Mettre en œuvre un projet PLM au sein de l'entreprise

Vous travaillez dans un milieu où la réactivité et la capacité d'innovation sont des facteurs clés de succès. Vous devez réussir à réduire vos temps de mise sur le marché tout en maitrisant les risques industriels.

Le déploiement d'une solution PLM peut vous aider à résoudre ces problématiques. Elle permet un travail collaboratif sécurisé de vos équipes tout en garantissant le bon niveau d'information.

Cette fiche pratique vous aidera à :
- identifier les critères de sélection d'une solution PLM ;
- préparer la mise en place de la solution ;
- accompagner vos collaborateurs.

En pratique

Étape 1

Pourquoi entrer dans une démarche PLM ?

Le PLM (*Product Lifecycle Management*) se traduit par « gestion du cycle de vie du produit ». Le PLM est un outil permettant de gérer toutes les informations qui gravitent autour de la vie complète d'un produit.

« *Manufacture the good product, and manufacture the product good* » signifie « fournir la bonne information à la bonne personne et au bon moment, c'est tout l'enjeu d'une solution PLM ».

Partager

Il est important de donner un accès aux données à toutes les équipes métiers impliquées dans le développement du produit et de son procédé de fabrication. Vous pouvez permettre à vos équipes de travailler en parallèle afin de réduire les temps de développement et de mise sur le marché.

Capitaliser

Pouvoir retrouver facilement des informations et réutiliser des solutions déjà éprouvées vous permet de gagner du temps en conception, mais aussi dans vos autres services en réutilisant le savoir-faire déjà acquis précédemment.

Fiabiliser

Travailler sur la bonne version des données tout en connaissant le niveau de validité (maturité) permet de diminuer les risques de diffuser une mauvaise information.

Sécuriser

Parce que vous travaillez sur une base de données associée à des volumes de sauvegarde, vos données sont déposées dans un coffre-fort centralisé « vault ». Vous disposez ainsi de mécanisme de sauvegarde, de restauration en cas d'incident et de contrôle d'accès.

Étape 2

Démarrer votre projet d'implémentation

Une fois votre direction convaincue d'engager une démarche PLM, il vous faut choisir la solution qui répondra à vos attentes.

L'intégration CAO

En fonction des logiciels CAO présents au sein de votre société, vous pouvez être orienté vers la solution de gestion de données de votre éditeur CAO. Certains de ces produits sont plutôt axés sur la conception, mais permettent d'accéder simplement à un coffre-fort sécurisé tout en gérant efficacement vos prises de révision.

Si vous êtes en environnement multi-CAO, vous rechercherez une solution plus ouverte. Beaucoup d'éditeurs PLM proposent des interfaces vers les principaux outils CAO. De plus, ces interfaces permettent de générer des modèles CAO « légers » : les modèles 3D sont exportés dans un format visible par des utilisateurs non-CAO. Vous rendez ainsi accessible votre maquette numérique (DMU) à l'ensemble de vos collaborateurs.

Le multisite

Vous voulez être capable d'assurer la conception d'un produit et le pilotage d'un projet sur plusieurs sites. Vous voulez travailler en entreprise étendue, donner l'accès à certaines données de vos projets à des acteurs externes au travers de flux d'échanges structurés.

Ce critère conditionnera le choix d'architecture de votre système d'information (serveur centralisé, réplication des données…).

L'ouverture aux autres SI

Avec quels autres systèmes allez-vous interfacer votre PLM ?

Le PLM constitue votre référentiel produit, le « *as designed* ». Vous devez dès le commencement de votre

Copyright © – Techniques de l'Ingénieur – Tous droits réservés

projet vous demander quel niveau d'information vous voulez définir en PLM.

En effet, on peut imaginer inclure les données « *process* » en PLM (*manufacturing*) puis alimenter votre ERP depuis votre PLM. Ainsi, on sera capable de mesurer l'impact d'un changement sur vos « *process* » dès l'initiation de la demande de modification.

La finalité de ces interfaces étant d'analyser les écarts entre le « *as designed* », le « *as planned* » et le « *as built* » (tel que conçu, tel que planifié, tel que fabriqué) et peut-être même remonter le « *as built* » grâce à vos nomenclatures et maquette numérique et pouvoir tracer vos consommations réelles et lots matières.

Le choix d'un intégrateur

Il est important d'être guidé dans votre démarche par des personnes qui connaissent à la fois les différentes solutions du marché, ainsi que vos enjeux industriels.

Cependant, il est également intéressant de dialoguer directement avec un éditeur pour connaître toutes les capacités de l'outil et les meilleures pratiques.

Étape 3

Comment structurer vos données ?

L'intégration d'un système PLM vous oblige à revoir et refondre vos processus et méthodes internes. Vos échanges d'information entre services se feront dans le système. De ce fait, les données devront être validées avant de pouvoir être traitées par les autres services, comme les plans 2D que vous fournissez à votre département Achats pour consultation des fournisseurs.

En formalisant les étapes de développement de vos produits, vous amenez de la rigueur dans votre organisation et vous uniformisez vos méthodes de travail à l'ensemble de la société.

Le périmètre fonctionnel

Pour réussir la mise en place de cette synergie entre vos métiers, vous devez définir précisément les rôles de chacun dans votre organisation. Des métiers différents impliquent l'utilisation d'outils différents. Ainsi, vous devez comprendre comment fonctionne l'ensemble des entités de votre entreprise. Il est important de les impliquer dans la mise en œuvre de l'outil afin de respecter leur vision des processus métiers.

En gérant différents profils, vous pourrez créer des droits d'accès différents et ne donner accès aux utilisateurs qu'aux informations qui leur sont utiles suivant leur fonction.

Le degré de personnalisation

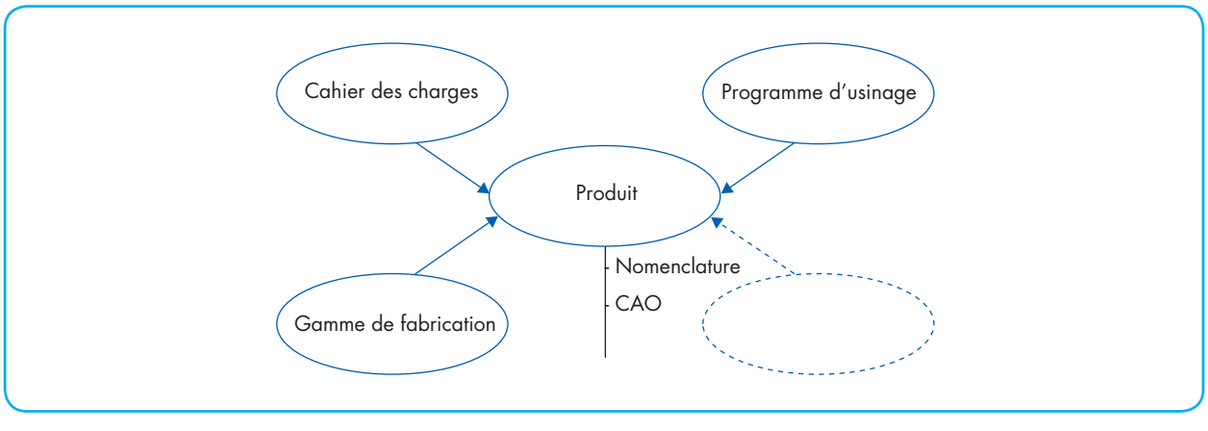
Vous avez le choix d'installer une solution clé en main qui présente l'avantage d'être préconfigurée, et donc de réduire le nombre de jours d'installation. Les processus sont précâblés suivant les standards de l'industrie.

Au contraire, si vous souhaitez une solution plus adaptée aux pratiques de votre entreprise, vous choisirez une offre globale. Vous y développerez votre propre modèle de données, ainsi que vos processus personnalisés.

Construire votre modèle de données

Afin de structurer vos données, vous allez créer des objets spécifiques, des articles. L'article est composé de ses révisions (au moins une) ; c'est la révision qui contient les documents de définition, et qui sera donc soumise aux processus de validation. Vos données seront donc figées, vous obligeant à créer de nouvelles révisions à chaque nouvelle étape. De cette façon, vous vous assurez de tracer l'historique complet du développement de votre produit.

Vos articles sont liés entre eux par des relations, et forment ainsi votre modèle de données fonctionnelles.



Modèle de données fonctionnelles

Copyright © – Techniques de l'Ingénieur – Tous droits réservés

Ces liaisons vous permettent de rattacher à votre produit tous les objets qui s'y rapportent ; vous pourrez ainsi consulter les cas d'emploi de vos objets pour, par exemple, mesurer les impacts d'un changement.

Il est important de bien penser votre modèle de données ; pour cela, n'hésitez pas à faire plusieurs itérations car une fois votre PLM mise en production, il sera difficile de faire machine arrière.

Étape 4

Accompagner vos collaborateurs

La mise en place d'un PLM est un projet long et ambitieux. C'est pourquoi il ne faut pas négliger l'accueil qu'en feront les utilisateurs finaux et les préparer au mieux au changement.

La formation/l'information

Tout au long de votre projet d'intégration, il faut sensibiliser vos collaborateurs aux intérêts d'une démarche PLM. Cela passe en amont par de l'information (expliquer ce qu'est un PLM et à quoi ça sert) puis par de la formation sur l'outil (comment vont-ils travailler désormais). Vous pouvez créer des tutoriels pour les accompagner dans leurs tâches quotidiennes, les familiariser avec le nouvel outil, et organiser des ateliers en parallèle sur des problématiques résolues grâce au PLM : gestion de configuration, gestion des exigences…

La reprise de l'existant

Lorsque votre PLM sera en place, tout nouveau projet débutera directement en PLM, mais qu'en sera-t-il des projets existants ?

Il est primordial qu'à terme, la bascule soit totale, que le PLM soit votre référentiel unique de produits. Ainsi, pour retrouver une donnée, le premier réflexe de vos collaborateurs sera d'ouvrir le PLM.

Vous devez donc mettre en place une stratégie de migration de vos données vers votre nouveau système, et penser aux outils et aux ressources nécessaires pour mener à bien cette tâche.

Notre conseil

Initiez votre mise en production sur un projet pilote composé d'une petite équipe projet ; vous pourrez rapidement roder votre solution et la régler afin d'obtenir un modèle cohérent et des processus aboutis. Commencer avec un nouveau produit vous permettra de certifier que chaque étape de votre processus de développement est bien contrôlée et jalonnée dans votre système PLM.

Évitez les erreurs

- Ne brûlez pas les étapes : il est important de bien lotir la mise en œuvre de votre solution PLM et de bien respecter les paliers. Le premier palier est de construire votre référentiel produit, puis peuvent venir le transfert vers l'ERP, l'intégration des données financières ou l'extraction d'indicateur projet.
- Ne bridez pas vos équipes : le système doit garder de la flexibilité, et permettre à vos collaborateurs une bonne gestion des changements et des réorientations de conception.

Pour aller + loin

Sites internet

- AUDROS, Audrostechnology
www.audros.fr
- ENOVIA, DassaultSystèmes
www.3ds.com/products/enovia/welcome
- SAP PLM, SAP.
www.sap.com/france/solutions/business-suite/plm/index.epx
- TEAMCENTER, Siemens PLM software
www.plm.automation.siemens.com/fr_fr/products/teamcenter/index.shtml
- WINDCHILL, PTC
www.ptc.com/product/windchill

Acronymes et abréviations

PLM : *Product Lifecycle Management*

SGDT : système de gestion des données techniques

PDM : *Product Data Management*

GED : gestion électronique des documents

CAO : conception assistée par ordinateur

DMU : *Digital Mock-Up*

ERP : *Enterprise Ressource Planning*

SI : système d'information

Auteur

Fabien Vadelorge

Copyright © – Techniques de l'Ingénieur – Tous droits réservés

Comprendre les rôles et les responsabilités dans un projet

Le bon déroulement d'un projet passe par une identification claire des acteurs du projet, tant au sein de l'équipe projet que pour les parties prenantes et les autres intervenants internes et externes de votre organisme.

Cette fiche vous aide à identifier les points de repères, à identifier les principaux rôles et leurs responsabilités associées dans votre projet, notamment pour le chef de projet. En complément, elle décrit pour les projets concernés la situation de la maîtrise d'ouvrage (MOA) et de la maîtrise d'œuvre (MOE) ainsi que les critères d'une bonne articulation entre ces deux missions.

Repères

L'organisation des projets dans leur environnement

Les projets dans leur environnement

Il est capital pour la réussite des projets et de leur management de prendre en compte l'environnement interne et externe dans lequel ils se dérouleront et, ce, dès l'émergence d'un projet et pour la suite de son déroulement. Notons dès à présent que cette analyse permet de situer chaque projet par rapport aux autres projets engagés par l'organisme réalisateur et de mesurer son niveau de priorité.

Cette analyse présente différents intérêts pour chaque projet (parfois complétée d'études) et contribue à en construire l'organisation appropriée. Cette analyse permet de :

- **mettre en lumière les facteurs de réussite et les facteurs d'échec** du chemin à parcourir par l'organisation réalisatrice,
- **définir le périmètre, porteur de valeur ajoutée ;**
- identifier les critères de réussite et **le triangle d'Or** (Qualité – Coût – Délai) et les contraintes associées ;
- **l'organisation à déployer** avec vos partenaires internes et/ ou externes ;
- ainsi que **les rôles, responsabilités qu'il conviendra d'assurer pour le mener à bien.**

L'organisation des projets

La décision de réaliser un projet conduit à la mise en place d'une organisation spécifique où il est nécessaire de définir le rôle et la mission de chaque acteur. Cette organisation de projet doit prendre en compte les spécificités liées :

- **au client** (public, privé, consortium…) et **à la nature du contrat** ;
- **au type de projet** : recherche & développement (R&D), organisationnels, amélioration de « process » industriels, site web ou appli mobile, artistique, etc. ; dans le secteur d'activité concerné : BTP, ingénierie, pharmacie, informatique, internet, services, etc. Selon les types de projet, l'entreprise fera le choix de (ou des) formes d'organisation requises (fonctionnelle, matricielle, projet) ;
- **à la taille et à la complexité du projet** : des projets d'envergure et de complexités différentes se traduiront par des organisations différentes. Les « petits projets » auront besoin d'une structure réduite et, pour les « grands » projets, le nombre de personnes impliquées sera élevé) ;
- **à la stratégie de réalisation du projet** : choix du *make or buy*, c'est-à-dire une réalisation en interne *(make),* le recours à des fournisseurs et prestataires externes *(buy),* ou bien une réalisation partagée *(make* pour certaines fonctions ; *buy* pour d'autres).

Cet ensemble de facteurs se traduiront dans le choix des responsables à tous niveaux du projet (selon les exigences et compétences requises), la nature des missions qui leurs seront confiées, ces responsabilités devant être clairement définies pour chacun des intervenants dans leurs périmètres et les activités qu'elles recouvrent. **Il est primordial de ne pas oublier que, quels que soient leurs rôles et responsabilités, les acteurs de projet doivent savoir précisément ce que l'on attend d'eux** !

A noter

Dès le démarrage du projet, **les relations entre les différents acteurs doivent être précisées, par contrat s'il s'agit d'entités juridiques différentes.**

Les rôles clefs

- **Le client du projet**. Le client est celui pour lequel le projet est réalisé. Lorsqu'il s'agit d'un projet réalisé pour compte de tiers il représente la partie qui paie un montant financier selon des modalités définies dans un contrat pour acquérir un ouvrage, un produit, un système, une prestation de services, etc. Il exprime ou fait exprimer un besoin et, après une phase d'étude préalable (économique, marketing, juridique, technique, etc.), il décide ou fait décider le projet.
- On utilisera fréquemment les termes de **commanditaire** (Prince 2, celui qui passe commande du projet) ou de « sponsor ». Il convient d'entendre que le client ou « sponsor » du Projet est le véritable porteur du projet au niveau politique ou stratégique, celui qui dans l'organisme se fait l'avocat du projet, permettant l'obtention de moyens supplémentaires, contribuant à la résolution de problèmes majeurs ou de modifications de contenu. Il approuve les livrables, donne l'orientation au projet, a pouvoir d'influer sur les décisions et assure (souvent) la communication du projet auprès de la direction de l'organisme.

Copyright © – Techniques de l'Ingénieur – Tous droits réservés

- **Les parties prenantes**. Ce sont les personnes ou les groupes spécifiques qui ont, soit une participation financière, soit des intérêts dans les résultats du projet. Normalement, les parties prenantes font partie de l'organisme et peuvent comprendre les membres de l'équipe, des clients internes, des gestionnaires, des employés, des administrateurs, etc. Un projet peut également avoir des parties prenantes externes, y compris des fournisseurs, des investisseurs, des organismes gouvernementaux, des associations, etc.
- **Le comité de pilotage.** Un comité de pilotage est un groupe de parties prenantes qui remplissent une fonction d'arbitrage et d'orientation stratégique du projet. Le commanditaire compose un comité de pilotage dont les membres sont des représentants provenant des diverses organisations impliquées dans le projet. Le comité de pilotage ne se substitue pas au commanditaire : il est représentatif des principales parties au projet, qui ont ainsi connaissance une connaissance régulière et précise de l'état d'avancement du projet et de la conformité de son déroulement aux prévisions. Ils apportent leur contribution aux évolutions majeures du projet, participent aux arbitrages nécessaires et prennent les engagements correspondant dans leur domaine de responsabilité. Par leur implication dans le projet les membres du comité de pilotage sont aussi des « ambassadeurs » du projet auprès d'autres instances, internes ou externes et peuvent ainsi favoriser les soutiens au projet.
- **Le chef de projet** a pour mission de mener le projet à son terme. Il porte l'obligation de résultat et assure le management opérationnel du projet. Il rend compte au Comité de pilotage. Cela signifie, entre autres, qu'il devra assurer la planification, le développement et la réalisation de tous les livrables du projet avec les parties prenantes responsables. Il a la responsabilité de gérer le budget, l'échéancier du projet et le plan de management projet (gestion du contenu, des problèmes, des risques, etc.), d'en contrôler les résultats et de mettre en œuvre ses évolutions (et modifications). Il est force de proposition sur les évolutions éventuelles du projet, qu'il s'agisse du résultat attendu (objet du projet) ou des moyens alloués. La conduite du changement, inhérent à tout projet, entre également dans son champ de responsabilité.
- **L'équipe projet**. Elle comprend les ressources humaines employées à temps plein ou à temps partiel, à qui on a confié le travail sur les livrables du projet. L'équipe du projet peut se composer de personnels internes appartenant à une même organisation fonctionnelle ou de membres provenant de différentes organisations fonctionnelles. Une équipe interfonctionnelle est, en règle générale, un signe que votre organisation utilise la gestion matricielle. Les membres de l'équipe de projet doivent être considérés comme parties prenantes à part entière.

Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre au cœur de la réalisation du projet

Comprendre le partenariat entre maîtrise d'ouvrage (MOA) et maîtrise d'œuvre (MOE)

A chaque étape de la vie des grands projets, MOA et MOE interviennent en résonance. Le tableau ci-après précise les grandes lignes de cette répartition complémentaire des rôles et des responsabilités :

Missions

Missions	
MOA	MOA
• Commanditaire du projet • Connaît le métier • Fixer l'objectif (ou produit) • Fixe les besoin à couvrir • Supervise la conduite du projet • Assure la mise en place opérationnelle	• Fournisseur du produit fini • Apporte technicité et savoir-faire • Conçoit et réalise le produit du projet • Prépare son exploitation • M et le produit à disposition des utilisateurs

La maîtrise d'ouvrage, MOA, est le client du projet. Le client peut également déléguer tout ou partie de la MOA à un consultant ou une société de conseil, souvent qualifié « d'assistant à la maîtrise d'ouvrage ».

La maîtrise d'œuvre, MOE est l'organe réalisateur du projet, représenté par le chef de projet.

Lorsque les deux entités juridiques sont différentes leurs relations sont définies par un contrat. Ce contrat précise les engagements de chacun des contractants à travers :

- le périmètre du projet ;
- ses livrables intermédiaires et définitifs ;
- les ressources mises en jeu en termes de ressources humaines ;
- le plan de management de projet ;
- le qui fait quoi ;
- les parties prenantes ;
- etc.

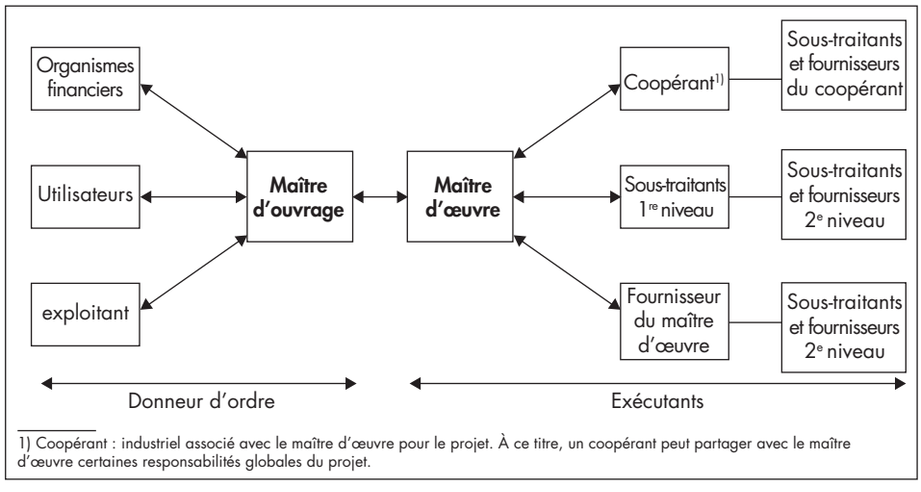
Copyright © – Techniques de l'Ingénieur – Tous droits réservés

Exemples d'organisation des spécifications entre MOA et MOE dans le cadre d'un projet industriel

Interactions :

- Entre donneur d'ordre et exécutants :
  La définition qui en découle est extensive car elle englobe dans la notion de donneur d'ordre l'ensemble des partenaires qui manifestent un besoin et sont prêts à financer pour obtenir les produits et services qui permettront de répondre aux besoins. Parallèlement, la notion d'exécutant englobe tous les organismes qui seront mobilisés pour apporter une solution ; a priori ces organismes seront financés par le donneur d'ordre pour leur contribution.
- Entre maître d'ouvrage et maître d'œuvre :
  Dans ce schéma apparaissent le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre, avec entre eux une relation unique et privilégiée qui constitue le seul pont entre l'ensemble des partenaires constituant le donneur d'ordre et l'ensemble des partenaires constituant les exécutants. Cet aspect est fondamental et est le principal garant de l'efficacité de l'organisation en maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre.

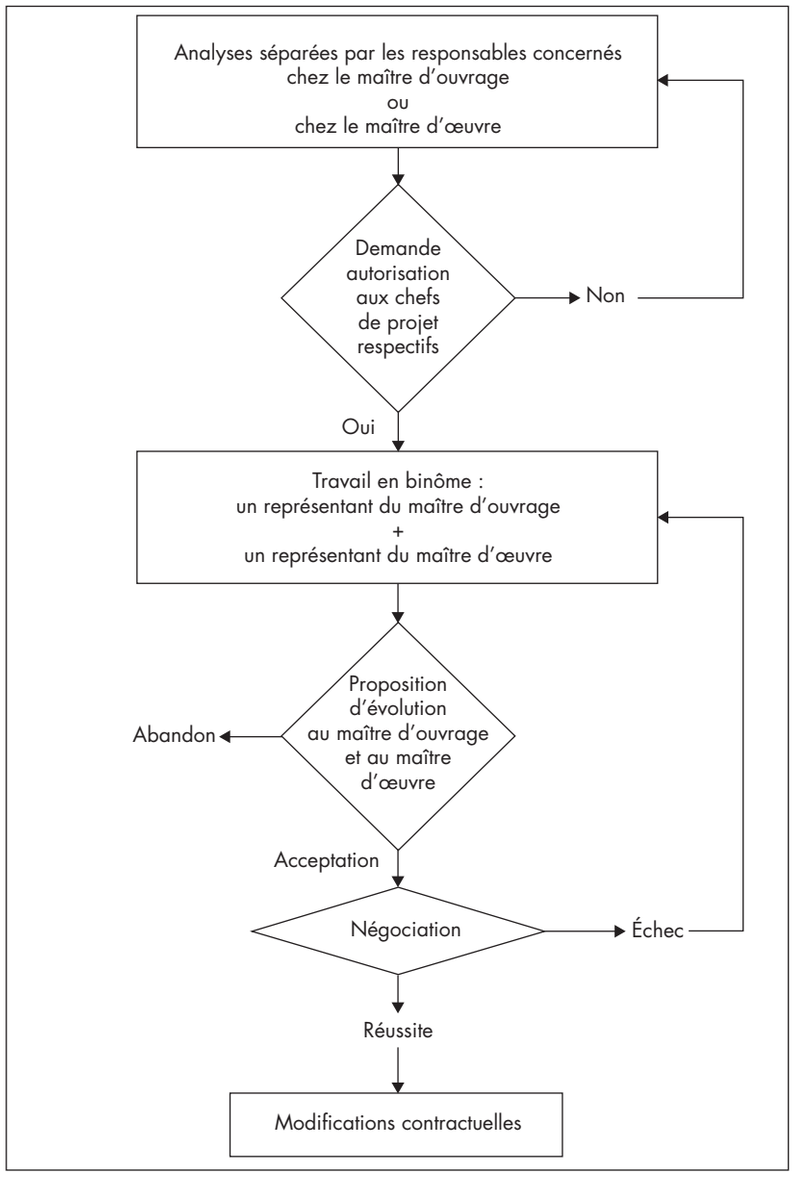
Ce mode de fonctionnement n'interdit pas les échanges entre partenaires du donneur d'ordre et partenaires exécutants.



1) Coopérant : industriel associé avec le maître d'œuvre pour le projet. À ce titre, un coopérant peut partager avec le maître d'œuvre certaines responsabilités globales du projet.

Principe de l'organisation en maître d'ouvrage et maître d'œuvre dans les grands projets

Copyright © – Techniques de l'Ingénieur – Tous droits réservés



Principe d'évolution des spécifications entre maître d'œuvre et maître d'ouvrage dans les grands projets

Notre conseil

Le chef de projet doit systématiquement rappeler à l'ensemble des intervenants les critères de qualité, coûts et délais définis au lancement du projet ainsi que les évolutions éventuelles apportées à cette trilogie incontournable.

Évitez les erreurs

Ne jamais oublier une des parties prenantes du projet quand une décision susceptible de l'impacter doit être prise.

Pour aller + loin

Bibliographie

AFITEP, *Dictionnaire de management de projet*, 5e ed. 2010, Ed. Afnor

Copyright © – Techniques de l'Ingénieur – Tous droits réservés

Les plus Internet

*Saisissez la Référence Internet **0815** dans le moteur de recherche du site www.techniques-ingenieur.fr pour accéder aux mises à jour de cette fiche ainsi que la Réf. Internet des rubriques suivantes :*

Fiches associées

- **0942 –** Définir le périmètre et le contenu de projet
- **0943 –** Définir les livrables de projet
- **0924 –** Évaluer les ressources nécessaires au projet : budget
- **0944 –** Évaluer les ressources nécessaires au projet : temps
- **0946 –** Élaborer le plan de management de projet (PMP)
- **0934 –** Formaliser le qui fait quoi dans le projet : identification, responsabilité et organigramme
- **0950 –** Identifier les parties prenantes dans les projets
- **0881 –** Évaluer les ressources nécessaires au projet : hommes

Copyright © – Techniques de l'Ingénieur – Tous droits réservés

Définir les besoins de mesure et de précision

par **Jean-Michel POU**
Président Fondateur de la société Delta Mu

Les incertitudes de mesure sont de plus en plus évoquées en matière de qualité. Une fois estimées, il s'agit de définir la façon de les considérer eu égard à l'objectif de la mesure : déclaration de conformité, analyse de Process (SPC/MSP), étalonnage…

Cette fiche décrit les différentes approches disponibles en matière normative, en présentant notamment les dernières évolutions et l'avenir qui se dessine sur ce sujet. Elle précise les différents facteurs à prendre en considération pour définir les processus de mesure en fonction des besoins de votre entreprise.

En particulier, cette fiche vous présente la question centrale de l'incertitude de mesure, ainsi que les façons possibles de la prendre en compte dans l'exploitation des résultats de mesure.

Les stratégies suivantes sont détaillées :
- **capabilité (MSA et norme ISO 22514-7) ;**
- **norme ISO 14253 (zone de conformité) ;**
- **norme NF ISO CEI Guide 98-4 (bande de garde et risques client et fournisseur).**

Pour prévoir le très proche avenir, nous abordons en conclusion un autre aspect qui doit être considéré dans le choix des équipements. Les évolutions technologiques qui nous conduisent vers l'industrie 4.0 ne sont en effet pas sans conséquence.

En pratique

Étape 1

Choisir le processus de mesure adéquat

Le choix du processus de mesure est généralement conditionné par :
- la caractéristique à mesurer ;
- les technologies disponibles pour accéder à ladite caractéristique ;
- le temps d'obtention du résultat ;
- le coût d'investissement initial ;
- le coût de possession du processus, c'est-à-dire les coûts directs (maintenance, consommables, raccordement) et indirects (immobilisation du processus lors des opérations, coût administratif ou gestion comptable).

Or, le métrologue s'attache parfois à la seule « précision », donnée en général par le constructeur. Ce terme ne trouve pas de définition dans le dictionnaire de la métrologie, le VIM (vocabulaire international de la métrologie). Même si le sens commun permet d'envisager la signification de ce concept, comment choisir une valeur (pour la « précision ») et quelles sont les conséquences de ce choix ?

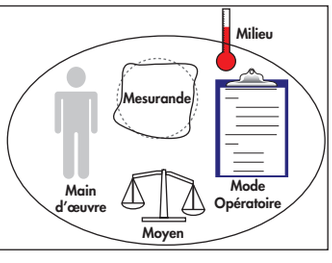
En effet, et au-delà de l'instrument, le métrologue doit considérer, pour faire le bon choix, que l'instrument de mesure n'est pas le seul facteur qui permet d'obtenir le résultat de la mesure, tout comme les plaquettes de frein ne sont pas le seul organe qui permet à un véhicule de freiner. Le processus de mesure est un processus comme un autre, mettant en œuvre différents facteurs pour produire un résultat (la quantification de la caractéristique recherchée).

Étape 2

Évaluer l'incertitude de mesure

L'imperfection inévitable de chacun des facteurs (*cf.* figure « Synoptique d'un processus de mesure ») conduit à une imperfection globale du résultat de la mesure.

Ces facteurs sont les suivants :
- La grandeur à mesurer
- La méthode de mesure
- L'opérateur
- Le moyen de mesure (l'étalon)
- L'environnement dans lequel s'effectue la mesure



Synoptique d'un processus de mesure

Copyright © - Techniques de l'Ingénieur - Tous droits réservés

L'estimation de l'incertitude de mesure ne fait pas l'objet de cette fiche pratique. En revanche, elle est décrite exhaustivement dans différents documents normatifs dont les principaux sont :

- Norme ISO/CEI GUIDE 98-3 : 2008 « *Incertitude de mesure – Partie 3 : Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM : 1995) ».*
- Série des normes ISO 5725 « *Application de la statistique – Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure ».*

On peut également retrouver beaucoup d'autres normes sectorielles qui abordent cette question.

À noter

L'estimation de l'incertitude de mesure est une première étape indispensable dans le choix d'un équipement, même si elle n'est pas toujours simple à réaliser à ce stade (achat). En effet, il est nécessaire, pour cette évaluation, de réaliser des essais (répétabilité notamment) qui ne peuvent pas toujours être conduits, faute de posséder physiquement le moyen (cas d'un nouveau type d'investissement). En revanche, l'évaluation de toutes les autres composantes de l'incertitude (en dehors donc de l'instrument lui-même) doit être réalisée car elle conditionne en partie la « précision » de l'instrument à acquérir. Il ne sert à rien en effet d'investir dans un équipement surperformant si, au final, l'incertitude est due principalement aux conditions de la mesure qui ne pourront pas être améliorées…

Bilan des causes d'incertitude sur la mesure de L

	Erreur max	Loi	Écart type	Variance
Lecture	0,025	Uniforme	0,014	0,0002083
Répétabilité	/	/	0,169	0,0285610
Reproductibilité interopérateur	/	/	0,433	0,1874890
Incertitude liée au règlet	0,19	Normale (95 %)	0,095	0,0090250
Incertitude d'étalonnage	0,02	Normale (95 %)	0,010	0,0001000
Objet mesuré	2	Normale (≈ 100 %)	0,667	0,4444444
			Somme des variances	0,6698278
			Incertitude type (√ Somme des variances)	0,818
			Incertitude élargie en mm (95 %) : ±	**1,64**

Exemple de calcul d'incertitude suivant la norme ISO/IEC Guide 98-3 (en mm)

La figure « Exemple de calcul d'incertitude suivant la norme ISO/IEC Guide 98-3 » montre un cas simple d'évaluation d'incertitude de mesure. Dans un premier temps, il s'agit d'identifier les différentes causes qui participent à l'incertitude (dans la première colonne). Chaque cause doit ensuite être quantifiée sous la forme d'un écart-type (4e colonne du tableau). Il existe deux façons distinctes d'évaluer l'écart-type de chaque cause, la méthode de type A ou la méthode de type B.

- Type A : il s'agit d'une évaluation expérimentale reposant sur la répétition de la même mesure, en s'arrangeant pour ne laisser varier que la cause à évaluer. Il suffit alors de calculer l'écart-type de la série expérimentale. On peut, par exemple, ne rien faire changer (même opérateur, même instrument, même lieu…) pour estimer la cause « répétabilité ». On peut également faire varier un autre facteur, l'opérateur par exemple, pour évaluer l'effet inter-opérateur. Dans ce cas, on fait réaliser la même mesure par différents opérateurs et, après un petit traitement statistique, on obtient l'écart-type recherché.
- Type B : lorsqu'il n'est pas possible de faire varier expérimentalement la cause recherchée, on estime l'erreur maximale que peut produire la cause étudiée (2e colonne du tableau) et on lui associe une loi de distribution (3e colonne). À partir de ces deux informations, on peut déterminer l'écart-type recherché en divisant simplement l'erreur maximale par un facteur déterminé à partir des propriétés de la loi de distribution choisie.

Une fois le bilan dressé, il suffit, pour estimer l'incertitude totale, d'élever au carré tous les écarts-types individuels (5e colonne), d'additionner toutes les variances pour obtenir la variance globale et d'extraire la racine de la variance globale pour obtenir l'écart-type composé (noté généralement u_c). Par hypothèse souvent juste, cet écart-type est un écart-type de loi normale (car l'incertitude est le fruit de plusieurs facteurs indépendants, théorème de la limite centrale). Il suffit alors de choisir le niveau de confiance de l'incertitude (souvent pris à 95 %) pour définir l'incertitude dite élargie qui, associée au résultat de la mesure, donne l'ensemble des valeurs qui peuvent être raisonnablement attribuées à la valeur vraie de l'objet mesuré.

À noter

Dans le cas de l'exemple de calcul d'incertitude suivant la norme ISO/IEC Guide 98-3, qui traite d'une mesure à l'aide d'un réglet, le résultat d'une mesure s'écrirait, en arrondissant :

longueur = (2012,5 ±1,6) mm

Copyright © - Techniques de l'Ingénieur - Tous droits réservés

Nous nous contenterons ici de ce simple exemple car il sera réutilisé dans la suite. Il faut néanmoins savoir que les choses sont en général plus compliquées et que l'évaluation des incertitudes de mesure se limite rarement à un tel niveau de simplicité.

Étape 3

Tolérances et incertitude de mesure : quelle règle choisir ?

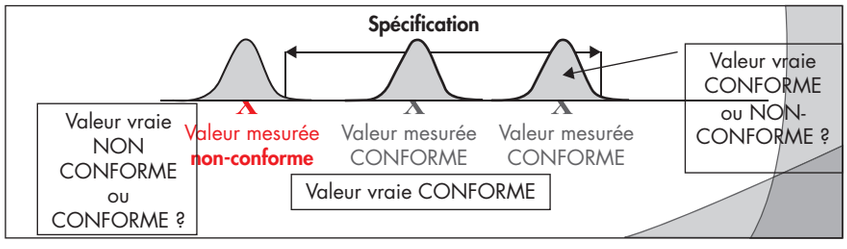
La règle à retenir doit prendre en compte le contexte de la mesure :

- le pilotage des process (doit-on régler ?) ;
- l'acceptation/refus de lots de produits (déclaration de conformité) ;
- les résultats d'analyse (malade/pas malade, contexte similaire à l'acceptation de lots).

À noter

On trouve également la mesure et ses incertitudes en phase de R&D. Il s'agit alors, au cas par cas, d'analyser leurs conséquences dans les conclusions des recherches. En effet, et comme le stipulait Georges Charpak, dans son ouvrage *Devenez sorciers, devenez savants :* « (…) Or, il faut rappeler que l'incertitude sur une donnée est tout aussi importante que la donnée elle-même, puisqu'elle décide de la fiabilité que l'on peut accorder à cette dernière et, par voie de conséquence, de la fiabilité à accorder à la théorie reposant sur ce résultat. ». Il convient alors que l'incertitude de mesure soit en cohérence avec les résultats attendus.

Dans les cas qui nous intéressent, c'est-à-dire la déclaration de conformité, l'incertitude fait peser un doute sur la décision, comme l'illustre la figure ci-après.



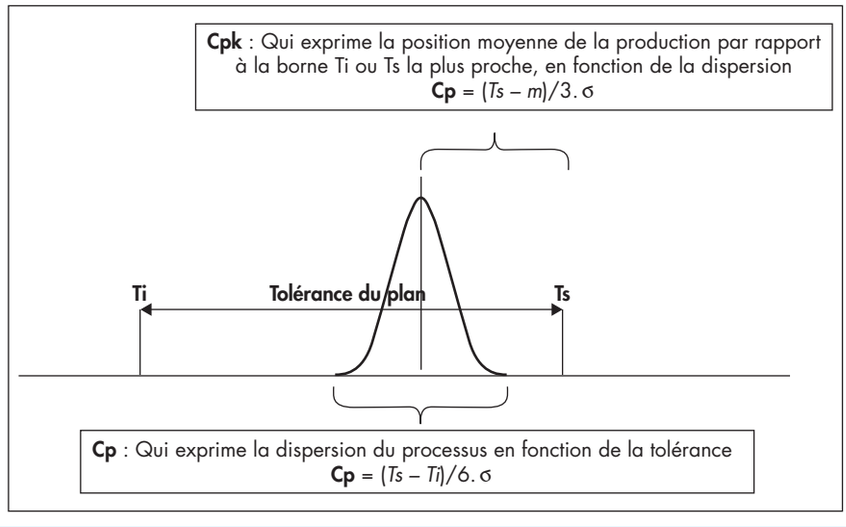
Impact de l'incertitude de mesure sur une décision

Dans les deux cas traités, chacun comprendra que l'incertitude conduit à un risque. La stratégie de la prise en compte de l'incertitude conduit alors à quantifier et accepter ledit risque.

Stratégie n° 1 : la capabilité des processus de mesure

Le concept de « capabilité des processus de mesure » découle de la stratégie SPC/MSP (pilotage des process). Le pilotage des process permet d'optimiser, en tout cas de contractualiser, le taux de « non conforme ».

En utilisant les techniques de l'inférence statistique, il en possible d'estimer une production *via* quelques échantillons, analysés périodiquement. En faisant l'hypothèse (probablement trop fréquente d'ailleurs) que le process génère des produits se répartissant suivant une loi normale, une moyenne et un écart-type suffisent pour le définir. En le « positionnant » dans les tolérances à atteindre, on estime le nombre de « non conformes », sachant que la production ne sera pas mesurée dans sa totalité.



Positionnement de la production dans la tolérance à atteindre

Copyright © - Techniques de l'Ingénieur - Tous droits réservés

En contractualisant les paramètres C_p et C_{PK}, le client accepte finalement des produits « non conformes », en nombre connu.

Or, pour évaluer les paramètres C_p et C_{pk}, il est nécessaire de réaliser des mesures et les mesures doivent être de « qualité » pour que les paramètres C_p et C_{pk} le soient également. La qualité des mesures est obtenue en comparant le ratio tolérance (notée *T*)/ incertitude de mesure (notée *U*) à une valeur limite (notée *C*) :

- approche française : T/U > C (décrite notamment dans l'ancienne norme NF E 02-204) ;
- approche anglo-saxonne U/T < 1/C (décrite notamment dans le MSA : *Measurment System Analysis*).

Une norme récente vient de valider cette stratégie au niveau international : la norme NF ISO 22514-7 (2013) : « *Méthodes statistiques dans la gestion de processus - Aptitude et performance - Partie 7 : aptitude des processus de mesure* ».

Attention

Cette stratégie est souvent utilisée en dehors de son contexte d'origine. Dans le cadre de la déclaration de conformité d'un objet par rapport à une tolérance, la capabilité peut conduire à des erreurs coûteuses et doit être utilisée avec une très grande précaution (*cf.* Stratégie 3).

Exemple : imaginons une situation dans laquelle un fournisseur doit livrer des plaques d'acier de 2 mètres par 3 mètres avec des tolérances fixées à ± 4 mm. Par ailleurs, le fournisseur s'est engagé contractuellement à appliquer un coefficient de capabilité de 3 pour tous les contrôles, notamment avant expédition. Peut-il utiliser le réglet dont l'incertitude a été évaluée dans la figure 2 ?

Comme vu ci-dessus, un processus de mesure est réputé « capable » s'il respecte la relation T/U > C. Les tolérances de la plaque sont égales à ± 4 mm, soit 8 mm. L'incertitude U est égale à ± 1,6 mm, soit 3,2 mm.

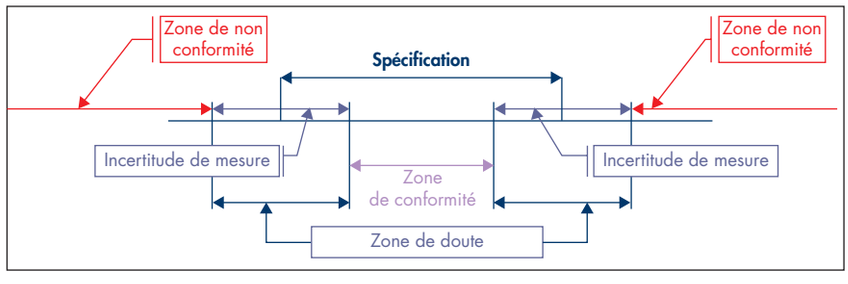
Application numérique : T/U = 8 / 3,2 = 2,5

2,5 étant plus petit que 3, le fournisseur ne pourra pas utiliser le réglet pour réaliser les contrôles des dimensions des plaques. Le processus de mesure n'est en effet pas capable au sens du contrat passé avec le client (C > 3).

Stratégie n° 2 : la norme ISO 14253-1

Dans l'esprit du normalisateur, la norme ISO 14253-1, 1999 reconduite en 2013, « *Vérification par la mesure des pièces et des équipements de mesure - Partie 1 : Règles de décision pour prouver la conformité ou la non-conformité à la spécification* » est la norme de référence en ce domaine. L'application de cette norme impose :

- l'évaluation de l'incertitude de mesure ;
- la détermination des zones de conformité, de doutes et de non-conformité, (*cf.* figure « Zones définies par la norme ISO 14253-1 ».



Zones définies par la norme ISO 14253-1

Lorsque le résultat de mesure se situe dans les zones de doute, la norme préconise de rechercher un processus de mesure ayant une incertitude plus faible pour pouvoir décider.

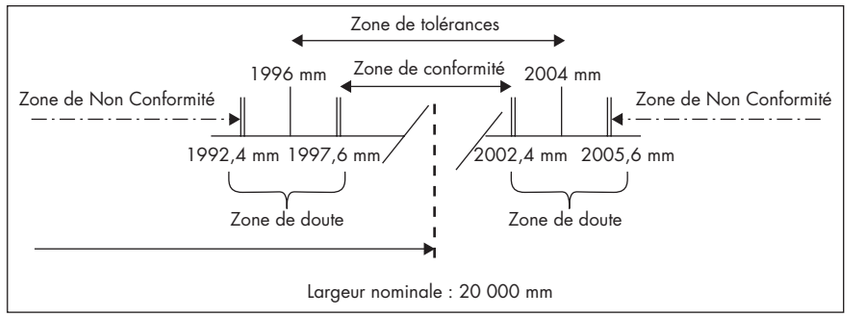
À noter

La norme ISO/TR 14253-6, 2012 « *Vérification par la mesure des pièces et des équipements de mesure - Partie 6 : Règles de décision générales pour l'acceptation ou le rejet d'instruments et de pièces* » introduit le concept de « bande de garde » établie à partir des risques Client et Fournisseur sans donner de précision quant à la façon d'estimer lesdits risques.

Exemple : en reprenant la situation précédente, l'application de cette stratégie conduit, pour la largeur de la plaque par exemple, aux zones de décision telles que définies dans la figure « Zones de décision pour la largeur ».

- *Zone de conformité : (1997,6 ; 2002,4) mm. Une mesure obtenue à l'aide du réglet dans cette plage permet de déclarer la conformité de la largeur de la plaque.*
- *Zones de doute : (1992,4 ; 1997,6) mm et (2002,4 ; 2005,6) mm. Une mesure obtenue dans l'une de ces deux plages ne permet pas de statuer. Il faut alors, en théorie, refaire la mesure à l'aide d'un autre processus de mesure, éventuellement plus performant, pour statuer.*
- *Zones de non-conformité : un résultat de mesure inférieur à 1992,4 mm ou supérieur à 2005,6 mm conduit à la déclaration de non-conformité de la largeur de la plaque.*

Copyright © - Techniques de l'Ingénieur - Tous droits réservés



Zones de décision pour la largeur

Stratégie n° 3 : La norme NF ISO CEI Guide 98-4

Il est probable que la toute récente norme NF ISO CEI Guide 98-4, 2013 « *Incertitude de mesure – Partie 4 : rôle de l'incertitude de mesure dans l'évaluation de la conformité* » finira probablement par s'imposer comme la stratégie à retenir.

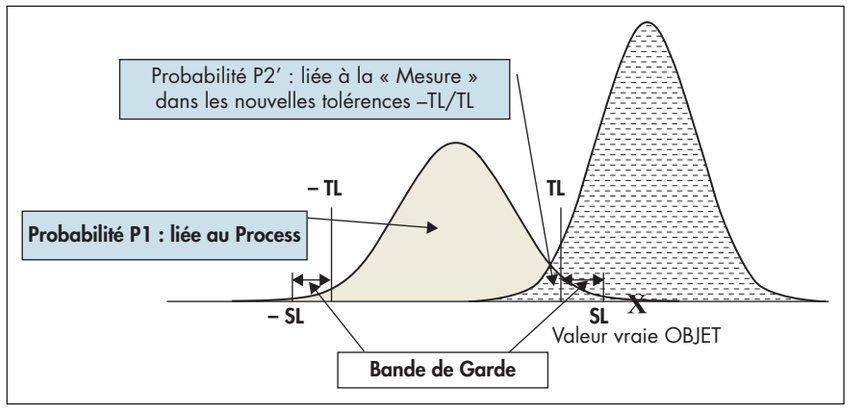
Elle repose sur le principe simple que le « risque client » (risque de livrer un produit « non conforme ») n'existe que si le process réalise des produits non conformes. Ce constat est simple, mais ignoré des méthodes exposées précédemment. Le « risque fournisseur », quant à lui, se définit comme le risque de voir non conforme (à cause de l'incertitude de mesure) un produit conforme en réalité. La norme définit également les concepts de risques globaux et de risques spécifiques. On peut les définir synthétiquement comme ci-dessous :

- risque global client : pourcentage de produits mesurés « conformes » alors qu'ils sont en réalité « non conformes » dans le cas d'un contrôle à 100 % du lot ;
- risque spécifique client : probabilité qu'un produit unique mesuré « conforme » soit en réalité « non conforme » ;
- risque global fournisseur : pourcentage de produits mesurés « non conformes » alors qu'ils sont en réalité « conformes » dans le cas d'un contrôle à 100 % du lot ;
- risque spécifique fournisseur : probabilité qu'un produit unique mesuré « non conforme » soit en réalité « conforme ».

Pour l'évaluation de ces quatre risques, il est nécessaire de connaître :

- les propriétés du process : loi de distribution, position, dispersion ;
- les propriétés de la mesure : loi de distribution, dispersion.

Suivant cette norme, il est possible de déterminer des « bandes de garde » afin de préserver un « risque global client » malgré une incertitude de mesure importante (*cf.* figure « Stratégie des bandes de garde »).



Stratégie des bandes de garde

Dans certains cas (cas des vérifications d'instruments de mesure notamment), l'objectif peut être de déterminer des bandes de garde qui minimisent la somme pondérée des risques clients et fournisseurs (*cf.* Bibliographie : « Les liaisons dangereuses : Tout ce qu'il faut savoir avant d'appliquer la nouvelle norme ISO/IEC Guide 98-4 »).

Copyright © - Techniques de l'Ingénieur - Tous droits réservés

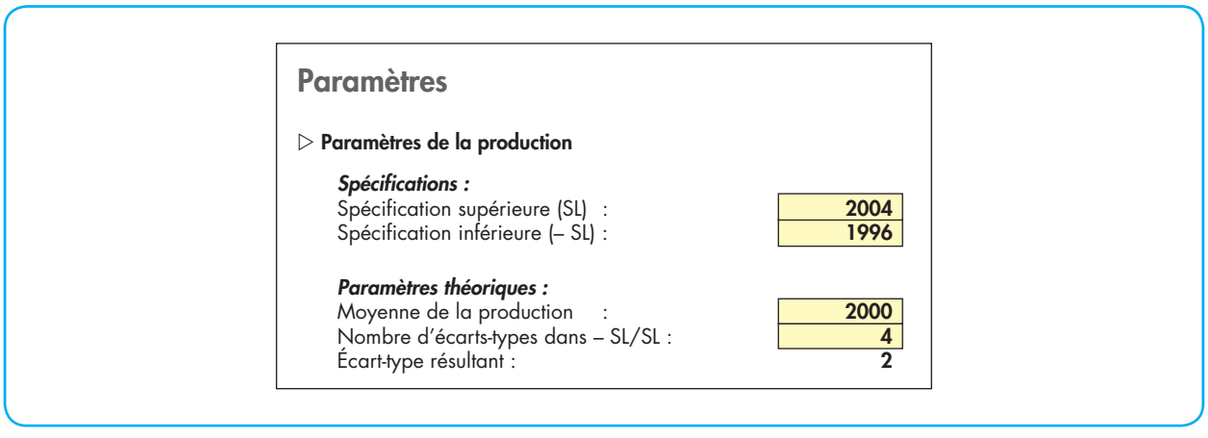
L'outil Détermination des bandes de garde et des risques - Réf. Internet : dtou5477 permet de calculer les bandes de garde pour une configuration Process/Mesure donnée. Il permet également de déterminer les bandes de garde qui minimisent la somme pondérée des risques.

Exemple : l'exemple que nous venons de traiter nous a conduit à conclure à une capabilité insuffisante de notre processus de mesure, eu égard aux exigences contractuelles (C = 3) et à la tolérance à contrôler (± 4 mm).

En utilisant la norme NF ISO CEI Guide 98-4, il est possible de redéfinir des tolérances d'acceptation, via *des bandes de garde, bandes de garde calculées pour garantir le même Risque Client Global que dans le cas où la capabilité est respectée. Pour calculer ce risque, il faut connaître en plus les propriétés (moyenne et dispersion) du Process qui a produit les plaques. Ces informations n'étant pas toujours disponibles, il est fréquent que des hypothèses soient formulées quant aux propriétés dudit process. Pour l'exemple, nous considérerons qu'il est centré (moyenne = 2 000 mm) et que la tolérance (± 4 mm) contient 4 écarts-types de production (Cp = 2/3).*

Phase 1 : Détermination du risque client global sous-jacent aux hypothèses

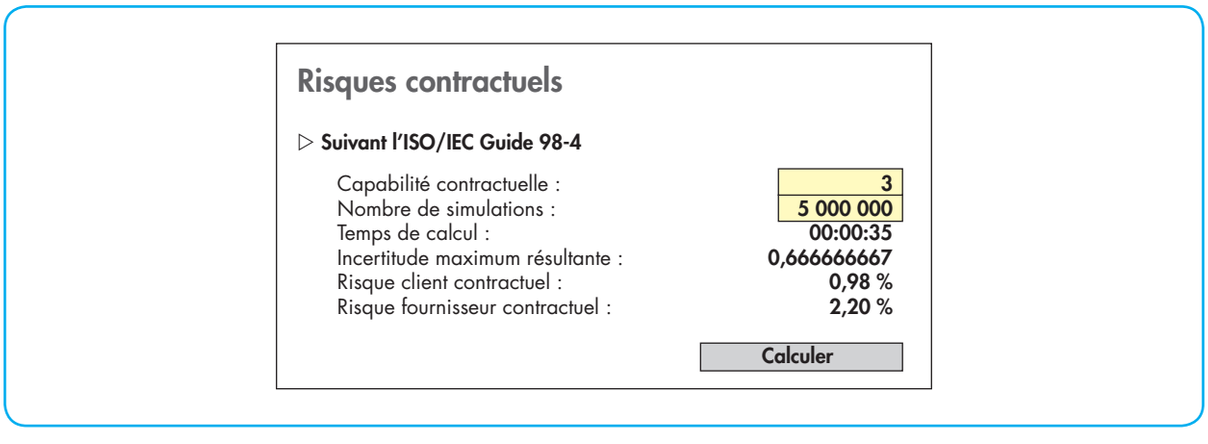
Pour déterminer ce risque, vous pourrez vous aider de l'outil Détermination des bandes de garde et des risques - Réf. Internet : dtou5477.



Paramétrage pour le calcul du risque global accepté

Phase 2 : Calcul des Risques Globaux résultants

Là aussi, utilisez l'outil Détermination des bandes de garde et des risques - Réf. Internet : dtou5477.



Évaluation des risques acceptés

Phase 3 : Détermination des facteurs de garde compte tenu du non-respect de la capabilité contractuelle

Détermination des bandes de garde et des risques - Réf. Internet : dtou5477 vous aidera également au cours de cette phase.

En paramétrant en cellule J12 de l'outil Détermination des bandes de garde et des risques - Réf. Internet : dtou5477 l'incertitude-type de mesure (0,8 mm), on obtient les résultats suivants :

Copyright © - Techniques de l'Ingénieur - Tous droits réservés

Facteurs de garde

▷ **Suivant les paramètres théoriques**

Nombre de simulations :	**100 000**
Temps de calcul :	**00:00:35**
Risque client :	**0,96 %**
Risque fournisseur :	**3,59 %**
Tolérance supérieure :	**2003,91**
Tolérance inférieure :	**1996,15**

Limite de la zone de déclaration de conformité

Conséquences concrètes : si la capabilité de 3 est respectée, un résultat de mesure dans l'intervalle de tolérance client (1996 ; 2004) mm permet de déclarer la conformité. La capabilité n'étant pas respectée, la nouvelle zone pour déclarer la conformité avec une incertitude de 1,6 mm est de 1996,2 mm à 2003,9 mm. Vue d'un réglet, cette nouvelle zone ne change pas la zone initiale, mais cet exemple met en évidence une limite de cette stratégie. Le risque fournisseur (rebuter à tort des pièces) est passé de 2,2 % à 3,6 %, soit plus de 50 % d'augmentation !

En théorie, les bandes de garde s'appliquent à un contrôle réalisé pour 100 % des pièces. Il traduit le pourcentage de pièces non conformes qui ne seraient pas détectées comme telles malgré la mesure.

Lorsqu'il s'agit de contrôler une seule pièce, il convient de calculer le risque spécifique lié à la pièce contrôlée et de s'assurer que ledit risque spécifique reste inférieur au risque client sous-jacent à la capabilité exigée (*cf.* figure « Évaluation des risques acceptés »).

L'outil Détermination du risque « Client » spécifique - Réf. Internet : dtou5478 permet de calculer le risque Client spécifique en configurant les propriétés du process et de la mesure.

Exemple : le résultat de la mesure de la largeur d'une plaque en particulier produit un résultat de (2005 ±1,6) mm. Le risque spécifique associé à cette mesure est calculé à l'aide de l'outil Détermination du risque « Client » spécifique - Réf. Internet : dtou5478.

Process		Mesure		Loi « a postériori »	
μ	2000	Vmesurée	2005	Valeur la plus probable	2003,04878
σ	2			Écart-type cumulé	1,249390095
SL	2004	μ_{ve}	1,6	θ	0,609756098
– SL	1996			**Probabilité Non conforme**	**22,32 %**
Nombre d'écarts-types dans la tolérance			4		

Exemple 1 de paramétrage et de résultats avec l'outil Détermination du risque « Client » spécifique

22,32 % étant nettement supérieur au risque accepté par le client pour une capabilité de 3 (0,98 % suivant la figure « Évaluation des risques acceptés »), la largeur de la plaque est déclarée non conforme.

Dans le cas d'une seconde plaque mesurée à (2001 ± 1,6) mm, le risque spécifique est égal à 0,34 %.

Process		Mesure		Loi « a postériori »	
μ	2000	Vmesurée	2001	Valeur la plus probable	2000,609756
σ	2			Écart-type cumulé	1,249390095
SL	2004	μ_{ve}	1,6	θ	0,609756098
– SL	1996			**Probabilité Non conforme**	**0,34 %**
Nombre d'écarts-types dans la tolérance			4		

Exemple 2 de paramétrage et de résultats avec l'outil Détermination du risque « Client » spécifique

Copyright © - Techniques de l'Ingénieur - Tous droits réservés

Le risque spécifique (0,34 %) étant inférieur au risque client (0,98 %), la plaque est alors déclarée conforme (pour sa largeur).

Étape 4

Que conclure ?

Nous avons vu, tout au long de cette fiche, que la « précision » des instruments de mesure n'est finalement qu'une toute petite partie de la problématique liée aux mesures dans le contexte industriel. En effet, la qualité des mesures est fonction d'un grand nombre de paramètres, et pas uniquement de la qualité de l'instrument. Même s'il est parfois difficile de l'admettre, et quelle que soit la stratégie retenue, il existe un risque d'erreur dans la décision qu'il nous faut assumer. L'objectif de la métrologie dans l'entreprise n'est pas de l'éliminer (impossible), mais de le rendre acceptable et de le maîtriser.

Préparer demain

À l'heure où les premières descriptions de l'entreprise de demain, l'entreprise dite 4.0, commencent à se dessiner, il est important d'intégrer dès aujourd'hui certains principes quasiment acquis.

L'évolution technologique, au travers principalement de l'importante capacité de stockage de données et la puissance de calcul disponible, va très probablement modifier considérablement l'utilisation des mesures dans l'entreprise. Nous sommes encore aujourd'hui très souvent dans l'exploitation de la mesure « purement et simplement » (conforme ou non conforme, suivant la comparaison directe entre tolérances et valeurs mesurées). Certaines entreprises se sont engagées dans des démarches de maîtrise statistique (MSP ou SPC). Pour celles-ci, il s'agit d'utiliser la science statistique (inférence statistique) pour tenter de déterminer, à partir de quelques échantillons, la réalité de la fabrication et, par conséquent, le taux de produits « non conformes » dans un lot. Au-delà de cette évaluation, la MSP permet également de piloter les process de fabrication (*via* les cartes de contrôle et leurs alertes).

Demain, et sous réserve de pouvoir instrumenter les process et leurs environnements, il sera possible de considérer une multitude de paramètres sur la totalité (ou presque) d'une production (concept du *Big Data* ramené à l'échelle de chaque entreprise) afin de sortir de l'inférence statistique pour aller vers du quasi-dénombrement : comment et pourquoi les produits sont conformes ? Quels sont les paramètres influents et comment doivent-ils être asservis ?

Dans l'entreprise 4.0, il est probable que les processus se piloteront sur la base de mesures instantanées afin de prévenir toutes dérives. Dans cet objectif, les acquisitions de moyens de mesure devraient d'ores et déjà intégrer cet avenir imminent pour ne pas être obsolètes avant même d'être mis en service.

Notre conseil

Intégrez les principes des différentes stratégies

Vous devez avoir parfaitement bien intégré les tenants et aboutissants des différentes stratégies disponibles avant de faire votre choix.

Contractualisez la stratégie avec vos partenaires

Dans le cadre d'une relation client-fournisseur, la stratégie doit faire l'objet d'un accord. Au minimum, elle doit faire partie des conditions générales des contrats et devrait, à l'idéal, faire l'objet d'une discussion entre les cocontractants.

Évoquez la question des risques avec vos partenaires

La question des risques client et fournisseur, inhérente à chaque stratégie, doit être clairement exposée au niveau de la direction de l'entreprise car au final, c'est bien elle qui en a la totale et entière responsabilité, tant morale que financière. L'évolution 2015 de la norme ISO 9001 devrait faciliter les discussions souvent taboues sur ce sujet.

Évitez les erreurs

N'utilisez pas de méthodes que vous ne maîtrisez pas

La tentation est grande d'utiliser des méthodes, sous prétexte qu'elles sont utilisées « ailleurs ». Par exemple, le MSA propose un coefficient de capabilité qui n'est peut-être pas justifié dans votre contexte. Il peut s'avérer coûteux et inutile de tenter de l'atteindre…

Ne fixez pas, le cas échéant, un coefficient de capabilité « au hasard »

Ce choix peut se retourner contre vous. Par exemple, si le fournisseur utilise la norme NF ISO CEI Guide 98-4 pour respecter vos exigences, le risque dit « fournisseur » peut augmenter significativement et finir par vous coûter très cher.

Pour aller + loin

Sites internet

Christian Hohmann

À la rubrique « Prospective » et ses sous-rubriques, Christian Hohmann décrit les fondements de l'industrie 4.0, c'est-à-dire l'entreprise connectée et les objets communiquant exploitant chacun les nouvelles possibilités offertes par les technologies du numérique.

Delta Mu

Rubrique « Publication » du site officiel de la société Delta Mu dans laquelle vous pourrez trouver différents articles traitant de la question du choix des processus de mesure.

Vous y trouverez également « Les liaisons dangereuses : Tout ce qu'il faut savoir avant d'appliquer la nouvelle norme ISO/IEC Guide 98-4 », Jean-Michel POU, Contrôles Essais Mesures, Février 2013 (rubrique « Publication », onglet « Incertitude de mesure », article « ISO 98-4 : Incertitude de mesure et déclaration de conformité »).

Bibliographie

« Les liaisons dangereuses : Tout ce qu'il faut savoir avant d'appliquer la nouvelle norme ISO/IEC Guide 98-4 », Jean-Michel POU, Contrôles Essais Mesures, Février 2013 (*cf.* rubrique Sites internet).

Abréviations et acronymes

- **MSP** : maîtrise statistique des procédés
- **SPC** : *Statistical Process Control*

Copyright © - Techniques de l'Ingénieur - Tous droits réservés

Les plus Internet

*Saisissez la Référence Internet **1298** dans le moteur de recherche du site www.techniques-ingenieur.fr pour accéder aux mises à jour de cette fiche ainsi que la Réf. Internet des rubriques suivantes :*

Outils téléchargeables

- **dtou5477 –** Détermination des bandes de garde et des risques.
- **dtou5478 –** Détermination du risque « Client » spécifique

Fiches associées

- **0344 –** Métrologie : un peu de vocabulaire
- **0413 –** Analyser les effets des défaillances des équipements de mesure

Copyright © - Techniques de l'Ingénieur - Tous droits réservés