

*Calculatrice et un document manuscrit format A4 personnels autorisés  
Téléphones portables interdits même éteints.  
Réponses **justifiées** et **concises uniquement** sur ce document.  
Qualité de la rédaction prise en compte dans la notation.  
Answers in English authorized  
Signer en fin de copie*

/ 20

*Les parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans le désordre*

### Compréhension de concepts

1. Quels sont les intérêts et les limites de la méthode Taguchi pour étudier les plans d'expérience?



/2

2. Comparer un "système de suggestion", avec une "boîte à idée".



/2

### Etude de cas: production du StreetCarver

Le StreetCarver est un modèle de skateboard, d'une cinématique élaborée, permettant de prendre des angles importants en virage.

L'entreprise qui réalise ce produit, souhaite maîtriser sa qualité et ses coûts.



Crédit BMW

### MSP par la mesure

Le diamètre de l'axe de pivot est un point critique qualité, et est suivi par MSP.

La spécification est:  $d = \varnothing 8^{+0,015}_{+0,006}$ , réalisée par tournage, et contrôlée par MSP.

- La cadence de production est de 80 pièces/heures.
- La mesure est réalisée, par moyen optique, avec une résolution de  $0,1\mu\text{m}$ .

Une GR&R, méthode ANOVA, a été réalisée (avec une étendue de  $5,15\sigma$ ).

Elle a permis de déterminer:

- $\sigma_{EV} = 0,18\mu\text{m}$
- $\sigma_{AV} = 0,14\mu\text{m}$

1. Calculer le taux GR&R, et conclure sur la capabilité du moyen de mesure.



/1

La normalité et la stabilité de la production étant assurées, on prélève des échantillons de 4 pièces, toutes les 20 (n° 1, 2, 3, 4, puis 21, 22, 23, 24, etc...).

2. Déterminer la probabilité de non détection  $\beta$ , d'un dérèglement de  $1,5\mu\text{m}$  (on prendra  $\sigma = 1\mu\text{m}$ ).



/1

3. Quelle devrait être la taille d'échantillon pour limiter le risque  $\beta$  à 20%?



/1

Le relevé donne, pour les dernières décimales (8,0012 s'écrit: 1,2), en microns:

	1	2	3	4	Max	Min	R	/X
1	9.1	9.7	7.9	8.5	9.7	7.9	1.8	8.8
2	8.1	9.7	9.4	8.6	9.7	8.1	1.6	9.0
3	9.5	10	9.1	8.2	10	9.1	0.9	9.5
4	10.3	8.6	9.7	8.8	10.3	8.6	1.7	9.4
5	9.9	10	9.3	8.7	10	8.7	1.3	9.5
6	10.7	8.6	8.7	10.2	10.7	8.6	2.1	9.6
7	9.4	10.9	9.7	10.4	10.9	9.4	1.5	10.1
8	10.5	11.1	9.7	9.3	11.1	9.3	1.8	10.2
9	9.7	11.3	10.1	10.4	11.3	9.7	1.6	10.4
10	10.9	11.5	9.7	10.1	11.5	9.7	1.8	10.6
11	11.1	9.9	11.5	11.2	11.5	9.9	1.6	10.9
12	11.9	10.3	10.5	9.9	11.9	9.9	2	10.7
							1.64	9.87

$\sigma_{n-1} = 0,97\mu\text{m}$

4. Calculer les limites inférieures et supérieures de contrôle de la moyenne ( $LIC_{\bar{x}}$   $LSC_{\bar{x}}$ ) et de l'étendue ( $LIC_R$   $LSC_R$ ).

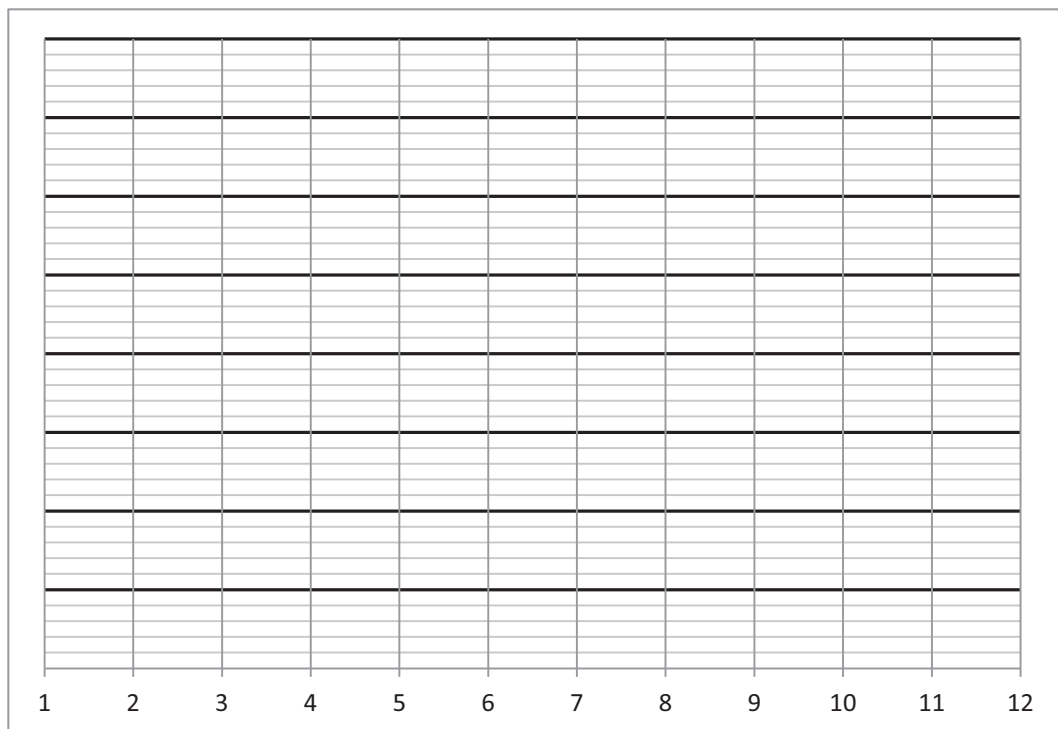


/2

5. Représenter ci-dessous les cartes de contrôle de la moyenne et de l'étendue.

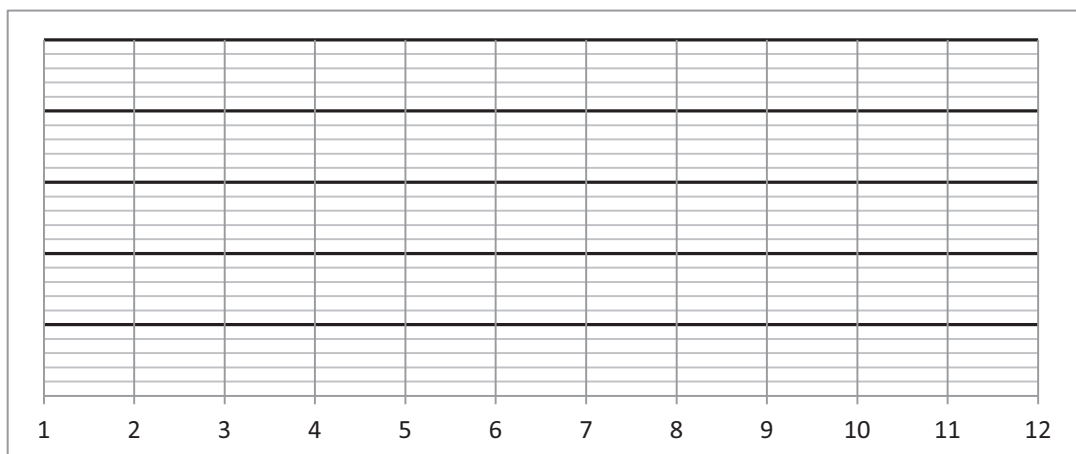


Carte de la moyenne



/1

Carte de l'étendue



/1

6. Analyser les cartes de contrôle.



/1

7. Calculer et analyser les capacités intrinsèques et de centrage à court et long terme,  $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $P_p$ ,  $P_{pk}$ .



/2

8. Déterminer le TNC (Taux de Non-Conformité) espéré à long terme dans ces conditions.



/2

9. Déterminer l'usure moyenne "u" par pièce.



/2

La dérive autorisée est de 1,5  $\mu\text{m}$ .

10. Déterminer la période de production entre 2 réglages, puis entre 2 échantillonnages (en durée).



/2

**MSP par attributs**

Les bras de roue sont réalisés par un procédé de moulage sous pression.

Des retassures, défauts inhérents à ce type de moulage, sont observées. Par soucis esthétique et de résistance mécanique, on souhaite améliorer les process afin de limiter leur nombre.

Un comptage est réalisé sur des échantillon de taille 80, mois par mois:

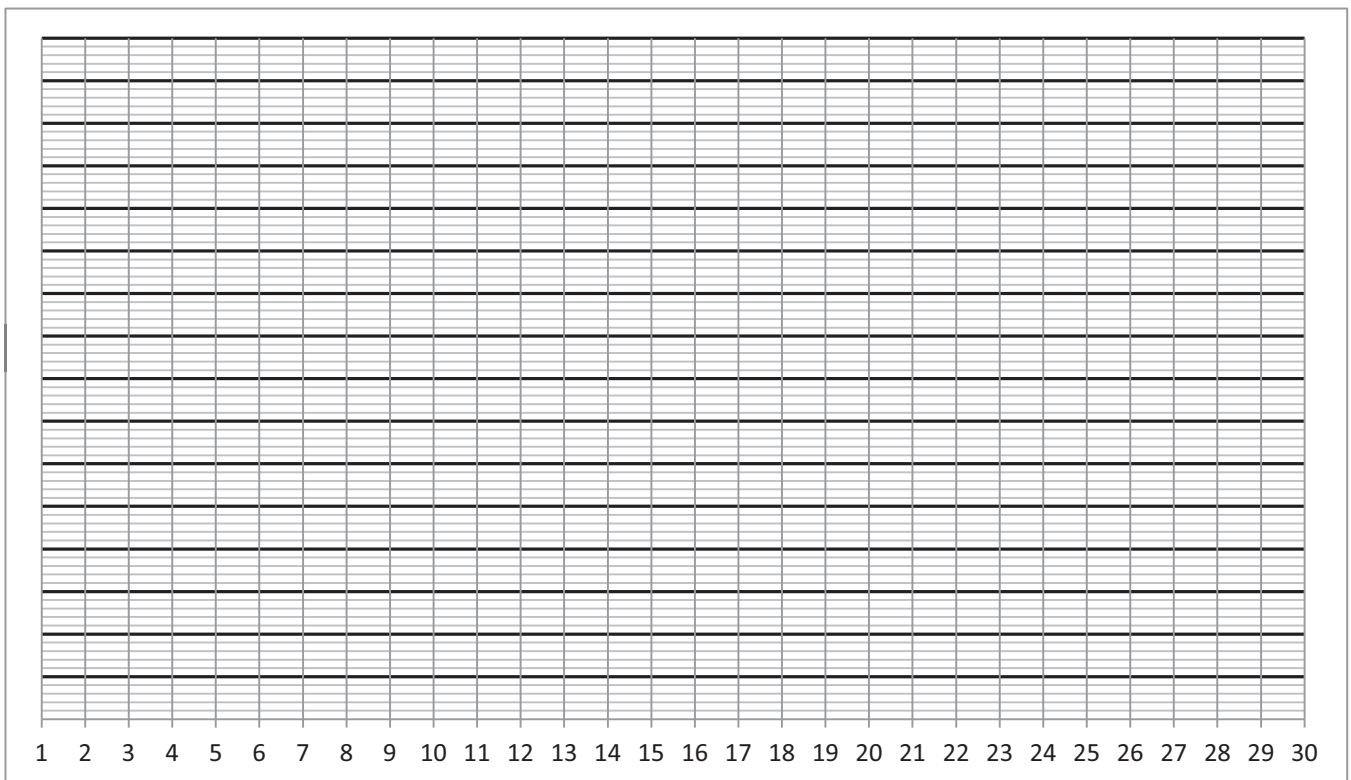
Mois -3										Mois -2										Mois -1									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
9	8	7	8	11	6	9	10	7	9	10	10	9	8	9	11	8	13	9	11	5	4	3	3	2	4	3	4	3	2

11. Calculer les limites de contrôle à utiliser.



/4

12. tracer les cartes de contrôle



/2

13. Analyser les cartes

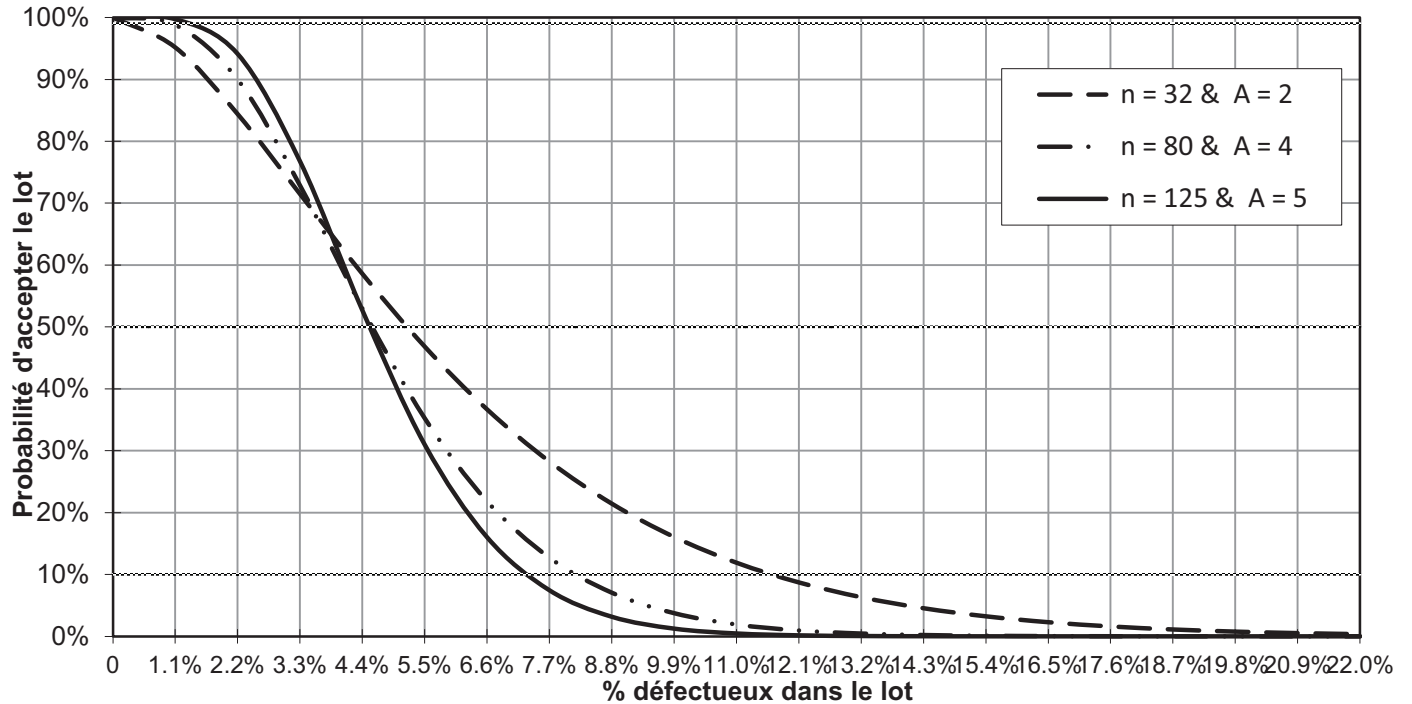


/2

**Plans d'échantillonnage**

Suite à découverte de nombreux anneaux élastiques ("circlips") cassant au montage, et sans explication de la part du fournisseur, il est décidé de contrôler par échantillonnage cette caractéristique de la fourniture. La taille des lots est  $N=550$ , et le **NQA** est fixé à **1,5%**.

On donne les courbes d'efficacité de 3 plans différents:



On souhaite limiter à moins de 50% le risque d'accepter un lot comprenant 5% de défectueux.

14. Choisir un des 3 plans approprié.



/4

15. Donner la lettre type correspondante ainsi que le niveau de contrôle (I, II ou III).



/2

## Plans d'expérience

Les roues du skateboard, en gomme, sont usinées par tournage. Ce procédé est délicat, du fait du manque de dureté du matériau.

Ce procédé est optimisé par l'utilisation des plans d'expérience.

Les facteurs retenus sont les suivants :

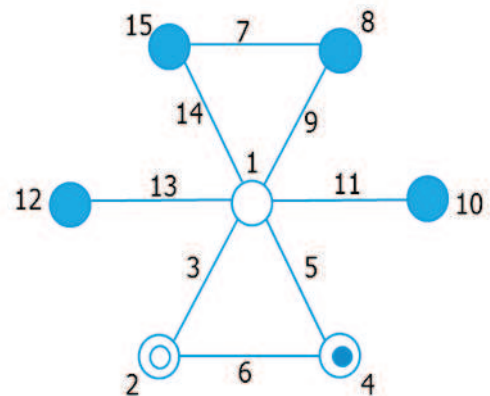
Facteurs		Niveaux	
<b>A</b>	Type d'outil	Coupant	Meule
<b>B</b>	Fréquence de rotation	1000 trs/mn	1200 trs/mn
<b>C</b>	Vitesse d'avance	0,8 m/mn	1 m/mn
<b>D</b>	Taux silice gomme	3%	5%
<b>E</b>	T° refroidissement	5°C	-15°C
<b>F</b>	Durée refroidissement	30 mn	75 mn
<b>G</b>	Trempage azote liquide	non	oui
<b>H</b>	Refroidissement intermédiaire	non	oui

Les interactions retenues sont AB, AC, AD, AE, AF, AG, DG

Les objectifs à maîtriser sont un défaut de forme et une rugosité minimale.

La matrice d'expérience retenue est une  $L_{16}(2^{15})$ , dont on donne le graphe ci-dessous.

N° essai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Réponse
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	
13	2	2	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	
14	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	
15	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	
16	2	2	1	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	2	1	



16. Calculer le nombre d'expérimentations à réaliser si l'on avait choisi un plan d'expérience complet.

/2

17. Proposer une affectation des facteurs aux colonnes de la matrice.

/4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

**Limites de cartes de contrôle**

	Cartes de contrôle	Ligne centrale	LSC	LIC	Estimation de l'écart-type
2 ≤ n ≤ 10	$\bar{X}$	$\bar{\bar{X}} = \sum \frac{\bar{X}_j}{k}$	$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$	$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$	$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$
	R	$R = \sum \frac{R_j}{k}$	$LSC_R = D_4 \bar{R}$	$LIC_R = D_3 \bar{R}$	
n ≥ 10	$\bar{X}$	$\bar{\bar{X}} = \sum \frac{\bar{X}_j}{k}$	$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{s}$	$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{s}$	$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{c_4}$
	s	$\bar{s} = \sum \frac{S_j}{k}$	$LSC_s = B_4 \bar{s}$	$LIC_s = B_3 \bar{s}$	
n = 1	X	$\bar{X} = \sum \frac{X_i}{k}$	$LSC_X = \bar{X} + E_2 \bar{R}_{EM}$	$LIC_X = \bar{X} - E_2 \bar{R}_{EM}$	$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}_{EM}}{d_2}$
	R <sub>EM</sub>	$\bar{R}_{EM} = \sum \frac{R_{EMi}}{k-1}$	$LSC_{R_{EM}} = D_4 \bar{R}_{EM}$	$LIC_{R_{EM}} = D_3 \bar{R}_{EM}$	

**Coefficients**

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
c <sub>4</sub>	0,798	0,886	0,921	0,940	0,951	0,959	0,965	0,969	0,973
d <sub>2</sub>	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,970	3,078
A <sub>2</sub>	1,88	1,023	0,729	0,577	0,483	0,419	0,373	0,337	0,308
B <sub>3</sub>	0	0	0	0	0,030	0,118	0,185	0,239	0,284
B <sub>4</sub>	3,267	2,568	2,266	2,089	1,970	1,882	1,815	1,761	1,716
D <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0,076	0,136	0,184	0,223
D <sub>4</sub>	3,267	2,575	2,282	2,115	2,004	1,924	1,864	1,816	1,777

**Taille d'échantillon**

$n \geq \left( \frac{z_{\alpha/2} + z_{\beta}}{k} \right)^2$  avec

- α probabilité de fausse alerte (α = 0,27%)
- β probabilité de non détection pour un dérèglement d'amplitude Δ = kσ

**Capabilités**

	Court terme	Long terme
Capabilité intrinsèque	$C_p = \frac{IT}{6\sigma_{ct}}$	$P_p = \frac{IT}{6\sigma_{lr}}$
Vraie capabilité "Centrage"	$C_{pk} = \min\left(\frac{T_s - \bar{X}}{3\sigma_{ct}}; \frac{\bar{X} - T_i}{3\sigma_{ct}}\right)$	$P_{pk} = \min\left(\frac{T_s - \bar{X}}{3\sigma_{lr}}; \frac{\bar{X} - T_i}{3\sigma_{lr}}\right)$
Vraie capabilité "perte"	$C_{pm} = \frac{IT}{6\sqrt{\sigma_i^2 + (\bar{x} - cible)^2}}$	$P_{pm} = \frac{IT}{6\sqrt{\sigma_e^2 + (\bar{x} - cible)^2}}$
	$C_{pm} = \frac{IT}{\sqrt{1+9(C_p - C_{pk})^2}}$	$P_{pm} = \frac{IT}{\sqrt{1+9(P_p - P_{pk})^2}}$



Cartes de contrôle par attribut

Carte	Limite supérieure	Limite inférieure
np	$LSC_{np} = \bar{np} + 3\sqrt{np(1-\bar{p})}$	$LIC_{np} = \bar{np} - 3\sqrt{np(1-\bar{p})}$
p	$LSC_p = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$	$LIC_p = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$
c	$LSC_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$	$LIC_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$
u	$LSC_u = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$	$LIC_u = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$

Type de plan

Effectif du lot	Contrôles spéciaux				Usages généraux		
	S1	S2	S3	S4	I	II	III
2 à 8	A	A	A	A	A	A	B
9 à 15	A	A	A	A	A	B	C
16 à 25	A	A	B	B	B	C	D
26 à 50	A	B	B	C	C	D	E
51 à 90	B	B	C	C	C	E	F
91 à 150	B	B	C	D	D	F	G
151 à 280	B	C	D	E	E	G	H
281 à 500	B	C	D	E	F	H	J
501 à 1 200	C	C	E	F	G	J	K
1 201 à 3 200	C	D	E	G	H	K	L
3 201 à 10 000	C	D	F	G	J	L	M

Critères d'acceptation et de rejet

		Critères d'acceptation pour le contrôle réduit													
		A=0 R=1	A=0 R=2	A=1 R=3	A=1 R=4	A=2 R=5	A=3 R=6		A=5 R=8		A=7 R=10		A=10 R=13		
Lettre code	Contrôle normal n	Critères d'acceptation pour le contrôle normal et le contrôle renforcé												Contrôle Réduit n	Réduit n
		A=0 R=1	A=1 R=2	A=2 R=3	A=3 R=4	A=5 R=6	A=7 R=8	A=8 R=9	A=10 R=11	A=12 R=13	A=14 R=15	A=18 R=19	A=21 R=22		
A	2	2.53												2	A
B	3	6.5												2	B
C	5	68.4												2	C
D	8	1.70												3	D
E	13	4.0												5	E
F	20	53.6												8	F
G	32	1.02	7.63											13	G
H	50	2.5	10											20	H
J	80	36.9	58.4											32	J
K	125	0.64	2.64	11.1										50	K
		1.5	6.5	10											
		25.0	40.6	53.9											
		0.394	2.81	6.63	11.3										
		1.0	4.0	6.5	10										
		16.1	26.8	36.0	44.4										
		0.256	1.80	4.22	7.13	14.0									
		0.65	2.5	4.0	6.5	10									
		10.9	18.1	24.5	30.4	41.5									
		0.161	1.13	2.59	4.39	8.50	13.1								
		0.4	1.5	2.5	4.0	6.5	10								
		6.94	11.6	15.8	19.7	27.1	34.1								
		0.103	0.712	1.66	2.77	5.34	8.20	9.39	12.9						
		0.2	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	29.1						
		4.50	7.56	10.3	12.9	17.8	22.4	26.0	29.1						
		0.064	0.444	1.03	1.73	3.32	5.06	5.87	7.91	9.61	11.9				
		0.15	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	16.2	6.5	10	24.2				
		2.84	4.78	6.52	8.16	11.3	14.2	16.2	18.6	22.2	24.2				
		0.041	0.284	0.654	1.09	2.09	3.19	3.76	4.94	6.15	7.40	9.95	11.9		
		0.10	0.4	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	22.5				
		1.84	3.11	4.26	5.35	7.42	9.42	10.4	12.3	14.2	16.1	19.8	22.5		

La flèche donne la correspondance entre le contrôle normal et le contrôle renforcé correspondant.  
Exemple : un contrôle normal lettre code J, NQA 0,65 deviendra le contrôle renforcé K, NQA 0,4.

Table de la loi normale centrée réduite



Probabilité de trouver une valeur supérieure à z

z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	5,00E-01	4,96E-01	4,92E-01	4,88E-01	4,84E-01	4,80E-01	4,76E-01	4,72E-01	4,68E-01	4,64E-01
0,1	4,60E-01	4,56E-01	4,52E-01	4,48E-01	4,44E-01	4,40E-01	4,36E-01	4,33E-01	4,29E-01	4,25E-01
0,2	4,21E-01	4,17E-01	4,13E-01	4,09E-01	4,05E-01	4,01E-01	3,97E-01	3,94E-01	3,90E-01	3,86E-01
0,3	3,82E-01	3,78E-01	3,74E-01	3,71E-01	3,67E-01	3,63E-01	3,59E-01	3,56E-01	3,52E-01	3,48E-01
0,4	3,45E-01	3,41E-01	3,37E-01	3,34E-01	3,30E-01	3,26E-01	3,23E-01	3,19E-01	3,16E-01	3,12E-01
0,5	3,09E-01	3,05E-01	3,02E-01	2,98E-01	2,95E-01	2,91E-01	2,88E-01	2,84E-01	2,81E-01	2,78E-01
0,6	2,74E-01	2,71E-01	2,68E-01	2,64E-01	2,61E-01	2,58E-01	2,55E-01	2,51E-01	2,48E-01	2,45E-01
0,7	2,42E-01	2,39E-01	2,36E-01	2,33E-01	2,30E-01	2,27E-01	2,24E-01	2,21E-01	2,18E-01	2,15E-01
0,8	2,12E-01	2,09E-01	2,06E-01	2,03E-01	2,00E-01	1,98E-01	1,95E-01	1,92E-01	1,89E-01	1,87E-01
0,9	1,84E-01	1,81E-01	1,79E-01	1,76E-01	1,74E-01	1,71E-01	1,69E-01	1,66E-01	1,64E-01	1,61E-01
1	1,59E-01	1,56E-01	1,54E-01	1,52E-01	1,49E-01	1,47E-01	1,45E-01	1,42E-01	1,40E-01	1,38E-01
1,1	1,36E-01	1,33E-01	1,31E-01	1,29E-01	1,27E-01	1,25E-01	1,23E-01	1,21E-01	1,19E-01	1,17E-01
1,2	1,15E-01	1,13E-01	1,11E-01	1,09E-01	1,07E-01	1,06E-01	1,04E-01	1,02E-01	1,00E-01	9,85E-02
1,3	9,68E-02	9,51E-02	9,34E-02	9,18E-02	9,01E-02	8,85E-02	8,69E-02	8,53E-02	8,38E-02	8,23E-02
1,4	8,08E-02	7,93E-02	7,78E-02	7,64E-02	7,49E-02	7,35E-02	7,21E-02	7,08E-02	6,94E-02	6,81E-02
1,5	6,68E-02	6,55E-02	6,43E-02	6,30E-02	6,18E-02	6,06E-02	5,94E-02	5,82E-02	5,71E-02	5,59E-02
1,6	5,48E-02	5,37E-02	5,26E-02	5,16E-02	5,05E-02	4,95E-02	4,85E-02	4,75E-02	4,65E-02	4,55E-02
1,7	4,46E-02	4,36E-02	4,27E-02	4,18E-02	4,09E-02	4,01E-02	3,92E-02	3,84E-02	3,75E-02	3,67E-02
1,8	3,59E-02	3,51E-02	3,44E-02	3,36E-02	3,29E-02	3,22E-02	3,14E-02	3,07E-02	3,01E-02	2,94E-02
1,9	2,87E-02	2,81E-02	2,74E-02	2,68E-02	2,62E-02	2,56E-02	2,50E-02	2,44E-02	2,39E-02	2,33E-02
2	2,28E-02	2,22E-02	2,17E-02	2,12E-02	2,07E-02	2,02E-02	1,97E-02	1,92E-02	1,88E-02	1,83E-02
2,1	1,79E-02	1,74E-02	1,70E-02	1,66E-02	1,62E-02	1,58E-02	1,54E-02	1,50E-02	1,46E-02	1,43E-02
2,2	1,39E-02	1,36E-02	1,32E-02	1,29E-02	1,25E-02	1,22E-02	1,19E-02	1,16E-02	1,13E-02	1,10E-02
2,3	1,07E-02	1,04E-02	1,02E-02	9,90E-03	9,64E-03	9,39E-03	9,14E-03	8,89E-03	8,66E-03	8,42E-03
2,4	8,20E-03	7,98E-03	7,76E-03	7,55E-03	7,34E-03	7,14E-03	6,95E-03	6,76E-03	6,57E-03	6,39E-03
2,5	6,21E-03	6,04E-03	5,87E-03	5,70E-03	5,54E-03	5,39E-03	5,23E-03	5,08E-03	4,94E-03	4,80E-03
2,6	4,66E-03	4,53E-03	4,40E-03	4,27E-03	4,15E-03	4,02E-03	3,91E-03	3,79E-03	3,68E-03	3,57E-03
2,7	3,47E-03	3,36E-03	3,26E-03	3,17E-03	3,07E-03	2,98E-03	2,89E-03	2,80E-03	2,72E-03	2,64E-03
2,8	2,56E-03	2,48E-03	2,40E-03	2,33E-03	2,26E-03	2,19E-03	2,12E-03	2,05E-03	1,99E-03	1,93E-03
2,9	1,87E-03	1,81E-03	1,75E-03	1,69E-03	1,64E-03	1,59E-03	1,54E-03	1,49E-03	1,44E-03	1,39E-03
3	1,35E-03	1,31E-03	1,26E-03	1,22E-03	1,18E-03	1,14E-03	1,11E-03	1,07E-03	1,04E-03	1,00E-03
3,1	9,68E-04	9,35E-04	9,04E-04	8,74E-04	8,45E-04	8,16E-04	7,89E-04	7,62E-04	7,36E-04	7,11E-04
3,2	6,87E-04	6,64E-04	6,41E-04	6,19E-04	5,98E-04	5,77E-04	5,57E-04	5,38E-04	5,19E-04	5,01E-04
3,3	4,83E-04	4,66E-04	4,50E-04	4,34E-04	4,19E-04	4,04E-04	3,90E-04	3,76E-04	3,62E-04	3,49E-04
3,4	3,37E-04	3,25E-04	3,13E-04	3,02E-04	2,91E-04	2,80E-04	2,70E-04	2,60E-04	2,51E-04	2,42E-04
3,5	2,33E-04	2,24E-04	2,16E-04	2,08E-04	2,00E-04	1,93E-04	1,85E-04	1,78E-04	1,72E-04	1,65E-04
3,6	1,59E-04	1,53E-04	1,47E-04	1,42E-04	1,36E-04	1,31E-04	1,26E-04	1,21E-04	1,17E-04	1,12E-04
3,7	1,08E-04	1,04E-04	9,96E-05	9,57E-05	9,20E-05	8,84E-05	8,50E-05	8,16E-05	7,84E-05	7,53E-05
3,8	7,23E-05	6,95E-05	6,67E-05	6,41E-05	6,15E-05	5,91E-05	5,67E-05	5,44E-05	5,22E-05	5,01E-05
3,9	4,81E-05	4,61E-05	4,43E-05	4,25E-05	4,07E-05	3,91E-05	3,75E-05	3,59E-05	3,45E-05	3,30E-05
	<b>0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>
4	3,17E-05	2,07E-05	1,33E-05	8,54E-06	5,41E-06	3,40E-06	2,11E-06	1,30E-06	7,93E-07	4,79E-07
5	2,87E-07	1,70E-07	9,96E-08	5,79E-08	3,33E-08	1,90E-08	1,07E-08	5,99E-09	3,32E-09	1,82E-09
6	9,87E-10	5,30E-10	2,82E-10	1,49E-10	7,77E-11	4,02E-11	2,06E-11	1,04E-11	5,23E-12	2,60E-12