

4/88

وزارة التعليم و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

2er

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT: GENIE INDUSTRIEL

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**CONTROLE DE QUALITE
EN COURS DE FABRICATION**

PROPOSE PAR :

ETUDIE PAR :

DIRIGE PAR :

S.N.V.I - C.V.I

Mr LABED Abdenour

Mr OUABDESSELEM A.

Mr EL HADJ MESSAOUD Med

PROMOTION: JUIN 1988

وزارة التعليم و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE INDUSTRIEL

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

CONTROLE DE QUALITE
EN COURS DE FABRICATION

PROPOSE PAR :

S.N.V.I - C.V.I

ETUDIE PAR :

Mr LABED Abdenour
Mr EL HADJ MESSAOUD Med

DIRIGE PAR :

Mr OUABDESSELEM A.

PROMOTION : JUIN 1988

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قال تعالى :

رَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا « طه / ١١٤ »



DEPARTEMENT: GENIE INDUSTRIEL
PROMOTEURS : Mr OUABDESSELAM.A
Mr BOUZIANE. M
ELEVES : Mr EL HADJ MESSAOUD. Med
INGENIEURS : Mr LABED ABDENOUR

مصلحة : الهندسة الصناعية
الموجه : السيد / أوعبد السلام
السيد / بوزيان
التلميذ المهندس : الحاج مسعود محمد
التلميذ المهندس : العابد عبد النور

الموضوع : مراقبة نوعية المنتج خلال تصنيعه بمركب السيارات الصناعية - الروبيية .
الملخص: هذه دراسة مختصرة لكيفية مراقبة المنتج خلال تصنيعه بمركب السيارات
الصناعية بالروبيية و تشمل هذه الدراسة على تحليل للوضعية الحالية
و الخاصة بمركز الميكانيكا و من ثمة الادلاء ببعض الاقتراحات
للتحسين في طريقة المراقبة .

SUJET : CONTROLE DE QUALITE EN COURS DE FABRICATION AU C.V.I ROUIBA

RESUME : Etude du contrôle de qualité des produits au cours de leur
réalisation au sein du complexe des véhicules industriels de
Rouiba. Cette étude consiste en un diagnostic de la situation
particulièrement au centre mécanique et de là ressortent des
suggestions ou des propositions d'amélioration.

SUBJECT : QUALITY CONTROL DURING MANUFACTURING IN C.V.I ROUIBA

SUBSTRACT : Study of produc's quality control during their manufacturing
at the industrial vehicles complex of Rouiba.
The study consists of a diagnosis of the situation especially
at the mecanical center. We finished this investigation by
giving some suggestions and propositions to ameliorate the
control method.

D E D I C A C E S

MOHAMED

Je dédie ce modeste travail à :

- mon père et ma mère qui m'ont encouragé à persévérer dans mes études
- mon frère, mes soeurs et mes grands-parents
- tout membre de ma famille
- mes amis, et en particulier mon ami Mansour qui était présent à moment durant la réalisation de ce mémoire
- toute ma promotion.

ABDENOUR

Je dédie ce travail à mes chers parents,
mes frères, tous mes cousins, ainsi qu'à toute
ma promotion.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements non seulement à nos promoteurs, Monsieur BOUZIANE et Monsieur OUABDESSEM pour tous les conseils qui nous ont aidés à rédiger ce mémoire de fin d'études, mais aussi à tous nos enseignants ayant contribué à notre formation.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance aux responsables du C.V.I Rouiba, en particulier à :

Monsieur KOUADRIA, Chef de département contrôle
Monsieur BOUZAGZI, Chef de service méthode de contrôle
Monsieur ZERROUK, Chef de service contrôle mécanique
Monsieur BOUCHOUAREB, Chef du département qualité.

S O M M A I R E



	<u>Pages</u>
<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>PREMIERE PARTIE : APPROCHE THEORIQUE</u>	3
<u>I - COUT DE QUALITE</u>	4
1 - Les coûts des défaillances	5
a - Les coûts des défaillances internes	5
b - Les coûts des défaillances externes	5
2 - Coûts d'évaluation	5
3 - Coûts de prévention	6
<u>II - CONTROLE DES FABRICATIONS EN COURS</u>	10
A - CARTES DE CONTROLE SE REFERANT A DES DONNEES QUANTITATIVES (PAR VARIABLE)	10
1 - Généralités	10
1.1 - Pourquoi fait-on un contrôle statistique en cours de fabrication ?	10
1.2 - Dans quels cas ?	10
1.3 - Comment ?	10
1.4 - Notion de variabilité	10
1.5 - Loi normale ou gaussienne	11
1.6 - Analyse de la variabilité	13
2 - Limites de contrôle	13
3 - Le théorème central limite et les cartes de contrôle !	17
4 - Carte de contrôle de \bar{X} et R	17
B - CARTES DE CONTROLE SE REFERANT A DES DONNEES QUALITATIVES (PAR ATTRIBUT)	18
1 - Carte de contrôle de la fraction défectueuse	20
2 - Carte p stabilisée	24
3 - Carte de contrôle du nombre de défauts par unités.	28

C - REMARQUES DIVERSES SUR LES CARTES DE CONTROLE	28
a - Importance des prélèvements	28
b - Périodicité des prélèvements	31
c - Modalités des prélèvements	31
d - Organisation des opérations de contrôle	31
e - Exploitation des cartes de contrôle	31
D - CHOIX D'UN PLAN DE CONTROLE	32
III - <u>EVOLUTION DES CONCEPTS QUALITE</u>	38
1 - LE CONTROLE DE QUALITE	38
2 - CONCEPT DE QUALITE TOTALE DANS L'ENTREPRISE	38
3 - LES CERCLES DE QUALITE	39
3.1 - Diagramme de PARETO	40
3.2 - Diagramme d'ISHIKAWA	42
4 - AUTOCONTROLE	43
4.1 - Définition	43
4.2 - Comment développer l'autocontrôle ?	45
<u>DEUXIEME PARTIE : CAS DU C.V.I</u>	47
A - <u>METHODE DE CONTROLE AU CENTRE MECANIQUE</u>	48
I - Méthode antérieure	48
II - Méthode actuellement en place	48
2.1 - Contrôle individuel	50
2.2 - Contrôleur volant	50
2.3 - Contrôle final	50
2.4 - Commentaires	51
B - <u>DESCRIPTION DETAILLEE DE LA PROCEDURE DE CONTROLE</u>	54
C - <u>SUGGESTIONS</u>	55
1 - Les coûts de qualité	55
2 - Engagement de la direction	55
3 - Formation du personnel	55

	<u>Pages</u>
4 - Mettre l'accent sur la prévention au lieu de la détection	57
5 - Mise en place de la carte de contrôle	57
6 - Définition des relations client-fournisseur à l'intérieur de l'entreprise	57
7 - Maintenance des équipements	58
 <u>CONCLUSION</u>	 60
 Table des figures, table des tableaux	 62
 BIBLIOGRAPHIE	 63
 <u>ANNEXES</u>	
 Simulation sur carte de contrôle	
Table A	
Table B	

INTRODUCTION

Compte tenu de leur utilisation, les produits (mis en oeuvre ou usinés) doivent répondre à des spécifications bien déterminées et les opérations dites "de contrôle" ont pour but de veiller à ce qu'il en soit bien ainsi.

Depuis longtemps, le problème de conformité à l'utilisation, n'a jamais cessé d'être à l'ordre du jour et l'expérience aidant, deux grands types de contrôle se sont progressivement imposés. Le premier, qu'on peut dire discontinu, est pour l'essentiel constitué par les opérations de vérification auxquelles on a pris l'habitude de se livrer à la réception ou en fin de fabrication. Le second, pratiquement continu, est constitué par les opérations quasi-permanentes de surveillance des processus de fabrication en cours. En ce qui concerne le contrôle en cours de fabrication, l'apport des techniques dites de cartes de contrôle est considérable. Ces techniques viennent remplacer des procédures assez peu efficaces, par des procédures beaucoup plus systématiques et beaucoup plus efficaces. Si les premières avaient pour but de détecter les mauvaises fabrications (inspection) et, éventuellement pénaliser leurs auteurs, la philosophie des techniques de cartes de contrôle, est bien différente. Ces techniques ont pour objet d'empêcher les mauvaises fabrications : elles sont en ce sens plus rationnelles.

L'objectif du contrôle statistique dans la production, est en gros de s'assurer que les opérations s'exécutent conformément aux prévisions. Le contrôle d'un processus nécessite donc d'en prévoir le comportement. Au moyen de l'expérience antérieure, on est au moins capable de déterminer les limites entre lesquelles une caractéristique donnée a varié. En supposant que la même série de facteurs déterminant continue à agir, il est en général possible de prévoir le comportement futur du processus. Dès lors, si une modification intervient dans le système des causes originales de variation, un fait nouveau sera rapidement détecté par simple examen des variations anormales de la production habituelle.

Bien entendu, les procédures statistiques de contrôle en cours de fabrication dont l'objet est de limiter au maximum les mauvaises fabrications, ne sont nullement en opposition avec les modes opératoires classiques. Leur avantage est de reposer sur la prise en compte de la notion de variabilité et d'efficacité.

La carte de contrôle a été inventée par le Docteur W.A. SHEWART en 1924. Elle a été publiée pour la première fois en 1931, dans son ouvrage "The economic control of quality of manufactured product". Au départ, la carte de contrôle était connue sous le nom de : Carte de contrôle de SHEWART, mais sa vaste utilisation l'a réduite à l'appellation de carte de contrôle. Depuis ce temps-là, et surtout pendant et juste après la seconde guerre mondiale, la mise en exploitation des cartes de contrôle a connu une évolution remarquable. Cette évolution était surtout caractérisée par un effort des théoriciens et des praticiens, qui a toujours tendu à la simplification.

A ce titre :

- de nombreuses variantes relatives au choix des caractéristiques contrôlées ont été retenues;
- des tables toutes faites en vue d'éviter tout calcul pénible dans l'atelier;
- enfin, cette simplification est allée beaucoup plus loin. Actuellement, il existe des cartes de contrôle informatisée (procédures de contrôle complètement informatisées).

Cependant, ce qu'il faut noter pour le cas de l'Algérie, est que les problèmes de qualité ont pendant longtemps été ignorés. Au départ on s'est préoccupé d'intensifier nos investissements dans le secteur industriel et c'était la quantité qui primait. Mais au cours de ces dernières années on a commencé à s'intéresser à la qualité.

Dans ce cadre, nous avons été appelés à effectuer un travail de recherche au Complexe des véhicules industriels de Rouiba. Notre première mission au Complexe, était la contribution à la mise en place d'un système de contrôle des fabrications et plus particulièrement la mise en exploitation des cartes de contrôle. Cependant, vu l'évolution des procédures de

2 bis

contrôle au Complexe des véhicules industriels : la mise en place de l'autocontrôle, nous avons été amenés à déplacer un peu l'objectif de notre travail. Ceci se justifie par un certain nombre de constatations qui viendront dans la seconde partie de notre travail.

Notre travail se subdivise en deux parties :

- . Une première partie, théorique : cette partie, bien que théorique, a été choisie en fonction des faits constatés au C.V.I.
- . Une seconde partie, pratique : concernant le C.V.I et s'articulant surtout sur l'autocontrôle au centre mécanique.

PREMIERE PARTIE : APPROCHE THEORIQUE

I - COÛT DE QUALITÉ

On doit faire une analyse du coût de qualité pour justifier le lancement d'un programme d'amélioration de la qualité. Cette analyse consiste à comparer le coût que subirait l'entreprise si elle n'adoptait aucun programme d'amélioration et le coût qu'induirait le lancement d'un tel programme.

En pratique, on doit tout d'abord identifier de façon claire, quels sont les coûts à inclure sous le concept de "coût de qualité". Cependant, il existe des critères immédiats pour les coûts à inclure, alors qu'il est difficile d'identifier les coûts à exclure.

Certains spécialistes incluent dans le concept de coût de qualité : les coûts de qualité et les coûts de non qualité (coûts des défaillances internes et externes). Cependant, l'inclusion des coûts de non qualité peut rendre le montant si important qu'il risque d'attirer l'attention et la direction aura tendance à refuser un programme d'amélioration de la qualité. Une source de confusion peut provenir du fait que le département de qualité présente les coûts de qualité, qu'induirait la réduction des défauts à zéro. Mais en pratique, il n'en est pas ainsi. Il existe un optimum pour ce coût de qualité : optimum qu'il faut rechercher. Ainsi, ce genre de confusion peut être évité en identifiant les projets potentiels et en estimant les sommes qui peuvent être économiquement gagnées par un programme d'amélioration.

Le calcul du coût de qualité peut être effectué par le service contrôle qualité à partir de données fournies par le service comptabilité de l'entreprise ou par ce dernier à partir des résultats fournis par le service contrôle qualité.

Bien que certains de ces coûts ne puissent pas être déterminés à partir des résultats des contrôles (coûts des défaillances externes par exemple), il est important de les faire figurer ici pour donner une image d'ensemble des dépenses imputables à la qualité.

Il existe trois catégories de coûts "qualité" :

1 - Les coûts des défaillances

Deux types de coûts sont à prendre en compte :

a - Les coûts des défaillances internes

Ce sont ceux qui disparaissent s'il n'y a pas de défauts dans le produit avant son expédition chez le client.

Ils comprennent les coûts :

- . des rebuts : perte nette de travail et de matière résultant de produits défectueux non économiquement utilisables;
- . retouches : coûts pour corriger les défectueux afin de les rendre conformes (utilisables);
- . essais à refaire : coût de reinspection des produits qui ont subi une retouche ou toute autre opération de révision;
- . analyse des défauts : l'effort demandé pour vérifier si des produits non conformes peuvent être économiquement utilisables;
- . temps morts : temps dépensé par le personnel et par le matériel;
- . perte de rendement.

b - Les coûts des défaillances externes

Ce sont ceux qui disparaissent s'il n'y a pas de défauts dans le produit détectés après expédition chez le client.

Ils comprennent les coûts :

- . Ajustement des plaintes : tous les coûts d'investigation et d'ajustement des plaintes justifiées;
- . Produits retournés : coûts accompagnant la réception et le remplacement;
- . Garanties : tous les coûts induits par un contrat de garantie avec le client (coûts de services rendus aux clients sous un contrat de garantie);
- . Indemnités et remises.

2 - Coûts d'évaluation

Ce sont ceux engagés pour déterminer l'état qualitatif du produit dès sa mise en production.

Ils comprennent les coûts :

- . d'inspection des matières réceptionnées;
- . de contrôle et d'essais : pour contrôler la conformité du produit à travers sa progression à l'usine. Il inclut le contrôle final et le contrôle de l'emballage et de l'expédition;
- . des matières et services consommés : pour les contrôles (surtout destructifs), matières consommées (rayons X), services (énergie électrique);
- . d'évaluation des stocks : coût pour tester les produits en stock et évaluer leur dégradation.

3 - Coûts de prévention

Ce sont les coûts destinés à la minimisation des coûts d'évaluation et de défaillance.

Ils comprennent :

- . les coûts de planification de la qualité : coût des activités collectives qui concernent l'élaboration d'un plan de qualité, des plans de contrôle, de fiabilité, du système de collecte de données. Ils incluent aussi la préparation des procédures et moyens pour communiquer ces plans.
- . revue des produits nouveaux : évaluation des nouvelles gammes de production, préparation des tests et des programmes d'expérimentation ainsi que les autres activités accompagnant le lancement de nouvelles gammes.
- . formation : ce sont les coûts entraînés par les programmes de formation et d'amélioration de la qualité;
- . contrôle des processus : comprend la partie des contrôles des processus pour assurer la conformité, partie qui est à séparer de celle pour assurer la productivité, la sécurité,... (la séparation de celles-ci est souvent très difficile).
- . acquisition des données et analyses de la qualité : ce sont les coûts d'obtention des données sur la qualité afin d'assurer la continuité des informations sur les performances en matière de qualité. Cette catégorie comprend aussi l'analyse de ces données afin d'identifier les problèmes de qualité, leurs causes et attirer l'attention;
- . reportages : ce sont les coûts du travail de rédaction et de publication des informations sur la qualité;

Exemple de présentation des coûts de qualité :

Pour résumer, nous présenterons les coûts mentionnés précédemment sous forme d'un tableau (Tableau I.1) ou graphiquement (Figure I.1).

Il est évident que l'optimisation du coût total ne veut pas dire l'optimisation de chaque catégorie isolément. Il y a une relation critique entre ces catégories. Cependant, il y a des lignes directrices relatives à chaque catégorie :

- 1 - Les coûts de défaillance sont à l'optimum, quand on ne peut plus identifier de projet ou de programme à lancer pour les réduire,
- 2 - Les coûts d'évaluation sont à leur optimum lorsque :
 - a - les coûts des défaillances ont été ramenés à l'optimum
 - b - on est incapable d'identifier des projets pour réduire ces coûts
 - c - On a établi de bonnes méthodes de contrôle et standards, et on arrive à les respecter.
- 3 - Les coûts de prévention sont à l'optimum lorsqu'ils ont eux-mêmes fait l'objet d'une analyse pour amélioration.

Tableau I.1

	Ce mois (trimestre...)	
	Unités monétaires	Pourcenta- ge du total
<u>Coûts de prévention</u>		
. Administration de contrôle qualité		
. Ingénierie contrôle qualité		
. Planning de qualité		
. Formation		
. Total prévention		
<u>Coûts d'évaluation</u>		
. Inspection		
. Essais		
. Contrôle réception		
. Mesurage		
. Matières consommées		
. Audits qualité		
. Total évaluation		
<u>Coûts des défaillances internes</u>		
. Rebuts		
. Retouches		
. Analyse des défauts		
. Total		
<u>Coûts des défaillances externes</u>		
. Défaillances fabrication		
. Défaillances ingénierie		
. Défaillances ventes		
. Charges de garanties		
. Analyse de défauts		
. Total		
TOTAL COUT DE QUALITE		

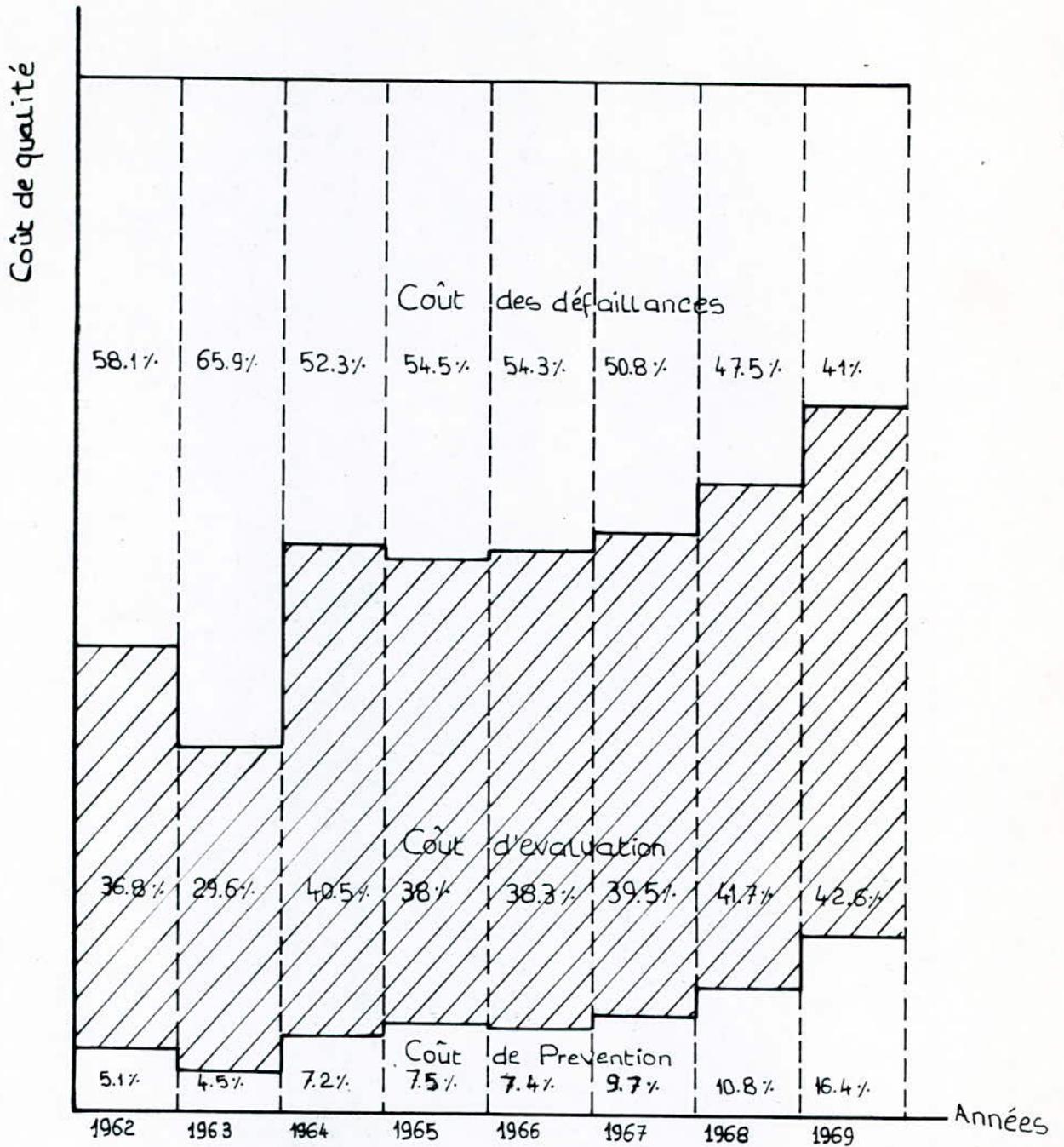


FIGURE I.1 - EXEMPLE DE PRESENTATION DES COÛTS DE QUALITE
(Metalurgica de Santana U.S.A)

II - CONTROLE DES FABRICATIONS EN COURS

A - CARTES DE CONTROLE SE REFERANT A DES DONNEES QUANTITATIVES (PAR VARIABLE)

1 - Généralités

1.1 - Pourquoi fait-on un contrôle statistique en cours de fabrication ?

- . Fournir de l'information sur la qualité du produit. Comment fixer un AQL si on n'a pas suffisamment d'information ? (1)
- . Jouer sur cette qualité, plus les dérèglages éventuels sont détectés tôt, plus tôt ils peuvent être corrigés et meilleure peut être la qualité du produit.

1.2 - Dans quels cas ?

- . Dans le cas de fabrication en grandes séries où le coût d'un contrôle unitaire apparaît comme prohibitif.
- . Dans le cas de fabrication à contrôle destructif.
- . Dans les productions en continu.

1.3 - Comment ?

Par prélèvement d'échantillons (exhaustifs ou non) à des intervalles de temps réguliers prévus à l'avance.

1.4 - Notion de variabilité

Soit un processus de fabrication (convenablement réglé) en marche normale :

Considérons par exemple, des opérations de tournage d'arbres de diamètre 100 mm avec une tolérance de ± 0.05 . Du fait du jeu des multiples facteurs perturbateurs qui interviennent pendant la fabrication d'un arbre, il est pratiquement impossible d'usiner des arbres présentant tous, exactement un diamètre de 100. Donc les diamètres obtenus à la sortie du tour, varient en plus ou moins de la valeur 100.

Ainsi, nous obtiendrons une distribution de moyenne approximativement égale à 100.

(1) AQL : Average quality level (Niveau de qualité acceptable)

Soit alors la loi de probabilité de référence de cette distribution. C'est ce que l'on appelle variabilité du processus. Les facteurs de variation à "l'entrée" dans ce processus sont : la machine, l'opérateur, la matière, la méthode de travail, la température, l'humidité, les instruments de mesure, pour ne mentionner que certains des plus importants.

Il est à noter qu'en pratique on rencontre dans la majorité des cas, des variabilités normales. Cette normalité de la variabilité, est très importante car les cartes de contrôle reposent essentiellement sur les propriétés de la loi normale.

1.5 - Loi normale ou gaussienne

La distribution normale est donnée par :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x_i - m}{\sigma_x} \right)^2 \right]$$

où :

x_i = élément de l'ensemble ($i = 1, 2, 3, \dots$)

m = moyenne de l'ensemble

σ_x = écart-type de l'ensemble

La distribution est symétrique par rapport à la moyenne, et les surfaces comprises entre la courbe $f(x)$, l'axe des abscisses et les droites d'abscisses $1, 2, 3, \dots$ écart-types, prises de part et d'autre de la moyenne, correspondent à des fractions connues de l'aire totale comprise entre la courbe $f(x)$ et l'axe des abscisses.

Ainsi :

- 1/ $m + \sigma_x$ comprend 68,26 % de l'aire en dessous de la courbe
- 2/ $m + 2 \sigma_x$ comprend 99,45 % de l'aire en dessous de la courbe
- 3/ $m + 3 \sigma_x$ comprend 99,73 % de l'aire en dessous de la courbe
- 4/ $m + 4 \sigma_x$ comprend 99,99 % de l'aire en dessous de la courbe.

La figure II.1 montre l'aire correspondant à $m \pm \sigma_x$. La portion hachurée de l'aire en dessous de la courbe contient 68,26 % des éléments de l'ensemble.

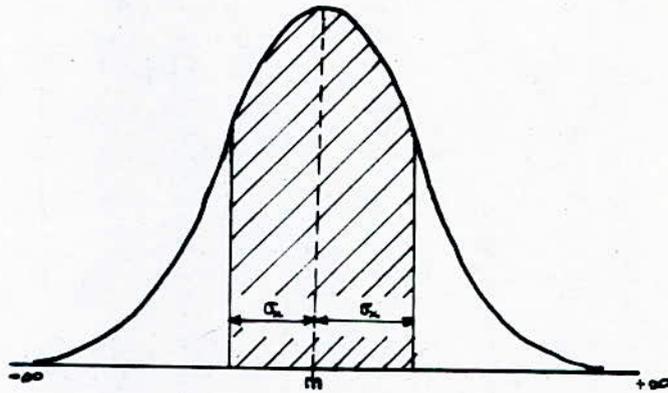


FIGURE II.1. Loi NORMALE (m, σ_x)

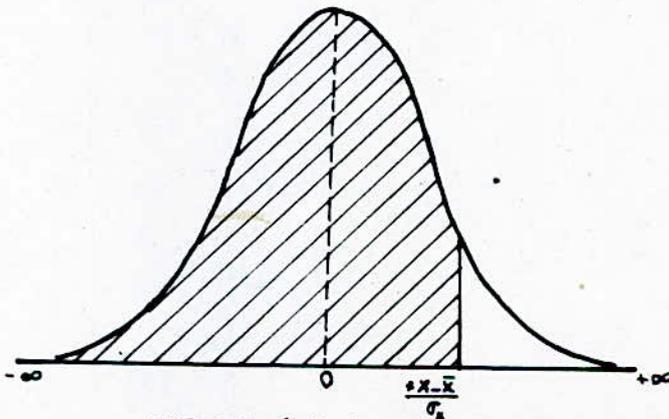


FIGURE I.2. Loi NORMALE CENTREE REDUITE

Si on effectue un changement de variable en posant $Z = \frac{X - m}{\sigma_x}$

la distribution de Z sera :

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \text{Exp} \left[-\frac{1}{2} z^2 \right]$$

C'est la loi normale centrée réduite (de moyenne 0 et d'écart-type 1). Les portions de l'aire en dessous d'une courbe normale peuvent être déterminées en utilisant la table A de l'annexe, qui indique les aires depuis $-\infty$ jusqu'à tout écart positif mesuré en unités d'écart-types, comme l'indique la figure II.2.

1.6 - Analyse de la variabilité

Après avoir effectué des mesures sur les résultats de la sortie du processus et avoir construit leur histogramme, il serait important de confronter la variabilité du processus aux tolérances spécifiées.

Nous dirons que la variabilité d'un processus de fabrication définit l'aptitude de celui-ci à assurer le travail qui lui est confié.

Il s'en suit que ce n'est pas en jouant sur les spécifications, comme on le fait trop souvent, qu'on peut améliorer la qualité de la fabrication. Si l'intervalle de tolérance est plus large que la dispersion de la variabilité, cela signifie que le processus est capable de ne produire que des pièces bonnes. Sinon il en est incapable (voir figures II.3 et II.4).

Le problème principal en matière de contrôle se situe donc en amont de la prise en considération des spécifications. Il s'agit de tirer le meilleur parti des équipements. En procédant de la sorte, si l'on ne peut éviter les déchets, au moins en aura-t-on le minimum.

2 - Limites de contrôle

La figure II.5 illustre le principe général de la carte de contrôle.

Le choix de k (nombre d'écart-types) nous permet de prévoir la proportion des observations qu'on peut s'attendre à trouver entre les limites données. Les observations sont portées dans l'ordre où elles se présentent et on peut en déduire si le processus reste ce qu'il était quand on a initialement calculé \bar{X} et S_x , ou s'il s'est modifié par suite de causes

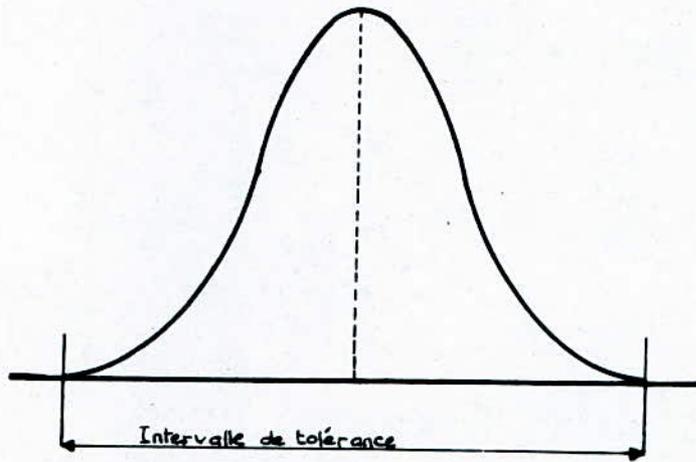


FIGURE II.3

COMPARAISON DE LA VARIABILITE NATURELLE
AUX TOLERANCES SPECIFIEES

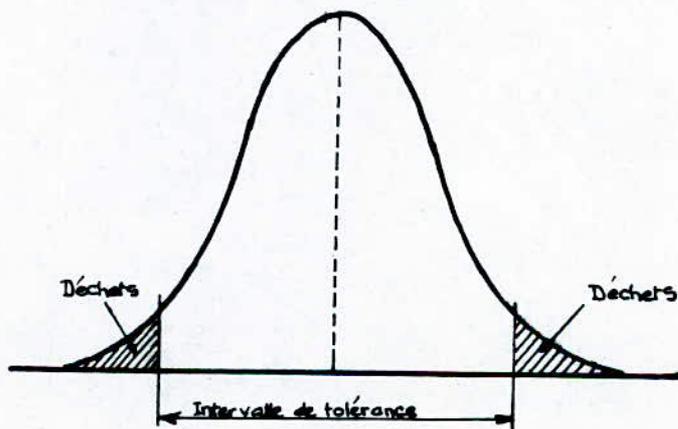


FIGURE II.4

susceptibles d'être déterminées. Tant que la proportion extérieure aux limites n'excède pas les prévisions (basées sur le choix de k), et tant que la distribution des observations reste normale, on peut conclure que le processus reste sous contrôle dans les limites données.

Le choix d'une valeur pour k doit reposer sur une base économique.

Deux sortes de coûts peuvent se présenter :

- si un point tombe en dehors des limites de contrôle et que le processus ne s'est pas modifié, le coût (C_1) de l'enquête interviendra sans nécessité.

La probabilité d'avoir à supporter ce coût est donnée par l'aire en dessous de la courbe extérieurement à $\bar{X} \pm k S_x$.

- Un point peut tomber à l'intérieur des limites de contrôle bien que le processus soit réellement modifié. Un certain coût (C_2) intervient parce que l'on produit davantage d'articles défectueux et qu'aucune enquête n'est faite pour déterminer la source de dérangement. Un tel plan de contrôle comprend également le coût (C_i) de l'observation qui dépend du nombre d'articles inspectés. Le coût total de ce genre de plan de contrôle est :

$$CT = (C_i) + (C_1) \left[\Pr (|X_i - \bar{X}| > k S_x) / E(\bar{X}) = m, E(S_x^2) = \sigma_x^2 \right] \\ + (C_2) \left[\Pr (|X_i - \bar{X}| \leq k S_x) / E(\bar{X}) = m' \text{ et/ou } E(S_x^2) = \sigma_x'^2 \right]$$

où les espérances mathématiques de \bar{X} et S_x^2 sont respectivement m et σ_x^2 quand le processus est sous contrôle statistique, et où m' et $\sigma_x'^2$ sont des valeurs qu'elles peuvent prendre en présence d'un dérèglement.

La pratique courante consiste à choisir $k = 3$. Pour cette valeur de k , la probabilité de supporter les frais (C_1) est 0.0027 (d'après la table de la loi normale), mais celle de saisir un petit dérèglement est faible. C'est pourquoi on prévoit souvent des limites dites "de surveillance" à 2 écarts-types. Chaque fois que cela est possible, le choix des limites doit reposer sur l'importance des coûts en jeu.

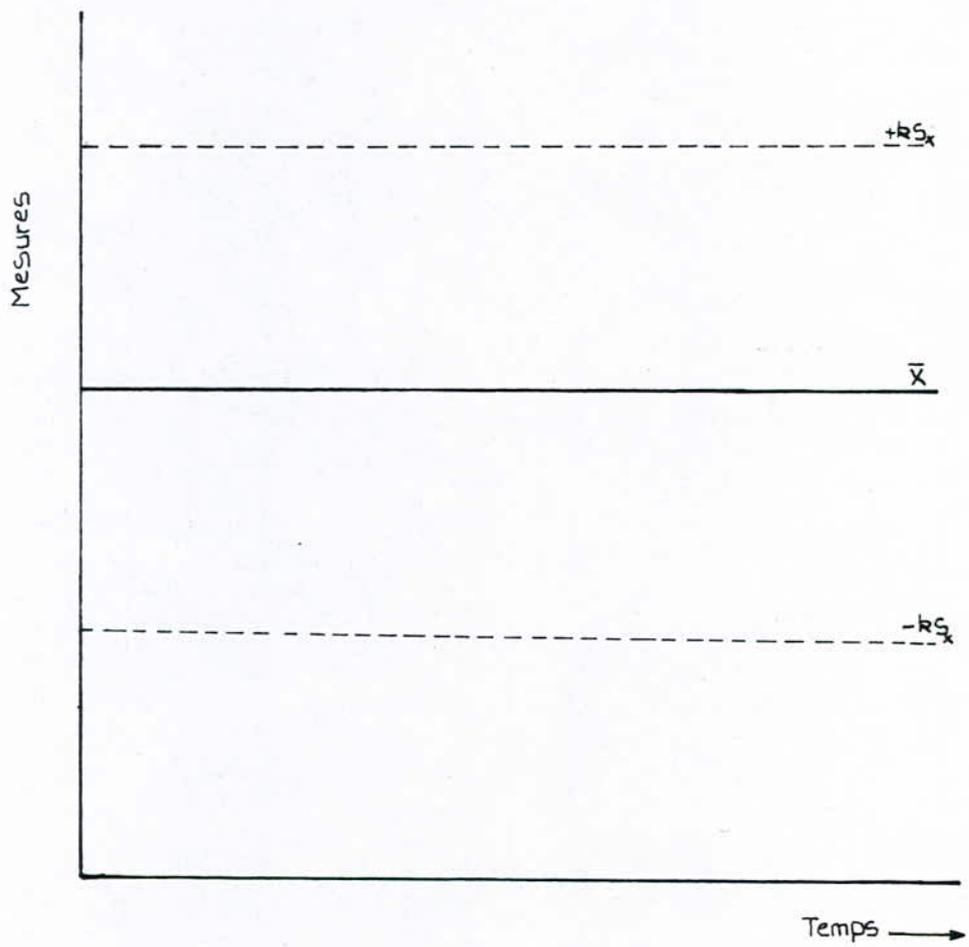


FIGURE II.5 - PRINCIPE GENERAL DE LA CARTE DE CONTROLE

3 - Le théorème central limite et les cartes de contrôle

Dans de nombreux processus stables, les observations obtenues ne sont pas normalement distribuées, de même certains processus que l'on désire contrôler n'offrent pas dans leur constitution actuelle, les conditions nécessaires à un contrôle statistique. Dans les deux cas, les déductions qui pourraient être tirées des données de tels processus seraient vraisemblablement erronées, si on les basait sur une distribution normale.

Toutefois, en divisant les observations en échantillons de 4 ou 5 éléments chacun (dans l'ordre où on les tire), on peut s'attendre à ce que la distribution des moyennes tend vers la normale.

Pour les cartes de contrôle, des tailles d'échantillons de 4,5 ou 6 sont les plus courantes pour permettre la détermination rapide d'un point de la carte de contrôle et faciliter le calcul.

Les explications ci-dessus découlent du théorème central limite au sujet duquel on peut dire : *"Si un effet physique est dû à un grand nombre de causes indépendantes, quelles que soient les distributions des mesures des causes individuelles, nous devons nous attendre à ce que les mesures de l'effet global présentent une distribution voisine de la normale"*.

4 - Carte de contrôle de \bar{X} et R

En ce qui concerne le choix des caractéristiques de tendance centrale et de dispersion des échantillons, la première idée qui vient à l'esprit est évidemment de retenir m et σ . Mais à partir du moment où le contrôle en cours de fabrication se situe nécessairement en atelier, et où il doit, pour être d'emploi commode, se présenter comme une routine à la portée d'un personnel peu qualifié, il paraît difficile d'utiliser σ son calcul étant bien compliqué. Heureusement, pour de petits échantillons, l'étendue R peut s'utiliser comme mesure satisfaisante de la dispersion.

Pour la construction des cartes de contrôle de \bar{X} et R , le principe est le suivant :

On prélève K échantillons de tailles 4,5 ou 6 chacun. On calcule la moyenne des moyennes de ces échantillons

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{X}_i}{k}$$

et la moyenne des étendues :

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^K R_i}{K}$$

Puis on calcule les limites de contrôle :

- Pour la carte de \bar{X}
 - . la ligne centrale est: $\bar{\bar{X}}$
 - . la limite inférieure : $\bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$
 - . la limite supérieure : $\bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$

- Pour la carte de R :
 - . la ligne centrale : \bar{R}
 - . la limite inférieure : $D_3 \bar{R}$
 - . la limite supérieure : $D_4 \bar{R}$

Les deux cartes sont représentées par la figure II.6. Les facteurs utilisés pour le calcul des limites de contrôle sont donnés par la table B de l'annexe.

La portion \bar{X} du graphique montre essentiellement toute modification de la valeur moyenne du procédé, tandis que l'étendue R définit toute variation dans la dispersion du processus.

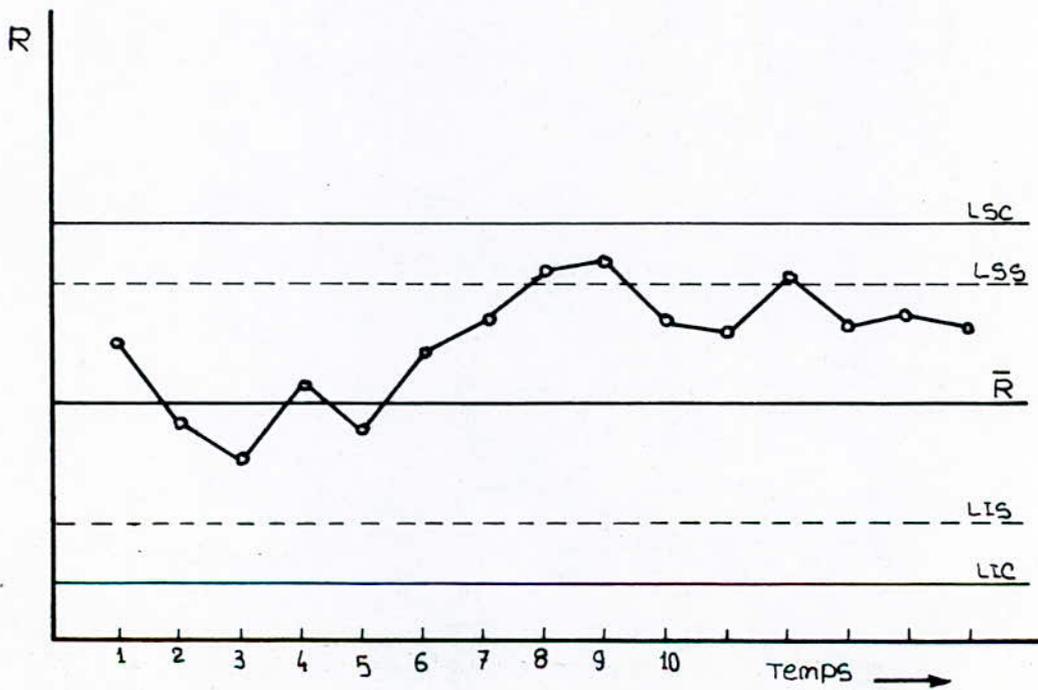
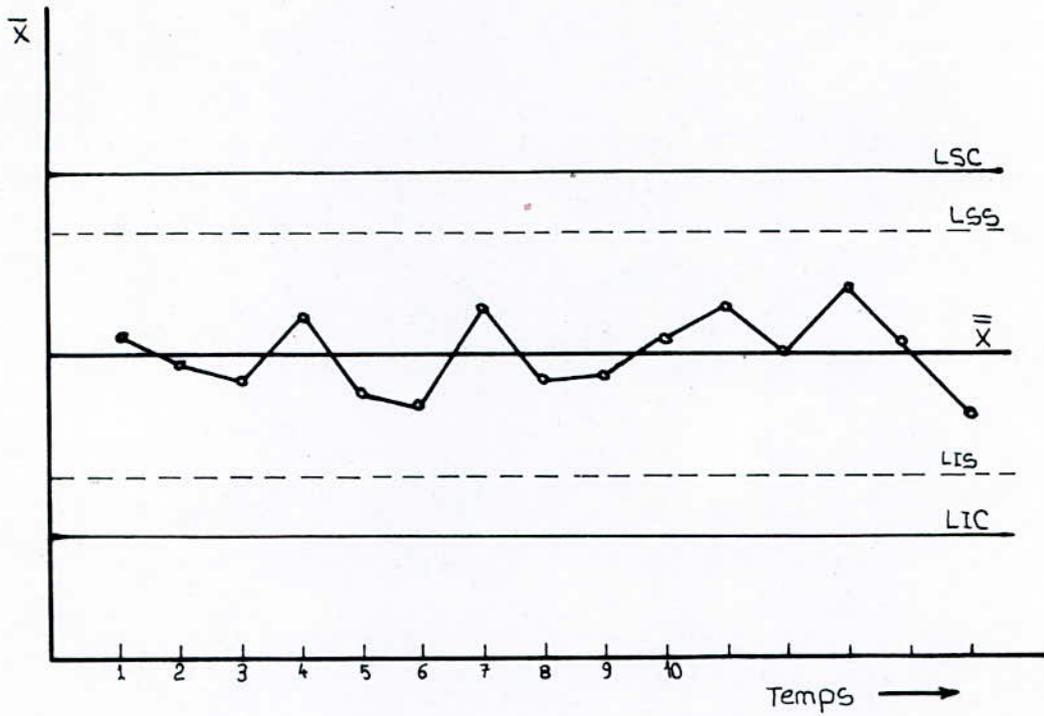
Remarque :

Si parmi les échantillons qui ont servi au calcul des limites de contrôle initiales, il y a des points en dehors des limites, on les élimine et on recalcule les limites. On dit qu'on met le processus sous contrôle.

B - CARTES DE CONTROLE SE REFERANT A DES DONNEES QUALITATIVES
(PAR ATTRIBUT)

La mise en oeuvre des techniques de carte de contrôle qui viennent d'être décrites implique d'une part que le contrôle opéré porte sur des éléments mesurables, d'autre part que l'on dispose d'appareils de mesure.

En pratique industrielle, ces deux conditions ne sont pas toujours respectées. On peut avoir affaire à des éléments qualitatifs; on peut également en présence d'éléments mesurables, ne pas disposer d'appareils de

FIGURE II 6 - CARTE DE CONTROL E DE \bar{X} ET R

mesure. Dans ces circonstances, le contrôle par carte n'en reste pas moins possible, mais sous une autre forme : il consiste à vérifier la stabilité de la proportion de déchets (ou de défauts) fabriqués.

1 - Carte de contrôle de la fraction défectueuse

Ainsi, quand les données (de la sortie) sont simplement classées en bonnes ou mauvaises, on peut utiliser une carte de contrôle p (p -chart) pour montrer les variations de qualité.

Si dans une suite longue, on s'attend à une sortie de 2 % d'éléments défectueux (sur la base de l'expression antérieure), la distribution de probabilité des éléments défectueux, pour la production d'une période de temps donnée, est donnée par la distribution binomiale :

$$p(C) = C_n^C p'^C (1 - p')^{n-C} = C_n^C (0.02)^C (0.98)^{n-C}$$

où :

n = nombre de mesures relevées dans la période

p' = moyenne du processus

C = nombre d'éléments défectueux.

Dans cette distribution, le nombre moyen des éléments défectueux sera np' , l'écart type de la distribution des éléments défectueux $p(c)$ sera :

$$\sqrt{np'(1 - p')}$$

et l'écart-type d'une distribution de moyenne p d'échantillons de tailles n sera :

$$\sqrt{\frac{p'(1 - p')}{n}}$$

Donc, les limites de contrôle d'une telle carte seront :

$$p' \pm 3\sqrt{\frac{p'(1 - p')}{n}}$$

Considérons par exemple, la situation suivante; le tableau II.1 représente les résultats de la production et de l'inspection de 100 pièces de fonderie par jour pendant 30 jours. Sur la base de ces données, la fraction défectueuse moyenne sera :

$$\bar{p} = \frac{549}{3\ 000} = 0.183$$

JOUR	NOMBRE DES REBUTS	JOUR	NOMBRE DES REBUTS
1	6	16	14
2	11	17	13
3	20	18	5
4	22	19	7
5	9	20	9
6	40	21	12
7	12	22	4
8	10	23	23
9	31	24	27
10	30	25	31
11	33	26	33
12	39	27	16
13	25	28	14
14	18	29	11
15	17	30	7

TABLEAU II.1

et si le processus est sous contrôle, c'est une estimation de la fraction défectueuse du processus p' qu'on peut prendre comme ligne centrale de la carte de contrôle.

De même, les limites $3 \sigma_p$ peuvent être fixées par l'estimation :

$$S_p = \sqrt{\frac{0.183 (0.817)}{100}} = 0.039$$

Donc les limites seront :

$$p \pm 3 S_p \Rightarrow \begin{cases} \text{L.I} = 0.066 \\ \text{L.S} = 0.300 \end{cases}$$

La figure II.7 est le report des données, et montre six points hors du contrôle à la partie supérieure et trois à la partie inférieure.

La déduction est claire : le processus n'est pas dans un état de contrôle statistique.

Une enquête a révélé que le jour 6, du mauvais sable a provoqué une très mauvaise coulée, tandis que deux nouveaux ouvriers ont été introduits dans la main d'oeuvre les jours 9 et 25. Sur la base de la connaissance de ces causes, on a éliminé les données des jours 6, 9, 10, 11, 12, 25 et 26 (l'apprentissage a été supposé être la cause de la sortie défectueuse pendant ces six derniers jours) et on a établi une nouvelle carte (Figure II.8) avec :

$$\bar{p} = \frac{312}{2 \cdot 300} = 0.136$$

$$\text{L.S Cp} = 0.136 + 3 \sqrt{\frac{0.136 (0.864)}{100}} = 0.238$$

$$\text{L.I.Cp} = 0.136 - 3 \sqrt{\frac{0.136 (0.864)}{100}} = 0.034$$

Cette carte n'est valable que si on a éliminé du processus les causes découvertes dans l'analyse de la série initiale de données, le sable défectueux et la formation inadéquate des nouveaux ouvriers.

Nous remarquons que dans le diagramme p (p -chart) on peut trouver une limite inférieure non nulle ($\text{L.I.C} > 0$), on peut dire alors que les points en dessous de cette limite ne doivent pas être pris en compte, car ceci

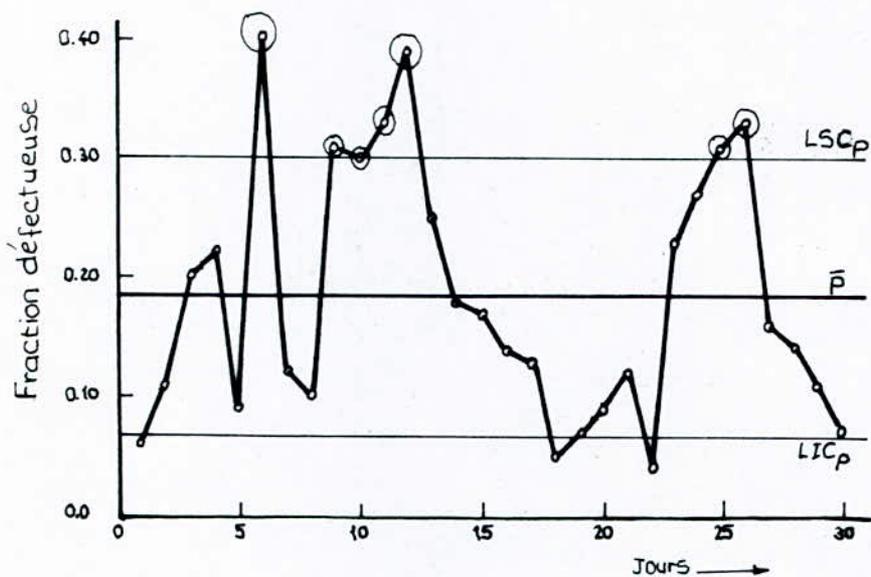


FIGURE II.7_ DIAGRAMME DE CONTROLE POUR FRACTION DEFECTUEUSE

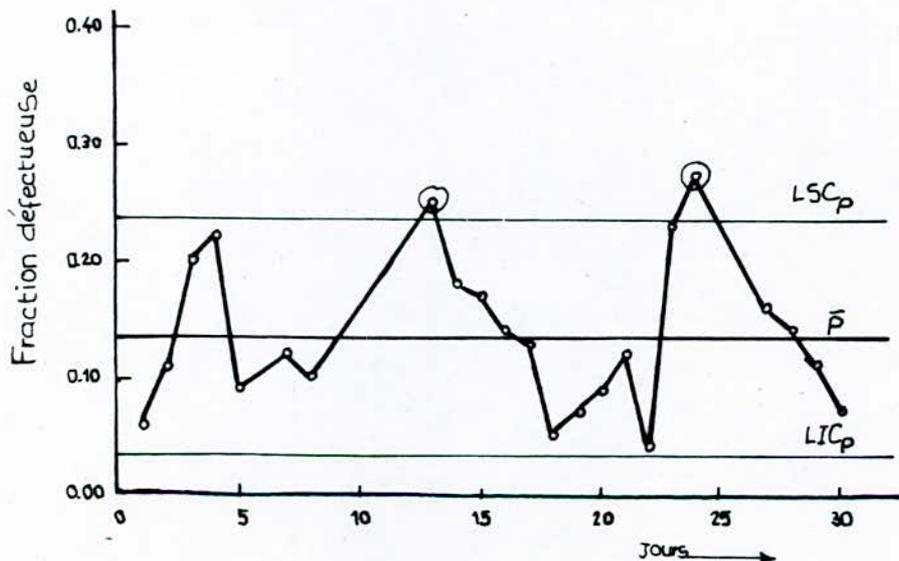


FIGURE II.8_ DIAGRAMME REVISE DE FRACTION DEFECTUEUSE

constitue un phénomène favorable (proportion de défectueux petite), au fait, il faut tracer cette limite et ces points, pour rechercher l'origine des situations favorables en vue d'améliorations futures.

Dans la situation précédente, le nombre d'éléments inspectés par période de temps **est constant**. Si le nombre inspecté ne varie que légèrement (disons pas plus de 15 %), on peut alors calculer les limites basées sur le nombre moyen d'éléments inspectés. Toutefois, s'il y a une grande variation dans ces nombres entre périodes, on doit suivre l'une des deux méthodes :

- 1 - calculer de nouvelles limites pour chaque période d'inspection
- 2 - mesurer les écarts en unités d'écarts-types.

(Exemple : tableau II.2).

Par la première méthode, les calculs représentés par le tableau II.3 seront traduits par la carte de la figure II.9 (la limite inférieure est zéro tous les jours sauf les 6ème et 10ème puisque p ne peut être négatif). Les jours 6 et 10 sont hors limites et doivent faire l'objet d'une enquête sur les causes de variation. Si on peut trouver les explications, on éliminera ces données, on recalculera \bar{p} et on établira une nouvelle série de limites pour le contrôle de la production en cours.

2 - Carte p stabilisée

On peut utiliser ces mêmes données pour construire une carte p dite "stabilisée". Ici, au lieu d'utiliser la fraction défectueuse, on calcule et on reporte sur le diagramme :

$$\frac{p - \bar{p}}{S_p} = \frac{p - \bar{p}}{\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}}$$

Cela exprime la variation de p par rapport à son écart-type, où S_p diffère d'un échantillon à l'autre par suite des différences de n . Ainsi les limites seront constantes à ± 3 , comme le représente la figure II.10, établie d'après les calculs du tableau II.4. Les points de la figure II.10 donnent les mêmes indications que la figure II.9, mais l'interprétation est plus simple. Toutefois, toutes les deux nécessitent des calculs relativement laborieux, par comparaison avec ceux exigés par la carte de la fraction défectueuse où la taille de l'échantillon est constante.

JOUR	NOMBRE INSPECTÉ	NOMBRE REBUTÉ	JOUR	NOMBRE INSPECTÉ	NOMBRE REBUTÉ
1	42	1	11	66	5
2	55	3	12	57	1
3	60	1	13	48	3
4	71	2	14	62	5
5	53	2	15	59	1
6	49	9	16	40	3
7	61	0	17	46	4
8	93	2	18	66	5
9	50	5	19	72	1
10	65	9	20	70	4

TABLEAU II.2

JOUR	P	$3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	LSC _p	JOUR	P	$3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	LIC _p
1	0.024	0.102	0.153	11	0.075	0.082	0.133
2	0.055	0.090	0.141	12	0.018	0.088	0.139
3	0.017	0.086	0.137	13	0.063	0.096	0.147
4	0.028	0.079	0.130	14	0.081	0.084	0.135
5	0.038	0.091	0.142	15	0.017	0.086	0.137
6	0.183	0.095	0.146	16	0.075	0.105	0.156
7	0	0.085	0.136	17	0.087	0.098	0.149
8	0.022	0.069	0.120	18	0.076	0.082	0.133
9	0.100	0.094	0.145	19	0.014	0.078	0.129
10	0.138	0.032	0.133	20	0.057	0.079	0.130

$$LSC_p = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0.051 + \frac{0.663}{\sqrt{n}}$$

TABLEAU II.3

JOUR	P	S_p	$P - \bar{P}$	$\frac{P - \bar{P}}{S_p}$
1	0.024	0.034	-0.027	- 0.79
2	0.055	0.030	+0.004	+ 0.13
3	0.017	0.029	-0.034	- 1.17
4	0.028	0.026	-0.023	- 0.88
5	0.038	0.030	- 0.013	- 0.43
6	0.183	0.032	+0.132	+ 4.13
7	0	0.028	-0.051	- 1.82
8	0.022	0.023	-0.029	- 1.26
9	0.100	0.031	+0.049	+ 1.58
10	0.138	0.027	+0.087	+ 3.22
11	0.075	0.027	+0.024	+0.89
12	0.018	0.029	- 0.033	- 1.14
13	0.063	0.032	+0.012	+0.37
14	0.081	0.028	+0.030	+ 1.07
15	0.017	0.029	- 0.034	- 1.17
16	0.075	0.035	+0.024	+0.69
17	0.087	0.033	+0.036	+1.09
18	0.076	0.027	+0.025	+ 0.93
19	0.014	0.026	- 0.037	- 1.42
20	0.057	0.026	+ 0.006	+ 0.23

TABLEAU II.4

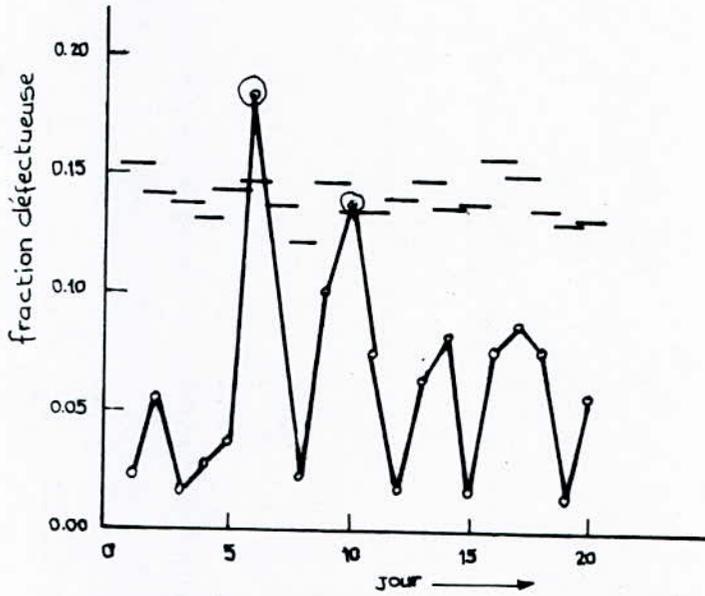


FIGURE II.9 - DIAGRAMME DE CONTROLE DE FRACTION DEFECTUEUSE A LIMITES VARIABLES

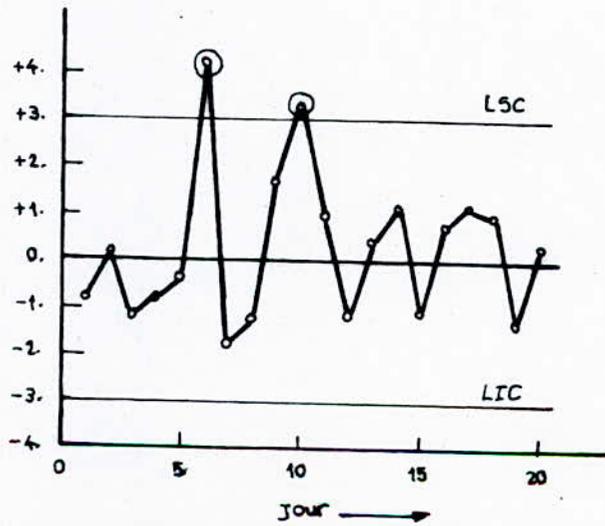


FIGURE II.10 - DIAGRAMME P STABILISE.

3 - Carte de contrôle du nombre de défauts par unités

Dans la production de certains articles (moteurs, téléviseurs, automobiles,...) ce sont les défauts par unité qui sont importants comme indication de qualité.

De telles situations supposent un univers où les occasions de défauts sont grandes, tandis que leur survenue réelle tend à être petite. Ce genre de situation peut habituellement être décrit par la loi de Poisson et nous allons l'utiliser ici : la probabilité que l'on trouve c défauts par article :

$$p(x = c) = \frac{e^{-m} m^c}{c!}$$

où :

m représente le nombre moyen de défauts par article.

La moyenne et la variance d'une distribution de Poisson sont égales de sorte que :

$$\sigma_c = \sqrt{m}$$

Les limites de contrôle $m \pm 3\sqrt{m}$

Si l'on considère les données du tableau II.5 que l'on reportera sur le diagramme de contrôle utilisant $3\sigma_c$ est représenté par la figure II.11.

Dans le cas des cartes c , comme pour les cartes p , quand la taille de l'échantillon est une variable, on utilise des limites de contrôle variables ou on stabilise les données en les convertissant en unité d'écart-types.⁽¹⁾

C - REMARQUES DIVERSES SUR LES CARTES DE CONTROLE

La technique de la carte de contrôle (par mesure) fait appel à quelques remarques d'ordre pratique.

a - Importance des prélèvements

De ce qui vient d'être présenté, on peut conclure que la taille des échantillons à prélever est fonction de l'efficacité recherchée.

ÉCHANTILLON N°	NOMBRE DE DEFAUTS	ÉCHANTILLON N°	NOMBRE DE DEFAUTS
1	1	11	2
2	4	12	5
3	4	13	9
4	1	14	8
5	6	15	4
6	3	16	2
7	5	17	7
8	10	18	2
9	7	19	6
10	3	20	4

$$\bar{c} = \frac{\sum d}{n} = \frac{93}{20} = 4.64$$

TABLEAU II.5

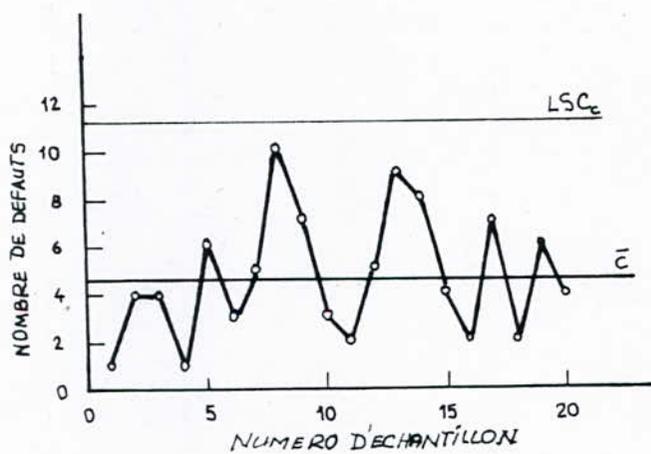


FIGURE II.11 - DIAGRAMME DE CONTROLE DU NOMBRE DE DEFAUTS PAR UNITE

b - Périodicité des prélèvements

Elle ne peut pas être déterminée a priori. Elle nécessite un calcul économique. Il est évident que plus la périodicité est faible, plus le coût est élevé. En revanche, plus la périodicité est forte et plus les pertes, ou les travaux de réusinage (quand cela est économiquement possible) peuvent être importants.

c - Modalités des prélèvements

Au moment d'un prélèvement, on a intérêt à prélever les dernières pièces fabriquées à la suite par le processus contrôlé. S'il y a eu dérèglement depuis le dernier contrôle, on a en effet plus de chance à s'en apercevoir.

Au cas où un point tombe à l'extérieur des limites de surveillance, il ne faut pas beaucoup attendre pour effectuer un deuxième prélèvement, si le résultat de ce dernier est encore à l'extérieur de ces limites, il est fort possible qu'il y a un dérangement et il faut agir.

d - Organisation des opérations de contrôle

Il est impossible de donner des règles valables partout. Il est cependant utile de noter que le contrôle par carte permet de planifier les opérations de contrôle en cours de fabrication. Connaissant la durée de chaque opération de contrôle et la périodicité des dites opérations, il est aisé de définir un plan de travail journalier aux équipes de contrôleurs; on évite ainsi les pertes de temps.

On a d'autre part intérêt à isoler les lots fabriqués entre deux opérations successives de contrôle. Il devient en effet possible, en procédant ainsi, de repérer ceux au cours de la fabrication qui ont subi un dérèglement.

e - Exploitation des cartes de contrôle

L'exploitation des cartes de contrôle, non seulement pendant, mais aussi après la fabrication, est extrêmement instructive.

Exemple :

1 - la confrontation des cartes de contrôle, obtenues sur un même équipement et pour le même type d'opérations, par des opérateurs différents, permet de comparer les qualifications et les qualités professionnelles

2 - La confrontation des cartes, obtenues sur des équipements (surtout automatiques) différents, pour des opérations d'usinage identiques, permet de classer les équipements en fonction de leur aptitude au travail considéré.

L'examen chronologique des cartes, obtenues sur un même équipement (automatique), pour un même type d'opérations, permet d'observer, dans le temps, l'augmentation progressive de la dispersion et de là, avoir une idée sur la fatigue du matériel. Certaines entreprises utilisent essentiellement les cartes de contrôle pour déterminer le moment opportun de mise en révision du matériel (pour le renouvellement préventif).⁽⁴⁾

D - CHOIX D'UN PLAN DE CONTROLE

Il est clair que la conception d'un plan de contrôle peut, dans une certaine mesure, équilibrer les coûts associés aux deux types d'erreur présentés précédemment (C_1 et C_2). Pour le faire, on doit déterminer les trois éléments suivants :

- 1 - limites de contrôle
- 2 - taille de l'échantillon
- 3 - Intervalle d'échantillonnage.

Comme on ne peut donner de réponse spécifique à ce problème, nous ferons quelques commentaires généraux sur le choix. En se basant sur le raisonnement développé antérieurement, le coût total d'un plan de contrôle pour x peut s'écrire :

$$CT = C_i + C_1 \left[\Pr (|\bar{X} - \bar{X}| > K S_{\bar{X}}) / E(\bar{X}) = m, E\left(S_{\bar{X}}^2\right) = \sigma_{\bar{X}}^2 \right] \\ + C_2 \left[\Pr (|\bar{X} - \bar{X}| < K S_{\bar{X}}) / E(\bar{X}) = m' \text{ et/ou } E\left(S_{\bar{X}}^2\right) = \sigma_{\bar{X}}^2 \right]$$

Donc $\partial(CT)/\partial K$ et $\Delta(CT)/\Delta n$ doivent être égales à zéro (condition nécessaire d'un minimum) et on pourra déterminer K et n (limites de contrôle et taille d'échantillon). Cela suppose que la distribution de probabilité quand l'univers est sous contrôle

$$E(\bar{X}) = m, \quad E\left(S_{\bar{X}}^2\right) = \sigma_{\bar{X}}^2$$

est connue et que la distribution de probabilité d'une modification

$$E(\bar{X}) = m' \text{ et/ou } E\left(\frac{S^2}{X}\right) = \sigma'^2_{\bar{X}}$$

est connue. La première peut être donnée par la distribution normale, la seconde n'est que rarement définie, si même elle peut l'être. Par conséquent, la détermination économique explicite d'un plan de contrôle est rarement tentée.

Dans la conception des cartes \bar{X} et R, des échantillons de 4 à 8 articles semblent donner de très bons résultats. La distribution de paramètres statistiques calculés avec de tels échantillons tendra certainement vers une distribution normale, même si l'univers dont ils sont tirés est fortement dissymétrique. L'échantillon peut être collecté rapidement, et il se prête facilement aux calculs. L'intervalle d'échantillonnage peut être choisi selon que le processus en question est sujet à des décalages de sa valeur centrale ou de sa dispersion, et la stabilité dont il fait preuve. Les limites de contrôle sont choisies conformément aux coûts indiqués ci-dessus et aux probabilités connues. Si le décalage qu'on désire détecter peut être fixé à l'avance, et si on connaît le coût de sa non détection, on peut déterminer des limites de contrôle appropriées comme dans l'exemple suivant :

Fixons la probabilité de saisir un décalage sur un échantillon compris entre $p' = 0.05$ et $p' = 0.10$ à 60 % avec des limites de contrôle de $\pm 3 \sigma_p$. On trouvera alors la taille de l'échantillon par l'analyse suivante :

- 1 - le diagramme de la figure II.12 illustre la situation donnée. Comme 60 % de l'aire de la nouvelle distribution doit être au delà de la limite de $+ 3 \sigma_p$, la position de cette limite par rapport à $p = 0.10$ peut se lire directement dans la table normale (l'emploi de la table normale est justifié si $np' > 5$, autrement, il faut utiliser la distribution de Poisson).
- 2 - On peut mettre en équation ce qui précède pour trouver n comme suit :

$$0.05 + 3 \sqrt{\frac{0.05(0.95)}{n}} = 0.10 - 0.25 \sqrt{\frac{0.10(0.90)}{n}}$$

d'où : $n = 288$.

Si nous désirons déterminer les limites de contrôle pour cette situation avec une taille d'échantillon 50, il sera seulement nécessaire de résoudre l'expression suivante pour K :

$$0.05 + K \sqrt{\frac{0.05(0.95)}{50}} = 0.10 - 0.25 \sqrt{\frac{0.10(0.90)}{50}}$$

d'où : $K = 0.94$.

Donc les limites de contrôle seront fixées à $\pm 0.94 S_p$.

Ce genre d'analyse ne prend pas en considération les coûts de non détection des troubles, d'examen d'un trouble non présent réellement, ni de l'inspection. Il est nécessaire de considérer tout cela quand on détermine la probabilité désirée de saisir un décalage donné dans le processus.

Considérons une situation dans laquelle on s'attend à ce qu'une fabrication se centre à 2.5250, et où l'on a estimé l'écart-type d'après des données antérieures à 0.0002.

La production horaire est de 1 000 pièces, on a supposé que la fréquence d'une modification du processus est d'une seule fois en dix heures et que, quand cette modification se produit, le centrage du processus se décale à 2.5254.

Si la tolérance spécifiée est : 2.5250 ± 0.0005 , le processus donne 1.24 % de pièces défectueuses avant une modification, en supposant une distribution normale de la sortie, et 30.9 % de pièces défectueuses après cette modification. Le coût d'inspection d'une unité est 0.10 DA, plus un coût fixe de 10 DA par échantillon, et le coût de non détection de pièces défectueuses est de 5 DA en moyenne.

Si l'on prélève une fois par heure un échantillon de 4 unités, la perte conditionnelle pour non détection d'une modification est :

$$1\ 000 \times 0.309 \times 5 = 1\ 545\ \text{DA.}$$

Compte tenu de l'éventualité d'une modification depuis l'inspection précédente (on suppose ici que ces probabilités sont décrites par la loi de Poisson avec le nombre attendu de modifications proportionnel à l'intervalle), la perte théorique (perte conditionnelle préalable) sera :

$$1\ 545 (0.095) = 146.90\ \text{DA}$$

Donc 146.90 DA par heure est la limite supérieure du coût d'un plan de contrôle. Si les limites de contrôle sont fixées à $K\bar{S}_x$, avec $K = 3$, la probabilité de détecter un décalage de 2.5250 à 2.5254 est 0.84; ceci peut se déterminer d'après la table des probabilités normales, d'après laquelle:

$$S_{\bar{x}} = 0.0002/\sqrt{4} = 0.0001$$

Ainsi la réduction à prévoir de la perte potentielle est :

$$146.90 \times (0,84) = 123.50 \text{ DA}$$

Toutefois ce plan coûte : 10 DA + 0.10 (4) = 10.40 DA, plus le coût théorique de l'erreur. Si une correction dans le processus entraîne un coût de 10 DA, le coût théorique de la faire sans nécessité à $K = 3$ est d'environ 0.03 DA, ce qui donne environ 10.43 DA comme coût total du plan. La perte nette est :

$$(146.90 - 123.50) = 23.40 \text{ DA}$$

pour un total de 33.83 DA.

Si l'on accroît la fréquence de l'inspection à une fois toutes les 15 minutes, la perte conditionnelle théorique par période d'inspection, avec $n = 4$, $K = 3$ est :

$$(250)(0.309)(5.00)(0.025) = 9.67 \text{ DA}$$

au coût de 10.43 DA par inspection. La perte nette est :

$$9.67 (1-0.84) = 1.55 \text{ DA}$$

ce qui donne un total de 11.98 DA par période d'inspection.

Si l'on porte l'intervalle d'inspection à 30 minutes, la perte conditionnelle préalable est :

$$(500)(0.309)(5.00)(0.05) = 38.60 \text{ DA}$$

pour une perte nette, avec ce plan, de :

38.60 (1-0.84) ou 6.17 DA par période, le coût total est alors 16.60 DA par période.

En continuant de cette manière et en convertissant le coût au total à prévoir par heure, on arrive à la représentation de la figure II.13. Le

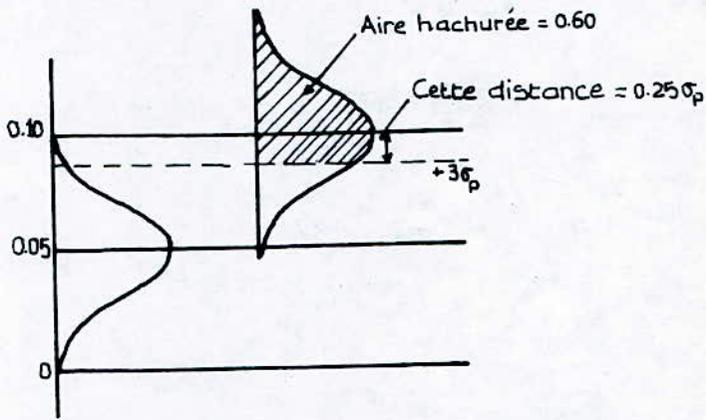


FIGURE II.12 - CHOIX D'UN PLAN DE CONTROLE

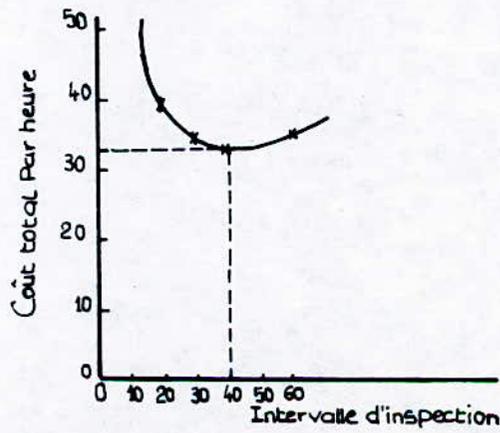


FIGURE II.13 - COUT DU CONTROLE EN FONCTION DE L'INTERVALLE D'INSPECTION

coût total minimal de 32 DA est très voisin d'un intervalle d'inspection de 40 minutes.

Considérons maintenant $K = 2$, $n = 4$ et un intervalle de 40 minutes; le coût total par période d'inspection est :

$$CT = [667(5)(0.309)(0.0667)(0.500)] + [10 + 0.10(4) + 10(0.045)] = 45.15 \text{ DA}$$

qui donne un coût horaire de 67.70 DA, considérablement supérieur au coût pour $K = 3$.

Il est évident qu'une décision économique du genre envisagée ici comporte la fixation du niveau de trois variables : taille de l'échantillon, limites de contrôle et intervalle d'échantillonnage.

La fonction de coût reliant ces trois variables peut se définir par :
CT par période = perte à prévoir si une modification n'est pas détectée + coût de l'inspection

$$= N \left[G_i K_d \sum_j P_j P_j (P_{II-j}/K) \right] + \left[(F_i + nK_i) + K_e (P_I/K) \right]$$

dans laquelle :

N = nombre d'intervalles d'inspection par période,

G_i = nombre d'unités produites dans un intervalle d'inspection,

K_d = coût d'une pièce défectueuse non détectées,

P_j = fraction défectueuse au jème état,

P_j = probabilité du jème état,

P_{II-j}/K = probabilité d'une défaillance de détection d'une modification au jème état pour K donné,

F_i = coût fixe par échantillon,

K_i = coût de l'inspection par pièce,

K_e = coût d'une déduction erronée que le processus s'est modifié à un certain état, alors qu'il ne s'est pas modifié,

P_I/K = probabilité de déduire que le processus s'est modifié, alors qu'il ne s'est pas modifié pour K donné.⁽¹⁾

III - EVOLUTION DES CONCEPTS QUALITE

1 - LE CONTROLE DE QUALITE

Dans les années 40, les théories de TAYLOR sur l'organisation scientifique du travail sont encore fortement en vigueur dans pratiquement toutes les entreprises.

Plus ou moins déviées de leur intention initiale, elles se manifestent dans les principes de management comme dans l'organisation du travail par :

- . la décomposition du travail en tâches élémentaires
- . la limitation des responsabilités
- . la spécialisation des unités fonctionnelles tendant vers le cloisonnement
- . la productivité basée sur l'intéressement de l'agent de production à son propre volume de production
- . un système hiérarchique se chargeant de la conception et du contrôle de l'exécution, privant l'exécutant de toute initiative (le travailleur est le plus souvent réduit au rôle de simple exécutant auprès de la machine).

2 - CONCEPT DE QUALITE TOTALE DANS L'ENTREPRISE

La notion de qualité a connu un développement considérable : elle inclut aussi la manière de gérer et la manière de créer une ambiance de travail (amélioration des relations de travail).

Le besoin de qualité, qui a donné naissance à ce grand mouvement de gestion totale de la qualité (G.T.Q.) est porté par trois lames de fond et par un effet conjoncturel. Les trois lames de fond sont :

- . la complexité croissante des produits et des services,
- . la mondialisation des marchés,
- . l'évolution socio-culturelle.

Le facteur conjoncturel est la crise énergétique (des années 70, surtout de 1974) qui, en remettant en cause les équilibres économiques antérieurs a joué le rôle de déclencheur.

- Totale signifie d'abord que toutes les fonctions de l'entreprise sont impliquées dans l'obtention de la qualité des produits et des services,
- Totale signifie aussi qu'au sein de chaque fonction tous les employés sont des agents de qualité, responsables à part entière. Cela sans distinction de rôle ou de niveau hiérarchique (à commencer par la secrétaire et l'ouvrier simple jusqu'au directeur général).
- Totale signifie encore :
 - . une intégration dans la gestion de la qualité de tous les besoins clients (coûts, délais, performances, qualité au sens strict),
 - . une extension au sein de toute l'entreprise de la relation client fournisseur,
 - . une norme qualité universelle (absence totale de défauts).
- Totale signifie enfin, que chaque fonction est impliquée pendant toute la durée du cycle du produit.

Ainsi, on a été amené à donner plus : c'est-à-dire à dépasser les vieilles méthodes et à passer à la gestion participative. On conditionne les gens en essayant d'introduire une certaine culture dans l'entreprise.

Pour que les agents adhèrent au système, il faut leur faire sentir qu'on les écoute, qu'ils sont utiles pour l'entreprise.

3 - LES CERCLES DE QUALITE

Ce sont des groupes de personnes ayant les mêmes buts et les mêmes soucis. C'est un instrument de la gestion participative.

Ces groupes se réunissent régulièrement pour discuter du niveau de qualité atteint, des problèmes qui se posent et des programmes d'amélioration éventuels à lancer.

Les réunions de ces groupes sont caractérisées par :

- 1 - La hiérarchie n'apparaît pas
- 2 - Une participation volontaire
- 3 - Ces séances sont incluses dans l'horaire de travail
- 4 - La durée de ces réunions est limitée
- 5 - Pas pour discuter de tout et de rien, mais d'un problème précis et dans un cadre organisé (suffisamment planifiés à l'avance)

- 6 - On suit une certaine méthodologie (fixation des thèmes, des techniques à utiliser...)
- 7 - Le groupe doit être homogène : c'est-à-dire qu'il appartient au même atelier, à la même cellule de travail ou au même service.

Les réunions participatives étaient conçues avant, mais ce sont les Japonais qui ont défini cette méthodologie distinctive.

Ainsi, progressivement, on est passé de la rigidité de l'utilisation de la ressource humaine à la gestion participative. Les cercles de qualité constituent un instrument de gestion participative qui permet de créer une ambiance de travail, un climat de fraternité et aller même jusqu'à développer l'esprit maison (famille).

3.1 - Diagramme de PARETO

L'analyse de PARETO est basée sur le principe bien connu des 20/80. L'économiste italien PARETO avait vérifié qu'en Occident, 80 % de la richesse des pays était détenue par 20 % de la population. Par analogie, on dit (et on le vérifie souvent) que 20 % des problèmes ou des causes entraînent 80 % des difficultés ou des effets, d'où l'idée de traiter en priorité ces 20 %.

Exemples :

- . 20 % des clients représentent 80 % des ventes
- . 20 % des pièces représentent 80 % des coûts d'usine
- . 20 % des pièces rebutées représentent 80 % des coûts des rebuts.

L'analyse de PARETO consiste donc à :

- établir la liste des éléments qui contribuent au problème dans l'ordre de leur importance,
- calculer les fréquences des éléments et la fréquence cumulée,
- représenter ces fréquences sous forme d'histogramme ordonné par fréquences croissantes.

Considérons un exemple de fabrication d'armoires métalliques. Le diagramme de PARETO est représenté par la figure III.1.

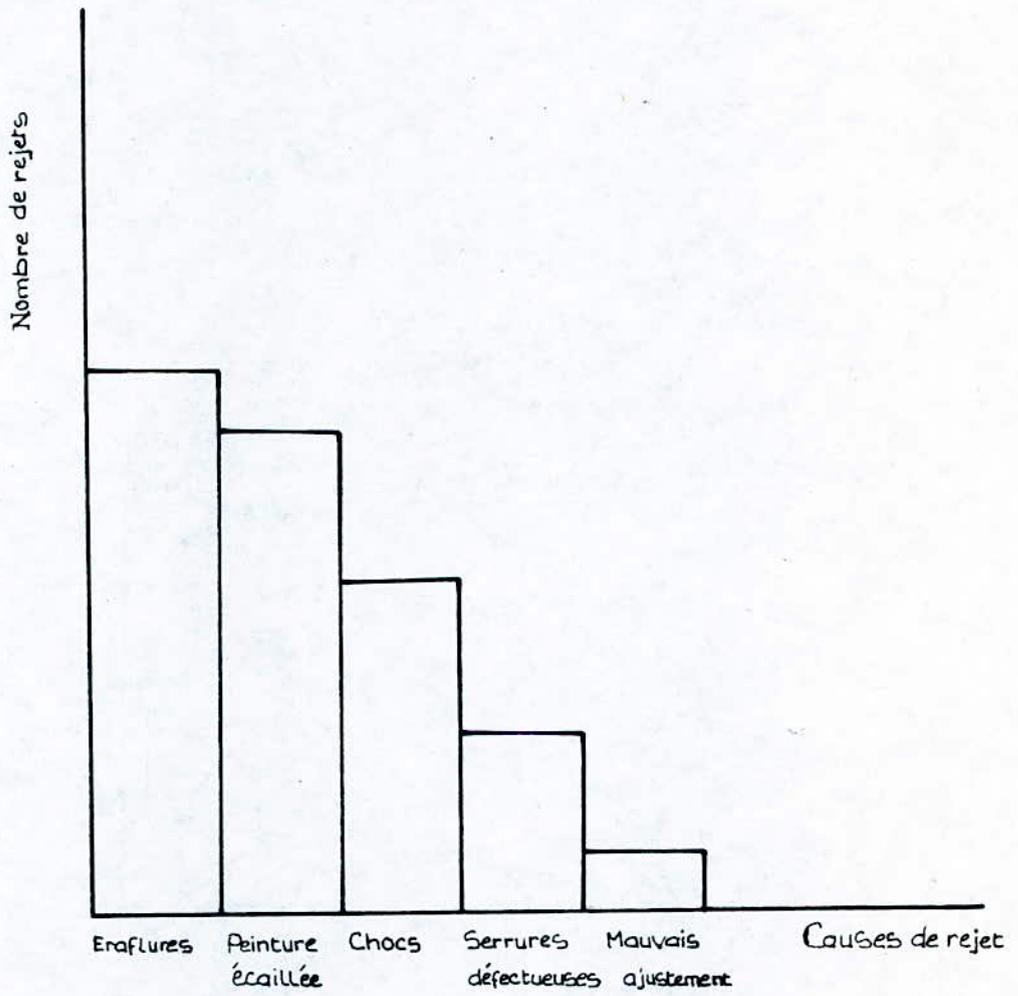


FIGURE III.1 - DIAGRAMME DE PARETO

Les causes indiquées peuvent faire l'objet d'une réunion du cercle de qualité. Puisque les gens travaillent de façon homogène et puisque chacun connaît les tâches de l'autre, cela permet de mieux cerner les problèmes.

La procédure est la suivante :

- . collecte des données
- . on présente les causes de rejet par ordre décroissant pour éliminer les préférences individuelles. Celui qui a émis l'idée des chocs, par exemple, peut dire : pourquoi vous prenez les éraflures au lieu des chocs. Ainsi, la prochaine réunion, il peut se taire ou ne pas assister. Il peut se dire je n'assisté pas puisque je ne suis pas écouté. Mais avec le diagramme, on peut éviter ce genre de problèmes, car les causes sont classées par ordre d'importance.

Ce diagramme est facile à construire et à lire. Il se prête bien au travail de groupe.

3.2 - Diagramme d'ISHIKAWA (diagramme des causes et des effets)

Outil bien adapté au travail de groupe. On se pose la question : pourquoi il y a autant de rejet ? Puis on essaye de réfléchir en groupe.

Le diagramme consiste à rechercher pour un effet donné les causes et les sous-causes ayant conduit à cet effet.

La démarche de travail consiste à :

- 1 - trouver toutes les causes (et sous-causes) possibles,
- 2 - classer ces causes par catégories : exemple en production
 - . méthode
 - . matière
 - . matériel
 - . main d'oeuvre
- 3 - Apprécier les plus importantes, par exemple :
 - . à l'aide de résultats statistiques
 - . en utilisant des diagrammes de PARETO.
- 4 - Tester, vérifier les hypothèses (par des séries d'essais comparatifs, par exemple).
- 5 - Agir sur les causes "prouvées", exemple : résultat d'une mesure.

Lors d'un contrôle, le jugement s'effectue à partir de valeurs mesurées, c'est-à-dire d'après des valeurs numériques de critères de qualité.

La variation des critères de qualité est provoquée par les causes suivantes :

- l'homme, par exemple : paresse, inattention, fatigue,...
- la machine, par exemple : jeu de paliers, avalisation des broches ...
- la matière, par exemple : écarts de dureté, inclusions,....
- la méthode, par exemple : influence de la température, de l'humidité, erreur de parallaxe.

Le diagramme causes/effets prendra donc la forme de la figure III.2

4 - AUTOCONTROLE

4.1 - Définition

Un opérateur (ou n'importe quelle personne) est dit être sous auto-contrôle s'il remplit trois critères qui font qu'il dispose de :

- 1 - moyens pour savoir ce qu'il est supposé faire
- 2 - moyens pour savoir ce qu'il est en train de faire
- 3 - moyens pour agir sur ce qu'il fait (moyens pour apporter des actions correctives à ce qu'il fait).

Quand tous les critères sont remplis, les défauts qui apparaissent sont dits contrôlables par l'opérateur. Si par contre, aucun critère n'est satisfait, on dira que les défauts sont contrôlables par la gestion.⁽⁶⁾

L'auto-contrôle consiste à rendre un employé à son poste de travail responsable de la qualité du produit (ou service) qu'il fournit. Cela veut dire que non seulement cet employé apporte une valeur ajoutée au produit ou au service en cours d'élaboration mais qu'il contrôle la conformité aux besoins (spécification, feuille de vérification,...) de ce qu'il livre en aval. Il effectue ainsi à temps partiel le travail auparavant confié à des contrôleurs spécialisés.

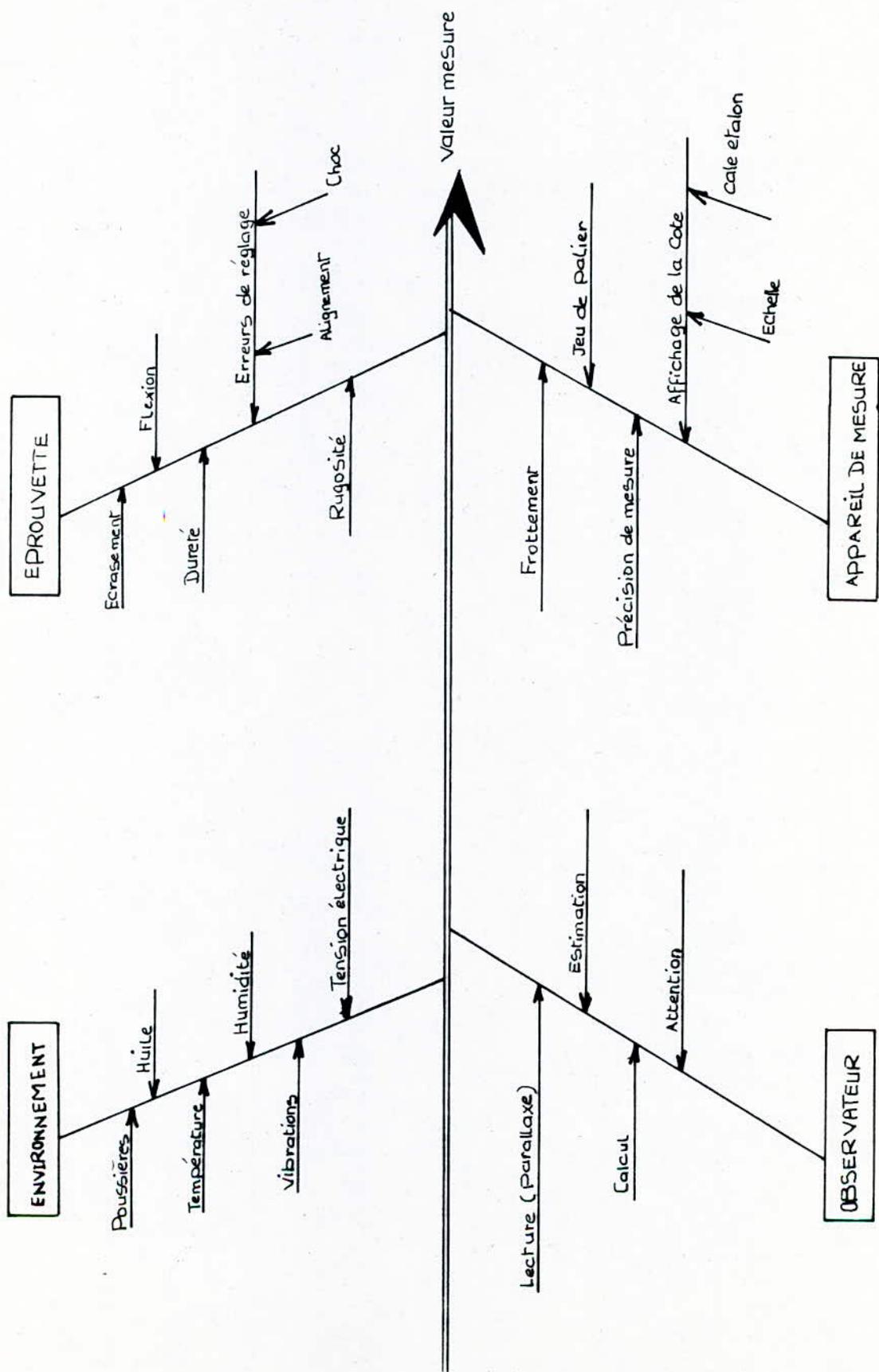


FIGURE III.2 _ DIAGRAMME D'ISCHIKAWA

Par "responsable de la qualité" nous entendons :

- 1 - Assurer le zéro défaut sur la valeur ajoutée du poste de travail. Remarquons que, si l'on se place dans le cas théorique où tous les postes de la chaîne ou du processus sont du type "autocontrôle", tout produit qui arrive en fin de chaîne est un produit sans défaut. Tout opérateur en poste de travail le long du processus ne se soucie pas dans ce cas de la qualité du produit qui entre, venant de l'amont.
- 2 - Détecter les anomalies sur le produit en provenance de l'amont.
- 3 - Signaler sans délai toute erreur ou anomalie. Intervention au poste qui est à l'origine du problème s'il est identifié, sinon auprès du management.
- 4 - Arrêter la ligne ou la partie du processus affectée en cas de problème grave.
L'opérateur qui détecte une anomalie, ne doit pas hésiter à la révéler au plus vite; le management doit encourager une telle attitude.

4.2 - Comment développer l'autocontrôle ?

Chaque entreprise selon la nature de ses activités, doit établir son propre plan. Nous mentionnons ici quelques recommandations et considérations générales.

Implantation progressive :

L'autocontrôle ne peut être le fait d'une décision brutale et générale. Il se développe de proche en proche sous l'effet de l'application de la politique qualité et de ses concepts associés.

Il résulte en effet :

- de la volonté du management.

Celui-ci doit identifier les opportunités, c'est-à-dire les postes où l'autocontrôle est techniquement possible. Nous entendons par là les postes disposant des moyens et de l'information qui permettent au tenant d'agir de façon autonome (mesure, contrôle, correction) dans le cadre des responsabilités clairement définies.

- de l'adhésion du personnel :

le succès de l'autocontrôle repose sur l'engagement du personnel ainsi que sur une relation de confiance entre les intéressés et leur management.

- de la certification des tenants de poste :

la responsabilité ne peut être confiée qu'au personnel ayant reçu la formation appropriée et acquis l'expérience nécessaire. Cette responsabilité est attribuée au tenant du poste et non au poste lui-même.

L'autocontrôle correspond à un enrichissement des tâches et à une transformation progressive des descriptions de postes.

Formation professionnelle - variété des connaissances :

L'employé a besoin d'être formé pour répondre à ses responsabilités nouvelles. C'est la direction qui fixe le choix et les moyens de sa formation. Citons les domaines principaux dans lesquels ses connaissances doivent s'étendre :

- Il doit comprendre le processus dans lequel il s'insère. Il peut en particulier être amené à intervenir sur des postes différents.
- Il doit pouvoir établir le diagnostic des pannes classiques de ses équipements et intervenir sans délai pour y remédier.
- En cas de panne plus grave, il doit participer avec l'aide de la maintenance à la "remise en route" de son poste.
- Il doit connaître le produit qui passe entre ses mains; les types de défauts possibles, savoir les détecter à son niveau, en identifier les causes.
- Il doit pratiquer les méthodes de résolution de problème, le contrôle statistique simple.⁽¹⁰⁾

DEUXIEME PARTIE : CAS DU C.V.I

A - METHODE DE CONTROLE AU CENTRE MECANIQUE

Nous avons choisi le centre mécanique parce que c'est dans ce centre qu'un grand nombre de pièces sont usinées, c'est là où il y a le plus de problèmes et enfin, nous avons constaté que c'est au centre mécanique qu'une nouvelle méthode de contrôle en cours de fabrication a été lancée : l'auto-contrôle.

I - Méthode antérieure

Le contrôle se faisait uniquement aux postes de contrôle en bout de ligne.

Suivant la complexité des produits à contrôler à partir des plans officiels, les contrôleurs disposent d'instructions de contrôle précisant :

- les différentes opérations de contrôle à effectuer
- les outillages nécessaires d'intervention
- les consignes éventuelles.

Avec un taux de rebuts élevé et un nombre important de demandes d'acceptation, l'instauration d'un contrôle unitaire (à 100 %) était nécessaire dans tous les postes de contrôle.

II - Méthode actuellement en place

Suite à un diagnostic sur la situation des rebuts, des problèmes de qualité tels que : un grand nombre de demandes de dérogations, un coût de non qualité important, les responsables concernés ont constaté qu'il était profitable de lancer un programme d'amélioration.

Le fait d'avoir effectué des études concernant la qualité des produits du complexe, montre l'importance qu'on accorde à la qualité.

Pour montrer l'importance des coûts de non qualité qui justifient le lancement d'un tel programme d'amélioration, nous présentons une évaluation de ces coûts pour l'année 1986.

Coût de non qualité (1986)

Partie visible

. Rebuts	12 114 000 DA	
. Retouches	10 659 190 DA	L'équivalent
. Appels en garantie	1 506 598 DA	de 243 véhi-
	-----	cules K.66
	24 279 788 DA	

Partie cachée

Consommation improductive des ressources matérielles et humaines.

- Exemple :
- . temps perdu par la maîtrise à courir après les pièces
 - . accroissement des stocks et en cours
 - . activités de contrôle rendues nécessaires par manque de confiance
 - . accroissement du travail administratif.

Dans le but de l'amélioration de la qualité et pour diminuer le taux de rebuts, le département contrôle a procédé au lancement d'une nouvelle méthode de contrôle qui est l'auto-contrôle.

Après une analyse de la situation au centre mécanique, le département contrôle a été amené à lancer cette opération à titre d'essai en juillet 1987 à l'ERMOD 3050 comportant les secteurs 120, 121, 122 et 123 (1).

D'après les responsables de la qualité, le choix de cette ERMOD se justifie par un taux de rebuts élevé et une technicité complexe des pièces usinées dans ces sections telles que :

- les carters de ponts
- les corps d'essieux
- les fusées
- les supports différentiels.

Suite à une analyse des résultats de cette opération à l'ERMOD (voir Tableau 1), le département contrôle a décidé de généraliser cette méthode à tout le centre mécanique à partir de février 1988.

 (1) ERMOD = Ecart Rendement Main d'Oeuvre Direct

2.1 - Contrôle individuel

Cette méthode consiste à assurer la vérification des pièces par l'opérateur lui-même en cours de fabrication.

L'opérateur en possession de moyens de contrôle propres à son poste de travail vérifie toutes les pièces en cours de réalisation.

Pour certaines opérations de contrôle à caractère géométrique telles que : orthogonalité, parallélisme, planéité et état de surface, l'opérateur fait appel à la métrologie qui a pour mission de procéder aux vérifications des opérations de contrôle ne pouvant être réalisées par le contrôle atelier.

Si en cours de réalisation, l'opérateur constate une non conformité, il fait appel :

- soit au contrôleur volant au cas où ce n'est pas un problème grave (exemple : au cas où il a des doutes sur la conformité des pièces usinées)
- soit au régleur en cas d'un problème grave.

2.2 - Contrôleur volant

Le contrôleur volant a pour mission d'effectuer des vérifications périodiques (deux à trois fois par jour) dans tous les postes de travail d'un secteur donné avec les mêmes moyens mis à la disposition de l'opérateur.

Le contrôleur volant a donc pour tâches principales :

- de s'assurer que l'opérateur utilise bien son outillage de contrôle
- d'attirer l'attention de l'opérateur sur les non conformités décelées en prélèvement et avise la hiérarchie en cas d'une nécessité d'un arrêt de fabrication
- d'augmenter le taux de prélèvement pour les pièces complexes, ayant un taux de rebut important
- de repérer toutes les pièces constatées en prélèvement, il tient à jour un compte rendu journalier sur la situation des pièces usinées.

2.3 - Contrôle final

Toutes la série des pièces usinées devra obligatoirement arriver au poste de contrôle final accompagnée de tous les documents de fabrication.

Une fois tous les documents et moyens en place, il procède au contrôle de la série, soit à 100 %, soit par prélèvement (sur une série de 100 pièces, on contrôle 10 pièces au hasard) conformément à la gamme, présentant :

- . les opérations de contrôle à effectuer
- . les fréquences de contrôle
- . les outillages d'intervention spécifiques au poste de contrôle et non ceux utilisés par l'opération de fabrication.

Après avoir effectué son prélèvement, le contrôleur classe les rebuts ou les non conformités suivant deux cas :

- . taux de rebut < 4 %, la série est considérée comme étant acceptable, et la livraison se fait normalement suivant le circuit habituel,
- . taux de rebut > 4 %, la série est considérée comme étant mauvaise et un triage est obligatoire par la fabrication. Pour les pièces mauvaises décelées en cours de prélèvement, elles sont, selon le cas :
 - mises à l'écart (rebutées)
 - acceptées par demande d'acceptation ou de dérogation
 - rendues conformes après retouches.

En dernier lieu, le contrôleur est tenu de remplir son compte-rendu-contrôle (C.R.C) sur lequel seront consignées toutes les anomalies.

2.4 - Commentaires

a - Pour le tableau comparatif des rebuts avant et après l'auto-contrôle, nous ferons les remarques suivantes :

- . se baser sur le résultat de deux ou trois types de pièces à l'ERMOD 3050, pour lesquelles on a constaté une diminution du pourcentage de défectueux peut paraître insuffisant.
 - Les corps d'essieux pour lesquels ce pourcentage est passé de 4,34 à 2,85 %
 - Les fusées gauches pour lesquelles il est passé de 7,59 à 0 %
 - Les leviers de connexion (un type de levier) où ce pourcentage est passé de 3,65 à 1,33 %

Mais pour un autre type de levier de connexion, ce pourcentage a augmenté considérablement pour aller de 0 à 6,90 % et pour les carters de pont, ce dernier est passé de 0 à 3,27 %.

De plus, pour l'évaluation des résultats de l'auto-contrôle, un problème se pose :

Les contrôleurs travaillent en horaire normal (de 8 heures à 16 heures) alors que le complexe tourne en 2 fois 8 et parfois en 3 fois 8. Ce qui montre que les contrôleurs accompagnent seulement une équipe. Nous voulons ici, attirer l'attention surtout sur la présence du contrôleur volant, car pour le contrôle final, contrôler la nuit ou le matin cela n'a pas une grande importance car les pièces sont déjà fabriquées.

Le jugement (évaluation) se fait à partir des résultats du poste final, où les pièces réalisées par les deux (ou trois) équipes sont mélangées avant d'être contrôlées. Il est à noter aussi que le pourcentage de défectueux décelé en bout de ligne n'est qu'apparent, car il faut ajouter les pièces mauvaises détectées par l'opérateur ou le contrôleur volant en cours de fabrication, et qui sont mises à l'écart.

Donc, on peut conclure qu'en se basant sur des résultats absolus, on peut aboutir à des conclusions complètement erronées. Car en procédant comme décrit ci-dessus, on aboutit à une dilution des tâches et une évaluation du gain apportée par l'opération lancée, devient difficile.

b - Nous avons constaté et c'est d'ailleurs ce qui se passe dans plusieurs unités, que des gestionnaires ont tendance à assigner les défauts qui apparaissent au cours de la production à l'inattention de l'opérateur. Ainsi, une fois que les critères d'auto-contrôle sont remplis, il paraît logique de conclure que la gestion a fini son travail et que maintenant, c'est à l'opérateur de fournir du bon travail. Si on poursuit ce raisonnement, on aboutira au résultat suivant :

Comme l'opérateur est dans un état d'auto-contrôle, alors il n'y aura plus d'erreur et que si l'opérateur ne fournit pas du bon travail, c'est dû à un manque de motivation de celui-ci. Cependant, ceci n'est pas toujours vrai : le fait que l'inattention de l'opérateur se manifeste par des défauts en cas de bon "design" ne veut pas dire que l'absence de cette inattention peut éliminer les défauts en cas de mauvais "design", c'est-à-dire éliminer les erreurs contrôlables par l'opérateur ne veut pas dire éliminer les erreurs contrôlables par la gestion.

REFERENCES	DESIGNATIONS	AVANT L'AUTO-CONTROLE					APRES L'AUTO-CONTROLE				
		MARS	AVRIL	JUIN	Q. BONNES	%	JULLET	AOUT	SEPT.	Q. BONNES	%
190 295	Corps d'essieu	13	3	/	352	4.34	12	/	10	749	2.85
5000707526	Fusée gauche	/	8	17	304	7.59	/	/	/	227	0
193 604	Carter de pont	/	/	/	536	0	/	/	/	302	0
189 993	" "	/	/	/	89	0	4	/	/	118	3.27
188 515	Support différentiel	14	/	/	342	4.09	/	/	/	/	/
188 529	" "	/	/	/	411	0	/	/	/	146	0
194 102	" "	/	/	/	440	0	/	/	/	589	0
190 364	Levier de connexion	20	/	/	887	2.20	/	/	/	150	0
190 281	" "	/	/	/	62	0	/	59	/	795	6.90
500071648	" "	/	21	/	554	3.65	4	/	/	296	1.3
5000716049	" "	22	/	/	240	8.39	/	/	8	462	1.70

S.N.V.I. - C.V.I.
 CENTRE CENTRAL
 DE CONTRÔLE DES
 MACHINES
 DES
 B-101010
 S

B - DESCRIPTION DETAILLEE DE LA PROCEDURE DE CONTROLE

Ces constatations ont été relevées lors de nos tournées en ateliers du centre mécanique. Nous avons décidé de suivre nous-mêmes la procédure de contrôle. C'est pourquoi, nous avons fait des tournées avec des contrôleurs volants pour voir comment procèdent ces derniers ainsi que les opérateurs à leurs postes. De plus, nous avons assisté et participé à des contrôles en bout de ligne (contrôle final).

Signalons tout d'abord que le seul type de contrôle appliqué aux ateliers est le contrôle qualitatif ou par attribut où les pièces sont classées en :

- passe (bonne)
- ne passe pas (mauvaise).

Mais la métrologie vient d'acquérir des instruments de mesure à lecture digitale connectable à une imprimante. Ainsi, on peut s'attendre à ce que le contrôle par mesure, rentre en application dans un avenir proche.

Décrivons maintenant les procédures de contrôle :

- 1 - l'opérateur est tenu de procéder à un contrôle unitaire des pièces réalisées à son poste.
- 2 - le contrôleur volant, arrivant aux postes de travail du secteur qui le concerne, procède de la façon suivante :
 - . il s'assure que l'opérateur dispose d'une gamme de contrôle ainsi que des outillages de contrôle figurant sur la gamme,
 - . il effectue des prélèvements sur les pièces déjà usinées et relève des observations sur un registre
 - . en cas d'anomalie, il fait appel au chef de contrôle et au chef de fabrication pour l'analyse et la prise de décision.
- 3 - Certains postes de contrôle en bout de ligne commencent à passer d'un contrôle unitaire à un contrôle par échantillonnage.

Ce contrôleur opère comme suit :

Sur une série de 100 pièces par exemple, il prélève 10 pièces, si elles sont toutes bonnes, il accepte la série, sinon il prélève 20 pièces cette fois-ci, pour décider de l'acceptation ou du refus de la série (il fait un peu ce que prévoit le passage d'un contrôle normal à un contrôle renforcé).

Nous présentons page suivante, un tableau qui illustre un peu les constatations relevées sur le registre du contrôleur volant.

Nous l'avons surtout fait pour montrer que le taux de prélèvement n'est pas défini à l'avance et c'est au contrôleur volant de choisir arbitrairement la quantité de pièces à prélever. Ainsi, on constate que l'on n'est pas encore arrivé à définir un plan de travail journalier pour aboutir à plus d'efficacité et éliminer les pertes de temps.

C - SUGGESTIONS

1 - Les coûts de qualité

Pour mettre en évidence la nécessité du lancement d'un programme d'amélioration, l'évaluation des coûts de non qualité est indispensable. Notons que si les coûts de non qualité ne peuvent être calculés, on doit procéder par estimation pour pouvoir convaincre la direction et avoir son appui.

2 - Engagement de la direction

Pour une véritable efficacité, la qualité doit être l'affaire de tous et non pas seulement celle des spécialistes chargés de contrôler le travail. La direction est plus particulièrement chargée de donner l'impulsion, de créer le mouvement (affichage des déclarations dans l'entreprise, photo, signature du directeur général à l'appui...). Cet engagement de départ est utile car il montre la direction à prendre et le sens des efforts, mais il doit être complété par d'autres mesures telles que :

- la mise en place de moyens humains, matériels et de définir les objectifs,
- continuer de manifester cet engagement en consacrant du temps au suivi des efforts et des résultats.

3 - Formation du personnel

La qualification et l'adaptation du personnel de l'entreprise est un facteur déterminant pour l'obtention de la qualité. Cela suppose un effort de formation important (cet effort peut être même à long terme).

Tableau 2 : Constatations relevées sur le registre du contrôleur volant

DATE	REFERENCE	DESIGNATION	N° OPERATION	NOMBRE DE PIECES CONTROLEES	MOYENS PREVUS	DEFAULTS CONSTATES	OBSERVATIONS
12.03.88	191466	Fusée gauche et droite	95	10	Bague fileté M 39x2	Rien à signaler	Rien à signaler
	184977	Planétaire	105	6	Fer 95.25 ⁹⁶ + montage à bille	// // //	// // //
	190789	Pignon recepneur	130	8	Tompon + Etamic 80 ^{H7}	// // //	// // //
17.05.88	191466	Fusée gauche et droite	95	5	Bague fileté M 39x2	// // //	// // //
	184977	Planétaire	105	27	Fer 95.25 ⁹⁶ + Montage à bille	9 sur 27 sont mauvaises	2 Mauvais usinage 7 Mauvaise matière
	190789	Pignon recepneur	130	6	Tompon + Etamic 80 ^{H7}	Rien à signaler	Rien à signaler

56

Boutéti
 S.N.V.I - C.V.I
 CONTROLE CENTRAL
 DES FABRICATIONS

le 5/6/88

Les acquisitions nécessaires concernent principalement les principes de base qui permettent à l'opérateur de faire convenablement le travail qui lui est confié, à donner envie d'agir et qui lui permettent d'être un véritable professionnel de son métier tout en ayant une vision de généraliste sur l'activité de l'entreprise.

4 - Mettre l'accent sur la prévention au lieu de la détection

Un axe central de la nouvelle approche est de mettre l'accent sur la prévention des défauts plutôt que sur leur correction. Pourquoi ? Tout simplement parce que c'est plus simple et cela coûte moins cher (plus un défaut est découvert tardivement, plus il coûte cher à cause des corrections multiples).

Cette volonté de prévention conduit à prendre un soin particulier des phases de conception pour supprimer les sources de défauts le plus tôt possible. L'entreprise devra donc s'attacher à la qualité du produit, sur les méthodes et les procédés qui permettent de fournir le service.

5 - Mise en place de la carte de contrôle

L'objet de la carte de contrôle est de s'assurer du bon fonctionnement du processus et de déceler les variations anormales qui s'écartent de façon imprévue. Il ne faut pas confondre les limites de contrôle avec les spécifications qui sont les limites exigées par l'utilisateur, elles peuvent être différentes; les limites de contrôle découlent des résultats fournis par le processus dans le passé, les spécifications découlent du besoin de l'utilisateur. Bien entendu, le but poursuivi lorsqu'on utilise une carte de contrôle est de respecter les spécifications.

La mise en place de la carte de contrôle qui est une rationalisation de la méthode de contrôle et son utilisation nécessitent de maîtriser des éléments de base en statistique en particulier la notion de moyenne, médiane, dispersion, écart type, loi normale, méthode d'échantillonnage...

6 - Définition des relations client-fournisseur à l'intérieur de l'entreprise

Tout le fonctionnement de l'entreprise se décrit en terme de relation client-fournisseur. Dialoguer pour réexaminer cette relation à tous les niveaux, est un bon moyen pour construire la qualité.

Cette démarche est très fructueuse, car elle développe la compréhension et l'information en retour sur des questions fondamentales : que fait-on ? pour qui ? pourquoi ? que peut-on supprimer ou améliorer si possible ? C'est un effort d'écoute et d'attention qui est proposé, il contribue à redonner du sens à l'activité de l'entreprise.

7 - Maintenance des équipements

Entretenir, c'est subir la panne et la réparer; maintenir, c'est faire un acte de prévention pour assurer un bon fonctionnement à plein temps; il est évident qu'une panne représente du temps perdu : délai d'intervention du service maintenance, durée de son intervention, durée de réglages pour remise en route, donc il existe une relation étroite entre maintenance et qualité.

Enfin, nous résumons brièvement une série de suggestions découlant de constatations lors de notre passage aux ateliers :

- a - il est souhaitable de prévoir la séparation des moyens de contrôle des moyens d'usinage ainsi que leur protection car des moyens mélangés avec les copeaux et les graisses peuvent diminuer considérablement la fiabilité du contrôle.
- b - On doit prévoir une bonne protection des gammes aux postes de travail car il arrive dans certains cas que les gammes ne soient plus visibles surtout pour les machines qui utilisent beaucoup de lubrifiants. On pourra ainsi éviter certains risques d'erreur.
- c - Le passage d'un contrôle à 100 % à un contrôle par échantillonnage au poste final permettra de diminuer l'effectif de contrôleurs à ce poste, ce qui permet d'affecter l'effectif restant à l'équipe de nuit. Mais pour assurer un contrôle efficace et économique, il est plus intéressant de faire une prévision à l'avance du pourcentage de pièces à prélever en essayant de balancer les coûts mis en jeu.
- d - Avec le matériel réceptionné récemment : moyens de contrôle à lecture digitale connectable à une imprimante. Il est souhaitable de faire une analyse de variabilité du processus à chaque fois qu'une série est lancée pour voir si notre processus est réellement capable de réaliser le travail que nous lui confions. Et de là faire une estimation de la proportion de pièces défectueuses au cas où tout va bien. Le rôle du

département contrôle est de veiller à ce que le processus fonctionne dans de bonnes conditions pour arriver à respecter ces prévisions. Enfin, une fois que cette étude ou expertise est faite, la diffusion de l'information est nécessaire pour que tous les postes ou centres, avec lesquels le poste en question coopère, soient au courant de ce que peut faire la machine (capabilité de la machine) et ne pas lui demander plus. Ceci permet d'éviter les litiges et même les réunions des écarts de conformité.

- e - Pour les pièces servant au réglage des machines lors du lancement d'une nouvelle série : ce que nous appelons mettre le processus sous contrôle, on a constaté que parfois des pièces rebutées telles que pièces "mauvais usinage" peuvent servir au réglage. Ceci fera des coûts en moins car lors du réglage, le régleur tue en moyenne quatre ou cinq pièces et ceci est inévitable. Cela est possible, par exemple pour une pièce qui a subi différentes opérations et qui a été ratée seulement à une étape donnée. Si ce n'est pas l'opération de cette étape que nous voulons réaliser, on peut utiliser cette pièce pour le réglage de l'opération suivante.

CONCLUSION

Nous avons présenté :

- Une première partie qui constitue une approche théorique du problème de contrôle statistique en cours de fabrication. Cette partie comprend tout d'abord une présentation succincte des différents coûts imputables à la qualité pour montrer qu'il est économiquement rentable de lancer un programme d'amélioration de la qualité. De plus, ces considérations permettent de convaincre la direction et d'avoir son appui qui est indispensable à la réussite d'un tel programme. En second lieu, nous avons expliqué brièvement quelques méthodes statistiques de contrôle de fabrications : les méthodes des cartes de contrôle. Un intérêt certain de ces méthodes est non seulement la souplesse de leur utilisation, mais aussi le fait qu'une fois l'apparition de pièces mauvaises, la machine est arrêtée, et le nécessaire est fait pour empêcher la réapparition des rebuts : ce qui permet de réduire considérablement les coûts des défaillances. On peut ainsi retenir le principe de base de ces méthodes tout en les modifiant suivant l'activité, les conditions locales et surtout suivant les coûts mis en jeu.

Ensuite, nous sommes passés à l'évolution des concepts de qualité où nous avons parlé de la gestion de la qualité et en particulier de la notion d'auto-contrôle. L'auto-contrôle est assuré par l'ouvrier qui fabrique le produit. Ce système est le plus efficace et le plus rapide pour assurer un retour rapide de l'information.

- Une seconde partie concerne le C.V.I et s'articule surtout sur le contrôle en cours de fabrication au centre mécanique. Notre séjour au C.V.I nous a permis de voir pratiquement comment le contrôle est assuré, de voir les éléments positifs et les éléments négatifs de ce dernier.

Comme aspects positifs nous notons surtout :

. L'intérêt et l'appui que la direction accorde au programme d'amélioration de la qualité ainsi qu'à son suivi.

. L'effort dirigé de sensibilisation de tout le personnel.

Comme aspects négatifs, nous mentionnons :

. La collecte et la circulation de l'information n'est pas assez développée pour évaluer le gain permettant d'assurer la continuité, et éventuellement les modifications à entreprendre s'il y a lieu,

. Un manque de motivation dû à un manque de formation,

. L'absence de contrôleurs volants accompagnant l'équipe de nuit.

Enfin, il faut noter que l'auto-contrôle qui est une méthode de contrôle préventive, est de loin supérieur à toute autre méthode. Il a été créé dans les pays occidentaux qui ont conclu que c'est le seul moyen pour atteindre l'objectif du zéro défaut. Mais, ces pays ne sont arrivés à l'auto-contrôle qu'après avoir connu une évolution importante en matière de contrôle.

De plus, si nous pouvons assurer l'auto-contrôle au C.V.I dans de bonnes conditions, il nous semble que c'est un bon moyen de sensibiliser le personnel à la qualité et diminuer considérablement le taux de rebuts. Et, la mise en place de cartes de contrôle permettra de rationaliser la méthode de contrôle. Mais, on ne peut s'attendre à des résultats que s'il y a une participation active de tous les membres pour assurer la continuité du programme.

Les tableaux

- Tableau 11.1 - Données pour la construction de la carte p
 Tableau 11.2 - Données pour la construction de la carte p avec limites variables
 Tableau 11.3 - Calcul des limites de la carte p avec limites variables
 Tableau 11.4 - Données pour la construction du diagramme p stabilisé
 Tableau 11.5 - Données pour construire le diagramme du nombre de défauts par unité.
 Tableau 1 - Etat comparatif de rebuts avant et après l'application de l'auto-contrôle
 Tableau 2 - Caractéristiques obtenues sur la registre de contrôle en utilisant

Annexes

SIMULATION SUR CARTE DE CONTROLE

Le but de cette simulation est de permettre de voir le comportement des variables des cartes de contrôle sous des conditions qui se rapprochent de la situation réelle. Ceci étant un moyen pour déterminer un plan de contrôle optimal pour notre situation réelle.

Les données sont de deux types:

-Une distribution cummulative donnant la variabilité du processus que l'on espère avoir;cette distribution est donnée sous forme d'une loi normale centrée réduite. Les paramètres relatifs aux différents états du processus en terme de moyennes et d'écart-types,ainsi que les probabilités d'être à chaque état,sont introduites L'état espéré est toujours donné comme l'état 1. Les paramètres de la carte de contrôle sont introduits en terme de: Nombre d'écart-types utilisés pour les limites de contrôle,la taille de l'échantillon et les paramètres appropriés de la distribution des étendues relatives (d2 et d3).En outre, on a prévu l'introduction des différents coûts.

Le calcul des limites initiales peut être basé sur les valeurs des paramètres de l'état 1 ou sur des données générées par l'ordinateur lui même. Comme exemple d'utilisation de ce programme,considérons la situation suivante:On désire produire conformément aux spécifications:

2.5250 ± 0.0005 . On espère que le processus produise selon une distribution normale avec une moyenne de 2.5250 et un écart-type de 0.0002. Nous supposons par exemple que nous avons 10% de chance que le processus soit centré à 2.5254, 3% à 2.5248 et 2% à 2.5260. Ces changements apparaissent au hasard et sont dûs à des causes couramment opérant dans le système,mais une fois détectées,elles sont éliminées.

Ainsi les paramètres de ces états sont introduits comme suit:

PROB(J)	XMU(J)	SIGMA(J)	NBIAS(J)
0.85	2.5250	0.0002	0
0.10	2.5254	0.0002	0
0.03	2.5248	0.0002	0
0.02	2.5260	0.0002	0

La signification de NBIAS(J) est:

Si elle est égale à 0, le passage d'un état à un autre est aléatoire. Si elle est égale à 1, le passage à un tel état est permanent jusqu'à ce qu'il soit détecté et la cause soit éliminée.

Dans ce cas le programme va donner des limites de contrôle initiales basées sur \bar{X} et R données pour l'état 1. Puis les points sont comparés avec les limites basées sur un nombre donné d'écart-types $DEVK(3, \text{dans ce cas})$; si des points hors contrôle sont détectés, l'état qui a donné naissance à ceci est éliminé. Les $PROB(J)$ sont recalculées (car leur somme doit être =1) ainsi que les limites de contrôle.

Si l'on désire simuler le comportement d'un système de contrôle, il faut introduire les données comme le montre la liste des variables du programme. Si XDBAR est égale à 0, des échantillons pour calculer les limites initiales (INITNS) de taille N chacun sont pris (subroutine SAMPLE), XDBAR et RBAR estimés, et les limites de contrôle calculées à l'aide des sous-routines XCHART et RCHART. Les points correspondant à ces échantillons seront vérifiés à l'aide de la subroutine COMPAR, et si des points hors contrôle sont trouvés, l'état sera éliminé si NDELET=1. Dans ce cas les probabilités des états restant sont recalculées, les points hors contrôle éliminés et des nouvelles limites de contrôle sont calculées. Si NDELET=0, seulement un message indiquant la condition "hors contrôle" sera imprimé. Si XDBAR était donnée (non nulle), les limites de contrôle sont directement calculées en se basant sur l'état désiré.

Ensuite, les limites spécifiées sont comparées aux limites du processus, pour chaque état et la fraction défectueuse est estimée. La probabilité de l'erreur de première espèce est estimée, et pour chaque état, la probabilité que la carte de contrôle ne réussit pas à détecter un changement vers cet état est aussi estimée et stockée en mémoire comme $PROB(J)$.

Les différents coûts sont aussi lus, et, utilisant la méthode décrite au II.D (choix d'un plan de contrôle), le nombre optimal d'échantillons par période est calculé et le coût total espéré par période de production imprimé. A ce moment, une valeur est donnée à NSWCH. Si NSWCH est 6 ou 7, la simulation commence par la lecture du nombre de périodes de production à simuler. Si NSWCH est 6, ce nombre de périodes sera complété, alors que s'il était égal à 7, l'exécution se terminera dès que tous les états autre que $J=1$ sont détectés et éliminés.

A la fin de la simulation, le nombre de défectueux, le nombre d'échantillons et les coûts d'inspection et des défectueux seront imprimés. Si NSWCH=4, l'ordinateur est envoyé à la première instruction de lecture (READ...) et on commencera à simuler un nouveau cas.

Si NSWCH=3:Envoi à la lecture de nouveaux paramètres de la carte de contrôle (DEVK et N).Si NSWCH=2 de nouveaux coûts seront lus et suivis par des paramètres de contrôle comme pour NSWCH=3.

Enfin,si on désire calculer les coûts espérés pour différentes valeurs de DEVK avec N constant,on n'a qu'à boucler avec NSWCH=1 (on le répète autant de fois que l'on veut)pour poursuivre avec les valeurs désirées de DEVK.

```

C      PROGRAMME PRINCIPAL
      COMMON PROB(50),XMU(50),SIGMA(50),NBIAS(50),PN(400),EX(300),
1     P(50),PEX(300),PTWO(50),MAXJ,MAXDST,MXDIST,N,DEVK,D2N,D3N,
2     UCLR,SN,UCLX,ASUMX,ASUMR,XBAR,R,NDELET,J,
3     KOUT(7),SX(30),AXBAR(200),AR(200),JSTAT(200),TIME(50),ONEOUT,MJ
      REAL LCLX,LCLR
      OPEN (1, FILE='DONNEES.DAT', STATUS = 'OLD')
4     READ (1,*) XDBAR,XSPEC,XTOL,PRODX
      READ (1,*) MAXJ,MXDIST,MAXDST,NEVAL,NDELET,INITNS
      READ (1,*) (PROB(J),XMU(J),SIGMA(J),NBIAS(J),J=1,MAXJ)
      READ (1,*) (PN(I),I=1,MXDIST)
      READ (1,*) (EX(I),PEX(I),I=1,MAXDST)
2     READ (1,*) COSTD,COSTE,COSTF,COSTI
3     READ (1,*) DEVK,D2N,D3N,N
      READ (1,*) (KOUT(I),I=1,7)
      ONEOUT=0.
      MJ=MAXJ
      AN=N
      SN=SQRT(AN)
      ASUMX=0.
      ASUMR=0.
      IF(XDBAR.NE.0.)GOTO 100
C     BEGIN PRODUCTION
      DO 11 I=1,INITNS
      CALL SAMPLE(I)
      AXBAR(I)=XBAR
      AR(I)=R
      JSTAT(I)=J
      ASUMX=ASUMX+XBAR
11     ASUMR=ASUMR+R
      XDBAR=ASUMX/FLOAT(INITNS)
      RBAR=ASUMR/FLOAT(INITNS)
C     CALCULATE INITIAL LIMITS
      CALLXCHART(XDBAR,RBAR)
      CALL RCHART(RBAR)

C     CHECK FOR LACK OF INITIAL CONTROL

      INS=INITNS
      DO 200 I=1,INS
      XBAR=AXBAR(I)
      R=AR(I)
      J=JSTAT(I)
      CALL COMPAR(I,INITNS)
200    CONTINUE
      ONEOUT=0.
      GOTO 50
1     READ(1,*) DEVK
100    RBAR=SIGMA(1)*D2N
      CALL XCHART(XDBAR,RBAR)
      CALL RCHART(RBAR)

```

```

IF(KOUT(2).EQ.1.)WRITE(6,98) UCLX,LCLX,UCLR,LCLR
50  UPPER=XSPEC+XTOL
    XLOWR=XSPEC-XTOL
    DO 10 J=1,MAXJ
        DEVU=(UPPER-XMU(J))/SIGMA(J)
        CALL LOOK UP (DEVU)
        DEVL=(XLOWR-XMU(J))/SIGMA(J)
        CALL LOOK UP (DEVL)
10  P(J)=DEVU+(1.-DEVL)
    IF(KOUT(6).EQ.1.)WRITE(6,97) (P(J),J=1,MAXJ)
    KDEV=DEVK*20.+1.5
    IF(KDEV.GT.MXDIST)KDEV=MXDIST
    PONE=2.*PN(KDEV)
    DO 20 J=1,MAXJ
        DEVU=(UCLX-XMU(J))/SIGMA(J)
        DEVL=(XMU(J)-LCLX)/SIGMA(J)
        IDEVU=ABS(DEVU)*20.+1.5
        IDEVL=ABS(DEVL)*20.+1.5
        IF(IDEVU.GT.MXDIST)IDEVU=MXDIST
        IF(IDEVL.GT.MXDIST)IDEVL=MXDIST
        PTU=PN(IDEVU)
        PTL=PN(IDEVL)
        PTWO(J)=PTU+PTL
        IF(DEVU.LT.0..OR.DEVL.LT.0.)GOTO 21
        PTWO(J)=1.-PTWO(J)
21  IF(PTWO(J).GT.1.)PTWO(J)=1.
20  CONTINUE
    IF(KOUT(7).EQ.1)WRITE(6,99)(PTWO(J),J=1,MAXJ)
    FRCDEF=0.
    DO 30 J=2,MAXJ
        FN=1.-PTWO(J)
        FN=1./FN
        FN=FN-.5
30  FRCDEF=PROB(J)*P(J)-P(1)*FN+FRCDEF
    CLOSS=PRODX*FRCDEF*COSTD
    CINSP=COSTF+(AN*COSTI)+(COSTE*PONE)
    ARG=CLOSS/CINSP
    SAMPN=SQRT(ARG)
    EXCOST=(CLOSS/SAMPN)+CINSP*SAMPN
1000 WRITE(6,91)N,DEVK,SAMPN,CINSP,CLOSS,EXCOST
    READ(1,*)NSWCH
    GOTO(1,2,3,4,5,6,6),NSWCH
C    BEGIN SIMULATION
6    READ(1,*)PERIOD
    J=1
    NSAMP=SAMPN*PERIOD+0.5
    NSAMPD=INITNS
    ICT=0
    DO 51 JK=1,MAXJ
51  TIME(JK)=0.

```

```

DO 60 I=1,NSAMP
CALL SAMPLE(I)
ASUMX=ASUMX+XBAR
ASUMR=ASUMR+R
NSAMPD=NSAMPD+1
CALL COMPAR(I,NSAMPD)
ICT=ICT+1
IF(MJ.EQ.1.AND.NSWCH.EQ.7)GO TO 61
60 TIME(J)=TIME(J)+1.
61 ACTFD=0.
ASAMP=ICT
DO 70 J=1,MAXJ
TIME(J)=TIME(J)/ASAMP
70 ACTFD=(TIME(J)*P(J))+ACTFD
PERIOD=ASAMP/SAMPN
PRODUC=PRODX*PERIOD
XNDEF=PRODUC*ACTFD
CLOSS=XNDEF*COSTD
CINSP=(COSTF+(AN*COSTI))*ASAMP+ONEOUT*COSTE
ACTCST=(CLOSS+CINSP)/PERIOD
IF(KOUT(3).EQ.1)WRITE(6,90)PERIOD,NSAMP,XNDEF,PRODUC,ONEOUT,
1 ACTCST
GO TO 1000
5 STOP
90 FORMAT(1H0,3H INF6.2,8H PERIODS I6,20H SAMPLES WERE TAKEN,F6.0,
1 ' DEFECTIVES WERE PRODUCED OF',F8.0,' TOTAL ITEMS'/5X,F5.0,
2 ' TYPE ONE ERRORS WITH TOTALCOST=',F10.2)
91 FORMAT(1H0,' SAMPLE SIZE=',I3,'K= ',I5,' SAMPLES/PERIOD= ',
1 F5.2/20X,' COST/SAMPLE=',F8.3/20X,'CONDITIONAL LOSS=',F8.3/20X,
2 ' TOTAL COST/PRODUCITON PERIOD=',F9.3)
97 FORMAT(1H0,10X,14H THE P(J)'S ARE /5X,(10F10.5))
98 FORMAT(1H0,' CONTROL LIMITS _ _ UCLX=',F10.4,'LCLX=',F10.4,
1 'UCLR=',F10.4,'LCLR=',F10.4)
99 FORMAT(1H0,10X,17H THE PTWO(J)'S ARE /5X,(10F19.5))
END

```

SUBROUTINE SAMPLE(NS)

```

COMMON PROB(50),XMU(50),SIGMA(50),NBIAS(50),PN(400),
1 EX(300),P(50),PEX(300),PTWO(50),MAXJ,MAXDST,MXDIST,
2 N,DEVK,D2N,D3N,UCLR,LCLR,SN,SIGMAX,UCLX,LCLX,ASUMX,
3 ASUMR,XBAR,R,NDELET,J,KOUT(7),SX(30),XBAR(200),
4 AR(200),JSTAT(200),TIME(50),ONEOUT,MJ
SUMX=0.
XMIN=9999999.
XMAX=0.
IF(NBIAS(J).EQ.1)GOTO 30
IRD=1
RD=RAN(IRD)
PROBJ=PROB(1)
DO 20 JK=1,MAXJ
IF(RD.GT.PROBJ)GOTO 19
J=JK

```

```

GOTO 30
19  PROBJ=PROBJ+PROB(JK+1)
20  CONTINUE
30  DO 10 I=1,N
    X=RAN(IRD)
    CALL LOOKDN(X)
    SX(I)=XMU(J)+X*SIGMA(J)
    IF(SX(I).LT.0.) SX(I)=0.
    IF(SX(I).GT.XMAX) XMAX=SX(I)
    IF(SX(I).LT.XMIN) XMIN=SX(I)
10  SUMX=SUMX+SX(I)
    XBAR=SUMX/FLOAT(N)
    R=XMAX-XMIN
    IF(KOUT(1).EQ.1) WRITE (6,99)NS,XBAR,R,J
    IF(KOUT(5).EQ.1) WRITE (6,89)(SX(I),I=1,N)
99  FORMAT(1H0,' FOR SAMPLE',I5, 'XBAR=',F8.3, 'R=',F8.3,
1   'AND THE SYSTEM WAS IN STATE', I5)
89  FORMAT(20X,' THE SAMPLE VALUES WERE' /(27X,F10.4))
    RETURN
    END

```

```

SUBROUTINE COMPAR(IX,IY)
COMMON PROB(50),XMU(50),SIGMA(50),NBIAS(50),PN(400),EX(300),
1   P(50),PEX(300),PTWO(50),MAXJ,MAXDST,MXDIST,N,DEVK,
2   D2N,D3N,UCLR,SN,SIGMAX,UCLX,ASUMX,ASUMR,
3   XBAR,R,NDELET,J,KOUT(7),SX(30),AXBAR(200),AR(200),
4   JSTAT(200),TIME(50),ONEOUT,MJ
REAL LCLX,LCLR

```

```

C   CHECK FOR CONTROL
    IF(XBAR.GT.UCLX.OR.XBAR.LT.LCLX)GOTO 10
    IF(R.GT.UCLR.OR.R.LT.LCLR)GOTO 10
    RETURN
10  IF(KOUT(4).EQ.1)WRITE(6,97)IX,XBAR,R,J,UCLX,LCLX,UCLR,LCLR
    IF(J.EQ.1)GOTO 30
    IF(NDELET.EQ.0)RETURN
    IF(IY.EQ.0)RETURN
    IF(PROB(J).EQ.0.)GOTO 21
C   ELIMINATE STATE J
    PROBT=1.-PROB(J)
    PROB(J)=0.
    NBIAS(J)=0
    DO 20 JK=1,MAXJ
20  PROB(JK)=PROB(JK)/PROBT
    MJ=MJ-1
21  ASUMX=ASUMX-XBAR
    ASUMR=ASUMR-R
    IY=IY-1
    AY=IY
    XX=ASUMX/AY
    RR=ASUMR/AY
    CALL XCHART(XX,RR)
    CALL RCHART(RR)

```

```

IF(KOUT(2).EQ.1)WRITE(6,98)UCLX,LCLX,UCLR,LCLR
RETURN
30 ONEOUT=ONEOUT+1.0
RETURN
97 FORMAT(1H0,' OUT OF CONTROL ON SAMPLE',I5,5X,'XBAR=',F8.4,
1 'R=',F8.4,'AND J=',I5/10X,'UCLX=',F8.4,'LCLX=',F8.4,'UCLR=',
2 F8.4,'LCLR=',F8.4)
98 FORMAT(1H0,' CONTROL LIMITS _ _ UCLX=',F10.4,'LCLX=',F10.4,
1 'UCLR=',F10.4,'LCLR=',F10.4)
END

```

```

SUBROUTINE RCHART(RR)
COMMON PROB(50),XMU(50),SIGMA(50),NBIAS(50),PN(400),EX(300),
1 P(50),PEX(300),PTWO(50),MAXJ,MAXDST,MXDIST,N,DEVK,D2N,
2 D3N,UCLR,SN,SIGMAX,UCLX,ASUMX,ASUMR,XBAR,R,NDELET,J,
3 KOUT(7),SX(30),AXBAR(200),AR(200),JSTAT(200),TIME(50),
4 ONEOUT
REAL LCLR,LCLX
SIGMAR=(D3N*RR)/D2N
UCLR=RR+DEVK*SIGMAR
LCLR=RR-DEVK*SIGMAR
IF(LCLR.LT.0.)LCLR=0.
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE XCHART(XX,RR)
COMMON PROB(50),XMU(50),SIGMA(50),NBIAS(50),PN(400),EX(300),P(50)
1 ,PEX(300),PTWO(50),MAXJ,MAXDST,MXDIST,N,DEVK,D2N,D3N,UCLR,SN
2 ,SIGMAX,UCLX,ASUMX,ASUMR,XBAR,R,NDELET,J,KOUT(7),SX(30),
3 AXBAR(200),AR(200),JSTAT(200),TIME(50),ONEOUT
REAL LCLX,LCLR
SIGMAX=RR/(D2N*SN)
UCLX=XX+DEVK*SIGMAX
LCLX=XX-DEVK*SIGMAX
IF(LCLX.LT.0.)LCLX=0.
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE LOOKDN(ARG)
COMMON PROB(50),XMU(50),SIGMA(50),NBIAS(50),PN(400),EX(300),P(50)
1 ,PEX(300),PTWO(50),MAXJ,MAXDST,MXDIST,N,DEVK,D2N,D3N,UCLR,SN
2 ,SIGMAX,UCLX,ASUMX,ASUMR,XBAR,R,NDELET,J,KOUT(7),SX(30),
3 AXBAR(200),AR(200),JSTAT(200),TIME(50),ONEOUT,MJ
REAL LCLX,LCLR

DO 10 I=1,MAXDST
IF(PEX(I)-ARG)20,20,10
20 IX=I
GOTO 30
10 CONTINUE
IX=MAXDST
30 IF(IX.EQ.1)GOTO 31

```

```
IXX=IX-1
ARG=(ARG-PEX(IX))/(PEX(IXX)-PEX(IX))
ARG=ARG*(EX(IXX)-EX(IX))
ARG=PEX(IX)+ARG
RETURN
31 ARG=1.0
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE LOOKUP(ARG)
COMMON PROB(50),XMU(50),SIGMA(50),NBIAS(50),PN(400),EX(300),P(50)
1 ,PEX(300),PTWO(50),MAXJ,MAXDST,MXDIST,N,DEVK,D2N,D3N,UCLR,SN
2 ,SIGMAX,UCLX,ASUMX,ASUMR,XBAR,R,NDELET,J,KOUT(7),SX(30),
3 AXBAR(200),AR(200),JSTAT(200),TIME(50),ONEOUT,MJ
REAL LCLX,LCLR
DO 10 I=1,MAXDST
IF(ARG-EX(I))20,20,10
20 IX=I
GOTO 30
10 CONTINUE
ARG=0.
RETURN
30 IF(IX.EQ.1)GOTO 31
IXX=IX-1
ARG=(ARG-EX(IX))/(EX(IXX)-EX(IX))
ARG=ARG*(PEX(IXX)-PEX(IX))
ARG=PEX(IX)+ARG
31 ARG=1.0
RETURN
END
```

DEFINITION DES VARIABLES UTILISEES DANS LE PROGRAMME

VARIABLE	DEFINITION	MODE DE SIMULATION
1-XDBAR	Valeur espérée de la moyenne du processus.	0 ou valeur espérée
2-XSPEC	Valeur centrale des spécifications.	Valeur désirée.
3-XTOL	Les tolérances.	Valeur désirée.
4-PRODX	La cadence de la production.	Valeur désirée.
5-MAXJ	Nombre d'états.	Valeur désirée.
6-MXDIST	Nombre de points utilisés pour définir la distribution normale utilisée pour les cartes de contrôle.	Dans ce cas:70
7-MAXDST	Nombre de points utilisés pour définir la variabilité du processus.	
8-NEVAL	Pas toujours utilisé.	
9-NDELET	Si elle est égale à 1, les états autres que l'état désiré sont éliminés.	0 ou 1
10-INITNS	Nombre d'échantillons sur lesquels s'est basée l'estimation des limites initiales.	Dépend de l'utilisateur mais doit être égale à 1 si XDBAR est 0.
11-POB(J)	Probabilité d'être à l'état J.	selon l'utilisateur

12-XMU(J)	Valeur espérée de la moyenne du processus à l'état J.	Selon l'utilisateur
13-SIGMA(J)	Ecart-type dans l'état J.	= = = = =
14-NBIAS	Si elle est égale à 1, le système demeure à l'état J jusqu'à ce que un changement soit détecté et éliminé.	0 ou 1
15-PN(I)	Les probabilités cumulées de la loi normale centrée réduite.	
16-EX(I), PEX(I)	Paires de valeurs définissant les probabilités cumulatives de la sortie du processus.	
17-DEVK	Nombre d'écart-types utilisés pour les limites de contrôle.	selon l'utilisateur
18-D2N	Valeur espérée de l'étendue relative pour une taille d'échantillon donnée.	Ces valeurs sont tabulées.
19-D3N	Ecart-type de la distribution des étendues relatives pour une taille d'échantillon donnée.	= = = = =
20-N	Valeur désirée de la taille d'échantillon.	selon l'utilisateur.
21-KOUT(I)	Alternatives pour l'impression des résultats.	= = = = =
I=1	xbarre,R et l'état du système.	0 ou 1
2	Limites de contrôle basées sur un échantillon initial.	= = = = =

I=3	Les résultats d'une simulation.	0 ou 1
4	Résultats lorsque un point hors contrôle est détecté.	= = = = =
5	Valeurs de l'échantillon.	= = = = =
6	Pas utilisée.	
7	Pas utilisée.	

22-COSTD	Coût d'un défaut non détecté.	selon l'utilisateur.

23-COSTE	Coût associé au risque de de première espèce.	= = = = =

24-COSTF	Coût fixe d'inspection par échantillon.	= = = = =

25-COSTI	Coût d'inspection par article.	= = = =

26-SAMPN	Nombre d'échantillons pris par période.	= = = =

27-NSWCH	Définit les variantes du programme.	
=1	Coût espéré recalculé pour un nouvel échantillon.	
=2	Coût espéré recalculé pour de nouveaux coûts et de nouveaux SAMPN.	
=3	Nouvelle exécution à partir de la variable 17(DEVK).	
=4	Nouvelle exécution à partir de la variable 1(XDBAR).	
=5	Stop.	
=6	Commencer la simulation en lisant la variable 28(PERIOD).	
=7	commencer la simulation en lisant la variable 28(PERIOD) et exécuter si toutes les causes (les états autre que l'état J=1) ont été éliminées.	

28-PERIOD	Nombre de périodes de production que l'on désire simuler.	selon l'utilisateur.
29-AR(I)	Les étendues des échantillons pour une période de production initiale.	
30-ASUMR	Somme cummulative des étendues.	
31-ASUMX	Somme cummulative des moyennes des échantillons.	
32-AXBAR(I)	Moyennes des échantillons issus lors de la période de production initiale.	
33-J	Identifie l'état courant du système.	
34-JSTAT(I)	Les états des échantillons pour la période de production initiale.	
35-LCLR	Limite inférieure de contrôle pour R.	
36-LCLX	Limite inférieure de contrôle pour Xbarre.	
37-MJ	Nombre d'états existant à n'importe quel moment de la simulation.	
38-ONEOUT	Nombre d'apparition de l'erreur de première espèce pendant la simulation.	
39-P(J)	Fraciton défectueuse à l'état J.	
40-PTWO(J)	Probabilité de l'erreur de deuxième espèce à l'état J.	
41-R	Etendue de l'échantillon.	
42-RBAR	Valeur espérée de l'étendue.	
43-SIGMAX	Ecart-type de la distribution des moyennes.	
44-SX(I)	Valeurs de l'échantillon pris du processus.	
45-TIME(J)	Nombre d'intervalles d'échantillonnage lorsque le système était dans chaque état J.	
46-UCLR	Limite supérieure de contrôle pour R.	

47-UCLX	Limite supérieure de contrôle pour Xbarre.
48-XBAR	Moyenne de l'échantillon.

VARIABLES LOCALES	DEFINITION
----------------------	------------

50-ACTCST	Côut total durant la simulation
51-ACTFD	Fraction défectueuse réellement simulée
51-AN	Transforme N en réel.
52-ASAMPN	Nombre d'échantillons simulés
53-CINSP	Côut d'inspection+erreur de première espèce
54-CLOSS	Perte due à la production de défectueux
55-DEVL	Nombre d'écart-types de XMU(J) à XLOWR
56-DEVU	= = = = = de XMU(J) à UPPER
57-EXCOST	Côut espéré par période de production
58-FRCDEF	Cumulateur de la fraction défectueuse
59-ICT	Compte le nombre d'échantillons simulés
60-IDEVL	Probabilité(normale)correspondant au point défini par la difference entre LCLX et XMU(J)
61-IDEVU	= = = = = entre UCLX et XMU(J)
62-INS	Sauvegarde la valeur de INITNS
63-KDEV	Probabilité(normale)correspondant au point défini par DEVK
64-NSAMPD	Compte le nombre d'échantillons sur lesquels est basée la redétermination des limites de contrôle
66-PONE	Probabilité de l'erreur de première espèce
67-PORDUC	Nombre d'articles réellement produits durant la simulation

68-PTL Aire(loi normale)comprise entre LCLX et
XMU(J)

69-PTU = = = = = UCLX et XMU(J)

70-SN Racine carée de N

71-UPPER Limite supérieure spécifiée

72-XLOWR Limite inférieure spécifiée

73-XNDEF Nombre de défauts réellement produits
durant la simulation

TABLE A (1)

Probabilités cumulées de la distribution normale

(Aires en dessous de la courbe normale, de $-\infty$ à z).

z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998
z	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.291	3.891	4.417	
$F(z)$	.90	.95	.975	.99	.995	.999	.9995	.99995	.999995	
$2[1 - F(z)]$	.20	.10	.05	.02	.01	.002	.001	.0001	.00001	

TABLE B(1)
Facteurs utiles pour la construction des diagrammes de contrôle

Nombre d'observations dans l'échantillon N	Diagrammes de moyennes			Diagrammes d'écartstypes								Diagrammes d'étepdues					
	Facteurs de limites de contrôle			Facteurs de ligne centrale		Facteurs de limites de contrôle				Facteurs de ligne centrale		Facteurs de limites de contrôle					
	A	A ₁	A ₁	c ₁	1/c ₁	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	d ₁	1/d ₁	d ₁	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	
2	2.121	3.760	1.880	0.5642	1.7725	0	1.843	0	3.267	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267	
3	1.732	2.394	1.023	0.7236	1.3820	0	1.858	0	2.568	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.575	
4	1.500	1.880	0.729	0.7979	1.2533	0	1.808	0	2.266	2.059	0.4857	0.850	0	4.698	0	2.282	
5	1.342	1.596	0.577	0.8407	1.1894	0	1.756	0	2.089	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.115	
6	1.225	1.410	0.483	0.8686	1.1512	0.026	1.711	0.030	1.970	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004	
7	1.134	1.277	0.419	0.8882	1.1259	0.105	1.672	0.118	1.882	2.704	0.3698	0.833	0.205	5.203	0.076	1.924	
8	1.061	1.175	0.373	0.9027	1.1078	0.167	1.638	0.185	1.815	2.847	0.3512	0.820	0.387	5.307	0.136	1.864	
9	1.000	1.094	0.337	0.9139	1.0942	0.219	1.609	0.239	1.761	2.970	0.3367	0.808	0.519	5.394	0.184	1.816	
10	0.949	1.028	0.308	0.9227	1.0837	0.262	1.584	0.284	1.716	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777	
11	0.905	0.973	0.285	0.9300	1.0753	0.299	1.561	0.321	1.679	3.173	0.3152	0.787	0.812	5.534	0.256	1.744	
12	0.866	0.925	0.266	0.9359	1.0684	0.331	1.541	0.354	1.646	3.258	0.3069	0.778	0.924	5.592	0.284	1.716	
13	0.832	0.884	0.249	0.9410	1.0627	0.359	1.523	0.382	1.618	3.336	0.2998	0.770	1.026	5.646	0.308	1.692	
14	0.802	0.848	0.235	0.9453	1.0579	0.384	1.507	0.406	1.594	3.407	0.2935	0.762	1.121	5.693	0.329	1.671	
15	0.775	0.816	0.223	0.9490	1.0537	0.406	1.492	0.428	1.572	3.472	0.2880	0.755	1.207	5.737	0.348	1.652	
16	0.750	0.788	0.212	0.9523	1.0501	0.427	1.478	0.448	1.552	3.532	0.2831	0.749	1.285	5.779	0.364	1.636	
17	0.728	0.762	0.203	0.9551	1.0470	0.445	1.465	0.466	1.534	3.588	0.2787	0.743	1.359	5.817	0.379	1.621	
18	0.707	0.738	0.194	0.9576	1.0442	0.461	1.454	0.482	1.518	3.640	0.2747	0.738	1.426	5.854	0.392	1.608	
19	0.688	0.717	0.187	0.9599	1.0418	0.477	1.443	0.497	1.503	3.689	0.2711	0.733	1.490	5.888	0.404	1.596	
20	0.671	0.697	0.180	0.9619	1.0396	0.491	1.433	0.510	1.490	3.735	0.2677	0.729	1.548	5.922	0.414	1.586	
21	0.655	0.679	0.173	0.9638	1.0376	0.504	1.424	0.523	1.477	3.778	0.2647	0.724	1.606	5.950	0.425	1.575	
22	0.640	0.662	0.167	0.9655	1.0358	0.516	1.415	0.534	1.466	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566	
23	0.626	0.647	0.162	0.9670	1.0342	0.527	1.407	0.545	1.455	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557	
24	0.612	0.632	0.157	0.9684	1.0327	0.538	1.399	0.555	1.445	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.452	1.548	
25	0.600	0.619	0.153	0.9696	1.0313	0.548	1.392	0.565	1.435	3.931	0.2544	0.709	1.804	6.058	0.459	1.541	
au-dessus de 25	$\frac{3}{\sqrt{n}}$	$\frac{3}{\sqrt{n}}$				*	**	*	**								

$$* 1 - \frac{3}{\sqrt{2n}}$$

$$** 1 + \frac{3}{\sqrt{2n}}$$

Diagramme

Ligne centrale

Limites de contrôle à 3 σ

\bar{X}

$\bar{\bar{X}}$

$\bar{\bar{X}} \pm A_1 s_x$ ou
 $\bar{\bar{X}} \pm A_2 R$

R

$\frac{\mu_x}{R}$
 $d_2 \sigma_x$

$\mu_x \pm A \sigma_x$
 $D_3 \bar{R}$ et $D_4 \bar{R}$
 $D_1 \sigma_x$ et $D_2 \sigma_x$

σ_x

s_x

$B_3 s_x$ et $B_4 s_x$
 $B_1 \sigma_x$ et $B_2 \sigma_x$

Définitions : $A = 3/\sqrt{n}$, $A_1 = 3/c_2 \sqrt{n}$, $A_2 = 3/d_2 \sqrt{n}$, $B_1 = c_2 - K$

$$B_2 = c_2 + K, \quad B_3 = 1 - \frac{K}{c_2}, \quad B_4 = 1 + \frac{K}{c_2}$$

$$D_1 = d_2 - 3d_3, \quad D_2 = d_2 + 3d_3$$

$$D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2} \quad \text{et} \quad D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2}, \quad \text{avec} \quad K = 3 \sqrt{\frac{(n-1)}{n}} - c_2^2$$

