

REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUÉE

J. RONCHAUD

Différents aspects du contrôle statistique dans l'industrie automobile

Revue de statistique appliquée, tome 4, n° 1 (1956), p. 9-46

http://www.numdam.org/item?id=RSA_1956__4_1_9_0

© Société française de statistique, 1956, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « *Revue de statistique appliquée* » (<http://www.sfds.asso.fr/publicat/rsa.htm>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

DIFFÉRENTS ASPECTS DU CONTRÔLE STATISTIQUE DANS L'INDUSTRIE AUTOMOBILE

par

J. RONCHAUD

Chef de Contrôle à la Régie Nationale des Usines Renault

M. Ronchaud contrôle aux Usines Renault les ateliers effectuant des fabrications très différentes :

→ d'une part, un très petit nombre de numéros de pièces en grande série;

— d'autre part, une grande diversité de pièces en petite série.

L'exposé de M. Ronchaud porte davantage sur les difficultés rencontrées que sur l'exposé des méthodes classiques qu'il a pu employer.

Dans cet exposé, les divers problèmes ci-après ont été envisagés par M. Ronchaud.

1° Le contrôle de grandes séries et de petites séries.

2° Dans quelles conditions le contrôle statistique est-il économique ?

3° Maintien et amélioration de la qualité.

4° Intéressement du personnel aux résultats du contrôle statistique (pénalités, primes...).

1. - LE CONTRÔLE DE GRANDES SÉRIES ET LE CONTRÔLE DE PETITES SÉRIES

M. RONCHAUD

Pour les ateliers travaillant en grande série, l'échantillonnage s'imposait. J'ai utilisé les tables de Dodge et Romig. Les difficultés rencontrées ont d'abord été d'ordre psychologique. Vous savez que lorsqu'on change la manière de faire d'un individu, il se méfie. C'est encore beaucoup plus vrai lorsqu'il s'agit d'un grand nombre d'individus. J'ai donc rencontré d'abord une résistance de la part de la maîtrise et des ouvriers, à tel point que les délégués sont venus me trouver, me demandant si je voulais changer toutes les choses admises.

Il était difficile évidemment d'introduire brutalement les méthodes statistiques dans ces conditions. J'ai dû faire certaines concessions, ne pas appliquer le contrôle statistique dans toute sa rigueur. Par exemple, la méthode d'échantillonnage d'un lot consiste à prélever une certaine quantité de pièces, à fixer le pourcentage de défectueux toléré, et à rebuter et à faire trier le lot lorsque ce pourcentage est dépassé. C'est ce qui a été fait au début. Mais les contremaîtres et chefs d'équipes ont protesté, me disant "cela ne nous avance guère, si vous nous donnez ainsi le travail que vous vous retirez".

J'ai alors procédé de la manière suivante, tout au moins en ce qui concerne l'usinage : lorsque je refusais un lot, le tri en était effectué moitié par mes soins moitié par les soins de l'atelier (pour la matière, le problème a été plus difficile à résoudre, l'usineur refusant de trier la matière). Je suis ainsi arrivé à faire comprendre au personnel que les méthodes statistiques n'étaient pas plus dures que les anciennes méthodes de contrôle et qu'avec une bonne collaboration, on y gagnait au contraire. Pour les pièces fabriquées en grande série, le premier résultat acquis a été un gain sensible du personnel.

Passons au cas des ateliers fabriquant un grand nombre de petites séries de pièces. Personnellement, je contrôle deux départements : dans l'un il y a 1.500 numéros de pièces, dans l'autre 2.500. La difficulté a été la suivante : dans ces séries, certaines pièces sont importantes, d'autres moins, d'où nécessité selon le cas, de choisir un plan d'échantillonnage plus ou moins strict.

Pour des pièces très importantes (pièces de direction ou pièces de sécurité) si l'on veut, par exemple, obtenir un A O Q L de 0,5% il faut, si j'ai bonne mémoire, prélever toutes les pièces lorsque l'effectif du lot ne dépasse pas 50 (1). Par suite, lorsque je touchais de petites séries de pièces, et en grand nombre, j'en arrivais à contrôler à 100%. Donc, pas de gain.

J'ai donc été amené à classer les pièces et les caractéristiques selon leur importance. Et, il m'arrive d'utiliser, pour une même pièce, deux tables différentes. En particulier, lorsqu'une caractéristique importante est contrôlée à 100%, on peut prendre, pour des caractéristiques beaucoup moins importantes un A O Q L pas trop élevé, c'est-à-dire être assez tolérant.

En conclusion, jusqu'à présent :

- dans les ateliers de grandes séries, je suis arrivé à diminuer sensiblement le personnel.

- dans les ateliers de petites séries, j'ai dû conserver le même personnel mais j'ai obtenu une amélioration de la qualité.

Les pièces que je fabrique sont livrées à des ateliers clients de la Régie et jusqu'à présent, les difficultés de montage ont été pratiquement nulles.

M. MALINET

Quels étaient les buts essentiels que vous poursuiviez lorsque vous avez commencé à mettre en place le contrôle statistique ?

M. RONCHAUD

Le premier but était l'économie de personnel.

M. MALINET

Cette économie n'a donc été possible, en fait, que dans le cas de très grandes séries ?

M. RONCHAUD

Oui, là où les lots arrivant au contrôle sont très importants, et permettent un prélèvement forcément économique.

M. MALINET

Qu'appellez-vous petites séries ?

M. RONCHAUD

Des séries de 20, 30, 50 pièces. Pour ces séries, il n'est pas possible d'économiser de personnel si l'on veut garantir une qualité égale à ce qu'on faisait auparavant.

M. MALINET

Est-ce que ceci est une opinion générale ?

Monsieur Hibon, vous avez, je crois, des problèmes identiques chez vous. Comment avez-vous procédé pour économiser du personnel dans les ateliers de petites séries ?

M. Hibon

J'ai ce problème d'une façon courante, et, évidemment, sans arriver à la perfection que l'on peut obtenir avec les grandes séries, on peut approcher tout de même de très près la solution du problème. Il y a d'ailleurs dans les tables qui

(1) En réalité, pour A O Q L = 0,5 % les tables de Dodge et Romig indiquent le prélèvement de toutes les pièces lorsque l'effectif du lot ne dépasse pas 30 et un prélèvement de 30 pièces lorsque l'effectif du lot est compris entre 30 et 50.

nous ont été remises par Monsieur Colin, les tables Z qui s'appliquent tout particulièrement à ce problème. Evidemment c'est surtout valable si les défauts de la série sont des défauts systématiques, autrement dit, si ce ne sont pas des accidents sur une pièce (une pièce cassée, par exemple, accident qui ne se reproduit pas fréquemment et qui n'est pas prévisible). Si ce sont des défauts systématiques, même sur une petite série, il y a toutes les chances que presque toutes les pièces de la série comportent ces défauts et que, par conséquent, avec un prélèvement relativement faible, on arrive tout de même à une sécurité très importante. Par exemple chez nous, il s'agit de séries de lampes de projection qui sont commandées souvent en très petit nombre : souvent de 20 à 300 pour préciser. Et malgré tout, nous faisons un contrôle statistique avant livraison, avant l'emballage. Dans la plupart des cas, cela donne des résultats, autrement dit, le défaut constaté sur les pièces prélevées (10 à 20 pièces sur 50, proportion importante, mais donnant néanmoins une économie réelle de contrôle) se trouve presque toujours sur les 30 autres, ou du moins, sur une très grande proportion des 30 autres.

M. MALINET

Est-ce que dans l'industrie mécanique ou dans d'autres industries on peut employer de même de petits prélèvements ?

M. RONCHAUD

Il arrive que parmi les pièces non prélevées, une ou deux présentent un défaut non systématique. Prenons par exemple, le cas d'un support de main élastique, pièce qui est soudée sur un châssis. Si je n'ai pas pris la précaution de regarder les caractéristiques essentielles à 100%, je peux laisser passer une pièce défectueuse. Cette pièce sera soudée sur le châssis et partira au montage. On s'apercevra à ce moment-là qu'elle est mauvaise et le prix de retouche : démontage de la pièce, remontage, etc, coûtera 10 fois le prix de mon contrôle à 100%.

J'ai eu l'occasion de faire l'expérience et le cas d'une pièce défectueuse (pour une caractéristique importante) n'est pas rare.

M. MALINET

Il semble donc y avoir deux cas possibles :

- Petits lots avec défauts systématiques s'accommodant très bien du contrôle par prélèvements.
- Défauts non systématiques, auquel cas on ne peut espérer obtenir simultanément un gain d'argent et une économie du personnel du contrôle.

M. BAZIN

Je suis de l'avis de Monsieur Ronchaud lorsqu'il dit que, dans le cas où les frais de retouche excèdent de beaucoup les frais de contrôle, il vaut mieux faire du contrôle total que du contrôle statistique : si pour une caractéristique de votre produit, vous avez besoin d'une sécurité absolue, je crois normal de considérer que seul un contrôle à 100% bien fait vous donnera la sécurité totale.

M. RONCHAUD

Pour de petites séries.

M. BAZIN

Même dans le cas de grandes séries. Je prends le cas de tubes condenseurs que nous fabriquons. Ils sont fabriqués en grand nombre, 1.000, 2.000, quelquefois 18.000. Il arrive que l'on monte 18.000 tubes dans un échangeur. Un défaut sur un seul tube oblige à démonter tout l'échangeur et à interrompre le fonctionnement de l'installation. Si c'est une Centrale électrique dont on interrompt le fonctionnement pendant trois semaines, il est évident que les frais d'arrêt de la machine et les indemnités que l'on peut vous réclamer sont infiniment supérieurs aux frais du contrôle total. Je considère que, dans ces conditions, il serait absurde de faire du contrôle statistique sur la qualité interne des tubes condenseurs. Pour l'épaisseur c'est différent. Un tube doit être livré avec une épaisseur minima. Il est bien évident que s'il y a un tube sur 300 qui fait 1/100 de moins que l'épaisseur minima, ce n'est pas ça qui mettra l'échangeur en avarie instantanée. Donc là, on peut faire avec bénéfice du contrôle statistique. Par ailleurs, je ne suis pas d'accord avec M. Hibon qui parle de contrôle statistique sur défauts systématiques.

Si tous les éléments du lot présentent un défaut, je ne vois pas l'intérêt de faire un échantillonnage et d'en prélever plusieurs. Il suffit d'en prendre un seul.

M. HIBON

Ce n'est pas évident, il peut y avoir une partie seulement du lot, généralement très importante, qui présente ce défaut. Prenons par exemple une pompe à vide qui se dérègle (dans notre Compagnie, nous vidons des lampes). Nous aurons une atmosphère mauvaise pour les lampes de tout le lot, mais il se peut que les premières lampes soient tout de même bonnes.

M. BAZIN

A ce moment-là, vous faites du contrôle aux attributs classique.

Vous avez toujours un certain pourcentage de chances de laisser passer un pourcentage donné d'éléments défectueux. Mais, avez-vous la possibilité de faire des mesures de vide sur vos lampes?

M. HIBON

Oui

M. BAZIN

Donc, vous pouvez faire du contrôle acceptation-refus, par mesures et obtenir une efficacité très supérieure au contrôle par attributs.

M. HIBON

Pratiquement, on a des moyens de contrôle plus rapides que les mesures : effluves avec des flux haute fréquence, permettant de sélectionner extrêmement rapidement ce qui est bon et ce qui ne l'est pas.

M. BAZIN

D'accord avec vous dans ces conditions-là pour faire du contrôle aux attributs.

M. MALINET

Je crois qu'on peut résumer de la façon suivante : si l'on veut économiser du personnel en remplaçant un contrôle à 100% par un contrôle par prélèvements on a peu de chances de réussir sur de petites séries, sauf toutefois si les défauts sont systématiques. Enfin, il n'est pas intéressant de remplacer le contrôle à 100% par du contrôle sur de petits échantillons, ou sur échantillon tout court, si les conséquences des défauts sont très graves, très coûteuses.

2. - DANS QUELLES CONDITIONS LE CONTROLE STATISTIQUE EST-IL ÉCONOMIQUE

M. COURTILLOT

Je ne crois pas que la question à considérer soit uniquement l'économie de personnel. C'est, comme l'a dit M. Bazin, le coût de répercussion par rapport au coût de contrôle. On peut penser qu'on pourra baser dans votre société, d'ici quelques temps les plans d'échantillonnage sur le rapport :

$$\frac{\text{Coût de contrôle}}{\text{Coût de répercussion}}$$

On peut démontrer en effet que, à partir du moment où le pourcentage de défectueux moyen de la production est supérieur au rapport ci-dessus, le contrôle statistique ne paie plus.

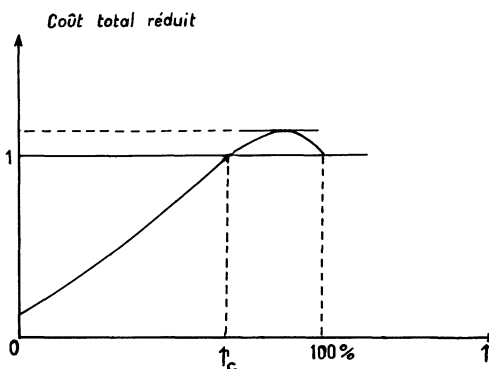
Si on fait un graphique avec, en abscisse le pourcentage p de défectueux présenté dans les lots, et en ordonnée le coût total réduit = $\frac{\text{coût total}}{\text{coût contrôle}} 100\%$ (coût total = coût de contrôle + coût du tri, quand il doit avoir lieu, + coût de répercussion en clientèle, quand on livre une pièce non conforme), on obtient une courbe qui a l'allure suivante :

On atteint la valeur 1 pour p = 100% (toutes les pièces mauvaises). En effet, dans ce cas on refuse tous les lots.

Pour $p = 0$ (pas de pièces mauvaises) on est obligé de faire quand même un échantillonnage, parce qu'on ne sait pas a priori qu'il n'y a pas de pièces mauvaises.

Et puis il y a ce que j'appelle le "point critique" dont l'abscisse $p = \frac{c}{r}$ ($c =$ coût de contrôle de la pièce; $r =$ coût de répercussion).

A partir de la valeur $p = \frac{c}{r}$ le contrôle statistique n'est pas rentable.



Le choix entre le contrôle statistique et le contrôle à 100% se réduit maintenant, pour moi, au calcul de $\frac{c}{r}$. On a toutes les données pour le calculer. On connaît le coût de contrôle d'une pièce : on sait le temps nécessaire au contrôle et on connaît le prix de la minute; on peut même y incorporer l'amortissement du matériel de contrôle. Le coût de répercussion est un coût moyen; on demande au service de garantie : "si cette pièce est défectueuse en clientèle, à combien va s'élever la facture". Evidemment, ce n'est pas une donnée mathématique, mais c'est quand même une donnée assez précise. On inclut de plus le coût de retouche fait à l'usine même.

Je vous ai d'ailleurs fait une remarque un peu prématurément, car c'est un sujet que j'ai soumis à Monsieur Darmois comme sujet de thèse. Les résultats en seront diffusés dès que mathèse aura été soutenue. On peut dire néanmoins que l'on obtient un coût de contrôle ayant l'allure indiquée.

Pour baser mes plans de contrôle (échantillonnage simple) je détermine maintenant les deux paramètres n (taille de l'échantillon) et C (seuil de refus), en imposant les deux conditions suivantes :

1° - que, dans le cas le plus défavorable, le coût de contrôle ne dépasse pas le coût d'un contrôle à 100% de plus d'une quantité ρ_0 faible (de l'ordre de 5 à 10%).

2° - que pour la qualité moyenne fournie (connue par les échantillonnages antérieurs) le coût de contrôle total soit minimum.

En conclusion :

- lorsque le pourcentage défectueux moyen de la fabrication se situe à gauche de $\frac{c}{r}$, le contrôle statistique marche.

- lorsqu'il se situe à droite, au contraire, il n'y a pas intérêt à faire un contrôle statistique. En effet, d'une part, il faudra trier à 100% la plupart des lots (qui seront refusés), et d'autre part, bien que pour p assez grand la probabilité d'acceptation soit faible, on risque néanmoins d'accepter un lot. Si ce lot est important et comprend des articles dont le coût de répercussion est élevé on a une grosse dépense : supposez par exemple qu'on livre un vilebrequin non correct sur une voiture.

3. - MAINTIEN ET AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ

M. MALINET

Nous pourrions examiner les deux points suivants :

1° - lorsqu'on installe un contrôle statistique, souhaite-t-on en général maintenir la qualité ou l'améliorer,

2° - Si l'on souhaite l'améliorer, cela peut-il être obtenu uniquement par le contrôle statistique?

Je pense que de nombreux auditeurs ont des idées là-dessus.

Pour vous, M. Blin, quel est votre but essentiel en installant le contrôle statistique? Est-ce de maintenir la qualité ou de l'améliorer, ou d'économiser du personnel avec une qualité peut-être moins bonne, si cette qualité suffit à la clientèle?

M. BLIN

Deux cas sont à envisager :

- S'il s'agit d'un contrôle réception, j'ai intérêt à maintenir la qualité et à diminuer le personnel.

- S'il s'agit d'un contrôle en cours, j'ai intérêt à améliorer la qualité.

Je vous parlerai d'ailleurs demain d'un contrôle en cours dans lequel j'ai pu diminuer le personnel tout en améliorant la qualité. Néanmoins, il me semble que dans le contrôle en cours, la question essentielle est l'amélioration de la qualité.

M. MALINET

Vous parlez évidemment de machines travaillant en grandes séries.

M. BLIN

Pas forcément. Je parle de séries pouvant descendre jusqu'à 200 pièces; pour une série, elles sont faites avec la même machine, mais dans une année, la même pièce peut être produite en plusieurs séries, sur différentes machines, Ces machines sont du même type mais de variabilité différente.

M. MALINET

Lorsqu'on installe un contrôle statistique, peut-on systématiquement améliorer la qualité? Comment chiffre-t-on le niveau de qualité à atteindre?

M. BAZIN

C'est une question de tolérance.

M. MALINET

Vous prenez alors comme critère la tolérance du bureau d'études.

M. BAZIN

La tolérance du bureau d'études ou celle du client. Tout dépend de ce que l'on veut faire.

Si vous voulez, en cours de fabrication, vous assurer que la machine contrôlée sort des produits toujours identiques à eux-mêmes en moyenne - donc que la moyenne des échantillons prélevés reste statistiquement identique à elle-même, c'est-à-dire reste dans les limites de contrôle calculées à ± 3 écarts-types de la moyenne générale - alors la machine est considérée comme déréglée dès qu'un point sort des limites de contrôle. Mais, si les tolérances sont relativement larges, ce dérèglement n'entraîne pas forcément la production d'éléments hors tolérance. Par contre, si vous utilisez des limites de contrôle reliées aux tolérances, vous admettez tous les dérèglages de la machine tant qu'il n'y a pas d'éléments hors tolérances. C'est plus rationnel.

Maintenant, si cela fait mauvais effet, vis-à-vis du client, d'avoir dans un lot des pièces qui, tout en étant dans les tolérances, diffèrent entre elles d'une quantité importante, vous avez intérêt à dire au client : "Il faut imposer des tolérances plus serrées". Le resserrement des tolérances peut être considéré, à mon avis, comme une amélioration de la qualité.

Si par contre, le client à qui vous livrez des tubes avec comme tolérances sur l'épaisseur $\pm 10\%$ trouve sans importance d'avoir dans le même lot un tube qui fait + 9% et un autre qui fait - 9%, il n'y a pas intérêt à resserrer la tolérance. Utiliser alors en cours de fabrication des limites de contrôle à ± 3 écarts-types de la moyenne vous amènerait à changer d'outillage et de réglage très souvent et dans des cas où les tubes seraient bons en ce qui concerne la tolérance du client. Vous amélioreriez la qualité mais cela coûterait assez cher, et sans raison valable, le client ne réclamant pas cette amélioration.

M. MALINET

Donc, en instituant le contrôle statistique, vous cherchez à gagner sur le prix de revient du contrôle plutôt qu'à améliorer la qualité?

M. BAZIN

On cherche d'abord à s'assurer au meilleur prix possible, de la correction des outillages et de la bonne tenue des tolérances. On s'est aperçu qu'avec le contrôle statistique on avait une plus grande efficacité pour le contrôle des calibrages. Nous avons donc amélioré la qualité.

Maintenant, pour l'aspect économique, M. Ronchaud disait tout à l'heure qu'il avait gagné du personnel. Tout dépend de la façon dont se présente le problème. Si le contrôle était effectué auparavant dans un atelier d'une manière insuffisante, en utilisant le contrôle statistique vous avez introduit, en général, du personnel supplémentaire; mais vous avez fait du contrôle là où il n'y en avait pratiquement pas. D'où amélioration de qualité et dépense de personnel. Vous avez même peut-être augmenté la proportion des rebuts, puisqu'on est plus sévère. Donc voir l'aspect économique du contrôle sans voir l'aspect amélioration de la qualité, c'est ne voir qu'un des aspects du problème.

Je crois que pour l'amélioration de la qualité tout dépend de la tolérance que l'on se fixe. Il est bien évident que la qualité optima que l'on peut obtenir est $\pm 3,09 \sigma$ autour de la moyenne. Si l'on veut une qualité meilleure, il faut prendre une machine ayant une variabilité plus faible. Il faut diminuer σ . Si l'on considère que l'on peut très bien tenir une tolérance avec la machine telle qu'elle est et qu'on peut même laisser la moyenne se promener très au large dans l'intervalle de tolérance, c'est-à-dire adopter des limites modifiées, reliées aux tolérances du client, à partir de ce moment-là, la question de l'amélioration de qualité est très secondaire.

M. MALINET

Est-ce que je serai un bon interprète de votre pensée en résumant de la façon suivante : vous considérez a priori que la tolérance du dessin est parfois correcte.

M. BAZIN

Je parle des tolérances du client plutôt que de celles du bureau de dessin, car je crois que ces dernières sont toujours sujettes à révision. Ou bien elles sont très larges, et l'on risque d'avoir une qualité finale assez médiocre; ou au contraire le bureau de dessin a voulu être très exigeant sur la qualité et a fixé des tolérances trop serrées qui peuvent être intenable parce qu'il n'a pas la pratique de la variabilité des machines. Ce qui fait que quand je dis qualité, je pense surtout aux tolérances du client. Si les tolérances imposées par le client sont très larges, la question d'amélioration de qualité ne présente pas d'intérêt. On les tient bien, on les tient facilement, on aura plus d'efficacité dans le contrôle, c'est tout.

M. MALINET

La tâche que vous vous êtes assignée était donc de faire rentrer dans cette tolérance qu'exigeaient les clients toutes les pièces -ou tout au moins le plus possible-. Le contrôle statistique vous y a-t-il aidé?

M. BAZIN

Oui : amélioration d'efficacité sur les contrôles existant, et sans augmentation prohibitive du coût de revient.

M. MALINET

Est-ce qu'il vous y a aidé essentiellement par le contrôle en cours de fabrication, ou en fin de fabrication?

M. BAZIN

Par le contrôle en cours de fabrication. Le contrôle final m'a paru très précieux parce que, en cours de fabrication, vous n'arrivez jamais à convaincre les gens que leur travail est mauvais : si vous leur montrez un échantillon de 5 pièces, que vous pointez sur une carte de contrôle, et que le point tombe en dehors des limites tracées, ils n'y comprennent rien. Mais si vous leur montrez d'une part

une carte de contrôle où les points sont sortis des limites tracées, et d'autre part la fiche de contrôle du lot à la finition, dans laquelle, après triage on a trouvé, par exemple, 30% d'éléments hors tolérances, en leur disant : "Vous voyez, je vous avais bien dit, d'après la carte de contrôle, qu'il y avait des éléments hors tolérances", ils disent : "Il y a du vrai là-dedans".

Psychologiquement, le rapprochement du contrôle final et du contrôle en cours permet de convaincre.

Mais du point de vue amélioration de la qualité, amélioration des calibrages, travail des machines, l'élément d'action rapide et efficace est pour moi la carte de contrôle et je l'ai développée le plus possible.

Par contre, la sanction se fait au contrôle final. On ne rebute pas les lots en cours de fabrication. Lorsqu'un point sort des limites, on signale à l'étireur sur le banc que son outillage est incorrect. S'il est de bonne composition, il le change, sinon il ne le change pas. La sanction c'est qu'au contrôle final, on trouvera un lot avec 35% d'éléments hors tolérances, que ce lot sera rebuté, trié, et que la fiche de tri ira sous les yeux du chef d'équipe responsable de la machine. On lui dira alors : "vous aviez tous les éléments voulus pour redresser la situation et vous ne l'avez pas fait".

4. - INTERESSEMENT DU PERSONNEL AUX RÉSULTATS DU CONTROLE STATISTIQUE

M. CAVE

Est-ce que vous pénalisez les gens qui n'ont pas appliqué les méthodes de contrôle statistique?

M. BAZIN

Dans la mesure où l'atelier dépend de moi, j'ai adopté le système de ne pas payer les éléments hors tolérances. La prime au rendement est calculée sur les éléments considérés comme bons. Si le lot passe le contrôle final on admet qu'il est entièrement bon. Si le lot est rebuté, il est trié à 100% et tous les éléments hors tolérances sont déduits pour le calcul de la prime de l'ouvrier qui a travaillé.

M. HIBON

Votre pénalité est donc de ne pas payer les pièces non conformes.

M. MALINET

La pénalité envisagée par M. Ronchaud était de faire trier au moins la moitié des pièces par l'atelier. Nous avons donc au moins deux écoles. Quel est alors le système de pénalité le plus usuel?

M. HIBON

Il y a une troisième école appliquée chez nous. Il existe une prime de qualité basée sur un score; le score est calculé d'après les prélèvements statistiques, en donnant une pénalité différente, selon la gravité des échelles. Cette prime est appliquée à toute la fabrication de la pièce contrôlée, elle est dégressive selon le score. Si l'on a un score très élevé (qualité excellente), la prime est totale. Si l'on a un score très bas ou nul, la prime devient nulle. Maintenant, si la qualité est si mauvaise que le lot ne peut être livré au client sans recontrôle, il est rendu à l'atelier qui est chargé d'en effectuer le contrôle à nouveau. A ce moment, nous ne pénalisons pas l'atelier : sa pénalité c'est de recontrôler. Nous recommençons notre prélèvement statistique sur ce lot recontrôlé et nous appliquons la prime sur ce lot recontrôlé. C'est assez souple et cela donne de très bons résultats.

M. MALINET

La prime est donc basée sur le contrôle fin de chaîne et non sur le contrôle en cours.

M. HIBON

On distingue les déchets extrêmement graves ne permettant pratiquement pas l'utilisation de la pièce, cotés 50 mauvais points; après cela il y a le défaut qui n'entraîne peut-être pas à tous coups un déchet mais qui a cependant une grande

chance d'être une gêne pour le montage ultérieur : coté 25. Ensuite, il y a le gros défaut d'aspect (il s'agit de lampes électriques, mais pour tout autre produit intermédiaire on peut faire de même) coté 10; enfin, le petit défaut d'aspect léger est coté 1. Le prélèvement statistique ayant eu lieu, on range les défauts dans 4 colonnes (50, 25, 10 et 1); on fait le total pondéré, on obtient un certain nombre de mauvais points correspondant au prélèvement. Mettons que vous ayez prélevé 500 pièces et que vous ayez trouvé 65 mauvais points, soit 13 mauvais points pour 100, vous soustrayez 13 de 1.000 (1.000 correspond à la qualité optima); vous avez un score de 987. Le barème est établi suivant le score trouvé.

M. MALINET

Ce barème est-il directement proportionnel à ce score ?

M. HIBON

Non; on peut, par exemple établir le barème suivant, s'appliquant à toute la chaîne de fabrication (5 à 6 postes), quel que soit le rôle des personnes dans cette chaîne et quels que soient leurs appointements - cependant, le mécanicien a droit à un coefficient un peu plus élevé parce qu'il est responsable de la fabrication de sa chaîne.

Barème : 980 à 1.000 = 10 fr l'heure
 960 à 980 = 8 fr "

etc ...

M. MALINET

Cette prime est calculée sur quelle période ?

M. HIBON

Sur ce qu'on appelle une équipe, autrement dit une journée en principe. On fait le calcul tous les jours; s'il y a 2 équipes, deux fois par jour. La super-contrôleuse classe les déchets d'après le barème.

M. MALINET

Du point de vue psychologique, y-a-t-il des difficultés ?

M. HIBON

Très peu. Tout d'abord, on l'a introduit sous forme d'une sur-prime, par conséquent, les gens ont été contents au début. Maintenant, c'est rentré dans les mœurs : on a tendance à considérer que cela fait partie du salaire. Quand la prime tombe, on est mécontent après le contrôleur et on essaie par des influences plus ou moins régulières de ne pas lui faire compter tel ou tel déchet. Généralement, il ne se laisse pas faire, il proteste. Un petit point que je dois souligner : la contrôleuse (les contrôleuses en fin de chaîne ne font pas partie du super-contrôle et n'appliquent pas le contrôle statistique) trie les pièces simplement à la sortie de la machine. Cette contrôleuse est payée exactement comme ses collègues de la fabrication et de l'ensemble de la chaîne, ce qui permet de dire qu'une contrôleuse est une ouvrière de chaîne et que le contrôle de sortie de la machine est une opération de fabrication. Cette contrôleuse a pour consigne d'éliminer plutôt plus de pièces qu'il n'est nécessaire et c'est le super-contrôle qui repasse derrière. Il retrié les pièces éliminées en récupérant ce qui est récupérable.

M. MALINET

Ces pièces qui sont ainsi vérifiées par la super-contrôleuse ne sont pas considérées comme des défaillances de la contrôleuse ?

M. HIBON

Pas du tout. On estime qu'elle a bien fait son travail. Elle a éliminé une pièce un peu douteuse.

M. MALINET

Au fond, quelles que soient les difficultés, seule l'expérience peut dire si ce système est viable.

M. HIBON

Pour nous cela fait deux ans d'expérience. Je l'ai mis en route peu après mon stage ici. Je ne dis pas qu'il n'y a pas de difficultés mais, dans l'ensemble, ça marche.

M. MALINET

C'est effectivement intéressant. Y-a-t-il d'autres applications de ce genre?

M. CAVE

Il y a à peu près 4 ou 5 ans que dans un atelier de décolletage des Fabrications de l'Armement existe un système de ce genre.

M. HIBON

Au début, c'était la contrôleuse qui supportait le plus de responsabilité. C'était désastreux. Si l'on vous passe 20% de déchets à éliminer, aussi bon contrôleur que vous soyez, vous en arrêterez 16 et vous en laisserez passer 4 (c'est à peu près la moyenne). Si l'on en passe 2% au lieu de 20% vous les arrêterez tous. La contrôleuse n'est donc pas seule responsable. Ce qu'il faut, c'est que tout le monde soit responsable.

M. MALINET

Monsieur Cavé, avez-vous également basé cette prime sur un contrôle fin de chaîne?

M. CAVE

Oui; mais, en plus, dans certains cas, il y a un super-contrôle qui vérifie que le prélèvement se trouve dans les limites de confiance. Si l'on est dans les limites de confiance pour la proportion de pièces mauvaises (à $\pm 3 \sigma$ à peu près), on ne dit rien; mais si l'on a une proportion de pièces mauvaises trop grande, c'est alors le contrôle qui a des heures en moins pour sa paye.

M. MALINET

Il y a certainement des difficultés?

M. CAVE

Eh bien non. Il faut dire que l'on est parti avec 13% de pièces mauvaises, alors il n'y a eu aucune difficulté. On voyait que ça ne marchait pas. Je pense que n'importe quel système que l'on aurait utilisé aurait été accepté. Tout le monde se rendait compte depuis le dernier manœuvre jusqu'à la Direction qu'il fallait changer quelque chose.

M. MALINET

L'accoutumance à laquelle faisait allusion M. Hibon et qui finit par émusser un petit peu l'acuité de cette prime, vous gêne-t-elle également?

M. CAVE

Non.

M. HIBON

Il ne faut pas parler d'accoutumance parce que cela voudrait dire que les gens ne font plus attention à la prime. Au contraire, ils y font très attention puisque cela touche leur salaire. Ils réagissent violemment quand ils ne l'ont pas. Autrement dit, si le contrôle reste honnête, intègre, on y gagne, car les ouvriers sont intéressés par ce stimulant.

M. CAVE

Finalement, on y gagne parce que le personnel est davantage payé et qu'il y a beaucoup moins de pièces mauvaises.

M. ORY

Quelle est la position de M. Hibon lorsque la défectuosité constatée n'est pas due à une défaillance du personnel, ni de la machine, mais, par exemple, à une matière non conforme?

M. HIBON

Là, il n'y a pas de question. Lorsqu'une machine n'a manifestement pas marché pour des raisons absolument extérieures au personnel qui est sur cette machine, on ne leur enlève pas leur prime.

M. CAVE

Ce n'est pas une prime moyenne que l'on met chez nous, c'est la moyenne des primes. Une dernière chose sur ce système : il y a quelquefois des discussions lorsque les coefficients ont été mal calculés - et c'est arrivé.

M. SANDJIVY

Il y a un autre aspect du contrôle de la qualité : l'étude, par le contrôle statistique d'une meilleure adaptation de l'ouvrier à la machine. C'est ce que j'ai eu à faire aux Câbles de Lyon.

Etant donné deux ouvrières travaillant sur une même machine et qui produisaient des circuits électriques de qualité différente, il fallait pouvoir adapter l'ouvrière la mieux qualifiée sur une machine donnée. Je crois qu'il faut aussi considérer cet aspect du contrôle statistique au point de vue amélioration de la qualité.

5. - RÉCAPITULATION DES RÉSULTATS D'UN CONTRÔLE STATISTIQUE

M. MALINET

Je crois qu'il faudrait revenir au dernier point qu'a touché M. Ronchaud : l'enregistrement systématique des résultats de contrôle et leur exploitation. M. Ronchaud a indiqué que c'était pour lui une façon, et peut-être même la plus efficace, d'améliorer la qualité. Est-ce que les résultats de contrôle sont exploités systématiquement, non pas sur l'heure, mais avec 8, 15 jours de retard dans beaucoup d'industries, pour améliorer les défauts.

M. MARTIN (Usine Chaussou)

Tous les mois dans nos ateliers, nous faisons du contrôle de lots constitués, exactement comme du contrôle réception. Et pour le rapport mensuel (j'ai instauré cela à l'usine depuis environ 3 mois) nous calculons dans chaque atelier l'estimation de la qualité moyenne à partir du nombre de défectueux moyens présentés : d'une part, le nombre moyen de défectueux présentés (en pourcentage); d'autre part, le pourcentage moyen de lots défectueux. Soit deux choses différentes assez ennuyeuses à calculer. Mais depuis deux mois seulement que ça fonctionne, on a trouvé une amélioration très nette de la qualité.

M. MALINET

L'origine de cette amélioration est-elle psychologique?

M. MARTIN

Elle est presque uniquement psychologique. Elle tient aussi à une autre raison : du temps du contrôle ordinaire - c'est-à-dire du contrôle à 100% pour certaines cotes, à 10% pour d'autres cotes - la fabrication donnait au contrôle tout ce qu'elle produisait; à lui de faire tout le nécessaire pour contrôler et trier. Tandis que maintenant lorsque le contrôle à 100% est possible sur les machines, nous retournons à la fabrication des lots défectueux. La fabrication fait son tri, nous renvoie les lots et s'ils sont encore mauvais on les lui retourne. Il y a là un effet psychologique très fort et une amélioration très nette de la qualité parce que la fabrication ne tient pas du tout à faire un tri.

M. MALINET

C'est-à-dire que l'atelier est responsable de la qualité et qu'il doit y avoir éventuellement un contrôle à 100% par l'atelier lui-même. Le contrôle serait alors un organisme ne travaillant que par sondage à sa propre initiative.

M. MARTIN

Oui, le contrôle à ce moment là faisant seulement du contrôle et non plus du tri.

M. MALINET

Est-ce que ce n'est pas un déplacement des frais de contrôle sans une diminution des frais de contrôle?

M. MARTIN

Au début très certainement. Mais cela peut entraîner une diminution parce que nous n'appliquons ce processus que lorsqu'il y a un temps de self-contrôle à 100% prévu sur la gamme de fabrication. Donc, ce self-contrôle aurait dû être fait par l'ouvrier et a été mal fait.

M. BAZIN

Vous parliez tout à l'heure de l'action sur la qualité par regroupement des résultats du contrôle statistique. Evidemment le contrôle final et le renvoi des pièces à l'atelier est une solution efficace. Mais je crois que pour l'action sur la qualité, l'effet le plus efficace à longue échéance est le regroupement des mesures sous forme d'histogramme, ou même de graphiques récapitulatifs de la qualité qu'on soumet à la direction. Le meilleur moyen de renseignements pour un Directeur d'usine c'est de voir un histogramme, de voir d'un premier coup d'oeil qu'il y a 25% des éléments hors tolérances. Ça lui permet de faire appeler l'ingénieur de l'atelier responsable et de lui faire les observations nécessaires. Je crois que ce regroupement des résultats, plus encore même que le contrôle final est un élément d'action à longue échéance sur la qualité, mais à l'échelon Direction. Je crois en fait qu'il y a trois échelons d'action sur la qualité;

1° - Echelon atelier et machines : carte de contrôle,

2° - Echelon chef d'atelier et responsable de fabrication : rebuts au contrôle final; lots renvoyés,

3° - Echelon direction : histogrammes et graphiques récapitulatifs de qualité.

Les résultats à porter sur les histogrammes sont uniquement des résultats obtenus au contrôle en cours de fabrication, de manière à ne pas risquer de porter deux fois sur le même histogramme un tube qui aurait été mesuré une fois en cours de fabrication et une autre fois au contrôle final. Les lectures en cours de fabrication sont enregistrées au fur et à mesure et lorsqu'on a un nombre limité de mesures (300, par exemple), on arrête l'imprimé, on construit l'histogramme, on calcule sur l'histogramme la moyenne et la dispersion (à condition qu'il soit acceptablement gaussien).

II

DÉTERMINATION D'UN MODE DE PRÉLÈVEMENT POUR CONTROLER LA QUALITÉ FONDERIE D'APRÈS LES RÉSULTATS DE L'USINAGE EN MÉCANIQUE

par

M. COURTILLOT

Ingénieur aux Usines Peugeot

La méthode exposée est utilisée par M. COURTILLOT pour contrôler la « santé » du métal venant de la fonderie (contrôle différé).

Au cours de la discussion, diverses opinions ont été présentées sur le contrôle différé.

On a examiné plus particulièrement les points suivants :

- p.21* 1° Possibilité du contrôle statistique en cours de fabrication, en fonderie;
2° Recherche des facteurs qui ont une influence sur la qualité.

EXPOSÉ DE M. COURTILLOT

Les pièces qui viennent de fonderie doivent être correctes à deux points de vue : au point de vue dimensionnel, et au point de vue "santé".

Du point de vue dimensionnel, la question n'est pas très difficile à résoudre. On peut employer des échantillonnages classiques (exposés précédemment par M. Ronchaud), par exemple les méthodes de Dodge et Romig.

Par contre, le contrôle de santé du métal est un contrôle différé. Il ne peut pas avoir lieu en fonderie instantanément après la coulée, à la sortie du cubilot. Il a lieu en mécanique quand on usine les pièces. On relève à ce moment-là des défauts de santé qui sont des gravelures de différents ordres, suivant le jargon des fondeurs. Ce contrôle, qui sert à guider les fabricants pour la marche du cubilot, ne peut pas être fait à 100% à la sortie du cubilot. Ceci nécessiterait en effet d'évacuer immédiatement la production en mécanique et de l'usiner tout de suite, ce qui prendrait déjà pas mal de temps; cela supposerait que la mécanique n'accepte aucun stock tampon. Il y a aussi une autre raison : la production du cubilot a bien lieu d'une façon continue pour certaines pièces, mais pour de petites pièces, on travaille en général par convoi. Au début du mois, on fait le convoi de la totalité du mois. Il n'est donc pas question d'usiner immédiatement ce convoi.

Le contrôle ne pouvant donc pas être fait à 100%, on doit se rabattre sur un contrôle statistique. Quelle méthode employer? L'idée qui vient à l'esprit, c'est de faire un contrôle par échantillonnage par la méthode de Dodge et Romig; mais en fait, ce n'est pas exactement d'un contrôle de lot qu'il s'agit, mais d'un contrôle de conduite de cubilot. Cela se rapproche d'un contrôle statistique sur machine.

Voici comment j'ai été amené à prendre le problème :

Je suis parti, pour calculer le prélèvement à faire, des abaques de M. Cavé, distribués au cours du stage.

Je vous en rappelle sommairement le fonctionnement : ce qu'on demande à un contrôle, c'est d'avoir une efficacité donnée; c'est-à-dire de garantir, pour une certaine qualité p_1 acceptable, une faible probabilité α de refuser le lot présenté, et pour une qualité p_2 , mauvaise, une faible probabilité β d'accepter le lot. Les abaques de M. Cavé (contrôle de réception) sont basés sur ce type de desiderata. On calcule le rapport $\frac{p_1}{p_2}$, et, prenant cette valeur pour abscisse, on trace une parallèle à l'axe des ordonnées. L'ordonnée du point d'intersection avec la courbe ($\alpha\beta$) correspondante donne un nombre C, qui est le seuil de refus. Sur la partie droite de la feuille se trouvent une famille de courbes graduées en α et une famille graduées en β . Prenons par exemple $\alpha = 0,05$ et $\beta = 0,05$ et les deux courbes (α) et (β) correspondantes. La droite d'ordonnée C coupe chacune de ces deux courbes en un point. En abaissant de chacun de ces points les perpendiculaires sur l'axe des abscisses, on trouve v_1 et v_2 tels que $v_1 = np_1$ et $v_2 = np_2$. On a donc deux estimations de n connaissant p et p. On détermine alors n par :

$$n = \frac{1}{2} \left(\frac{v_1}{p_1} + \frac{v_2}{p_2} \right)$$

M. Cavé

Je m'excuse, depuis que j'ai indiqué ceci, j'ai trouvé que la meilleure approximation est

$$n = \frac{v_1 + v_2}{p_1 + p_2}$$

M. Courtillot

Je vous remercie et je le retiens.

Je me sers donc des abaques de M. Cavé, mais je vais prendre un exemple pour vous montrer qu'il existe quand même une difficulté. Supposons que l'on ait pris $p_1 = 1\%$, ce p_1 étant par exemple la qualité moyenne que l'on a produit dans le mois précédent, et $p_2 = 4\%$, 4 fois plus élevé (je considère que c'est déjà un désastre, et il faut s'en apercevoir à peu près à tous les coups). Je trouve pour $\alpha = \beta = 0,05$ qu'il faut prélever 263 pièces et refuser quand on a 5 rebuts dans le lot. Alors là, vous voyez la tête du pauvre contremaître à qui l'on envoie tous les jours 263 culasses à échantillonner, à usiner, et à qui on demande de donner un rapport assez détaillé sur les défauts qu'il a trouvés. Ceci m'a fait reculer et je me suis dit : "Il n'y a guère possibilité d'appliquer la méthode statistique là". Mais, en analysant de plus près le mécanisme du contrôle, j'ai quand même trouvé une méthode que je vais vous exposer. Je le répète, ce n'est pas une méthode de contrôle par échantillonnage, mais une méthode de contrôle statistique de la marche du cubilot, dont il est question ici.

Supposons que nous ayons choisi un prélèvement, n'importe lequel (je ne précise pas pour l'instant), un prélèvement caractérisé par $n =$ taille de l'échantillon et $C =$ seuil de refus. Il lui correspond une certaine courbe d'efficacité, qui est la probabilité d'accepter un lot en fonction du pourcentage de défauts dans ce lot. Je reprends ici un raisonnement appliqué par M. Cavé dans son livre "Le contrôle statistique des fabrications". Partant de p_1 (c'est mon pourcentage moyen de défectueux du mois précédent; je sais que, à l'instant donné, je ne peux pas faire mieux que p_1), je dis :

Si j'obtiens un pourcentage p ($p > p_1$) dans le lot produit en ce moment, il y a un dérèglement. Ce dérèglement, qui conduit à p , va être, sur un lot donné, accepté avec une probabilité P . Autrement dit, à la suite de la première coulée qui va être faite, j'ai une probabilité P d'accepter cette coulée comme normale, alors qu'elle ne l'est pas, et qu'il s'est produit un dérèglement $p - p_1$. J'ai d'autre part la probabilité $1 - P$ de m'apercevoir que la coulée n'est pas correcte. A la 2ème coulée, le jour suivant, j'ai une probabilité $P(1 - P)$ de déceler le dérèglement (j'applique le principe de probabilités composées : probabilité d'accepter le premier jour multipliée par la probabilité de déceler le dérèglement le deuxième jour, les probabilités étant indépendantes). Le troisième jour on trouve facilement :

$P^2(1 - P)$, probabilité de ne pas déceler les deux premiers jours multipliée par la probabilité de déceler le troisième jour, et pour le kème jour $P^{k-1}(1 - P)$.

Comme P est un nombre plus petit que 1, cela va donner une suite rapidement décroissante. Je peux donc calculer le nombre moyen de coulées qui seront faites avant que je m'aperçoive du dérèglement. Un petit calcul montre tout de suite que ce nombre moyen λ est égal à :

$$\lambda = E(k) = \sum_0^{\infty} k P^{k-1} (1 - P) = \frac{1}{1 - P}$$

Par exemple, si la valeur considérée de p correspond à $P = 0,50$, j'ai $\lambda = 2$. Il y aura donc en moyenne 2 coulées qui s'écouleront avant que j'ai pu m'apercevoir du dérèglement.

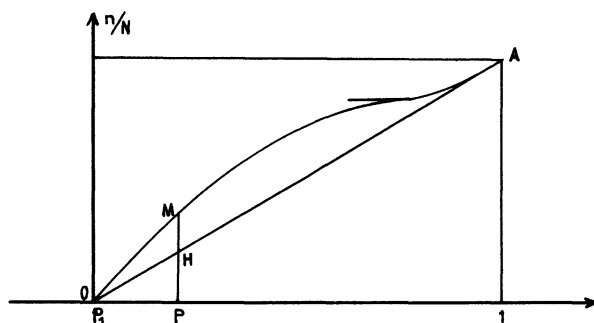
Qu'est-ce que tout cela entraîne au point de vue défectueux? Si je coule à chaque fois N pièces, avec un dérèglement $p - p_1$, chacune des coulées va produire $N(p - p_1)$ rebuts supplémentaires. Et ceci va durer en moyenne un nombre $\frac{1}{1 - P}$ de jours, d'où $N(p - p_1) \frac{1}{1 - P}$ rebuts supplémentaires.

Mais je suis obligé d'ajouter un terme complémentaire, correspondant à un retard R (en jours). Je vais couler ce matin, par exemple, mais on ne me donnera pas les résultats immédiatement. Il faut le temps de sortir les pièces, de les démouler, de les ébarber, de les usiner en mécanique, de prévenir les gens, etc ..., mettons grosso modo 2 jours : $R = 2$.

Donc pour un dérèglement $p - p_1$, le nombre n de rebuts supplémentaires est :

$$n = N(p - p_1) \left(\frac{1}{1 - P} + R \right)$$

Quelle est la forme de la courbe donnant n en fonction de $p - p_1$? Je porte n/N en ordonnées et en abscisses le pourcentage p de rebuts. La courbe a l'allure suivante :



Elle part de 0 pour $p = p_1$, et tend vers le point d'ordonnée $(R + 1)(1 - p_1)$ lorsque p tend vers 1 : en effet, lorsque j'ai 100% de défectueux ($p = 1$), la probabilité P d'accepter est nulle :

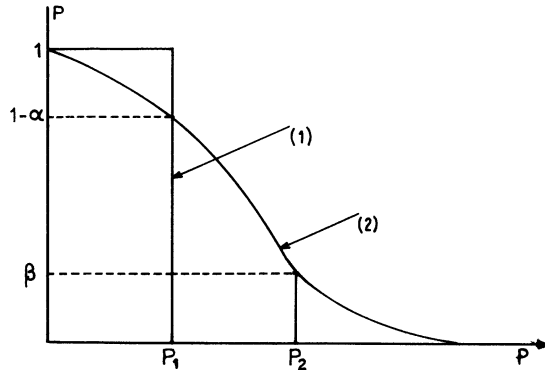
$$P = 0 \quad n = N(1 - p_1)(1 + R)$$

Regardons maintenant ce qui se passerait en appliquant une méthode de contrôle à 100%; plaçons-nous dans le cas, tout à fait improbable, où j'ai pu usiner immédiatement les pièces à la sortie du cubilot. L'information sera avancée, par rapport à ce que donne la méthode statistique. J'aurais alors une coulée non correcte qui sera sortie, plus le retard R (je fais toujours entrer en ligne de compte le retard causé par le démoulage et le transport). J'aurais donc $n_1 = N(p - p_1)(R + 1)$ rebuts supplémentaires causés par le dérèglement avant que j'ai pu m'en apercevoir (je m'en apercevrai lorsqu'on aura usiné tout le lot coulé, et à ce moment-là seulement).

Or, à cette fonction n_1/N correspond la droite OA tracée sur le figure précédente. Le segment MH caractérise la différence entre le nombre de rebuts supplémentaires que j'ai fait lorsque j'ai été prévenu du dérèglement, en appliquant dans un cas la méthode de contrôle statistique, dans l'autre cas la méthode de contrôle à 100%. J'appelle ce segment

$$MH = n/N - n_1/N \text{ la perte d'efficacité}$$

J'ai cette perte supplémentaire MH parce que la courbe d'efficacité n'a pas la forme (1) ($P = 1$ pour $p < p_1$ et $P = 0$ pour $p > p_2$), mais la forme (2).

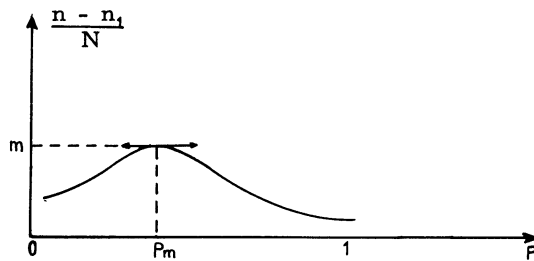


Si je trouve un moyen de calculer cette perte d'efficacité, cela pourra me donner une base pour calculer mes plans d'échantillonnage.

Cette perte d'efficacité est égale à :

$$n - n_1 = N(p - p_1) \frac{P}{1 - P}$$

La courbe donnant $(n - n_1)/N$ en fonction de p à l'allure suivante :



La structure de l'équation est voisine de celle donnant la qualité moyenne après réception; c'est en quelque sorte une "A.O.Q.L." généralisée; la courbe se situe au-dessus de l'A.O.Q.L. parce qu'il y a en dénominateur le facteur $1 - P$ qui est plus petit que 1.

La courbe passe par un maximum, m , pour un pourcentage p_m . Quand j'en suis arrivé là, j'ai essayé de calculer m et p_m par le calcul théorique. C'est assez ardu et je n'ai pas trouvé de solution très correcte. Alors, je me suis contenté d'un ordre de grandeur. J'ai remplacé la courbe d'efficacité par une droite passant pour $p = p_1$ par le point d'ordonnée $1 - \alpha$ et pour $p = p_2$ par le point d'ordonnée β . Je suis arrivé aux formules suivantes :

$$m \approx \frac{(1 - \sqrt{\alpha})^2}{1 - \alpha - \beta} (p_2 - p_1)$$

$$p_m \approx p_1 + \frac{\sqrt{\alpha}(1 - \sqrt{\alpha})}{1 - \alpha - \beta} (p_2 - p_1)$$

Si l'on prend $\alpha = \beta = 0,05$ (risques de 5%), on trouve :

$$m \approx 0,67 (p_2 - p_1)$$

$$p_m \approx p_1 + 0,19 (p_2 - p_1)$$

J'obtiens donc par cette méthode la valeur maximale du nombre de pièces rebutées en plus lorsque j'utilise le contrôle statistique au lieu du contrôle à 100%. Ce nombre supplémentaire de rebuts traduit la perte d'efficacité du contrôle statistique.

Il existe d'autre part un 2ème impératif : donner à usiner des lots relativement faibles. J'ai pris la convention - qui peut sembler un peu arbitraire - de borner les lots à 50 dans les cas courants, à 100 dans les cas exceptionnels. La valeur de m m'a d'ailleurs montré que cette optique se défendait.

J'en ai tiré un tableau qui permet de choisir instantanément le plan de contrôle, c'est-à-dire de trouver en fonction de p_1 (% moyen du mois précédent), la valeur p_2 , le nombre de pièces à prélever, le seuil C de refus, la perte d'efficacité maxima. Je suis parti pour l'établir des abaques de M. Cavé - en fixant pour faciliter le calcul $\alpha = \beta = 0,05$ -. (Je me sers donc uniquement des courbes $\alpha = 0,05$; $\beta = 0,05$; $\alpha = \beta = 0,05$). La valeur de C me fixe np_1 , donc une limite inférieure pour p_1 , compte tenu de $n \leq 50$.

L'abaque ($\alpha = 0,05$; $\beta = 0,05$) me donne $\frac{P_2}{P_1}$ d'où une limite supérieure de p_2 .

Par exemple pour $C = 1$, $\alpha = 0,05$ l'abaque de droite donne :

$$np_1 = 0,34 \quad p_1 = \frac{0,34}{n} \geq \frac{0,34}{50} = 0,68\%$$

l'abaque de gauche donne :

$$\frac{P_2}{P_1} = 13 \quad p_2 = 13p_1 \geq 13 \times 0,68\% = 8,8\%$$

Enfin :

$$\frac{m}{P_1} = 0,67 \left(\frac{P_2}{P_1} - 1 \right) = 12 \times 0,67 = 8$$

Le tableau se présente comme suit :

Limite de p_1 (en %)	Limite de p_2 (en %)	np_1 p_1 en %	Seuil C	$\frac{m}{P_1}$ m en %
0,1	6	5	0	40
0,68	8,8	34	1	8
1,6	12,3	80	2	4,5
2,7	15,4	135	3	3,2

Je procède de la façon suivante :

Je calcule mon pourcentage moyen de rebuts sur le mois précédent. Supposons que ce pourcentage soit : $p_1 = 2\%$.

Le tableau montre que je dois prendre C au plus égal à 2. Je n'ai pas intérêt à prendre C plus petit que nécessaire, l'efficacité diminuant avec C. Je prends donc $C = 2$ d'où :

$$np_1 = 80 \quad (p_1 \text{ en } \%)$$

$$n = 40 \quad (p_1 = 2)$$

$$\frac{m}{P_1} = 4,5$$

d'où perte d'efficacité

$$m = 4,4 \times 2\% = 9\%$$

En contrôlant un prélèvement de 40, avec seuil de refus égal à 2, je perds seulement 9% d'une coulée en plus de ce que je perdrais en appliquant le contrôle à 100% qui est impossible.

En pratique, les modalités de contrôle sont les suivantes :

- 1° - Calcul des pourcentages moyens,
- 2° - Etablissement des prélèvements (d'après le tableau)
- 3° - Emission d'un bordereau de contrôle envoyé en mécanique. Sur ce bordereau sont portés les renseignements administratifs : pièce, numéro, fonte, lot,

seuil, date de coulée, date d'usinage, date d'enregistrement, visa, etc . . . , nature du rebut, nombre de rebuts, décision intervenue.

Si le nombre de rebuts ne dépasse pas le seuil C, la situation est normale. Si le nombre de rebuts dépasse C, il y a dérèglement. Cela signifie que la proportion de rebuts a changé; elle est passée de p_1 à un pourcentage p que nous pouvons estimer sur l'échantillon. Mais, comme les échantillons sont faibles, cette estimation n'est pas très précise; il est nécessaire de faire des prélèvements renforcés pour augmenter la précision. Mais une première mesure est prise immédiatement : on téléphone à l'atelier de fondeurs pour lui demander : "Qu'est-ce qui se passe chez vous?". Il faut leur demander de vérifier absolument tout : les chargements, le sable, la conduite des cubilots, voir si le personnel est toujours le même aux différents postes. Parfois l'enquête aboutit tout de suite; on sait par exemple que l'on a changé l'ouvrier qui charge au cubilot et qu'il a commis une erreur; nous avons maintenant pour les plaques la possibilité de vérifier ces erreurs car nous avons une balance totalisatrice enregistreuse à l'entrée du cubilot.

Si l'atelier de fondeurs répond qu'il n'y a rien d'anormal, on peut penser que l'on entre dans une crise due à un facteur inconnu et non contrôlé. Il va alors falloir suivre l'évolution de cette crise, expérimenter; ceci n'est pas du ressort des méthodes statistiques, mais du ressort des fondeurs. Ils sont prévenus que quelque chose ne va pas; ils modifient alors les proportions des constituants (sable, etc . . .), ils se livrent à une petite cuisine de fonderie dans laquelle nous n'avons pas à entrer.

Mais pour voir comment évolue la situation, nous envoyons des prélèvements renforcés. Pour déterminer la taille de ces prélèvements, nous nous basons sur la méthode du χ^2 de comparaison des pourcentages. Plus exactement, nous avons construit un abaque permettant de trouver la taille n_2 du prélèvement renforcé, connaissant n_1 , p_1 , p_2 , c'est-à-dire : n_1 = taille du prélèvement en l'état normal, dans les jours précédant la crise. p_1 = pourcentage de rebuts dans les jours précédant la crise : nous estimons sur 5 ou 6 jours le pourcentage de rebuts - par exemple sur 5 jours, mettons 200 pièces, ce pourcentage est $p_1 = 2,5\%$. p_2 = pourcentage de rebuts trouvé dans notre lot au retour de mécanique - supposons par exemple $\frac{5}{40} = 12\%$. Il est logique de vouloir envoyer des prélèvements de taille n permettant de voir si l'on reste au voisinage de 12%.

Nous avons construit un abaque qui permet de déterminer la taille des prélèvements renforcés avec deux alignements successifs, donc très rapidement. Ces prélèvements sont continués jusqu'à ce que la crise s'estompe, que l'on revienne à la normale, par l'intervention de l'atelier fondeur.

4° - En plus de cela, nous tenons des graphiques hebdomadaires, avec limites de contrôle, pour surveiller le pourcentage de non conformes dans la production. Ce pourcentage est calculé par :

$$\frac{\text{Somme de non conformes}}{\text{Somme des pièces prélevées}}$$

et donne une estimation du p_1 , au cas où il n'y a pas de dérèglement.

Tant que ce pourcentage calculé reste à l'intérieur des limites, tout va bien. A partir du moment où il sort des limites, nous envoyons des lots renforcés et nous suivons la situation. Si l'on se stabilise, sans savoir pourquoi, (cela arrive en fonderie) autour d'un nouveau pourcentage, nous recalculons la valeur de p_1 et calculons un nouveau plan de contrôle.

En conclusion, malgré l'apparente complication de la méthode, ce sont des moyens extrêmement simples qui sont utilisés pour le contrôle en fonderie. Calculer le pourcentage moyen du mois précédent, trouver d'après un tableau (facile à dresser) les échantillonnages à faire, ce travail élémentaire est fait par n'importe qui (agent technique sans don spécial en la matière). Pour l'instant nous appliquons ce contrôle sur une pièce, la culasse, et nous envisageons de généraliser la méthode pour les autres pièces.

M. Brunel

Je crois me faire l'interprète de vous tous ici pour féliciter Monsieur Courtilot de son exposé, qui était extrêmement intéressant, d'abord parce qu'il était pratique, et ensuite parce qu'il exposait un point de vue assez inédit. Du reste, je pense que tout le monde ici connaissait M. Courtilot dont la réputation est solidement établie.

Discussion sur le contrôle différé

M. Goureau

Je ne suis pas fondeur, mais je voudrais poser une question à M. Courtilot. Vous avez parlé d'une coulée par jour; est-ce qu'un cubilot marche de façon continue, ou bien la coulée dure un certain temps, vous arrêtez le cubilot, et le lendemain, vous faites une nouvelle coulée?

M. Courtilot

Le cubilot marche de façon continue, mais il y a deux sortes de fonte : la fonte cylindre et la fonte standard. Ces deux sortes de fonte servent évidemment à faire des coulées journalières des différentes pièces constitutives du moteur de la voiture, et au bout d'un jour, on répète la même opération.

M. Goureau

Donc, vous pouvez considérer qu'un dérèglement que vous constatez trois jours après s'est continué pendant l'espace de ces trois jours?

M. Courtilot

Oui, il s'est continué pendant ces trois jours et sur les autres pièces qui ont été coulées avec la même fonte.

M. Goureau

Mais enfin, ce n'est pas un contrôle de pièces que vous faites, vous l'avez dit, c'est un contrôle de marche de cubilot. Autrement dit, si au bout de quatre jours vous téléphonez au fondeur en lui disant : "Il y a quatre jours, votre cubilot ne marchait pas", il vous répondra : "Oui, je le sais très bien, mais maintenant il marche".

M. Courtilot

Non, il ne le saura pas.

M. Goureau

Je voudrais savoir quelle est l'utilité de ce renseignement quatre jours après, pour celui qui conduit un cubilot qui peut, en fait, sortir une qualité assez variable d'un jour à l'autre.

M. Courtilot

Vous recevez, par exemple, un convoi d'acier, un sable donné qui va être utilisé pendant un certain temps, 15 jours par exemple. Si au bout de quatre jours on dit au fondeur : "Attention, il y a quelque chose qui ne va pas dans votre production, contrôlez tous les facteurs, faites d'autres analyses de votre sable, regardez les facteurs qui ont été changés", ça lui donne quand même un élément d'information appréciable.

M. Goureau

Je voudrais poser une deuxième question : Sur quel défaut décelé à l'atelier mécanique vous basez-vous pour dire au fondeur qu'il y a un dérèglement du cubilot?

M. Courtilot

Piqûres, soufflures, inclusions.

M. Goureau

Vous avez alors fait une étude préalable qui prouve que le défaut de soufflure ou de piqûre, ou tout autre défaut, provient effectivement du cubilot, et non par exemple des conditions de coulée.

M. Courtilot

Justement, le résultat que me donne ce contrôle est un résultat global. Comme je l'ai dit, nous téléphonons à l'atelier de fondeurs qu'il vérifie tous les facteurs, y compris le facteur chargement du cubilot, le facteur matières premières, le facteur coulée; qu'il voit si l'on n'a pas changé, par exemple, les ouvriers des différentes opérations.

M. Goureau

Vous ne pouvez donc pas l'orienter sur un secteur déterminé; il pourrait avoir une centaine de facteurs à regarder.

Troisième question, est-ce que vous envisagez votre contrôle statistique pour remonter à une sorte de carte de contrôle de chaque élément primordial au cubilot?

M. Courtilot

C'est envisagé, mais non commencé, en raison de la grande complexité des facteurs qui interviennent. Ce qui a été fait est une première étape, un raccourcissement des délais d'information pour l'atelier des fondeurs, par rapport à ce qu'il y avait avant.

M. Bertre

Est-ce que la gammagraphie n'aurait pas encore permis de raccourcir le délai de jugement?

M. Courtilot

C'est possible, nous n'avons pas encore eu l'occasion de l'appliquer.

M. Malinet

Cela doit dépendre du genre de défauts qu'on veut détecter. Je pense qu'en usinant des pièces, on peut détecter aussi des défauts qui ne sont détectables que par usinage - usinabilité, duretés différentes.

M. Courtilot

Il faut bien reconnaître que la science de la fonderie est trop peu avancée pour nous permettre de dire : "Voilà le facteur sur lequel il faut attaquer". Nous nous bornons pour l'instant à le constater quand l'usineur se plaint.

M. X

Alors sans vous, les usineurs auraient peut-être bien téléphoné à la fonderie pour signaler que quelque chose ne va pas.

M. Courtilot

S'ils l'avaient fait au moment de l'usinage du lot, 15 jours après que ce lot ait été coulé, si les 15 coulées suivantes étaient mauvaises, l'usineur aurait "avalé" 15 coulées mauvaises. Alors que là, avec ce contrôle, au bout de 4 jours l'atelier fondeur est prévenu et peut dans certains cas remédier.

M. X

Le contrôle n'apporte donc aucune solution au problème; il signale simplement.

M. Courtilot

C'est juste un rôle d'avertisseur. D'ailleurs il en est de même pour le contrôle statistique par carte sur machine. Vous pouvez donner le remède si la moyenne n'est pas correcte. Mais, si la dispersion n'est pas correcte, est-ce que c'est pour une question de matière, d'outil, de machine, de lubrification? Vous n'en savez rien. Il faut à ce moment-là faire une étude.

M. Goureau

Quel était le contrôle effectué auparavant ?

M. Courtilot

On envoyait également des lots en mécanique, mais avec une certaine souplesse, prise dans le mauvais sens. On se disait : "Il serait peut-être temps maintenant de regarder où l'on en est", et l'on envoyait en mécanique un lot de 10

pièces, 15 pièces. Puis, suivant qu'il y avait quelque chose ou rien on disait : "Bon, ça va" ou "ça ne va pas". Autrement dit, on n'avait pas une base de jugement bien étalonnée, bien constante, comme la donne la méthode statistique. Si par exemple on envoyait, à un certain moment, un lot de 50 pièces, il est certain que l'information que ces 50 pièces pouvaient apporter était bien différente de ce que pouvait apporter un lot de 10 pièces.

M. Malinet

Des interventions que l'on a entendues jusqu'ici, il me semble déduire qu'il y a un certain désaccord entre deux parties de l'assistance. Je crois qu'il faut crever l'abcès et parler net. Il doit y avoir ici des mécaniciens, il doit y avoir aussi des fondeurs, des forgerons; ils n'ont peut-être pas tous le même point de vue. Pour exprimer le fond de leurs pensées, on pourrait peut-être résumer ce qui a été dit de la façon suivante : Monsieur Courtillot propose une méthode qui prévient rapidement et objectivement les fabricants, fondeurs ou forgerons, des difficultés d'usinage. Il ne prétend pas résoudre les problèmes mais il pense que si les fondeurs ou les forgerons veulent eux-mêmes entamer une étude, il leur faut une base objective, un critère sûr pour faire ces études. C'est bien cela?

M. Courtillot

Oui, c'est un critère, plus exactement un signal d'alarme que je leur donne.

M. Malinet

Les fondeurs ont souligné la difficulté devant laquelle ils étaient pour résoudre leurs problèmes, en particulier pour déterminer les facteurs qui pouvaient influencer sur l'apparition des défauts. Ces facteurs sont très nombreux et par dessus le marché, je crois qu'il faut bien le dire aussi, le critère qui dit que la pièce est bonne ou mauvaise n'est pas toujours très facile à repérer. Monsieur Courtillot, en l'occurrence, leur fournit ce critère qui sera le critère essentiel, c'est-à-dire les difficultés rencontrées à l'usinage en mécanique. Messieurs les Fondeurs et Forgerons sont-ils satisfaits de ce renseignement? Pensez-vous pouvoir l'exploiter?

M. Jourdain

Je ne suis pas fondeur mais il me semble néanmoins qu'il y ait un gros inconvénient, à savoir les quatre jours de délai. Il semble que ce soit trop long. Et d'autre part, il y a tellement de facteurs qui peuvent varier qu'il y a de fortes chances qu'on ne puisse pas trouver tout de suite le facteur qui a varié, et que (comme le disait M. Courtillot), les points reviennent dans les limites de contrôle sans qu'on sache exactement ce qui s'est passé. Je pense alors que le contrôle statistique qui déjà n'est pas accepté vraiment bien dans tous les départements, s'il se heurte encore à de tels retards, sera encore moins bien accepté.

M. Courtillot

Auparavant, le retard était plus grand encore, et la base de jugement était moins objective. Ce retard de quatre jours est certainement important, mais il est assez difficile de le diminuer.

M. Jourdain

Au fond, à l'échelle fonderie, le contrôle statistique n'est pas au point. Il demande à être encore beaucoup plus poussé pour obtenir des résultats vraiment flagrants. Il est certain qu'il obtiendra ces résultats mais il faut d'abord analyser chaque poste qui peut influencer la qualité des pièces, et tant que vous n'aurez pas de moyens de mesure, vous pourrez simplement dire qu'il y a quelque chose qui ne va pas.

M. Bazin

Il y a un petit point qui a été signalé tout à l'heure et sur lequel je ne suis pas tout à fait d'accord : à savoir qu'un renseignement arrivant 4 jours après une coulée, alors que la situation s'est peut-être corrigée d'elle-même, n'a pas une très grande valeur. Je ne suis pas de cet avis, parce que si on ne s'aperçoit pas de la raison qui a motivé l'anomalie et qu'elle s'est corrigée d'elle-même, elle est sans gravité ou de peu de gravité. Si au contraire le carte de contrôle du modèle proposé par Monsieur Courtillot permet de suivre le nombre d'éléments

défectueux dans un prélèvement de 50 et de voir que ce pourcentage est constamment en hausse, à ce moment-là il y a vraiment un facteur systématique dont les conséquences ont de fortes chances de durer encore, et à ce moment-là on peut toujours intervenir.

M. Jourdain

S'il n'y avait pas eu de contrôle statistique, les usineurs auraient déjà réclamé, ils auraient fait les constatations.

M. Bazin

Mais à partir de quel moment auraient-ils pu dire avec certitude que c'est anormal? Sur un cubilot qui en moyenne vous produit 0,8% de soufflures, sur une période de 6 mois ce pourcentage peut varier entre 0% certaines semaines et 1,5% d'autres semaines. Alors le jour où il y a 1,5%, l'ouvrier va venir vous trouver en disant : ça ne va pas il y a des soufflures. Si le pourcentage est de 1,5% et que la limite de confiance d'un pourcentage de 0,8% soit 1,5%, vous n'avez pas le droit de dire que c'est anormal. A ce moment-là l'ouvrier n'est pas juge tandis que la carte de contrôle est juge du moment à partir duquel vous pouvez sans trop vous tromper dire que c'est vraiment anormal.

Il y a des crises brutales, et qui durent un temps variable, parfois un mois. Il y a un cas en fonderie qui est assez classique, quand vous suivez un élément chimique, par exemple le phosphore dans le cuivre. Vous coulez du cuivre à partir de métaux neufs et à partir de vos déchets de fabrication, qui ont des teneurs en phosphore en principe régulières; mais il arrive quelquefois dans la fabrication qu'il y ait des mélanges entre des déchets de cuivre électro sans phosphore et des déchets de cuivre au phosphore. A ce moment-là la teneur moyenne de vos "mitrailles" baisse brusquement. Vous constatez sur la carte de contrôle que la moyenne des teneurs résiduelles en phosphore sur produits coulés est tombée. Elle baisse pendant un jour, deux jours, le délai d'analyse étant de 24 heures. S'il n'y a que un ou deux points qui sortent, évidemment on ne va pas s'amuser à intervenir, parce que si l'on intervient la situation se sera peut être corrigée d'elle-même au moment où vous intervenirez, et si vous augmentez vos additions, vous risquerez d'exagérer le défaut. Mais si au contraire la carte de contrôle indique une tendance à la diminution générale constante sur une période de temps assez prolongée, 3 ou 4 jours, par exemple, nous avons constaté qu'on pouvait sans danger réagir et qu'une correction du réglage amenait automatiquement une amélioration de la régularité de teneur. A titre indicatif, nous avons des dispersions en fonderie qui atteignaient $\pm 0,015$ sur un élément, alors que pour être dans la tolérance elles devraient être $\pm 0,010$, uniquement parce qu'on rectifiait les additions dans les fours sur la foi d'une ou deux analyses qui paraissaient un petit peu fortes. A partir du moment où l'on a suivi par carte de contrôle et par moyenne de teneurs dosées, les dispersions ont diminué. Suivant les éléments dosés, elles ont diminué entre 10 et 35% en l'espace de 6 mois (il a fallu 6 mois pour roder la procédure d'action). Je crois que c'est quand même une preuve de l'intérêt d'un contrôle statistique différé entraînant une réaction à 3 ou 4 jours d'intervalle.

M. Jourdain

Je ne sais pas si Monsieur Courtillet, lorsqu'il parle du contrôle statistique en fonderie, parle des teneurs en phosphore. Il parle plutôt des inclusions, des défauts d'aspect - qui sont des choses très difficiles à manoeuvrer.

M. Courtillet

Les fondeurs eux-mêmes mettent très longtemps à trouver le pourquoi de la chose. Je vous donne la méthode utilisée actuellement; à partir du moment où la méthode statistique a tiré le signal d'alarme, les fondeurs s'appliquent à vérifier, à regarder, s'il y a quelque chose à changer chez eux. Ils font le tour de leur atelier, puis ensuite ils modifient facteur par facteur; puis on envoie des lots pour voir ce que ça donne. Mais il est certain que le jour où l'on aura une analyse complète des facteurs et que ces facteurs seront mis sous contrôle, à ce moment-là ce sera préventif et non à postériori, avec 4 jours de retard.

M. Malinet

Il est dommage d'ailleurs qu'il n'y ait pas ici des représentants des fonderies des usines Peugeot. Peut-être Monsieur Courtilot peut-il être leur porte-parole : quels renseignements, quels enseignements ont-ils recueilli de ces informations ?

M. Courtilot

Un avertissement plus rapide, qui leur permettait d'agir en conséquence, c'est-à-dire de ne pas agir quand il n'y avait pas lieu, quand l'augmentation des incidents était fortuite, mais d'agir au moment où l'augmentation des incidents était probante, significativement différente de la proportion normale d'incidents.

M. Malinet

N'est-il pas trop tôt pour constater maintenant une amélioration ?

M. Courtilot

Nous avons suivi cela sur une pièce pendant une période de 3 mois, c'est un petit peu tôt pour donner une conclusion définitive sur le problème. Mais il est certain que la méthode va se généraliser, et que nous allons faire des études techniques pour mettre en évidence les différents facteurs et essayer de les mettre sous contrôle.

Possibilités du contrôle statistique en cours de fabrication en fonderie

M. Courtilot

Il est certain qu'il faut une action complémentaire: l'analyse des facteurs et leur mise sous contrôle, au sens mécanique du terme (moyenne, dispersion, si on le peut, avec bande de contrôle).

M. Malinet

En marge des forges et des fonderies, je crois qu'il y a des gens qui ont rencontré des difficultés analogues. Je pense aux traitements thermiques. Monsieur Ory, n'avez-vous pas rencontré un problème analogue avec facteurs nombreux et divers ? Comment en êtes-vous venu à bout ?

M. Ory

Le contrôle statistique dans les traitements thermiques consiste en un contrôle en cours de fabrication et un contrôle en fin de fabrication.

Le contrôle en cours de fabrication, c'est le contrôle des moyens de fabrication. Je songe aux températures de zones "entrée et sortie du four", aux débits de gaz réduits, de propane, d'ammoniac, dans le cas de la carbonituration, ou alors plus simplement de gaz réduit, de propane dans le cas de cémentation gazeuse. Nous avons mis ces facteurs sous contrôle à l'aide de cartes de mesures. Nous avons pu le faire parce qu'il existait déjà des tolérances qui avaient été établies par des méthodes de traitements thermiques, et c'est grâce à ces relevés, enregistrés sur cartes statistiques, qu'à la rigueur nous avons pu faire modifier ces tolérances qui étaient parfois incompatibles avec la bonne suite des opérations.

M. Malinet

Donc là, vous avez un exemple de difficulté du même ordre, où les facteurs sont peut être moins nombreux et où l'on peut utiliser des renseignements tels que ceux fournis par Monsieur Courtilot.

M. Ory

Je vous signale que dans les traitements thermiques, les tolérances sont sans doute beaucoup plus resserrées qu'aux forges ou aux fonderies. C'est un travail plus précis.

M. Courtilot

Oui, mais c'est un travail très différent : dans un traitement thermique, on se contente de changer la texture, tandis qu'on crée quelque chose en fonderie.

M. Ory

Le nombre de facteurs est sans doute moins important, ce qui permet de les faire varier, et, grâce à une analyse de la variance, ou à une étude de corrélation

à plusieurs variables, de déterminer l'importance de ces facteurs. Mais, il me semble que le contrôle en cours de fabrication est très important. Prenons un exemple : des pièces à la sortie d'une opération d'un four de carbonituration et de cémentation, qui sont trempées dans un bain, que ce soit un bain de sels ou un bain d'huile. Il est clair que l'on doit faire un essai de dureté superficielle avec une lime sur ces pièces. Il me semble qu'il serait stupide de laisser des pièces douteuses à l'opération suivante qui est une opération de revenu, si on ne les contrôlait pas.

M. Courtillot

C'est exact, mais, en fonderie, le processus est tout à fait différent. On part de facteurs bruts qui sont les métaux, le sable. On met les métaux dans les cubilots, le sable d'un autre côté. On obtient finalement, une pièce. Avant que la pièce soit sortie, on ne peut rien faire.

M. Ory

A ce moment, pourquoi n'a-t-on jamais tenté d'opérer un test d'usinabilité à l'intérieur de l'enceinte des fonderies? Il est possible, même avec un vieux tour, un tour de récupération, de faire un test d'usinabilité en se basant sur le comportement, l'analyse des copeaux.

M. Courtillot

Pour l'usinabilité, oui. Mais c'est une chose qui est encore assez mal connue d'une part, et, d'autre part, il y a les questions d'inclusions. Les inclusions se manifestent n'importe où, au hasard. Il ne faut pas que dans la pièce terminée, il y ait une inclusion.

M. Ory

Les inclusions sont quelquefois là à cause d'éléments étrangers au moment de la coulée.

M. Malinet

Alors, si l'on contrôlait les moyens de fabrication, si on dressait une gamme matérielle, on arriverait peut-être à asservir le problème. Si l'on ne fait rien dès maintenant, on ne fera jamais rien.

M. Courtillot

Il y a un problème d'analyse qui est ouvert. Avis aux amateurs. Mais pour l'instant, la théorie de la marche des cubilots n'est pas faite. Je pense que personne ne dira ici que l'on sait bien comment se comporte un cubilot. Il y a des théories, allemandes et françaises, sur la marche du cubilot, mais le problème est loin d'être résolu.

M. Malinet

Est-il envisagé, éventuellement, d'arrêter des lots de pièces avant de les usiner, après avoir prélevé un échantillon?

M. Courtillot

Non. Quelle serait l'utilité d'un tri? D'abord on ne pourrait pas le faire, l'inclusion n'étant visible que dans la surface usinée. On saurait que le lot en question est mauvais, on pourrait peut être même lui attacher une proportion de mauvais, c'est tout ce qu'on pourrait faire.

M. Malinet

Il est toujours plus économique d'essayer d'usiner une pièce en espérant qu'elle sera bonne que de la refouler systématiquement.

M. Moriceau

Il y a deux sortes de défauts en somme, les défauts systématiques, que l'on peut voir à l'oeil, et les défauts internes qu'on ne voit qu'à l'usinage.

M. Courtillot

Les défauts dont je parle sont les défauts internes. Pour les défauts superficiels, on ne sait pas s'ils sont en très grande corrélation avec les défauts inter-

nes. Des études ont débuté, en fonderie, il y a 3 mois. On a commencé à regarder ce problème. Il est certain qu'il est très vaste. D'ailleurs les pourcentages de rebuts que nous avons actuellement sont assez peu importants, nous avons à peu près 2,5% de rebuts en moyenne. Ceci justifie évidemment des études serrées en vue d'une amélioration. Mais enfin, je pense que beaucoup de fonderies sont plus mal placées que nous et que peut être elles pourraient nous donner les remèdes qui leur ont donné satisfaction pour que nous les appliquions.

Recherche des facteurs qui ont une influence sur la qualité

M. Bazin

La détermination précise des facteurs intervenant sur la qualité est un problème excessivement délicat. Les contrôles statistiques que nous avons fait se sont surtout bornés à des statistiques récapitulatives. Le contrôle statistique en fonderie, nous l'avons conçu comme un contrôle statistique de l'analyse chimique (contrôle de ce qu'on pouvait mesurer sur les produits), et un contrôle récapitulatif de la qualité constatée sur les produits. Par exemple, on coule des billettes de cuivre, tout ce qu'on peut constater dessus comme défauts, on les enlève; si les défauts sont trop profonds, on élimine la billette, on la refond. On tient un compte des défauts visibles constatés en fonderie sur les produits. A la fin de la quinzaine, on arrête le compte et l'on fait retomber le pourcentage d'éléments défectueux sur la prime du fondeur, de manière à lui diminuer sa prime en fonction des erreurs qu'il a faites. On ne peut vraiment pas dire que ce soit du contrôle statistique. C'est du contrôle à posteriori et c'est même du contrôle total puisque toutes les billettes sont inspectées. Le contrôle statistique de qualité nécessite soit l'usinage des produits, ce qui serait à la rigueur réalisable, puisque la plupart des produits de fonderie, avant d'être utilisés sont écrotés, soit le sondage non destructif des produits de fonderie. Le sondage non destructif est en cours d'étude. Quand il sera mis au point, il sera probablement tellement rapide qu'on pourra faire du contrôle total.

Il y a un cas où le contrôle statistique redeviendrait intéressant : c'est le cas où les produits ne seraient usinés qu'après un certain temps de stockage dans la fonderie. A ce moment-là il serait bon, avant d'avoir passé tout le lot, d'avoir une idée très rapide de ce qu'on a fait, c'est-à-dire de faire un petit contrôle statistique préalable au début de l'usinage, de manière à pouvoir déceler un dérèglement éventuel en fonderie.

M. X

Je crois que le problème soulevé, à savoir trouver les facteurs qui régissent la qualité de santé du métal en fonderie, est un problème très vaste.

Monsieur Moriceau pense pouvoir attaquer par analyse factorielle l'étude des différents facteurs intervenant dans la qualité de santé du métal. Il n'en est encore qu'à la période d'essai.

M. Bazin

Nous avons fait des analyses factorielles pour déterminer l'influence des additions faites en fonderie, sur certaines caractéristiques mesurables. Mais, pour ce qui est de la qualité, c'est-à-dire de la compacité du métal, de l'absence de trous, de l'absence de soufflures, de l'absence d'inclusions, les caractéristiques sur lesquelles on peut jouer, et dont on sait qu'elles ont de l'action sont difficilement mesurables :

- épaisseur de l'enduit sur le moule, quand on coule dans un moule avec enduit;
- température de coulée, très difficile à mesurer, car pratiquement la pyrométrie est une science assez mal au point, surtout dès que les températures de coulées sont élevées;
- refroidissement dans la lingotière; le débit d'eau dans une lingotière est assez variable et difficile à mesurer.

Il est très difficile de faire de l'analyse factorielle de caractéristiques non mesurables; on ne peut faire que du contrôle par attributs; c'est bon ou mauvais.

M. X

En pyrométrie, vous avez quand même quelques mesures.

M. Bazin

Oui, mais dans certains cas où par exemple, le réglage de température devrait être fait à 1° près, pour se tenir dans des conditions de cristallisation données, il ne faut pas compter sur un pyromètre pour donner $\pm 1^\circ$. Dans les bains très corrosifs attaquant les gaines (cuivre, ou cupronickel), il ne faut pas compter sur la tenue d'un pyromètre, ce n'est pas possible.

M. Goureau

Et par les procédés optiques, il n'y a pas assez de précision?

M. Bazin

A conditions de faire la mesure, non pas sur la surface du bain, mais sur un tube transparent noyé dans le bain.

M. Michel

Aux Câbles de Lyon, les difficultés qui se sont présentées ont été bien souvent surmontées par l'analyse des procédés utilisés.

En particulier puisqu'ils s'agissait de cuivre un peu spécial, nous avons cherché à déterminer, en fonction de l'apparence des échantillonnages, la teneur en oxygène qui joue un rôle prépondérant. Avec des examens métallographiques, par des comparaisons nombreuses, successives, on a pu enseigner aux ouvriers à reconnaître eux-mêmes quand un cuivre était bon et quand il était mauvais. La teneur en oxygène dans ces cuivres est extrêmement importante. J'ai pu constater que les phénomènes de ségrégation, les phénomènes thermo-dynamiques qui existent au moment de la coulée même et de la solidification du métal à l'intérieur des coquilles étaient en grande partie basés sur cet équilibre gazeux; et l'oxygène y joue un rôle prépondérant. Alors le tout, c'est de pouvoir conserver pendant la coulée la teneur d'oxygène voulue. Pour ce faire, des séries d'expériences bien pratiques sur des cassures d'échantillons prélevés pendant la coulée informent si l'on est toujours dans les conditions données pour obtenir un métal de qualité. Surtout du point de vue qualité de conductibilité, étant donné qu'on fabrique des câbles électriques, c'était, je crois, extrêmement important. Est-ce qu'à ce moment-là il ne serait pas plus intéressant de former le personnel de la fonderie sur de nouvelles bases techniques pour que l'ouvrier lui-même puisse, en cours de fabrication, en cours de travail, déterminer ce qui fait qu'en fin de coulée, son cuivre ou son métal sera bon ou mauvais. J'ai eu l'occasion de rencontrer des Allemands extrêmement versés en matière de fonderie de cuivre qui ont d'ailleurs été assez étonnés des résultats auxquels on était arrivé. Ils m'ont demandé comment on pouvait y arriver. Je leur ai répondu que c'était très simple, par des examens métallographiques et en comparant ce qu'on voit sur les micros et ce que l'on voit : fracture, cassure du métal, on se fait une idée sur le degré de qualité obtenue.

M. Courtillet

Les facteurs prépondérants sont suivis. D'une part nous suivons la marche du cubilot, les charges (nous avons une balance enregistreuse), la qualité des sables, la qualité des agglomérants. Nous suivons aussi, par cassure avec une éprouvette, la hauteur de trempe, et en appliquant la formule de Laplanche, on peut voir les corrections à apporter en silicium par exemple. Mais, bien que ces contrôles soient faits, il reste que des crises surviennent dues à des facteurs qui ne sont pas sous contrôle. Le problème qui se pose, c'est de trouver l'ensemble des facteurs, de savoir sur quoi ils ont une répercussion, et de les mettre sous contrôle. C'est un problème technique et ce problème est justiciable de l'analyse factorielle par laquelle Monsieur Moriceau, qui appartient au Syndicat Général des Fonderies, est en train de l'attaquer actuellement. C'est un problème de recherche technique.

M. Malinet

Pour la fonte, est-ce que des enquêtes semblables, des analyses des facteurs qui influencent la qualité, ont été faites?

M. Goureau

Je ne connais pas la fonte du cubilot mais je connais la fonte des hauts-fourneaux. Les hauts-fournistes sont des gens qui, à ce point de vue, marchent certainement avec quelque retard, parce qu'ils sont très tôt dans la fabrication et très loin du produit fini, parce qu'on n'utilise pas la fonte comme elle est, mais qu'on la transforme en acier, etc ... Le haut-fourniste donc se considère très loin de tout ça et il n'y a pas grand chose de fait. Par contre l'aciériste, lui, est déjà beaucoup plus près du produit fini; des études ont été faites, mais qui ne sont pas purement statistiques parce que c'est très dur de mettre un contrôle statistique sur un four Martin. C'est à l'étude et nous souhaiterions, nous industries de transformations, que les aciéries arrivent bientôt à un résultat parce qu'au point de vue pièces de forge nous obtenons des dispersions, par exemple dans les compositions, qui sont quand même parfois un peu élevées.

III

ESSAIS DE CONTROLE PAR PRÉLÈVEMENTS SUR LES PRESSES A EMBOUTIR LES ÉLÉMENTS DE CARROSSERIE AUTOMOBILE

par

M. DUFFOUR

Ingénieur à la Régie Nationale des Usines Renault

Après avoir indiqué quels étaient les impératifs auxquels devaient satisfaire les tôles de carrosserie, M. DUFFOUR indique comment s'effectue le contrôle des presses.

Après quelques remarques sur le contrôle après emboutissage, la discussion a porté plus particulièrement sur les points suivants :

- a) *Relations entre producteurs et utilisateurs de tôles;*
- b) *Recherche des facteurs qui ont une influence sur la qualité.*

L'obtention d'une pièce importante de carrosserie se fait généralement en partant d'un flanc en tôle de dimensions bien définies à l'aide d'outils montés sur de grosses presses. La gamme d'usinage d'une pièce comporte plusieurs opérations correspondant chacune à un outil. Plusieurs outils peuvent être montés sur une même presse mais le contrôleur surveille dans la plupart des cas trois à six presses pour une même pièce. La manutention des éléments de carrosserie d'une opération à la suivante s'effectue à l'aide de châssis sur lesquels sont empilées les pièces. Pour éviter leur détérioration étant donné l'aspect impeccable qu'elles doivent présenter, et faciliter une manutention qui doit être rapide, tout en réduisant des temps coûteux et en augmentant la sécurité, l'atelier a été conduit à essayer une alimentation et un transfert automatiques désignés sous le terme "d'automation". Certains ont pu voir fonctionner cette ligne transfert lors d'un reportage télévisé des usines.

Nous avons dit que l'état de surface des pièces devait être irréprochable. Les défauts que nous rencontrons sont multiples : cassures; grippures qui proviennent d'un mauvais réglage de l'outil ou des différences d'aptitudes à l'emboutissage de la matière, exfoliations et vermiculures dues au mauvais aspect de la tôle, picots marques de déchets causés par un défaut sur le poinçon de l'outil et enfin les gnons ou chocs dûs aux exécutants.

Ces défauts sont souvent de petite importance, mais nombreux, et les temps donnés aux lignes d'assemblage ne permettent pas de les retoucher. La ligne d'assemblage des caissons et tôles de portes extérieures 4 CV produit 2.500 portes en 9 heures soit plus de 4 portes à la minute, et on ne peut tolérer 10 secondes de retouche par porte. Il a donc fallu créer un atelier spécialisé de retouches pour n'alimenter les chaînes qu'avec des pièces présentant des défauts rapidement retouchables.

Maintenant que nous avons situé certains impératifs de production et les défauts de fabrication, nous allons voir comment s'effectue ce que nous appellerons le contrôle actuel des presses.

Lorsqu'une gamme est montée sous presse et réglée, le contrôleur prend une première pièce et la vérifie en entier. Géométriquement le contrôle s'effectue sur des maquettes représentant les lignes d'accostage, les formes d'emboutis, la position des poinçonnages, la largeur des bords. Pour l'aspect le contrôleur regarde s'il n'y a pas de marques et s'il est satisfaisant. Il émarge alors la fiche de lancement et la série démarre.

L'atelier des grosses presses est divisé en quatre travées de 16 presses chacune - Un contrôleur est affecté à chaque travée, il passe environ toutes les demi-heures au pied de la même presse, soit pour arrêter la presse, soit pour faire changer le lot de tôles; cependant comme nous l'avons dit plus haut la multiplicité des petits défauts oblige dans certains cas à laisser passer les pièces.

Les pièces terminées sont ensuite rentrées en magasin, puis triées à 100% par une équipe d'O.S. Vérificateurs - Les pièces conformes sont dirigées sur les lignes d'assemblage, les pièces défectueuses sont marquées à l'endroit des défauts par des lettres correspondant à un code qui spécifie les temps de retouche - Ce contrôle fournit donc en même temps l'engagement de l'atelier de retouches.

Le triage à 100% en magasin est évidemment une opération coûteuse, improductive, et qui de plus augmente les risques de détérioration - la manutention de pièces en tôle de 8/10ème d'épaisseur, telles que côtés de caisse ou pavillon de 4 CV. mesurant 2 m 300 et 2 m 500 de long est très délicate, le moindre choc laisse une marque visible, qu'il faut enlever ensuite.

Il serait donc souhaitable de pouvoir éliminer ce triage à 100% en passant directement en chaîne les pièces bonnes. Une première solution consisterait à déplacer le personnel de triage auprès des presses réalisant l'opération finale, mais les dimensions des pièces et les risques d'accidents ne le permettent pas.

On s'est alors demandé s'il ne serait pas possible en effectuant des prélèvements réguliers de s'assurer de la qualité des pièces entre ces prélèvements et de les envoyer ensuite directement en lignes d'assemblage.

Le critère de qualité choisi est le temps de retouche dont nous avons parlé plus haut.

Cet essai a été appliqué pour commencer sur 8 pièces, tôles extérieures et caissons intérieurs de portes 4 CV. AV. et AR. côtés D. et G., les gammes d'usinage comportent pour chaque pièce 3 opérations. Il y a donc lieu d'effectuer un contrôle sur chaque opération, afin de déterminer les retouches occasionnées. Le contrôleur fait un prélèvement toutes les 20 minutes, l'échantillon est de 5 pièces, la production est de 200 pièces environ à l'heure, il contrôle donc 7% de la Production. Il note les temps de retouche des défauts qu'il constate à chaque prélèvement pour chaque opération - les temps sont ensuite totalisés pour une série, c'est-à-dire pour un lancement de 15.000 pièces - les renseignements obtenus sont les suivants :

- 1°) - une valeur estimée de la retouche sur la série
- 2°) - la valeur de la retouche entraînée par chaque opération de la gamme
- 3°) - Par comparaison entre plusieurs séries, détermination de la meilleure combinaison presse-outil.

La valeur de la retouche à effectuer sur une série présente un intérêt capital pour le département usineur, car c'est le baromètre de sa qualité, et si cette valeur n'est pas excessive, il pourra passer directement les pièces en chaîne.

La valeur de la retouche entraînée par chaque opération de la gamme est très utile à connaître pour déterminer l'importance du contrôle à lui appliquer.

La meilleure combinaison presse-outil est imprévisible lors du démarrage d'une fabrication; en effet, les plateaux, supérieur et inférieur, des presses ne sont jamais rigoureusement parallèles, les colonnes qui assurent le guidage des outils présentent un certain fléchissement; on voit dans ces conditions que le même outil monté sous deux presses différentes ne donnera pas les mêmes résultats, et ces résultats ne peuvent être mis en évidence que par une étude de la fabrication.

On voit aisément l'intérêt que présentent de tels renseignements. Comme cet essai de contrôle a été mené en conservant le triage à 100%, il était naturel de rapprocher les deux résultats et on s'est aperçu que la valeur estimée de la retouche s'écartait assez considérablement de la valeur vraie fournie par le triage à 100%.

Profitant des renseignements fournis par l'étude détaillée des différentes opérations de la gamme, nous allons entreprendre ce que j'appellerai une recherche opérationnelle, afin de séparer les causes des défauts observés, en même

temps qu'une détermination exacte de la dispersion, qui nous permettront, je pense, d'arriver à contrôler par prélèvement une fabrication particulièrement difficile.

Pour d'autres pièces telles que ébénisteries (cadres de glaces) et planches de bord, nous avons amené la retouche à une valeur assez faible pour pouvoir les envoyer directement en peinture, l'atelier peut absorber les réparations et le retour de pièces inutilisables est voisin de 1%, valeur acceptable.

Je parlais à l'instant de recherche opérationnelle, elle est, dans le cas qui nous intéresse, compliquée du fait de l'interdépendance de certains défauts; par exemple si une pièce casse à l'emboutissage le réglage à effectuer est un desserrage, et si l'on desserre des plis peuvent apparaître, que l'on doit retoucher également; on n'est jamais certain d'avoir éliminé un défaut.

M. X

Monsieur Duffour nous a parlé de l'emboutissage d'éléments de carrosserie importants. Je pense qu'il existe des pièces embouties d'importance moindre. Les contrôlez-vous aussi à 100% ?

M. Duffour

On les contrôle statistiquement. C'est le cas par exemple des clavettes, cuvettes en tôle (diamètre 30, 40), rondelles.

M. X

L'opération d'emboutissage possède-t-elle une constance suffisante pour que les prélèvements soient d'une importance comparable à ceux que l'on effectue sur un tour ou machines analogues ?

M. Duffour

En petit emboutissage on a une constance suffisante pour pouvoir prendre des prélèvements d'importance réduite. Je ne m'occupe pas de ce département mais je crois qu'on utilise la table de Philips. Je crois d'autre part que l'on fait un contrôle en cours de fabrication, et un contrôle réception une fois le lot terminé.

M. Bazin

Avez-vous essayé de contrôler dans un atelier d'emboutissage les opérations de cambrage, en mesurant des angles, ou en essayant d'apprécier des flèches, des planétés? Ce que vous nous avez exposé n'est en somme qu'une statistique de défauts d'aspect.

M. Duffour

Nous nous occupons actuellement de l'état de surface uniquement. Le contrôle géométrique fait l'objet d'un autre contrôle.

M. Courtilot

Austade retouche, et au moment où on livre les pièces à la chaîne d'assemblage, le contrôle de l'état de surface est-il fait par la même personne ou par des personnes différentes ?

M. Duffour

Au magasin, on repère les défauts par inspection à 100%. Il y a marquage de pièces, et ces pièces sont envoyées à l'atelier de retouche qui dépend du département. Cet atelier est extérieur au contrôle.

M. X

Est-ce qu'on juge la qualité après retouche ?

M. Duffour

Non. Il se fait un nouveau filtrage pour les pièces terminées sortant des lignes d'assemblage, mais après retouche il n'y a pas de nouvelle vérification. On suppose que le travail a été bien fait à l'atelier de retouche.

M. Courtillot

Là, justement, il y a matière à discussion, parce qu'on s'est aperçu qu'en prenant 5 personnes très averties des questions des états de surface et en leur demandant de classer 20 échantillons de tôle plusieurs fois de suite, on obtenait des dispersions très considérables. Si bien qu'on a pu voir que pratiquement, on ne pouvait trouver que 3 à 4 catégories d'états de surfaces différentes : très mauvais, moyen, et bon. Si l'on basait un contrôle statistique sur les impressions de gens qui sont eux-mêmes très dispersés, cela donnerait des résultats assez décevants.

M. Duffour

Les prélèvements réguliers ont été effectués à la presse.

M. Courtillot

Je parle du stade ultérieur, après retouche. Quelle est la qualité que l'on obtient? Est-ce que vous avez pu trouver un critère satisfaisant et stable?

M. Malinet

Ce critère semble être en l'occurrence la qualité de la carrosserie peinte et entièrement terminée.

M. Duffour

Non, à chaque stade de fabrication, il y a un nouveau contrôle. Il y a un contrôle à la presse, un contrôle à la fin de la ligne d'assemblage de l'élément de tôlerie, un contrôle au montage des éléments de la carrosserie, un contrôle peinture et ensuite un contrôle livraison (voitures terminées) pour tout ce qui concerne la tolérances. Ce qu'il faut, et c'est le seul critère qu'on ait trouvé, c'est ne pas laisser entrer sur les lignes d'assemblage des pièces présentant des temps de retouches incompatibles avec ceux que peut absorber la chaîne.

M. Malinet

Il me semble alors que l'on s'est contenté, et c'était la meilleure solution, de limiter les dégâts, en prenant comme critère le temps de retouche. C'est rationnel.

M. Duffour

Ce qu'il y a de gênant c'est cette équipe de triage à 100%.

Evidemment, on a fait une expérience pour voir si par prélèvements aux presses (avant rentrée des pièces au magasin) on pouvait obtenir une valeur estimée de la retouche comparable à celle obtenue au magasin - dans l'espoir, si le pourcentage de retouches est faible, de supprimer un jour ou l'autre complètement le contrôle à 100%.

En fait, il y a deux choses à mener ensemble : un essai d'étude de la dispersion de l'apparition des défauts (et je ne sais pas trop comment le traiter) et une diminution de l'importance de ces défauts en agissant sur les différents facteurs.

Relations entre producteurs et utilisateurs de tôles

M. Goureau

Usinor étant un pourvoyeur de tôles de Renault, la question évidemment m'intéresse. Plus précisément je voudrais savoir comment vous comptez débiter ce contrôle à la presse en tenant compte de la qualité de la tôle livrée. Autrement dit, un défaut étant constaté à la sortie de la presse, dans quelle mesure est-il imputable à la presse, et dans quelle mesure est-il imputable à la tôle.

M. Duffour

C'est un problème qui est encore très discuté; même les gens qui font le réglage des presses, les gens de l'atelier, souvent ne se prononcent pas sur la provenance du défaut : matière ou réglage de la presse.

M. Goureau

Il semble que ce soit pourtant la première chose à savoir pour votre réglage de presse. Un défaut à la sortie de presse peut suggérer de changer le réglage, alors que ce défaut provient du lot de tôle et non du réglage. Vous risquez alors de changer votre réglage, et que cela marche pour ce lot et que pour le lot suivant cela ne marche pas.

M. Duffour

Ce qui était important dans le travail que nous avons fait c'était surtout de déterminer la production de défauts aux différentes opérations de la gamme.

M. Goureau

Je m'occupe dans nos ateliers du contrôle des tôles avant qu'elles partent chez le client.

Le contrôle de l'état de surface des tôles avant emboutissage doit normalement éliminer les défauts tels que paille, défauts du métal. Pour moi, j'élimine les autres défauts dont vous avez parlé, défauts dus à la manutention donc ultérieurs à notre contrôle, ou bien défauts qui peuvent apparaître en cours d'emboutissage et ne se voient pas sur tôle plate, tels que soufflures ou vermiculures.

Ce contrôle n'est pas fait de façon statistique.

M. Malinet

Espérez-vous pouvoir le faire statistiquement?

M. Goureau

C'est un peu fonction des desiderata du client, et du contrôle qu'il fait lui-même. Si le client trouve une méthode de contrôle astucieuse et peu chère, nous pourrions peut-être nous contenter d'un contrôle non à 100%, et peu coûteux.

D'autre part, il serait stupide je pense que nous fassions un contrôle 100% au départ, et vous, clients, un contrôle 100% à l'arrivée. Les 2 contrôles se complètent. Nous ne pouvons commencer un contrôle statistique sans savoir ce que vous faites, et vous ne pouvez sans doute pas en mettre un sur pied sans connaître le pourcentage en défauts de ce que nous vous livrons - car il reste forcément des défauts, même après notre contrôle. L'établissement d'un contrôle doit mettre en jeu à la fois client et fournisseur.

M. Courtilot

Quelles sont actuellement les garanties de possibilité d'emboutissage que vous donnez?

M. Goureau

Au point de vue qualité d'emboutissage il existe des cahiers des charges. Nous suivons l'U.T.A.C. d'une part, et d'autre part nous suivons quand même les résultats d'emboutissage chez le client. Nous avons des clients "pilote". Renault (pour ne pas le citer) est au fond pour nous une sanction partielle du travail de nos aciéries et de nos laminoirs. Comme contrôle à nous, nous avons un contrôle assez succinct et qui répond au cahier des charges c'est-à-dire : limite élastique, résistance, essais de traction. C'est un contrôle très imprécis. Il est absolument normal qu'il n'y ait aucune corrélation entre l'essai de traction que l'on fait sur un petit barreau pris dans un endroit d'une bobine avec les caractéristiques moyennes de la bobine entière. Sur une bobine, ou plutôt sur un "paquet", (un paquet représente chez nous une bobine ou une fraction de bobine c'est-à-dire à peu près 5 tonnes) nous faisons un essai de traction en extérieur. Il est bien entendu que, comme ils s'agit en plus d'un acier effervescent qui n'a pas les mêmes caractéristiques d'un mètre à l'autre tout le long de la bobine, un essai pris à un endroit ne représente absolument pas la caractéristique moyenne de la bobine. Mais comme les cahiers des charges sont établis de cette façon là, il faut bien qu'on fasse un essai pour classer le métal dans une catégorie, et qu'ensuite le client paye suivant un barème établi.

C'est pourquoi je disais que cet essai qui n'a pas beaucoup de valeur est doublé par un essai qui a beaucoup plus de valeur, qui en fait n'est pas un essai mais une sanction, la sanction client. Le client pilote qui nous dit le pourcentage

de rebuts pour emboutissage qu'il a eu sur un certain nombre de livraisons, sur l'ensemble des lots livrés pendant un mois par exemple, nous permet par là même de juger si notre fabrication actuelle est bonne, moyenne ou mauvaise. Nous rectifions d'après les réclamations du client. Notre petit essai de traction à la sortie du laminoir à une valeur de classement et de prix, c'est tout.

M. Malinet

Était-il besoin d'une étude statistique pour s'apercevoir que cet essai de traction, en fait, ne représentait pas très bien la qualité?

M. Goureau

Nous n'avons pas fait d'étude statistique. L'expérience a suffi à prouver que ce n'était pas représentatif.

Ce qui est plus grave c'est qu'en faisant sur une même tôle des essais de traction, et en l'emboutissant après, on n'obtient aucune corrélation. C'est un problème extrêmement vaste et qui est effectivement ouvert à la statistique. Il faut commencer par faire un plan d'essais, un plan d'échantillonnage; décider d'étudier la variation des caractéristiques mécaniques (traction) d'un bout de la bobine à l'autre; prendre dans une même bobine 100 tractions et voir comment elles se répartissent; étudier ensuite la corrélation entre ces 100 essais et le résultat pour toutes les tôles provenant de cette bobine sous presse, pour une même pièce. C'est une étude extrêmement vaste. Cela se fera certainement, mais pour l'instant nous n'avons que des données tout à fait empiriques.

M. Malinet

Qu'est-ce qui vous empêche de démarrer cette étude?

M. Goureau

D'abord la mise au point du plan d'étude. Nos services de contrôle ne sont pas aptes à dresser un plan d'étude statistique de la question. Et ensuite, même quand ce plan serait fait, il faudrait vraisemblablement embaucher pas mal de gens pour faire cette étude. Il faudrait faire marcher des machines de traction 24 heures sur 24 selon un plan déterminé parce que les essais jusqu'à présent ont été faits dans des conditions assez différentes et mal repérées. Nous avons des tonnes de résultats mais c'est tellement disséminé que même un statisticien a du mal à tirer un tableau à double entrée et à en sortir quelque chose.

M. Bazin

Ce n'est pas tout. Je me souviens qu'à mes débuts on m'a demandé d'étudier un essai sur l'aptitude à l'emboutissage du laiton, qui comprenait un essai de traction, résistance, allongement, limite élastique, un essai Guiller (?), un essai KWI et une mesure de grain. On a fait l'essai dans différentes conditions. On a constaté que certains facteurs métallurgiques avaient de l'influence sur ces résistances et limites élastiques, que d'autres n'en avaient pas. Mais ce que l'on n'a jamais pu arriver à déterminer c'est si les lots de laiton employés dans certaines conditions s'étaient mieux emboutis que les lots de laiton fabriqués dans d'autres conditions. Jusqu'à présent les critères sur l'aptitude à l'emboutissage qui nous ont servi pour les débuts, n'ont aucune relation avec les résultats obtenus à l'emboutissage.

M. Goureau

Je ne connais pas le domaine des laitons mais dans le domaine des aciers le problème est tout de même un peu plus avancé. On ne livre pas n'importe quoi au client. Actuellement, on sait quand même ce qu'il faut lui faire, pour qu'il ne soit pas trop mécontent. Mais on ne peut pas dire avec précision les corrélations qui existent entre les essais ou même les méthodes de fabrication de l'acier, d'une part, et les résultats sous presse chez un client déterminé, d'autre part. Nous avons partagé les lots en deux, nous en avons envoyé une partie chez Renault et une partie chez Simon, l'un nous a dit que les lots ne valaient rien et l'autre qu'ils étaient excellents. C'est là justement que j'aimerais m'intéresser à une étude de presse et des emboutisseurs. Je voudrais savoir quelle valeur accorder à un résultat sous presse d'un client ou d'un autre. Quand j'aurai une note exacte de la part du client je pourrai, moi, à ce moment là classer les lots en bons ou

mauvais, et faire toutes les corrélations que je voudrai. Tant que cela dépendra de la presse du client, je ne pourrai évidemment pas lancer grand-chose chez moi.

Nous avons du reste déjà réalisé des essais avec des clients. Nous avons fait avec Chausson un essai en commun de vieillissement des tôles effervescentes qui a d'ailleurs pris plus d'un an mais qui a fourni des résultats.

Auparavant Chausson et Usinor s'étaient mis d'accord sur un plan d'essais commun. Nous devons livrer des lots bien déterminés. On en livrait 10, de 10 natures différentes et chaque lot était partagé en 6 parties égales. Chaque partie était emboutie à des dates différentes, dans des conditions bien déterminées. Ça n'avait pas pour but uniquement de juger de la nature de notre métal ni du bon fonctionnement des presses. On avait en effet constaté que les caractéristiques mesurées sur un métal effervescent n'avaient pas la même valeur à 2 mois de distance. Par exemple un même essai de traction fait le 1er janvier et refait deux mois après, ne donnait pas les mêmes résultats. C'est un phénomène de vieillissement de l'acier que nous ne pouvions pas contrôler tout seuls. Ça intéressait directement le client, et c'était le but de cette étude, qui a fort bien marché d'ailleurs et qui est certainement à généraliser.

M. Bazin

Nous pouvons aussi citer un exemple, mais il n'est pas très probant. Nous avons un client qui nous a contacté lui-même sans que nous ne lui demandions rien en nous apprenant honnêtement que sa fabrication n'allait pas. Il ne savait pas si cela venait de notre marchandise qu'il utilisait (nos tubes) ou si cela venait de ses procédés de fabrication. Il est bien probable qu'il y avait un peu des deux. Je lui ai soumis un plan en lui demandant de suivre nos diverses livraisons et de m'établir une petite statistique de base des rebuts à chaque stade de sa fabrication. Cela n'est pas compliqué, nous lui faisons une livraison par mois et sa fabrication a trois stades. Il fabrique des membranes à partir de nos tubes. Je lui ai demandé également de faire des essais systématiques de fatigue sur des membranes prélevées dans différents lots, ceci dans différents formats de membranes. Il a été intéressé et il a acquiescé; mais voilà 6 mois que les pourparlers sont écoulés et je n'ai encore rien reçu. Il devait m'adresser, en principe, un état tous les mois.

M. Hibon

Dans l'industrie des lampes où je travaille, nous avons des contacts avec des grandes administrations et des grandes usines utilisatrices, comme par exemple Renault ou Peugeot pour les lampes autos, et nous avons des contacts fréquents pour discuter les cahiers des charges et définir les règles statistiques de contrôle de réception. Cela s'est fait avec Renault, (à cette occasion là, j'ai eu même l'occasion de visiter toute l'organisation Renault de contrôle statistique. Cela m'a d'ailleurs vivement intéressé et j'en ai même profité), et il n'y a pratiquement plus d'histoires dans les réceptions de lampes d'auto, puisque nous avons défini à la base les méthodes, la quantité de prélèvements, et les critères. Nous faisons de même avec les P.T.T. et les autres clients.

M. Laurent

Il y a un autre exemple dans le domaine des tôles minces. L'I.R.S.I.D. a fait des essais systématiques qui ont porté justement sur l'influence des méthodes d'élaboration, des méthodes de transformation, de fabrication des tôles et les conditions d'emboutissage. Je ne dis pas que l'on est arrivé à en tirer des règles mathématiques, mais on en a tiré des orientations, notamment pour la comparaison de laminage. On a dressé un plan d'expérience. On a fait couler par plusieurs usines suivant des méthodes pré-établies et bien définies à l'avance, des lots, puis on les a séparés. Par exemple, l'emboutissage d'une même coulée a été fait par plusieurs emboutisseurs pour annuler l'influence possible de l'emboutisseur.

M. Malinet

L'exploitation des résultats a été faite par des méthodes d'analyse de variance ou de corrélation?

M. Laurent

De corrélation. Je ne dirai pas que les résultats ont été toujours très nets. Mais je crois que les cas de collaboration entre le fournisseur et le client sont très nombreux, sinon toujours systématiques.

Recherche des facteurs qui ont une influence sur la qualité

M. Bazin

Nous avons fait pas mal d'études à Givet sur de nombreux problèmes différents. Nous faisons, dans la mesure du possible, le plus large appel aux techniques statistiques chaque fois que se pose un problème de fabrication. Les techniques statistiques, c'est excessivement vaste. Ça commence au test de Student pour comparaison de deux échantillons prélevés sur deux populations dont on veut tester la différence. Ça continue par l'analyse de la variance pour étudier l'influence d'un facteur sur une caractéristique quelconque. Nous avons fait également appel aux techniques de corrélation pour dégrossissage rapide des problèmes. Mais je dois dire que je n'ai pas trouvé dans les études de corrélation la précision et la sûreté que j'ai trouvées dans les méthodes d'analyse de la variance ou de l'analyse factorielle.

M. Malinet

Que reprochez-vous à la corrélation?

M. Bazin

De faire appel à la nécessité de la normalité des populations étudiées. Or, quand on fait un essai de fabrication il est impossible a priori de donner à la caractéristique qu'on fait varier des valeurs réparties suivant une loi de Gauss, ou alors on n'en sort plus. Pour étudier la variation des caractéristiques d'un laiton en fonction de sa teneur en impuretés, on réalise en fonderie des produits ayant des teneurs données en impuretés 0,010, 0,020, 0,030; on ne peut pas faire d'étude de corrélation là-dessus.

M. Malinet

Peut-être de régression.

M. Bazin

Oui, nous utilisons les techniques de régression chaque fois qu'il y a une courbe à tracer et que la courbe ne peut pas être déterminée avec précision. C'est le cas pour de grosses erreurs de mesures, pour une grosse variation aléatoire de la caractéristique étudiée, pour des moyennes. En fin de compte, j'ai été amené à mettre au point un petit guide de calculs résumant la pratique de calcul des tests de manière à pouvoir faire exécuter ces tests par des gens ayant une formation mathématique très sommaire - niveau brevet; employé de comptabilité, par exemple. Pratiquement, je n'ai pas à m'en plaindre. Ils ont eu quelques difficultés au début quand ils faisaient les applications et maintenant je peux demander à un employé ayant le niveau du brevet de faire un calcul de corrélation de calculer une droite de régression, voire même une régression polynomiale, il a les éléments suffisants dans ce manuel pour s'en tirer avec la liste de mesures qu'on lui donne et une bonne machine à calculer.

M. Courtilot

Je vous signale des méthodes non paramétriques qui sont actuellement en gestation, en cours de diffusion même, et dont un exposé assez succinct mais des notes assez abondantes renvoyant aux travaux originaux, existent dans "Travail Humain", sous la signature de Monsieur Moncor (chargé de recherches au C.N.R.S.). Il parle en particulier des techniques de "sign test", des "corner test", etc ...

M. Bazin

Dans le cas de la fonderie, quand vous voulez savoir l'influence, par exemple, d'une addition sur la présence de soufflures ou d'inclusions dans du métal, c'est-à-dire le nombre d'éléments défectueux ou le nombre d'éléments non défectueux, vous avez toujours des pourcentages extrêmement variables et vous ne pouvez

agir que sur un nombre très limité d'individus. En partant alors de doses variables du métal d'addition, on peut constituer un petit nombre de lots, comprenant chacun un petit nombre de produits, et d'après les pourcentages d'éléments défectueux trouvés dans chacun de ces lots, on peut ajuster par la méthode du maximum de vraisemblance une courbe de régression qui est infiniment plus précise et infiniment plus valable que toutes celles qu'on aurait par méthode graphique ou même par régression polynomiale.

M. Malinet

Malheureusement, dans ce cas là, il faut que l'influence de ce facteur soit suffisamment forte, qu'elle ne soit pas noyée par l'influence d'autres facteurs.

M. Bazin

A chaque stade de l'ajustement, on procède à un test de signification et l'on s'arrête lorsque les différences constatées cessent d'être significatives par rapport à la dispersion des points autour de la courbe moyenne. C'est la règle classique de tout ajustement par régression.

En dehors de cela, les études statistiques par analyse de la variance nous ont rendu de grands services, en particulier l'étude des interactions.

A ce propos, je peux vous signaler le cas de cette étude que l'on avait faite sur l'aptitude à l'emboutissage du laiton. On avait constaté deux séries de lots :

1°) des lots standard S ne contenant aucune addition d'étain, et coulés à partir des réglages habituels de la fabrication : on a pris 4 lots qu'on a appelés SA, SB, SC, SD.

2°) des lots non standards G contenant une certaine quantité de cuivre affiné au feu, donc différents des lingots habituels, et avec en plus des additions d'étain en proportion variable : 0,010, 0,030, 0,050, 0,100. On avait appelé ces lots GA, GB, GC, GD.

Chaque tranche (A, B, C, D) a subi la même marche de fabrication : recuits ensemble aussi bien aux recuits intermédiaires qu'aux recuits finaux.

D'après les résultats il me fallait essayer de déterminer l'influence de l'étain sur les caractéristiques mécaniques. Les résultats se présentant sous forme d'un tableau schématisé, comme suit :

Traitements Types de lots	A	B	C	D
S	(SA)	(SB)	(SC)	(SD)
G	(GA)	(GB)	(GC)	(GD)

(Additions variables d'étain dans les lots G)

La première conclusion fut qu'étant donné les différences dues aux traitements entre les lots A, B, C, D, il était impossible de dire a priori si l'étain avait ou non une influence.

On trouvait dans les lots (G) des différences presque du même ordre que sur les lots (S).

J'ai fait alors une analyse de la variance à 2 dimensions en prenant comme valeurs du 1er facteur S et G, comme valeurs du 2ème facteur A, B, C, D. J'ai constaté qu'il existait dans certains cas une interaction entre ces deux facteurs, autrement dit que leurs effets n'étaient pas additifs.

Ce qui différençait les lots S et G était : absence (S) ou présence (G) d'étain.

Ce qui différençait les lots A, B, C, D, était, d'une part, le traitement pour les lots (S) et (G), d'autre part, pour les lots (G) l'addition variable d'étain.

Si l'on faisait l'analyse de tous les facteurs couverts par la différence S, G, on trouvait :

- différence des lots
- présence d'étain en quantité variable (entre SA et GA, SB et GB, etc ...)

Pour les différences (A, B, C, D) on trouvait :

- différence de traitements
- présence d'étain en quantité variable dans GA, GB, GC, GD. Le seul facteur commun à (SG) et (A, B, C, D) était la présence d'étain. J'en ai été amené à conclure que dans le cas où l'on trouvait une interaction significative, on pouvait admettre que l'étain avait une influence dans la variation des caractéristiques constatées.

Pour confirmation, j'ai appliqué le test de Student à chaque ensemble de ces deux mesures, j'ai fait également des études de régression sur les différences entre ces lots, et toutes ces méthodes sont tombées d'accord pour confirmer les résultats obtenus par l'analyse de la variance - Seulement l'analyse de la variance m'a permis d'obtenir en deux heures de calcul des résultats qui ont demandé 4 ou 5 fois plus de temps par les autres méthodes. En particulier, c'est vraiment un des cas où une interaction apparemment inexplicable m'a donné la solution d'un problème qui était vraiment très difficile à déchiffrer autrement, étant donné la dispersion dans les résultats.

M. Malinet

Toutes les variances étaient-elles significatives?

M. Bazin

Non. Il y avait des effets qui n'étaient pas du tout significatifs, il y en avait qui l'étaient, mais le fait qu'ils soient significatifs pouvait être attribué uniquement aux différences de traitements. Par exemple, le fait de trouver une différence significative entre le lot A et le lot B pouvait être attribué uniquement au fait qu'ils n'avaient pas subi le même traitement thermique, qu'ils avaient été recuits dans des fours à un jour ou deux d'intervalle (un four n'est jamais à la même température). Trouver des différences significatives entre les lots A, B, C, et D ne voulait pas du tout dire que l'étain avait de l'influence. Si l'on trouvait des différences significatives entre lots S et G, et si l'on avait recuit, par exemple, les bottes du lot S dans une certaine position et les bottes du lot G dans une autre position, cela pouvait vouloir dire qu'entre les deux emplacements dans le four il y avait une différence due aux traitements thermiques.

M. Moriceau

Pourquoi n'avoir pas essayé de placer vos éléments au hasard?

M. Bazin

Malheureusement le plan a été lancé tel quel. On a fait un essai d'apparence cartésienne, en disant qu'il ne faut pas tout mélanger, qu'il faut essayer d'y voir clair, qu'il ne faut pas trop demander au hasard, que si l'on fait un véritable tirage au sort on va tout mélanger et qu'on n'y verra rien. En fait, c'est le contraire qui s'est passé, on a tellement bien organisé les éléments et le plan de classement des facteurs d'influence que pratiquement on n'y voyait plus rien. Il n'y a que la présence de l'interaction significative qui ait permis de dégager une influence et elle était dans l'ensemble assez faible. C'est un des cas où l'analyse statistique nous a bien aidé. Dans l'ensemble, chaque fois que nous avons eu à faire appel à l'analyse de la variance et aux techniques de régression, nous sommes arrivés à des résultats qui se tenaient, alors que par des essais menés avec les méthodes habituelles, en faisant varier un peu le facteur, on arrivait en général à des résultats qui étaient inexploitable.