

La place et les formes de la décision en ingénierie des systèmes

Patrice Micouin*,**, Jean Paul Kieffer**,***

* Micouin Consulting for Innovative Systems Engineering, 4 square Protis, BP 2341, 13213 Marseille Cedex 02

patrice.micouin@ieee.org

** Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes, UMR CNRS 6168 Equipe Ingénierie, Mécanique et Systèmes, 2, cours des Arts et Métiers 13617 Aix-en-Provence Cedex 1

{patrice.micouin, jean-paul.kieffer}@lsis.org

<http://www.lsis.org>

*** ENSAM, Centre d'Etudes et de Recherche d'Aix-en-Provence, 2, cours des Arts et Métiers, 13617 Aix-en-Provence Cedex 1

jean-paul.kieffer@aix.ensam.fr

Résumé. Cet article développe particulièrement deux points, d'abord l'imprégnation de tout le processus d'ingénierie de systèmes par des problèmes de décision et ensuite l'adéquation d'une approche argumentative de la décision dans ces activités multidisciplinaires.

1 Introduction

Dans cet article, nous nous proposons d'une part de définir ce qui constitue, à nos yeux, d'une part une prémisse à la spécification d'un système (outil informatique) d'aide à la décision en ingénierie de systèmes et d'autre part justifier les exigences que pourrait contenir celui-ci. A ce titre, il s'inscrit bien dans le processus de développement d'un système d'aide à la décision, précisément en un point (de départ) généralement escamoté. Il procède d'une double démarche de définition et de justification de cette prémisse.

Dans un premier temps, nous commençons par définir les termes de notre objet d'étude, à savoir les notions de système, d'ingénierie de systèmes, de délibération et de décision.

Dans un deuxième temps, nous cherchons à situer la place de la délibération/décision en ingénierie de systèmes. Pour cela, nous examinons la façon dont trois standards majeurs (IEEE 1220, EIA 632, ISO 15288) d'ingénierie de systèmes traitent les questions de délibération et de décision. Nous recherchons ensuite, au sein des processus centraux (processus de conception de système) d'ingénierie d'un système, les activités qui font (ou peuvent faire) l'objet de décisions. Cet examen se fixe pour objectif de montrer que les processus de délibération et de décision sont d'une part des processus ancillaires nécessaires aux autres processus centraux de l'ingénierie et d'autre part que ces processus sont des processus « partout denses » au sein des processus d'ingénierie de systèmes.

Dans une troisième temps, nous examinons les formes que peuvent prendre les processus de décision en ingénierie de systèmes : décisions tacites, formes calculatoire et argumentative. Nous déterminons les moments clés d'un processus de délibération/décision

en ingénierie de systèmes et nous montrons de quelles manières les formes calculatoire et argumentative de la décision prennent ou non en charge les différents moments de ce processus.

Dans un quatrième temps, nous montrons comment ce processus argumentatif de délibération et de prise de décision s'articule aux processus de conception de système. En conclusion, nous ouvrons notre réflexion sur la délibération/décision en ingénierie de systèmes sur des problématiques de travail coopératif et d'ingénierie des connaissances.

2 Définitions préliminaires

2.1 Systèmes technologiques

Les systèmes auxquels nous nous intéressons appartiennent à la catégorie des systèmes « fabriqués par des humains, créés et utilisés pour fournir des services à des utilisateurs et à d'autres parties prenantes dans des environnements définis. Ces systèmes peuvent être composés de matériels, de logiciels, de processus associés, de procédures, d'installations et d'entités apparaissant naturellement » (ISO/IEC 15288 annexe D Concepts page 50).

Ainsi, par exemple, un véhicule automobile, un groupe moto propulseur (GMP) constituent des systèmes, le second pouvant être considéré comme un élément du premier.



Figure 1. Un Véhicule Hybride Parallèle (VHP) : La Xsara Dynactive de Citroën

2.2 Ingénierie de systèmes

Nous désignons par ingénierie de systèmes un ensemble défini de « tâches multidisciplinaires requises pendant tout le cycle de vie d'un système pour transformer des besoins utilisateur, des exigences et des contraintes en un système solution » de manière à « s'assurer que le système est conçu de manière à le rendre économique à produire, à posséder, à exploiter, à maintenir et éventuellement à démanteler, sans faire supporter des risques inacceptables aux personnes et à l'environnement » (IEEE 1220).

2.3 Décision

Nous faisons nôtre la définition du terme décision due à André Lalande, dans son « Vocabulaire technique et critique de la philosophie » : une décision est une « terminaison normale d'une délibération dans un acte volontaire. Terminaison normale – 1° par opposition à aux terminaisons anormales telle que la cessation de la délibération inachevée et ou l'interruption par un acte impulsif ; - 2° par opposition aux volitions¹ bien arrêtées, mais qui ne sont que l'expression d'une tendance forte fixée sans délibération. Le mot décision est impropre partout où l'acte à faire n'a pas été d'abord mis en question et délibéré ».

2.4 Délibération

Une délibération est, pour nous, l'examen conscient et réfléchi d'un projet d'action volontaire, envisagé comme possible, par une personne ou par un groupe de personnes. Cet examen comprend une comparaison des motifs rationnels pour ou contre l'acte envisagé, les motifs affectifs n'entrant en aucun cas dans la délibération, même s'ils peuvent exercer sur elle une influence occulte.

3 Place de la décision en ingénierie de systèmes

Dans cette deuxième partie nous décrivons la place de la délibération/décision au sein du des processus d'ingénierie de systèmes telle que, premièrement elle apparaît dans trois standards majeurs, deuxièmement, elle peut être illustrée à partir d'un projet opérationnel et, troisièmement, nous la reformulons en tant que pierre angulaire de notre conception de l'ingénierie de systèmes et du travail en collaboration.

3.1 Le processus de délibération/décision dans trois standards majeurs

3.1.1 Le standard IEEE 1220

L'IEEE 1220 est un standard développé par l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) en décembre 1998 en révision du standard IEEE 1220-1994. Il s'inscrit dans la logique de ses prédécesseurs et notamment du MIL-STD-499B.

Comme le montre la figure 2, le standard IEEE 1220 introduit huit processus d'ingénierie de systèmes : l'analyse et la vérification des exigences (2 processus), l'analyse et la vérification fonctionnelles (2 processus), la synthèse et la vérification de conception (2 processus), le contrôle (1 processus) et l'analyse système - Systems Analysis Process – (1 processus). C'est ce dernier processus qui va retenir ici notre attention.

Le processus d'analyse système se situe dans la partie droite du diagramme et couvre trois sous processus relatifs aux exigences, à l'analyse fonctionnelle et à la conception et en interaction directe avec (partie gauche du diagramme) l'analyse des exigences, l'analyse fonctionnelle et la synthèse.

¹ « *Acte de la volonté* » André Lalande.

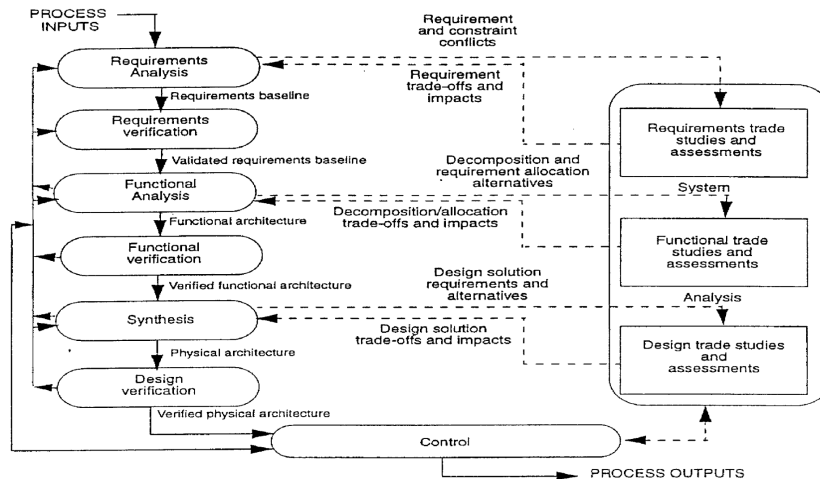


Figure 2. Diagramme de flux des processus d'ingénierie système selon IEEE 1220

Le rôle de ce processus vis-à-vis de l'analyse des exigences est d'apprécier les conflits d'exigences et de rechercher les arbitrages et compromis permettant d'aboutir à un ensemble équilibré d'exigences.

Son rôle vis-à-vis de l'analyse fonctionnelle est d'évaluer les différentes possibilités de décomposition fonctionnelle et d'allocation des exigences de performance et de rechercher les arbitrages et compromis permettant d'aboutir à une architecture fonctionnelle équilibrée.

Son rôle vis-à-vis de la conception physique est d'évaluer les différentes possibilités de décomposition en constituants physiques et d'allocation des fonctions et des performances à ces constituants physiques et de rechercher les arbitrages et compromis permettant d'aboutir à une architecture physique équilibrée.

La recherche des arbitrages et des compromis permettant d'aboutir à des solutions équilibrées prend en compte non seulement les aspects techniques en termes de services rendus et de performances mais en termes de risques, de coûts et de plannings.

Le processus d'analyse système décrit par l'IEEE 1220 correspond donc, à nos yeux, à un processus de délibération/décision dans le domaine de l'ingénierie des systèmes telle que la représente l'IEEE 1220.

3.1.2 Le standard ANSI- EIA 632

L'EIA-632 est un standard développé conjointement par l'INCOSE et l'ANSI/EIA et publié par l'ANSI/EIA (American National Standards Institute / Electronic Industries Alliance) en janvier 1999 en remplacement du standard intermédiaire EIA/IS-632.

Comme le montre la figure 3, le standard EIA 632, introduit un nombre nettement plus conséquent de processus pour réaliser l'ingénierie d'un système. Toutefois, on retrouve toujours un processus d'analyse système parmi les processus d'évaluation technique et situé en bas à gauche sur la figure.

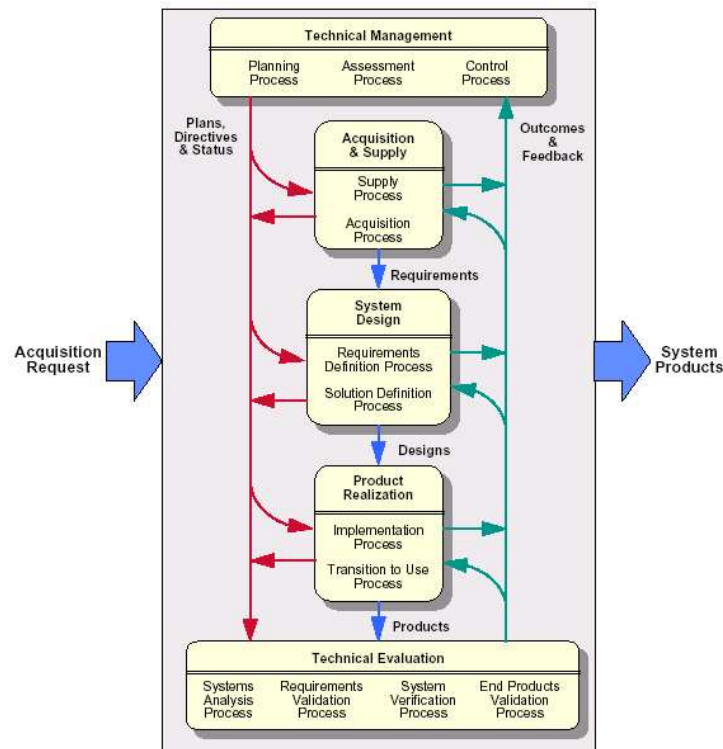


Figure 3. Relations entre processus pour l'ingénierie d'un système selon EIA-632.

L'examen de la définition de ce processus d'analyse système ne laisse apparaître que peu d'écarts quant à son contenu par rapport à celle de l'IEEE 1220 même si sa forme est beaucoup plus claire.

« Le processus d'analyse système est utilisé pour (1) fournir une base rigoureuse pour les prises de décision techniques, la résolution des conflits d'exigences et l'appréciation des solutions physiques alternatives, (2) déterminer la progression dans la satisfaction des exigences techniques du système et des exigences techniques dérivées, (3) aider à la gestion des risques, et (4) garantir que les décisions ont été prises seulement après avoir évalué leurs conséquences en termes de coût, de planning, de réalisation et de risque sur le l'ingénierie ou la ré- ingénierie du système » (EIA-632, paragraphe 4.5.1, page 30).

Le processus d'analyse système décrit par l'EIA-632 correspond également, à nos yeux, à un processus de délibération/décision dans le domaine de l'ingénierie des systèmes.

3.1.3 L a norme ISO 15288

Le standard international (« norme ») ISO 15288 a pour but de définir un cadre commun pour décrire le cycle de vie de systèmes créés par des humains (artefacts humains pouvant comporter du matériel, du logiciel, des processus associés, des procédures, des installations et locaux), un ensemble de processus bien définis et la terminologie associée.

Ce standard international fournit également des processus qui permettent la définition, le contrôle et l'amélioration des processus du cycle de vie appliqués dans une organisation ou un projet.

Les éléments ci-dessous font référence à la version FCD (Final Committee Draft) du 22 juillet 2001. L'ISO 15288 distingue quatre catégories des processus du cycle de vie d'un système : les processus d'agrément (agreement) entre un acquéreur et un fournisseur, les processus d'entreprise, les processus de projet et les processus techniques.

Le terme de processus d'analyse système n'apparaît plus dans l'ISO 15288 alors qu'il figurait dans tous les standards précédents. Au contraire, celui de processus de prise de décision y fait son apparition parmi les processus de projet.

« L'objet du processus de prise de décision est de sélectionner la voie la plus bénéfique, là où des alternatives existent. Ce processus répond à une demande de décision rencontrée pendant le cycle de vie du système, quelle qu'en soit la nature ou l'origine, afin d'atteindre des résultats spécifiées, désirables ou optimisés. Les actions alternatives sont analysées et le cours de l'action sélectionné et dirigé. Les décisions et leurs justifications sont enregistrées afin d'aider à des prises de décisions futures » (ISO 15288, 5.4.5.1 Purpose of the Decision-making Process, page 17).

3.2 Les thèmes d'ingénierie faisant l'objet de délibérations - décisions

Après ce parcours « académique » au sein de trois standards, nous nous proposons de préciser au sein de certains processus d'ingénierie (les processus de conception système de l'EIA-632) les activités qui font (ou peuvent faire) l'objet de délibérations et de décisions.

Les processus de conception système sont utilisés pour transformer des exigences convenues avec l'acquéreur en un ensemble de produits réalisables qui remplissent les exigences de l'acquéreur et d'autres parties prenantes. Ils consistent en deux processus : la définition des exigences et la définition de la solution.

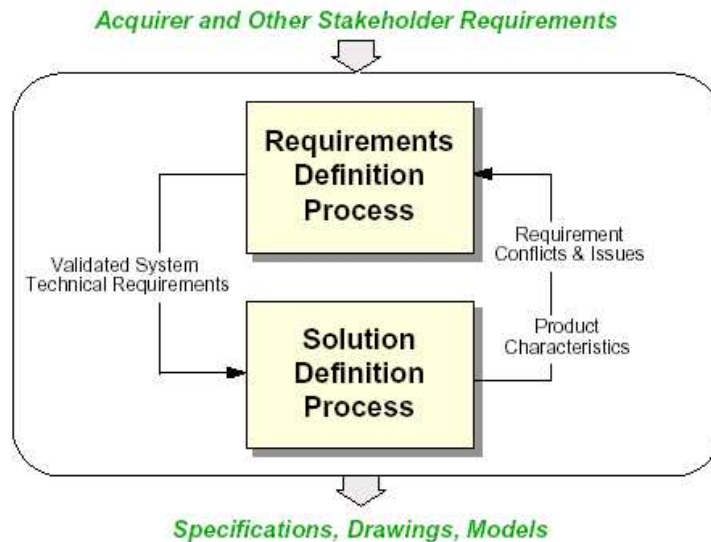


Figure 4. Le processus de conception système selon EIA-632

3.2.1 Le processus de définition des exigences

3.2.1.1. Répondre à une demande incertaine

Dans le secteur de la construction (spatiale, aéronautique ou automobile) par exemple, cet effort technique d'identification, de collecte et de définition des exigences de l'acquéreur ne peut, en aucun cas, se réduire à un travail de compilation consistant à accumuler une masse importante d'exigences. Cette dimension existe de façon certaine, mais elle est beaucoup moins problématique que l'absence de certitude quant au besoin exact à satisfaire ou plus précisément à la demande solvable à laquelle on se propose de répondre : de cet accord entre une demande imaginée quelques années avant qu'elle se manifeste (ou pas) et la demande telle qu'elle se présentera réellement dépend la réussite industrielle d'un projet de système nouveau.

Sauf à croire qu'à partir de données initiales il est possible de déterminer (comme dans les sciences exactes) ce que sera le marché de demain, en d'autres termes, que les changements socio-économiques imprévus n'existent pas, ce qui s'impose, c'est la dimension du pari.

Quand, par exemple, Motorola s'engage dans la conception de la constellation Iridium, ou que l'Agence Spatiale Européenne se lance dans celle d'Ariane V, ou encore lorsque Airbus se lance dans celle de l'A380 ou Boeing dans celle du Sonic Cruiser, ce qui prime c'est le pari, dont Motorola a appris à ses dépens qu'il pouvait être perdu.

Ainsi avant même d'évoquer d'éventuels conflits d'exigences, se posent des questions, plus fondamentales encore, qui appellent délibérations et décisions. Ainsi dans le secteur de la construction automobile, pour réduire la consommation de carburants fossiles ou la

quantité de CO₂ rejeté dans l'atmosphère (c'est la même question), le développement d'un véhicule particulier basé sur le concept d'hybridation (thermique - électrique) peut-il correspondre à une demande solvable ? Le développement d'un véhicule électrique utilisant une pile à combustible n'est-il pas plus prometteur ? Quels seraient les contours de cette demande ? A quels coûts (récurrents et non récurrents), ce développement pourrait-il rencontrer cette demande dans des conditions économiques acceptables ? A quelle échéance cette demande arriverait-elle à maturité et pour quelle durée ?

Les résultats des études de marché les plus fouillées, l'exploitation des données les plus larges (datamining), la mobilisation des ressources statistiques ou du calcul de probabilité les plus sophistiqués, etc. ainsi que celles des études de faisabilité contribuent en tant que faits ou moyens d'inférence à la prise de décision, en fournissant des arguments en faveur ou en défaveur des différents choix envisagés pour autant qu'ils ne masquent pas le caractère essentiellement volatil de la demande et du caractère essentiellement risqué et incertain de la rencontre d'une offre et d'une demande. Dans ces conditions, la définition d'un ensemble d'exigences applicables à un système à développer constitue un premier défi².

Il peut impliquer de tenir ensemble, plusieurs configurations d'exigences système correspondant à un ensemble défini de demandes solvables associées à différents scénarios d'introduction et de maintien sur le marché sans que cela puisse constituer une garantie définitive.

Ainsi dans le cas d'un GMP hybride parallèle (option full hybrid), développé en avance de phase par PSA Peugeot Citroën - DRIA, et sur lequel nous sommes intervenus, plusieurs configurations d'exigences ont été prises en compte correspondant à des prestations différentes et à des coûts différents (correspondant à des configurations définies de demandes solvables).

3.2.1.2. Résoudre les conflits d'exigences

Nous entendons par ensemble conflictuel d'exigences, un ensemble d'exigences non satisfaisables dans un contexte technique et économique donné. C'est-à-dire que dans ce contexte, il n'existe aucun système concevable et fabricable qui réponde à cet ensemble d'exigences. Il se peut qu'à l'occasion d'une révolution technologique ou d'un changement des conditions du marché, un ensemble conflictuel d'exigences devienne satisfaisable. Cette notion est une notion plus large que celle d'exigences contradictoires à savoir des exigences logiquement incompatibles et qui, par conséquent, ne pourront jamais être satisfaites simultanément.

L'identification, la collecte et la définition des exigences des acquéreurs et des autres parties prenantes peuvent donner lieu à des conflits d'exigences.

² Ces observations valent également pour un système d'armes ou un système de systèmes destinés à prévenir des menaces essentiellement changeantes et dont les mutations peuvent prendre les systèmes de défense totalement à contre-pied.

Comme exemples de conflits d'exigences fréquemment rencontrés on peut citer les conflits entre le niveau de performance attendu des services rendus et le niveau des coûts, entre le niveau de performance attendu des services rendus et le niveau des effets indésirables, entre le niveau de performance attendu des services rendus et l'encombrement et la masse du système.

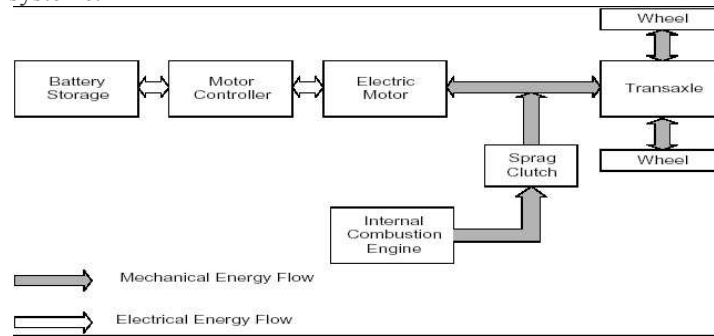


Figure 5. Schéma de principe d'un GMP hybride parallèle

Ainsi pour un véhicule hybride électrique parallèle, dont le schéma de principe est présenté sur la figure 5, ci-dessus, l'autonomie en traction électrique (exprimée comme exigence HEV N, où N représente l'autonomie en traction électrique, exprimée en miles, par exemple HEV 0, HEV 20 et HEV 60) est en rapport direct avec les performances de la batterie de traction et entre directement en conflit avec le coût, l'encombrement et la masse embarquée. Il y a donc un compromis à trouver, entre ces différentes exigences, qui conserve un attrait pour ce type de véhicule.

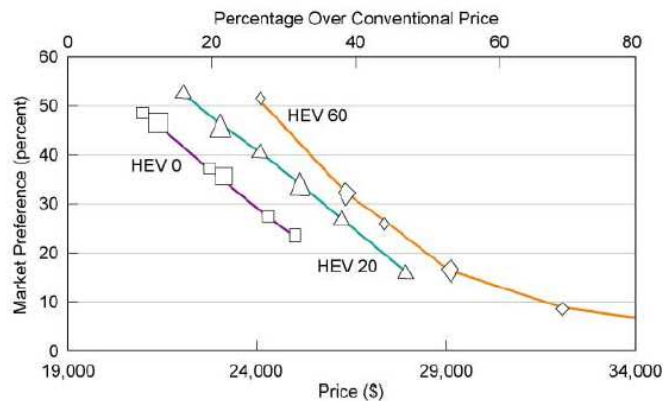


Figure 6. Parts de marchés en 2010 d'un hybride milieu de gamme vs son prix.

On voit par exemple sur la figure ci-dessus qu'un HEV 0 (i.e. autonomie 0 miles en traction électrique) peut prétendre à près de 50% de parts de marché sur ce segment à condition de ne pas coûter plus de 10% qu'un véhicule conventionnel aux performances équivalentes. Pour un HEV 20 ou un HEV 60 un score équivalent peut être atteint si le surcoût ne dépasse pas 18 et 26%.

Place et formes de la décision en ingénierie système

Ces données d'études de marché (d'une fiabilité qu'il reste à apprécier) rapprochées des données de coût présentées dans la table suivante constituent des éléments pour une délibération et une décision sur le niveau d'autonomie en traction électrique requis pour un véhicule hybride à horizon de 2010.

ΦU	CV	HEV 0	HEV 20	HEV 60
□ Charging System	\$0	\$0	\$460	\$460
□ Energy Storage System	\$30	\$1,907	\$2,663	\$5,782
□ Electric Traction	\$40	\$1,390	\$1,542	\$2,052
□ Accessory Power	\$210	\$300	\$300	\$300
□ Transmission	\$1,045	\$625	\$625	\$625
□ Engine + Exhaust	\$2,357	\$1,444	\$1,370	\$1,039
□ Glider	\$7,148	\$7,148	\$7,148	\$7,148

Table 1 : Coûts des composants d'un GMP en 2010.

3.2.2 Le processus de définition de la solution

« Les spécifications techniques validées du système sont alors transformées en une solution de conception décrite par un ensemble d'exigences spécifiées. Ces exigences spécifiées prennent la forme de spécifications, de schémas, de modèles ou d'autres documents de conception en fonction de la maturité de la conception. Elles sont utilisées pour (1) construire, coder, assembler et intégrer les produits finaux, (2) vérifier les produits finaux, (3) acquérir des produits sur étagère –COTS–, (4) fournir un cahier des charges à un fournisseur de sous système » (EIA-632, 4.3 System Design, page 19).

3.2.2.1. Voies alternatives de conception logique

Nous appelons conception logique d'un système une représentation de ce système sous la forme chaînes de transformations de matière, d'énergie et/ou d'information (MEI) reliant des sources MEI à des puits (MEI) et activées ou inhibées en fonction du mode de fonctionnement du système.

Cette représentation logique s'obtient en traduisant les exigences fonctionnelles applicables au système en chaînes de transformations. Cette traduction n'a rien d'automatique mais au contraire fait l'objet de délibérations et de décisions. Par exemple l'exigence fonctionnelle « Fournir de la puissance mécanique aux roues motrices », associée à des niveaux performances, peut avoir de multiples traductions en terme de transformations, par exemple (1) « Transformer la puissance latente d'un carburant en puissance mécanique fournie aux roues » constitue une traduction possible, (2) « Transformer la puissance latente stockée dans une batterie électrique en puissance mécanique fournie aux roues » en constitue une deuxième. A partir de ces deux options se déclinent deux concepts de véhicules (1) les véhicules thermiques (conventionnels) et (2) les véhicules électriques. Le concept de véhicule hybride tire son nom de l'hybridation de ces deux chaînes de transformations pour réaliser la fonction « Fournir de la puissance mécanique aux roues motrices ».

Selon nous, le processus de conception d'un système consiste à substituer progressivement à une représentation abstraite du système (la spécification technique du système ou la spécification technique du besoin) des représentations de plus en plus

concrètes. La notion de transformation est donc une notion plus concrète que la notion de fonction (qui est un effet recherché du système) et la notion de transformation (logique) est plus abstraite que la notion de transformateur (physique). Ainsi l'acquisition progressive de la définition d'un système s'effectue par des ajouts successifs de déterminations et par la privation des déterminations écartées au profit de celles qui ont été choisies. A une fonction donnée correspond un certain nombre de transformations et de chaînes de transformation possibles. Le choix de l'une de ces transformations détermine un sous-ensemble de transformateurs possibles, etc.

Ainsi, le GMP d'un véhicule conventionnel, qui en mode traction répond à l'exigence fonctionnelle « Fournir de la puissance mécanique aux roues motrices », est concrétisé par le biais de la chaîne de transformations d'énergie (et de matière) qui, en mode traction, transporte un flux d'énergie d'une source de matière/énergie (réservoir de carburant) vers un puits principal d'énergie (arbres de roue). Les transformations de cette chaîne assurent les fonctions suivantes : (1) la production d'un couple mécanique (2) une transmission de ce couple aux arbres de roues et (3) une adaptation du régime et du couple à l'état de fonctionnement du récepteur (régime et couple résistant des arbres de roue).

La transformation d'exigences applicables à un système en une conception logique du système peut s'effectuer suivant différentes alternatives et variantes. Ces alternatives doivent, si possible, être identifiées, évaluées de façon à conserver le maximum de degrés de liberté pendant tout le processus de conception.

Ainsi, le GMP d'un véhicule hybride électrique parallèle peut être représenté comme une double chaîne de transformations (1) une chaîne thermique qui, en mode traction, convoie un flux de puissance d'une source de matière/énergie (réservoir de carburant) vers un puits principal d'énergie (arbres de roue) et (2) une chaîne électrique qui, en mode traction, porte un autre flux de puissance d'une seconde source d'énergie (batterie) vers le même puits.

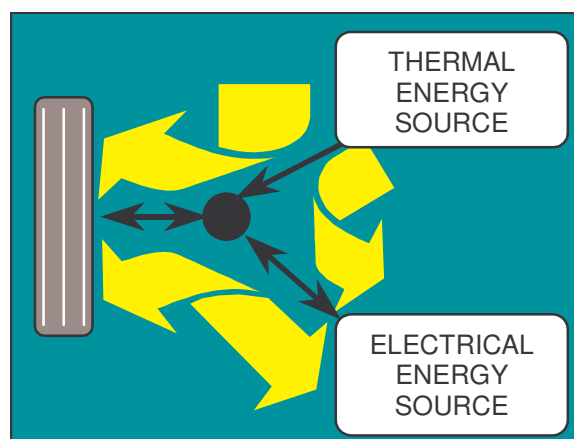


Figure 7. Flux énergétiques traversant un GMP hybride parallèle.

La convergence de ces deux flux énergétiques pose la question de leur addition au sein des chaînes transformationnelles. En réponse à cette question, on peut envisager comme

alternatives de conception logique d'assurer l'addition des couples moteurs (1) avant l'adaptation des régimes à l'état de fonctionnement du récepteur (régime des arbres de roue) (2) après l'adaptation des régimes.

Ces options de conception logique donnent naissance à deux familles de GMP hybrides parallèles dont les deux figures ci-dessous sont des schémas de principe physiques.

Sur la figure 8 ci-dessous, l'addition des couples moteurs est réalisée avant l'adaptation par une boîte de vitesses.

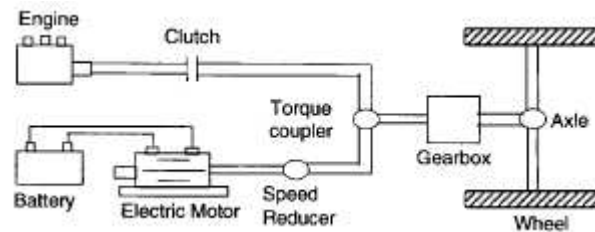


Figure 8. Schéma de principe d'un GMP hybride parallèle simple arbre

Sur la figure 9, l'addition des couples moteurs a lieu après l'adaptation par une boîte de vitesses ou une transmission à variation continue.

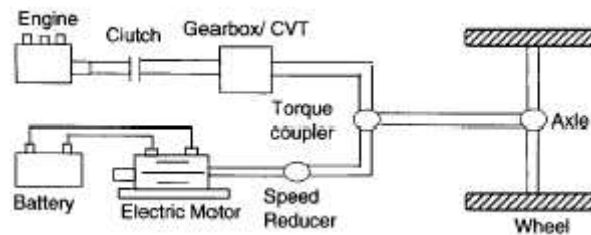


Figure 9. Schéma de principe d'un GMP hybride parallèle double arbre

Chacune de ces architectures logiques de GMP hybride a non seulement fait l'objet de démonstrateurs mais a aussi donné naissance à des véhicules qui figurent dans la gamme commerciale de constructeurs automobiles. Il a donc été raisonnable en la circonstance d'explorer les deux voies ouvertes par la conception logique.

3.2.2.2. Voies alternatives d'allocation

Nous appelons allocation le processus par lequel une fonction (i.e. un effet recherché) du système est affectée à une chaîne de transformations et par voie de conséquence à une chaîne de transformateurs du système.

En voici, un premier exemple, dans le contexte de la conception d'un GMP hybride parallèle.

Le mode « traction », caractérisé par la fourniture d'une puissance mécanique aux roues motrices, peut-être subdivisé en trois sous modes particuliers : (1) le mode « traction électrique » caractérisé par l'engagement de la seule chaîne de transformation électrique, (2)

le mode « traction thermique » caractérisé par l'engagement de la seule chaîne thermique et (3) le mode « traction hybride » caractérisé par l'engagement simultané des deux chaînes de transformations.

En fonctionnement, le GMP doit être en mesure de commuter automatiquement d'un mode vers un autre en fonction des conditions d'opération. Le GMP doit notamment être capable de commuter du mode « électrique » (à basse vitesse, en deçà de 50km/h, par exemple) vers le mode « hybride » (à plus haute vitesse, à partir de 50km/h, par exemple). Cette commutation de modes correspond à la fonction technique « démarrer le moteur thermique ». Cette fonction technique peut être allouée à la machine électrique du GMP, mais elle pourrait être également allouée à un démarreur auxiliaire. La solution à apporter à cette question d'allocation n'est pas déterminée d'avance même si l'allocation de cette fonction à la machine électrique peut apparaître comme allant de soi.

3.2.2.3. Voies alternatives de conception physique

Nous appelons conception physique d'un système une représentation de ce système sous la forme chaînes de transformateurs dont les caractéristiques physiques sont définies à ce stade. L'acquisition de cette définition physique comprend des questions d'architecture physique, de dimensionnement et de technologie.

Les pages qui suivent en fournissent des exemples : (1) question d'architecture physique : introduction d'un système d'accouplement, (2) question de technologie : quelle technologie de machine électrique ? (3) Quelle tension sur le réseau haute tension ?

3.3 Un processus « partout dense »

En topologie (par exemple, Jean Dieudonné, *Éléments d'Analyse*, tome 1), il est convenu de dire qu'une partie A (par exemple, l'ensemble des rationnels \mathbb{Q}) d'un espace topologique E (par exemple, l'espace des réels \mathbb{R}) est partout dense dans E si tout voisinage de n'importe quel élément e de E contient au moins un élément de A (On sait, par exemple, que \mathbb{Q} est partout dense dans \mathbb{R}).

Ce concept mathématique a servi de support à une métaphore due à Cornelius Castoriadis pour caractériser le rapport de la technique au réel-rationnel dans les sociétés humaines³. Nous l'empruntons à notre tour pour caractériser la place de la décision dans l'espace de l'ingénierie des systèmes. A savoir : le processus de décision est partout dense dans l'espace de l'ingénierie de système. Ceci signifie que « la transformation des exigences convenues avec l'acquéreur en un ensemble de produits réalisables », loin de pouvoir être assimilée à une activité répétitive, uniformisable, standardisable et codifiable, est potentiellement questionnable en chacun de ses points, que ce questionnement peut ouvrir sur des possibilités

³ « Toute société crée son monde, interne et externe, et de cette création la technique n'est ni instrument ni cause, mais dimension ou, pour utiliser une meilleure métaphore topologique, partie partout dense. Car elle est présente à tous les endroits où la société constitue ce qui est, pour elle, réel-rationnel. »

variées de concrétisation. L'évaluation, la comparaison de ces possibilités et le choix parmi ces possibilités permettent d'espérer la sélection de la solution la plus judicieuse.

Par ailleurs, comme nous l'illustrerons ci-dessous le processus de délibération – décision peut être ramené, quant à sa forme, à une figure unique utilisable dans des contextes aussi différents que ceux abordés ci-dessus mais aussi à propos des autres processus de l'ingénierie de systèmes que nous n'avons pas évoqués ici : processus de vérification et validation, le dilemme faire ou acheter, etc.

4 Formes de la décision en Ingénierie de Systèmes

Dans cette troisième partie, nous examinons les formes que prennent les décisions en ingénierie de systèmes. Nous commençons par considérer la décision tacite ou implicite, qui est la forme la plus courante de la décision en ingénierie. Nous présentons ensuite ce qui nous apparaît comme les différents moments d'une délibération – décision en ingénierie. Nous présentons enfin les formes canoniques de la décision : la forme calculatoire d'une part et la forme argumentative d'autre part et nous examinons de quelle manière ces formes prennent ou non en charge les différents moments du processus précédemment décrit.

4.1 Décisions tacites

Comme nous l'indiquions au paragraphe 3.4, « la transformation des exigences convenues avec l'acquéreur en un ensemble de produits réalisables », peut virtuellement donner lieu à la séquence (questionnement, recherche de solutions, délibération, décision) en chacun de ses points. Toutefois, vouloir traduire en acte cette potentialité, c'est-à-dire concevoir le projet d'interroger la transformation d'exigences en produits réalisables en chacun de ses points conduirait une impossibilité pratique⁴.

Il faut bien admettre dès lors que dans un projet d'ingénierie d'un système, seuls un nombre limité de points de la transformation d'exigences en produits réalisables donne lieu à la séquence (questionnement, recherche de solutions, délibération, décision). Tous les autres points de la transformation font l'objet d'une transition tacite, quasi inconsciente. C'est ce que nous désignons, par abus de langage (précisément parce qu'il y a absence de décision), décision tacite ou implicite.

Donald A. Schön, dans son ouvrage « The Reflective Practitioner ; How Professionals think in Action » précise que « nos connaissances sont ordinairement tacites, implicites dans les formes de nos actions. (..) Il semble correct de dire que nos connaissances sont dans nos actions. De même, la journée de travail d'un praticien dépens de ses connaissances tacites incorporées dans ses actions (knowing-in-action) ». Résultant de l'assimilation des connaissances, de la compétence et de l'expérience, le « Know-in-action » guide l'ingénieur

⁴ « Les divisions de la ligne peuvent être infinies et ne pas s'arrêter, tandis que la pensée n'est possible qu'à la condition d'un temps d'arrêt. Aussi même en parcourant une ligne infinie, on n'essayera jamais d'en compter les divisions ». Aristote, La métaphysique, Livre α , 994b.

dans une large mesure, son activité l'amenant à réaliser quantité de choix implicites et pourtant tout à fait pertinents, qu'on ne pourrait en aucun cas qualifier d'irrationnels.

Pour Schön, « the reflection-in-action », c'est-à-dire la réflexion incorporée dans l'action, qui rompt le « Know-in-action », surgit de l'expérience de la surprise, quand « une réalisation intuitive conduit à des surprises, plaisantes et prometteuses ou au contraire, non désirées ».

4.2 Description et moments clé d'un processus de délibération-décision

Nous réalisons maintenant une description factuelle de ce qui constitue à nos yeux un processus réel de délibération et de décision en ingénierie de systèmes et de ses moments clés.

4.2.1 Arbre des décisions

Post-mortem, les décisions prises au cours du processus d'ingénierie d'un système se présentent sous la forme d'une succession temporelle de décisions partielles réparties sur toute la durée du projet.

Chaque décision partielle marque une avancée possible, mais non garantie, dans le processus de concrétisation du système (i.e. dans l'acquisition de sa définition). En effet, Chaque décision partielle constitue une option ou un pari sur l'avenir. Une décision partielle, jugée raisonnable à un instant donné en fonction des informations à la disposition des décideurs (que nous appelons contexte de conception), peut conduire à une impasse ultérieurement, soit en raison d'une infaisabilité technique, soit en raison d'un changement du contexte de conception. Ainsi le parcours chronologique des décisions partielles n'est pas linéaire mais entraîne parfois des retours en arrière. Chaque décision partielle modifie le paysage de la conception, d'une part en appelant de nouveaux problèmes de décision dont la résolution déterminera en retour la validité de la décision précédente et d'autre part privant de sens d'autres problèmes de décision.

Par exemple, pour adapter le régime d'un moteur au régime du récepteur (arbres de roue, ..) on peut décider d'utiliser une boîte de vitesses à rapports discrets (inversement, on aurait pu décider de mettre en œuvre une transmission à variation continue – CVT-). Dans ce contexte de conception, se pose la question du nombre et de l'étagement des rapports de démultiplication de la boîte de vitesses BV (dans le contexte d'une CVT, ces questions sont privées de sens). Si maintenant, il est impossible (dans ce contexte BV) de trouver un nombre et un étagement des rapports de démultiplication permettant de satisfaire les exigences de confort longitudinal (effacement des ruptures de couple lors des changements de rapport), il faudra soit réexaminer la pertinence du niveau de confort longitudinal attendu soit remettre en cause la décision d'adopter une boîte de vitesses à rapports discrets.

4.2.2 Questions et alternatives

L'exemple, ci-dessus, montre que dans le cours du processus d'ingénierie d'un système, des questions se posent (ou sont posées), déterminées par le contexte de conception. Nous n'excluons pas, qu'à un instant donné du processus, les décideurs puissent se poser de faux problèmes, des questions mal formulées et des questions prématurées (c'est-à-dire des questions nécessitant pour pouvoir être réglées qu'un certain nombre d'options soient prises au préalable). Le processus de délibération/décision doit permettre, dans la durée, de réviser la formulation des questions posées et de réorganiser l'arbre des décisions successives.

Par ailleurs, nombre de questions d'ingénierie sont parfaitement stéréotypées. On peut ainsi distinguer ; (1) des questions d'exigences ; (2) des questions d'allocation ; (3) des questions d'architecture ; (4) des questions de dimensionnement ; (5) des questions de technologie.

De la même manière, la liste des actions potentielles, alternatives (options) de solutions définies à un instant donné comme susceptibles de répondre à une question, doit pouvoir être modifiée ultérieurement, qu'une alternative soit ajoutée, soit modifiée, dédoublée, etc.

Par exemple, dans le cas d'une architecture de GMP hybride parallèle, les deux configurations de base introduites à un instant donné sont les configurations simple arbre (fig. 9) et double arbre (fig. 10). On peut très bien imaginer des variantes de ces architectures de base qui améliorent sensiblement les performances des solutions basées sur ces deux types d'architecture ou encore imaginer de nouvelles options.

Ainsi l'architecture, représentée par le schéma ci-dessous, constitue une variante de l'architecture simple arbre par l'ajout d'un système d'accouplement entre la machine électrique et la boîte de vitesses. Cet ajout permet de résoudre un problème d'allocation de fonction pénalisant l'architecture simple arbre de base.

En effet, en fin de changement de rapport de vitesse, les arbres primaire et secondaire de la boîte de vitesses doivent être synchronisés avant d'être à nouveau liés. Cette fonction technique « Synchroniser les arbres de boîte » peut être allouée soit à des mécanismes de la boîte, les synchroniseurs, soit à la machine électrique.

Dans le cas du simple arbre de base, représenté sur la figure 8, l'allocation à des synchroniseurs n'est pas faisable en raison de la trop grande inertie de l'équipage formé par l'arbre primaire et la machine électrique (qui sont liés en permanence). La seule allocation possible reste alors l'allocation à la machine électrique. Cette allocation implique un plus grand dimensionnement de la chaîne électrique en puissance crête (et donc, in fine, un coût plus important).

L'ajout d'un système d'accouplement entre la boîte et la machine électrique autorise une allocation de la fonction de synchronisation aux synchroniseurs mécaniques et donc une réduction de la puissance crête de la chaîne électrique.

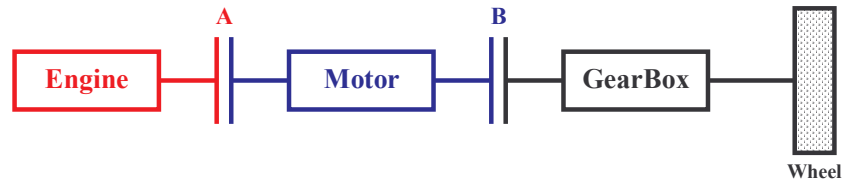


Figure 10 Architecture Simple Arbre en ligne, double embrayage

4.2.3 Critères d'évaluation

Dans le cadre de l'ingénierie d'un système, les critères pour évaluer une alternative et pour sélectionner une solution (que cette solution appartienne ou non aux alternatives évaluées) sont dans la pratique multiples.

Entre en ligne de compte au minimum, des critères de performance, des critères de coûts, des critères de risques. Mais ces critères sont susceptibles de déclinaisons particulières dépendant du type de questions d'ingénierie et du contexte de conception.

4.2.4 L'évaluation des alternatives

L'évaluation des alternatives doit permettre dans un premier temps d'apprécier chaque alternative par rapport à chacun des critères retenus et dans un second temps d'évaluer chaque alternative par rapport aux autres.

4.2.5 La sélection d'une option préférée

L'option préférée appartient éventuellement à la liste des alternatives retenues a priori mais pas nécessairement. Comme option préférée, il est en pratique possible (et il peut être éventuellement souhaitable) de ne pas choisir et de poursuivre des investigations qu'on juge incomplètes ou d'attendre qu'un événement extérieur soit réalisé (un état du monde) pour pouvoir arbitrer en meilleure connaissance de cause.

On peut également retenir deux, voir plusieurs, alternatives en lice et de poursuivre l'analyse des conséquences de ces alternatives ou encore de définir une nouvelle alternative dont l'évaluation devra être instruite.

4.3 Formes théoriques de la décision

Dans cette section, nous examinons deux formes théoriques de la décision : la forme calculatoire et la forme argumentative. Nous précisons au fil de l'eau et nous justifions le niveau d'(in)adéquation de chacune d'elles au modèle d'ingénierie de la décision requis pour l'ingénierie de systèmes.

4.3.1 Forme calculatoire

Nous rangeons dans cette catégorie les méthodes qui, à un moment ou à un autre de leur déroulement, réduisent les évaluations auxquelles les décideurs procèdent à des quantités commensurables afin de procéder à un calcul qui permettra de distinguer le meilleur choix. La théorie de la décision et l'aide à la décision multicritère appartiennent à cette catégorie.

4.3.1.1. La théorie de la décision

Dans le prolongement des travaux de Von Neumann et Morgenstern (VNM), la théorie de la décision se fixe pour objectif de traduire sous forme mathématique des préférences sur un ensemble d'actes dont les conséquences dépendent de la réalisation d'une variable aléatoire (les états du monde). Si ces préférences vérifient un ensemble de propriétés alors il existe une fonction dite d'utilité qui associe à chaque acte un nombre réel qui est d'autant plus grand que l'acte est préférable.

Cette fonction d'utilité peut, par exemple, correspondre dans la pratique au critère du profit maximum. Il n'y a donc pas plusieurs critères mais un seul : la recherche du maximum de la fonction d'utilité.

Ce premier point constituerait donc déjà un inconvénient majeur si nous considérons la théorie de la décision comme solution candidate dans la recherche d'une méthode de décision appliquée à l'ingénierie des systèmes.

De plus, on parle de décision sous risques si les états du monde ont des probabilités connues à l'avance et de décision sous incertitudes si ces probabilités sont inconnues.

En univers risqué, les propositions de VNM ont fait l'objet de critiques dont celles de Maurice Allais, à savoir des faits d'observation mettant en évidence des comportements d'agents incohérents avec les oracles théoriques (curieusement appelés paradoxes en théorie de la décision).

En univers incertain, plusieurs critères (empiriques) de décision ont pu être définis (maximin, maximax, α -critère de Hurwicz, minimax regret, principe des raisons insuffisantes) avant que Leonard Savage apporte une extension de la théorie de VNM en univers incertain.

Aucun des critères cités n'est dépourvu de défaut, c'est-à-dire qu'ils produisent, pour certaines configurations d'actions, des décisions en désaccord avec les résultats expérimentaux (des paradoxes). De plus, mis en œuvre sur les mêmes actions, ils donnent des décisions très contrastées dans la majorité des cas. Enfin, le critère d'utilité espérée de Savage qui rattache la décision en univers incertain à la théorie de VNM, est, d'un point de vue opérationnel, pratiquement impossible à mettre en œuvre : utile, il est impossible à calculer, inutile, il est alors calculable.

De l'avis de spécialistes (par exemple Pierre Garello in Théorie de la décision, Bilan et Perspective) , la théorie de la décision est en crise, et ce depuis vingt bonnes années ; depuis que les doutes concernant le critère dominant de l'Utilité Espérée ont refait surface.

Mono-critère, peu opérationnelle en univers incertain, la théorie VNM peut cependant être mis en œuvre de la cadre de décisions successives.

4.3.1.2. Décision multicritères

L'aide à la décision multicritère se présente comme l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponses aux questions que se posent des décideurs. L'homme d'étude en charge de cette activité ne produit pas des décisions mais des recommandations à l'intention des décideurs.

Dans ce cadre d'aide à la décision, la démarche est scindée en trois étapes :

(1) Dresser la liste des actions potentielles. Le terme d'action potentielle est synonyme de décision possible, de solution candidate, d'alternative ou d'option envisagée. L'ensemble A des actions potentielles est modifiable dans le temps.

(2) Modéliser les préférences du décideur. L'homme d'étude commence par définir un ensemble de critères. Un critère est un outil permettant de comparer les actions suivant un axe donné. Formellement, c'est une fonction g_c de la variable réelle définie sur A qui à toute action potentielle a associe un nombre $g_c(a)$. La comparaison de $g_c(a)$ et de $g_c(b)$ deux actions potentielles a et b permet de déterminer si, selon le critère c, a est préférable à b ou l'inverse. Un tableau des performances des actions potentielles selon les différents critères peut alors être établi.

(3) La procédure d'agrégation. La procédure d'agrégation est un procédé qui permet de synthétiser l'ensemble des données numériques contenues dans le tableau des performances de manière à produire une recommandation. Trois catégories de procédures sont envisagées : les procédures d'agréations complètes, d'agréations partielles et les procédures d'interaction décideur/homme d'étude.

L'aide à la décision multicritère présente de nombreux avantages par rapport à la théorie de la décision.

Elle est tout d'abord beaucoup plus pragmatique que la théorie de la décision qui se veut théorie axiomatique. Elle est, comme son nom l'indique, multicritère et fournit un ensemble de recommandations utiles quant à la définition des critères. Elle s'accommode ensuite assez bien des évolutions tant des actions potentielles que des critères. De ces seuls points de vue, l'aide à la décision est un bien meilleur candidat pour une mise en œuvre en ingénierie de systèmes.

En revanche, des défauts ont largement été signalés. Par exemple, elle présente comme défaut, grave ou non, selon la situation, une compensation possible entre critères (notes) et

une forte sensibilité aux changements d'échelle. La multiplication de ratios, avec les poids en exposants, est une méthode qui pallie ces défauts mais nécessite que chaque échelle de critère aille dans le même sens.

De plus, les procédures d'agrégation complète, en attribuant aux performances d'éventuels poids pour pouvoir calculer une note globale à chaque action potentielle, reviennent à réinventer empiriquement « une fonction d'utilité » ce qui suppose que tous les jugements sont commensurables alors qu'une des justifications de l'approche multicritère est l'incommensurabilité de ces jugements.

Les procédures d'agrégation partielle tentent de faire face à cette dernière critique sans vraiment convaincre. Quant aux procédures de la dernière catégorie, elles se tiennent au principe de l'incommensurabilité des jugements et proposent à l'homme d'étude et au(x) décideur(s) de s'entendre et de se mettre d'accord sur la décision à prendre. Il s'agit pour nous, d'actions qui relèvent selon les terminologies, d'actes de langage, d'activités discursives, ou d'agir communicationnel. Mais dans ces deux derniers cas, était-il vraiment besoin d'inventer des fonctions g_c de la variable réelle définie sur A qui à toute action potentielle a associe un nombre $g_c(a)$, de construire des tableaux de performances, d'affecter des poids aux différents pour ne rien en faire ou presque, ensuite ?

4.2.1.3. Hypostase ou réification du décideur : des décisions sans décideur

Dans son article « Décision » pour l'Encyclopedia Universalis (Tome 7, page 74), Bertrand Munier, parle d'un défaut de la théorie de la décision que l'aide à la décision multicritère ne parvient pas à corriger, celui de l'hypostase⁵ du décideur.

Au terme d'hypostase, nous préférons le terme de réification utilisé dans la tradition sociologique issue de Max Weber. La réification vise au moins une réalité : un regard qui chosifie (res, chose en latin) les humains et qui ne les appréhendent que comme des instruments d'une rationalité particulière : « la rationalité des moyens par rapport à une fin » (selon l'expression de Weber).

Le paradoxe de la théorie de la décision est de vouloir produire des décisions sans décideurs. En effet, selon la théorie de la décision, les décideurs, qu'ils soient producteurs ou consommateurs, obéissent à une rationalité des moyens par rapport à une fin, ici nommée la maximisation de la fonction d'utilité en d'autres termes ils sont réduits au rôle de machines à calculer.

En réalité, du « paradoxe de Saint-Petersbourg » aux paradoxes de Allais, les décideurs réels ont amplement montré qu'ils mettaient en échec les prédictions issues de cette théorie.

L'aide à la décision multicritère n'échappe pas toujours à cette critique d'une vision réifiante du décideur. Lorsque l'homme d'étude dresse le tableau des performances d'une liste d'actions potentielles et en réalise une agrégation complète, il ne fait rien d'autre qu'un calcul. Il recommandera le résultat de ce calcul au décideur. Ce dernier s'en remettra alors,

⁵ « Entité fictive, abstraction faussement considérée comme une réalité » Lalande.

dans la plupart des cas, en abdiquant de son jugement, à l'irrésistible force probante des nombres : le calcul dit ...

4.3.2 Forme argumentative

Dans notre pratique et dans cet article nous avons adopté un parti pris sensiblement différent puisque que nous basons notre processus de décision sur l'argumentation, c'est-à-dire sur l'une des formes les plus courantes du discours et du raisonnement pratique.

Nous nous sommes largement inspirés des conceptions de Stephen Toulmin sur les raisonnements pratiques et l'argumentation exposées dans « The uses of argument » et étendues notamment par S. Newman et des réflexions d'auteurs comme Horst Rittel (IBIS), J. Lee & K-Y. Lai (DRL) A. Mac Lean (QOC) et R. McCall (PHI) pour définir et mettre en œuvre un processus pratique de décision adapté pour l'ingénierie des systèmes

Nous distinguons au sein d'un processus pratique de décision trois niveaux: (1) le niveau élémentaire ou schéma d'argumentation ; (2) le niveau intermédiaire ou schéma de décision ; (3) le niveau global ou arbre des décisions.

4.3.2.1. Schéma d'argumentation

Selon Stephen Toulmin, la forme la plus élémentaire d'une argumentation présente au plus six éléments organisés dans la structure présenté sur la figure ci-dessous :

Une thèse (Claim) : Le premier élément d'une argumentation est une thèse C (une affirmation, une assertion, une conclusion, un jugement, etc.) exprimée par un locuteur (le défendeur). La justification de cette thèse est à la charge du défendeur.

Voici un exemple : un même véhicule hybride parallèle peut mettre œuvre de multiple stratégies de pilotage pour contrôler et commander les différents sous systèmes (le moteur thermique, la (ou les) machine(s) électrique(s) , la boîte de vitesses si présente , le(s) système(s) d'accouplement, etc.) Ces stratégies ne se valent pas et une question essentielle est de trouver une stratégie de pilotage satisfaisante. Ici deux stratégies 1 et 2 sont évaluées et la thèse soutenue par le défendeur est la suivante la stratégie 1 est préférable à la stratégie 2 pour des véhicules hybrides vendus en Ile-de-France.

Une donnée (Datum) : Une donnée D est un élément qui vient justifier la confiance que l'on a dans la thèse et que le défendeur doit produire, si besoin. Des données telles que D engagent à tirer des conclusions ou à énoncer des thèses telles que C.

Place et formes de la décision en ingénierie système

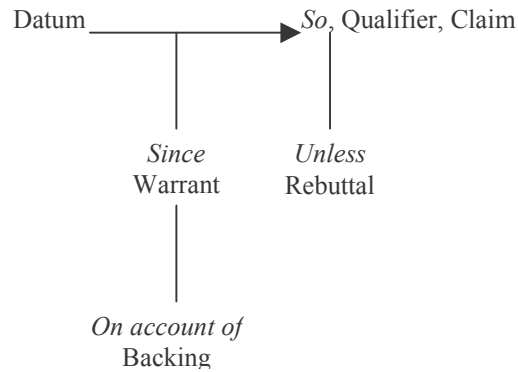


Figure 11 La structure élémentaire d'argumentation selon S. Toulmin

En poursuivant l'exemple précédent, le défendeur peut produire les données (données fictives) D suivantes : La consommation du même véhicule hybride a été comparée sur cinq cycles de circulation. Hormis le cycle 1 qui n'est qu'une sorte d'étalon, les autres cycles sont représentatifs de parcours typiques (cycle 2 : parcours urbains, cycle 3 : parcours autoroutiers, cycle 4 : parcours périurbains).

Consommation km/l	Véhicule Conventionnel	VHP Stratégie 1	VHP Stratégie 2
Cycle 1	7.72	18,96	18,6
Cycle 2	5.80	21,18	19,68
Cycle 3	12.4	17,23	21,89
Cycle 4	6.22	18,69	20,36

Tableau 2 Consommation d'un HEV en fonction de sa stratégie de pilotage

Une garantie (warrant): Une garantie G est une règle logique ou dialectique (syllogisme, enthymème, axiome du tiers exclu, contre-exemple, etc.) qui permet d'inférer la thèse à partir des données D. Des garanties telles que G autorisent à énoncer des thèses telles que C, à partir de données telles que D.

Pour permettre le passage des données D à la thèse C, le défendeur peut invoquer la garantie G suivante : La plus grande partie (80%) des kilomètres/an parcourus par les franciliens le sont sur des parcours urbains ou périurbains (donnée fictive).

Un fondement (Backing): Un fondement est un élément d'une argumentation qui vient appuyer, renforcer une garantie, si nécessaire.

La garantie G citée ci-dessus est basée sur le fondement F : « Les déplacements des franciliens en 1997-1998 : enquête globale de transport Préfecture de la région Ile-de-France /Direction régionale de l'équipement d'Ile-de-France - mai 2001 (information fictive).

Les conditions de réfutation (Rebuttal): Elles signalent les conditions dans lesquelles la garantie n'opère plus et donc les conditions qui rendent la thèse A réfutable.

Exemple R une nouvelle enquête globale de transport doit être engagée en 2003 et il se peut que la garantie G soit infirmée.

Le qualificateur modal (Qualifier) : Le type de garantie G invoquée par le défendeur, confère à la thèse C une force variable qui peut aller du nécessaire au possible en passant notamment par le vraisemblable. La fonction du qualificateur modal est d'indiquer la force de la thèse.

Sur la base des travaux de Toulmin, S. Newman a montré qu'il était possible de composer des argumentations complexes en combinant la structure élémentaire ci-dessus pour former par exemple des lignes argumentatives, des hiérarchies argumentatives, des convergences argumentatives, etc.

4.3.2.2. Structure de décision

Une structure de décision comprend les éléments suivants: une question, des alternatives, des critères d'évaluation, une évaluation basée sur une argumentation de chaque alternative par rapport à chaque critère, une décision fondée sur une pesée globale des évaluations associées aux différentes alternatives.

Les questions forment la première catégorie d'éléments des structures de décision. Par question, on entend ici, toute question posée en un point ou un autre du processus d'ingénierie du système. Par exemple, dans le cadre de la conception d'un GMP hybride parallèle la question « Quelle technologie de machine électrique utiliser ? ».

Les alternatives forment la deuxième catégorie d'éléments des structures de décision. Par alternative on entend toute réponse potentielle envisageable à la question posée. Par exemple, pour la question précédente on peut envisager l'utiliser une machine à courant continue, une machine triphasée avec deux variante (synchrone ou asynchrone).

Les critères d'évaluation forment la troisième catégorie d'éléments des structures de décision. Il s'agit des points de vue à partir desquels on peut estimer si les alternatives évaluées contribuent à la satisfaction ou non des attentes de l'acquéreur et des autres parties prenantes. Par exemple, dans l'évaluation des trois technologies de machines électriques en compétition doivent être pris en compte des critères d'efficacité fonctionnelle, de masse et d'encombrement, de rendement et d'amplitude des effets indésirables (pertes thermiques, CEM, etc.), de sûreté de fonctionnement et de sécurité des personnes, de coûts (à chaque étape du cycle de vie du système), de risques sur le projet.

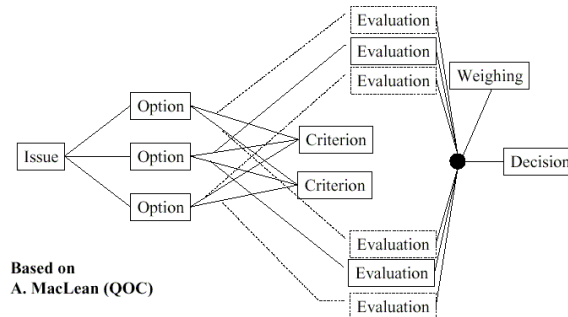


Figure 12 Structure de décision inspirée du formalisme QOC

Les évaluations forment la quatrième catégorie d'éléments des structures de décision. Une évaluation est un jugement de valeur (claim au sens de Toulmin) relatif à une alternative par rapport à un critère. Ce jugement est fondé sur une argumentation tel que présentée ci-dessus. Par exemple, dans la sélection d'un des trois moteurs électriques candidats, l'évaluation du MCC par rapport au critère disponibilité en utilisation peut aboutir à l'appréciation MTBF très insuffisant.

De plus, une évaluation est souvent dépendante du contexte de conception et notamment de l'ensemble des options qui ont été préalablement prises dans le processus de conception mais aussi de connaissances implicites qui font partie du « monde vécu » d'une communauté de travail qui lui permet d'échanger, de se comprendre et d'aboutir à des consensus.

Les décisions forment la dernière catégorie d'éléments des structures de décision. Une décision est l'expression d'un choix pour une option explicite fondé sur une préférence. Cette préférence est également un jugement de valeur (claim au sens de Toulmin) comme une évaluation d'une alternative par rapport à un critère mais à la différence d'une évaluation, cette préférence résulte d'une pesée globale prenant en compte toutes les évaluations relatives à toutes les alternatives et par rapport à tous les critères. Cette pesée est également argumentée.

4.3.2.3. Arbre des décisions

Le troisième niveau d'un processus pratique de décision est le niveau global qui couvre l'ensemble des décisions d'ingénierie prises au cours d'un projet de conception qui va de l'élaboration des spécifications techniques à la production des exigences spécifiées de ses constituants. Cet ensemble peut être structuré à l'aide de multiples relations comme dans le formalisme IBIS de Rittel ou DRL de Lee & Lai. Nous estimons que la multiplicité de ces relations non orthogonales rend ces formalismes peu opérationnels.

Aussi, en nous inspirant des travaux de Raymond Mc Call (concepteur du formalisme PHI - Procedural Hierarchy of Issues-), nous faisons l'hypothèse qu'il est possible de représenter ce réseau de décisions sous la forme d'un arbre. Cet arbre des décisions comporte deux types de nœuds, des nœuds questions suivis de nœuds alternatives, comme représenté sur la figure ci-dessous.

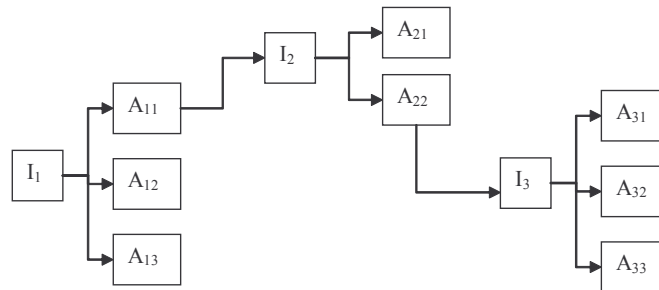


Figure 13. Arbres des décisions

La sélection d'une alternative constitue une décision qui d'une part concrétise un peu plus le système et d'autre par contraint nécessairement le contexte de conception. Si le choix d'une alternative ne soulève plus aucune question nouvelle, on peut considérer que la conception est terminée et la définition du système concrète et acquise.

Dans le cas contraire, de nouvelles questions sont soulevées dans le contexte courant (par exemple le contexte A22). Dans ce contexte la question I3 est posée, on peut alors considérer que I3 est une sous question de I2 au sens où Mc Call l'entend c'est-à-dire que la résolution de I3 contribue à la résolution du I2 et de proche en proche contribue partiellement à la résolution de la question initiale qui est de fournir la conception de produits réalisables correspondant aux attentes de l'acquéreur.

L'impossibilité de donner une réponse satisfaisante à I3 signifie vraisemblablement que la réponse fournie à la question I2 n'était pas satisfaisante et qu'il convient d'effectuer un retour en arrière.

Il se peut également que, dans la pratique, plusieurs questions se posent simultanément sans qu'il soit possible de définir un ordre de précedence, nous proposons alors de les présenter dans l'ordre chronologique de résolution.

Comme exemple, les questions suivantes relatives à la chaîne de transformation électrique d'un hybride parallèle peuvent être présentées sous forme d'un arbre des décisions qui arrêtent les spécifications suivantes : Machine électrique triphasée asynchrone ; Tension du réseau haute tension 176V ; Couple électrochimique de la batterie de puissance : A définir.

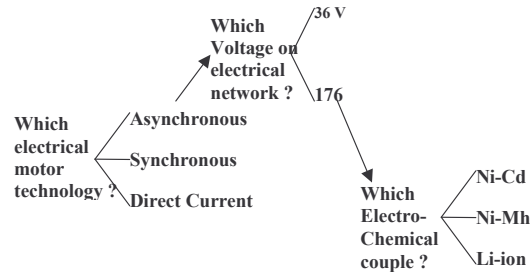


Figure 14 Exemple d'arbre des décisions

On peut noter que cet arbre des décisions est un arbre orienté processus (il suit le processus de conception) et qu'au fur et à mesure de son développement il fournit un état instantané d'avancement du processus de conception.

5 Articulations entre les processus d'ingénierie et le processus de décision.

Dans cette quatrième partie, nous examinons la façon dont le processus de délibération/décision s'articule avec les différents processus d'ingénierie d'un système, à savoir (1) la délibération/décision dans le cadre du processus d'ingénierie des exigences, (2) la délibération/décision dans le cadre de la transformation des exigences en une solution logique et physique du système, enfin (3) nous examinons la fonction de la délibération/décision dans le cadre du travail en collaboration.

5.1 Ingénierie de la décision et ingénierie des exigences

Le processus de délibération/décision doit pouvoir être sollicité en deux circonstances au moins.

D'abord au moment de la constitution du référentiel des exigences lors que l'analyse des attentes de l'acquéreur et des autres parties prenantes ont mis en évidence des exigences incertaines et/ou des exigences contradictoires. Le processus de délibération/décision doit permettre d'une part de construire des scénarios de développement permettant de faire face aux différentes incertitudes et d'autre part de trouver pour les exigences contradictoires, des compromis acceptables par toutes les parties prenantes.

Ensuite, pendant le processus de conception du système, certaines exigences du référentiel des exigences peuvent se révéler conflictuelles, le processus de délibération/décision est alors là pour résoudre ces conflits en trouvant les compromis acceptables par toutes les parties prenantes.

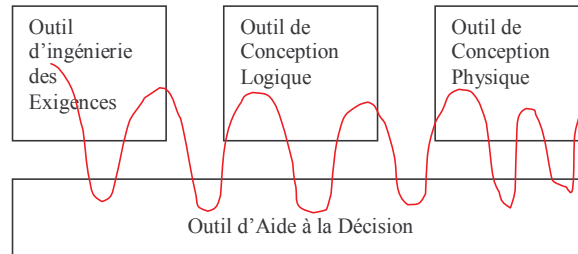


Figure 15 Relations entre outils d'ingénierie de système

5.2 Ingénierie de la décision et ingénierie de la solution

Le processus de délibération/décision doit pouvoir être sollicité en quatre circonstances au moins.

D'abord pour assurer le passage des spécifications techniques du système à sa conception logique. La conception logique du système est son premier stade de concrétisation. Ce passage suppose la traduction des exigences fonctionnelles en chaînes de transformation. Cette traduction comme nous l'avons montré ci-dessus suppose des choix.

Au sein de la conception logique, il suppose également des choix d'architecture dans l'organisation de ces chaînes de transformation

Lors du passage de la conception logique du système à sa conception physique, les concepteurs sont notamment confrontés à des questions d'allocation de fonctions techniques à des transformateurs physiques.

Au sein de la conception physique, les concepteurs sont notamment confrontés à des questions de dimensionnement, de technologie et d'architecture physiques des transformateurs physiques.

6 Conclusions

Comme l'indique l'IEEE 1220, l'ingénierie de systèmes est une activité multidisciplinaire. Ce caractère multidisciplinaire traduit la nécessité de faire coopérer et de faire se coordonner des acteurs de projet issus de divers métiers (« clients », gestionnaires, électriciens, mécaniciens, motoristes, automaticiens, monteurs, essayeurs, etc.) situés aussi bien dans l'entreprise qu'à l'extérieur.

Horst Rittel, quant à lui, rappelle dans l'article cité, que personne, parmi ces spécialistes, ne peut se prévaloir d'un point de vue supérieur à celui d'un acteur d'une autre spécialité en ce qui concerne le problème à traiter, ce qu'il pointe sous l'expression « the symmetry of ignorance ». Aussi selon lui, le travail coopératif de ces acteurs « devrait être organisé comme une argumentation ».

Place et formes de la décision en ingénierie système

Ce travail coopératif peut se réaliser pour une part importante au travers des relations informelles que les participants nouent entre eux. Ces relations informelles participent pour une bonne part à la constitution de ce « monde vécu » intersubjectif partagé par une communauté de travail, qui selon J. Habermas rend possible la compréhension, l'échange et enfin l'entente.

Le travail coopératif se réalise aussi pour une part plus ou moins significative au travers des multiples réunions techniques et revues. Le processus de délibération/décision, tel que nous l'avons présenté, offre un cadre permettant d'organiser les réunions techniques et les revues autour de deux types d'ordres du jour (1) ordre du jour Question/Options/Critères : énoncé des questions d'ingénierie à traiter, définition des alternatives de solutions envisageables, définition des critères d'évaluation ; (2) ordre du jour Délibération/Décision. Ces deux types d'ordre du jour étant séparés d'un temps suffisant pour permettre aux acteurs du projet, chacun pour sa partie et ses compétences, d'instruire les dossiers de définition et de justification de la définition, c'est-à-dire de produire les arguments techniques et économiques qui permettront de prendre des décisions en connaissance de cause.

Dans ces réunions, si le chef de projet a une place centrale d'animation, de modération et de recadrage en vue d'aboutir à une entente sur les décisions prises, la part prise par chacun des acteurs n'en est pas moins importante en raison du double rôle qui lui est assigné de défenseur de ses évaluations et de challenger des évaluations produites par les autres participants, rôles dans lesquels « le locuteur prétend à la vérité pour des énoncés (..), à la justesse pour des actions (..), à la véracité pour la communication (..) » (Habermas, op. cit). Le but du travail en coopération est alors de produire, à propos de la définition du système et de la justification de sa définition, une adhésion rationnellement motivée par une entente qui repose sur des convictions communes.

Un outil capable de (A) saisir , in vivo, dans le cadre d'une équipe de développement, le processus de délibérations/décisions dans ses différentes formes (écrit, voix et image), (B) de tracer ce processus dans sa chronologie, à ses différentes étapes (1) l'énonciation des problèmes à traiter, (2) la définition des critères de décision, (3) l'inventaire des différentes alternatives de solution, (4) l'évaluation contradictoire de chaque alternative vis-à-vis des différents critères de décision, (5) la pesée globale des différentes alternatives et le choix d'une solution, et (C) de le mémoriser d'un jalon de projet aux suivants, devrait à notre point de vue, constituer le cœur de tout outil support à l'ingénierie des systèmes.

Ce cœur décisionnel d'un outil d'ingénierie de systèmes permettrait (1) non seulement de consigner la définition du système, ce qui est une exigence minimale, (2) mais également de conserver les alternatives envisagées, les justifications des décisions, toujours fonction de situations changeantes (3) et enfin dans une perspective de capitalisation et de réutilisation des connaissances de l'entreprise, d'enregistrer les inférences pratiques, mises en œuvre pendant toute la durée du projet de développement, et qui constituent un capital pour les projets suivants de l'entreprise.

Références

- ANSI/EIA-632-1998, Processes for engineering a system, Approved 7 january 1999.
- [Castoriadis, 1978] Castoriadis Cornelius, Les carrefours du labyrinthe, Technique, Seuil, 1978
- [Dieudonné, 1968] Dieudonné Jean, Eléments d'analyse, tome 1, Gauthier-Villars, Paris 1968
- [Garello, 2000] Garello Pierre, Théorie de la décision, bilan et perspective, document de recherche, Centre de Recherche Economiques de l'Université de Saint Etienne, 2000.
- [Habermas, 1987] Habermas Jurgen, Théorie de l'agir communicationnel, vol 1, Rationalité de l'agir communicationnel et rationalisation de la société, Fayard, 1987.
- IEEE standard 1220-1998, IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process , Approved 8 december 1998.
- ISO 15288, Life-Cycle Management—System Life Cycle Processes
- [Lalande, 1983] Lalande André, Vocabulaire technique et critique de la philosophie, PUF, Paris, 14ième édition 1983.
- [Lee et Lai, 1996] Lee Jintae and Lai Kum-Yew, What's in Design Rationale ? , in Design Rationale, LEA, 1996.
- [Mac Lean et al, 1996] Mac Lean, A, and al, Questions, Options and Criteria : Elements of Design Space Analysis, in Design Rationale, LEA, 1996.
- [Mc Call, 1991] McCall, Raymond, PHI: A Conceptual Foundation for Design Hypermedia, Design Studies, Vol. 12, No. 1, 1991.
- [Newman et al, 19XX] Newman, Suzan, Pushing Toulmin Too Far, Xerox Palo Alto Research Center, 19XX.
- [Micouin et al, 2002] Micouin Patrice, Combes Emmanuel and Kieffer Jean Paul, The Uses of Argument in the Systems Engineering Process :An Application to Automotive Systems Engineering, 3rd INCOSE European Systems Engineering Conference, Toulouse, France, 21-24 may, 2002
- [Rittel, 1984] Rittel Horst, Second-Generation Design Methods, in Developments in Design Methodology, Cross Nigel, Wiley, 1984.
- [Schön, 1983] Schön Donald A., The Reflective Practitioner, How Professionals Think in Action, Basic Books, 1983.
- [Toulmin, 1958] Toulmin Stephen, The uses of argument, Cambridge University Press (CUP), 1958.
- Weber Max, Economie et société, Agora Pocket.

Summary

Mainly, this paper argues about two systems engineering topics, firstly, the impregnation of decision issues into the systems engineering process and secondly, the consistency of the argumentative approach of the decision about these multidisciplinary activities.