

MAITRISE DES PERFORMANCES ET DES RISQUES DE PROJET : ENSEIGNEMENTS D'APPLICATION DE SPEC A DES CAS INDUSTRIELS

Claude Chevenier*, Bernard Yannou**

Résumé. - Pour un opérateur comme EDF, la maîtrise du coût global de possession de systèmes de production et de fourniture du produit électrique est constamment un des enjeux majeurs. Ce coût dépend de choix de conception et des coûts induits sur la durée de vie. L'optimisation du dimensionnement réalisé par la conception et l'achèvement dans les délais devraient être estimés dès les avant-projets et trouver une réponse dans l'analyse, pendant la conception, de plusieurs variantes de solutions à technologies ou techniques de fabrication différentes. Les choix de la conception reposeraient dans ce scénario sur une analyse multi-critères, tels que la performance, le coût, le délai, l'impact sur l'environnement, les risques, la capacité industrielle de production et de déploiement de processus d'exploitation, de maintenance,... Cet article présente les principaux critères dimensionnant les choix d'ingénierie système pour un donneur d'ordres ; il montre comment une méthode de suivi des performances et des risques en conception aide au rapprochement de plusieurs de ces critères, pour étayer le dossier de décision, avant de proposer quelques perspectives permettant à terme de disposer d'une méthodologie de pré-dimensionnement et d'aide à la décision entre plusieurs voies technologiques. La méthode expérimentée est la méthode SPEC et le cas d'étude EDF présenté est celui d'une unité de production à turbines à combustion.

Mots-clés : risques, valeur, performances, coût global de possession, aide à la décision multi-critères

* Claude Chevenier est ingénieur de recherche dans le département R&D de EDF (Electricité de France) au centre de Chatou.

** Bernard Yannou est Maître de Conférences à l'Ecole Centrale de Paris où il travaille au sein du Laboratoire Productique Logistique.

1. Introduction

Dans le contexte actuel des projets, la maîtrise du coût global de possession de systèmes de production et de fourniture du produit électrique est un des enjeux majeurs toujours constant pour Electricité de France (EDF). Or la projection des facteurs dimensionnant le coût après mise en service industrielle sur la durée de vie du système, qui peut atteindre 40 ans et plus, prend en compte les performances du système et des services associés qui sont le résultat de la conception de systèmes et qui doivent s'intégrer dans une réalité opérationnelle forte.

La conception engage le coût de réalisation du système et au-delà le coût de production de la fourniture d'électricité incluant dans « l'équation » des facteurs de disponibilité, d'entretien et de maintenance. Ces trois composantes résultent de la conception. Le besoin, exprimé par l'exploitant, les quantifie en pourcentage de disponibilité, d'heures cumulées d'arrêt pour maintenance, de nombre de pièces de rechange... La conception y répond par la garantie d'une performance à venir en recherchant une solution optimisée localement. Les choix de conception devraient, en toute logique, synthétiser au plus tôt les facteurs dimensionnant les performances du système et l'incertitude résultant de leur estimation. La décision repose alors sur plusieurs critères à corrélérer ensemble. Une recherche d'optimisation globale peut être entreprise sur la fourniture et ses processus.

Une décision multi-critères relative à la maîtrise de la conception de systèmes industriels s'appuie sur différentes dimensions de différents points de vue : *besoin* (tel que marché, acteurs, puissance...), *performances* (telles que performances du système, des services associés, sûreté ou sécurité de l'installation...), *réseau* (typiquement la chaîne industrielle de sous-traitance lors de l'acquisition), *processus* (tels que les processus de production mais aussi des processus liés à l'exploitation du système ou à son maintien en conditions opérationnelles), *coût* (d'acquisition ou à achèvement, d'exploitation, de maintenance...), *délai* (notamment de mise à disposition), *risques* (technologiques et techniques), *environnement* (notamment impact sur l'environnement par des rejets...), et *cohérence et vision globale* (de toutes ces dimensions, par rapport à la durée de vie du système...). Nombre de choix du projet sont à l'intersection de ces différentes dimensions, par exemple : *quel concept de solution a la capacité de satisfaire le besoin identifié ? Quels acteurs industriels ont la capacité de produire à coût objectif une solution candidate ? Dans quels processus faut-il favoriser l'innovation pour optimiser une ou plusieurs de ces dimensions ? Quel est le risque que le projet n'aboutisse pas dans les délais spécifiés ?*

La dimension performances est déjà délicate en elle-même. Il ne s'agit pas d'évaluer les performances proposées dans l'absolu. Il s'agit de sélectionner, dans un éventail de plus en plus large, une solution candidate sur sa capacité à répondre au besoin des futurs utilisateurs du système. Il faut analyser plusieurs concepts et plusieurs variantes de solution à partir d'un ensemble maîtrisable de caractéristiques et identifier trois cas possibles : ou bien les performances satisfont totalement au besoin, ou bien les performances ne satisfont pas au besoin, ou bien il existe un doute sur la tenue des performances pour telle ou telle utilisation. Ces trois cas peuvent intervenir dans l'examen de chaque fonction assurée par le

système. Une telle analyse n'est donc pas instantanée ; de plus, elle est difficile, voire impossible, à appréhender par un individu ou un groupe d'individus en raison de la multitude et de l'hétérogénéité des critères. De plus, elle nécessite que l'on sache prendre en compte les incertitudes sur la connaissance des performances des solutions candidates, ces incertitudes allant en s'amenuisant au fur et à mesure de la conception détaillée, et dépendant du savoir-faire antérieur du maître d'œuvre et de l'existence de modèles de performances.

Les principaux apports d'une méthode permettant une telle synthèse sont l'impartialité vis-à-vis de la solution analysée, la réactivité — car il n'est pas envisageable d'attendre plusieurs années d'études pour avoir un pré-dimensionnement —, l'établissement d'une vision globale de la capacité d'une solution à satisfaire le besoin, et l'établissement d'un référentiel technique support à des analyses de sensibilité, de risques et au suivi pendant le développement. Le besoin d'impartialité dans la recherche d'une solution technique consiste à éviter de favoriser les solutions propres d'un industriel particulier compte tenu des relations privilégiées entre conception et réalisation. La vision globale assure la convergence d'un ensemble croissant de règles, de normes, de textes administratifs, de règlements, dont la prise en compte nécessite une organisation particulière qui n'est pas celle d'unités industrielles. La liste des performances susceptibles de peser sur le prix final par le biais de clauses contractuelles si chacune d'elles n'est pas atteinte devient de plus en plus importante (d'où, par exemple, le concept émergent de « *Cost As Independent Variable* »^f). La cohérence des capacités technologiques vis-à-vis des exigences n'est pas nécessairement acquise lorsque celles-ci sont exprimées et acceptées. Le système à concevoir s'appuie par contre sur un existant fort, que ce soit vis-à-vis du service global à assurer dans la continuité de l'existant ou d'un système de génération précédente dont il faut assurer temporairement la cohabitation. Ce système s'appuie également de plus en plus souvent sur des composants pré-existants, quand ce n'est pas dans la totalité ; la personnalisation au contexte EDF concerne alors davantage le(s) logiciel(s) applicatif(s) et le système de configuration de données. Les apports d'EDF consistent alors à identifier les *points d'innovation à introduire* dans une offre « standardisée » reposant sur une gamme existante, qui serait utilisée dans 3 à 7 ans, et d'obtenir un *optimum global* du système complet et des processus associés bien avant les optimums locaux des sous-systèmes d'une installation (supervision, configuration de données, gestion de production, maintenance, simulateur de formation,...), dont la réalisation est sous-traitée.

Dans ce contexte la R&D d'EDF a décidé d'évaluer des méthodes d'aide à la décision pouvant être utilisées dans des activités *d'évaluation de spécifications de fournisseurs*

* Dans la suite le terme solution recouvre l'ensemble des concepts d'architectures faisables et de leurs variantes.

† Le concept CAIV repose sur la définition d'objectifs de coûts « agressifs mais réalistes », le principe d'« affordability », sur l'instauration d'un « vrai » partenariat, avec mise en place de groupes de travail fortement intégrés (interne au réseau industriel et avec le client appelés « Integrated Product Team ») pour les prises de décisions et sur des modélisations coût-performances efficaces et reconnues crédibles.

(production d'électricité), *d'analyse de coût ou de valeur* (pour des marchés d'acquisition ou de maintenance de contrôle commande), *de conception d'architecture système* (ou ingénierie système de contrôle commande), *de rénovation de partie d'installation existante* (production d'électricité), ou *de recherche d'alternatives technologiques* pour des produits fabriqués en série (application de l'électricité comme le chauffage, la climatisation,...). Une première pré-qualification de méthodes candidates a limité celles à évaluer au Tri Croisé, au *Suivi des Performances et des risques En Conception* (SPEC), au *Quality Function Deployment* (Q.F.D.) et à la *Conception à Coût Objectif* (C.C.O).

La méthode SPEC a permis d'aborder cette problématique sur un cas d'étude de projet de rénovation d'une unité de production à turbines à combustion (TAC) ; ce cas est présenté dans les grandes lignes dans cet article. Ce cas d'étude a été repris *a posteriori* pour déterminer les services supplémentaires que permettrait d'apporter la méthode dans le cadre d'un projet EDF.

2. Présentation de la méthode SPEC

La méthode SPEC a été développée au sein du laboratoire Productique Logistique de l'Ecole Centrale Paris (voir [1, 3] pour une description détaillée). Elle permet d'effectuer un suivi de l'adéquation d'une solution (produit/processus) à son cahier des charges à tout moment du projet, en faisant apparaître des indicateurs de risques. La méthode SPEC est basée sur une modélisation et un enrichissement (en termes de quantification des spécifications notamment) de l'expression fonctionnelle du besoin (EFB décrite par exemple dans un Cahier des Charges fonctionnel CdCF) d'un produit/projet. Cet enrichissement inclut un modèle de satisfaction attaché à l'EFB et des quantifications de critères entachés d'imprécision. A tout moment, sont mises en regard de cette EFB enrichie des alternatives de solutions en cours de développement ayant par conséquent des performances évaluées avec une incertitude que l'on peut quantifier. L'adéquation des deux débouche sur un tableau de bord projet qui, pour chaque solution, estime la satisfaction relative à chaque fonction et la satisfaction globale relative au projet. Ces satisfactions sont entachées elles-mêmes d'incertitudes. Des indicateurs de risques sont également proposés (pour chaque fonction ou le projet en entier, est considéré le risque de ne pas aboutir à une satisfaction acceptable en fin de projet). Ainsi, la méthode permet d'appréhender des risques couplés produit/projet et de prendre des décisions entre alternatives de conception sur les bases du quadriptyque : performances, coûts, délais et risques.

Deux études de cas très différentes ont été retenues chez EDF pour évaluer la méthode SPEC. La première concerne une rénovation de contrôle commande d'un système de production thermique d'électricité. Cette étude représente le cas d'un système complexe. Par la suite, seul ce premier cas d'étude sera présenté.

La méthode SPEC peut être définie par les trois étapes :

Modélisation des besoins des clients du produit/projet dans les différentes phases de son cycle de vie,

A tout moment du projet, après l'élaboration d'un Cahier des Charges Fonctionnel (CdCF) « enrichi » (par rapport aux préconisations des normes d'Analyse Fonctionnelle NF X 50-150 à X 50-155), évaluation des performances des alternatives de solution envisagées.

A tout moment du projet, mesure de l'adéquation de chaque alternative de solution retenue* en termes de satisfactions sur tout ou partie des fonctions et de risques de réussite ou d'échec du projet, par une simulation statistique de type Monte-Carlo.

Pour l'étape 1), la méthode SPEC peut être caractérisée comme une méthode analytique, puisqu'elle s'inscrit dans la continuité de l'Analyse Fonctionnelle. Elle demande qu'on passe un temps certain à structurer de manière fonctionnelle — indépendamment des solutions — le besoin des différents clients du produit/projet. L'effort consacré à cette étape sera même sensiblement supérieur à celui d'un CdCF classique puisque toutes les nuances de satisfaction relatives à une solution sont à modéliser. Il faut noter que ce travail supplémentaire demandé au départ est d'une grande utilité par la suite pour donner de nombreuses aides à la décision en cours de projet, que ce soit pour le choix d'une alternative ou pour décider d'une action d'amélioration de conception. Elle est également une aide précieuse pour la préparation de la phase de validation.

Pour l'étape 2), la méthode SPEC, développée dans un souci d'optimisation globale des paramètres produits et projets dans les phases de pré-conception, est plus à rapprocher des méthodes analogiques et surtout paramétriques. L'estimation des performances d'une alternative de solution peut très bien se faire de manière analogique dans un premier temps en utilisant le savoir-faire d'experts, puis de manière paramétrique si l'entreprise dispose d'une capitalisation suffisante sur des cas de conceptions similaires antérieurs. L'intérêt d'estimer alors de manière paramétrique les performances d'une solution sera de définir une sorte de « Cahier des Charges paramétrique » qui décrirait l'univers des solutions satisfaisantes de manière beaucoup plus riche et flexible. Ce périmètre peut être établi conjointement entre un demandeur, Maître d'Ouvrage, pilote stratégique, et un concepteur pilote de réalisation ou Maître d'œuvre industriel. Il est à la base d'une démarche de Conception à Coût Objectif (C.C.O.).

Les objectifs de SPEC sont d'aider à :

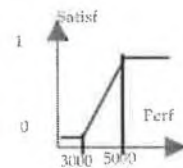
- estimer l'aboutissement du projet dans les délais et pour les performances spécifiés,
- faire des choix entre plusieurs solutions sur la base de leurs performances,
- identifier les risques techniques sur l'obtention des performances,
- prendre en compte les incertitudes concernant le besoin et les performances de la solution,
- établir un tableau de bord prévisionnel dynamique durant le développement,
- faire une étude de sensibilité en cas d'évolution majeure du besoin ou de la solution,
- moduler le besoin pour tenir compte de la faisabilité technologique, des zones à risques ou pour initier des actions d'innovation ou de réduction des risques.

* Sous-ensemble de toutes les alternatives possibles limitées au technologiquement et techniquement (au sens capacité de production des fournisseurs) faisable.

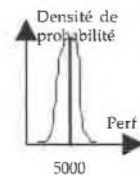
La méthode SPEC s'intéresse à l'évaluation multi-critères (quantitatifs et qualitatifs) de la satisfaction d'une solution à un besoin donné. L'idée initiale est de passer d'une évaluation binaire (performance tenue / performance non tenue) ou quotée (notation de 0 à 10 par exemple) à une évaluation technique paramétrique (par exemple courbe continue dans le temps de réalisation d'un paramètre utilisateur). Elle s'inscrit dans la continuité de pratiques industrielles (analyse fonctionnelle, AMDEC, QFD...) et de normes en cours de déploiement en Europe (exemple : *Management par la Valeur*). Les indicateurs qu'elle propose sont construits séquentiellement et reposent sur :

l'identification d'un modèle de satisfaction du demandeur à partir d'un cahier des charges (d'autant plus aisé s'il s'agit d'un CdCF définissant les critères d'appréciation utilisateur sur le système ou le produit attendu). Des courbes d'estimation de satisfaction^{*}, ou encore d'utilité, sont déterminées pour les fonctions du produit. Les courbes de satisfaction expriment le niveau d'insatisfaction dès lors qu'une solution s'écarte un tant soit peu des niveaux objectifs visés.

Exemple pour le Demandeur : pour le critère « nombre d'images de conduite » de la fonction « Assurer une bonne ergonomie de l'interface homme-machine », la satisfaction de l'utilisateur est grande pour le niveau spécifié de 5000 images et au-delà, mais elle décroît très rapidement entre 5000 et 3000 et devient nulle en dessous de 3000.



une description probabiliste des alternatives de solution en termes de performances réalisables correspondant aux critères du cahier des charges. A partir d'une évaluation des propriétés de la solution (exemple : propriétés de l'interface homme-machine), les performances correspondant aux critères spécifiés (exemple : nombre d'images de conduite) sont représentées par une fonction de densité de probabilité de réalisation effective (exemple : probablement de 4300 images à 5200 images possibles avec une probabilité maximale de 5000 images).



* Tout critère d'appréciation est quantifié sous la forme d'une *courbe de satisfaction*, à valeur dans l'intervalle $[0,1]$, avec 0 pour insatisfaction, c'est-à-dire « hors » limites d'acceptation, et 1 pour satisfaction c'est-à-dire le niveau objectif.

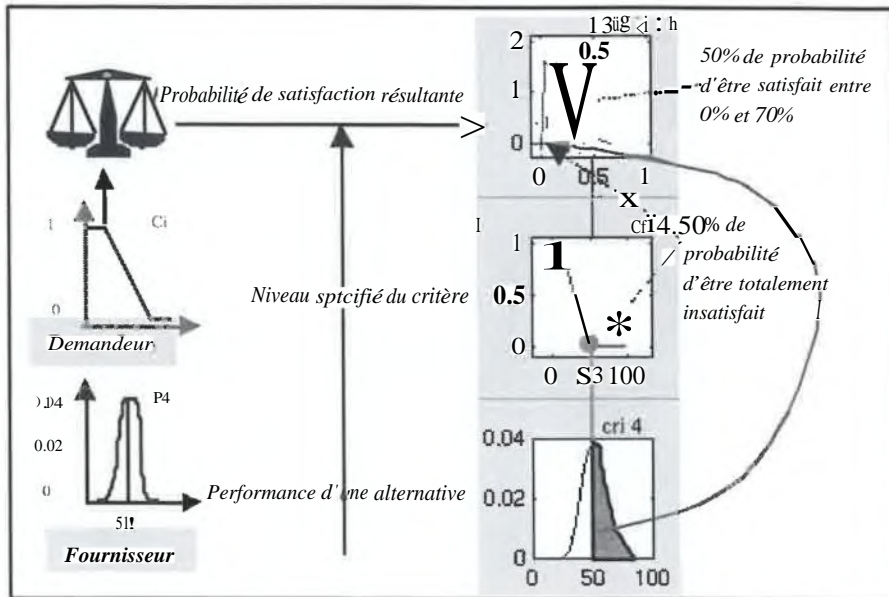


Figure 1 : Articulation des modèles de satisfaction et de performances dans SPEC

Une estimation globale, pour toute alternative de solution, de son impact sur la réussite du projet. Un tableau de bord permet d'identifier la (les) zone(s) à risques ou sur lesquelles des précisions sont à obtenir du fournisseur. Pour chaque alternative de solution envisagée, les performances estimées de l'alternative sont mises en regard des critères d'appréciation du cahier des charges (voir le mécanisme en figure 1) pour en déduire un tableau de bord de « probabilités de satisfaction » à tout niveau fonctionnel du produit/projet (voir Figure 2). Une lecture détaillée du profil de satisfaction de l'alternative est alors permise après une simulation statistique de type Monte-Carlo. Un modèle d'agrégation des satisfactions des fonctions, de proche en proche dans l'arbre fonctionnel, est proposé ; il est principalement basé sur un tri croisé (dit de Monte-Carlo, TCMC) « exact » qui est le résultat d'une méthode de calcul spécifiquement développée [2] et qui permet de pondérer les satisfactions relatives aux critères et aux fonctions d'un même niveau pour agréger les satisfactions de ce niveau vers le niveau supérieur.

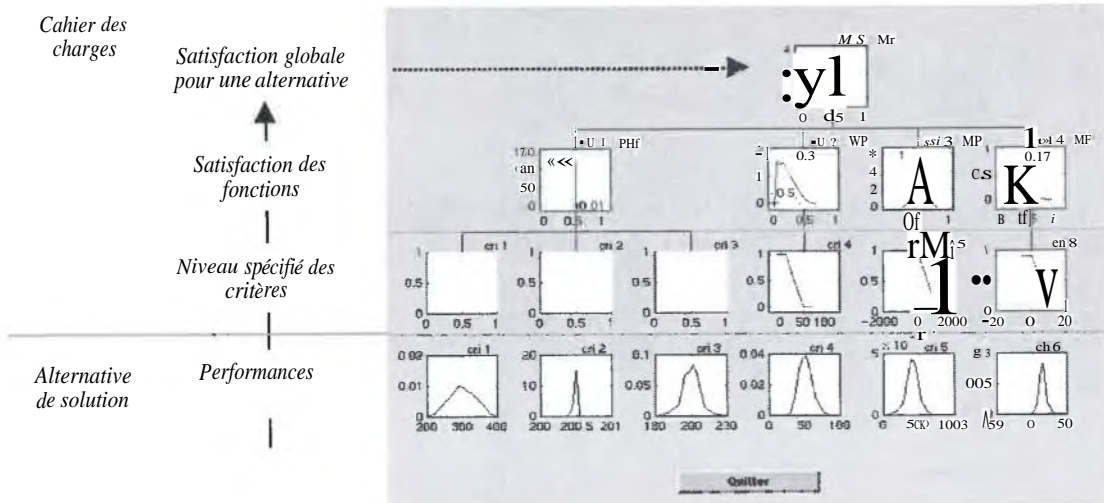


Figure 2 : Le tableau de bord de SPEC sur l'arbre des fonctions du système, issu de la mise en regards des performances estimées d'une alternative de solution avec les courbes de satisfaction des critères

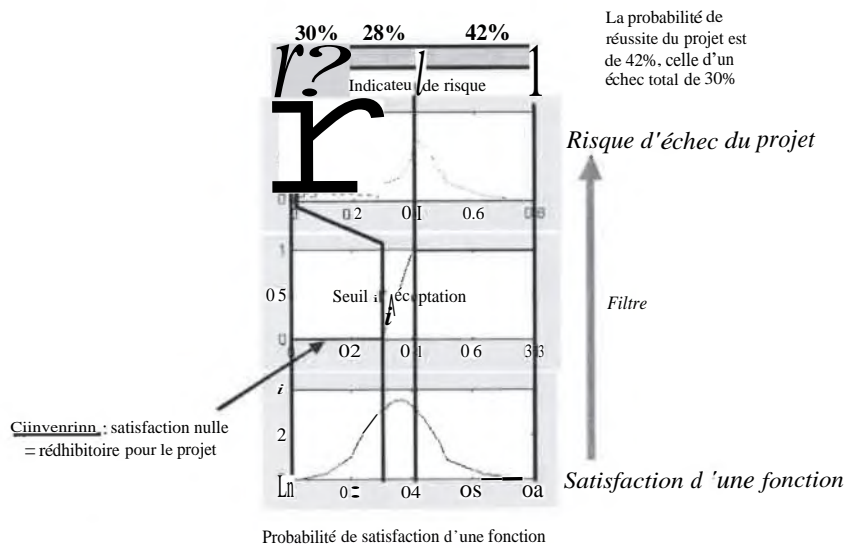


Figure 3 : Transformation des indicateurs de « probabilité de satisfaction d'une fonction » en indicateurs de « probabilité de réussite de la fonction »

En fait les fonctions sont indispensables, souhaitées ou optionnelles. Cet aspect des choses est traduit dans SPEC par des seuils minimaux de satisfaction exigés pour une fonction — par défaut, il n'y en a pas et la fonction est considérée comme optionnelle. En deçà d'un seuil d'acceptabilité, la réussite du projet entier est mise en défaut. Avec la déclaration de ces seuils, SPEC transforme les indicateurs de « probabilité de satisfaction » en indicateurs de « probabilité de contribution à la réussite ou à l'échec du projet » (voir Figure 3).

* Dits seuils d'acceptation

Une lecture plus rapide de ces indicateurs est permise par un indicateur de risque plus qualitatif disponible de la même façon à tout niveau fonctionnel comme le montre le curseur rouge-orange-vert de la figure 3. Ces trois couleurs donnent :

- la probabilité de réussite d'une fonction (couleur verte à droite représentant 42%)
- la probabilité d'échec d'une fonction (couleur rouge à gauche représentant 30%)
- la probabilité de « réussite conditionnelle » d'une fonction (couleur orange au milieu représentant 28%)

Au plus haut niveau de l'arbre fonctionnel, cet indicateur informe de la probabilité de réussite du projet.

Lorsque le projet présente un risque d'échec, le Maître d'Ouvrage cherchera à réduire ce risque à temps. Pour cela, le tableau de bord de SPEC l'aidera à trouver quelles sont les fonctions puis (au plus bas niveau), quels sont les critères qui, en raison de leur mauvaise prestation ou en raison de l'incertitude qui les entoure, seront les contributeurs principaux pour faire échouer le projet dans son ensemble. Une fois cette identification opérée, trois choix se présentent au Maître d'Ouvrage :

- soit demander une amélioration de performance au maître d'œuvre de la partie concernée, en chiffrant précisément cette amélioration souhaitée,
- soit en demandant une estimation plus précise d'une performance au maître d'œuvre de la partie concernée,
- soit en acceptant de relaxer une spécification qui ne paraît plus justifiée au regard du réel besoin et de la difficulté de mise en œuvre.

Dans le meilleur des cas, lorsque l'indicateur du projet dans son ensemble indique une probabilité de réussite de 100%, il faudra tenter d'améliorer la satisfaction moyenne du projet en allant étudier plus en détail la courbe de probabilité et en cherchant à déterminer le contributeur le plus défavorable à une mauvaise satisfaction globale.

Ces tableaux de bord de SPEC sont donc fort utiles dans une phase de négociation entre un Maître d'Ouvrage et plusieurs soumissionnaires sur un appel d'offre. Ils sont utilisables pour l'amélioration d'une solution, comme nous venons de la voir, ou pour une comparaison des solutions entre elles. Ce dernier cas est traité sur le cas d'étude TAC par la suite. Dans ce cas d'étude, nous développons également les fonctionnalités avancées d'étude de sensibilité de SPEC.

* Turbine A Combustion

3. Application de la méthode SPEC au contrôle commande de TAC

3.1 Prendre en compte les incertitudes concernant le besoin et les performances de la solution

Une fois le cahier des charges défini sous la forme d'un arbre fonctionnel, ce dernier est entré dans SPEC. Les feuilles de cet arbre sont les critères d'appréciation. Ceux-ci sont caractérisés par une courbe de satisfaction. Pour la plupart des nœuds de l'arbre, une pondération des branches de ce nœud est effectuée par la méthode du TCMC pour être capable de déterminer la satisfaction de la fonction du nœud par rapport à celle de ses filles en tenant également compte des incertitudes de pondération.

Parfois, le modèle de satisfaction entre une fonction et ses sous-fonctions est plus compliqué. C'est le cas lorsqu'il n'y a pas forcément une linéarité dans la participation de la satisfaction d'une sous-fonction à la satisfaction de la fonction englobante. Le modèle des règles qualitatives de la figure 4 exprime le fait qu'on sera globalement insatisfait dès lors qu'un des critères C1 à C3 sera insatisfaisant.

Enfin, les performances des deux solutions ont été envisagées sous la forme de distributions de probabilités correspondant à chaque critère.

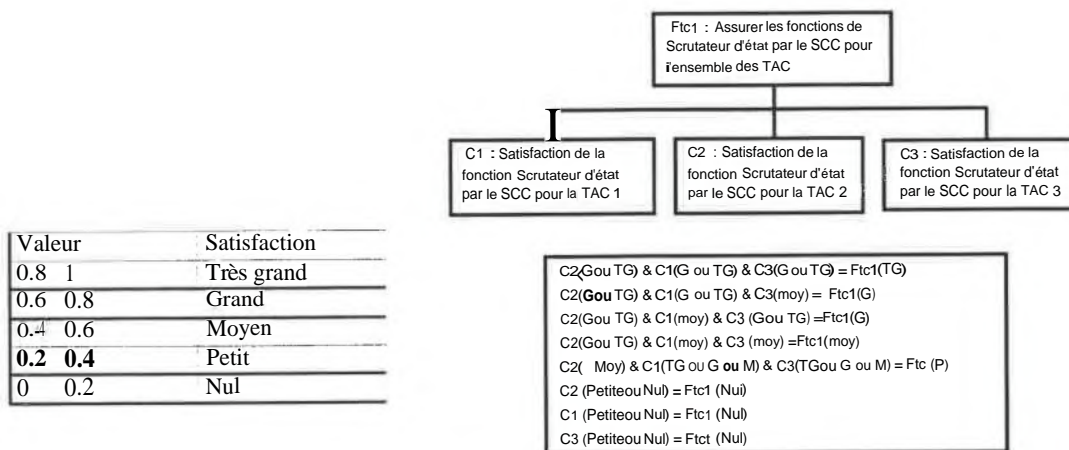


Figure 4 : Règle qualitative d'agrégation des valeurs de critères en satisfaction de la fonction

3.2 Aider au choix entre plusieurs solutions sur la base de leurs performances

Deux systèmes solutions X et Y ont été envisagés pour répondre au Cahier des Charges du système TAC. Globalement l'une est rapide et configurable (solution Y), l'autre puissante et fiable (solution X). L'utilisation de SPEC a permis de se faire une idée des risques d'inaptitude de chaque solution à satisfaire le besoin exprimé.

La recherche des performances s'est faite à partir des catalogues des systèmes X et Y. Ces deux documents sont des versions commerciales, c'est-à-dire qu'ils ne contiennent pas toutes les

performances fonctionnelles des systèmes décrits. Pour disposer de toutes les informations nécessaires afin de répondre au cahier des charges fonctionnel reconstitué, il s'est avéré indispensable d'avoir l'avis d'un expert.

Une première simulation nous a appris que la solution X était risquée (100% dans l'orange) mais ne menait pas à l'échec, alors que la solution Y avait 28% de probabilités de ne pas correspondre au CdC pour 72% de « réussite conditionnelle » (voir figure 5.a).

3.3 Identifier les risques techniques sur l'obtention des performances

De manière plus détaillée, il apparaît clairement dans la figure 5.b que la satisfaction moyenne du projet pour la solution X est de 58% alors qu'elle est de 38% pour Y mais avec une zone rouge qui indique qu'il y a une probabilité d'échec.

3.4 Permettre une étude de sensibilité en cas d'évolution majeure du besoin ou de la solution

Une étude de sensibilité nous a permis de juger des points forts et des points faibles des solutions, pour tenter éventuellement de combler certains points faibles. Il s'agit d'une étude de sensibilité de a) *certain aspects de la satisfaction globale du projet par rapport à* b) *certaines perturbations des performances.*

3.4.1 Principe

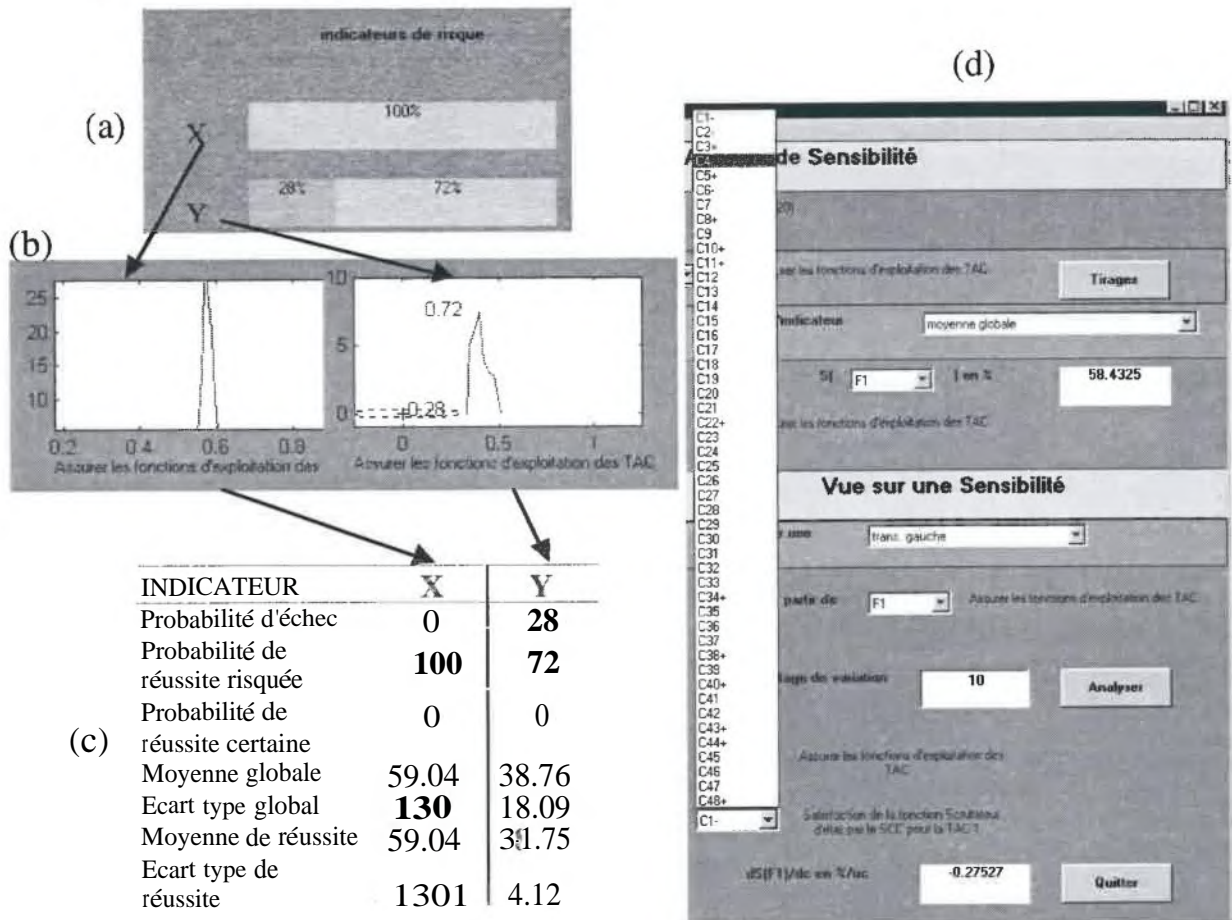


Figure 5 : Quelques résultats de SPEC sur les deux systèmes solutions X et Y. En a) Résultats globaux de risques sur le projet b) Courbes de probabilité de réussite du projet c) Indicateurs détaillés de réussite du projet d) Etude de sensibilité pour améliorer la probabilité moyenne de réussite du projet.

Les indicateurs b) de satisfaction/risque d'une fonction ou d'un projet sont du type : Probabilité d'échec total, Probabilité de réussite conditionnelle, Probabilité de réussite, Moyenne globale de satisfaction, Ecart type global, Moyenne de réussite, Ecart type de réussite. Afin de comparer globalement les deux solutions X et Y, nous avons regroupé la valeur de ces indicateurs pour le projet entier dans la figure 5.c. Nous constatons alors que la solution X répond mieux que la solution Y à notre besoin. Mais aucune solution n'est exempte de risque. Ce sont les indicateurs précédents que l'on va essayer d'améliorer en essayant de déterminer sur quelles performances il est le plus opportun d'agir. Les perturbations des performances a) vont consister, pour toutes les performances, soit à voir l'effet d'une *translation à droite* de la performance, à voir l'effet d'une *translation à gauche* de la performance, soit à voir l'effet d'une *réduction d'incertitude* (dispersion autour de la valeur moyenne) de la performance.

A l'issue de la simulation, on accède aux données des coefficients d'influence. Ces données sont contenues dans un tableau (3 perturbations x 7 indicateurs x nombre de performances x nombre de fonctions) et on accède à un coefficient d'influence en précisant le type de perturbation, la performance, l'indicateur à améliorer et la fonction d'intérêt. Le plus souvent on cherche à améliorer le projet globalement ; on choisit donc la fonction de plus haut niveau. Après avoir indiqué le type d'indicateur à améliorer et le type de perturbation, SPEC donne la liste des critères/performances agrémentés de signes + ou -. Les signes + traduisent une amélioration de l'indicateur après une perturbation locale et les signes - une dégradation (voir figure 5.d). On a ainsi une visibilité immédiate des performances sur lesquelles il est utile d'agir. Il est à noter que de nombreuses modifications de performances n'amélioreraient pas — tout au moins pour de faibles modifications — l'indicateur choisi. Ainsi, pour une translation à gauche des courbes de performances des critères pour les deux solutions, et pour l'indicateur de pourcentage de réussite de la fonction « *Assurer les automatismes d'exploitations* », on ne trouve que un certain nombre de critères — non détaillés ici — influençant positivement la réussite du projet ; leur coefficient d'influence est donné dans le tableau 1, et ils sont exprimés en pourcentages d'amélioration de l'indicateur « moyenne globale » par unité de translation à gauche de la performance.

<i>Solution X</i>		<i>Solution Y</i>	
<i>Critères</i>	<i>% d'amélioration de la « moyenne globale » de satisfaction du projet</i>	<i>Critères</i>	<i>% d'amélioration de la « moyenne globale » de satisfaction du projet</i>
11	0.548	20	0.700
32	0.300	44	0.386
20	0.250	43	0.154
39	0.200	22	0.152

Tableau 1 : Coefficients d'influence des performances sur le projet (translation à gauche)

3.5 *Permettre une mise à jour du tableau de bord pendant le développement*

Nous avons ensuite engagé une simulation de la marge de manœuvre potentielle auprès des maîtres d'œuvre de ces deux solutions permettant d'obtenir une amélioration ponctuelle de certaines performances. Nous avons donc (arbitrairement) décidé de translater (améliorer) à gauche les courbes de performances des critères précédents d'une valeur égale à 50% de l'amplitude de l'incertitude de la performance initiale (valeur arbitraire id). Par exemple, dans le tableau 1, on constate que pour le critère C11, une translation vers la gauche va améliorer la satisfaction et par conséquent la probabilité de réussite. Nous avons ensuite simulé sur SPEC les solutions « X amélioré » et « Y amélioré » (voir Figure 6). Nous remarquons alors effectivement une amélioration de la probabilité de réussite pour les deux solutions.

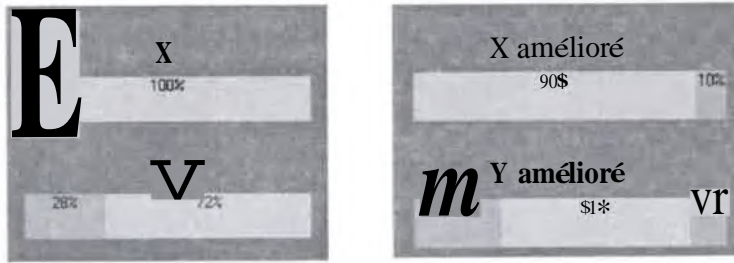


Figure 6 : Amélioration des solutions X et Y en termes de probabilité de réussite par variation de la valeur moyenne de certaines performances

3.6 Améliorer les chances d'aboutissement du projet à budget donné

Pour aller plus loin dans un pilotage intelligent des préconisations de modification des performances, il faut avoir accès à des données économiques et techniques supplémentaires. En effet, il faut diviser les coefficients d'influence par les données de *coûts de variation d'une unité de performance*. On obtient alors les valeurs de sensibilité d'amélioration de l'indicateur de réussite par unité de coût. Ces valeurs peuvent être comparées entre elles et on peut alors savoir quelles sont les performances sur lesquelles il est le plus opportun d'investir en priorité.

Les données supplémentaires d'intervalles de variation admissibles des performances — à droite, à gauche, mais aussi en réduction d'incertitude — et de budget total disponible permettent d'en déduire automatiquement la meilleure stratégie d'investissement, ainsi que le gain global pour le projet dans son ensemble.

4. Conclusion

L'expérimentation de la méthode à des cas industriels montre la faisabilité, pour un cas simple comme pour un cas complexe, de rapprocher les performances d'une ou plusieurs voies technologiques par rapport à un besoin fonctionnel, d'en mesurer l'allocation, d'en déduire l'obtention de la satisfaction du besoin, d'en connaître la cohérence, la précision et l'incertitude de l'estimation, d'en identifier des zones à risques et de réaliser une analyse de sensibilité sur la tenue aux performances de la solution par une approche probabiliste. La faisabilité de l'analyse conjointe des dimensions besoin et performances a plus particulièrement mis en évidence des qualités de réactivité (quelques jours), de précision (entre 10 et 20% d'incertitude), de modulabilité en étendue (nombre de critères pris en compte) et en profondeur (fonctions appréciées) de l'aide à la décision. Cette approche, appliquée à tout le cahier des charges, ou à des parties critiques, permet de dégager un « profil » d'acceptation de la solution proposée, donc de comparer plusieurs alternatives. Quatre utilisations différentes d'une méthode telle que SPEC sont possibles. Elles dépendent de la phase où l'utilisateur se situe par rapport au cycle de développement ou au cycle de vie du système et de la problématique à laquelle il tente de répondre. Les activités concernées sont soit la définition du besoin ou du concept de solution, soit l'évaluation de la solution complète, architecture, constituants et services, ou de l'impact de

la réutilisation d'un existant dans l'architecture de la solution. Le tableau 2 résume les cas d'utilisation possibles et les utilisateurs de SPEC pour EDF.

Type d'activité	Définition	Evaluation
d'un Maître d'ouvrage (pilote stratégique)	du besoin groupe d'analyse fonctionnelle	d'offres de solutions analystes technico - économiques (chef de projet par défaut)
d'un Maître d'œuvre (pilote de réalisation)	du concept de solution, d'un devis concepteur (chef de projet par défaut)	du dimensionnement de l'architecture et de la validation (COTS et « re-work ») chef de projet

Tableau 2 : Cas d'utilisation possibles et utilisateurs (en italique) de SPEC pour EDF

De nombreuses pistes de recherche et de collaboration industrie/laboratoire universitaire s'ouvrent. Les concepts les plus importants à développer nous semblent être dans Tordre :

- développer des modèles de coûts plus représentatifs des différentes phases du cycle de vie du produit : coût à achèvement, voire coût global de possession ;
- développer des indicateurs de valeur, pour indiquer quelles sont les solutions ayant le plus de valeur, et où sont les gisements de valeur (axes de reconception) ;
- développer des outils d'aide à la décision arrivant à proposer des compromis gains de valeurs/risques satisfaisants pour l'entreprise dans un contexte donné ;
- enrichir la sémantique du risque : différencier les différents types de risques au niveau des conséquences, des causes, des gravités, des probabilités d'occurrence et d'actions en réduction de ces risques (ainsi que leurs coûts associés).

L'objectif global est de disposer à horizon de deux ans d'une méthode et « d'un outil » opérationnels d'aide à la décision multi-critères (au choix) entre les performances, le(s) coût(s), les risques, les délais, et les capacités du réseau industriel support de la réalisation. Enfin, bien que nous soyons convaincus que, dans les cas de projets industriels complexes, l'intégration de la multitude et de l'hétérogénéité des critères de décisions ne soit possible que par un système tel que SPEC, il n'en reste pas moins que l'utilisation de ce système est basée sur le travail en groupe, qu'il nécessite un apprentissage et une rigueur d'utilisation non négligeables, et qu'il faut conserver son esprit critique par rapport aux préconisations des tableaux de bord ; il ne s'agit que d'un outil d'aide à la décision.

5. Bibliographie

- [i] Yannou, B. and Limayem, F. La méthode SPEC : Suivi de Performances en cours de Conception. in IDMME2000 : Third International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering. 2000. Montréal.

- [2] Limayem, F. and Yannou, B. A Monte Carlo Approach to Handle Imprecision in Pairwise comparison. in IDMME2000 : Third International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering. 2000. Montréal.
- [3] Limayem, F. and Yannou, B. La méthode SPEC : une modélisation détaillée du Cahier des Charges Fonctionnel pour un suivi de projet et une maîtrise des risques. in Congrès international AFAV 2000 : Les hommes et le management par la valeur. 2000. Paris.