

Prolonger la MSP par la "Maîtrise Globale du Processus"

par Daniel LAFAYE de MICHEAUX

Le "Global Process Control" (GPC) – en français "Maîtrise Globale de Processus" – est une nouvelle méthode qui constitue un prolongement de la MSP (Maîtrise Statistique de processus). Le GPC vise des gains importants sur

- la qualité finale des produits issus du processus

- la productivité, par la réduction des coûts de production et de contrôle.

Un grand nombre d'entreprises françaises utilisent déjà les cartes de contrôles proposées par la MSP. Elles ont pu mesurer les améliorations ainsi induites : meilleure qualité livrée, réduction des rebuts et recyclages, allègement du contrôle final avec qualité assurée. On constate, de plus, que la MSP conduit à une meilleure connaissance du processus, ce qui bénéficie à la productivité et facilite le lancement de nouveaux produits. La MSP permet enfin une plus grande responsabilisation du personnel dont les effets positifs ne sont plus à démontrer.

Aller plus loin

Pourquoi chercher à aller plus loin dans la maîtrise du processus ?

Parce qu'apparaissent des limites aux améliorations obtenues par les méthodes classiques de MSP alors que les exigences de qualité et de productivité augmentent sans cesse.

Les problèmes qui subsistent se manifestent différemment selon le contexte technique et économique :

- le client réduit les tolérances : resserrement des limites, diminution du taux accepté de non-conformités (ppm) ;

- les défauts livrés coûtent encore trop cher ;

- les rebuts pèsent encore trop sur les coûts de production ;

- la production est limitée par des arrêts trop nombreux pour réglages ou identifications d'anomalies.

De plus, les nouvelles exigences de qualité, qui s'appliquent sur des processus toujours plus complexes, conduisent à un nombre important de mesures à surveiller, plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines. La surveillance du processus par des cartes de contrôle individuelles (une par mesure) devient alors un casse-tête :

- une surveillance scrupuleuse de tant de cartes est difficile à gérer en pratique et conduit à un grand nombre de fausses alertes très perturbantes ;

- la surveillance d'un nombre limité de mesures "sensibles" ou "critiques" réduit l'efficacité de la détection d'anomalies véritables ; on augmente ainsi le risque de corrections tardives et donc de rebuts, de défauts livrés.

Une approche globale du processus

C'est par une approche plus "globale" du processus que le GPC améliore la maîtrise de production :

- globale dans le sens où les mesures ne sont pas considérées séparément, sur des cartes séparées, "monodimensionnelles", mais sont appréhendées en tenant compte de leurs interrelations dans l'espace "multidimensionnel" de toutes les mesures.

L'information considérée ainsi est beaucoup plus riche, et l'on peut reconnaître les anomalies par les empreintes de formes particulières qu'elles laissent dans cet espace multidimensionnel ; on peut donc les

détecter plus tôt et les identifier avec certitude.

- globale dans le sens où les règles mises en place pour la maîtrise du processus tiennent compte à la fois de considérations techniques (valeurs cibles, variabilité, tolérances, fréquences de défauts, ...) mais aussi de considérations économiques (coûts de production, coûts de réglages, coûts de rebut, coûts de défauts, ...).

Détecter une anomalie

Tout cela peut paraître complexe pour obtenir une mise en œuvre efficace dans le contexte réel d'un atelier de production. De fait, cette approche n'est plus compatible avec le suivi manuel de cartes de contrôle, les valeurs mesurées doivent obligatoirement donner lieu à un enregistrement informatique. Très généralement, un tel enregistrement est déjà en place, soit par des dispositifs de mesure automatique, soit par des saisies manuelles. Dans la pratique, le suivi par GPC d'un processus opérationnel consiste à contrôler sur écran l'évolution d'indicateurs à l'aide de cartes de contrôles classiques ou de graphiques simples. Ces indicateurs, calculés par ordinateur, ont été définis par l'analyse préalable d'un historique de mesures et sont calculés chacun par combinaison des différentes mesures associées à une observation. Ces indicateurs ont une interprétation claire qui rend leur utilisation facile.

Un indicateur global, qui résume le comportement de l'ensemble des variables mesurées, permet de détecter s'il y a ou non anomalie.

Identifier une anomalie

Lorsqu'une anomalie est ainsi détectée, il faut examiner les valeurs prises par les indicateurs associés aux différents

types d'anomalies pour identifier la cause de l'anomalie. Un tel indicateur peut représenter "une grandeur cachée", qui n'est l'objet d'aucune mesure directe, mais qui influence plusieurs grandeurs mesurées.

On peut alors surveiller l'évolution de l'anomalie sur la carte de contrôle de son indicateur.

Maîtriser la qualité et les coûts

L'anomalie étant détectée et identifiée, faut-il la corriger immédiatement ? Ce n'est pas sûr. Il peut être judicieux, pour limiter les coûts de réglage et d'arrêt de production, de différer la correction ; c'est possible si l'on sait que le fonctionnement actuel est encore compatible avec le respect des tolérances sur le produit fini. Pour éclairer cette décision on compare alors des caractéristiques du produit, mesurées ou calculées, à des "limites de maîtrise" : ces limites sont définies au cours de l'analyse préalable du processus qui est basée sur un historique des mesures et sur des données économiques de la production.

Les atouts du GPC

L'efficacité de cette démarche réside dans la pertinence des outils développés pour la phase d'analyse préalable : outils d'analyse des coûts et d'analyse statistique multidimensionnelle. Ces outils sont ajustés au comportement du processus industriel qui admet une certaine variabilité dans le cadre d'un fonctionnement correct, mais qui est susceptible d'anomalies. Une anomalie peut alors apparaître brutalement ou progressivement, elle peut entraîner la modification de moyenne ou de dispersion d'une ou plusieurs variables mesurées. Ce type de comportement de processus est présent dans tous les domaines d'activité industrielle : chimie, mécanique, électronique, agro-industrie, ...

Un exemple industriel

Voyons sur un exemple réel la puissance de la détection d'anomalie obtenue par GPC grâce aux indicateurs multidimensionnels.

Il s'agit de données extraites de mesures concernant un réacteur chimique. Le

nombre de mesures disponibles sur le processus est très important (73) ce qui rend difficile le suivi. L'étude a porté sur un historique comportant une centaine de moyennes horaires consécutives. Nous retiendrons ici ce qui concerne une anomalie qualifiée de critique qui a fait une apparition brutale aux périodes 122 et 157 : les 73 cartes MSP en place n'ont pas détecté ce dysfonctionnement grave. Les outils de détection GPC ne trouvent aucun signe de cette anomalie sur 69 mesures mais donnent une détection très nette en considérant les 4 variables du groupe "hydro".

Les cartes de contrôle séparées (Shewhart classique) de ces 4 variables présentent divers aspects remarquables du fonctionnement du réacteur (figure1). Elles ne distinguent cependant aucune anomalie sur les observations de numéros 122 et 157, l'anomalie est totalement masquée (triangles rouges sur la figure 1).

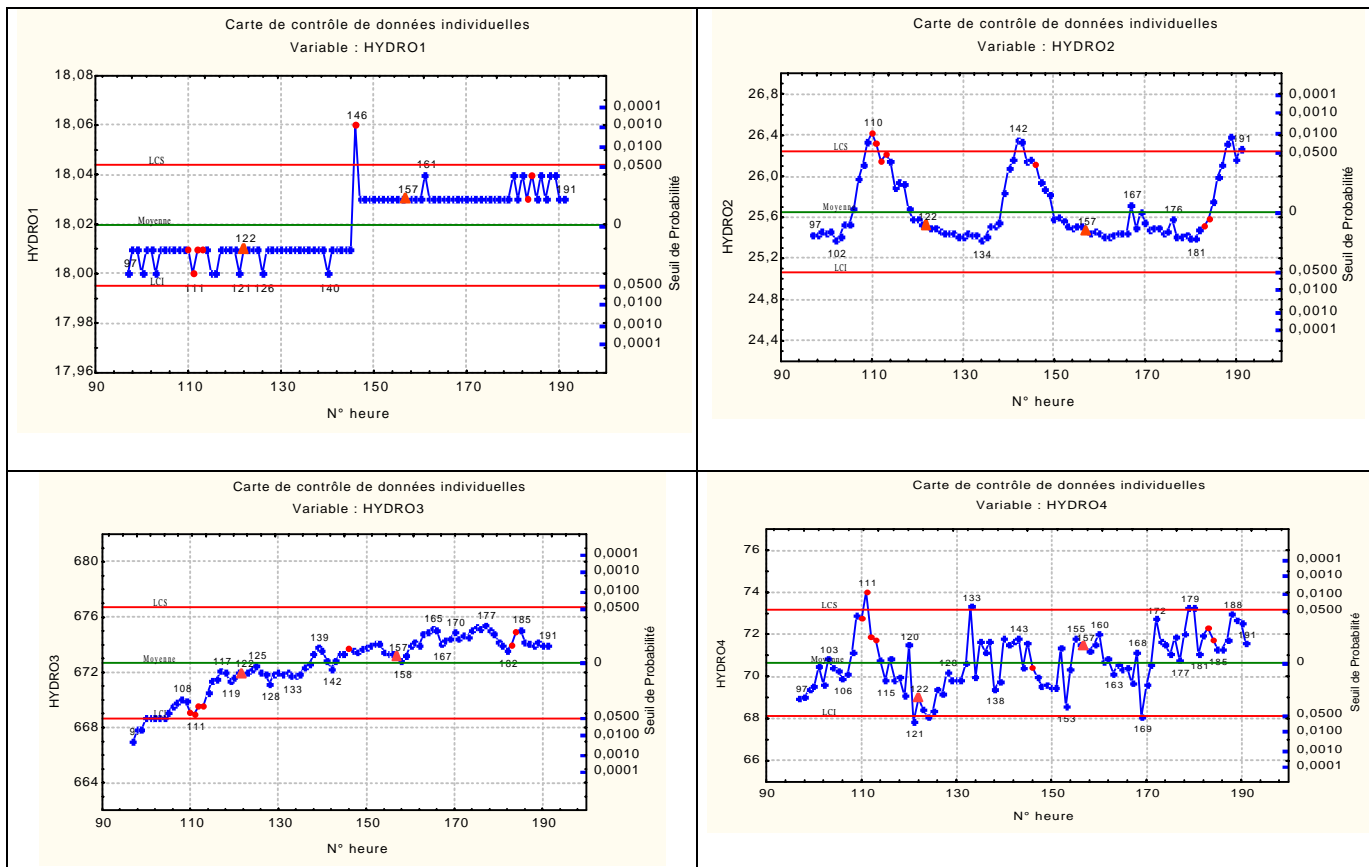


Figure 1
4 variables "hydro"

La carte de contrôle sur l'indicateur global d'anomalies, construite à partir des mesures du groupe "hydro", déclare très clairement hors contrôle ces deux observations (figure 2). Enfin, la carte associée à l'indicateur d'anomalie établie à partir de ces 2 observations montre que l'évolution vers la situation déplorée a été continue depuis la date 117 (figure 3). L'utilisation d'une telle carte aurait pu conduire

à une détection anticipée, elle peut prévenir le renouvellement d'incidents de cette origine.

Notons que, sur ces cartes, les limites de contrôle sont situées au seuil 5%. L'échelle indiquée (à gauche) en "seuil de probabilité" permet de voir immédiatement ce que donnerait un changement du choix de ce seuil (0,0027 pour des "limites à 3σ " au lieu de 0,05 pour les "limites à 2σ "). De nombreuses

autres remarques et commentaires seraient à faire au sujet de cet exemple, mais ils dépassent le cadre de cette présentation rapide du GPC. On peut mentionner cependant que, sur les graphes précédents, les ronds rouges indiquent des mesures en anomalies d'après les 69 variables hors groupe "hydro".

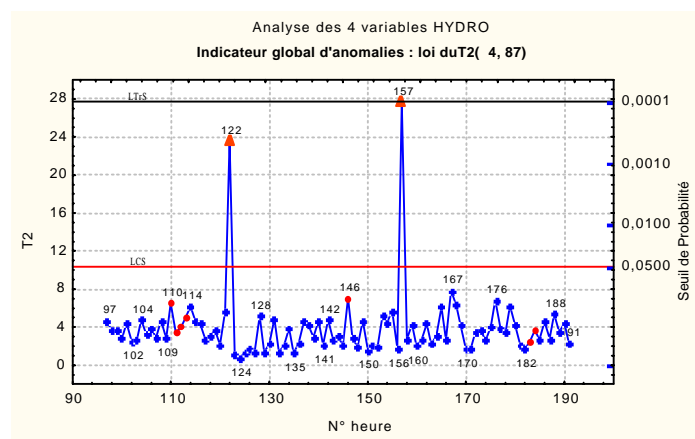


Figure 2
4 variables "hydro"
Indicateur global d'anomalies

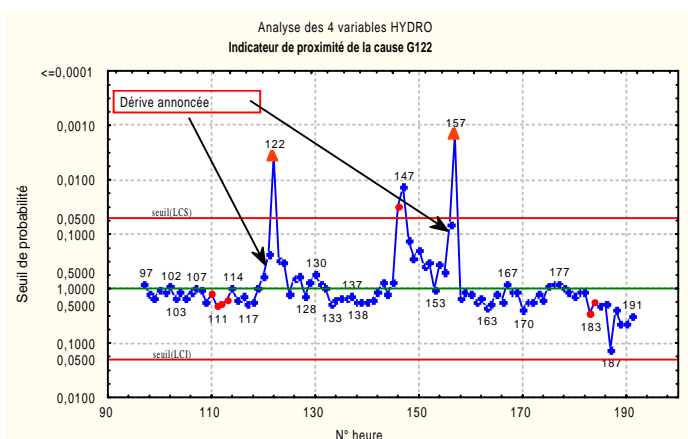


Figure 3
Indicateur de l'anomalie constatée en 122 et 157

Les bases de la méthode

Nous allons donner quelques principes sur lesquels est basée la méthode GPC. Pour simplifier la présentation, considérons le cas où seulement deux grandeurs Y1 et Y2 sont mesurées. Chaque observation peut être représentée par un point dans un diagramme plan : la valeur mesurée y1 de Y1 est la coordonnée horizontale du point, la valeur y2 prise par Y2, en est la coordonnée verticale (figure 4).

Détection d'une anomalie

Dans le cadre classique de la MSP, les limites de contrôles définies sur les deux variables délimitent un rectangle d'acceptation de l'observation (rectangle vert) : tout point-observation situé dans ce rectangle est considéré comme "sous contrôle" (le fonctionnement du processus est reconnu correct)

par chacune des cartes de contrôle séparées sur Y1 et sur Y2.

Si la probabilité de fausse alerte (déclaration que l'observation est "hors contrôle" alors que le processus fonctionne correctement) pour une carte de contrôle est de 5% (limites à 2σ), la probabilité de fausse alerte que l'on a en considérant les deux cartes est d'environ 10%. Si l'on avait 10 variables, on atteindrait environ 40% de fausses alertes.

C'est pourquoi, la pratique courante est de prendre des limites plus larges (à 3σ) pour réduire les fausses alertes. Ce faisant on réduit les capacités de détection d'anomalies véritables alors que le taux de fausses alertes reste préoccupant. Cet aspect est un défaut majeur du suivi MSP par cartes séparées lorsque le nombre de variables surveillées est

important. Voyons comment le GPC pallie ce défaut.

Dans la figure 4, les croix bleues représentent des points "sous contrôle". La distribution dans le plan de ces points correspond à une situation générale de MSP : Y1 et Y2 suivent une distribution normale (gaussienne) et ne sont pas indépendantes. On voit clairement qu'un point situé dans la zone grisée ne peut raisonnablement être assimilé à un point bleu, car trop éloigné de la zone de répartition des points bleus : il doit correspondre à une anomalie. Etant situé à l'intérieur du rectangle vert, ce point est déclaré sous contrôle séparément par les deux cartes de contrôle de Y1 et Y2 : il s'agit donc d'une anomalie qui n'est pas détectée par la méthode MSP classique.

Le problème vient de ce que la zone d'acceptation (rectangle vert) définie par les cartes séparées n'a

pas une forme adaptée à la dispersion réelle des points-observations dans l'espace à deux dimensions.

La limite de contrôle définie sur l'indicateur global du T2 (proposé par le GPC), délimite une zone d'acceptation elliptique (ellipse rouge figure 4) ; on peut démontrer que c'est la meilleure zone d'acceptation sous l'hypothèse habituelle de distribution gaussienne pour Y1 et Y2. De plus, on peut alors choisir de façon rigoureuse, la probabilité de fausse alerte que l'on tolère.

Identification d'une anomalie

La figure 4 présente des points et triangles rouges. Ces deux types de points représentent des observations associées à deux anomalies de types différents : l'anomalie 1 est due à la dérive en moyenne d'un paramètre caché qui influe sur Y1 et Y2, l'anomalie 2 est due à une augmentation de la dispersion d'un autre paramètre caché influant sur les deux variables mesurées. On constate, sur l'exemple, que les points associés à une anomalie sont disposés le long d'une même direction ("traces linéaires"). Cette situation correspond à un comportement habituel d'un processus de production. Ce phénomène est impossible à constater au vu des cartes de contrôle séparées. Il faut utiliser des outils adéquats d'analyse de données pour reconnaître ce phénomène quand on dispose de plus de 2 mesures.

Les outils d'analyse du GPC classent les points hors contrôle de

l'historique selon différents types d'anomalie, en identifiant différentes "traces linéaires". Chaque anomalie est alors caractérisée par un "profil" qui donne des indications précieuses pour identifier sa cause technique véritable.

Dans la phase de contrôle opérationnel, pour chaque observation déclarée en anomalie par l'indicateur global du T2, le GPC indique le type d'anomalie dont elle relève ainsi que l'intensité de cette anomalie. La figure 5 montre comment les deux anomalies de l'exemple sont bien distinguées par leurs indicateurs. La figure 4, par contre, montre un grand nombre de points rouges à l'intérieur du rectangle vert : ce sont des anomalies de type 1 non détectées par les cartes de contrôle séparées.

Maîtrise de la qualité et des coûts

Selon le niveau d'aptitude du processus, il est possible de tolérer un fonctionnement qui soit en anomalie, tant que sont satisfaites les tolérances imposées sur les caractéristiques finales du produit. Cela permet de réduire le nombre d'interventions, les arrêts de production et les coûts de réglage.

Le GPC définit des limites de maîtrises sur les mesures et indicateurs qui déterminent le moment où la dérive n'est plus tolérable. Ces limites peuvent être calculées à partir d'un seuil de probabilité ou de l'évaluation d'un risque économique. Ce calcul tient compte de la relation - entachée d'incertitude - qui relie l'indicateur

mesuré en cours de production avec la ou les caractéristiques finales. Le risque économique encouru a deux origines :

- le rejet d'un produit qui sera déclaré bon au test final : il y a un manque à gagner,
- l'acceptation d'un produit qui sera rejeté au test final : il y a perte des coûts de production d'ici à la fin du processus.

Références

Le GPC utilise des méthodes et outils originaux, développés par l'auteur de l'article, qui ont donné lieu à dépôt de brevet international. Le GPC intègre aussi des techniques connues depuis des années mais encore trop peu employées : ainsi l'indicateur global d'anomalie du T2 est déjà présent dans certains logiciels usuels.

Des articles témoignent déjà des gains considérables qui ont pu être obtenus par l'emploi d'une MSP multidimensionnelle (1). Le GPC, qui comprend des techniques encore plus affinées, est en cours d'installation chez BP Amoco (chimie), en cours d'évaluation chez Thomson Microsonics (composants électroniques).

(1) "Slashing waste through tighter control - Multivariate process control lessens catalyst waste and saves \$1 million / year", C.Hawkins, M. Wood, Chemical engineering P107, July 1999.

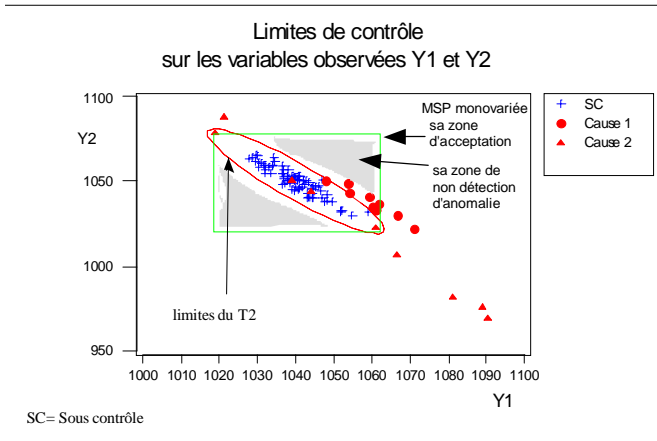


Figure 4

Représentation plane de deux caractéristiques

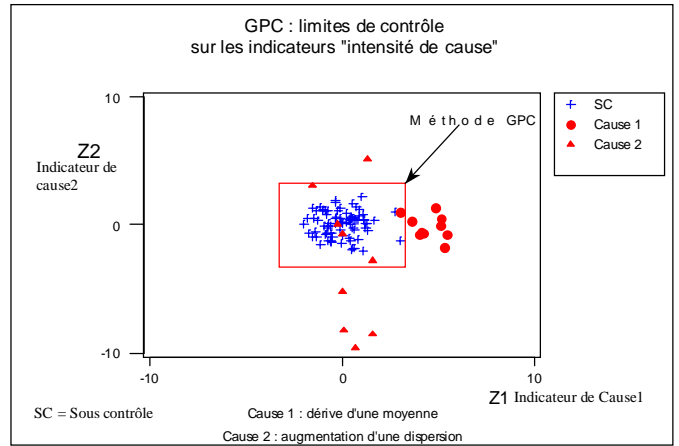


Figure 5

Représentation plane de deux indicateurs d'anomalie