. Les résultats sont cohérents avec ceux trouvés par la première méthode. Cette méthode est plus fastidieuse si l'on doit retrouver les expressions littérales, mais une fois ces expressions déterminées elle est plus efficace et plus précise. Avec la méthode graphique, il est nécessaire de faire pour chaque série de mesures un traitement graphique long et peu précis, alors que pour la méthode analytique il n'y a qu'à étendre les formules aux autres cases. La méthode graphique reste tout de même assez précise, car l'écart maximum est de 1.4µm. Cependant, pour des pièces qui sont aux limites, comme la première mesure par exemple, la méthode analytique permet de supprimer le litige.

3 Conclusion

Nous avons, grâce à ce TP, pu comprendre la différence entre la zone de conformité et la zone de spécification ainsi que leur importance. Nous avons vu aussi la hiérarchisation des incertitudes en modifiant la variation de la température de la pièce mesurée. Ensuite, dans la deuxième partie, nous avons pu nous questionner sur le contrôle d'une spécification géométrique : comment avoir accès au cylindre des moindres carrés ? Enfin, nous avons comparé deux méthodes de traitement des mesures pour déterminer le défaut de rectitude. Jusqu'au traitement des données, il faut constamment s'interroger sur la precision du moyen de mesure pour avoir celle nécessaire au contrôle de la pièce.

4 Annexes

- Micromètre d'extérieur gradué au $1/100^{ème}$ de mm

ETUDE DE CONFORMITE (Micromètres 0 à 100 mm)

Aide au calcul suivant : ISO14253	Ref appareil :	Ref pièce :

Spécification :

	Valeur nominale :	30
	Valeur supérieure (USL) :	30,1000
T = ***0,200***	Valeur inférieure (LSL) :	29,9000

Répétabilité : estimée à partir de 3 échantillons maxi sur une pièce dans les conditions de production

Reproductibilité : majoration par le changement d'opérateur (majoration =0 si un seul opérateur)

Faire n mesures (opérateur 1) :	29,98	29,98	29,98	29,98	29,97	29,98	29,98	29,98	29,98	29,98
Si opérateur 2, faire n mesures :	29,98	29,98	29,98	29,98	29,98	29,98	29,98	29,98	29,98	29,98
Si opérateur 3, faire n mesures :										

Analyse variance :	q_R = 5E-06	q_{Op} = 5E-06	F_{exp} = 1	F_{th} = 4,414	*Incidence biais op :* **NON** *à 95%*
Test de Cochran :	s^2_{Max} : 1E-05	Σs^2 : 1E-05	g=	$r_{0,05}$ = 0,62	*Var op différentes :* **NON** *à 95%*
Intervalle de confiance à 95% :		0,002 < $u_{Répé}$ < 0,003		< $u_{Opér}$ <	
$u_{Répé}$ = ***0,0022***		$u_{Opér}$ =		$u_{R\&R}$ =	***0,0022***

Justesse : déterminée à partir de la classe de l'appareil ou d'une série de mesures à l'aide d'un étalon

Si la classe de l'appareil est connue, indiquer le numéro (0, 1, 2 ou 3) : 2

Classe	Erreur maximale d'indication en µm
0	5
I	7
II	10
III	15

NF E 11-095

e_{jCl} = 0,010

Si non, l'erreur maximale d'indication sera estimée à l'aide d'une grandeur étalon au voisinage de la valeur de la pièce. **Valeur de l'étalon :**

Faire 10 mesures de l'étalon :

e_{jMes} = #DIV/0!

A 95%: ##### < $e_{jRéel}$ < ##### **u_j =** ***0,006***

Influence de la température

Estimation de la température maxi de la pièce mesurée (°C) :	20,0
Estimation de la température de l'appareil (°C en atelier ou labo) :	20,0
Coefficient de dilatation de la pièce (en 10^{-6}) :	11,5
e_t est l'écart maximum dû à la température. On supposera qu'il est distribué suivant un loi gaussienne. **e_t =**	0,00000000
u_t =	***0,0000***

Calcul de l'incertitude correspondant à 10 mesures

$$u_c = \sqrt{\frac{u_{R \wedge R}^2 + u_j^2 + u_t^2}{n}}$$

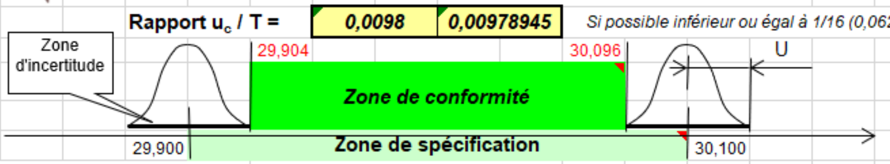
Incertitude type combinée : u_c = ***0,0020***

Incertitude étendue : U = k.u_c = ***0,004***

Facteur d'élarg. k = 2

Le résultat du mesurage s'écrira Y = y ± U

Rapport u_c / T = ***0,0098*** ***0,00978945*** *Si possible inférieur ou égal à 1/16 (0,0625)*



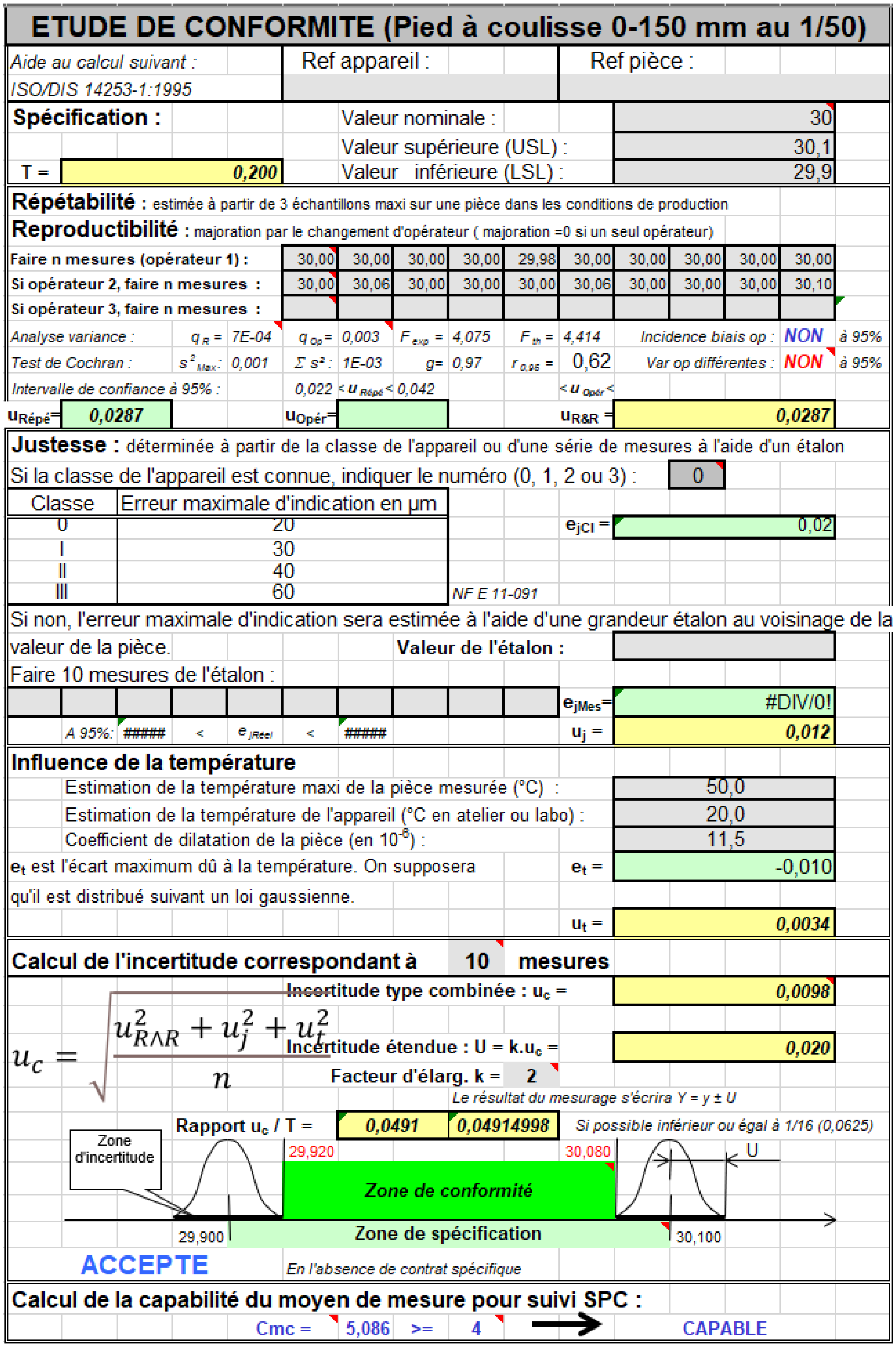
ACCEPTE *En l'absence de contrat spécifique*

Calcul de la capabilité du moyen de mesure pour suivi SPC :

Cmc = 25,54 >= 4 → CAPABLE

INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES STRASBOURG

- Pied à coulisse gradué au $1/50^{ème}$ de mm



ETUDE DE CONFORMITE (Pied à coulisse 0-150 mm au 1/50)

Aide au calcul suivant : *ISO/DIS 14253-1:1995*	Ref appareil :	Ref pièce :

Spécification :

		Valeur nominale :	30
		Valeur supérieure (USL) :	30,1
T =	*0,200*	Valeur inférieure (LSL) :	29,9

Répétabilité : estimée à partir de 3 échantillons maxi sur une pièce dans les conditions de production

Reproductibilité : majoration par le changement d'opérateur (majoration =0 si un seul opérateur)

Faire n mesures (opérateur 1) :	30,00	30,00	30,00	30,00	29,98	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Si opérateur 2, faire n mesures :	30,00	30,06	30,00	30,00	30,00	30,06	30,00	30,00	30,00	30,10
Si opérateur 3, faire n mesures :										

Analyse variance : q_R = 7E-04 ; q_{Op} = 0,003 ; F_{exp} = 4,075 ; F_{th} = 4,414 ; Incidence biais op : NON à 95%

Test de Cochran : s^2_{Max} : 0,001 ; Σs^2 : 1E-03 ; g= 0,97 ; $r_{0,95}$ = 0,62 ; Var op différentes : NON à 95%

Intervalle de confiance à 95% : 0,022 < $u_{Répé}$ < 0,042 ; < $u_{Opér}$ <

$u_{Répé}$= *0,0287* ; $u_{Opér}$= ; $u_{R\&R}$ = *0,0287*

Justesse : déterminée à partir de la classe de l'appareil ou d'une série de mesures à l'aide d'un étalon

Si la classe de l'appareil est connue, indiquer le numéro (0, 1, 2 ou 3) : 0

Classe	Erreur maximale d'indication en µm
0	20
I	30
II	40
III	60

NF E 11-091

e_{jCl} = 0,02

Si non, l'erreur maximale d'indication sera estimée à l'aide d'une grandeur étalon au voisinage de la valeur de la pièce. **Valeur de l'étalon :**

Faire 10 mesures de l'étalon :

e_{jMes}= #DIV/0!

A 95%: ##### < $e_{jRéel}$ < #####

u_j = *0,012*

Influence de la température

Estimation de la température maxi de la pièce mesurée (°C) :	50,0
Estimation de la température de l'appareil (°C en atelier ou labo) :	20,0
Coefficient de dilatation de la pièce (en 10^{-6}) :	11,5

e_t est l'écart maximum dû à la température. On supposera qu'il est distribué suivant un loi gaussienne. e_t = -0,010

u_t = *0,0034*

Calcul de l'incertitude correspondant à 10 mesures

$$u_c = \sqrt{\frac{u^2_{R\wedge R} + u_j^2 + u_t^2}{n}}$$

Incertitude type combinée : u_c = *0,0098*

Incertitude étendue : U = k.u_c = *0,020*

Facteur d'élarg. k = 2

Le résultat du mesurage s'écrira Y = y ± U

Rapport u_c / T = *0,0491* *0,04914998* *Si possible inférieur ou égal à 1/16 (0,0625)*

ACCEPTE *En l'absence de contrat spécifique*

Calcul de la capabilité du moyen de mesure pour suivi SPC :

Cmc = 5,086 >= 4 → CAPABLE

- Jauge de profondeur graduée au $1/50^{\grave{e}me}$ de mm

ETUDE DE CONFORMITE (Jauge de profondeur au 1/20)

Aide au calcul suivant : *ISO/DIS 14253-1:1995*	Ref appareil :	Ref pièce :

Spécification :

	Valeur nominale :	33
	Valeur supérieure (USL) :	33,1
T = *0,200*	Valeur inférieure (LSL) :	32,9

Répétabilité : estimée à partir de 3 échantillons maxi sur une pièce dans les conditions de production

Reproductibilité : majoration par le changement d'opérateur (majoration =0 si un seul opérateur)

Faire n mesures (opérateur 1) :	33,10	33,10	33,15	33,15	33,15	33,15	33,15	33,15	33,15	33,15
Si opérateur 2, faire n mesures :	33,10	33,15	33,15	33,15	33,15	33,15	33,15	33,15	33,15	33,15
Si opérateur 3, faire n mesures :										

Analyse variance :	q_R = 3E-04	q_{Op} = 1E-04	F_{exp} = 0,36	F_{th} = 4,414	*Incidence biais op :* **NON** à 95%
Test de Cochran :	s^2_{Max} : 4E-04	Σs^2 : 7E-04	g= 0,64	$r_{0,95}$ = 0,62	*Var op différentes :* **NON** à 95%
Intervalle de confiance à 95% :		0,014 < $u_{Répé}$ < 0,027		< $u_{Opér}$ <	

$u_{Répé}$ = **0,0183** $u_{Opér}$ = $u_{R\&R}$ = **0,0183**

Justesse : déterminée à partir de la classe de l'appareil ou d'une série de mesures à l'aide d'un étalon

Si la classe de l'appareil est connue, indiquer le numéro (0, 1, 2 ou 3) : 3

Classe	Erreur maximale d'indication en µm
0	20
I	30
II	40
III	60

NF E 11-091

e_{jCl} = 0,06

Si non, l'erreur maximale d'indication sera estimée à l'aide d'une grandeur étalon au voisinage de la valeur de la pièce. **Valeur de l'étalon :**

Faire 10 mesures de l'étalon :

e_{jMes} = #DIV/0!

A 95%: ##### < $e_{jRéel}$ < ##### u_j = **0,035**

Influence de la température

Estimation de la température maxi de la pièce mesurée (°C) :	20,0
Estimation de la température de l'appareil (°C en atelier ou labo) :	20,0
Coefficient de dilatation de la pièce (en 10^{-6}) :	11,5

e_t est l'écart maximum dû à la température. On supposera qu'il est distribué suivant un loi gaussienne. e_t = 0,000

u_t = **0,0000**

Calcul de l'incertitude correspondant à 10 mesures

Incertitude type combinée : u_c = **0,0124**

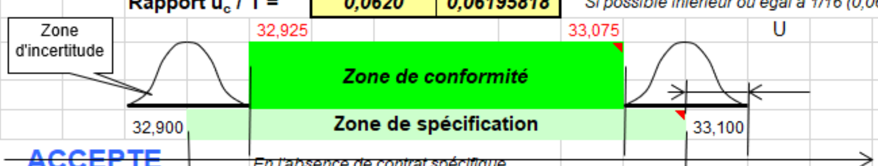
$$u_c = \sqrt{\frac{u_{R\wedge R}^2 + u_j^2 + u_t^2}{n}}$$

Incertitude étendue : U = k.u_c = **0,025**

Facteur d'élarg. k = 2

Le résultat du mesurage s'écrira Y = y ± U

Rapport u_c / T = **0,0620** **0,06195818** *Si possible inférieur ou égal à 1/16 (0,0625)*



Calcul de la capabilité du moyen de mesure pour suivi SPC :

Cmc = 4,035 >= 4 → **CAPABLE**