

Cahier des charges et Spécifications

2 concepts différents
et
complémentaires

Pourquoi un cahier des charges ?

Le cahier des charges, c'est la
définition, l'expression écrite des
besoins à satisfaire

Le cahier des charges sert à formaliser le besoin et
à l'expliquer aux différents acteurs pour s'assurer
que tout le monde est d'accord

Pourquoi un cahier des charges ?

- *Exemples vécus au CNRS : au moment de passer des commandes importantes (marchés) on se rend compte parfois, après plusieurs d'années de R&D, que le produit sur le point d'être commandé ne satisfait pas les besoins scientifiques où bien qu'il les satisfait au delà du besoin réel, ou bien que le montant de la commande dépasse le budget alloué.*
- Avec un cahier des charges correct, on peut éviter ce genre de situations.

La Maison

Le particulier qui veut construire ou rénover une maison, donne un cahier des charges à l'architecte ou au maître d'œuvre.

Ensuite, l'architecte ou maître d'œuvre produit des spécifications pour les entreprises ou corps de métier.

Quand ?

- Le cahier des charges intervient très tôt dans un projet : dans la phase 00, ou phase A, avant les études préliminaires, avant l'APS.
- Pour un projet scientifique, c'est un document qui apparaît en même temps ou qui suit de peu la lettre d'intention.

Définitions

- De nombreuses définitions, souvent voisines, existent suivant l'époque, le pays, l'organisme ou le corps de métier qui les ont émises
- Requirements = Cahier des Charges
(depuis 1994)

Définitions

- **Attention....**

Un concept donné est souvent désigné par des mots différents : ainsi cahier des charges dans une norme correspond à spécification dans une autre, et vice versa (IEEE1994 versus BS1991)

L'important est d'identifier les 2 concepts

L'un exprime un besoin

L'autre indique comment réaliser un besoin

Définitions

Le terme "**cahier des charges**" désigne un document qui fera office de contrat entre deux parties.

Ce document (*statement*) décrit les besoins d'un utilisateur en terme de fonctions à assurer et d'objectifs à atteindre.

Définitions

- définition IEEE Std 1220-1994 et INCOSE 1996
INCOSE, Internal Council on System Engineering
- Requirement : a statement identifying a capability, physical characteristic, or quality factor that bounds a product or process need for which a solution is pursued.
- Le cahier des charges est un document identifiant une performance, une caractéristique physique, ou un niveau de qualité, définissant un produit, ou un procédé, pour lesquels une action sera développée.

Définitions

AFNOR norme NF X 50 151, 1984

- Document par lequel le demandeur exprime son besoin (ou celui qu'il est chargé de traduire) en terme de fonctions de services et de contraintes.
- **Il est essentiel** " *d'inciter les donneurs d'ordres à s'exprimer en termes d'obligations de résultats, de préférence aux obligations de moyens. En donnant une référence fonctionnelle du besoin, le cahier des charges fonctionnel contribue à l'obtention de la Qualité définie comme l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit ou service qui lui confère l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés ou implicites*".

Définitions

DGA (Délégation Générale à l'Armement)

- Le Cahier des Charges Fonctionnel est la référence du besoin fonctionnel. Il regroupe les résultats des études effectuées en matière de besoins perçus.
- Le Cahier des Charges Fonctionnel doit être rédigé indépendamment des concepts de solutions envisageables afin de laisser le plus grand éventail de concepts de solutions possibles.
- Le Cahier des Charges Fonctionnel doit permettre au maximum l'expression du besoin dans les termes des différents utilisateurs selon les phases de l'état vivant du produit.

Définition

CNES (Centre National d'Etudes Spatiales)

- Le Cahier Des Charges Fonctionnel (CDCF) exprime la demande en termes de besoins et de services attendus et non pas en termes de solutions et de moyens de réalisation.
- Il laisse ainsi toute latitude aux initiatives du concepteur pour trouver les meilleures solutions.
- La finalité est d'optimiser le couple besoin-solution, notamment vis-à-vis des performances et des coûts.

Définition

donnée par François Dupont lors de précédentes formations

Cahier des charges

Expression des besoins, prise en compte des contraintes d'exploitation du système.

Les fonctions de service attendues du système ou du produit doivent être décrites dans un **Cahier des Charges Fonctionnel**, rédigé par l'utilisateur.

Souvent le **CdCF** n'existe pas en tant que tel à l'IN2P3, compte tenu de la synergie entre les clients (physiciens) et les fournisseurs (ingénieurs et techniciens)

Cahier des Charges et Spécifications

- Le cahier des charges est l'expression d'un besoin à satisfaire,

Le cahier des charges n'indique pas la manière de réaliser le besoin, ni un produit à fournir.

Le cahier des charges est en amont de la conception.

- Les spécifications indiquent comment réaliser le besoin.

Les spécifications sont en aval de la conception, et en amont de la réalisation.

- Le cahier des charges indique les fonctions à remplir (voir analyse fonctionnelle).
- Le cahier des charges indique la (les) performances (objectifs) associées aux fonctions à remplir.

C'est à partir du cahier des charges, que l'on déterminera, en fonction de l'état des techniques existantes, si une action de R&D, est nécessaire ou non, et quelle doit être l'ampleur des moyens à y consacrer.

Le cahier des charges donne l'enveloppe budgétaire.

Le cahier des charges donne les contraintes (réglementation, sécurité, maintenance, environnementales, etc..).

Le cahier des charges donne l'objectif en temps.

Rédiger un cahier des charges

- Le cahier des charges est irréversible.
- La base d'un cahier des charges est la clarté, la concision, la simplicité
- A l'inverse d'une spécification, un cahier des charges peut être général, vague (par ex un cdc indiquera « conforme à une norme x », alors qu'une spec imposera $25 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$)

Rédiger un cahier des charges

- Un cahier des charges correct exprime un besoin nécessaire, réalisable, vérifiable.
- **nécessaire** Le cahier des charges indique tous les paramètres nécessaires à la conception et réalisation du projet, mais ne doit pas exprimer des besoins qui ne sont pas nécessaires.
- **réalisable** Le cahier des charges exprime un besoin qui est techniquement et financièrement réalisable dans la cadre du planning du cahier des charges, et des moyens disponibles.
- **vérifiable** l'auteur du cahier des charges doit s'assurer qu'il existe des moyens de vérifier ce qui est requis

Rédiger un cahier des charges

Un cahier des charges doit être complet, mais pas surabondant : pour chaque besoin exprimé se demander qu'est ce qui se passe si on le supprime ?

Cohérence: le cahier des charges doit exprimer des besoins qui ne se contredisent pas entre eux

Les phrases et paragraphes doivent être courts

Un cahier des charges doit rester aussi général que possible afin de ne pas brider la conception

Un besoin s'exprime au futur, pas au conditionnel

Rédiger un cahier des charges

- Un cahier des charges doit être clair, cela veut dire que l'idée ou le besoin qu'il exprime n'est pas susceptible d'être interprété différemment de ce que pense le maître d'ouvrage.
- Le cahier des charges doit servir tout au long du projet : imposer une lecture fastidieuse est le meilleur moyen pour que personne ne l'utilise.

Rédiger un cahier des charges

- Un cahier des charges est en général composé de quatre parties.
- La première explique pourquoi le projet existe, quels sont ses objectifs et qui le pilote : rôles respectifs de la maîtrise d'ouvrage (MOA) et de la maîtrise d'œuvre (MOE), procédures de validation, etc...
- La seconde présente les besoins fonctionnels, techniques et organisationnels ainsi que les contraintes et les exigences.
- La troisième liste les prestations et les livrables attendus.
- La quatrième définit le cadre de la réponse : planning de l'appel d'offres, documents attendus, règles de sélection, etc.

Ce qu'il faut éviter dans un cahier des charges

- **Les mots ambigus ou potentiellement ambigus**
rapidement, adéquat, et/ou, etc..., « dans l'état de l'art », suffisant, ancien, nouveau, augmenter, diminuer, « non limité à ... », minimiser, maximiser,
- **Expressions trop restrictives**
La charge utile sera de 30 kg
La charge utile sera inférieure ou égale à 30 kg

Ce qu'il faut éviter dans un cahier des charges

- Ne pas utiliser minimum et maximum, mais « pas supérieur à... » et « pas inférieur à... »
- Eviter les redondances

Erreurs fréquentes

- On décrit un produit ou des mises en œuvre au lieu d'exprimer un besoin. *Se poser la question pourquoi ? à chaque affirmation.*

Le danger quand on décrit un produit au lieu d'exprimer des besoins, est de croire que tous les besoins sont couverts par le produit indiqué.

- On indique comment il faut faire au lieu d'indiquer ce qu'il faut faire.
- Usage de termes incorrects : les mots **est, était, doit,** ne doivent pas être utilisés dans un cahier des charges, mais dans des spécifications.
- Le fait qu'un besoin soit techniquement réalisable n'implique pas forcément qu'il est réalisable dans les conditions d'un projet donné.

Exemple : la Maison

- Cahier des charges « incorrect »

Concevoir une maison de 100 m^2 au sol, avec un étage, une salle de séjour de 30 m^2 en plain pied orientée sud avec baies double vitrage en aluminium, 3 chambres de 12 m^2 , un garage de 20 m^2 , une véranda de 10 m^2 orientée ouest. Elle devra avoir des murs en béton cellulaire, un chauffage géothermique pour diminuer les coûts de chauffage, et un toit en ardoise avec une pente de 45° .

Cahier des charges « correct »

Concevoir une habitation pour une famille de 4 personnes, à Chevreuse, sur un terrain de 200 m^2 . Elle aura un coût inférieur ou égal à 200000 € , une consommation énergétique inférieure ou égale à $150 \text{ kWh /m}^2/\text{an}$, et utilisera des matériaux conformes à la norme HQE. Le style sera conforme à l'architecture traditionnelle des maisons locales particulièrement avec une hauteur inférieure ou égale à 6.50 m . La livraison est 16 mois à passation de commande.

Exemple de cahier des charges correct

- Pour une expérience d'interférométrie, réalisation de :
- Enceinte à vide de diamètre intérieur 1200 mm et longueur interne 12000 mm
- Dimensionnée (échantillonnée) avec un coefficient de sécurité 3 suivant la Norme Européenne de calcul des enceintes soumises à pression externe.
- Taux de fuite
 - $< 5 \cdot 10^{-14}$ mbar.l.s $^{-1}$.cm 2 pour H $_2$
- Pression résiduelle
 - $< 1 \cdot 10^{-9}$ mbar pour H $_2$
 - $< 1 \cdot 10^{-10}$ mbar pour les autres gaz
 - $< 1 \cdot 10^{-14}$ pour les hydrocarbures

Exemples d'erreurs

- Faire une enceinte à vide de diamètre 1.2 m, hauteur 1.5 m, polie électrolytiquement.
- « L'étude et la réalisation seront faites dans les règles de l'art ».
- « Les détecteurs devront obtenir un rapport signal/bruit le meilleur possible (le plus élevé)».
- « La proportion de voies fonctionnelles sera aussi élevée que possible »

2 cahiers des charges

- Faire pour le moins cher possible, 5 chambres à fils dimension 4000 x 4000 mm, avec fils en tungstène doré $\varnothing 20 \mu$, au pas de 2 mm, et des amplis Gassiplex comme l'expérience x....
- Système de trajectographie pour expérience ions lourds au CERN,
 - pour détection de particules chargées, surface utile de détection 95% du faisceau de particules à 5000 mm du point d'interaction, avec une résolution spatiale de 0.100 mm, 5 points par trace, transparence totale 1.2 % X_0 ,
 - en raison de contraintes d'encombrement et de dissipation thermique, besoin d'une électronique de front-end type ASIC à 16 voies, avec un gain supérieur ou égal à 7 V/pC, intégrant un amplificateur de charge, un shaper, et un étage track&hold, pour un bruit électronique total inférieur ou égal à 900 électrons / canal,
 - à réaliser en 24 mois, pour un coût inférieur ou égal à 2 M€ masse salariale non comprise.

Exemple de cahier des charges trop contraignant

- Tous les softwares devront être écrits en langage C.
- Tous les nouveaux softwares seront écrits dans le même langage.
- Tous les nouveaux softwares seront compatibles avec le système existant, et avec le langage C.

Exemples d'un cahier des charges

Correct ? Pas correct ?

- On se propose de réaliser une enceinte ultravide devant atteindre des pressions ultimes inférieures à 10^{-10} mbar.
- L'expérience étant sensible aux champs magnétiques résiduels l'enceinte sera équipée d'une compensation active de champ magnétique (bobines de Helmholtz).
- L'enceinte sera réalisée en inox 316L

Spécifications

- Les spécifications indiquent comment réaliser le besoin défini par le Cahier des Charges, généralement elles décrivent un produit.
- Les spécifications reprennent les besoins du maître d'ouvrage mais exprimés cette fois par le maître d'œuvre qui va (faire) réaliser le produit.

Cahier des charges et spécifications

- Un projet a un cahier des charges.
- Chaque partie ou produit du projet peut avoir un cahier des charges et des spécifications.
- Chaque composant électronique ou mécanique peut avoir un cahier des charges et des spécifications

Spécifications (définitions)

- La spécification est un document qui décrit complètement un objet physique ou ses interfaces, résultant d'un cahier des charges (fonctionnelles, performances, contraintes sur caractéristiques physiques) ainsi que les conditions de qualification et procédures de réalisation, contrôle.

(norme IEEE Std 1220-1994)

- La spécification est la définition écrite, découlant du Cahier des Charges des caractéristiques d'un Produit en terme de fonctionnalités et de performances.
- Le terme « engineering specifications » est parfois utilisé, quand le terme specifications désigne le concept d'expression des besoins.

Spécifications

- Pourquoi spécifier ? Parce qu'en cas de problème ou retard suite à des exigences farfelues et inattendues de la part du maître d'ouvrage, il y a toujours cette expression **contractuelle** du besoin sur laquelle s'appuyer pour régler d'éventuels litiges...
- C'est l'un des moyens de mieux formaliser et maîtriser la relation entre maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre.
- **Principe des spécifications** *Tout ce qui y est décrit doit être réalisé* (même si c'est "stupide").
- *Une spécification, en plus d'être correcte, doit être compréhensible pour tout le monde,*

Spécifications

- La spécification est une description détaillée d'une conception technique. Un plan, dessin de fabrication fait partie d'une spécification. Une gamme d'usinage, un déroulé opératoire sont aussi des spécifications.
- La spécification engage dans une voie déterminée, définie, précise. Ce choix n'est pas irréversible contrairement au cahier des charges qui exprime des besoins dans des termes parfois non précis, mais irréversibles.
ex : des cotes ou tolérances peuvent varier pendant la réalisation, ou un process de nettoyage peut être modifié après essais.
- Cette description chiffrée du besoin doit rester compréhensible par le maître d'ouvrage qui a exprimé le besoin, par tous ceux qui auront à exécuter la spécification, tout en étant précise.
- La spécification doit être rédigée de manière telle que l'on puisse dire aisément si le produit est conforme ou non.

Ecrire des spécifications

- On commence par indiquer la raison d'être de la spécification
- La clarté du texte est essentielle. Les significations cachées ou doubles doivent être évitées. Les termes techniques doivent être référencés ou définis
- La terminologie utilisée dans la spécification doit être cohérente avec le besoin du demandeur du projet et la possibilité de compréhension du maître d'œuvre.
Ex : longueur de radiation X_0 , unités employées
- Les mots « doivent » et « sera » sont à éviter si possible.
- Si des informations manquent au moment de la rédaction des spécifications, indiquer « à déterminer ultérieurement » plutôt que de ne rien mettre.

Ecrire des spécifications

- Quand une caractéristique ou une performance est spécifiée, il faut indiquer les moyens par lesquels on peut la vérifier.
- Le mot **etc...** est à éviter car les contractants ne sont pas tenus de fournir quelque chose qui n'est pas spécifiquement mentionné.
- Le mot « **ou** » est à éviter, dans 50% des cas l'auteur pense « **et** ».
- Les mots vagues tels que « le mieux possible » ou « dans l'état de l'art » sont formellement proscrits.
- Une spécification doit être précise :
 - Ne pas écrire « le matériau recherché doit avoir une bonne tenue thermique ».
 - Mais : « le matériau recherché doit tenir une contrainte mécanique de 150 Mpa en traction à des températures inférieures ou égales à 150°C. »

Ecrire des spécifications

- La plupart des ingénieurs supposent que les utilisateurs des spécifications sont des ingénieurs ayant les mêmes connaissances et mêmes expériences.

Un tel point de vue est erroné, dans la mesure où les personnes qui liront les spécifications ne sont pas toutes des ingénieurs.

→ Les acronymes utilisés dans une spécification doivent être tous définis (dans un glossaire), les mots spécifiques à un métier doivent être définis.

- Les spécifications ne doivent pas être ambiguës :
- Les rondelles ne seront pas sablées en raison de la corrosion
- La corrosion est une raison pour ne pas sabler les rondelles.
- Les rondelles ne seront pas sablées car le sablage induit la corrosion.

Cahier des charges et spécifications

- Réaliser un ensemble de trajectographie représentant une épaisseur max de 3% X_0 , et une variation de gain $\Delta G/G$ meilleure que 15%

Après 2 ans de discussions, prototypes, R&D avec industriels....

- Réalisation de 300 panneaux sandwichs, plans rectangulaires, selon plan Q084DDM052, rugosité Ra 1.6 - 3.2, Performance à réaliser : planéité 0,150 mm/m (± 0.075 mm/m) au moins sur une face.
Rappel : Une planéité de 0.15 mm signifie que tout point de la surface désignée est situé entre 2 plans parallèles espacés de 0.15 mm. La classe de planéité demandée correspond à la classe 3 de la norme allemande DIN 876.
- Les panneaux seront en composite fibres de carbone Haut Module/résine époxy. Les fibres de carbone haut module peuvent être par exemple la K137 de Mitsubishi-Structil, ou M55J de Toray, ou équivalente présentant un module d'élasticité de 300 Mpa minimum dans la direction des fibres après polymérisation du composite pré-imprégné.
L'âme du sandwich est un nid d'abeille NOMEX 24 kg/m², épaisseur 8.0 mm (-0.1 +0.5 mm), cellule 6.4 mm.

Exemple de spécification matière

- Nuance : acier inoxydable austénitique, désignation numérique 1.4306, désignation symbolique X2 CrNi 19-11
- Norme de référence : EN 10088-2 de novembre 1995 sur les aciers inoxydables d'usage général en tôles et bandes.
- Composition chimique : le contractant fournira une analyse avec teneurs en azote et en hydrogène. Une contre-analyse de la teneur en hydrogène sera effectuée. Procédé employé, teneur, précision de la mesure feront l'objet d'un procès-verbal
- Caractéristiques mécaniques : la $Re_{0.2}$ à l'état recuit doit être $> 290 \text{ N/mm}^2$ à 20°C et $> 200 \text{ N/mm}^2$ à 150°C . L'aciériste réalisera un essai de traction aux températures de 20°C et 150°C avec mesure de limite élastique à 0.2% et 1%. Avant l'essai un recuit à 1050°C pendant 1 heure sera effectué sur les éprouvettes afin d'éliminer tout écrouissage résiduel.

Exemple de spécification matière

- Fourniture de fil pour chambre à fils, matériau tungstène allié 2% rhénium,
- diamètre 20 μ , tolérance sur diamètre $\pm 1 \mu$, ovalisation max 2%,
- étiré à froid, poli électrolytiquement, nettoyage aux ultrasons en lessive alcaline à 70°C suivi rincage eau déminéralisée à 30°C, séchage sous air propre à 50°C,
- emballage en sachet étanche sous gaz neutre (CO₂, azote ou Argon),
- quantité 10 000 m ± 10 m, en 10 bobines de 1000 m ± 1 m, etc...

La pratique....

- La réalité est plus complexe que le cours
- Il peut exister plusieurs niveaux de cahiers des charges et spécifications dans des équipements qui deviennent complexes.
- Un cahier des charges conduit à une spécification pour une entreprise qui elle même donnera lieu à des cahier des charges pour les corps de métier.
- Par exemple un cahier des charges de « légèreté et transparence » pour un détecteur de particules donnera lieu à une spécification matière avec caractéristiques précises. Cette spécification matière va devenir un cahier des charges pour un bureau méthodes, qui va émettre des spécifications pour les opérateurs sur machines.

Particularités de la recherche publique

- Dans un schéma « classique », le **maître d'ouvrage** est celui qui **émet le cahier des charges**, qui commande et qui paye.
Le maître d'ouvrage a pour interlocuteur le maître d'œuvre, qui peut être un architecte, un bureau d'études, une société d'ingénierie, une entreprise. Le **maître d'œuvre** passe des commandes d'études, de matériaux, de composants à des sous-traitants à travers des **spécifications**.
- Dans la recherche, le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre sont dans l'organisme de recherche, les chercheurs étant le maître d'ouvrage, et les maîtres d'œuvre pouvant être les bureaux d'études, ou équipes projet des laboratoires, plus rarement des industriels.
- D'un point de vue juridique et administratif, le maître d'ouvrage n'est pas le chercheur mais **l'administration**, puisque c'est elle qui commande et c'est elle qui paye, mais elle **n'émet pas de cahier des charges**.
Une particularité de la recherche est que le maître d'ouvrage n'est pas impliqué dans la définition des besoins et dans l'utilisation du produit.
Autre particularité, les chercheurs sont souvent amenés à exprimer un besoin et l'équipement scientifique (produit) qui satisfait le besoin.

Bibliographie

Characteristics of good requirements, Pradip Kar, Michelle Bailey

Writing good requirements, Ivy Hook

Cahier des charges fonctionnels, guide des projets scientifiques, CNES

An introduction to system managering, J.D. Sailor

Specifying good requirements, D. Firesmith

Writing quality requirements, K. E. Wiegers

Exercices / Exemples