

Qualité en conception

Méthodologie et mise en œuvre

par **Claude FERREBŒUF**

Expert et conseil en qualité

Maître de conférences associé à l'université Paul-Sabatier (Toulouse)

1. Généralités.....	BM 5 010 - 2
1.1 La qualité et son concept.....	— 2
1.2 Raisons d'être de la qualité en conception.....	— 3
1.3 Référentiels.....	— 3
2. Mise en œuvre.....	— 4
2.1 Méthodologie.....	— 4
2.2 Outils.....	— 4
2.2.1 Marketing et cahier des charges fonctionnel.....	— 4
2.2.2 Analyse fonctionnelle et analyse de la valeur.....	— 4
2.2.3 AMDEC produit.....	— 5
2.2.4 Caractéristiques majeures.....	— 8
2.2.5 Prise en compte des éléments relatifs à la production.....	— 8
2.2.6 Évolution des produits.....	— 9
2.2.7 Plan d'expérience.....	— 9
2.3 Procédures.....	— 11
2.3.1 Données d'entrée et données de sortie.....	— 11
2.3.2 Revues de conception.....	— 12
2.3.3 Interfaces entre les fonctions.....	— 12
2.3.4 Vérification de la conception.....	— 13
2.3.5 Validation de la conception.....	— 13
2.3.6 Modification de la conception.....	— 13
2.3.7 Planification de la conception.....	— 14
3. Plan qualité produit.....	— 15
Pour en savoir plus.....	Doc. BM 5010

Aujourd'hui les entreprises sont confrontées à un système où l'aspect économique est primordial. En effet, une entreprise qui réalise des bénéfices et dont le chiffre d'affaires est croissant a tout intérêt à maintenir la même politique. Ceci étant, il y a trois raisons principales qui contribuent à cette réussite :

- la première veut que l'entreprise se situe sur un créneau ou secteur d'activités porteur, dont le marché n'est pas en régression ;
- la deuxième veut que l'entreprise soit productive, autrement dit qu'elle commercialise des produits à des prix plus élevés que ce qu'ils lui coûtent ;
- la troisième veut qu'elle mette sur le marché des produits correspondant aux besoins des clients, mais surtout des utilisateurs.

La première exigence peut être satisfaite avec les compétences et moyens mis en œuvre au sein du service commercial, l'anticipation est de rigueur, mais elle n'est pas traitée dans cet article. La deuxième et la troisième exigences peuvent être satisfaites en mettant en œuvre une organisation, correspondant à des moyens, qui réduira au maximum la non-qualité ou plus vulgairement le travail mal fait dans l'entreprise. Cette non-qualité se situe à tous les niveaux dans le processus global de l'entreprise, de la définition du besoin du client ou de l'utilisateur, jusqu'à la distribution du produit. Beaucoup d'entreprises qui conçoivent

et réalisent leurs produits, concentrent d'abord leurs efforts au niveau de la réalisation (production). Or, aujourd'hui, pour être performant, il est indispensable de s'organiser le plus en amont possible et donc de mettre en œuvre ce que l'on appelle un système qualité dès la phase de conception. C'est à ce stade que la non-qualité (erreurs de conception) coûte le plus à l'entreprise.

Cet article donne les éléments nécessaires à la mise en œuvre d'un système qualité en conception. Le premier chapitre définit le concept qualité et montre l'intérêt d'une telle démarche et le deuxième traite de la mise en œuvre de la qualité en conception et définit comment s'y prendre pour mettre en place un système efficace et fait ressortir les deux aspects à prendre en compte : la chronologie opérationnelle avec ses outils et la satisfaction aux exigences normatives, cette dernière étant de plus en plus souvent contractuelle. Bien entendu la conception, lorsqu'elle est mise en œuvre avec une démarche qualité, repose sur une logique simple faisant appel à des outils faciles à mettre en œuvre et à une organisation souple. Beaucoup d'éléments décrits dans les différents chapitres sont illustrés par des exemples vécus avec leurs conséquences, afin de sensibiliser davantage les concepteurs sur l'importance de la qualité dans leur domaine. Enfin plusieurs conseils sont donnés, sous forme de trame à suivre, afin de ne pas tomber dans certains pièges de l'organisation. L'AMDEC produit, outil très prisé par les concepteurs est présenté comme une procédure à suivre.

1. Généralités

1.1 La qualité et son concept

Nota : le lecteur se reportera en bibliographie aux références [1] et [2].

Qu'est ce qu'un produit de bonne qualité ? Voilà une question à laquelle il est facile d'apporter une réponse, mais quelle réponse ? Pourtant le mot qualité est lié au client et au produit qu'il achète.

La définition du mot **qualité** selon la norme ISO 8402 est la suivante : ensemble des **caractéristiques** d'une **entité** qui lui confère l'**aptitude à satisfaire** des **besoins exprimés** et **implicites**.

Il est nécessaire de compléter cette définition.

Caractéristiques d'un produit : elles représentent toutes les valeurs ou grandeurs ou critères qui le définissent (puissance, précision, capacité, couleur, etc.). C'est avec ces caractéristiques que le produit est censé rendre le service que l'utilisateur attend.

Entité : c'est un produit, un organisme, un service ou un processus, ou leur combinaison (ISO 8402).

Un produit peut être matériel ou immatériel, c'est-à-dire un service (formation par exemple).

Aptitude à satisfaire : le produit est conforme à ce que l'utilisateur en attend, autrement dit le produit est censé fournir le service que l'utilisateur souhaite.

Besoins exprimés : ce sont les exigences du client ou de l'utilisateur à propos du produit qu'il aura consigné par écrit (cahier des charges, spécification, etc.).

Implicites : ce sont les exigences du client et souvent de l'utilisateur qui ne sont pas spécifiées par écrit et qu'il va falloir détecter. Il faut être bien conscient que l'implicite est source de mécontentement du client et très souvent un produit ne rend pas le service attendu car l'implicite n'a pas été mise en évidence.

En bref, la **qualité** ; c'est **satisfaire le client et/ou l'utilisateur**. Pour y parvenir, il est indispensable de faire décrire au client ou à l'utilisateur ce qu'il veut faire avec le produit, autrement dit quel service il en attend.

Il est souvent beaucoup plus efficace que le client ou l'utilisateur décrive du mieux possible ce qu'il veut faire avec le produit plutôt qu'il décrive le produit et ses caractéristiques (c'est souvent l'affaire des professionnels que de décrire les caractéristiques du produit).

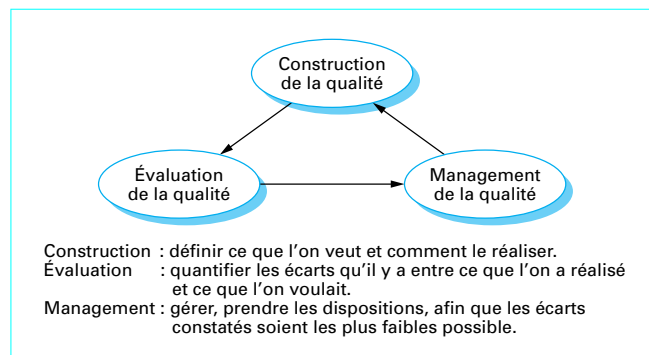


Figure 1 – Boucle de la qualité

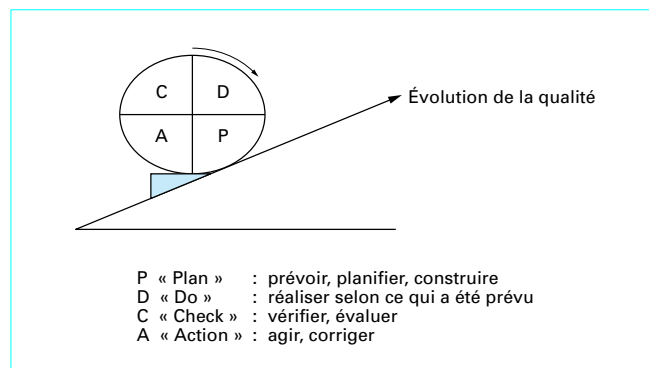


Figure 2 – Roue de Deming ou PDCA

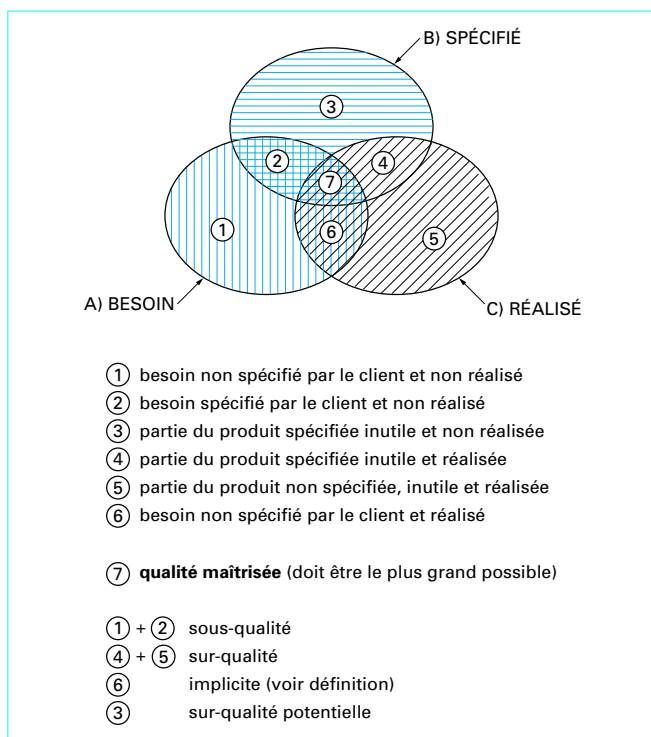


Figure 3 – Maîtrise de la qualité

Pour satisfaire les clients ou les utilisateurs, il est nécessaire de s’organiser selon le concept de la qualité. Il existe plusieurs façons de représenter le concept, et il est intéressant de retenir les trois suivantes :

- la boucle de la qualité (figure 1) ;
- la roue de Deming ou le PDCA (figure 2) ;
- la maîtrise de la qualité (figure 3).

1.2 Raisons d’être de la qualité en conception

Comme nous l’avons vu au paragraphe 1.1, la qualité en fait c’est satisfaire le client et donc c’est concevoir un produit qui soit en

mesure de rendre le service que l’utilisateur attend. Un produit qui rend à tous les coups le service attendu sera très prisé et se vendra bien.

La phase **conception** dans le processus global de l’entreprise est très en amont, ce qui laisse penser qu’un produit mal conçu aura beaucoup de mal à rendre le service attendu.

Les **investissements**, que le produit soit bien ou mal conçu sont sensiblement les mêmes, donc la rentabilité sera bien évidemment différente selon que le produit répondra ou ne répondra pas aux attentes des utilisateurs. Donc plus une erreur est en amont dans le processus global, plus elle coûte à l’entreprise.

Exemple : le tableau 1 donne une estimation de ce qu’une erreur commise en phase marketing (définition du besoin) peut coûter à l’entreprise en fonction de l’état d’avancement du produit. Cette fourchette de coût est calculée d’après une estimation afin de donner un ordre de grandeur.

La non-conformité commise au stade de la phase marketing coûtera probablement entre 564 F et 1 316 F si elle est découverte en conception, puis de 940 F à 1 880 F si elle est découverte en industrialisation, etc.

L’intérêt principal est donc d’adopter une démarche logique de qualité dans le processus global de l’entreprise. Dans un premier temps, cette démarche consistera à définir le besoin du client et plus particulièrement l’utilisation du produit. Par la suite, il s’agira de s’organiser et d’utiliser certains outils selon une méthodologie prédéfinie (§ 3.1). Il faut préciser que la démarche *qualité en conception* peut paraître lourde et coûteuse ; en fait, si l’on regarde à court terme c’est peut être vrai, mais en réalité un produit n’est jamais conçu intrinsèquement pour une durée aussi courte. En cas d’évolution rapide du produit dans le temps (secteur informatique par exemple), l’expérience acquise est utilisée pour les versions suivantes. Il faut absolument considérer que cette démarche est une sorte d’investissement immatériel sur le produit et que c’est avec cela que l’on satisfera les clients et mieux encore que l’on les fidélisera.

1.3 Référentiels

La qualité en conception s’appuie aujourd’hui sur un certain nombre de référentiels ou plus précisément de normes. Il existe dans ce domaine deux types de normes, appelées ici les normes de base ou de système et les normes opérationnelles, utilisées au cours de la phase conception du produit. Leurs titres sont donnés dans le fascicule « *Pour en savoir plus* ».

Opération	Marketing	Conception	Industrialisation	Approvisionnement	Fabrication	Assemblage	Produit fini	Client
Coefficient minimal	1	3	5	10	20	50	100	500
Coefficient maximal		7	10	25	100	400	2 000	10 000
Fax	8 F							
Téléphone au client	25 F							
Mise à jour du dossier	125 F							
Diffusion	30 F							
Total minimal	188 F	564 F	940 F	1 880 F	3 760 F	9 400 F	18 800 F	94 000 F
Total maximal		1 316 F	1 880 F	4 700 F	18 800 F	75 200 F	376 000 F	1 880 000 F

2. Mise en œuvre

Nota : le lecteur se reportera en bibliographie à la référence [3].

2.1 Méthodologie

La mise en œuvre de la conception nécessite l'utilisation d'un certain nombre d'outils et d'une chronologie. Comme nous l'avons vu paragraphe 1.2, les erreurs de conception sont très souvent fatales à la vie d'un produit ; il est ce que l'on appelle « mort-né ». Concevoir un produit découle d'une logique s'appuyant tout d'abord sur le service que le client ou l'utilisateur attend en utilisant le produit.

Le premier réflexe doit donc consister à bien connaître le besoin de l'utilisateur et donc le « **service** » que devra rendre le produit. Il ne faut pas créer un produit puis un service, mais un service puis un produit.

Le deuxième réflexe consiste à concevoir le « **juste produit nécessaire** », pas plus, en se mettant à la place de celui qui l'utilisera. Un produit facile d'utilisation, simple et donc probablement peu onéreux, fera certainement le bonheur de son utilisateur, car il rendra le service qu'il en attend à un prix acceptable.

Le troisième réflexe consiste à concevoir un produit dont la « **maintenabilité** » est aisée et peu onéreuse. Attention à l'après-vente coûteuse et dont les délais seront souvent longs du fait que les techniques utilisées sur le produit sont difficiles à maîtriser.

Enfin, le quatrième réflexe du concepteur consistera à concevoir un produit dit « **évolutif** ». À un instant donné, l'utilisateur a certaines exigences et donc attend un certain service rendu par le produit ; plus tard, et parfois rapidement, ces exigences évoluent. Le produit doit pouvoir évoluer lui aussi. Regardons dans le secteur automobile ou informatique, les exigences et les besoins sont en constante évolution, les produits peu ou pas évolutifs ne font qu'une brève apparition et les investissements relatifs à ces produits s'avèrent non rentables et du coup pénalisent fortement la santé économique de l'entreprise (constructeur).

En résumé, quatre **principes** du concepteur :

- le bon service ;
- le juste produit ;
- la maintenabilité aisée ;
- l'évolution.

Ces quatre principes peuvent être maîtrisés en établissant une chronologie dans l'avancement de la conception. À chaque phase correspondent certains outils permettant de mener à bien les travaux effectués (cf. *Plan qualité produit* § 3).

2.2 Outils

La méthodologie de mise en service de la qualité en conception s'appuie sur différents « outils ». Il faut en retenir certains qui sont des éléments incontournables dans le domaine de la conception :

- marketing ou mercatique ;
- cahier des charges fonctionnel (CDCF) ;
- AMDEC produit ;
- plan d'expérience.

2.2.1 Marketing et cahier des charges fonctionnel

■ La **phase marketing** ou **mercatique** est en amont du processus de conception, et donc n'en fait pas réellement partie ; cependant faire de la conception sans en parler paraît impensable. En effet, le cahier des charges fonctionnel (CDCF) est un document élaboré

grâce à cette phase marketing et constitue ce que l'on appelle des données d'entrée en conception (§ 2.3.1.1). Plus ces données d'entrée seront justes et complètes, plus le produit aura de chances de satisfaire le client. La phase marketing permet donc de rassembler les éléments de base décrivant au *mieux* le **besoin** du client ou de l'utilisateur, et non le produit et donc les solutions au besoin. Ce besoin doit être décrit en terme de service que le client ou l'utilisateur attend du produit et ce de façon très précise.

Exemple : un client fabriquant des outils tranchants (bois et métal) souhaitait s'équiper d'une affûteuse pour fraises 2 tailles et 3 tailles équipées d'un système d'approvisionnement par *tapis*, en affûtage à *meule réversible*, etc.

Ce besoin était formulé en terme de solutions (mots en italique). Cette machine a été conçue selon son cahier des charges, pas vraiment fonctionnel, plutôt contractuel et en fait trois mois après la mise en service, il s'est avéré qu'elle ne rendait pas vraiment le service attendu. Si la phase marketing avait été réalisée comme il se doit, ce client aurait défini, en fait, ce qu'il voulait faire avec cette affûteuse ; les professionnels de la conception auraient trouvé des solutions.

■ Les éléments marketing étant rassemblés, le **cahier des charges fonctionnel** peut être rédigé. Il doit donc exprimer le besoin et constituer la référence entre deux partenaires. Il doit être le plus clair possible et le plus exhaustif possible.

Il doit, avant d'être utilisé par le groupe chargé de l'analyse fonctionnelle, être critiqué de façon constructive, le but étant de détecter des incohérences, des oublis, de clarifier des éléments ambigus. La **méthode du « brain storming »** (remue-méninges) s'avère être relativement efficace. Par ailleurs, utiliser la **méthode du processus dit des « 5 M »** (Main-d'œuvre, Milieu, Machine, Matière première, Méthode) et celle **des « 3 QOCPC »** (Qui, Quand, Quoi, Où, Comment, Pourquoi, Combien) pour répondre à toutes les questions possibles s'avèrent être très intéressantes.

Lorsque le cahier des charges fonctionnel est rédigé et critiqué il doit être visé par toutes les parties prenantes (client/utilisateur, rédacteur du CDCF, concepteur/groupe d'analyse fonctionnelle).

2.2.2 Analyse fonctionnelle et analyse de la valeur

Nota : le lecteur se reportera en bibliographie à la référence [7].

Nous entendons par **analyse fonctionnelle** le fait de *rechercher, ordonner, caractériser et hiérarchiser les fonctions d'un ensemble mécanique* (définition selon NF X 50-150).

L'**analyse de la valeur** va plutôt consister à *utiliser les résultats de l'analyse fonctionnelle pour évaluer un coût d'obtention de chaque fonction du produit et à en faire une synthèse*.

La notion de compétitivité est, ici, mise en avant, le but étant de concevoir un produit assurant les fonctions et permettant de rendre le service attendu au moindre coût.

2.2.2.1 Analyse fonctionnelle

Nota : le lecteur se reportera en bibliographie à la référence [7].

C'est la phase préliminaire à la phase analyse de la valeur ; elle permet après avoir défini, sur le cahier des charges fonctionnel, le besoin du client ou de l'utilisateur, de mettre sur pied les bases qui aideront à concevoir le « *juste produit* ». Cette phase doit être réalisée en groupe afin d'avoir un maximum d'idées et, donc, plus de solutions. Cela consiste à décomposer par fonctions tout ce que le produit est censé pouvoir assurer et définir pour chacune d'elles le(s) moyen(s) utilisé(s) pour l'assurer. Les fonctions peuvent être décomposées elles aussi en plusieurs familles.

Prenons le cas d'un **boîtier de connexion électrique** pour un capteur de température (**partie mécanique**), qui avait fait l'objet d'une action de conception axée sur l'analyse de la valeur.

■ Les **exigences fonctionnelles** extraites du cahier des charges fonctionnel sont les suivantes.

Fonctions principales :

- F1 : connecter 8 types de transmetteurs (existants) ;
- F2 : pouvoir assembler le boîtier sur 4 diamètres de capteurs différents ;
- F3 : tenue aux vibrations (x_1) ;
- F4 : tenue à une température ambiante pouvant aller jusqu'à x_2 ;
- F5 : boîtier doit être étanche à l'eau par aspersion (pluie par exemple ou arrosage) et à la poussière à la pression atmosphérique ;
- F6 : aucune dimension supérieure à x_3 mm (place disponible soumise limitée sur les sites).

Fonctions secondaires :

- F7 : fermeture du boîtier aisée et rapide (temps d'installation court) ;
- F8 : boîtier non métallique (isolement électrique) ;
- F9 : masse maximale égale à x_4 ;
- F10 : lecture aisée de l'identification de la tête de connexion quelque soit sa position (verticale, oblique, horizontale, tête en bas) ;
- F11 : couvercle du boîtier « imperdable » (sécurité en maintenance) ;
- F12 : test des différents conducteurs aisé et en direct, pas de démontage autre que le couvercle.

■ Pour chaque fonction, la deuxième opération consiste à définir ce que l'on va mettre en œuvre pour l'assurer (**solutions**). Il peut y avoir plusieurs solutions possibles.

Exemple : pour la **fonction F11** :

- le couvercle est solidaire du boîtier à l'aide d'une chaînette (1^{re} solution S11) ;
 - le couvercle sera articulé avec le corps du boîtier (2^e solution S11).
- Pour la **fonction F5** : joints toriques-type - Ref - etc. (solution S5).

Par la suite, il est important de faire un tableau de synthèse (tableau 2). Ce tableau de compatibilité permet d'éviter de retenir une solution qui ne satisferait pas une des exigences du CDCF.

Tableau 2 – Tableau de compatibilité

		12 exigences fonctionnelles (fonctions)					
		F1	F2	F3	F4	...	F12
12 solutions au minimum	S1						
	S2						
	S3						
	:						
	:						
	S11	⊗			⊗		
	S12						

Il est indispensable de vérifier en terme de faisabilité que chaque solution répond à toutes les exigences ou fonctions à assurer.

Exemple : ⊗ solution S11 : attention à la matière (plastique, métallique) de la chaînette, car il y a des exigences de températures qui peuvent être incompatibles avec les matériaux utilisés (fonction F4 ⊗).

Il existe beaucoup d'autres méthodes d'analyse fonctionnelles, toutes plus ou moins efficaces ; seules deux sont plus utilisées et s'avèrent peu complexes : FAST (Fonction Analyse Système Technique) et SAFE.

2.2.2.2 Analyse de la valeur

Nota : le lecteur se reportera en bibliographie à la référence [7].

L'action analyse de la valeur est mise en œuvre en groupe et consiste, après que toutes les solutions « viables » aient été répertoriées, à chiffrer économiquement ce que va probablement coûter la mise en œuvre de chaque fonction (coût de production), mais aussi, lorsque cela est approprié de chiffrer, ce que coûtera la maintenance de cette fonction. Il est vrai que cela n'est pas toujours facile de quantifier ce genre d'élément, surtout lorsque l'étude de conception n'a pas été faite. Il est souvent conseillé de raisonner par comparaison avec des solutions similaires existantes.

Cette phase est importante, car elle va permettre d'éliminer les solutions trop coûteuses et donc conditionner l'étude de conception. En effet, il n'est pas utile de passer du temps à étudier un produit comportant des solutions qui dès le départ seront connues pour être coûteuses. Bien entendu les coûts de production dans l'entreprise doivent être connus par le service compétent, afin d'obtenir des résultats les plus justes possible. Toutefois, ce qui est très souvent pratiqué, consiste à définir un coût minimal et un coût maximal pour chaque fonction.

Exemple : revenons au boîtier de connexion électrique (§ 2.2.2.1) : avant l'analyse de la valeur, celui existant, ne répondant pas à la totalité des exigences du CDCF, coûtait (en 1986) à l'entreprise 30,50 F, après il ne coûtait plus que 8,40 F. L'économie à l'unité a été de 22,10 F. L'entreprise vendait environ 25 000 boîtiers par an soit une économie de 552 500 F.

À ce prix-là, l'investissement dans l'analyse de la valeur (durée environ 350 h) est très vite remboursé et cet exemple n'a rien d'exceptionnel ; pour certains produits, il est possible de diviser le coût par 5, par 8, voire par 10.

2.2.3 AMDEC produit

2.2.3.1 Généralités

Le présent paragraphe a pour objet de définir la méthode d'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité d'un produit, dénommée **AMDEC produit** (en anglais FMECA : *Failure Mode, Effect and Criticality Analysis*). C'est une méthode d'analyse préventive qui aide à la validation des « plans études de définition du produit » par :

- la recherche des défaillances potentielles des fonctions d'un produit ;
- l'évaluation chez les clients des effets de ces défaillances potentielles ;
- la recherche des causes possibles d'apparition de ces défaillances, c'est-à-dire les défaillances du produit liées à la conception ;
- la recherche et la mise en œuvre d'actions correctives.

Cette procédure est applicable à tous les « plans études de définition de produits » conçus dans un organisme faisant de la conception. Toute étude AMDEC produit doit s'inscrire dans le planning général de développement d'un produit avant diffusion officielle des plans études.

2.2.3.2 Principe de base

En s'appuyant sur les résultats de l'analyse fonctionnelle du produit préalablement effectuée, l'AMDEC produit est rendu très efficace par la mise en commun de l'expérience et de la compétence de chaque participant d'un groupe de travail. Cette méthode débouche

éventuellement sur des remises en cause de la conception du produit, sur des recommandations pour sa fabrication et pour le maintien en bon état de fonctionnement des matériels (maintenance).

2.2.3.3 Méthode

Elle consiste à créer dans un premier temps un groupe de travail, puis à constituer un dossier, puis à enchaîner les sept phases du travail d'AMDEC proprement dit, enfin à conclure en effectuant une synthèse souvent matérialisée par un rapport.

■ Création du groupe de travail

a) Le groupe de **permanents** est composé :

- d'un *animateur*, garant de la méthode ;
- d'un *pilote*, chef du projet par exemple, garant de l'étude jusqu'à son aboutissement ; il en définit le sujet, les critères et les objectifs ; il pourra aussi jouer le rôle de secrétaire de séance ;
- de *représentants des diverses directions* concernées par l'analyse du produit : études, méthodes, qualité, marketing, fabrication, technique, réseau etc.

On notera que :

- ces personnes sont garantes de l'homogénéité de la cotation durant l'étude ;
- elles sont responsables, compétentes, et disponibles ;
- la séparation des fonctions animation et pilotage est indispensable, pour assurer l'indépendance des jugements ;
- la structure du groupe est fonctionnelle et non hiérarchique.

b) En fonction de l'ordre du jour, le groupe demande ou non l'appui de **spécialistes**, appelés aussi « **experts** » (appartenant aux fournisseurs, aux clients, à l'entreprise).

■ Constitution du dossier

Pour l'analyse, le groupe s'appuie sur l'apport de toutes les fonctions concernées.

● **Études :**

- l'analyse fonctionnelle du produit ;
- les plans du produit ;
- le cahier des charges et ses spécifications techniques, de réglementations et de sécurité ;
- les calculs et leurs vérifications (chaîne de cotes...) ;
- le programme d'essais ;
- les résultats des essais effectués ou en cours s'il y a lieu.

● **Marketing :**

- les spécifications marketing...

● **Qualité :**

- les objectifs qualité et fiabilité du produit ;
- l'historique qualité sur des produits similaires...

● **Commercial :**

- les exigences commerciales pour la réparation, la maintenabilité ;
- les conditions à respecter pour certains pays...

● **Méthodes :**

- les contraintes de fabrication ;
- les hypothèses de choix des moyens.

Tous les éléments du dossier sont indispensables pour réaliser une AMDEC produit efficace.

■ Déroulement de la méthode

Elle se déroule en sept étapes.

Étape 1. Validation de l'analyse fonctionnelle

Le pilote présente au groupe de travail le sujet de l'étude :

- le produit ;
- ses situations de vie ;
- son environnement ;
- ses fonctions classées (principales, service, contrainte, techniques).

Le groupe valide l'analyse fonctionnelle du produit avant de commencer la démarche AMDEC produit.

Étape 2. Recherche des défaillances potentielles

Une défaillance est une fonction non satisfaite ; c'est un écart par rapport à un résultat attendu.

Le groupe doit décliner, pour chaque fonction, les quatre types de défaillance (cf. norme AFNOR X 60-510) :

- *absence* de la fonction : la fonction ne se réalise pas à l'instant où on la sollicite ;
- *arrêt* de la fonction : la fonction cesse de se réaliser ;
- *dégradation* de la fonction : altération des performances ;
- *déclenchement intempestif* de la fonction : la fonction se réalise lorsqu'elle n'est pas sollicitée.

On obtient ainsi la liste des défaillances potentielles des fonctions du produit étudié.

Étape 3. Recherche des causes et des effets. Calcul de la criticité. Hiérarchisation des notes

Causes : pour chaque défaillance potentielle, on recherche les causes possibles liées à la conception du produit.

Effets : on doit dire ce qui est engendré sur les fonctions supérieures, sur les clients, sur les performances...

Criticité : l'analyse qualitative permet ensuite, en s'appuyant sur la connaissance de produits similaires existants, de quantifier chaque défaillance et chacune de ses causes par quatre notes de 1 à 10 (tableaux 3, 4 et 5).

Tableau 3 – Détectabilité	
Critères	Note D
Cause du défaut détectée à 100 % au cours de la validation. Toutes les validations prévues au cahier des charges sont faites et leurs résultats confirment la conception. Échantillonnage adapté.	1
Risque <i>r</i> de ne pas détecter la cause du défaut au cours de la validation : $0 < r \leq 10 \%$ Toutes les validations prévues au cahier des charges sont faites et leurs résultats confirment la conception ; mais avec un échantillon insuffisant.	2 ou 3
Risque <i>r</i> de ne pas détecter la cause du défaut au cours de la validation : $10 < r \leq 30 \%$ Toutes les validations prévues au cahier des charges sont faites et leurs résultats confirment la conception ; mais avec un échantillon insuffisant et soumis à des conditions différentes de celles du cahier des charges.	4 ou 5
Risque <i>r</i> de ne pas détecter la cause du défaut au cours de la validation : $30 < r \leq 50 \%$ Toutes les validations prévues au cahier des charges sont faites et leurs résultats confirment la conception ; mais avec des moyens non performants, un échantillon insuffisant et soumis à des conditions différentes de celles du cahier des charges.	6 ou 7
Risque <i>r</i> de ne pas détecter la cause du défaut au cours de la validation quels que soient les résultats des essais réalisés : $r > 50 \%$ On ne peut pas assurer la validation du plan.	8 ou 9
Aucune des validations prévues au cahier des charges n'est faite.	10

Cette grille est donnée à titre indicatif et peut être aménagée (électronique, électricité...). Dans ce cas elle doit être agréée par l'ensemble du groupe de travail dès le début de l'analyse.

Tableau 4 – Occurrence

Critères et fréquence d'opposition <i>f</i>	Note O	Fréquence d'apparition du défaut
Défaut inexistant sur des produits existants ou similaires utilisés dans des fonctions et des conditions analogues. Pas d'incident connu en clientèle. ($f \leq 0,01 \%$)	1 ou 2	$< 1/100\ 000$ (< 10 p.p.m.) $1/10\ 000$ (100 p.p.m.)
Peu de défauts sur des produits existants ou similaires utilisés dans des fonctions et des conditions analogues. Très peu d'incidents connus en clientèle. ($0,05 \leq f \leq 0,1 \%$)	3 ou 4	$1/2\ 000$ (500 p.p.m.) $1/1\ 000$ (1 000 p.p.m.)
Défaut apparu occasionnellement sur des produits existants ou similaires utilisés dans des fonctions et des conditions analogues. Quelques incidents connus en clientèle. ($0,2 \leq f \leq 0,5 \%$)	5 ou 6	$1/500$ (2 000 p.p.m.) $1/200$ (5 000 p.p.m.)
Défaut apparu fréquemment sur des produits existants ou similaires utilisés dans des fonctions et des conditions analogues. Quelques incidents connus en clientèle. ($1 \leq f \leq 2 \%$)	7 ou 8	$1/100$ (10 000 p.p.m.) $1/50$ (20 000 p.p.m.)
Apparition fréquente du défaut. Risque de rattrapages sur les produits finis. ($f \geq 5 \%$)	9 ou 10	$1/20$ (50 000 p.p.m.) $> 1/10$ ($> 100\ 000$ p.p.m.)
Cette grille est donnée à titre indicatif et peut être aménagée (électronique, électricité...). Dans ce cas, elle doit être agréée par l'ensemble du groupe de travail dès le début de l'analyse.		

La criticité **C** de chaque défaillance est calculée pour chacune des causes. Elle est obtenue par le produit des notes. D détectabilité, O occurrence et G gravité maximale :

$$C = D \times O \times G \text{ maxi}$$

La note **D** (Détectabilité) est donnée tableau 3 en fonction des critères. Il s'agit d'estimer et de noter la probabilité de ne pas détecter la cause d'une défaillance avant diffusion du plan officiel :

- maquetage, plans ;
- essais physiques, essais d'endurance ;
- obtention des performances ;
- calculs cinématiques, dynamiques, résistances des matériaux, maillage par éléments finis ;
- expérience sur des produits comparables, etc.

La note **O** (Occurrence) est donnée tableau 4 en fonction des divers critères. Il s'agit d'estimer et de noter la probabilité d'apparition d'une défaillance pour une cause donnée.

Dans l'attribution de cette note, il faut tenir compte de l'historique qualité sur des produits comparables.

La note **G** (Gravité) est donnée tableau 5 en fonction des divers critères. Il s'agit d'estimer et de noter le niveau de gravité de

Tableau 5 – Gravité : la note la plus élevée (G maxi) entre le client interne (aval) et le client final doit être retenue

Critères client final (ou utilisateur)	Note G	Critères client aval (entreprise)
Effet minime. Le client ne s'en aperçoit pas.	1	Aucune influence sur les opérations de fabrication et/ou de montage.
Effet mineur que le client peut déceler, mais ne provoquant qu'une gêne légère. Aucune dégradation notable des performances.	2 ou 3	Effet minime décelable lors des opérations de fabrication et /ou de montage mais ne provoquant qu'une gêne légère sans perturbation du flux.
Effet avec signe avant-coureur qui mécontente le client ou le met mal à l'aise. Aucune dégradation notable des performances.	4 ou 5	Légère perturbation du flux de fabrication et/ou montage due à des opérations difficiles à réaliser (cotes difficiles à réaliser).
Effet sans signe avant-coureur qui mécontente le client. Elle l'indispose ou le met mal à l'aise. On peut noter une dégradation des performances. Les frais de réparation sont modérés.	6 ou 7	Perturbation modérée du flux de fabrication et/ou montage due à des opérations très difficiles à réaliser (tolérances difficiles à tenir), mais réalisables avec les techniques actuelles.
Effet avec signe avant-coureur qui provoque un grand mécontentement du client et/ou des frais de réparation élevés en raison de la perte des fonctions d'un sous-ensemble.	8	Perturbation élevée du flux de fabrication et/ou de montage due à des opérations très difficiles à réaliser (tolérances difficiles à tenir), non réalisables avec les techniques actuelles.
Effet sans signe avant-coureur qui provoque un grand mécontentement du client et/ou des frais de réparation élevés.	9	Perturbation très élevée du flux de fabrication et/ou de montage due à des opérations impossibles à réaliser.
Effet impliquant des problèmes de sécurité ou de non conformité aux règlements en vigueur.	10	Effet impliquant des problèmes de sécurité pour l'opérateur aval ou dans l'usine cliente. Arrêt des opérations de fabrication et de montage.

l'ensemble des effets d'une défaillance sur les clients final et direct, interne à l'entreprise (service ou fonction aval).

Plus l'indice de criticité est élevé, plus la défaillance considérée est préoccupante.

Hierarchisation : par un diagramme de Pareto, on attribue des notes de criticité et des notes de gravité (sécurité du personnel et/ou des biens) pour faciliter la présentation et le choix de celles qui sont supérieures à leurs limites fixées.

Étape 4. Dispositions, responsable, planning d'amélioration

Le groupe de travail, pour les notes de criticité et de gravité prises en compte, désigne les responsables de recherche des actions correctives et élabore un planning d'amélioration (délai d'obtention des résultats). Par souci d'efficacité les responsables choisis dans le groupe doivent définir les tâches à mener en dehors des réunions AMDEC produit, avec la participation, si nécessaire, des membres du groupe.

Étape 5. Mise en place, suivi, efficacité des actions engagées

Le pilote suit la réalisation des actions engagées.

Ces actions sont à réaliser impérativement avant la diffusion des plans études.

Les actions correctives doivent être planifiées, depuis leur recherche jusqu'à leur aboutissement.

Étape 6. Réévaluation de la criticité des défaillances, validation des dispositions

De la même manière que pour la première évaluation (étape 3), une nouvelle note de criticité est calculée, prenant en compte les résultats des actions correctives :

$$C = D \times O \times G \text{ maxi}$$

Bien qu'étant une méthode d'analyse du produit, l'AMDEC produit peut amener des propositions d'actions sur le ou les processus de réalisation du produit.

Étape 7. Mise à jour du plan

Pour clore l'analyse, il est impératif de reporter sur les plans toutes les modifications demandées, avant leur approbation et diffusion.

Pour cela il faut gérer les modifications d'actions correctives au cours de leur réalisation.

■ Conclusion, synthèse, rapport

Un rapport d'analyse des dispositions prises et des résultats obtenus peut être rédigé pour :

- conservation ;
- présentation à la hiérarchie ;
- présentation aux clients (l'AMDEC peut être un élément contractuel).

2.2.4 Caractéristiques majeures

À l'issue de la phase AMDEC, les solutions mises en œuvre retenues ont une criticité acceptable (§ 2.2.3). Il est nécessaire à ce stade d'identifier les caractéristiques principales définissant le produit. Ces caractéristiques sont appelées caractéristiques majeures, elles sont définies de la façon suivante :

- une caractéristique est un élément mesurable (exemple : le $\varnothing 20H7$ sur une pièce mécanique, un état de surface, etc.) ;
- une caractéristique majeure est une caractéristique :
 - qui a une incidence directe sur le fonctionnement du produit fini (par exemple, sur une machine à laver le linge, la vitesse de rotation du tambour) ;
 - qui peut être identifiée sur le produit fini, un sous-ensemble ou un composant ;
 - qui est commune à deux composants ou sous-ensembles devant être assemblés (par exemple, un ajustement arbre-alésage).

L'identification de ces caractéristiques a deux objectifs :

- a) sur le **produit fini**, cela permet de s'assurer que le produit satisfiera le client ou l'utilisateur ;
- b) sur les **composants** ou **sous-ensemble**, cela permet de s'assurer qu'il n'y aura pas de problème en cours de montage (le cycle de production n'est pas perturbé) ; l'identification étant faite, il s'agira de les suivre dans le temps à l'aide de l'outil statistique par exemple, afin de prendre les dispositions nécessaires en cas de dérive et donc d'anticiper les problèmes en cours de production, afin de diminuer très sensiblement le risque d'avoir des produits finis non conformes.

2.2.5 Prise en compte des éléments relatifs à la production

Pendant toute la conception, et en particulier au moment de l'étude de conception, il est indispensable de prendre en compte un certain nombre d'éléments relatifs à la production, afin de ne pas se retrouver dans une situation où il serait impossible de réaliser les composants à un prix raisonnable (prévu au cours de la phase analyse de la valeur). Les éléments à prendre en compte peuvent être les suivants :

- précision des équipements de production (capabilité des machines) ;
- technique de production (usinage, assemblage, revêtement par peinture, etc.) ;
- moyen de production (capacités dimensionnelles, cadences, etc.).

■ Précision des équipements

Pour traiter cette partie, nous prendrons un exemple très simple, réel, qui, une fois traité, permettra de mieux comprendre l'intérêt de prendre en compte les éléments relatifs à la production et, par ailleurs, d'imaginer le risque encouru sur des produits complexes.

Prenons l'exemple d'un produit dont les prévisions de vente sont de l'ordre de 10 000 unités par an. Une caractéristique majeure sur un composant est $\varnothing 20 \pm 0,02$ mm, 40 μ m de tolérance. Les composants seront lancés par série de l'ordre de 1 000 unités et bien entendu tous devront être conformes. Statistiquement, la probabilité d'avoir un élément non conforme doit être au pire inférieur à 1/1 000 (la 1 001^e étant celle qui est considérée comme non conforme) probabilité $p = 1 \cdot 10^{-3}$, ce qui équivaut à avoir une population dont l'écart-type serait de l'ordre de 6 μ m. Or, on sait que le processus de réalisation des pièces donne très rarement une population centrée sur la cote nominale. Il est généralement conseillé d'avoir une capabilité de processus de l'ordre de 1,66 ou plus, ce qui ramène la probabilité d'avoir 1 pièce non conforme à $p = 3,2 \cdot 10^{-7}$ et donne un écart-type sur la population de l'ordre de 4 μ m [6] et [7].

Il existe donc deux possibilités :

- soit la cote de $\varnothing 20 \pm 0,02$ mm est indispensable et justifiée et la précision des équipements pour la réaliser devra être bonne et donc risque de coûter plus que ce qui est admissible, vu le prix du marché pour le produit ;
- soit la précision de $\pm 0,02$ peut être revue et adaptée, afin d'obtenir un coût acceptable.

■ Technique et moyen de production

Il est important que le concepteur connaisse les techniques utilisées en production et adapte au mieux la conception de son produit. En effet, un produit nécessitant des techniques de production devant être réalisé en sous-traitance, par manque de moyen, est plus difficile à maîtriser en production, que si tout est réalisé in-house, en particulier si cela concerne la partie « noble » du produit.

Prenons pour exemple le cas d'un capteur de température à sonde platine (Pt 100 Ω) où la partie « noble » dite sensible devait avoir une conductivité thermique très bonne (matériau adéquat et masse minimale), afin d'obtenir un « temps de réponse » le plus court possible. Le temps de réponse d'un capteur de température correspond au temps qui s'écoule entre l'instant où la température s'élève effectivement et l'instant où le capteur transmet l'information.

À l'issue de la première étude, il s'est avéré que, vu la forme donnée, cette partie du capteur ne pouvait être réalisée que par électroérosion à fil. Seule une entreprise dans un rayon de 400 km maîtrisait cette technique et donc l'entreprise a passé un contrat avec cette dernière (prix unitaire : 2 600 F ; délai : 4 semaines). Les mois passant, les résultats (qualité des travaux réalisés en sous-traitance) se sont détériorés et le sous-traitant a dû améliorer son processus et nous a fait supporter le coût supplémentaire (prix unitaire : 2 850 F). Après un an d'activités sur ce produit, un bilan a

été fait ; il est ressorti une perte importante, nous produisons plus cher que nous vendions. La décision fut prise de reconcevoir le capteur, car cela ne devenait plus acceptable.

La partie sensible a été réétudiée et complètement reconçue et il s'est avéré qu'en changeant de technologie de prise de température, un perçage $\varnothing 2 \pm 0,1$ mm dans la partie sensible suffirait pour assurer la même fonction principale du capteur (prix unitaire : inférieur à 5 F). Nous venons de maîtriser nos coûts de production grâce à une conception adaptée. De plus, cette phase de production s'effectuait dans nos murs et cela permettait d'être beaucoup plus réactif en cas de dérive de la qualité de l'usinage.

2.2.6 Évolution des produits

Comme nous l'avons vu (§ 2.1), l'un des « réflexes » du concepteur est de concevoir un produit dit évolutif, qui permettra très facilement de satisfaire un besoin nouveau du client ou de l'utilisateur. L'aspect évolution revêt en fait deux aspects, l'un considérant une évolution en adoptant l'existant (modification), l'autre en utilisant seulement les principes de base des produits existants. La réflexion se situe à deux niveaux ; le premier lorsque le concepteur définit un principe de fonctionnement et l'autre lorsqu'il réalise l'étude de construction. Il est vrai que ce n'est pas toujours facile d'imaginer ce que le produit pourrait rendre comme service et ce que l'on en attendra dans le futur. Cela étant, lorsqu'il est possible de consacrer du temps à cette réflexion, il faut le faire car c'est avec cette démarche que l'on devance la concurrence. Une entreprise qui sait rapidement adapter ses produits aux nouveaux besoins, qui crée de façon régulière de nouveaux produits et donc qui anticipe les besoins futurs des utilisateurs a toutes les chances de devenir leader dans son domaine et d'assurer sa pérennité.

2.2.7 Plan d'expérience

Nota : le lecteur se reportera en bibliographie à la référence [8].

Dans le cadre de la conception d'un produit, le plan d'expérience, bien que peu utilisé peut être dans certains cas d'un grand secours.

2.2.7.1 Objectif

Les plans d'expériences sont utilisés pour identifier et quantifier les facteurs influents sur un phénomène étudié en vue de le maîtriser. La méthodologie employée, par utilisation d'outils mathématiques adaptés, facilite l'élaboration d'un plan d'expérience optimal permettant de réduire en délai et en coût la charge expérimentale (le nombre d'essais).

2.2.7.2 Utilisation

Un plan d'expériences se réalise en quatre étapes successives.

1) **Analyse du phénomène ou du procédé à étudier ;**

2) **Détermination des facteurs influents.** Cette étape permet de répondre aux questions suivantes :

- parmi tous les facteurs susceptibles d'avoir une incidence sur le phénomène étudié, lesquels ont réellement une influence ?
- si l'influence existe, peut-on la quantifier et est-elle, en fonction des conditions expérimentales, significative ?
- y a-t-il des interactions entre facteurs influents, si oui comment jouent-elles ?

Les outils mathématiques associés sont le plan factoriel complet ou fractionnaire à deux niveaux, le plan factoriel complet quelconque, l'étude de la variance...

3) **Modélisation.** On recherche la fonction mathématique qui permet de décrire les variations du phénomène étudié avec les facteurs influents :

$$y = f(x_1, \dots, x_n)$$

avec y valeur du paramètre caractéristique du phénomène,

x_1, \dots, x_n valeurs des facteurs influents.

Les outils mathématiques associés sont le modèle polynomial du premier et second degré, la régression multiple...

4) **Conception et optimisation.** On détermine des valeurs des facteurs influents qui donnent le meilleur résultat. La recherche de l'optimum suppose préalablement une bonne connaissance du phénomène (recherche des facteurs influents et de leurs interactions), qui ne passe pas obligatoirement par sa modélisation. Cette possibilité amène à distinguer deux démarches :

- l'optimisation **avec modélisation** : utilisation du tracé des iso-réponses ou de la méthode de la plus grande pente ;
- l'optimisation **sans modélisation** ; la recherche de l'optimum est réalisée par la méthode du simplex.

Nous allons appliquer ce plan d'expérience à deux exemples très simples.

2.2.7.3 Problème n° 1

■ Étape n° 1 : Analyse du phénomène ou du procédé

Formaliser le problème

Dans quelles conditions de température θ (°C) et de pression p (bar) a-t-on le meilleur rendement η (%) d'une réaction chimique ?

La température varie de 60 à 80 °C.

La pression varie de 1 à 2 bar.

Quelle est l'influence d'une variation de la pression sur le rendement ?

■ Étape n° 2 : Détermination des facteurs influents

1) Sélectionner les paramètres

Le rendement dépend de 2 paramètres :

- température θ ... : degré Celsius ;
- pression p : bar.

On peut les présenter sous forme du tableau 6 (modalités).

Tableau 6 – Modalités du problème n° 1		
Paramètre	1	2
Température θ	60 °C	80 °C
Pression p	1 bar	2 bar

2) Construire le plan

Combien y a-t-il de combinaisons possibles pour faire les essais ?
Nombre de combinaisons :

$$NC = 2^n$$

Nombre de paramètres : 2

$$a^n = NC = 2^2 = 4$$

Graphiquement, dans ce cas simple, on a le domaine d'expérience de la figure 4.

On choisit les extrêmes qu'on note : - ; +.

On peut tracer le plan d'essais ou **matrice d'expériences** (tableau 7).

■ Étape n° 3 : Modélisation

Analyse des résultats

On fait les essais et on obtient le tableau 8 et la figure 5.

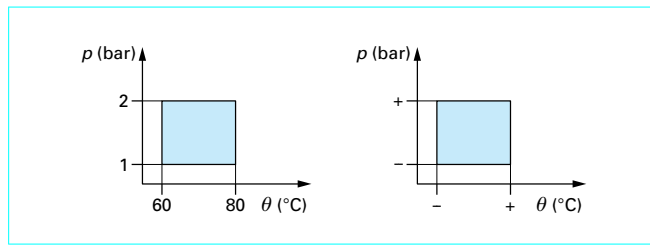


Figure 4 – Exemple n° 1 : domaine d'expérience

Tableau 7 – Matrice d'expériences du problème n° 1

Numéro de l'essai	u (°C)	p (bar)
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+

Tableau 8 – Résultats des essais du problème n° 1

Numéro de l'essai	u (°C)	p (bar)	Rendement (%)
1	60	1	60
2	80	1	80
3	60	2	70
4	80	2	90

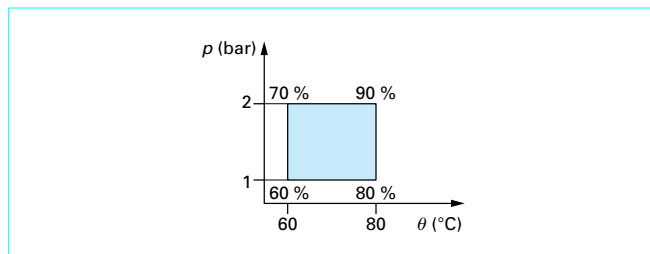


Figure 5 – Exemple n° 1 : résultats d'expérience

■ Étape n° 4 : Conclusion et optimisation

Le meilleur rendement est obtenu à 80 °C sous 2 bar.

On peut constater que la pression joue un rôle moindre sur le rendement à température constante que la température, à pression constante.

Exemple : pour $\theta = 60$ °C :

- $p = 1$ bar ; $\eta = 60$ %
- $p = 2$ bar ; $\eta = 70$ %

pour $p = 1$ bar

- $\theta = 60$ °C ; $\eta = 60$ %
- $\theta = 80$ °C ; $\eta = 80$ %

Lorsque le rendement augmente avec la température, l'écart est appelé **effet** et on pourra considérer l'effet moyen si on veut savoir si la variation est linéaire (figure 6).

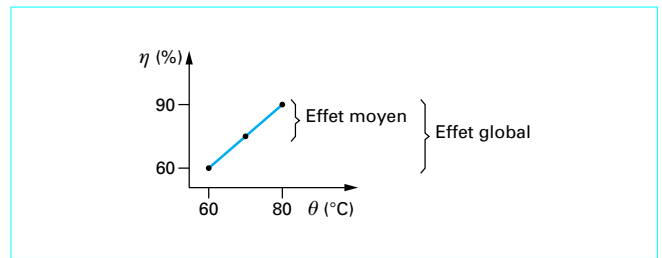


Figure 6 – Exemple n° 1 : rendement obtenu en fonction de la température

2.2.7.4 Problème n° 2

■ Étape n° 1 : Analyse du phénomène ou du procédé

Formaliser le problème

Une personne cherche à optimiser la consommation d'essence (L/100 km) de son véhicule (cylindrée 1,2 L) sur un même trajet.

■ Étape n° 2 : Détermination des facteurs influents

1) Sélectionner les paramètres

La consommation dépend de 4 paramètres :

- bougies : 2 types B1 et B2 ;
- pneus : 2 types P1 et P2 ;
- chargement : galerie ou remorque ;
- mode de conduite : sportive ou calme.

On peut les présenter sous forme du tableau 9 (modalités).

Tableau 9 – Modalités du problème n° 2

Paramètre	1	2
Bougies.....	B1	B2
Pneus	P1	P2
Chargement.....	galerie	remorque
Mode de conduite.....	sportive	calme

2) Construire le plan

Combien y a-t-il de combinaisons possibles pour faire les essais ?

$$NC = 2^4$$

$$a^n = NC = 2^4 = 16$$

On choisit deux niveaux de chaque paramètre qu'on note par - et +.

Le plan d'essais, ou **matrice d'expériences**, est donné par le tableau 10. La technique utilisée est la suivante :

- facteur 1 : on alterne les signes - et + ;
- facteur 2 : on double chaque signe -- puis ++ ;
- facteur 3 : on quadruple chaque signe.

■ Étape n° 3 : Modélisation

Analyse des résultats

On fait les essais et on obtient le tableau 11.

Tableau 10 – Matrice d’expériences du problème n° 2

Numéro de l’essai	Bougies (3)	Pneus (3)	Chargement	Conduite
1	-	-	-	-
2	+	-	-	-
3	-	+	-	-
4	+	+	-	-
5	-	-	+	-
6	+	-	+	-
7	+	+	+	+
.				
.				
16				

Tableau 11 – Résultats des essais du problème n° 2

Numéro de l’essai	Bougies (3)	Pneus (3)	Chargement (1)	Conduite (2)	L/100 km
1	B1	P1	G	S	7,1
2	B2	P1	G	S	7,05
3	B1	P2	G	S	7,05
4	B2	P2	G	S	7,00
5	B1	P1	R	S	5,8
6	B2	P1	R	S	5,75
7	B1	P2	R	S	5,81
8	B2	P2	R	S	5,8
9	B1	P1	G	C	5,85
10	B2	P1	G	C	5,8
11	B1	P2	G	C	5,9
12	B2	P2	G	C	5,85
13	B1	P1	R	C	5,47
14	B2	P1	R	C	5,36
15	B1	P2	R	C	5,44
16	B2	P2	R	C	5,33

(1) G : galerie ; R : remorque.
 (2) S : sportive ; C : calme.
 (3) Seuls les bougies et pneus varient.

■ Étape n° 4 : Conclusion et optimisation

La meilleure consommation est obtenue avec les bougies B2, les pneus type P2, une remorque et un mode de conduite calme.

On peut noter que la nature des bougies et des pneus ne joue pas un grand rôle dans la consommation ; on choisira plutôt une solution entre :

- galerie ou remorque ;
- conduite sportive ou calme.

L’effet global selon **chargement** ou **conduite** est représenté sur les figures 7.

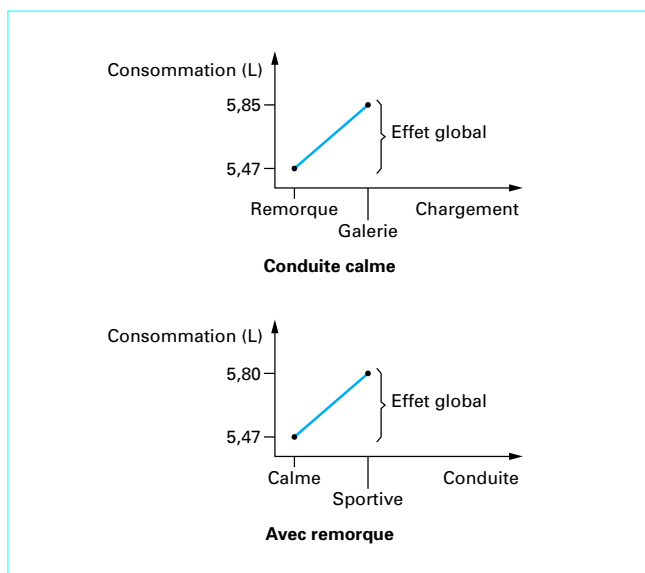


Figure 7 – Exemple n° 2 : effet global sur la consommation du carburant du chargement et de la conduite

2.3 Procédures

Nota : le lecteur se reportera en bibliographie à la référence [5].

Le paragraphe précédent traitait, nous l’avons vu, des outils à utiliser pour la mise en œuvre de la conception. Cela étant, il est indispensable d’organiser tout ce processus de conception et, bien entendu, de le consigner sur des documents propres à l’entreprise (**procédures**). N’oublions pas qu’une entreprise peut posséder les machines ou les outils les plus performants, si elle n’est pas organisée, les retombées économiques en seront très réduites. L’objectif de ce chapitre est d’identifier en matière organisationnelle les éléments principaux à définir et bien entendu à mettre en place, afin de les appliquer. Ils répondent en matière d’assurance qualité aux exigences de la norme ISO 9001 édition 94 [4].

2.3.1 Données d’entrée et données de sortie

Le processus de conception est composé, comme tout processus, d’éléments entrants et d’éléments sortants. Par définition (ISO 8402), un processus transforme des éléments entrants en éléments sortants, considérés comme le produit du processus. Dans notre processus de conception, le produit est matérialisé par les données de sortie, données utilisées par la fonction industrialisation dans le processus global de l’entreprise et les éléments entrants sont les données d’entrée fournies par les fonctions en amont du processus de conception.

2.3.1.1 Données d’entrée

Elles doivent au minimum comprendre les exigences du client (interne ou externe à l’entreprise) et les exigences en matière de réglementation.

■ Exigences du client :

- cahier des charges fonctionnel (§ 2.2.1) ;
- spécification, normes ;
- règles de l’art du domaine du secteur concerné, etc.

■ **Réglementation :**

- sécurité, environnement, etc. ;
- arrêtés ;
- textes de loi, etc.

Dans le futur dossier technique du produit, il est conseillé de répertorier, sous forme de liste la plus exhaustive possible, tous les **documents de référence** qui définissent en fait les éléments qui ont servi à concevoir le produit. Toute donnée d'entrée, après examen (lecture, analyse) donnant lieu à des questions ou étant ambiguë, en particulier sur la faisabilité, doit être complétée. N'oublions pas que ces éléments sont les fondations du produit, ils doivent être parfaitement clairs.

2.3.1.2 Données de sortie

Elles représentent le « produit » du processus de conception et la plupart de ces éléments seront donc utilisés par la fonction industrialisation dans le processus global de l'entreprise. Ils sont à considérer comme des données d'entrée pour la fonction industrialisation.

Elles définissent le produit et doivent être vérifiées par rapport aux données d'entrée au cours des différentes revues de conception (§ 2.3.2).

■ Toutes les **caractéristiques majeures** (§ 2.2.4) doivent, bien entendu, être identifiées. Ce sont elles qui permettront d'accepter ou non les produits ; elles sont à considérer comme des **critères d'acceptation**.

Par ailleurs tous les **éléments annexes** au produit doivent être définis et font partie intégrante des données de sortie.

Exemple :

- notice(s) d'utilisation ;
- notice(s) de manutention ;
- notice(s) d'emballage ou/et de conditionnement ;
- notice(s) de maintenance ;
- notice(s) de mise en/ou hors service

Tous les documents destinés aux clients ou utilisateurs doivent être traduits dans la langue adéquate en cas d'export. Attention : l'anglais qui est, il est vrai, la langue la plus utilisée, demeure la solution de simplicité ; certains pays sont encore loin de l'utiliser de façon systématique. L'utilisateur sera d'autant plus satisfait s'il a à sa disposition une documentation facilement exploitable.

Une deuxième recommandation consiste à faire « tester » cette documentation par un candide, afin de s'assurer que le risque de mécontentement du client ou de l'utilisateur dû à une mauvaise documentation sera minimum.

2.3.2 Revues de conception

La revue de conception en tant que telle est à considérer comme une sorte de vérification du produit en phase de conception et ce à différents stades d'avancement. Généralement, le nombre de ces revues est fonction de la complexité du produit et donc de l'importance, en volume (temps à passer et moyens mis en œuvre) de la phase conception. Par principe, il y a trois types de revues de conception (initiale, intermédiaire et finale), chacune ayant sa finalité et son rôle à jouer dans le processus de conception. Chaque revue doit faire l'objet d'un rapport afin de garder une « trace » de ce qui a été fait et des décisions prises.

2.3.2.1 Revue initiale de conception

Elle est réalisée dès que le principe de base ou de fonctionnement décrivant le produit dans ses grandes lignes est défini. Le travail va consister à vérifier que le principe permet de satisfaire les exigences

du cahier des charges fonctionnel. Lorsque pour certaines exigences cela n'est pas possible (exemple : une couleur, une forme, etc.), il s'agira de s'assurer que le principe n'empêchera pas de satisfaire cette exigence.

Exemple : il s'agit d'un produit dont le principe était mécaniquement adapté ; le critère que l'on ne pouvait pas vérifier était le poids de l'ensemble. Ce critère ne pouvait être satisfait qu'en utilisant du titane ou éventuellement un alliage léger à base d'aluminium. Ce fut chose faite au cours de l'étude, mais le fait d'utiliser des matériaux de ce type a généré des problèmes de pollution du fluide en contact avec les alliages d'aluminium.

Cela est apparu sur le prototype en phase d'essais et il a fallu revoir le principe de base afin de supprimer ces problèmes.

Cela nous montre qu'au cours de la revue de conception il faut, pour les critères non vérifiables, envisager un maximum de configurations, afin de détecter le plus en amont possible les futurs problèmes, qui auraient pour cause une erreur de conception. Cette revue est conduite sous la **responsabilité de la fonction conception** et avec la **collaboration des fonctions marketing** (mercatique) et **industrialisation**.

2.3.2.2 Revue intermédiaire de conception

En fait il peut y avoir plusieurs revues intermédiaires de conception ; tout dépend de la complexité du produit, de l'intérêt et donc du « plus » que cela peut apporter en matière de qualité. Il faut faire attention à ne pas tomber dans l'excès qui alourdirait le processus de conception et du fait coûterait beaucoup plus qu'il ne rapporterait. Là aussi, elle consiste à vérifier que les éléments définis à un stade d'avancement donné permettent de satisfaire les exigences du cahier des charges. Au préalable, les éléments de la revue initiale de conception sont à reprendre en particulier pour les points dont les critères n'avaient pas pu être vérifiés. Généralement, à ce stade, l'étude de conception est bien avancée, il est donc important de reprendre les exigences du cahier des charges fonctionnel et de vérifier qu'elles sont satisfaites, mais l'idéal est d'aller au-delà et de se mettre à la place de l'utilisateur afin de détecter ce que l'on peut appeler des « besoins potentiels implicites ».

Lorsque le produit est complexe, chaque sous ensemble peut faire l'objet d'une revue intermédiaire de conception. Cette ou ces revue(s) sont menée(s) sous la **responsabilité de la fonction conception** en **collaboration avec les fonctions marketing et industrialisation**.

2.3.2.3 Revue finale de conception

Elle a pour but de vérifier une dernière fois que le produit qui a été conçu répond aux exigences du cahier des charges fonctionnel. Bien entendu, il s'agit d'analyser tous les documents (plans, spécifications, etc.) qui ont été créés à l'occasion de la phase conception et, par ailleurs, de vérifier que toutes les revues de conception (initiale, intermédiaire) ont été faites correctement et que tous les points sujets à interrogation ont été traités et soldés (exigences du cahier des charges : fonctions non satisfaites par exemple).

Elle est réalisée sous la **responsabilité de la fonction conception** en **collaboration avec les fonctions industrialisation et marketing**.

2.3.3 Interfaces entre les fonctions

Comme nous l'avons vu (§ 1.2), le processus global de l'entreprise est constitué de plusieurs sous-processus, dont celui de la conception. En amont du **processus de conception**, se situe le processus de **marketing**, plus simplement appelé **définition du besoin** du client. En aval, se situe le processus dit d'**industrialisation** (figure 8).

■ À l'intérieur même du processus de conception, en particulier lorsque le produit est complexe, il y a différentes équipes qui ont un

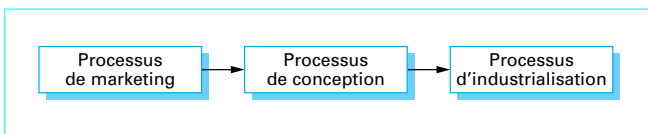


Figure 8 – Processus amont et aval

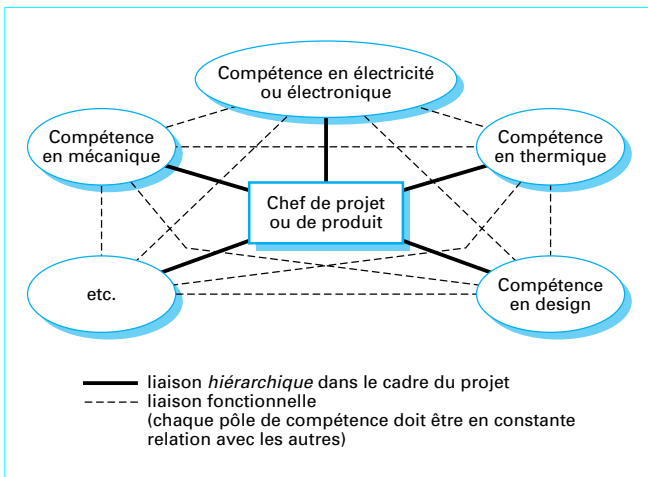


Figure 9 – Liaisons fonctionnelles et « hiérarchiques »

rôle bien précis à jouer. En réalité, il n’y a pas de règles organisationnelles uniques qui conviendraient à toute entreprise. Toutefois, il est intéressant de définir un **modèle** qui pourrait être adapté à la fois à chaque entreprise, mais aussi à chaque activité. Pour ce faire, il faut baser cette organisation du « qui fait quoi ? » autour du produit en le traitant comme dans le cadre de la gestion d’un projet. Cela veut dire que, au sein de l’équipe de conception, il y a un chef de produit ou de projet qui doit s’entourer des compétences nécessaires.

Imaginons la conception d’une machine à laver le linge. Il va falloir rassembler des compétences en mécanique, électricité, électronique, thermique et, éventuellement, en matière de design. Les responsabilités de chaque participant, dans le cadre du projet, doivent être définies. Les liaisons fonctionnelles et « hiérarchiques » sont aussi établies et peuvent se présenter de la manière décrite figure 9.

Il peut arriver que certaines compétences ne puissent être réunies au sein même de l’entreprise. À ce moment-là, il faut donc les trouver à l’extérieur et les traiter comme un acte de sous-traitance. L’entreprise sous-contractante sera donc considérée dans le cadre du projet, comme un pôle de compétence lié « hiérarchiquement » et fonctionnellement aux autres pôles.

2.3.4 Vérification de la conception

Ce paragraphe est un élément clé du processus de conception, car il permet de s’assurer que chaque phase du processus de conception est « conforme ». Cet acte de vérification peut être considéré, par analogie, au contrôle d’une pièce mécanique en atelier.

La vérification de la conception peut être assurée par chaque acteur pour lui-même (autovérification) ou, au contraire, chaque acteur si ses compétences sont suffisantes, peut vérifier le travail d’un autre. La vérification de la cotation des plans de détail par rapport au plan d’ensemble, d’une note calcul, etc. sont des exemples courants de vérification de la conception. Parfois, il faut aller plus loin dans la vérification, et on peut ajouter que, pour ce type

d’action, le travail en groupe est très efficace. Il est nécessaire de se poser un maximum de questions et l’exemple ci-après est assez représentatif de cette vérification « d’éléments induits ».

Exemple : il s’agissait d’étudier un **ensemble mécanique** qui permettait d’alimenter en matière première un four rotatif fabriquant de la « laine de roche » (isolant à haute résistance thermique). Cet ensemble devait se déplacer sur une plate-forme et à une vitesse bien définie (exigence du cahier des charges fonctionnel). La phase de vérification, après l’étude de l’ensemble, allait principalement consister à vérifier que les calculs de réductions de vitesses étaient conformes, que le champ d’action de l’appareil était bon ainsi que d’autres exigences. Il a fallu aller plus loin et ne pas regarder uniquement l’aspect dimensionnel. Il a fallu vérifier l’aspect masse de l’ensemble, malgré qu’il n’y ait pas d’exigence particulière et, de fil en aiguille, l’équipe s’est inquiétée de savoir où se situait le centre de gravité de l’ensemble.

Heureusement que cette vérification a été faite car l’ensemble une fois installé serait tombé dans le four rotatif. Il a donc fallu reconcevoir partiellement l’ensemble afin de remédier au problème d’instabilité. Cette phase de vérification n’est pas à considérer comme une revue de conception, car elle n’a pas la même finalité. Les revues de conception (§ 2.3.2), il faut le rappeler, se font lorsque la conception a été vérifiée. Bien entendu, toute vérification de la conception doit apparaître (visa, date) sur les documents vérifiés.

2.3.5 Validation de la conception

Le fait de valider, veut simplement dire que le produit, tel qu’il a été conçu, puis réalisé, satisfait effectivement le client ou l’utilisateur. Cela va donc impliquer que la conception ne pourra être validée qu’après la réalisation, la vente et l’utilisation du produit (un exemplaire ou deux si la série est très petite et, éventuellement, plusieurs milliers dans le cas contraire). La finalité est de conclure que la conception du produit n’est pas la source des éventuels problèmes rencontrés sur le produit.

La phase de validation se situe en dernière phase du processus de conception et est généralement prononcée par le chef de projet ou de produit, accompagné des différents acteurs du projet, mais aussi des différentes fonctions amont et aval de la conception, marketing et production. Il n’existe pas de méthode particulière pour valider la conception d’un produit ; toutefois, il est nécessaire de prendre en compte un minimum d’éléments tels que :

- modifications soldées et approuvées ;
- retours d’information côté client satisfaisants ;
- réclamations clients prises en compte et validées ;
- réalisation du produit aisée, et conforme aux exigences de l’industrialisation ; etc.

Bien entendu, la validation fait l’objet d’un compte rendu, afin de garder une trace de ce qui a été traité et des décisions prises.

2.3.6 Modification de la conception

Un produit peut être modifié tout au long de sa vie pour de multiples **raisons** :

- difficultés d’utilisation ;
- difficultés en production ;
- amélioration des caractéristiques ;
- ajout d’options ;
- mise en conformité à de nouvelles exigences réglementaires (sécurité, environnement, etc.) ; etc.

Par principe, il est recommandé de **justifier toute demande** de modification : Pourquoi cette modification ? Quel est le « plus » qu’elle va apporter à l’entreprise, au client et à l’utilisateur ?

Il faut être très prudent, car toute modification coûte à l’entreprise dans le cadre de sa mise en œuvre. Elle a très généralement une incidence sur les processus de production des produits. Elle peut coûter beaucoup plus au client ou à l’utilisateur si elle n’est pas suffisam-

ment argumentée et donc réfléchie. La décision de modifier la conception d'un produit doit donc être prise avec un maximum d'éléments et, si possible, en groupe, elle sera entérinée par le chef de produit.

Afin d'alléger le processus de modification de la conception, il est indispensable de définir l'importance de la modification, sera-t-elle majeure ou mineure. Par principe, une modification majeure touche une ou plusieurs exigences du cahier des charges fonctionnel alors qu'une mineure ne touche que des exigences internes. Le processus pour une modification mineure ne sera pas aussi complexe que celui d'une modification majeure. Les deux processus différents sont définis figure 10. La phase de mise en œuvre de la modification pour une modification mineure peut nécessiter des essais de qualification.

Les indices de révision de tous les documents touchés par la modification doivent être incrémentés (exemple : révision A : création, passe à révision B) et les éléments modifiés définis sommairement. Eventuellement, il faut faire référence à la demande de modification, afin de faire le lien entre la source de la modification et la modification elle-même.

2.3.7 Planification de la conception

Tout processus de conception doit être planifié dans le temps, afin de pouvoir assurer un suivi et, le cas échéant, prévoir un éventuel retard et donc prendre les dispositions nécessaires. La planification peut se présenter sous deux formes, soit le délai de réalisation du produit est au départ imposé par le client, soit le client demande à

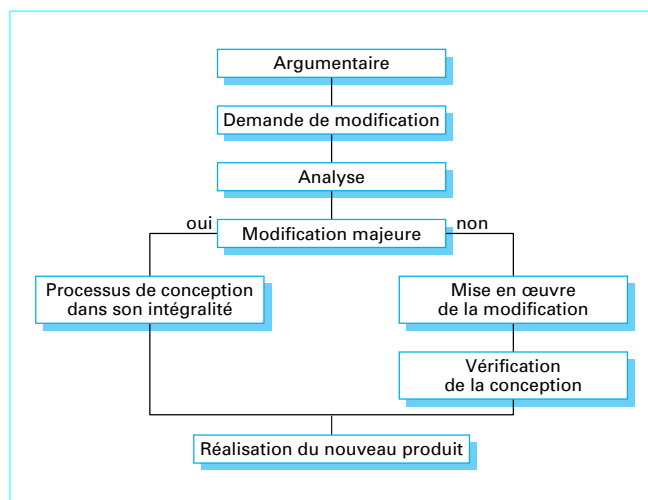


Figure 10 – Synoptique de modification de la conception

l'entreprise de proposer un délai, bien entendu acceptable et réaliste. Il ne faut pas perdre de vue que la notion de délai conditionne les moyens à mettre en œuvre.

Tableau 12 – Plan qualité produit								
N°	Désignation de la phase	Document de référence	Révision	Responsable	N° document aval	Date	Visa de validation	Observations
1	Définition du besoin du client et/ou utilisateur (service attendu) (§ 2.2.1)	Documents définissant la façon dont sont menées les phases du plan qualité produit. A chaque phase correspond un document (procédure ou instruction).	Indice de révision du document de référence à l'instant où il a été utilisé.	Nom du responsable de chaque phase.	Référence ou numéro d'identification du ou des document(s) qui ont été élaborés au cours de chaque phase ; par exemple : compte rendu d'essais ou de réunion N° 9706583Z.	Date de fin de la phase ou date de validation.	Visa du responsable de la phase, validant ce qui a été fait.	Décrire des événements importants ou faire référence à des documents, qui se sont déroulés au cours de la phase et qui sont susceptibles d'avoir modifié le déroulement de la phase. L'incidence de ces événements peut être positive comme négative. Ils sont à signaler car ils risquent d'avoir un effet sur la qualité de la conception du produit.
2	Rédaction du cahier des charges fonctionnel (CDCF) (§ 2.2.1)							
3	Validation du CDCF (analyse critique) (§ 2.2.1)							
4	Analyse fonctionnelle (§ 2.2.2.1)							
5	Analyse de la valeur (§ 2.2.2.2)							
6	Définition du principe de fonctionnement							
7	Analyse de la criticité sur principe (§ 2.2.3)							
8	Revue initiale de conception (§ 2.3.2.1)							
9	Étude de conception ou construction							
10	Définition des caractéristiques majeures (§ 2.2.4)							
11	Analyse d'évolution du produit (§ 2.2.6)							
12	Revue(s) intermédiaire(s) de conception (§ 2.3.2.2)							
13	Analyse de la criticité sur produit (§ 2.2.3)							
14	Réalisation d'essais ou de prototype(s) (1)							
15	Essais sur prototype(s) et analyse des résultats (1)							
16	Modification(s) (1) (§ 2.3.6)							
17	Revue finale de conception (§ 2.3.2.3)							
18	Validation de la conception (2) (§ 2.3.5)							

(1) Les phases 12 à 14 peuvent si nécessaire, être mises en œuvre plusieurs fois, tant que les résultats ne sont pas satisfaisants.
 (2) Elle est faite après qu'un ou plusieurs exemplaires, ou une série, aient été fabriqués et aient donné satisfaction.

Dans le processus global de l'entreprise, le **délai de fin de conception** doit être défini au préalable, puis une estimation faite, par le chef de projet ou de produit, du nombre d'heures nécessaires et des moyens à mettre en œuvre. Pour un même projet, un délai court en conception nécessitera plus de personnel et donc de moyens simultanés qu'un délai long. Cela veut dire que la structure et les liaisons [interfaces entre les fonctions (§ 2.3.3)] seront différentes et donc dépendent aussi du délai global.

Par la suite, chaque phase de la conception doit être planifiée et chaque responsable doit s'assurer qu'il aura les moyens nécessaires sur la période correspondante. Cette planification peut être faite selon la méthode « PERT/GANTT » qui s'avère être simple et bien adaptée au suivi de projet et du processus de conception.

3. Plan qualité produit

Tous les éléments, tant outil que procédures, doivent apparaître de façon formelle et utilisable de façon condensée, afin de pouvoir assurer un suivi qualité et donc un pilotage tout au long de la conception d'un produit. Le document recensant ces éléments est appelé plan qualité produit ou **plan qualité de conception**. Il définit la chronologie à suivre tout au long du processus de conception, et à chaque phase, les moyens à mettre en œuvre en faisant généralement référence à un document. De plus, tout au long de l'avancement de la conception, chaque phase est renseignée, afin de garder une trace de ce qui a été fait. Il n'existe pas de plan qualité produit répondant à toutes les configurations possibles. Le tableau **12** proposé intègre toutes les phases possibles de façon exhaustive.

Qualité en conception

Méthodologie et mise en œuvre

par **Claude FERREBŒUF**

Expert et conseil en qualité

Maître de conférences associé à l'université Paul-Sabatier (Toulouse)

Références bibliographiques

- [1] KAORU ISHIKAWA. – *La gestion de la qualité outils et application pratique*. Dunod entreprise, 242 p., 1984.
- [2] JURAN (J.M.). – *Planifier la qualité*. AFNOR Gestion, 314 p., 1989.
- [3] Centre technique industriel (CTI). – *PME PMI la démarche qualité*. AFNOR, 327 p., 1992.
- [4] BUCH JENSEN (P.). – *Guide d'interprétation des normes ISO 9000*. AFNOR, 154 p., 1993.
- [5] FRAMOU (B.). – *Le manuel qualité, outil stratégique d'une démarche qualité*. AFNOR, 181 p., 1994.
- [6] EBBEKROYE ZIANE. – *Maîtrise de la qualité totale, maîtrise statistique des processus*. Hermès, 345 p., 1993.
- [7] JOUINEAU (C.L.). – *L'analyse de la valeur, méthode, mise en œuvre et application*. Entreprise moderne d'édition, 253 p., 1985.
- [8] GOUPY (J.). – *La méthode des plans d'expériences*. Dunod, 300 p., 1988.
- [9] LAMOUILLE (J.L.), MURRY (B.) et POTIE (C.H.). – *La maîtrise statistique des processus*. AFNOR Gestion, 126 p., 1989.

Normalisation

AFNOR	Association française de normalisation
ISO	International Organization for Standardization
NF	Norme française

Normes de base ou de système		
ISO	NF	Titres
8402	X 50-120	Management de la qualité et assurance de la qualité - Vocabulaire.
9000-1	X 50-121-1	Normes pour le management de la qualité et l'assurance de la qualité - Partie 1 : lignes directrices pour leur sélection et utilisation.
9001	X 50-131	Système qualité - Modèle pour l'assurance de la qualité en conception, développement, production, installation et prestations associées.
9002-2	X 50-121-3	Normes pour le management de la qualité et l'assurance de la qualité - Partie 2 : lignes directrices pour l'application de l'ISO 9001, l'ISO 9002 et l'ISO 9003.
9004-4	X 50-122-4	Management de la qualité et éléments de système qualité - Partie 4 : lignes directrices pour l'amélioration de la qualité.
9004-5	X 50-122-5	Management de la qualité et éléments de système qualité - Partie 5 : lignes directrices pour les plans qualité.
	X 50-124	Qualité et management - Vision 2000 - Mise en œuvre des normes internationales dans le domaine de la qualité - Une stratégie pour les années 1990.
	X 50-126	Gestion de la qualité - Guide d'évaluation des coûts résultant de la non-qualité
	X 50-163	Qualité et management - Typologie et utilisation de la documentation décrivant les systèmes qualité.
	X 50-180-1	Qualité et management - Défauts de contribution du compte d'exploitation pour l'industrie et les services - Partie 1 : identification de la réserve cachée de productivité liée à la non-qualité du travail.

Normes opérationnelles en conception		
ISO	NF	Titres
	X 50-142	Relations clients - Fournisseurs - Qualité des essais - Lignes directrices pour demander et organiser les essais.
	X 50-143	Métrologie - Essais - Conception et réalisation des essais - Pertinence et représentativité des essais.
	X 50-150	Analyse de la valeur - Analyse fonctionnelle - Vocabulaire.
	X 50-151	Analyse de la valeur - Analyse fonctionnelle - Expression fonctionnelle du besoin et cahier des charges fonctionnel.
	X 50-152	Analyse de la valeur - Caractéristiques fondamentales.
	X 50-153	Analyse de la valeur - Recommandation pour sa mise en œuvre.
	X 60-510	Techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes - Procédures d'analyse des modes de défaillance, de leurs effets (AMDE).

Autres normes ou référentiels

MIL-STD-1629 A	Procédures for performing a failure modes and effects analysis, notice 1.7, juin 1983
Manuel d'instruction Ford	Analyse des modes et des effets de la défaillance potentielle pour la conception d'un produit (FMEA)
N° 01-33-200 Renault	Méthodologie AMDEC produit et procédé