



Amélioration de la qualité

d'un process industriel

I. Le besoin

Un process industriel (par exemple la fabrication d'une pièce métallique complexe) dépend évidemment d'un très grand nombre de paramètres : les compositions chimiques des entrées, les températures et les pressions tout au long de la chaîne de fabrication, les divers réglages, etc.

L'Industriel peut être insatisfait de la qualité, principalement dans deux situations :

- Il respecte toutes les spécifications ; pourtant, un taux de rejet excessif apparaît en fin de process. Une proportion importante des pièces (40% ou davantage) ne passe pas les contrôles de qualité imposés avant la livraison au client. Dans ces conditions, le coût de fabrication est très important.
- La qualité est bonne, supérieure aux seuils voulus, mais inégale. L'Industriel voudrait que le process soit toujours "bon", et cesse d'osciller entre "bon", "très bon", "excellent", etc. En effet, ces oscillations semblent indiquer que l'Industriel ne maîtrise pas convenablement son process.

II. L'apport des méthodes probabilistes

A. Pourquoi les méthodes probabilistes ?

Rien ne dépend jamais du hasard, et certainement pas un process industriel, mais on a le droit de considérer que l'influence de chaque paramètre sur la variable d'intérêt est régie par une loi de probabilité qu'il va falloir déterminer. On ne recherche pas les causes intimes du phénomène : elles dépendent de lois physiques mal connues. On se contente de traiter les données disponibles pour mettre cette loi de probabilité en évidence. C'est une approche orientée "data" et non "physique", qui a deux caractéristiques principales :

- Elle est simple et rapide à mettre en œuvre ;
- Elle est compatible avec toutes les informations "métier" dont on peut disposer.

Les méthodes probabilistes sont "robustes" en ce sens qu'elles prennent en compte, dès le début, les incertitudes sur les données et sur les lois. Voir nos livres [MPPR] et [IEPE] pour une description plus complète.

B. Etape préliminaire

Pour chacun des paramètres qui interviennent, nous déterminons sa propre loi de probabilité en réalisant l'histogramme correspondant. Cette étape préliminaire permet aussi de détecter les données manquantes et les valeurs aberrantes et, au besoin, de les corriger ou de les reconstruire.

C. La hiérarchisation des paramètres

C'est la première question qui intéresse l'Industriel : parmi tous les paramètres qui interviennent, quels sont ceux qui influent le plus sur la qualité en sortie ? Nos méthodes permettent cette hiérarchisation, quel que soit le nombre des données. Voir notre fiche spécifique "hiérarchisation" :

https://scmsa.eu/fiches/SCM_Hierarchisation.pdf

D. Recherche de réglages satisfaisants

C'est la seconde question qui intéresse l'Industriel. En général, il dispose d'un réglage usuel, qui pose problème. Nos méthodes permettent, pour chaque paramètre intervenant dans le process, de définir un intervalle de confiance (tout un intervalle, et non pas une simple valeur), qui permet d'assurer un bon réglage. Cette notion d'intervalle de confiance est souvent nécessaire pour répondre aux Autorités de Sécurité, qui s'inquiètent de la prise en compte des incertitudes.

La méthode permet aussi la mise en évidence des configurations de paramètres qui conduiront à une situation à risque pour la variable de sortie du process, par exemple une qualité inférieure à un seuil fixé.

Nos méthodes reposent exclusivement sur des méthodes mathématiques anciennes, ayant fait leurs preuves. Elles peuvent être utilisées pour une démonstration de sûreté, à la demande des Autorités, ce que ne permet pas l'utilisation aveugle d'un logiciel.

Les mathématiques sont non brevetables : l'Industriel peut faire ce qu'il veut de la méthode que nous développons pour lui, y compris l'incorporer à sa propre informatique. Il n'existe pas de licence logicielle sur les outils que nous réalisons.

E. Différences avec les statistiques

Les statistiques permettent de multiples traitements des données : ajustements, régressions, tests, mais toujours en faisant des hypothèses sur les lois des échantillons recueillis. Or, dans les situations où nous travaillons, ces lois ne sont pas connues et introduire des lois factices est tout aussi inacceptable qu'introduire des données factices. On peut dire grossièrement que les statistiques sont une forme raffinée des probabilités (lorsque la loi est connue) et que les probabilités sont une forme préliminaire des statistiques (avant que la loi soit connue).

III. Nos réalisations

Livres :

[IEPE] Bernard Beauzamy : Introduction à l'Etude des Probabilités Expérimentales. Ouvrage édité et commercialisé par la Société de Calcul Mathématique SA. ISBN : 979-10-95773-02-3. ISSN : 1767-1175. Relié, 192 pages. Janvier 2023.

[MPPR] Bernard Beauzamy : Méthodes probabilistes pour l'étude des phénomènes réels, ISBN : 2-9521458-0-6, Editions de la SCM, mars 2004 ; seconde édition, juin 2016.

[RDM] Bernard Beauzamy et Olga Zeydina : Méthodes probabilistes pour la reconstruction de données manquantes, ISBN : 2-9521458-2-2, Editions de la SCM, avril 2007.

[NMP] Bernard Beauzamy : Nouvelles méthodes probabilistes pour l'évaluation des risques. ISBN : 978-2-9521458-4-8, ISSN : 1767-1175, Editions de la SCM, avril 2010.

[PIT] Olga Zeydina et Bernard Beauzamy : Probabilistic Information Transfer. ISBN: 978-2-9521458-6-2, ISSN: 1767-1175. Editions de la SCM, mai 2013.

Références récentes :

- 2005-2006, Veolia Environnement : Méthodes probabilistes pour la caractérisation des pénuries d'eau en Vendée et le dimensionnement des ouvrages d'art correspondants.
- 2005-2006, Veolia Transport (Connex) : Méthodes probabilistes pour le dimensionnement de réseaux de transports collectifs.
- 2006-2015, Agence Européenne pour l'Environnement : Contrat cadre "méthodes probabilistes pour la qualité de l'eau en Europe".
- 2006-2009, IRSN : Méthodes probabilistes pour la Sûreté Nucléaire : mise en place de la méthode de l'Hypersurface Probabiliste (méthode créée par la SCM).

- 2006, Observatoire de l'Energie, DGEMP : Etude probabiliste concernant la sécurité des approvisionnements en gaz pour la France.
- 2007-2012, Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA) : Analyse probabiliste des modèles de transferts de radionucléides.
- 2007-2008, Délégation à la Sûreté Nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la Défense (DSND) : Calculs de sûreté pour les systèmes d'armes nucléaires.
- 2008, Agence de l'Eau Artois-Picardie : Etude probabiliste concernant la qualité des eaux de rivière et caractérisation des situations de bonne qualité.
- 2008, Réseau de Transport d'Electricité : Méthodologie probabiliste relative à une décision d'investissement.
- 2009-2010, SNECMA Propulsion Solide : Méthodes probabilistes pour l'amélioration de la fiabilité des composants.
- 2010, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, Nuclear Energy Agency (OCDE) : Détection de données aberrantes dans les bases de données.
- 2011-2012, ArcelorMittal : Méthodes probabilistes pour l'amélioration de la qualité d'un usinage.
- 2011, Air Liquide : Hiérarchisation de paramètres et construction d'un "indice de proximité" entre pipelines.
- 2013, Areva : Hiérarchisation des paramètres intervenant dans un process industriel.
- 2013, DCNS, site d'Indret : Soudage par Faisceau d'Electrons ; hiérarchisation de l'influence des paramètres par analyse probabiliste.
- 2013, Coop de France déshydratation : Réalisation d'un outil d'analyse des Composés Organiques Volatils Non Méthaniques.
- 2015, Solétanche-Bachy : Hiérarchisation des paramètres influant sur la déformation d'un ouvrage d'art.
- 2016, 2017, COSEA : Etude probabiliste relative à la turbidité de l'eau.
- 2018, Eramet : Méthodes probabilistes pour l'amélioration d'un process industriel.
- SARP Industries, 2019 : Hiérarchisation des paramètres intervenant dans un process industriel
- CEA, 2019 : Hiérarchisation de paramètres
- Orano Mining, 2019 : Hiérarchisation de paramètres intervenant dans un process industriel
- SARP Industries, 2020-21 : Analyse des paramètres intervenant dans le fonctionnement d'un four.
- Eiffage Rail, 2021 : Outils pour l'analyse de la fiabilité des équipements
- Teréga, 2021 : Méthodes probabilistes pour la vérification de l'intégrité des canalisations
- Bouygues Energies & Services, 2022 : Appui méthodologique à la conception d'un système d'information "Dysfonctionnements et Mainténances"
- Befesa Valéra, 2022 : Hiérarchisation des paramètres intervenant dans le réglage d'un four
- Coop de France Luzerne, 2023 : Analyses statistiques
- Cristal Union, 2023 : Méthodes probabilistes pour la comparaison d'essais de biocides
- Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 2024-2025 : amélioration de la cartographie des pollutions