



Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Travaux Pratiques

4 G 1 3

USINAGE

**Fabrication d'anneaux
Analyse statistique des dimensions**

**Guido Baumann
Martin Beck**

FH22

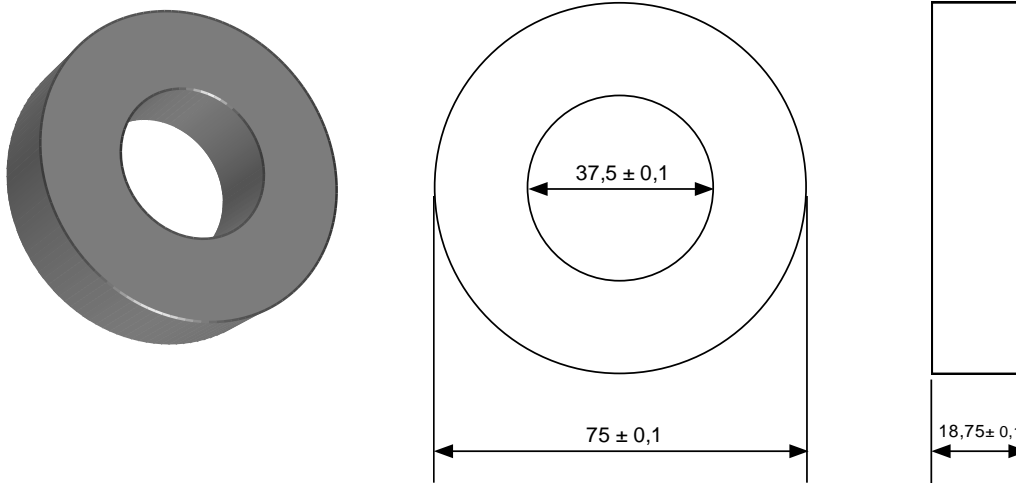
04/2000

1	But du TP :	3
1.1	La géométrie des pièces	3
1.2	Matériau des pièces	3
2	Manipulation :	4
2.1	La machine	4
2.2	L'étude du programme :	4
2.3	Réglage de la machine :	4
2.4	Fabrication des anneaux	4
3	Analyse des résultats – la dispersion des cotes	4
3.1	Les différents types d'erreurs possibles	4
3.1.1	L'erreur systématique : l'usure de l'outil	4
	Le diamètre extérieur	5
	Le diamètre intérieur	5
	La hauteur	5
3.1.2	L'erreur statistique	5
4	Présentation et analyse des résultats	6
4.1	Les cotes des pièces fabriquées	6
	La dispersion des cotes	6
4.3	Les cotes des pièces	7
4.4	L'erreur systématique	8
4.5	L'erreur statistique	9
4.5.1	La démarche	9
4.5.2	L'analyse des résultats	10
	Le diamètre extérieur	10
	Le diamètre intérieur	11
	La hauteur du premier anneau de chaque série	12
	La hauteur du deuxième anneau de chaque série	13
5	Conclusion	14

1 But du TP :

On veut produire des anneaux qui seront des échantillons dans les TP du forgeage. En outre on veut déterminer la dispersion des cotes des pièces.

1.1 La géométrie des pièces



1.2 Matériau des pièces

acier

2 Manipulation :

2.1 La machine

SOMAB-OPTIMAB 500 (tour deux axes MOCN)

2.2 L'étude du programme :

Les étapes du programme sont :

- ◆ dressage
- ◆ chariotage
- ◆ perçage
- ◆ alésage
- ◆ tronçonnage

Bien que la longueur de la pièce de départ soit assez grande pour en fabriquer à peu près huit pièces on n'en peut faire que trois pièces par cycle à cause de la longueur de l'alésoir qui est plus court que le forêt et qui limite la longueur de la pièce brute qu'on peut usiner.

2.3 Réglage de la machine :

D'abord il faut régler les DECs et les PREFs et les contrôler en prenant les cotes d'une pièce d'essai.

En essayant le technicien a cassé la première plaque parce qu'il manquait du lubrifiant. Après on a dû attendre presque une heure jusqu'on avait rempli le lubrifiant.

2.4 Fabrication des anneaux

La fabrication des anneaux se fait sans problèmes. On ne doit que changer les pièces brutes et pour chaque fois il faut régler l'origine programme.

Pour éviter des blessures il faut absolument ébavurer soigneusement tous les anneaux

3 Analyse des résultats – la dispersion des cotes

3.1 Les différents types d'erreurs possibles

Il y a deux raisons différentes pour la dispersion des cotes:

D'une part il y a une erreur systématique due à l'usure de l'outil en fonction du temps. De l'autre part il y a l'erreur statistique qui devrait suivre une répartition normale des cotes.

Il faut aussi dire qu'au début de l'usinage la température de la machine augmente fortement et qu'on aura des dilatations thermiques qui peuvent influencer les cotes des pièces.

Les cotes mesurées du diamètre extérieur des pièces sont moins exactes parce que l'échelle de l'instrument de mesure était plus grossière.

3.1.1 L'erreur systématique : l'usure de l'outil

Pendant l'usinage l'outil s'use, on a alors un changement des cotes de la pièce parce que l'arrête de l'outil recule. Si on ne change pas les jauges outil, les cotes des pièces fabriquées augmentent ou diminuent (cela dépend du type de la surface usinée) de manière systématique.

On peut supposer que cette évolution des cotes s'effectue linéairement en fonction du temps. On prend alors les cotes des pièces fabriquées dans leur ordre de fabrication et on fait une régression linéaire.

Le diamètre extérieur

Ici on peut remarquer une augmentation des cotes en fonction du temps, car il s'agit d'une cote extérieure. D'ailleurs il faut se rappeler que la dispersion de ces cotes est plus grande que les autres parce que l'instrument de mesure pour cette cote était moins exact.

Le diamètre intérieur

Parce qu'il s'agit d'une cote intérieure on peut observer une diminution de la cote due à l'usure de l'alésoir.

La hauteur

La première pièce d'une série de trois pièces (qui ont la même pièce d'origine) est usinée par deux différents procédés : le dressage et le tronçonnage, alors il y a deux outils différents dont il faut prendre en compte l'usure. On attend une augmentation de cotes en fonction du temps car il s'agit de cotes extérieures.

La deuxième et troisième pièce d'une série de trois sont seulement usinées avec l'outil de tronçonnage, la dispersion de leur cotes dépend donc seulement de l'usure d'un outil.

3.1.2 L'erreur statistique

Théoriquement l'évolution des cotes d'une pièce en fonction du temps devrait suivre une droite mais on observe aussi une dispersion statistique des cotes qui devrait correspondre à une répartition normale. Pour obtenir l'erreur statistique, on suppose donc une évolution linéaire des cotes, il faut alors calculer la différence entre la valeur réelle et la valeur linéarisée (dans ce moment).

Pour l'évaluation de la dispersion statistique il faut trier les cotes dans l'ordre croissant et les regrouper.

Si on a n cotes, on choisit par exemple un nombre de \sqrt{n} régions qui partagent l'intervalle entre la cote minimale et la cote maximale, on compte le nombre de cotes qui se trouvent dans chaque région et en divisant ce nombre par le nombre de toutes les cotes, on obtient la probabilité qu'une cote se trouve dans une région.

Pour comparer les cotes mesurées avec une répartition normale, on doit calculer la probabilité d'une répartition normale avec la moyenne et l'écart-type des cotes mesurées à chaque point qui se trouve au milieu d'une région. Après il faut diviser cette probabilité par la somme des probabilités de tous les points (au milieu des régions) et on obtient ainsi une probabilité pour chaque région.

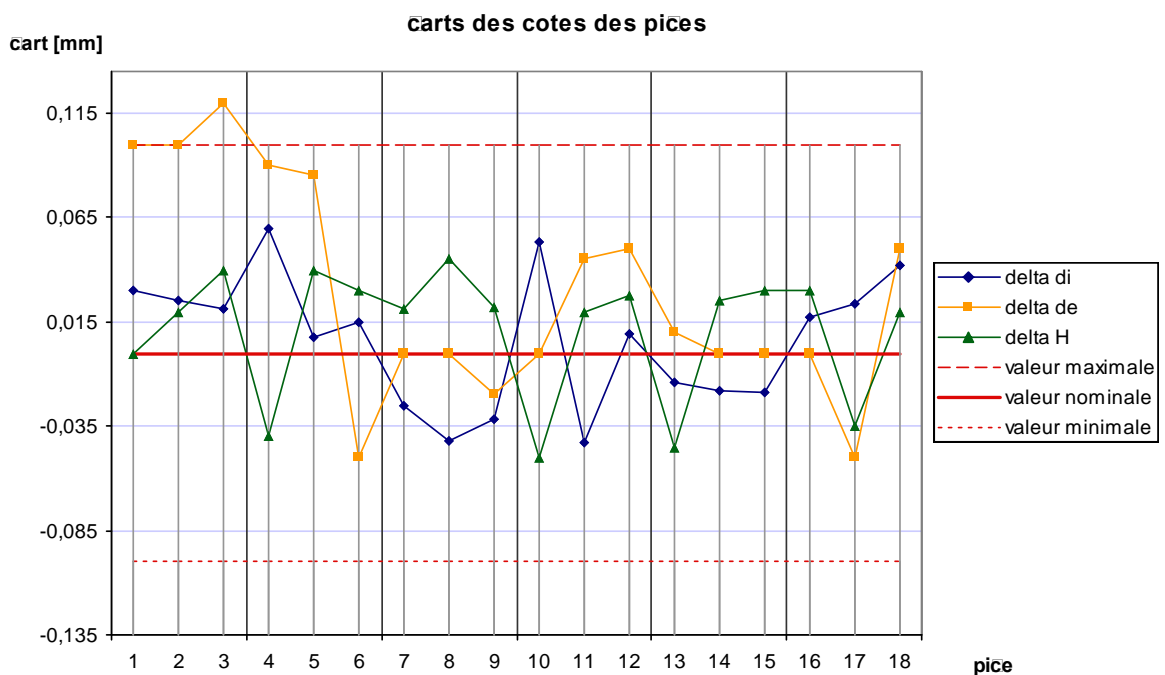
Maintenant on peut comparer les probabilités théoriques avec les probabilités obtenues par les mesures, et on peut par exemple faire un test χ^2 .

4 Présentation et analyse des résultats

4.1 Les cotes des pièces fabriquées

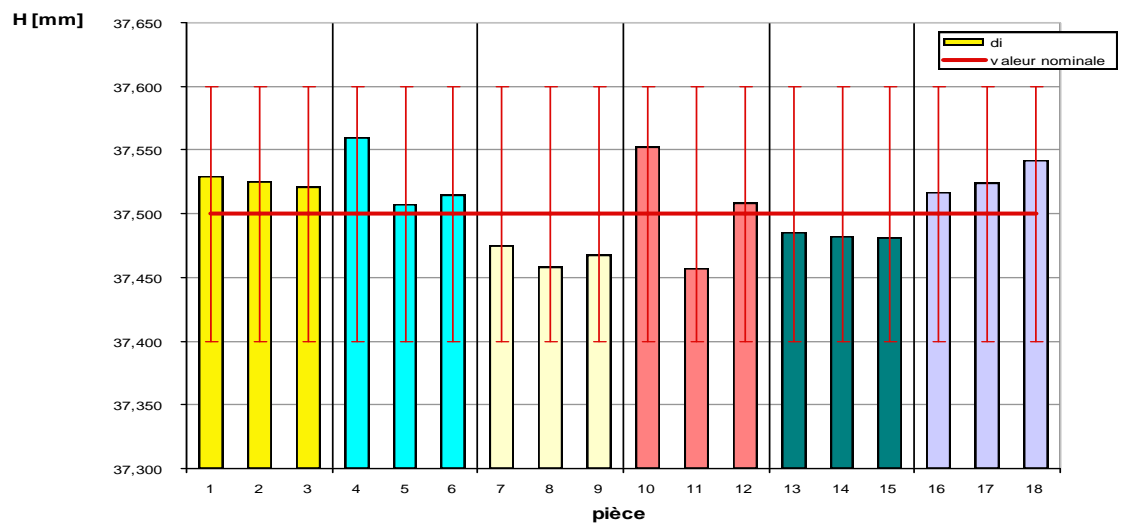
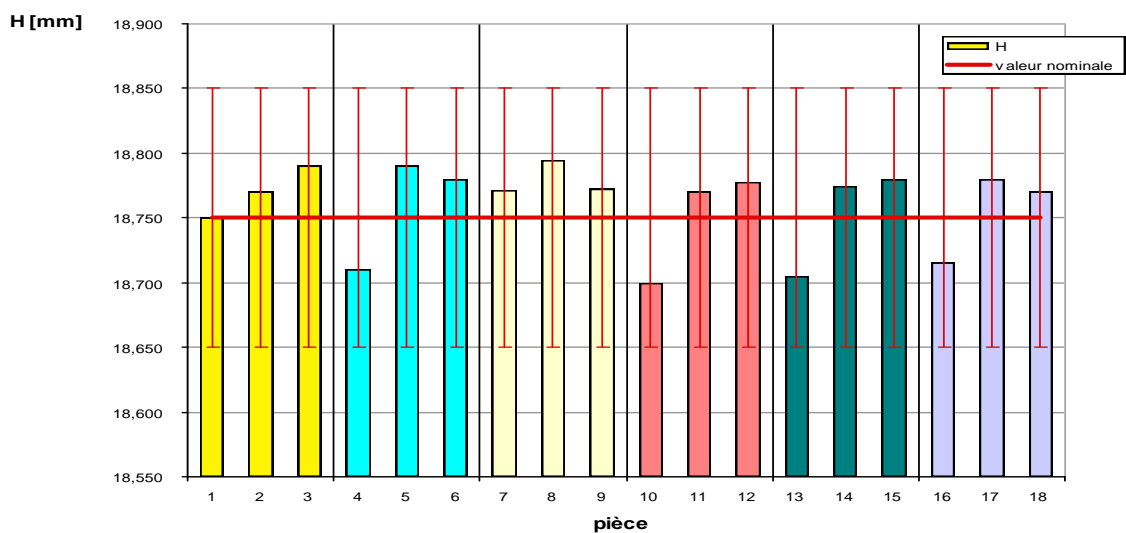
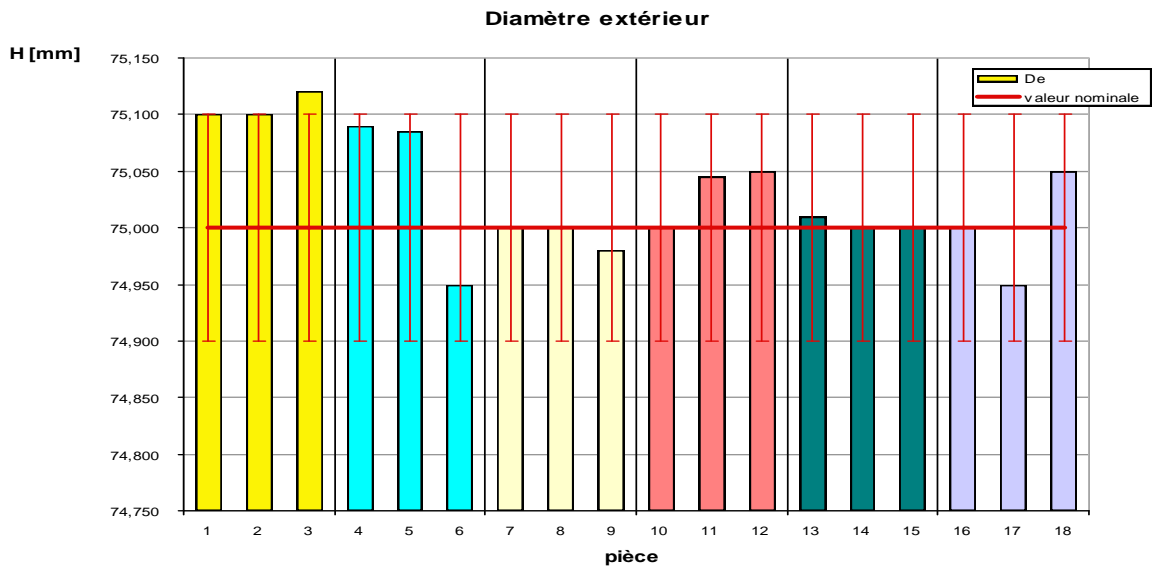
pièce	valeurs mesurées [mm]			écart [mm]		
	di	de	H	delta di	delta de	delta H
<i>nominale</i>	37,500	75,000	18,750	0,0	0,0	0,0
<i>maximale</i>	37,600	75,100	18,850	0,1	0,1	0,1
<i>minimale</i>	37,400	74,900	18,650	-0,1	-0,1	-0,1
1	37,530	75,100	18,750	0,030	0,100	0,000
2	37,525	75,100	18,770	0,025	0,100	0,020
3	37,521	75,120	18,790	0,021	0,120	0,040
4	37,560	75,090	18,710	0,060	0,090	-0,040
5	37,508	75,085	18,790	0,008	0,085	0,040
6	37,515	74,950	18,780	0,015	-0,050	0,030
7	37,475	75,000	18,771	-0,025	0,000	0,021
8	37,458	75,000	18,795	-0,042	0,000	0,045
9	37,468	74,980	18,772	-0,032	-0,020	0,022
10	37,553	75,000	18,700	0,053	0,000	-0,050
11	37,457	75,045	18,770	-0,043	0,045	0,020
12	37,509	75,050	18,778	0,009	0,050	0,028
13	37,486	75,010	18,705	-0,014	0,010	-0,045
14	37,482	75,000	18,775	-0,018	0,000	0,025
15	37,481	75,000	18,780	-0,019	0,000	0,030
16	37,517	75,000	18,715	0,017	0,000	-0,035
17	37,524	74,950	18,780	0,024	-0,050	0,030
18	37,542	75,050	18,770	0,042	0,050	0,020
Moyenne	37,506	75,029	18,761	0,006	0,029	0,011
Ecart-type	0,031	0,052	0,031	0,031	0,052	0,031

4.2 La dispersion des cotes



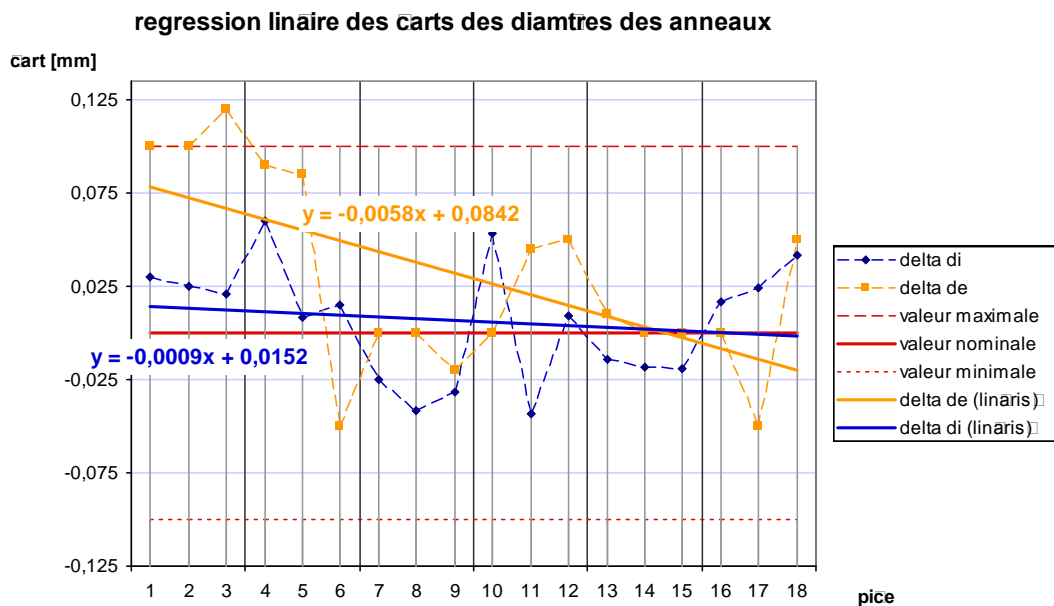
4.3 Les cotes des pièces

On peut remarquer que souvent les séries d'une cote ont la même tendance (croissante ou décroissante).



4.4 L'erreur systématique

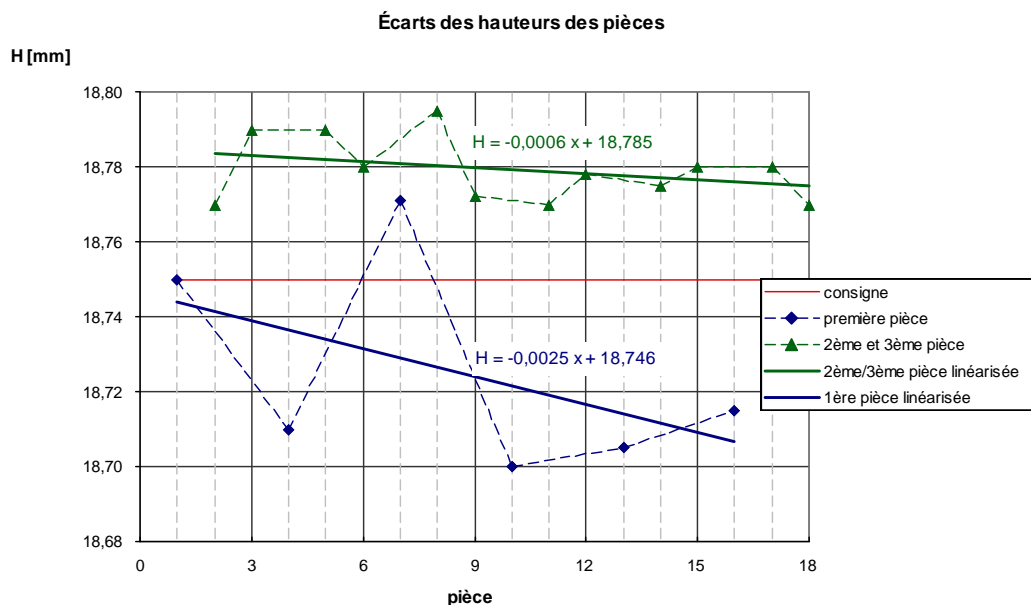
On peut obtenir l'évolution des différentes cotes en fonction du temps en faisant une régression linéaire.



La dispersion des cotes du diamètre extérieur est beaucoup plus grande que celle du diamètre intérieur, mais il ne faut pas oublier que l'échelle de l'instrument de mesure était moins exacte ce qui provoque une augmentation des erreurs de mesure.

En outre il faut dire que la pente de la droite de régression devrait (théoriquement) être positive (avec l'usure de l'outil il y aurait une augmentation du diamètre extérieur), mais les cotes diminuent.

Pour les hauteurs des pièces il faut prendre les premières pièces et les deuxièmes et troisièmes pièces comme deux séries différentes :



On peut voir très bien que les cotes vertes et les cotes bleues sont usinées avec des outils différents parce que l'ordre de grandeur et les valeurs des deux séries de cotes sont très différents mais les valeurs de chaque série sont assez proches. Malheureusement les pentes des deux droites devraient être positives parce qu'il s'agit de cotes extérieures qui augmentent avec l'usure de l'outil.

4.5 L'erreur statistique

4.5.1 La démarche

La démarche est déjà décrite dans la partie théorique sur l'erreur statistique :

Rappel : Pour déterminer l'erreur statistique il faut d'abord calculer la moyenne et l'écart-type des cotes. Après on les trie dans l'ordre croissant et on les regroupe dans des intervalles de la même largeur. On compte les pièces dans chaque région et on calcule la probabilité pour chaque région.

Maintenant on doit déterminer la probabilité pour la même région dans une répartition normale avec la moyenne et l'écart-type des cotes, ce qui nous ne pose pas de problème en Excel.

Pour comparer les valeurs mesurées et attendues il faut calculer le « poids » de chaque région. Maintenant on peut par exemple effectuer un test χ^2 .

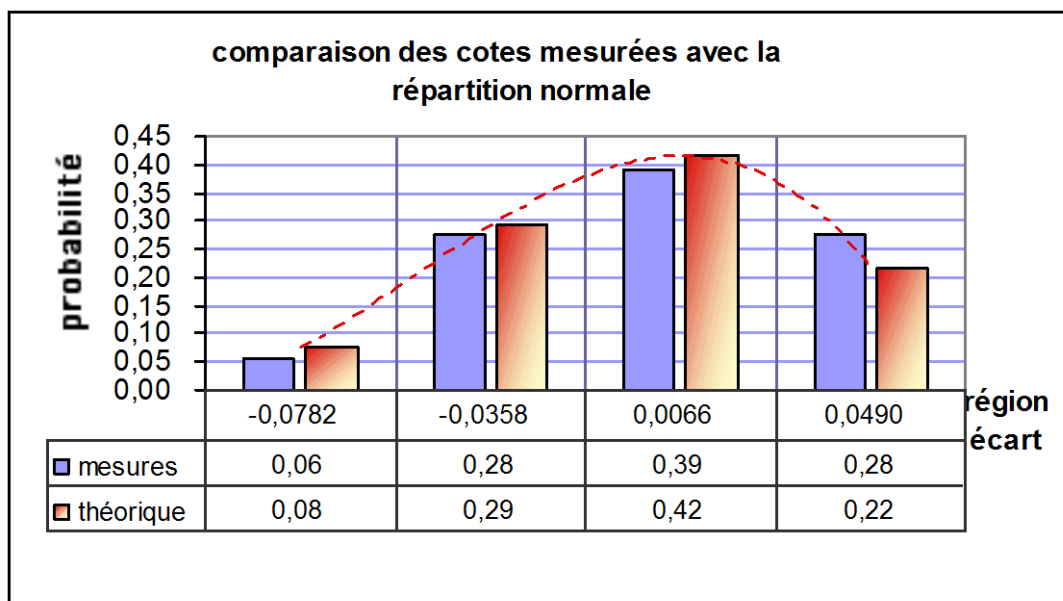
4.5.2 L'analyse des résultats

Le diamètre extérieur

pice	de	delta de	delta de lin		
nominale	75,000	0,0			
maximale	75,100	0,1			
minimale	74,900	-0,1			
					en ordre croissant
1	75,100	0,100	0,078	0,022	-0,099
2	75,100	0,100	0,073	0,027	-0,052
3	75,120	0,120	0,067	0,053	-0,044
4	75,090	0,090	0,061	0,029	-0,038
5	75,085	0,085	0,055	0,030	-0,036
6	74,950	-0,050	0,049	-0,099	-0,026
7	75,000	0,000	0,044	-0,044	-0,003
8	75,000	0,000	0,038	-0,038	0,001
9	74,980	-0,020	0,032	-0,052	0,003
10	75,000	0,000	0,026	-0,026	0,009
11	75,045	0,045	0,020	0,025	0,022
12	75,050	0,050	0,015	0,035	0,025
13	75,010	0,010	0,009	0,001	0,027
14	75,000	0,000	0,003	-0,003	0,029
15	75,000	0,000	-0,003	0,003	0,030
16	75,000	0,000	-0,009	0,009	0,035
17	74,950	-0,050	-0,014	-0,036	0,053
18	75,050	0,050	-0,020	0,070	0,070

min:	-0,099	rsultat du test χ^2 0,999
max:	0,070	
moyenne:	0,000	
cart-type:	0,0424	
nombre d'lements n: 18		
n^0,5 : 4,24 Å 4		
alors: (max-min)/n^0,5 0,0424 largeur des rgions		

rgion	milieu	de	nombre	proba mes	N (milieu)	proba thorique
1	-0,0782	-0,099 -0,057	1	0,06	1,69	0,08
2	-0,0358	-0,057 -0,015	5	0,28	6,54	0,29
3	0,0066	-0,015 0,028	7	0,39	9,31	0,42
4	0,0490	0,028 0,070	5	0,28	4,87	0,22



Les cotes mesurées correspondent alors assez bien (99,9%) à une répartition normale.

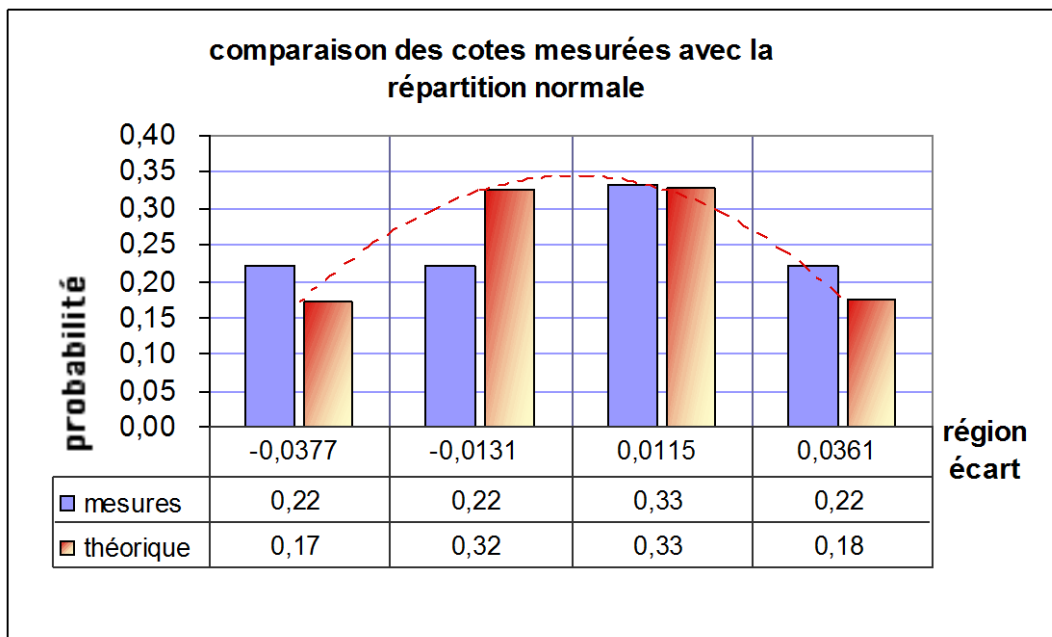
Le diamètre intérieur

	valeurs mesures [mm]	cart [mm]	valeurs linarises [mm]	cart (delta di)-(delta di lin) [mm]	
	di	delta di	delta di lin		
nomiale	37,500	0,0			
maximale	37,600	0,1			
minimale	37,400	-0,1			
1	37,530	0,030	0,014	0,016	-0,050
2	37,525	0,025	0,013	0,012	-0,048
3	37,521	0,021	0,013	0,009	-0,039
4	37,560	0,060	0,012	0,048	-0,034
5	37,508	0,008	0,011	-0,003	-0,021
6	37,515	0,015	0,010	0,005	-0,021
7	37,475	-0,025	0,009	-0,034	-0,018
8	37,458	-0,042	0,008	-0,050	-0,003
9	37,468	-0,032	0,007	-0,039	0,005
10	37,553	0,053	0,006	0,047	0,005
11	37,457	-0,043	0,005	-0,048	0,009
12	37,509	0,009	0,004	0,005	0,012
13	37,486	-0,014	0,004	-0,018	0,016
14	37,482	-0,018	0,003	-0,021	0,016
15	37,481	-0,019	0,002	-0,021	0,024
16	37,517	0,017	0,001	0,016	0,043
17	37,524	0,024	0,000	0,024	0,047
18	37,542	0,042	-0,001	0,043	0,048

en ordre croissant

min:	-0,050	rsultat du test X2 0,9962
max:	0,048	
moyenne:	0,000	
cart-type:	0,0311	
nombre d'lements n: 18		
n^0,5 : 4,24 Å 4		
alors: (max-min)/n^0,5 0,0246 largeur des rgions		

rgion	milieu	de	nombre	proba mes	N (milieu)	proba thorique
1	-0,0377	-0,050 -0,025	4	0,22	6,27	0,17
2	-0,0131	-0,025 -0,001	4	0,22	11,83	0,32
3	0,0115	-0,001 0,024	6	0,33	11,92	0,33
4	0,0361	0,024 0,048	4	0,22	6,42	0,18



Le résultat du test χ^2 nous dit que la probabilité qu'il s'agit d'une répartition normale est 99.6% (pas mal).

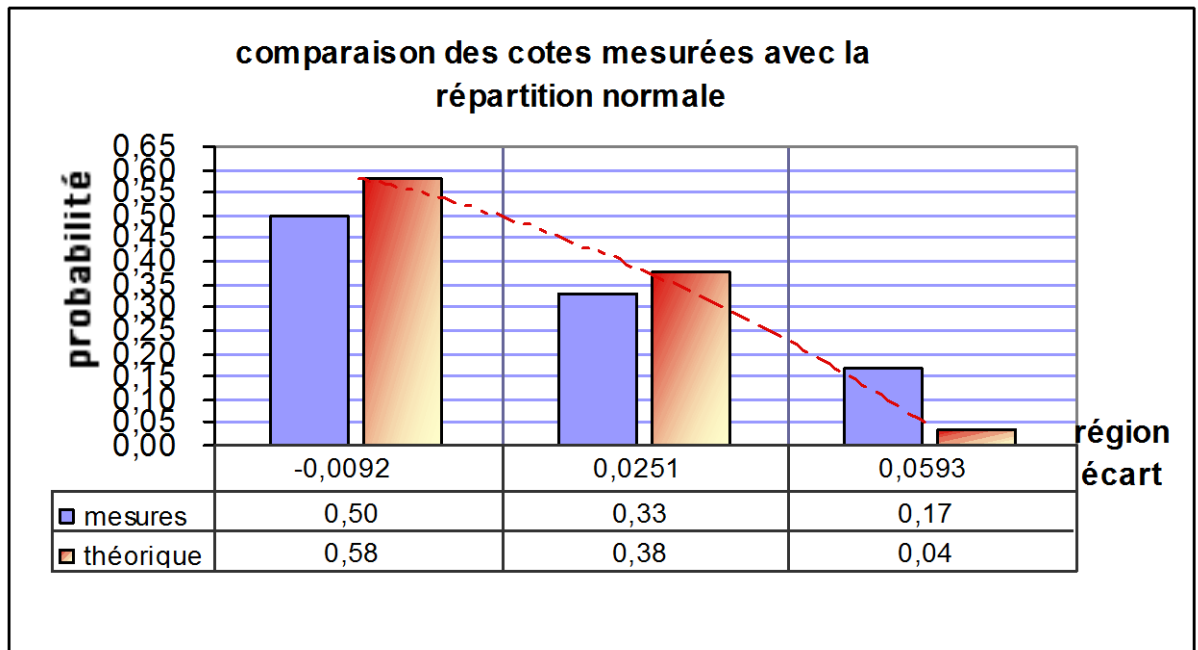
La hauteur du premier anneau de chaque série

1er anneau						
pièce	H	delta H	delta H lin			
nominale	18,750	0,0				
maximale	18,850	0,1				
minimale	18,650	-0,1				
1	18,750	0,000	-0,006	0,006		-0,026
4	18,710	-0,040	-0,014	-0,026		-0,021
7	18,771	0,021	-0,021	0,042		-0,009
10	18,700	-0,050	-0,029	-0,021		0,006
13	18,705	-0,045	-0,036	-0,009		0,009
16	18,715	-0,035	-0,044	0,009		0,042

min: -0,026	rsultat du test χ^2 0,79425
max: 0,042	
moyenne: 0,000	
cart-type: 0,0250	

nombre d'lements n: 6	$n^{0,5} : 2,45 \text{ \AA } 2$
alors: $(\max - \min) / n^{0,5} = 0,03425$ largeur des rgions	

rgion	milieu	de	nombre	proba mes	N (milieu)	proba thorique
1	-0,0092	-0,026 0,008	3	0,50	14,91	0,58
2	0,0251	0,008 0,042	2	0,33	9,69	0,38
3	0,0593	0,042 0,076	1	0,17	0,96	0,04

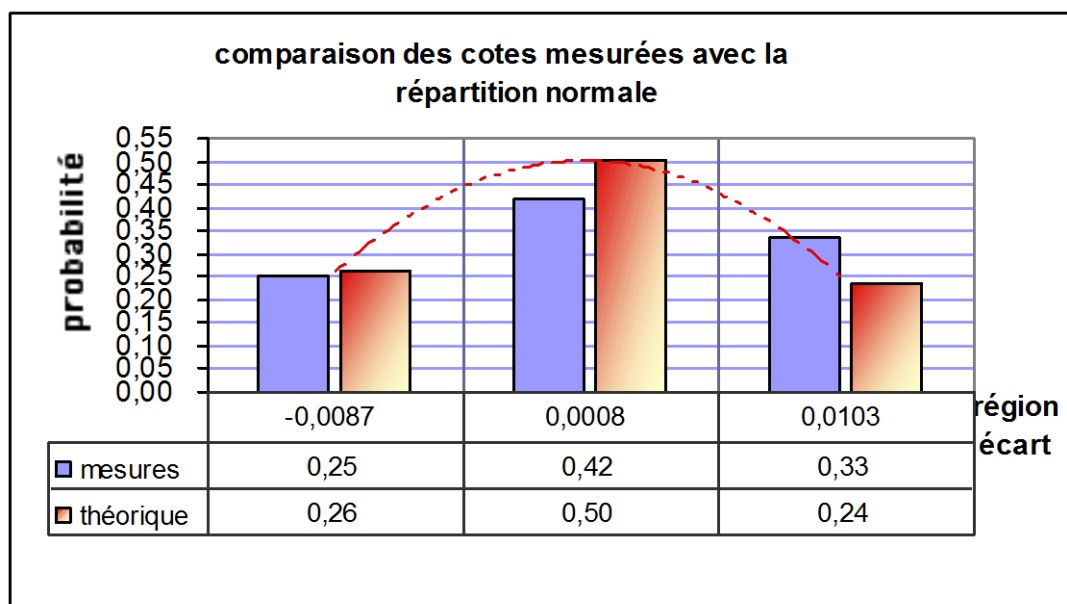


Ces valeurs suivent aussi une répartition normale (mais avec une probabilité de seulement 79.3 %).

La hauteur du deuxième anneau de chaque série

2me et 3me anneau					
piece	H	delta H	delta H lin		
nominale	18,750	0,0			
maximale	18,850	0,1			
minimale	18,650	-0,1			
2	18,770	0,020	0,034	-0,014	-0,014
3	18,790	0,040	0,033	0,007	-0,008
5	18,790	0,040	0,032	0,008	-0,007
6	18,780	0,030	0,031	-0,001	-0,004
8	18,795	0,045	0,030	0,015	-0,001
9	18,772	0,022	0,029	-0,007	-0,001
11	18,770	0,020	0,028	-0,008	0,000
12	18,778	0,028	0,028	0,000	0,004
14	18,775	0,025	0,026	-0,001	0,006
15	18,780	0,030	0,026	0,004	0,007
17	18,780	0,030	0,025	0,006	0,008
18	18,770	0,020	0,024	-0,004	0,015

min:	-0,014								
max:	0,015								
		rsultat du test X2		0,97331					
moyenne:	0,000								
cart-type:	0,0081								
nombre d'lments n:	12								
n^0,5 :	3,46	À	3						
alors: (max-min)/n^0,5 0,009533 largeur des rgions									
		rgion	milieu	de	^	nombre	proba mes	N (milieu)	proba thorique
		1	-0,0087	-0,014	-0,004	3	0,25	25,79	0,26
		2	0,0008	-0,004	0,006	5	0,42	49,51	0,50
		3	0,0103	0,006	0,015	4	0,33	23,38	0,24



Ces valeurs correspondent assez bien à une répartition normale (97,3 %).

5 Conclusion

Malheureusement il faut dire que les résultats obtenus ne correspondent pas toujours à la théorie. Toutes les pentes des droites de régression sont négatives, mais pour les cotes extérieures elles devraient être positives parce que la plaque d'outil devient plus « courte » à cause de l'usure. Pour les premières pièces on pourrait dire que la machine n'a pas encore atteint sa température de fonctionnement, mais cela n'explique pas les évolutions incorrectes des cotes.

Le test χ^2 montre très bien que les cotes suivent à peu près une répartition normale mais cette dispersion bien statistique est inopportunément basée sur une droite de régression qui ne correspond pas à la théorie.

En outre on a remarqué que la dispersion des cotes n'est jamais négligeable – même avec une machine à commande numérique et donc pour fabriquer des pièces très précises on risque de produire beaucoup de rebut.

Pour minimiser le coût le constructeur dans le bureau d'études doit choisir les tolérances les plus grandes possibles et il doit essayer de diminuer le nombre des surfaces fonctionnelles dont l'usinage est très cher et de longue durée.