



Contrôle de la Qualité :

Méthodes mathématiques

Pour un process industriel quelconque, on trouve deux situations de base : ou bien l'Industrie accepte une petite proportion de produits défectueux (habituellement couverts par une garantie), ou bien tous les produits sont soumis à des contraintes strictes (habituellement les situations de sécurité). Mais la distinction entre les deux n'est pas aussi nette qu'on peut le penser.

I. Situations de garantie

Sous la forme la plus simple, la question se présente ainsi : l'Industriel veut lancer un produit nouveau (par exemple un nouveau modèle de radiateur électrique) et, avant de le mettre sur le marché, veut tester un petit nombre d'appareils, dans des conditions aussi réalistes que possible. La question est de la taille de l'échantillon à tester, et des conclusions à tirer des résultats obtenus sur cet échantillon.

Prenons un exemple numérique : on teste 5 000 radiateurs et on voudrait, à partir du nombre observé de produits défectueux, prédire le taux de rejet sur une production de 100 000 unités par an. On espère que ce taux de rejet sera inférieur à 1/100.

La théorie mathématique utilisée pour répondre à ce type de question est décrite dans nos livres [MPPR] et [NMP]: si n objets sont défectueux, sur une population de taille N (la population test), la probabilité d'avoir n' objets défectueux sur une population de taille N' (la production annuelle en série) est donnée par une formule explicite, déduite aisément de l'expression de la densité du taux de risque.

Cependant, une telle approche comporte des hypothèses académiques : on suppose que tous les appareils fonctionnent de manière indépendante et qu'il n'y a pas de défauts communs (par exemple, une erreur de conception, affectant toute une ligne de fabrication). Elle suppose aussi que les conditions d'utilisation de la population-test seront les mêmes que dans la vie réelle, ce qui est souvent discutable.

Une situation du même type concerne les extensions de garantie, qui existent en particulier pour l'électroménager et les automobiles. En ce cas, les nombres n, N font référence aux situations rencontrées sous garantie, tandis que n', N' concernent les années suivantes. Mais là encore, attention ! De telles formules ne prennent pas en compte le vieillissement, qui joue pourtant un rôle essentiel.

Une préoccupation des fabricants d'automobiles est de disposer d'un système d'alerte précoce, disant par exemple : sur tel type de véhicule, on constate un nombre important d'incidents sur les boîtes de vitesse au-delà de 80 000 km ; nous devons donc nous préparer à effectuer les interventions nécessaires, en termes de main d'œuvre et de pièces.

Détecter ce type d'événement est assez facile, grâce à des outils probabilistes appropriés. Mais il est difficile de leur attribuer une loi quantitative pour le nombre d'incidents à venir, par exemple sur une période de deux ans. Les problèmes, en effet, peuvent ne concerner qu'une petite sous-série (et non tous les véhicules du même modèle), ou bien, à l'inverse, révéler un défaut général de conception.

II. Situations de sûreté

Dans certaines situations, on s'attend à ce que les systèmes ne manifestent aucune anomalie : c'est le cas des composants de sûreté. Malgré tout, la fabrication ne peut être absolument régulière et parfaite. Il arrive que le seul moyen de vérifier la qualité du composant soit de le détruire (par exemple en découpant une pièce de métal et en vérifiant la composition). Mais ceci est évidemment difficile, lent et coûteux.

En pareil cas, l'Industrie choisit quelques échantillons de manière aléatoire et les vérifie ; on espère que les résultats pourront être transposés à la production tout entière. Mais une erreur est souvent commise : l'investigation, au lieu d'être totalement aléatoire, devrait se concentrer sur les endroits les plus susceptibles de défaillance.

Expliquons ceci sur un exemple traitant de pièces métalliques ; l'Industrie veut vérifier la composition d'un alliage, qui devrait être constant à l'intérieur de chaque pièce et d'une pièce à l'autre.

Imaginons que nous testions 1 000 pièces. Nous en choisissons 100 au hasard selon une loi uniforme et regardons ce que donne le test. Par exemple, il pourrait révéler qu'un certain pourcentage est plus élevé dans le coin avant gauche. Nous prendrons cette information en considération pour les 100 tests suivants, qui seront davantage concentrés dans ce coin, parce que c'est là que nous soupçonnons qu'il se passe quelque chose. Nous ne mettrons pas tous nos tests à cet endroit, cependant, parce que le test de la génération précédente peut avoir laissé passer des défauts ailleurs. Et ainsi de suite : chaque série de tests apporte une information complémentaire, utilisée pour définir le test suivant. Ceci s'appelle "test dynamique".

Plus précisément, à la $n^{\text{ème}}$ étape du test, nous construisons une loi de probabilité (ici de la composition de l'alliage). A la $n + 1^{\text{ème}}$ étape, le test est fait selon cette loi de probabilité, qui à son tour est modifiée en fonction des résultats.

III. Comparaison de produits

La situation la plus simple est la suivante : plusieurs industriels produisent le même type de pièce, et un acheteur, ou une autorité, veut classer ces industriels en fonction de la qualité du produit, qui ne devrait jamais tomber au dessous d'un certain seuil.

Disons en pratique que chaque industriel produit 100 pièces, supposées être toutes de même poids. L'industriel communique le poids de chaque pièce. L'autorité en prélève 10 au hasard, pèse ces dix pièces et compare le poids relevé avec celui communiqué par l'industriel. Si la plupart coïncident, à une certaine approximation près, l'ensemble de la production est accepté ; sinon, on fait davantage de tests, pour décider si la production sera acceptée ou non.

Les questions qui se posent sont :

- décider du nombre d'objets à tester ;
- décider si le producteur est fiable ou non.

Ces questions sont très différentes, par leur nature, de celles qui se posaient précédemment à propos d'un échantillon. On ne se soucie pas d'une moyenne sur les différences, mais du nombre de situations où la différence dépasse un certain seuil, fixé par l'autorité comme étant le maximum acceptable.

Nous travaillons ici sur la différence $I_k - A_k$, où I_k est la valeur annoncée par l'industrie et A_k est la valeur mesurée par l'autorité. Cette différence peut être positive ou négative. Le principe mathématique que nous utilisons ici est la "propagation" de l'information, depuis les pièces où elle est connue aux pièces où elle ne l'est pas. Ceci est fait grâce à notre méthode probabiliste appelée EPH (Experimental Probabilistic Hypersurface), présentée dans notre livre [PIT].

Grâce à l'EPH, nous obtenons une loi de probabilité pour la différence $I - A$, pour toutes les pièces, y compris celles pour lesquelles il n'existe aucune mesure par les autorités. Nous en déduisons une loi de probabilité globale ; si cette loi est assez concentrée au voisinage de 0, alors le producteur peut être considéré comme satisfaisant. Plus précisément, la variance de cette loi de probabilité permet un classement des producteurs : plus elle est faible, mieux cela vaut.

Si une pièce révèle une loi de probabilité qui n'est pas suffisamment concentrée, c'est un bon candidat pour la prendre dans le prochain échantillon de test : elle est suspecte. L'EPH donne ainsi une méthode très claire pour décider si l'échantillonnage est suffisant ou non et, s'il ne l'est pas, quelles sont les pièces suspectes, à examiner lors du prochain test.

IV. Correction des "non-qualités"

Il peut arriver qu'une industrie rencontre une situation où le nombre de pièces non conformes est trop élevé, et sont donc rejetées lors de l'inspection finale. Ceci est généralement dû à une variabilité excessive du process de fabrication : l'un des paramètres au moins n'est pas contrôlé aussi précisément qu'il le faudrait.

Notre méthode probabiliste de hiérarchisation des paramètres (voir notre fiche de compétences http://scmsa.eu/fiches/SCM_methodes_robustes.pdf) permet de classer facilement les paramètres, selon leur influence sur la qualité finale. L'industriel vérifie alors que le contrôle sur le premier paramètre est suffisant, et passe au second, et ainsi de suite jusqu'à ce que la raison de la variabilité soit trouvée. Nous avons utilisé cette méthode avec DCNS (2013) pour trouver le meilleur réglage des paramètres dans une machine de soudage.

La même méthode permet de construire un "indice de similarité" entre des objets industriels ; nous l'avons utilisée dans le cadre d'un contrat avec Air Liquide (2011). Si un objet est défectueux, quels sont les objets les plus similaires à celui-ci, ce qui signifie qu'ils méritent investigation ?

V. Références

1. Livres

[MPPR] Bernard Beuzamy : Méthodes Probabilistes pour l'étude des phénomènes réels. SCM SA, ISBN 2-9521458-0-6, ISSN 1767-1175, mars 2004, seconde édition, juin 2016.

[NMP] Bernard Beuzamy : Nouvelles Méthodes Probabilistes pour l'évaluation des risques. SCM SA, ISBN 978-2-9521458-4-8. ISSN 1767-1175, broché, 272 pages. Avril 2010.

[PIT] Olga Zeydina and Bernard Beuzamy : Probabilistic Information Transfer. SCM SA. ISBN: 978-2-9521458-6-2, ISSN : 1767-1175. Hard cover, 208 pages. May 2013.

2. Contrats récents (depuis dix ans)

- Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, 2007-2014 : Applications de l'Hypersurface Probabiliste aux problèmes de sûreté des réacteurs nucléaires
- Snecma Propulsion Solide, 2009 : Méthodes probabilistes pour la fiabilité
- Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, 2009 et 2015 : outils d'aide aux inspections
- Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, 2009 et 2011 : prestations de conseil relatives aux études probabilistes de sûreté
- Agence Nationale pour les Déchets Radioactifs, 2009 : Modèles mathématiques pour la propagation des radionucléides dans le sol
- Areva, 2010 : Méthodes probabilistes pour l'étude d'un stockage de déchets radioactifs
- Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, 2010 : Analyse mathématique des dispositifs de surveillance au sein d'un réacteur nucléaire
- PSA Peugeot Citroën, 2010 et 2011 : Etudes statistiques

- Groupe Total, 2010 : Méthodes probabilistes pour l'évaluation d'une pollution
- Air Liquide, 2011 : Algorithmes d'aide à la décision
- ArcelorMittal, 2011-2012 : Méthodes probabilistes pour la qualité d'un usinage
- Réseau Ferré de France, 2012 : Mise en place d'indicateurs de criticité
- Air Liquide, 2012 : Bases de données de fiabilité
- GDF SUEZ, 2012 : Evaluation des incertitudes dans la comptabilité du gaz
- Areva, 2012 : Méthodes probabilistes pour l'évaluation des propriétés mécaniques de plaques
- IRSN, 2013, 2014, 2015 : Appui Méthodologique à l'Evaluation des Ecart de Bilan de Matières Nucléaires
- DCNS, 2013 : Analyse préliminaire de "non-qualités" sur un site de production
- DCNS, 2013 : Méthodes probabilistes pour l'amélioration d'un procédé de soudage
- Société Axtrid, 2013 : Mise en oeuvre de l'Hypersurface Probabiliste
- Coop de France déshydratation, 2013 : Réalisation d'un outil d'analyse des COVNM
- IRSN, 2013-2014 et 2015 : Analyse du dimensionnement du réseau TELERAY

3. Colloque organisé par la SCM en juillet 2014 : la validation d'un process industriel

Conférenciers :

- Michel Bénézit, Total
- Bernard Beauzamy, SCM SA
- Axel Verse, Areva
- Paul Deheuvels, Université de Paris 6 et Académie des Sciences

Pour télécharger les exposés :

http://scmsa.eu/archives/SCM_CLQ_2014_07.pdf