

Aide à la décision en réponse à appel d'offres : une approche intégrée de conception conjointe produit-processus, de gestion des risques et de retour d'expérience

Abdourahim Sylla

▶ **To cite this version:**

Abdourahim Sylla. Aide à la décision en réponse à appel d'offres : une approche intégrée de conception conjointe produit-processus, de gestion des risques et de retour d'expérience. Autre. Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, 2018. Français. NNT : 2018EMAC0004 . tel-02898879

HAL Id: tel-02898879

https://theses.hal.science/tel-02898879

Submitted on 14 Jul 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université Fédérale

Toulouse Midi-Pyrénées

THÈSE

en vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

délivré par

IMT - École Nationale Supérieure des Mines d'Albi-Carmaux

---

présentée et soutenue par

Abdourahim SYLLA

le 13 juillet 2018

Aide à la décision en réponse à appel d'offres : une approche intégrée de conception conjointe produit-processus, de gestion des risques et de retour d'expérience

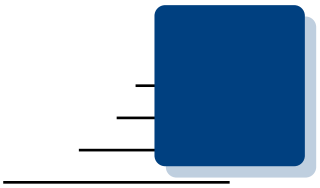
---

École doctorale et discipline ou spécialité :
EDSYS : Génie Industriel et Informatique

Unité de recherche :
Laboratoire Génie de Production, INP ENI Tarbes
Centre Génie Industriel, IMT Mines Albi

Directeur(s) de Thèse :
Thierry COUDERT, Maître de conférences HDR, INP ENI Tarbes, *(Directeur)*
Michel ALDANONDO, Professeur, IMT Mines Albi, *(Co-directeur)*

Autres membres du jury :
Eric BONJOUR, Professeur, ENSGSI Nancy, *(Rapporteur)*
Khaled HADJ-HAMOU, Professeur, INSA Lyon, *(Rapporteur)*
Nicolas PERRY, Professeur, ENSAM Bordeaux, *(Président)*
Marija JANKOVIC, Maître de conférences HDR, Centrale Supelec, *(Examinateur)*
Élise VAREILLES, Maître-Assistant HDR, IMT Mines Albi, *(Examinateur)*
Laurent GENESTE, Professeur, INP ENI Tarbes, *(Examinateur)*
Konstantinos KIRYTOPOULOS, Professeur, University of South Australia, *(Invité)*
Yvan BEAUREGARD, Professeur, ETS Montréal, *(Invité)*



Remerciements

Mon souhait le plus ardent, le plus constant : travailler avec des gens formidables, a encore été réalisé durant ces trois années de thèse. Je tiens profondément à remercier mon encadrement absolument remarquable : Thierry Coudert, Michel Aldanondo, Élise Vareilles et Laurent Geneste de tout ce qu'ils m'ont permis de réaliser. Travailler avec vous a été une expérience très enrichissante tant du point de vue scientifique qu'humaine. C'était une chance énorme pour moi d'apprendre et de travailler à vos côtés.

Je tiens aussi à remercier les personnes qui m'ont fait l'honneur de participer à mon jury de thèse :

- M. Nicolas Perry, d'avoir accepté d'examiner ce travail et de présider ce jury ;
- M. Eric Bonjour et M. Khaled Hadj-Hamou, qui m'ont fait l'honneur de rapporter sur ma thèse ;
- Madame Marija Jancovic, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Je remercie M. Yvan Beauregard et M. Konstantinos Kirytopoulos de m'avoir accueilli à l'École de Technologie Supérieure de Montréal (ETS) et la « National Technical University of Athens (NTUA) ». Merci de l'intérêt que vous avez porté sur ce travail.

Je voudrais aussi remercier l'ensemble des deux laboratoires CGI et LGP. Merci à Isabelle, secrétaire au CGI, pour son aide constante concernant mes démarches administratives. Merci à Paul Gaborit, enseignant chercheur au CGI, d'avoir mis à disposition des doctorants de l'IMT Mines Albi le super package latex qui facilite énormément la rédaction du mémoire.

Enfin, je pense à mes parents et mes amis (Moussa, Boukar, Kasso et Daffé). Votre amour et soutient constants m'ont donné l'énergie et la détermination indispensables à la réalisation de ce travail.

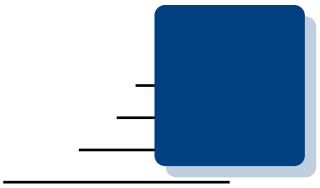
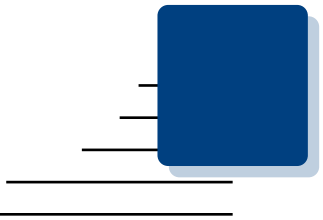


Table des matières

Remerciements . . . iii
Table des matières . . . v

Introduction générale . . . 1
1 Contexte : Situation du travail . . . 5
1.1 Relation client / fournisseur . . . 5
1.2 Processus de Réponse à Appels d'Offres . . . 7
1.3 Élaboration de l'offre technique . . . 10
1.4 Synthèse et idées directrices des travaux . . . 13
2 Problématiques de recherche . . . 15
2.1 Conception des offres techniques en situation non-routinière . . . 16
2.2 Caractérisation des offres techniques avec des indicateurs de confiance 22
2.3 Sélection de l'offre technique la plus intéressante . . . 28
2.4 Synthèse du chapitre et contributions visées . . . 31
3 Contributions scientifiques . . . 33
3.1 Extension des modèles de configuration à base de contraintes aux situations non-routinières . . . 34
3.2 Définition d'une métrique de confiance caractérisant les offres techniques basée sur des indicateurs factuels et subjectifs . . . 51
3.3 Proposition d'une approche d'aide à la décision multicritère basée sur le principe de la Pareto-dominance . . . 74
4 Conclusions et perspectives . . . 103
4.1 Conclusions . . . 103
4.2 Perspectives . . . 106

Bibliographie . . . 109



Introduction générale

Les activités industrielles des entreprises fournissant des produits ou des systèmes sont bien souvent issues de projets obtenus grâce à des propositions commerciales en réponse à des appels d'offres. Le marché actuel est caractérisé par une concurrence accrue et une demande croissante en produits ou systèmes personnalisés. Afin d'augmenter leur chiffre d'affaires et rester compétitives, les entreprises se doivent de proposer des offres adaptées aux besoins des clients, attractives et réalisables en réponse à de nombreuses sollicitations de différents clients. Dans ce contexte, le temps, les quantités de ressources et d'efforts nécessaires aux activités d'élaboration des réponses à appel d'offres doivent être maîtrisés afin de répondre à de nombreuses sollicitations, garantir la satisfaction des besoins exprimés par les clients et, le cas échéant, réduire les pertes en cas de refus de leurs propositions.

Afin de transmettre une proposition à un client, les entreprises soumissionnaires doivent élaborer des offres techniques constituées d'un système technique satisfaisant les besoins exprimés par le client et d'un processus de réalisation permettant de concevoir, produire ou assembler et livrer ce système. D'une part, cela implique une activité de conception d'offres techniques potentielles satisfaisant les besoins. D'autre part, cela nécessite une activité de sélection, parmi un ensemble d'offres potentielles, de l'offre technique la plus intéressante au regard de critères pertinents tels que le coût, la durée d'obtention ou les performances techniques.

Dans des situations où il existe une ou plusieurs offres techniques totalement conçues et satisfaisant la totalité des besoins exprimés par le client, il est nécessaire de choisir la plus intéressante pour préparer et transmettre la proposition au client. Dans cette situation, le risque de ne pas livrer le système technique dans les conditions énoncées (coût, délai et performances) est faible. La confiance de l'entreprise dans sa capacité à délivrer le système technique conformément aux attentes du client est forte.

A contrario, dans des situations où les offres techniques disponibles au sein de l'entreprise ne couvrent pas la totalité des besoins exprimés par le client, des offres partiellement définies peuvent exister et nécessiter des modifications, des adaptations ou des ajouts. Des activités de conception ou d'ingénierie sont alors nécessaires afin

d'élaborer des systèmes techniques et leur processus de réalisation. L'élaboration de nouveaux éléments de l'offre technique ou la modification d'éléments existants est une activité risquée car des incertitudes existent vis-à-vis de la satisfaction des attentes du client et des objectifs de l'entreprise. En effet, afin de limiter l'engagement de ressources et la durée de l'élaboration d'une proposition à transmettre au client, le travail d'ingénierie est souvent réduit à une simple préconception du système technique et du processus de réalisation dans lesquelles des incertitudes demeurent. La confiance de l'entreprise dans l'atteinte des objectifs peut s'avérer limitée. Les risques existent et il est primordial d'être en mesure de prendre les bonnes décisions en proposant une offre technique tenant compte de ces paramètres.

Aujourd'hui, l'élaboration des offres techniques repose le plus souvent sur l'expertise des personnes en charge de l'élaboration des offres qui, sur la base de leur expérience, extrapolent des offres existantes proposées dans le cadre d'appels d'offres passés. Des outils logiciels exploitant des connaissances relatives à des offres techniques existantes et s'apparentant à des logiciels de configuration peuvent leur venir en aide. Ceux-ci permettent de définir une partie de la solution en couvrant une partie seulement des besoins exprimés par le client. L'autre partie est généralement réalisée manuellement. Ceci génère des cycles de conception longs, des engagements de ressources importants et des prises de risques non maîtrisées pouvant conduire à des offres techniques non réalisables. Le temps alloué par les clients aux entreprises soumissionnaires pour la transmission des offres étant le plus souvent très contraint, ces entreprises ne peuvent plus étudier en détail chaque sollicitation. Dans les travaux scientifiques, les modèles et les outils proposés ne sont pas adaptées à ces situations où les offres techniques existantes au sein de l'entreprise ne couvrent pas la totalité des besoins exprimés par le client. En conséquence, dans le cadre de nos travaux, nous proposons des approches, des modèles, des méthodes et des outils à destination de ces entreprises pour les aider dans leurs activités d'élaboration d'offres techniques dans de telles situations. Les contributions clés de nos travaux portent sur les deux activités d'élaboration d'une offre technique dans un processus de réponse à appel d'offres : (i) la conception et l'évaluation des offres techniques ; (ii) la sélection de l'offre technique la plus intéressante.

Dans la première contribution, nous proposons des solutions pour étendre l'utilisation des logiciels de configuration pour mettre au point des offres techniques dans des situations où des activités de conception sont nécessaires. Dans la seconde contribution, nous proposons une méthode permettant aux entreprises, à l'aide d'indicateurs de confiance, d'évaluer l'aptitude d'une offre technique à être réalisée et livrée conformément aux attentes et objectifs fixés tels que le coût et la durée de développement. La troisième contribution décrit une approche d'aide à la décision multicritère pour aider à la sélection de l'offre technique la plus intéressante en tenant compte de l'aptitude de chaque offre à être conforme aux attentes et aux objectifs fixés.

Nos travaux ont été réalisés dans le cadre du projet PRAO (Processus de Réponse à Appel d'Offres) cofinancé par la région Occitanie et l'Université de Toulouse. Ils sont présentés sous la forme d'une thèse par articles organisée en quatre chapitres.

Le premier chapitre permet de situer nos travaux. Nous introduisons les relations client / fournisseur ainsi que les différents modes d'identification de fournisseurs par les entreprises. Le mode d'identification par appel d'offres ainsi que le processus de réponse à appel d'offres sont décrits et caractérisés. La notion d'offre technique, les activités d'élaboration d'offres, les différentes situations d'élaboration d'offres, les approches utilisées et les difficultés associées sont également présentées.

Dans le deuxième chapitre, à l'aide d'une analyse des pratiques et outils industriels ainsi que des travaux scientifiques concernant l'élaboration d'offres techniques dans les processus de réponse à appel d'offres, les problèmes techniques majeurs et les problèmes scientifiques associés à nos travaux sont définis.

Le troisième chapitre est dédié aux trois articles scientifiques où sont présentés nos contributions :

- le premier article, publié dans la revue « *Computers in Industry* » [Sylla+2018b], propose des solutions pour modifier et adapter les modèles de configuration de produits propres aux situations de conception routinière pour couvrir la configuration de systèmes techniques dans des situations de conception non-routinière lors de l'élaboration des offres techniques dans un processus de réponse à appel d'offres ;
- le deuxième article, publié dans la revue « *International Journal of Production Research* » [Sylla+2017c], présente des indicateurs de confiance ainsi qu'une méthode permettant de les évaluer afin de caractériser chaque offre technique (système technique et processus de réalisation). Ces indicateurs permettent de prendre en compte les incertitudes, les imprécisions et les risques associés aux activités d'élaboration des offres techniques ;
- le troisième article, soumis à une autre revue [Sylla+2018a], propose une approche d'aide à la décision multicritère basée sur le principe de Pareto-dominance et utilisant la théorie des possibilités pour aider à la sélection de l'offre technique la plus intéressante tout en tenant compte des incertitudes, des imprécisions et de la confiance dans chaque offre.

Le dernier chapitre présente la conclusion, une discussion générale sur l'utilisation des méthodes et outils proposés ainsi que les perspectives de nos travaux de recherche.

Chapitre



Contexte : Situation du travail

1.1 Relation client / fournisseur 5
1.2 Processus de Réponse à Appels d'Offres 7
1.3 Élaboration de l'offre technique 10
1.4 Synthèse et idées directrices des travaux 13

Les travaux présentés dans ce mémoire visent à développer des modèles, méthodes et outils pour aider les entreprises répondant à des appels d'offres. Nous nous intéressons, plus précisément, à l'élaboration de leurs offres techniques durant leur processus de réponse. Ce chapitre a pour objectif de situer le contexte de nos travaux, préciser les notions utilisées et identifier les problèmes scientifiques et techniques qui en découlent.

Dans la section 1.1, une introduction des relations client / fournisseur ainsi que les différents modes d'identification de fournisseurs sont synthétisés. Dans la section 1.2, la notion d'appels d'offres est détaillée, le Processus de Réponse à Appel d'Offres (PRAO) est décrit et ses caractéristiques énoncées. Dans la section 1.3, la notion d'offre technique est caractérisée et les activités du *PRAO* dédiées à leur élaboration sont décrites. Les différentes situations d'élaboration d'offres techniques, les approches utilisées et les difficultés associées sont également présentées. Dans la section 1.4, une synthèse de ce chapitre, les idées clés qui gouvernent nos travaux et la structure du reste du mémoire sont évoquées.

1.1 Relation client / fournisseur

Dans nos travaux, nous ne considérons que les appels d'offres conduisant à la conception, fabrication et livraison de systèmes physiques ; en opposition aux services qui sont hors périmètre de nos travaux [Zeithaml+1985]. De manière identique à l'ingénierie système, nous considérons qu'un système correspond à un ensemble de sous-systèmes et de composants en interaction organisés suivant une architecture physique [Haskins+2006].

La complexité des systèmes délivrés par certaines industries, issues par exemple des secteurs de l'aéronautique et du spatial, des transports, des bâtiments et

des travaux publics, font qu'ils doivent être décomposés en plusieurs sous-systèmes mis au point séparément [Haskins+2006]. Ces systèmes sont élaborés à partir de technologies variées (mécanique, électrique, électronique et automatique) qu'il faut ensuite intégrer en exploitant des compétences métiers spécifiques liées aux technologies utilisées [Haskins+2006]. Le développement et la production de ces systèmes sont généralement associés à des risques qu'il s'agit de maîtriser (dépassement des coûts et des durées de développement et de réalisation) [Petersen+2003 ; Ragatz+2002].

Il est fréquent que les entreprises ne disposent pas en interne de l'ensemble des ressources, des technologies et des compétences nécessaires pour développer et fabriquer les systèmes entièrement [Aguezzoul+2006 ; Browning+2002 ; Cooper2003], ou qu'elles décident, pour des raisons stratégiques (rentabilité économique, métier cible, capacité de production) de ne pas développer et fabriquer certains sous-systèmes mais de les sous-traiter ou approvisionner [Aguezzoul+2006]. Dans les travaux scientifiques comme dans l'industrie, cette décision est connue sous le nom de *« make or buy »* [Meng+2018 ; Walker+1984].

En conséquence, ces entreprises adoptent des stratégies de développement de systèmes basées sur des processus qui leur permettent de sous-traiter ou approvisionner toute ou partie du système à développer [Browning+2002 ; Cooper2003 ; Mammeri2017]. Dans le cadre d'une relation client / fournisseur *(Business-to-Business ou B to B)*, les entreprises approvisionnant leurs sous-systèmes ou composants sont nommées *Client* et les entreprises développant et / ou fournissant ces derniers, *Fournisseurs* [Meng+2018 ; Walker+1984]. Étant donné que les sous-systèmes fournis par les différents fournisseurs sont intégrés et assemblés avec d'autres pour former le système complet, le choix de ces fournisseurs revêt une grande importance sur les performances des produits proposés par les entreprises clientes [Aguezzoul+2006]. En conséquence, selon le contexte, les entreprises clientes adoptent différents modes d'identification de fournisseurs pour choisir ceux les plus à même de leur livrer des sous-systèmes de qualité, dans un délai et avec un coût qui respectent leurs exigences [Aguezzoul+2006 ; Mammeri2017]. Quatre modes d'identification de fournisseurs ont été identifiés dans les travaux de [Mammeri2017] :

1. Source unique ou acquisition sans concurrence : le client choisit volontairement un fournisseur sur la base de son expertise. Ce mode d'identification est souvent rencontré dans les situations où peu d'entreprises détiennent l'expertise requise.
2. Appel d'Offres (AO) : le client met en concurrence plusieurs fournisseurs potentiels. Chaque fournisseur potentiel soumet une proposition, composée d'une offre technique et d'une offre commerciale, chiffrée en termes de coût, de délai de livraison et de performances techniques. Le fournisseur soumettant la proposition la plus intéressante est choisi à l'issue du processus d'appel d'offres.
3. *Design compétition* : le client invite plusieurs fournisseurs potentiels à réaliser la première phase d'ingénierie. Le fournisseur qui présente l'offre technique la plus intéressante est choisi pour les autres phases de développement.
4. *Open book tendering* : le client et le fournisseur travaillent ensemble sur les premières phases de développement. Ils évaluent et se mettent d'accord sur tous les aspects liés au processus de développement. Ensuite, sur cette base, un contrat est établi entre le client et le fournisseur.

Nos travaux se situent dans le cadre de l'identification de fournisseurs par appels d'offre (AO). Ce mode d'identification présente quatre avantages majeurs pour les entreprises clientes [Mammeri2017] : (i) un pouvoir de négociation plus important, (ii) une connaissance assez précise des coûts de développement et des dates de livraison à la fin du processus de sélection du fournisseur, (iii) l'incitation du fournisseur à optimiser les coûts de développement et à respecter les délais de livraison, et (iv) un partage des risques liés au processus de développement.

De plus, avec l'essor des technologies Internet et la mondialisation, la sollicitation de nombreux fournisseurs devient de plus en plus facile pour une entreprise cliente. En conséquence, le choix de fournisseurs se fait de plus en plus au moyen d'appels d'offres [Arslan+2006 ; Botero Lopez2014]. D'autre part, selon l'Observatoire Économique de la Commande Publique (OECP), organisme chargé du recensement annuel des marchés publics conclus en France, le nombre de contrats publics recensés en 2013 s'élève à près de 100.000 pour un montant total de plus de 7 milliards d'euros HT [OECP2013]. Au moins 80 % de ces contrats ont été conclus grâce à des appels d'offres [OECP2013].

Du point de vue des fournisseurs, également appelés *Soumissionnaires* dans les processus d'appel d'offres, la recrudescence des appels d'offres représente un gisement à exploiter pour augmenter leur chiffre d'affaires. Celle-ci engendre, de plus, de nombreux défis, notamment : (i) une compétition accrue due à la présence d'autres entreprises qui concourent à l'obtention des contrats, (ii) des engagements de plus en plus forts vis-à-vis des entreprises clientes, (iii) une augmentation des demandes de produits personnalisés, (iv) des délais de réponse très contraints par les clients.

En conséquence, pour augmenter leur chiffre d'affaires et rester compétitives, les entreprises soumissionnaires doivent proposer des offres personnalisées, compétitives et réalisables aux nombreuses sollicitations de différents clients [Arslan+2006]. Pour accomplir cela, elles doivent formaliser et mettre en œuvre des Processus de Réponse à Appel d'Offres (PRAO) efficaces. Ces processus doivent permettre aux entreprises soumissionnaires :

- d'étudier rapidement les sollicitations des clients ;
- d'élaborer et de soumettre rapidement des propositions personnalisées, compétitives et réalisables ;
- d'optimiser la quantité de ressources et d'efforts nécessaires de manière à participer à plus de réponse à appel d'offres.

Nos travaux visent à proposer des modèles, méthodes et outil pour aider les entreprises soumissionnaires dans leur processus de réponse à appel d'offres et plus précisément dans l'élaboration de l'offre technique. Dans la section qui suit, une présentation plus détaillée des appels d'offres et des processus de réponse à appel d'offres est proposée.

1.2 Processus de Réponse à Appels d'Offres

Dans le cadre d'un appel d'offres, deux parties sont directement impliquées : d'une part le client (également appelé le donneur d'ordre ou commanditaire) et,

d'autre part, les entreprises soumissionnaires (également appelés fournisseurs potentiels). Le client, grâce à un processus d'appel d'offres, publie un Appel d'Offres (AO) ou envoie des Invitations à Soumettre (IS) à des entreprises soumissionnaires pré-sélectionnées. Une entreprise soumissionnaire, de son côté, après la détection d'un AO (ou la réception d'une IS), transmet (ou non) une proposition au client en mettant en œuvre un Processus de Réponse à Appels d'Offres (PRAO).

Deux types d'appels d'offres peuvent être distingués suivant que le donneur d'ordre est une entreprise privée (AO pour les marchés privés) ou une organisation publique (AO pour les marchés publics). Alors que les AO pour les marchés privés ont pour but principal la satisfaction des intérêts de l'entreprise cliente, les AO pour les marchés publics ont pour objectifs, en plus de trouver de meilleures affaires, d'assurer la transparence dans les processus d'achats des organisations publiques, mais aussi, de garantir une certaine équité pour tous les fournisseurs potentiels [Botero Lopez2014].

Suivant le type d'appel d'offres (marchés privés ou publics), des normes et des règles spécifiques peuvent s'appliquer. Ces normes varient selon les pays et, parfois, selon le type d'industries. Nos travaux portant sur le PRAO et, plus précisément, sur l'élaboration des offres techniques, nos contributions restent génériques et peuvent être utilisées indépendamment du type d'appel d'offres (public ou privé) et des normes et règles appliquées.

Le PRAO est constitué d'un ensemble d'activités à réaliser et d'un ensemble de décisions à prendre de la part d'une entreprise soumissionnaire en vue de répondre à une sollicitation d'un client. Dans [Chalal+2008], les auteurs ont proposé un PRAO constitué de quatre activités : (A1) l'analyse de l'opportunité (ou de l'appel d'offres), (A2) l'élaboration de l'offre technique, (A3) le calcul du prix de l'offre, et (A4) la transmission de la proposition (offre technique et offre commerciale) au client. Les auteurs considèrent aussi un problème de décision dans le PRAO (D1) : il s'agit de la décision « soumettre ou de ne pas soumettre de proposition » ou *Bid/No bid* en réponse à une sollicitation [Chalal+2008 ; Leśniak2016 ; ShokriGhasabeh+2016].

Sur la base des travaux de [Chalal+2008], nous considérons le PRAO comme un processus composé de cinq activités (A1, A2.1, A2.2, A3 et A4) et de trois problèmes de décision (D1, D2 et D3), tel que présenté en figure 1.1. Dans nos travaux, nous affinons donc l'activité A2 de [Chalal+2008] en une activité A2.1 de *Conception et évaluation des offres techniques* et en une activité A2.2 de *Sélection de l'offre technique la plus intéressante.*

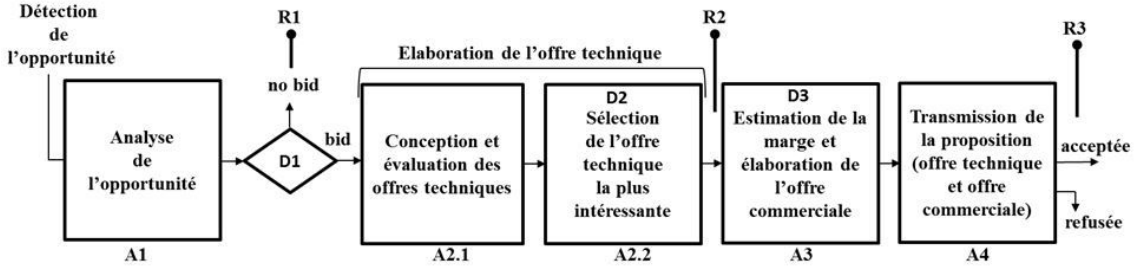


Figure 1.1 – Processus de Réponse à Appel d'Offres adapté de [Chalal+2008]

Le PRAO commence donc après la détection d'un appel d'offres ou la réception d'une invitation à soumettre de la part d'une entreprise cliente et s'arrête à la soumission d'une proposition (offre technique et offre commerciale) au client :

(A1 / D1) Une analyse de l'opportunité est en premier lieu réalisée. Cette analyse conduit à la décision de soumettre ou non une proposition.

(A2.1) Si la décision de soumettre une proposition a été prise, l'entreprise soumissionnaire conçoit, sur la base du cahier des charges client et de ses compétences, une ou plusieurs offres techniques, chacune évaluée en termes de coût, de performances techniques et de durées d'obtention.

(A2.2 / D2) L'entreprise soumissionnaire compare alors les différentes offres techniques et sélectionne la plus intéressante au regard de critères pertinents.

(A3 / D3) Sur l'offre technique sélectionnée, l'entreprise soumissionnaire va déterminer sa marge et élaborer son offre commerciale.

(A4) La proposition, constituée d'une offre technique et d'une offre commerciale, est alors transmise au client.

Très souvent, le PRAO se caractérise par une durée de réponse très brève pour transmettre une proposition (offre technique et offre commerciale) à l'entreprise cliente [Arslan+2006 ; Kromker1998]. De plus, chaque activité du PRAO présente un certain nombre d'incertitudes et d'imprécisions dues à la nature incomplète, vague et hypothétique des informations disponibles [Chapman+2000], ce qui ajoute davantage de difficultés dans la réalisation des activités et dans les prises de décision.

Une dimension indispensable à prendre en compte dans le PRAO est la gestion des risques. Trois types de risques (R1, R2 et R3) en PRAO ont été identifiés dans [Botero Lopez2014] et complètent la figure 1.1 :

(R1) Le premier type de risque consiste à ne pas répondre favorablement à une sollicitation suite à une mauvaise analyse de l'opportunité (A1) et donc à passer à côté d'une bonne affaire.

(R2) Le deuxième type de risque consiste à transmettre une proposition non réalisable à l'entreprise cliente. Par exemple, au niveau de l'activité de sélection de l'offre technique la plus intéressante (A2.2), le choix d'une offre technique satisfaisant les besoins techniques et fonctionnels du client mais dont la faisabilité n'a pas été vérifiée, présente des risques de dépassement de coût et de délai. En d'autres termes, une fois que la proposition est acceptée par l'entreprise cliente, l'entreprise soumissionnaire n'est pas capable de développer et de livrer le système conformément aux attentes (attentes du client et objectifs commerciaux de l'entreprise soumissionnaire). Dans nos travaux, ce type de risque $R2$ est l'un des éléments clés de nos problématiques et contributions.

(R3) Le troisième type de risque consiste en le refus de la proposition par l'entreprise cliente. Étant donné que l'entreprise soumissionnaire s'engage dans une procédure de compétition, elle ne possède aucune garantie sur l'acceptation de sa proposition par le client. Ainsi, dans le cas où sa proposition est refusée, les ressources, le temps et les efforts engagés sont perdus [Kromker1998].

La figure 1.2 synthétise les caractéristiques clés du PRAO.

Plusieurs travaux scientifiques se sont intéressés au PRAO et ont proposé des outils et des méthodes pour aider les entreprises soumissionnaires dans les différentes activités. Dans [Urquhart+2017], une analyse très récente de la littérature sur le

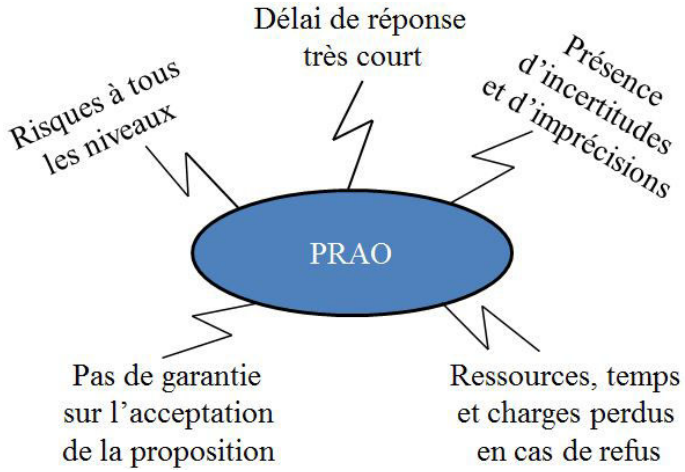


Figure 1.2 – Caractéristiques clés du PRAO

PRAO a été réalisée. Dans cette analyse, 115 articles de journaux ont été analysés et de nombreux thèmes ont été abordés. Cette étude montre que près de 50 % des travaux répertoriés portent sur les problèmes de décision identifiés dans la section 1.2 : « soumettre / ne pas soumettre » (D1) et « estimation de la marge » (D3).

Nos travaux se concentrent sur l'élaboration de l'offre technique (A2.1 et A2.2) en tenant compte des risques de type $R2$ et des caractéristiques clés du PRAO identifiées. Dans la section suivante, une présentation plus détaillée des activités de l'élaboration de l'offre technique (A2.1 et A2.2) ainsi qu'une analyse plus approfondie des travaux recensés sur ce sujet sont présentées.

1.3 Élaboration de l'offre technique

Dans nos travaux, nous considérons qu'une offre technique est constituée d'un système technique et de son processus de réalisation. Le système technique est la solution technique répondant aux besoins techniques et fonctionnels du client. Il est constitué de sous-systèmes et de composants qui sont intégrés suivant l'architecture physique du système. Le processus de réalisation représente les activités clés et les ressources nécessaires à la conception et à la réalisation de ce système technique [Kromker1998 ; Sylla+2017a].

Pour élaborer sa proposition, l'entreprise soumissionnaire doit concevoir et évaluer en termes de coût, de performances techniques et de durée d'obtention, une ou plusieurs offres techniques sur la base des besoins exprimés par le client et de ses connaissances (A2.1) [Kromker1998 ; Sylla+2017a]. Ensuite, sur la base de critères de décision pertinents, l'offre technique la plus intéressante doit être identifiée (A2.2) afin d'élaborer l'offre commerciale et transmettre cette proposition au client. La figure 1.3 détaille les deux activités A2.1 et A2.2.

La notion de connaissance mentionnée ici est très importante dans les activités de conception en général, et dans l'élaboration d'une offre technique en particulier [AFNOR1988 ; Djefel2010]. Selon Chandrasekaran [Chandrasekaran1986], trois types de connaissances peuvent être distinguées lors d'une activité de conception :

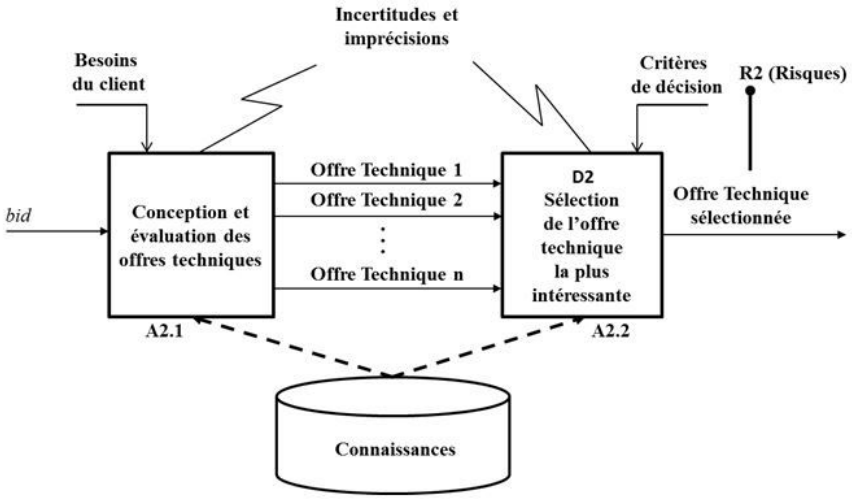


Figure 1.3 – Élaboration de l'offre technique

(i) les connaissances sur le domaine du système ou du processus à concevoir, (ii) les connaissances sur la démarche ou la manière de les concevoir et (iii) les connaissances sur les besoins à l'origine du problème de conception. En effet, pour concevoir une offre technique, une entreprise soumissionnaire se base sur les besoins exprimés par le client et utilise les connaissances disponibles sur les offres techniques (systèmes techniques et processus de réalisation) qui ont déjà été conçues et développées au sein de l'entreprise. Ces connaissances portent sur les éléments qui constituent les systèmes techniques (les connaissances sur les sous-systèmes, les composants et les technologies) et sur les éléments qui constituent le processus de réalisation (les connaissances sur les activités et les ressources).

Selon les connaissances disponibles et par rapport aux besoins exprimés par le client, la conception et l'évaluation des offres techniques satisfaisant ces besoins, peuvent nécessiter une activité d'ingénierie plus ou moins conséquente [Chandrasekaran1986]. En d'autres termes, plus l'entreprise soumissionnaire possède de connaissances relatives à la conception et à l'évaluation d'offres techniques satisfaisant les besoins du client, moins l'activité d'ingénierie sera conséquente lors de l'élaboration de l'offre technique.

En conséquence, les situations varient suivant la quantité de connaissances disponibles entre deux situations extrêmes. Pour la première, toutes les connaissances nécessaires à la conception et à l'évaluation des offres techniques sont disponibles. Cette situation s'apparente à (i) une conception routinière telle que définie dans [Chandrasekaran1986] et (ii) à une situation industrielle de type *« Assemble/Make-To-Order (AMTO) »* [Siddique+2006]. Ces connaissances sont, dans certains cas, formalisées et implémentées dans des outils informatiques qui permettent de concevoir une ou plusieurs offres techniques (systèmes techniques et processus de réalisation) correspondant aux besoins exprimés par le client. Cela signifie que l'ensemble des besoins clients a été pré-étudié et que des offres techniques qui correspondent à ces besoins ont d'ores-et-déjà été conçues et évaluées [Sylla+2017c]. Ainsi, dans l'élaboration de l'offre technique, l'étape d'évaluation des offres est plus précise et

plus certaine. C'est-à-dire que les valeurs des caractéristiques de l'offre technique (coût, performances techniques et durée d'obtention) sont plus précises et plus conformes à la réalité [Sylla+2017b]. Il y a peu de risques quant à la bonne réalisation des systèmes techniques [Sylla+2017b] et l'entreprise soumissionnaire a une confiance très grande dans les offres techniques proposées aux clients. En outre, dans cette situation, étant donné que des offres existent, l'élaboration de l'offre se réduit, très souvent, à la sélection de l'offre technique la plus intéressante au regard de critères pertinents (coût, performances techniques et durée d'obtention). L'entreprise soumissionnaire, parfois aidée par des outils d'aide à la décision multicritère, sélectionne l'offre technique à intégrer à la proposition à transmettre au client. Une fois l'offre acceptée, le système technique associé à la proposition est assemblé / fabriqué et livré au client.

Dans la deuxième situation, les connaissances nécessaires à la conception et à l'évaluation des offres techniques ne sont pas entièrement disponibles. Cette situation s'apparente à (i) une conception non-routinière [Chandrasekaran1986] et (ii) à une situation industrielle de type *« Engineer-To-Order (ETO) »* [Siddique+2006]. Pour élaborer l'offre technique, des activités d'ingénierie deviennent alors nécessaires [Chandrasekaran1986 ; Sylla+2017c]. Deux approches peuvent être utilisées par les entreprises soumissionnaires. La première consiste à établir une conception détaillée. Il s'agit, pour chaque offre technique, de concevoir avec un niveau de détail élevé, tous les éléments constituant le système technique (les sous-systèmes, les composants et leurs intégrations) et tous les éléments constituant le processus de réalisation (les activités, les ressources et les risques potentiels) [Pahl+2007]. Cette conception détaillée permet de réduire les incertitudes, les imprécisions et les risques lors de l'élaboration de l'offre technique [Sylla+2017b]. Cependant, cette approche nécessite un temps et un engagement de ressources importants [Pahl+2007]. Or, comme mentionné dans la section 1.2 et souligné en figue 1.2, dans de nombreux cas, le délai demandé par l'entreprise cliente aux entreprises soumissionnaires pour la transmission de leur proposition est très court [Arslan+2006 ; Kromker1998]. En outre, les soumissionnaires n'ont aucune garantie sur l'acceptation de leur offre [Botero Lopez2014 ; Kromker1998]. En conséquence, consacrer un temps important et engager une grande quantité de ressources pourra conduire à de pertes substantielles en cas de refus de la proposition par le client.

La deuxième approche consiste à établir une « pré-conception ». Pour chaque offre technique, cela consiste à faire des choix clés pour le système technique et pour le processus de réalisation [Pahl+2007], par exemple, faire les choix des technologies pour les sous-systèmes au niveau du système technique et faire les choix des activités, des ressources et des risques clés au niveau du processus de réalisation. Cette approche permet de réduire le temps et les quantités de ressources nécessaires au travail d'élaboration de l'offre technique [Sylla+2017c]. Cependant, étant donné que certains éléments constituant les offres techniques ne sont pas conçus ou définis, ou ne le sont que partiellement, les connaissances sur ces éléments sont incomplètes. Ce manque de connaissance engendre des incertitudes et des imprécisions sur les caractéristiques des offres techniques [Chapman+2000 ; Sylla+2017b]. Dans de nombreux cas, le choix de l'offre technique à considérer dans la proposition est fait par un expert sur la base de son expérience et de son ressenti [Sylla+2017b]. Ce choix subjectif peut conduire à une offre technique non réalisable au regard des attentes (coût, performances

techniques et délai de livraison) et donc au non-respect des objectifs entraînant ainsi des pertes non-négligeables pour l'entreprise soumissionnaire [Sylla+2017b].

Plusieurs travaux de recherche se sont intéressés à l'élaboration des offres techniques mais la plupart se concentrent uniquement sur l'activité de conception des offres techniques. Par exemple, dans le cadre du projet TSS *(Tender Support System)*, un système expert a été développé pour aider à la conception des offres techniques concernant le développement de pompes centrifuges industrielles [Vanwelkenhuysen1998]. Le but de ce travail était de réduire le temps de conception des offres techniques en augmentant le nombre de systèmes techniques standards (des systèmes qui ont déjà été entièrement conçus et développés). Dans le cadre du projet BIDPREP *(an integrated system for simultaneous BID PREParation)*, un outil de configuration des offres techniques a été développé [Kromker1998]. Sur la base des spécifications des besoins du client et en utilisant des offres techniques prédéfinies (des offres techniques standards), l'outil de configuration permet de concevoir des offres techniques satisfaisant les besoins du client. Dans le cadre du projet DECIDE *(DECIsion support for optimal biDding in a competitive business Environnement)*, une méthodologie et un outil d'aide à la décision ont été proposés pour la définition et l'évaluation des offres techniques [DECIDE1998].

Le point commun de ces travaux est que les offres techniques sont conçues (définies) à partir d'un espace d'offres techniques standards, c'est-à-dire, à partir des offres techniques qui ont déjà été complètement conçues avant le travail d'élaboration de l'offre technique. Ces travaux se situent donc dans la situation où les connaissances nécessaires à l'élaboration de l'offre technique sont disponibles (les situations de conception routinière ou AMTO). Ils ne considèrent donc pas les problèmes d'incertitudes, d'imprécisions et de risques lors de l'élaboration d'une offre technique dans le processus de réponse à appel d'offres.

1.4 Synthèse et idées directrices des travaux

Ce chapitre a permis de mettre en évidence de nombreux facteurs qui rendent difficile le Processus de Réponse à Appel d'Offres (PRAO) et plus particulièrement les activités d'élaboration de l'offre technique. Il s'agit notamment de l'augmentation des demandes de produits personnalisés de la part des clients, de la présence d'incertitudes et d'imprécisions due au manque de connaissance (incertitude et imprécision épistémiques) et de la présence de risques de différentes natures associés aux activités. Les différentes situations rencontrées (conception routinière / AMTO et conception non-routinière / ETO) lors de l'élaboration de l'offre technique, les approches utilisées (établir une conception détaillée ou établir une pré-conception), leurs avantages, leurs inconvénients ainsi que les difficultés associées ont été également mises en évidence.

Nos travaux se concentrent sur les situations où des activités d'ingénierie sont nécessaires, c'est-à-dire les situations de conception non-routinière / ETO. Dans ces situations, les entreprises soumissionnaires ont clairement besoin d'une approche leur permettant d'élaborer une offre technique tout en réduisant le temps, les quantités de ressources et d'efforts à mettre en œuvre, tout en prenant en compte les incertitudes et les imprécisions et en maîtrisant les risques associés aux activités. Ainsi, nos travaux se situent dans l'approche qui consiste à établir une pré-conception lors

de l'élaboration de l'offre technique dans un processus de réponse à appel d'offres. Pour prendre en compte les incertitudes et les imprécisions et maîtriser les risques associés aux activités, nous proposons de caractériser chaque offre technique avec des indicateurs de confiance. Ainsi, en utilisant ces indicateurs de confiance associés à une approche d'aide à la décision pertinente, l'entreprise soumissionnaire peut prendre en compte les incertitudes, les imprécisions et les risques associés aux activités dans le choix de l'offre technique à considérer pour la proposition à transmettre au client.

Trois problèmes scientifiques et techniques majeurs, chacun associé à une contribution scientifique valorisée par un article de journal, sont soulevés :

Problème 1 Comment concevoir des offres techniques dans des situations de conception non-routinière ?

Contribution 1 Extension des modèles de configuration à base de contraintes aux situations non-routinières [Sylla+2018b].

Problème 2 Comment caractériser chaque offre technique avec des indicateurs de confiance qui reflètent l'aptitude de l'offre à être conforme aux attentes et aux objectifs fixés ?

Contribution 2 Définition d'une métrique de confiance caractérisant les offres techniques basée sur des indicateurs factuels et subjectifs [Sylla+2017c].

Problème 3 Comment prendre en compte les incertitudes, les imprécisions et la confiance dans le choix de l'offre technique à considérer pour la proposition à transmettre au client ?

Contribution 3 Proposition d'une approche d'aide à la décision multicritère basée sur le principe de la Pareto-dominance, tenant compte des incertitudes, des imprécisions et de la confiance dans chaque offre [Sylla+2018a].

Dans le chapitre 2, chaque problème scientifique et technique est détaillé et défini à la suite d'une analyse des pratiques industriels et des travaux scientifiques existants. Dans le chapitre 3, les trois contributions scientifiques de nos travaux sont présentées. Celles-ci ont été valorisées dans des articles de journaux indexés *Web of Science* : les deux premières contributions sont d'ores-et-déjà publiées et la troisième est actuellement en cours d'évaluation. Enfin, dans le chapitre 4, une discussion générale, une synthèse de nos propositions et les perspectives de recherche concluent ce mémoire.

Chapitre



Problématiques de recherche

2.1 Conception des offres techniques en situation non-routinière 16
2.1.1 Problème technique lié à la conception des offres techniques . . . 16
2.1.2 Éléments généraux concernant la configuration 18
2.1.3 Configuration de systèmes et de processus 19
2.1.4 Formalisation des connaissances en configuration 20
2.1.5 Problématiques scientifiques 22
2.2 Caractérisation des offres techniques avec des indicateurs de confiance . 22
2.2.1 Problème technique lié à la confiance en les offres techniques . . . 23
2.2.2 Évaluation de la confiance en un système technique 24
2.2.3 Évaluation de la confiance en un processus de réalisation 26
2.2.4 Problématiques scientifiques 27
2.3 Sélection de l'offre technique la plus intéressante 28
2.3.1 Problème technique lié à la sélection de l'offre à soumettre 28
2.3.2 Aide à la décision multicritère sous incertitudes et imprécisions . 29
2.3.3 Problématiques scientifiques 30
2.4 Synthèse du chapitre et contributions visées 31

L'objectif de nos travaux est de proposer des modèles, des méthodes et des outils pour aider les entreprises soumissionnaires dans leur Processus de Réponse à Appel d'Offres (PRAO). Plus précisément, nos travaux se situent dans la phase d'élaboration de l'offre technique, tel qu'illustré en figure 1.3 du chapitre 1, dans des situations de conception non-routinière ou ETO. Trois problèmes scientifiques et techniques majeurs, issus de problèmes industriels rencontrés par les entreprises répondant à des appels d'offres, ont été identifiés :

Problème 1 Comment concevoir des offres techniques dans des situations de conception non-routinière ?

Problème 2 Comment caractériser chaque offre technique avec des indicateurs de confiance qui reflètent l'aptitude de l'offre à être conforme aux attentes et aux objectifs fixés ?

Problème 3 Comment prendre en compte les incertitudes, les imprécisions et la confiance dans le choix de l'offre technique à considérer pour la proposition à transmettre au client ?

Les deux premiers problèmes sont associés à l'activité A2.1 de *Conception et évaluation des offres techniques* et le troisième, à l'activité A2.2 de *Sélection de l'offre technique la plus intéressante*. L'analyse des pratiques industriels et des travaux scientifiques ainsi que les problématiques scientifiques concernant chaque problème sont synthétisées dans les sections 2.1 (pour le problème 1), 2.2 (pour le problème 2) et 2.3 (pour le problème 3).

2.1 Conception des offres techniques en situation non-routinière

Nos contributions relatives à la conception des offres techniques (activité A2.1 *Conception et évaluation des offres techniques* du processus de réponse à appel d'offres présenté en figure 1.3 du chapitre 1) reposent sur plusieurs hypothèses fortes. Premièrement, nous considérons que nous ne pouvons pas étudier en détail l'offre à concevoir. Par conséquent, nous considérons que la conception se limite à une forme de « pré-conception » où seuls les choix clés (pour le système technique et le processus de réalisation) sont effectués pour réaliser un chiffrage. Deuxièmement, nous considérons que les conceptions à réaliser peuvent être qualifiées de fortement routinières à un « peu moins routinières », c'est-à-dire qu'il peut être nécessaire de concevoir de nouveaux sous-systèmes entrant dans la composition de l'offre technique. Troisièmement, nous considérons qu'en situation routinière ou AMTO, les progiciels de configuration constituent une aide importante [Kromker1998 ; Vanwelkenhuysen1998] permettant rapidement, sans erreur et avec une bonne précision de concevoir des offres techniques répondant aux attentes des clients. Notre but est de mettre au point des éléments de modélisation permettant d'étendre l'emploi de ces progiciels de configuration aux situations de conception non-routinière ou ETO et de pré-conception de l'offre.

En conséquence, cette section est décomposée en cinq parties qui abordent successivement le problème technique auquel les entreprises soumissionnaires font régulièrement face (sous-section 2.1.1), les élément généraux concernant la configuration (sous-section 2.1.2), les définitions des problèmes de configuration de systèmes et de processus (sous-section 2.1.3), le formalisme CSP *(Constraint Satisfaction Problem)* que nous avons utilisé pour construire les modèles génériques (sous-section 2.1.4) et les problématiques scientifiques associées à ce problème technique (sous-section 2.1.5).

2.1.1 Problème technique lié à la conception des offres techniques

Les outils logiciels existants aujourd'hui permettent aux entreprises de concevoir des offres techniques dans des situations de conception très routinière. La majorité de ces outils s'apparente à des logiciels dits de configuration [Kromker1998 ;

Vanwelkenhuysen1998]. Un logiciel de configuration est un système à base de connaissance qui, étant donné un modèle générique d'offre technique, permet à l'entreprise soumissionnaire d'instancier ou de concevoir une ou plusieurs offres satisfaisant les besoins exprimés par le client [Aldanondo+2008 ; Felfernig+2014 ; Mittal+1989]. Ce modèle générique contient les connaissances caractérisant la diversité (options et variantes) des offres techniques de l'entreprise. Les hypothèses de la configuration stipulent qu'un objet configurable est assemblé à partir d'éléments ou composants prédéfinis [Aldanondo+2008 ; Felfernig+2014 ; Mittal+1989]. Conformément à cela, les modèles génériques sont construits avec des connaissances relatives à des éléments totalement conçus [Aldanondo+2008 ; Felfernig+2014 ; Mittal+1989]. En outre, toute connaissance non formalisée dans le modèle ne peut être exploitée dans le logiciel de configuration lors de l'élaboration de l'offre. Par exemple, un sous-système « commande à distance » qui n'a pas été prédéfini dans le modèle générique ne peut être sélectionné ou défini à l'aide du logiciel de configuration pour concevoir un système technique.

En conséquence, lorsque l'élaboration de l'offre technique se déroule dans une situation de conception moins routinière où l'offre nécessite un sous-système qui n'a pas encore été conçu, les outils de configuration proposés ne sont plus adaptés [Felfernig+2014 ; Sylla+2018b]. En effet, certains éléments pertinents concernant aussi bien le système technique que le processus de réalisation n'étant ni conçus, ni prédéfinis dans le modèle générique ; ils ne peuvent pas être exploités dans un logiciel de configuration. Dans cette situation, de nombreuses entreprises, en fonction de l'importance des activités de conception à réaliser, conçoivent l'offre technique partiellement ou totalement manuellement [Haug+2013 ; Myrodia+2017]. C'est-à-dire, qu'une partie de l'offre, en général prépondérante, est définie avec un logiciel de configuration et l'autre partie manuellement. D'autres entreprises associent d'autres outils tels que des outils de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) aux logiciels de configuration [Haug+2013 ; Myrodia+2017]. Cela engendre des cycles de conception plus longs et des besoins en ressources supplémentaires pour l'élaboration des offres techniques.

De l'ensemble de ces éléments découle le premier problème technique auquel les entreprises soumissionnaires sont quotidiennement confrontées : *Comment définir des offres techniques satisfaisant les besoins exprimés par les clients dans des situations de conception non-routinière lors du processus de réponse à appel d'offres, tout en réduisant le temps et les quantités de ressources nécessaires ?*

Notre proposition consiste à étendre le champ d'application des logiciels de configuration aux situations moins routinières. Dans ce but et comme d'autres auteurs [Aldanondo+2003 ; Myrodia+2017 ; Yvar2009], nous distinguerons : (i) des éléments entièrement conçus ou prédéfinis comme des éléments standards, (ii) de ceux qui n'ont pas été conçus en détail comme des éléments non-standards. Il est en conséquence nécessaire de développer des modèles génériques permettant aux entreprises de formaliser des connaissances caractérisant des éléments standards et non-standards. Un travail d'identification et de caractérisation de ces deux types d'éléments est ainsi nécessaire.

2.1.2 Éléments généraux concernant la configuration

L'une des premières définitions du problème de configuration a été proposée par [Mittal+1989]. Les auteurs le décrivent comme étant un type de problème de conception où l'objet à concevoir est assemblé à partir d'un ensemble de composants prédéfinis et dont les modes d'assemblage ou d'intégration ont été aussi prédéfinis. Cette définition est reprise par la plupart des auteurs travaillant sur des problèmes de configuration [Aldanondo+2008 ; Felfernig+2014 ; Hvam+2007 ; Sabin+1998 ; Zhang2014].

Ce type de problème se rencontre dans de nombreuses industries, notamment dans le secteur automobile, de l'aéronautique ou celui de la micro-informatique [Felfernig+2014 ; Zhang2014]. En effet, très souvent, les produits ou les composants des produits doivent être choisis parmi un nombre considérable de types ou de variantes pour répondre aux besoins spécifiques exprimés par les clients [Felfernig+2014]. Ce type de problème combinatoire se retrouve aussi dans les entreprises qui répondent aux appels d'offres [Kromker1998 ; Vanwelkenhuysen1998]. Ces entreprises doivent proposer des offres personnalisées aux différentes sollicitations des clients pour mieux satisfaire leurs besoins [Arslan+2006 ; Kromker1998].

Pour aider les entreprises dans leurs processus de configuration, de nombreux modèles et approches ont été proposés dans les travaux scientifiques [Aldanondo+2008 ; Barták+2010 ; Dong+2011 ; Felfernig+2014 ; Haug+2012 ; Mida+2009 ; Soininen+1998 ; Yang+2008 ; Yvar2009 ; Zhang2014]. Les travaux portant sur les approches de configuration définissent des processus constitués des activités nécessaires à la résolution d'un problème de configuration [Felfernig+2014]. Ces activités correspondent d'une part à l'identification, l'analyse et la validation des connaissances du domaine (toutes les connaissances caractérisant la diversité (options et variantes) des produits, des processus et leurs relations) et, d'autre part, à leur formalisation pour permettre leur exploitation lors de la configuration et leur maintenance ultérieure [Djefel2010 ; Haug+2012]. Les travaux portant sur les modèles de configuration reposent sur le concept de modèle générique qui formalise l'ensemble des connaissances du système technique ou du processus à concevoir [Aldanondo+2008 ; Felfernig+2014 ; Zhang2014]. Ce modèle générique est ensuite exploité dans des logiciels de configuration pour instancier des solutions personnalisées satisfaisant les besoins exprimés par les clients. Un logiciel de configuration est constitué essentiellement d'une base de connaissance où sont stockés les modèles génériques et d'un module aidant à l'instanciation du modèle générique au regard des besoins exprimés par les clients [Aldanondo+2008 ; Felfernig+2014 ; Mittal+1989].

En ce qui concerne le problème technique suscité en sous-section 2.1.1, nos travaux se focalisent sur le développement de modèles génériques pour aider à la conception des offres techniques. En conséquence, l'analyse des travaux existants porte sur les travaux proposant des modèles. Plusieurs modèles de configuration de produits et de processus ont été proposés dans les travaux scientifiques [Aldanondo+2008 ; Barták+2010 ; Dong+2011 ; Felfernig+2014 ; Sabin+1998]. Ces modèles peuvent être distingués suivant deux points de vue : (i) le problème de configuration considéré (la configuration de systèmes ou de processus par exemple, objet de la sous-section 2.1.3), et (ii) le formalisme utilisé pour construire le modèle, objet de la sous-section 2.1.4.

2.1.3 Configuration de systèmes et de processus

Depuis les premiers problèmes de configuration définis par [Mittal+1989], de nombreux problèmes ont été définis dans les travaux de [Aldanondo+2008 ; Barták+2010 ; Dong+2011 ; Felfernig+2014 ; Sabin+1998 ; Zhang2014]. Les problèmes de configuration définissent tous les éléments nécessaires à la construction des modèles génériques de systèmes et/ou de processus à concevoir. La majorité des problèmes répertoriés dans les travaux scientifiques sont orientés sur la configuration de produits ou systèmes, et très peu sur la configuration de processus [Felfernig+2014 ; Zhang2014].

Configuration de systèmes

En ce qui concerne la définition de la configuration de produits, selon les problèmes recensés, différents aspects d'un produit sont considérés notamment les aspects physiques, les aspects descriptifs, les aspects fonctionnels [Aldanondo+2008 ; Djefel2010 ; Felfernig+2014 ; Mittal+1989 ; Zhang2014]. Parmi toutes ces définitions, nous considérons les éléments clés proposés par [Aldanondo+2008 ; Mittal+1989] et débouchons sur la définition suivante :

- Hypothèse : un produit configurable est un ensemble de composants ;
- Étant donné :
  1. une architecture générique de produit qui décrit une famille de produits,
  2. un ensemble de groupes de composants qui sont présents dans tous les produits,
  3. un ensemble de groupes de composants optionnels, qui ne sont pas présents dans tous les produits,
  4. un ensemble de propriétés qui caractérisent chaque composant,
  5. un ensemble de contraintes qui définissent les combinaisons possibles de composants et / ou de valeurs de propriétés,
  6. un ensemble d'exigences qui représentent les besoins client, où une exigence correspond à la sélection d'un sous-système composant dans un groupe ou d'une valeur de propriété.
- Objectif : La configuration consiste à trouver au moins un ensemble de composants satisfaisant toutes les contraintes et les exigences du client.

Dans le cadre de nos travaux, une modification mineure est faite pour adapter ce problème à la configuration de systèmes en substituant les notions de « produit » et de « composant » par celles de « système » et de « sous-système » respectivement. Sur cette base, un système est considéré comme un ensemble de sous-systèmes qui sont intégrés pour former l'architecture physique du système. Chaque sous-système est décrit par des propriétés qui le caractérisent. Ainsi, en considérant ce problème de configuration de systèmes, un modèle de configuration de systèmes considérant un seul niveau de décomposition (une décomposition de systèmes en sous-systèmes) a été développé dans [Sylla+2018b].

Configuration de processus

Concernant le problème de configuration de processus, peu d'auteurs ont proposé des définitions formelles. Cependant, une définition inspirée de l'approche utilisée pour les produits a été proposée par [Aldanondo+2008 ; Pitiot+2014]. Cette définition est considérée pour nos travaux et les éléments clés décrits ci-dessous sont repris :

- Hypothèse : un processus est un ensemble d'activités liées par des contraintes de précédence, une activité est un ensemble de ressources caractérisées par une quantité requise ;
- Étant donné :
  1. une architecture générique du processus qui décrit une famille de processus,
  2. un ensemble d'activités, avec pour chacune, un ensemble de ressources ayant des quantités requises,
  3. un ensemble de contraintes qui définissent les combinaisons possibles d'activités, de ressources et de quantités de ressources,
  4. un ensemble d'exigences correspondant à la sélection d'une activité, ou d'un couple (ressource, quantité de ressources),
- Objectif : La configuration de processus consiste à trouver au moins un ensemble d'activités avec les couples (ressource, quantité de ressource) satisfaisant toutes les contraintes et les exigences.

La plupart des problèmes de configuration répertoriés dans les travaux scientifiques font l'hypothèse que le système ou le processus à concevoir est assemblé à partir d'un ensemble de sous-systèmes ou d'activités prédéfinis ou totalement conçus (les éléments standards) et dont les modes d'assemblage ou d'intégration ont été aussi prédéfinis (assemblage ou intégration standards). Conformément à cela, les modèles de configuration proposés incluent uniquement des connaissances associées à des éléments standards (sous-systèmes ou activités standards) et des connaissances associées à des modes d'assemblage ou d'intégration standards. Ils n'incluent pas des connaissances associées à des éléments n'ayant pas été conçus en détail (des éléments non-standards). Ils ne permettent donc pas de sélectionner des sous-systèmes ou des activités non-standards pour configurer un système ou un processus non-standard [Aldanondo+2008 ; Felfernig+2014 ; Mittal+1989 ; Zhang2014]. Par exemple, lors de l'élaboration d'une offre technique dans un processus de réponse à appel d'offres, si les besoins du client requièrent la mise au point d'un sous-système ou d'une activité non-standard, ce sous-système ou cette activité ne peuvent être définis en utilisant ces modèles. En conséquence les modèles de configuration proposés aujourd'hui ne sont pas adaptés pour concevoir des offres techniques non-standards dans des contextes de conception non-routinière.

2.1.4 Formalisation des connaissances en configuration

Différents formalismes sont utilisés pour construire les modèles génériques, notamment les problèmes de satisfaction de contraintes ou les ontologies. Les problèmes de satisfaction de contraintes ou encore CSP *(Constraint Satisfaction Problem)* sont le formalisme le plus utilisé en formalisation des connaissances en configuration

[Felfernig+2014]. En effet, en raison de sa structure, le formalisme CSP s'adapte facilement aux problèmes de configuration [Sabin+1998].

Le formalisme *CSP* définit le problème comme un ensemble de contraintes ($\mathbb{C}$), qui établissent des relations entre les variables ($\mathbb{V}$) du problème où chaque variable ($v_i \in \mathbb{V}$) peut prendre une valeur unique dans un domaine fini (D_i) [Montanari1974]. En se référant à cette définition, [Aldanondo+2008 ; Felfernig+2014 ; Sabin+1998], d'autres auteurs ont montré que le problème de configuration de produit défini ci-dessus peut être modélisé ou formalisé comme un CSP. Dans nos travaux, nous utilisons ce formalisme pour la configuration des deux constituants des offres techniques : le système technique et le processus de réalisation.

Formalisation des systèmes techniques

En ce qui concerne la formalisation d'un système technique, chaque groupe de sous-systèmes et chaque propriété est associée à une variable du CSP. Une solution spécifique d'un groupe de sous-système ou une valeur spécifique d'une propriété correspond à une valeur dans le domaine de la variable correspondante. Les contraintes représentent les relations possibles entre les sous-systèmes et / ou les valeurs des propriétés. Pour modéliser les sous-systèmes optionnels, le cadre des CSP dynamiques ou CSP conditionnels noté DCSP *(Dynamic Constraint Satisfaction Problem)*, introduit par [Mittal+1990], peut être utilisé. Dans ce cadre, les notions de variables actives / inactives et de contraintes actives / inactives sont rajoutées au cadre CSP, initialement présenté. Les variables et les contraintes sont partitionnées en sous-ensembles initialement actifs et inactifs. En se référant au problème de configuration défini ci-dessus, les groupes de sous-systèmes qui sont toujours présents dans un système sont associés à des variables initialement actives alors que les groupes de sous systèmes optionnels sont associés à des variables initialement inactives. L'activation des variables ou des contraintes inactives est effectuée en utilisant des contraintes d'activation qui peuvent ajouter au problème des variables et des contraintes qui étaient initialement inactives. Des contraintes peuvent également être utilisées pour lier des sous-systèmes ou lier le système à des caractéristiques telles que les performances techniques, le coût ou la confiance [Pitiot+2014 ; Sylla+2017c].

Formalisation des processus de réalisation

En ce qui concerne la formalisation d'un processus de réalisation, une approche similaire a été adoptée dans [Aldanondo+2008 ; Pitiot+2014]. La configuration du processus est formalisée comme un CSP, où chaque activité est décrite par un groupe de variables (certaines représentant les familles de ressources, leur quantité ou la durée de l'activité), reliées entre elles par des contraintes. Des contraintes temporelles sont aussi utilisées pour définir des relations de précédence entre les activités. De manière similaire aux systèmes techniques, la modélisation des activités optionnelles passent par l'utilisation des CSP dynamiques ou CSP conditionnels noté DCSP [Mittal+1990]. Les activités du processus de réalisation sont ainsi partitionnées en deux sous-ensembles disjoints, l'un regroupant les activités toujours présentes dans le processus tandis que l'autre regroupe celles qui sont optionnelles et activées à bon escient au cours du processus de configuration. L'activation des activités (variables et contraintes inactives) est, de manière similaire, supportée par des contraintes d'activation. Des contraintes peuvent également être utilisées pour lier les activités à des caractéristiques telles que le coût, la durée ou le niveau de risque.

2.1.5 Problématiques scientifiques

Au regard de tout ce qui précède, dans le cadre de l'élaboration de l'offre technique dans un processus de réponse à appel d'offres, nous considérons les éléments suivants : (i) les modèles de configuration proposés sont adaptés pour concevoir des systèmes techniques et des processus de réalisation dans des situations de conception routinière ou AMTO, (ii) ils ne sont pas utilisables en l'état dans des situations de conception non-routinière ou ETO. Nous proposons donc de réutiliser ces modèles et de les modifier pour étendre les possibilités d'emploi des logiciels de configuration à des situations de conception non-routinière.

En conséquence, les problématiques scientifiques soulevées sont les suivantes :

- identifier les différents cas de configuration de système et de processus dans des situations de conception non-routinière ;
- pour chaque cas, identifier les modifications nécessaires à l'extension de la configuration de système et de processus des situations de conception routinière à celles de conception non-routinière ;
- pour chaque cas identifié, proposer des éléments de modélisation pertinents en utilisant le formalisme CSP (en particulier les possibilités offertes par les DCSP) ;
- intégrer tous les éléments de modélisation proposés pour construire un modèle générique avec le formalisme CSP.

2.2 Caractérisation des offres techniques avec des indicateurs de confiance

Comme mentionné dans le chapitre précédent (en section 1.3), lors de l'élaboration de l'offre technique (activité A2.1 *Conception et évaluation des offres techniques* du processus de réponse à appel d'offres présenté en figure 1.3 du chapitre 1) dans un contexte de conception non-routinière et, en adoptant une approche de pré-conception, les incertitudes et les imprécisions sur les valeurs des caractéristiques des offres (coûts, performances techniques ou durées d'obtention) sont plus importantes. En conséquence, la confiance dans les offres varient suivant l'état de développement des éléments choisis (sous-systèmes et activités par exemple) et l'avis de la personne chargée de la conception des offres. Il est donc nécessaire de mesurer cette confiance en chaque offre pour savoir laquelle est la plus réalisable au regard des attentes du client et des objectifs du soumissionnaire afin de sélectionner celle à soumettre dans la proposition. Notre objectif est donc de proposer des indicateurs de confiance sur l'ensemble des constituants de l'offre technique (sous-systèmes, intégrations de sous-systèmes, système technique, activités et processus) ainsi qu'une méthode permettant de les évaluer.

En conséquence, cette section est décomposée en quatre parties qui abordent successivement le problème technique auquel les entreprises soumissionnaires font régulièrement face (sous-section 2.2.1), l'évaluation de la confiance dans le système technique (sous-section 2.1.2), l'évaluation de la confiance dans le processus de réalisation (sous-section 2.1.3) et les problématiques scientifiques associées à ce problème technique (sous-section 2.2.4).

2.2.1 Problème technique lié à la confiance en les offres techniques

Lors de l'évaluation des offres techniques dans un contexte de conception non-routinière où toutes les connaissances nécessaires ne sont pas disponibles, les incertitudes et les imprécisions sur les valeurs des caractéristiques des offres (coûts, performances techniques ou durées d'obtention) sont importantes. Ce phénomène est amplifié par le positionnement de nos travaux en pré-conception des offres techniques en réponse à appel d'offres. En conséquence, les activités d'élaboration de l'offre technique sont sujettes à des risques de différentes natures, notamment des risques de dépassement de coûts et de délais. Ces risques peuvent affecter la bonne réalisation de l'offre une fois que celle-ci a été acceptée par le client.

La plupart des outils d'élaboration d'offres techniques existants ont été proposés pour des situations de conception routinière où les valeurs des caractéristiques des offres techniques sont plus précises et plus certaines. Ces outils ne tiennent pas compte des problèmes d'incertitudes, d'imprécisions et de risques lors de l'élaboration de l'offre technique. Dans de nombreux cas, le choix de l'offre technique à considérer dans la proposition est fait par un expert sur la base de son expérience et de son ressenti [Sylla+2017b]. Ce choix subjectif peut conduire à une offre technique non réalisable au regard des attentes (coût, performances techniques ou délai de livraison) et donc au non respect des objectifs entraînant ainsi des pertes non-négligeables pour l'entreprise soumissionnaire [Sylla+2017b].

Dans le but de prendre en compte ces incertitudes et imprécisions, et pour mieux maîtriser et anticiper ces risques, nous proposons de caractériser chaque offre technique avec des indicateurs de confiance [Sylla+2017c]. Ces indicateurs reflètent une forme d'aptitude de chaque système technique associé à une offre à être conforme aux attentes du client et aux objectifs du soumissionnaire (coût, performances techniques ou durée d'obtention), après sa conception et sa réalisation [Sylla+2017c]. Autrement dit, ils permettront de caractériser l'incertitude liée aux valeurs des caractéristiques des offres à l'aide de niveaux de confiance. Ainsi, en représentant ces valeurs imprécises sous forme d'intervalles et en les associant à ces niveaux de confiance, une approche d'aide à la décision peut-être mise au point pour aider le soumissionnaire à choisir une offre technique réalisable au regard des attentes et objectifs, et donc à mieux maîtriser et anticiper les risques.

L'ensemble de ces propos permet de poser le deuxième problème technique auquel les entreprises soumissionnaires sont confrontées : *Comment caractériser, lors de son élaboration, chaque offre technique avec des indicateurs de confiance dans un processus de réponse à appel d'offres ?*

Notre proposition consiste à proposer des indicateurs de confiance ainsi qu'une méthode permettant de les évaluer. Ces indicateurs caractérisent d'une part les sous-systèmes, leurs intégrations et le système technique, et d'autre part, les activités et le processus de réalisation. Deux dimensions sont considérées. La première factuelle, utilise la maturité ou la faisabilité de ces éléments pour caractériser les incertitudes associées à leur état de développement. La seconde plus subjective, correspond à une forme d'intuition ou de ressenti concernant l'offre conçue, émise

par le soumissionnaire (ou plus précisément la personne chargée de la conception de l'offre).

2.2.2 Évaluation de la confiance en un système technique

L'indicateur de confiance doit permettre d'évaluer l'aptitude de chaque système technique associé à une offre à être conforme aux attentes du client et aux objectifs du soumissionnaire, après sa conception et sa réalisation. Il intègre à la fois une évaluation à visée factuelle de la maturité de ces éléments pour caractériser les incertitudes associées à leur état de développement mais également le point de vue subjectif ou l'avis de la personne qui les exploite lors de la conception de l'offre technique.

À notre connaissance, aucun travail scientifique n'aborde la notion de « confiance » dans un système technique. Parmi les concepts les plus proches de la confiance, celui de « maturité » a retenu notre attention. La maturité d'un système est la caractérisation de son état de développement pour une application et un environnement spécifique.

Dans les travaux scientifiques, deux types d'approches peuvent être distinguées pour l'évaluation de la maturité d'un système (ou d'un produit) : celle inspirée du modèle de maturité CMMI *(Capability Maturity Model and Integration)* et celle basée sur le TRL *(Technology Readiness Level)*.

Maturité des systèmes techniques inspirée du CMMI

Le premier s'inspire du modèle CMMI *(Capability Maturity Model and Integration)* développé par le SEI *(Software Engineering Institute)*. Le modèle CMMI est un modèle prescriptif qui permet aux entreprises d'évaluer leur niveau de maturité ou niveau de *« capabilité »* dans la gestion de leurs processus dans le but de les améliorer [Software Engineering Institute2006]. Quelques auteurs se sont inspirés de ce modèle pour développer des modèles ou approches pour évaluer la maturité d'un produit [Heck+2009 ; Weckenmann+2013]. Dans [Heck+2009], les auteurs proposent un modèle à cinq niveaux, développé durant des études de cas effectuées avec des entreprises dans le domaine de la certification de produits logiciels. L'évaluation de la maturité est basée sur l'absence d'erreurs dans le logiciel. Le logiciel est subdivisé en livrables qui constituent les résultats des différentes étapes de développement. Pour chaque livrable, un ensemble de propriétés reparties sur plusieurs objectifs sont définies. L'atteinte d'un niveau de maturité est ainsi conditionnée par la satisfaction d'un niveau défini pour chaque propriété.

Dans [Weckenmann+2013], les auteurs ont proposé une approche pour la mise en place d'un modèle de maturité pour un objet spécifique. Elle est constituée de plusieurs étapes durant lesquelles des indicateurs pertinents sont définis, catégorisés et hiérarchisés. Des exigences sont associées à chaque indicateur. Dans l'étape d'évaluation, selon la satisfaction des exigences, des scores sous forme de pourcentage sont attribués aux différents indicateurs. Ensuite, la maturité globale de l'objet est déterminée par l'agrégation des niveaux des différents indicateurs. Selon les auteurs, cette approche a été appliquée dans le cadre du développement de feuilles métalliques.

Le point commun de ces modèles ([Heck+2009 ; Weckenmann+2013]) est qu'ils ne supportent pas l'évaluation des systèmes composés de plusieurs sous-systèmes. En outre, les éléments considérés dans l'évaluation ne sont pas assez génériques pour être appliqués directement à d'autres types de systèmes.

Maturité des systèmes basée sur le TRL

Le second type est basé sur les notions de TRL *(Technology Readiness Level)*. Le TRL est un indicateur factuel développé par [Mankins1995 ; Sadin+1989] à la NASA *(National Aeronautics and Space Administration)* pour mesurer la maturité des technologies. Il indique sur une échelle numérique, dans quelle mesure une technologie (ou un sous-système) est prête à être déployée pour une application et un environnement donnés [Mankins1995 ; Sadin+1989]. Il a été adopté par des organisations gouvernementales américaines et par plusieurs industries [Magnaye+2014 ; Tomaschek+2016]. Il a été associé à diverses méthodologies pour aider à gérer et maîtriser les risques et les incertitudes liés au développement des technologies et des systèmes [Tomaschek+2016]. Une étude empirique récente a montré que le développement de technologies guidé par des indicateurs de maturité de conception et de TRL permet de réduire les dépassements de délais et de coûts [Katz+2015].

Cependant, le TRL se limite à l'évaluation de la maturité d'une technologie spécifique, il ne supporte pas les intégrations de plusieurs technologies ou de plusieurs sous-systèmes. Il ne permet donc pas d'évaluer la maturité d'un système composé de plusieurs sous-systèmes [Sauser+2008 ; Tomaschek+2016]. C'est dans cette perspective que [Sauser+2008 ; Sauser+2010], sur la base du TRL, ont proposé deux nouveaux indicateurs : IRL *(Integration Readiness Level)* et SRL *(System Readiness Level)*. Ces indicateurs permettent d'évaluer respectivement la maturité de l'intégration de deux sous-systèmes et la maturité globale d'un système [Sauser+2008]. Ils ont été utilisés dans plusieurs travaux scientifiques pour développer des méthodes pour évaluer la maturité de systèmes constitués de plusieurs sous-systèmes [Garett+2011 ; London+2014 ; McConkie+2013 ; Sauser+2008]. La méthode proposée par [Sauser+2008] est basée sur l'algèbre des matrices. Elle permet, à partir des TRLs des sous-systèmes et des IRLs des intégrations, de déterminer le SRL du système. Elle a été utilisée par [Magnaye+2010] dans un modèle de développement de systèmes destiné à minimiser et maîtriser les coûts. Elle a été également adoptée par le laboratoire national de technologie énergétique des États-Unis pour estimer la maturité de deux systèmes avancés d'exploitation d'énergie fossile [Knaggs+2015].

Dans nos travaux, nous proposons de développer des indicateurs de confiance qui permettent d'évaluer dans quelle mesure un système technique choisi pourra être conforme aux attentes après sa conception par l'entreprise soumissionnaire. Cette évaluation implique donc une évaluation de la maturité des éléments choisis, mais aussi l'avis de la personne qui les exploite. Nous utilisons donc les indicateurs TRL, IRL et SRL comme indicateurs factuels pour évaluer la maturité des sous-systèmes, des intégrations et des systèmes techniques, respectivement. La méthode proposée par [Sauser+2008] pour calculer le SRL du système technique est elle aussi retenue. Cependant ces indicateurs (TRL, IRL et SRL) se concentrent uniquement sur l'évaluation de l'état de développement des sous-systèmes, des intégrations et des systèmes. Ils sont évalués à partir de connaissances propres à ces éléments. Ils ne considèrent pas systématiquement le point de vue subjectif de la personne qui les

exploite en vue de mettre au point des systèmes techniques lors de l'élaboration de l'offre dans un processus de réponse à appel d'offres par exemple.

2.2.3 Évaluation de la confiance en un processus de réalisation

En ce qui concerne le processus, parmi toutes les définitions proposées dans les travaux scientifiques, celle de [Ramirez2009] nous semble la plus pertinente pour nos travaux. En effet, dans ses travaux de thèse [Ramirez2009], Ramirez définit la maturité d'un projet comme un indicateur caractérisant dans quelle mesure les objectifs fixés au projet pourront être atteints. Les approches ou méthodes proposées pour évaluer la maturité sont désignées dans les travaux scientifiques par « modèles de maturité ».

Le modèle de maturité CMMI *(Capability Maturity Model Integration)* est le plus utilisé dans l'industrie [De Bruin+2005 ; Grant+2006]. Comme mentionné dans la section 2.2.2, le modèle CMMI est un modèle prescriptif qui permet aux entreprises d'évaluer leur niveau de maturité ou niveau de « capabilité » dans la gestion de leurs processus, dans le but de les améliorer [De Bruin+2005 ; Grant+2006 ; Software Engineering Institute2006]. Il couvre de nombreux processus, notamment les processus de gestion des risques, les processus de planification de projets et les processus de conception. Chaque processus est caractérisé par un ensemble de « bonnes pratiques » qui, lorsqu'elles sont implémentées collectivement, satisfont un ensemble d'objectifs nécessaires à l'amélioration du processus.

Deux échelles différentes sont proposées dans le modèle CMMI. L'une comporte six niveaux (0 à 5). Elle permet aux entreprises d'améliorer leur « capabilité » pour un processus spécifique. L'autre comporte cinq niveaux (1 à 5) et permet d'évaluer la maturité globale de l'entreprise dans la gestion de tous ses processus. De nombreux autres modèles ont été proposés pour évaluer la maturité de la gestion des processus, des projets, des risques, des portefeuilles de projets [Andersen+2003 ; Kwak+2002 ; Oliva2016].

Le point commun de tous ces modèles, y compris le CMMI, est que l'évaluation porte sur l'organisation de l'entreprise. Le niveau de maturité estimé est donc celui de l'entreprise sur sa capacité à mettre en œuvre ses différents processus. Il est déterminé par l'évaluation des pratiques mises en œuvre, et ne change pas en fonction d'un processus de réalisation spécifique (par exemple la production d'une grue pour un client particulier). Par conséquent, ces modèles ne sont pas adaptés pour évaluer le niveau de maturité ou de faisabilité d'une activité spécifique lors de l'élaboration de l'offre technique dans un processus de réponse à appel d'offres. Cette remarque avait déjà été faite par [Ramirez2009] avant de proposer un modèle à cinq niveaux pour évaluer la maturité d'un projet spécifique. Plus précisément, ce modèle a pour but d'évaluer la maîtrise des processus d'un projet en cours de réalisation à chaque phase de son cycle de vie, afin de les améliorer continuellement. En outre, les éléments évalués sont des processus assez génériques, notamment la gestion des achats, la planification du projet et la gestion des risques.

Dans nos travaux, l'objectif est de développer des indicateurs de confiance qui permettent d'évaluer dans quelle mesure les objectifs fixés au niveau du processus de réalisation pourront être atteints. Ces indicateurs doivent associer d'une part la

maturité ou la faisabilité des activités du processus et, d'autre part, l'avis subjectif de la personne qui les exploite. En conséquence, tous les éléments présentés précédemment ne sont pas adaptés. Dans la suite, nous retenons le terme de « faisabilité » pour les activités ainsi que pour le processus de réalisation.

2.2.4 Problématiques scientifiques

Au regard de tous les éléments présentés, dans le cadre de l'élaboration de l'offre technique dans un processus de réponse à appel d'offres, nous considérons les éléments suivants : (i) les indicateurs TRL, IRL et SRL sont adaptés pour évaluer la maturité des sous-systèmes, des intégrations et des systèmes techniques, (ii) les éléments proposés dans les travaux scientifiques ne sont pas adaptés pour évaluer la faisabilité d'une activité ou d'un processus de réalisation, (iii) aucun élément n'a été trouvé pour prendre en compte l'avis subjectif de la personne qui exploite ces éléments lors de l'élaboration de l'offre et ainsi établir un indicateur de confiance pertinent.

En conséquence, pour caractériser chaque offre technique avec des indicateurs de confiance qui reflètent l'aptitude du système technique associé à l'offre, à être conforme aux attentes après sa conception et sa réalisation, nous proposons : (i) de considérer les deux éléments système technique et processus de réalisation séparément, (ii) de caractériser chaque élément avec deux types d'indicateurs : un factuel et un subjectif, (iii) sur la base de ces deux types d'indicateurs de construire un indicateur global de confiance pour chaque élément de l'offre technique. Comme mentionné en sous-section 2.2.2, nous utilisons, pour le système technique, les indicateurs TRL, IRL et SRL comme indicateurs factuels pour évaluer la maturité des sous-systèmes, de leurs intégrations et des systèmes techniques, respectivement. Nous utilisons également la méthode proposée par [Sauser+2008] pour calculer le SRL du système technique.

Conformément à cela, les problématiques scientifiques soulevées dans cette partie sont décrites comme suit :

- développer des indicateurs subjectifs qui reflètent le point de vue de l'entreprise soumissionnaire sur les sous-systèmes, sur leurs intégrations et sur les systèmes techniques, ainsi qu'une méthode pour les évaluer ;
- développer des indicateurs factuels pour caractériser la faisabilité des activités et la faisabilité des processus de réalisation, ainsi qu'une méthode pour les évaluer ;
- développer des indicateurs subjectifs qui reflètent le point de vue de l'entreprise soumissionnaire sur les activités et sur les processus de réalisation, ainsi qu'une méthode pour les évaluer ;
- développer une méthode permettant d'agréger les indicateurs factuels et subjectifs pour construire un indicateur global pour le système technique et pour le processus de réalisation.

2.3 Sélection de l'offre technique la plus intéressante

Même si ce n'est pas toujours le cas, la plupart des auteurs s'accordent sur le fait qu'en conception, il est toujours intéressant d'étudier plusieurs solutions et de les comparer pour choisir la plus pertinente. Nous nous plaçons dans cette situation et considérons qu'au regard de critères choisis parmi les caractéristiques, le soumissionnaire doit maintenant choisir une offre technique (activité A2.2 *Sélection de l'offre technique la plus intéressante* du processus de réponse à appel d'offres présenté en figure 1.3 du chapitre 1) pour ensuite élaborer son offre commerciale. Dans notre situation de conception non-routinière et de pré-conception de l'offre, les valeurs des caractéristiques des offres font l'objet d'incertitudes et d'imprécisions. De nombreux outils d'aide à la décision multicritère permettent de tenir compte des incertitudes ou des imprécisions associées aux valeurs des critères de décision. Cependant, aucun ne permet de prendre en compte à la fois les incertitudes et les imprécisions, et aucun n'aborde la notion de confiance. Notre but est de mettre au point une approche d'aide à la décision multicritère pour aider le soumissionnaire à sélectionner l'offre la plus intéressante, tout en tenant compte des incertitudes et imprécisions et de sa confiance dans chaque offre.

En conséquence, cette section est décomposée en trois parties qui abordent successivement le problème technique auquel les entreprises soumissionnaire font régulièrement face (sous-section 2.3.1), l'aide à la décision multicritère sous incertitudes et imprécisions (sous-section 2.3.2) et les problématiques scientifiques associées à ce problème technique (sous-section 2.3.3).

2.3.1 Problème technique lié à la sélection de l'offre à soumettre

Comme mentionné en introduction de la section 2.3, nous nous plaçons dans la situation où plusieurs offres techniques (des couples système technique / processus de réalisation) sont obtenues après l'activité de conception et de caractérisation des offres (activité A2.1 *Conception et évaluation des offres techniques* du processus de réponse à appel d'offres présenté en figure 1.3 du chapitre 1). Au regard de critères choisis parmi les caractéristiques, le soumissionnaire doit sélectionner une offre afin d'élaborer son offre commerciale et transmettre une proposition au client. Dans des situations de conception non-routinière et de pré-conception, les valeurs des caractéristiques des offres font l'objet d'incertitudes et d'imprécisions. Pour sélectionner l'offre la plus compétitive et réalisable, il est impératif de prendre en compte ces incertitudes et imprécisions mais également la confiance du soumissionnaire dans chaque offre.

Ce constat permet de définir le troisième problème technique abordé dans nos travaux : *Comment prendre en compte les incertitudes, les imprécisions et la confiance du soumissionnaire dans le choix de l'offre technique la plus intéressante lors de l'élaboration de l'offre technique dans un processus de réponse à appel d'offres ?*

Notre proposition consiste à proposer une approche d'aide à la décision multicritère sous incertitudes et imprécisions. Elle permettra à l'entreprise soumis-

sionnaire de sélectionner l'offre la plus intéressante sur la base de critères pertinents tels que le coût, les performances techniques et la durée d'obtention tout en tenant compte des incertitudes, des imprécisions et de la confiance du soumissionnaire dans les valeurs des critères. L'approche proposée est donc constituée : (i) d'une méthode permettant de modéliser simultanément l'incertitude, l'imprécision et la confiance du soumissionnaire caractérisant les valeurs des critères de décision, (ii) d'une méthode permettant de sélectionner l'offre la plus intéressante vis-à-vis de l'ensemble des critères, des incertitudes / imprécisions et de la confiance du soumissionnaire dans chaque offre potentielle.

2.3.2 Aide à la décision multicritère sous incertitudes et imprécisions

Dans le contexte d'un problème de décision multicritère, le décideur doit choisir la meilleure solution parmi un ensemble de solutions, sur la base de plusieurs critères de décision [Korhonen+1992]. Dans de nombreux cas réels, en raison d'un manque de connaissances, les valeurs des critères permettant de prendre des décisions (critères de décisions) sont imprécises et incertaines [Beg+2017 ; Durbach+2012 ; Zandi+2013]. Il en résulte que la comparaison des solutions est basée sur la comparaison de nombres dont les valeurs sont imprécises et incertaines [Nowak2004]. Dans cette perspective, différentes approches ont été développées afin d'aider le décideur dans son processus de décision. Elles peuvent se distinguer suivant deux aspects : (i) la méthode utilisée pour modéliser l'imprécision et l'incertitude, et (ii) l'approche utilisée pour comparer les solutions et modéliser les relations de préférence ou de dominance [Durbach+2012]. Les méthodes de modélisation des incertitudes et des imprécisions les plus utilisées dans l'aide à la décision multicritère sont la théorie des probabilités et la théorie des ensembles flous ou la théorie des possibilités [Broekhuizen+2015 ; Durbach+2012 ; Kangas+2004].

Méthodes utilisant la théorie des probabilités

Avec la théorie des probabilités, chaque valeur imprécise et incertaine d'un critère de décision pour une solution est modélisée avec une distribution de probabilité. Deux approches sont souvent utilisées pour comparer les solutions : (i) *Multi-Attributes Utility Theory* (MAUT) [Grabisch+2008 ; Neumann+1953 ; Wilson+2016] et (ii) *Stochastic Dominance* (SD) [DAvignon+1988 ; Nowak2004 ; Zhang+2010]. Dans l'approche MAUT, sur la base des distributions de probabilité de tous les critères, une fonction permet de calculer l'utilité espérée de chaque solution. Ainsi, une solution est préférée à une autre si et seulement si son utilité espérée est supérieure. Dans l'approche SD, une comparaison des distributions de probabilité est effectuée pour chaque paire de solutions au regard de chaque critère de décision pour établir des relations de préférence (ou de dominance) mono-critère entre les différentes solutions. Ensuite, une méthode est utilisée pour construire des relations de préférence (ou de dominance) déterministes ou stochastiques sur tous les critères de décision.

Méthodes utilisant la théorie des ensembles flous

Avec la théorie des ensembles flous, les valeurs imprécises et incertaines des critères de décision sont modélisées avec des nombres flous. Une méthode de comparaison de nombres flous est utilisée pour comparer les solutions et pour établir

les relations de préférence (ou de dominance) entre les solutions [Durbach+2012]. De nombreuses approches d'aide à la décision multicritère utilisent la théorie des ensembles flous pour traiter de l'imprécision et de l'incertitude [Chen+1992 ; Chuu2009 ; Kahraman+2007 ; Mardani+2015]. Selon la revue bibliographique présentée dans [Broekhuizen+2015], la méthode AHP *(Analytic Hierarchy Process)* est celle qui est le plus souvent associée à la théorie des ensemble flous. En effet, dans le cadre de la méthode AHP, l'estimation des poids et des valeurs des critères de décision est basée sur des jugements. Ces jugements ont un caractère qualitatif et peuvent être incohérents [Durbach+2012]. Par conséquent, la théorie des ensembles flous est très souvent utilisée : (i) pour modéliser le poids et / ou les valeurs des critères de décision sous forme de nombres flous, et (ii) effectuer l'agrégation de ces valeurs pour fournir un score global pour chaque solution. L'approche de Pareto-dominance floue (ou *Fuzzy Pareto-dominance*) est également utilisée pour aider à la décision lorsque les valeurs des critères de décision sont imprécises et incertaines [Ganguly+2013 ; Mario+2005 ; Sahoo+2012]. Elle est basée sur le principe de Pareto-dominance conventionnelle. La différence est que dans l'approche Pareto-dominance floue, un degré de dominance caractérise les relations de dominance entre deux solutions. Ainsi, les solutions peuvent être classées en fonction de leur degré de dominance mutuelle [Ganguly+2013].

2.3.3 Problématiques scientifiques

Dans nos travaux, les critères de décision sont supposés être indépendants et non compensables. De plus, une même importance est donnée à tous les critères. Par conséquent, des approches d'aide à la décision multicritère telles que AHP ou MAUT qui agrègent les valeurs de tous les critères de décision dans une valeur globale pour la comparaison des solutions, ne sont pas adaptées. En outre, comme mentionné dans la sous-section 2.3.1, notre objectif est de proposer une approche d'aide à la décision multicritère qui prend en compte les incertitudes, les imprécisions et la confiance du soumissionnaire. Nous n'avons trouvé aucune approche considérant ces trois aspects simultanément.

En conséquence, les problématiques scientifiques correspondant à la sélection d'une offre sont les suivantes :

- développer une méthode permettant de modéliser simultanément les incertitudes, les imprécisions et la confiance du soumissionnaire caractérisant les valeurs des critères de décision ;
- développer des relations de dominance pour comparer les différentes solutions (les offres techniques) au regard d'un seul critère de décision en tenant compte des incertitudes, des imprécisions et de la confiance du soumissionnaire ;
- sur la base des comparaisons mono-critère, développer une méthode pour comparer toutes les offres techniques au regard de tous les critères de décision afin de générer un ensemble restreint d'offres les plus intéressantes.

2.4 Synthèse du chapitre et contributions visées

Ce chapitre a permis de définir les problèmes techniques et les problématiques scientifiques associés à nos travaux. Trois problèmes techniques majeurs ont été identifiés. Ils couvrent toutes les activités associées à l'élaboration d'une offre technique dans un processus de réponse à appel d'offres, présenté en figure 1.3 du chapitre 1. Chaque problème technique a été affiné à l'aide d'une analyse des travaux scientifiques existants pour identifier les problématiques scientifiques pertinentes. Ces problématiques ont été étudiées et des solutions scientifiques ont été développées. Elles constituent les contributions de nos travaux, chacune associée à un article de journal.

Problème 1 Comment concevoir des offres techniques dans des situations de conception non-routinière ?

- Article associé : Configuration knowledge modeling : How to extend configuration from assemble/make to order towards engineer to order for the bidding process. *Computers in Industry, 2018, Volume 99, page 29-41.*
- Résumé : Cet article montre comment les modèles de configuration de produits utilisés dans des situations industrielles AMTO peuvent être modifiés et adaptés pour couvrir la configuration de systèmes techniques dans des situations industrielles ETO lors de l'élaboration d'offres techniques dans un processus de réponse à appel d'offres
- Contribution : Extension des modèles de configuration à base de contraintes aux situations non-routinières [Sylla+2018b].

Problème 2 Comment caractériser chaque offre technique avec des indicateurs de confiance qui reflètent l'aptitude de l'offre à être conforme aux attentes et aux objectifs fixés ?

- Article associé : Readiness, feasibility and confidence : how to help bidders to better develop and assess their offers. *International Journal of Production Research, 2017, Volume 55, Issue 23, page 7204-7222.*
- Résumé : Cet article propose des indicateurs de confiance ainsi qu'une méthode permettant de les évaluer afin de caractériser chaque offre technique (système technique et processus de réalisation) selon des niveaux de confiance lors de l'élaboration de l'offre technique.
- Contribution : Définition d'une métrique de confiance caractérisant les offres techniques basée sur des indicateurs factuels et subjectifs [Sylla+2017c].

Problème 3 Comment prendre en compte les incertitudes, les imprécisions et la confiance dans le choix de l'offre technique à considérer pour la proposition à transmettre au client ?

- Article associé : Possibilistic Pareto-dominance approach to support technical bid selection under imprecision and uncertainty in the bidding process. *Soumis à un autre journal.*
- Résumé : Cet article propose une approche d'aide à la décision multicritère basée sur le principe de Pareto-dominance pour aider à la sélection de l'offre technique

la plus intéressante tout en tenant compte des incertitudes et imprécisions sur les valeurs des critères de décision et également de la confiance dans chaque offre potentielle.

- Contribution : Proposition d'une approche d'aide à la décision multicritère basée sur le principe de la Pareto-dominance, tenant compte des incertitudes, des imprécisions et de la confiance dans chaque offre [Sylla+2018a].

Dans le chapitre 3, chaque axe de contributions est présenté par l'article de journal correspondant précédé d'un résumé en français.

Chapitre



Contributions scientifiques

3.1 Extension des modèles de configuration à base de contraintes aux situations non-routinières . . . 34
3.1.1 Contributions principales de l'article [Sylla+2018b] . . . 34
3.1.2 Synthèse des contributions et perspectives . . . 36
3.2 Définition d'une métrique de confiance caractérisant les offres techniques basée sur des indicateurs factuels et subjectifs . . . 51
3.2.1 Contributions principales de l'article [Sylla+2017c] . . . 51
3.2.2 Synthèse des contributions et perspectives . . . 53
3.3 Proposition d'une approche d'aide à la décision multicritère basée sur le principe de la Pareto-dominance . . . 74
3.3.1 Contributions principales de l'article [Sylla+2018a] . . . 74
3.3.2 Synthèse des contributions et perspectives . . . 77

Ce chapitre présente les trois articles de journaux qui constituent les contributions principales de nos travaux. Chaque article apporte des solutions à un ensemble de problématiques scientifiques identifiées dans le chapitre 2. Pour permettre une meilleure compréhension, chaque article est précédé d'un résumé qui introduit ses contributions clés.

Dans la section 3.1, le premier article montre comment des modèles de configuration de produits utilisés dans des situations industrielles AMTO peuvent être modifiés et adaptés pour couvrir la configuration de systèmes techniques dans des situations industrielles ETO lors de l'élaboration des offres techniques dans un processus de réponse à appel d'offres. Dans la section 3.2, le deuxième article présente des indicateurs de confiance ainsi qu'une méthode permettant de les évaluer afin de caractériser chaque offre technique (système technique et processus de réalisation) selon différents niveaux de confiance. Dans la section 3.3, le troisième article propose une approche d'aide à la décision multicritère basée sur le principe de Pareto-dominance. Elle a pour but d'aider l'entreprise soumissionnaire à sélectionner l'offre technique la plus intéressante en tenant compte des incertitudes et imprécisions sur

les valeurs des critères de décision mais, également, de la confiance dans chaque offre potentielle.

3.1 Extension des modèles de configuration à base de contraintes aux situations non-routinières

Article 1 - *Configuration knowledge modeling : How to extend configuration from assemble/make to order towards engineer to order for the bidding process. Computers in Industry, 2018, Volume 99, page 29-41*

Cet article, publié dans la revue « *Computers in Industry* » [Sylla+2018b], se concentre sur la partie « système technique » de l'offre. La manière dont les modèles de configuration de produits utilisés dans des situations de conception routinière (ou AMTO) peuvent être modifiés et adaptés pour couvrir la configuration de systèmes dans des situations de conception non-routinière (ou ETO) est abordée.

Dans la section 2 de cet article, les hypothèses et les éléments de définition des problèmes de configuration de produits répertoriés dans les travaux scientifiques sont présentés et discutés. Dans le but de montrer la manière dont un système peut être configuré sur la base d'un modèle générique de configuration exploitant le formalisme des CSP dans un contexte industriel AMTO, un exemple simple inspiré de cas réels de configuration d'un système technique « grue » est considéré. Cette grue est constituée de trois sous-systèmes : une flèche, une tour et une « cabine nacelle ». Le modèle générique est décrit ainsi que plusieurs scénarios de configuration de grue. Dans ce modèle, les variables sont associées au système grue, aux sous-systèmes et aux propriétés caractérisant les sous-systèmes. L'analyse des hypothèses et des éléments de définition des problèmes de configuration révèle que les modèles génériques développés sur ces bases ne sont pas adaptés pour la configuration des systèmes techniques dans des situations industrielles de type ETO. Ceci constitue la problématique de cet article.

Les solutions proposées sont décrites dans la section 3 de l'article. Elles constituent ses contributions principales. Elles sont introduites dans la section 3.1.1 de ce mémoire. La synthèse des propositions et les futures recherches sont également exposées dans la section 3.1.2 de ce mémoire.

3.1.1 Contributions principales de l'article [Sylla+2018b]

Les contributions principales sont présentées dans la section 3 de l'article *(Proposals : ETO configuration problem and model updates)*. Elles sont regroupées en deux grandes parties qui sont : (i) l'identification et la caractérisation des différents cas de configuration de systèmes non-standards, et (ii) la proposition des éléments de modélisation à base de CSP pour l'extension de la configuration de systèmes standards aux systèmes non-standards dans chacun des cas.

A. Identification et caractérisation des différents cas de configuration de systèmes non-standards

Dans cette première partie, une analyse des caractéristiques de systèmes standards et non-standards a permis d'identifier les caractéristiques permettant de les distinguer. Ces caractéristiques reposent sur : les propriétés (ou attributs) décrivant les sous-systèmes et systèmes, et les sous-systèmes composant les systèmes. Ces deux éléments (propriétés et sous-systèmes) peuvent être : (i) standards ou non-standards, (ii) prendre des valeurs / des instances standards ou non-standards, et (iii) être l'objet d'associations / d'intégrations standards ou non-standards. Sur cette base, nous parlerons de configuration de systèmes standards lorsque tous les éléments, toutes les valeurs ou instances, et toutes les associations ou intégrations sont standards. Par opposition, pour tout autre cas, nous parlerons de configuration de systèmes non-standards. Ainsi, la présence d'une caractéristique non-standard implique un cas de configuration de systèmes non-standards (configuration en situation industrielle ETO).

Cette analyse permet d'identifier six cas qui différencient la configuration de systèmes standards de celle des systèmes non-standards. Ils représentent les différentes situations de configuration de systèmes en situation industrielle ETO. Trois cas concernent les sous-systèmes et trois concernent les systèmes. Ils sont présentés dans la Figure 3.1 et sont décrits comme suit.

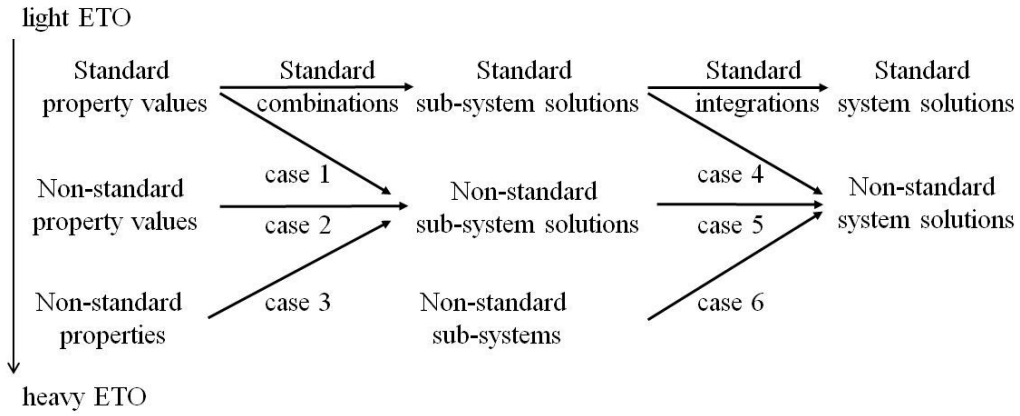


Figure 3.1 – Les six cas de configuration de systèmes non-standards

Les trois cas concernant les sous-systèmes sont :

1. l'association non-standard de valeurs standards pour des propriétés. Par exemple, pour un sous-système « flèche », une longueur de 4 mètres n'a jamais été associée à une rigidité forte (cas 1, page 33 de l'article) ;
2. l'ajout d'une valeur non-standard à une propriété standard. Par exemple, une longueur entre 4 et 8 mètres qui n'a jamais été sélectionnée (cas 2, page 33) ;
3. l'ajout d'une propriété non-standard à un sous-système. Par exemple, la propriété « forme de la flèche de la grue » n'a jamais été demandée (cas 3, page 33).

Les trois cas concernant les systèmes sont :

1. l'intégration non-standard d'instances ou de solutions standards pour des sous-systèmes. Par exemple, deux sous-systèmes « solution flèche 1 » et « solution tour 2 » n'ayant jamais été intégrés dans un système doivent l'être (cas 4, page 33) ;

2. l'ajout d'une solution non-standard à un sous-système standard. Il s'agit par exemple de la même situation que précédemment mais avec une solution non-standard du sous-système « flèche » (cas 5, page 33) ;
3. l'ajout d'un sous-système non-standard au système. Par exemple, l'ajout au système « grue » d'un sous-système de sécurité « rotation stop » qui n'a jamais été dans la composition d'une grue (cas 6, page 33).

Dans chacun de ces six cas, l'ensemble des solutions standards qui constituent la diversité des solutions formalisées dans des modèles génériques ne couvrent pas la totalité des besoins exprimés par le client.

Sur la base de ces six cas, et s'inspirant de la définition du problème de configuration de systèmes standards, une définition est proposée pour le problème de configuration de systèmes standards et non-standards dans la section 3.1.3 de l'article. Cette définition inclut des caractéristiques standards et non-standards pour permettre la construction de modèles génériques pour la configuration de systèmes dans des situations industrielles AMTO et ETO.

B. Éléments de modélisation pour l'extension de la configuration de systèmes standards aux systèmes non-standards

La deuxième contribution de cet article porte sur la formalisation des connaissances pour la construction de modèles génériques de configuration de systèmes standards et non-standards. Comme pour la configuration de systèmes standards, le formalisme CSP *(Constraint Satisfaction Problem)* est utilisé.

Pour chacun des six cas de configuration de systèmes en situation industrielles ETO listés précédemment, nous avons identifié sur les modèles existants les modifications nécessaires à leur extension. Il s'agit notamment des modifications à apporter aux variables et à leur domaine (l'ensemble des valeurs possibles), ainsi que celles à apporter aux contraintes qui les lient. Des solutions ou éléments de modélisation sont ainsi proposés et illustrés à l'aide de l'exemple de développement de grues standards et non-standards dans la section 3.2 de l'article. Nous montrons également comment intégrer toutes ces propositions pour construire un modèle générique de configuration de systèmes utilisable dans des situations industrielles AMTO et ETO.

3.1.2 Synthèse des contributions et perspectives

Les contributions clés de cet article sont : (i) l'identification des six cas de configuration de systèmes non-standards (configuration en situations industrielles ETO), (ii) la proposition d'une définition du problème de configuration de systèmes standards et non-standards et, (iii) la proposition des solutions ou éléments de modélisation à base des CSP pour étendre les modèles génériques de configuration de systèmes standards aux systèmes non-standards.

D'un point de vue pratique, de manière générale, les utilisateurs de logiciels de configuration à base de connaissances peuvent exploiter ces propositions pour utiliser ces logiciels dédiés aux situations AMTO pour configurer des systèmes dans des situations industrielles ETO grâce à des adaptations mineures. Ils peuvent ainsi modifier leurs modèles génériques de configuration de systèmes standards pour les étendre à la configuration de systèmes non-standards. Dans le cas particulier du processus de réponse à appel d'offres, elles permettent aux entreprises soumissionnaires

de configurer rapidement et avec moins de ressources des offres techniques satisfaisant les besoins du client. Ainsi, cela peut leur permettre de prendre en compte plus de sollicitations afin d'augmenter leur chiffre d'affaires et réduire les pertes potentielles en cas d'offres non acceptées. Au niveau opérationnel, la personne chargée de la définition de l'offre technique est maintenant autorisée à sélectionner, via un logiciel de configuration, un système technique non-standard.

Comme mentionné dans les chapitres précédents, dans le cadre de l'élaboration d'une offre technique dans un processus de réponse à appel d'offres, le processus de réalisation est un élément important de l'offre technique qui permet notamment d'évaluer les coûts et surtout les durées de développement des offres ainsi que leur faisabilité vis-à-vis des attentes et objectifs fixés (coûts, durées). Dans le cadre de nos travaux non évoqués dans cette publication, des études ont été faites sur la configuration de processus dans un contexte industriel ETO dans [Sylla+2017c ; Sylla+2017d]. Cependant, celles-ci se sont limitées à l'identification de quelques éléments nécessaires à l'extension de la configuration de processus des situations industrielles AMTO à celles ETO. Une étude plus approfondie est donc nécessaire pour proposer des éléments plus matures pour la construction de modèles génériques de configuration de processus et la configuration conjointe de système et de processus dans des situations industrielles ETO. En conséquence pour nos futures recherches, nous envisageons une étude des différentes situations de configuration de processus dans des situations ETO.

Notre premier article, publié dans la revue « *Computers in Industry* » [Sylla+2018b], détaille dans les pages suivantes toutes les solutions proposées.

Configuration knowledge modeling: How to extend configuration from assemble/make to order towards engineer to order for the bidding process

Abdourahim Sylla[a,b,*], Delphine Guillon[a,c], Elise Vareilles[a], Michel Aldanondo[a], Thierry Coudert[b], Laurent Geneste[b]

[a] Université de Toulouse, IMT-Mines Albi, Centre de Génie Industriel, Albi, France
[b] Université de Toulouse, INP-ENIT, Laboratoire Génie de Production, Toulouse, France
[c] Ecole Supérieure des Technologies Industrielles Avancées, ESTIA Recherche, Bidart, France

A B S T R A C T

The bidding process is one of the most important phases for system contractors. A successful bid implies defining and implementing attractive and realistic systems solutions that fulfill customer expectations. An additional challenge arises with the increase in systems diversity resulting from growing customization needs. As a result, for standard customizing offers, bidders find good quality support with configuration software for assemble/make-to-order situations. But when requirements exceed the standard offers, bidders need extended support to fulfill Engineering-to-Order requirements. In this context, this article shows how configuration knowledge models, which support configuration in assemble/make-to-order situations (AMTO), can be extended and used in engineer-to-order situations (ETO). Modeling is achieved assuming that the configuration problem is considered as a constraint satisfaction problem. Six key requirements that differentiate ETO from AMTO are identified and modeling extensions are proposed and discussed. An example illustrates all the contributions.

Keywords:
Bidding process
Assemble/Make-to-Order
Engineering-to-Order
Configuration software
Knowledge-based model
Constraint satisfaction problem

1. Introduction

A call for tenders is a procedure where a customer asks several potential contractors (bidders) to make different commercial offers for the development of a product or system [1,2]. It gives the customer the opportunity to compare several offers and to choose the best one in terms of price, performance and delivery date. After the reception of an invitation to submit, the bidders start their bidding process, which consists mainly of four activities: (i) analysis of the bid opportunity, (ii) elaboration of the bid solution, (iii) drawing up of the commercial bid and (iv) transmission of a bid proposal [3,4]. The contribution presented in this paper adopts the bidder's point of view and aims to support and improve the elaboration of the bid solution using a knowledge-based system. Like Krömker et al. [5] and Yan et al. [6], we consider that a bid solution is composed of a technical part (bill of material drawing together sub-systems and components) and a delivery process (composed of key required activities and resources). But in this paper, we voluntarily restrict our proposal to the technical part, as it is more sensitive to customer requirements than the delivery process. Indeed, a non-standard requirement, such as a new feature, leading to a non-standard solution, mainly impacts the technical part of the bid. The delivery process is less impacted, as the set of required activities is assumed to be the same whatever the technical solution; we argue that only activity durations and key resources can be different between a standard solution and a non-standard one. The delivery process is thus not considered in this article.

Depending on the system diversity and the customer's requirements, two kinds of industrial situations can be identified when elaborating the technical part or solution for the bid [7–9]. The first situation is Configure-To-Order (CTO) which is intrinsically linked to Assemble-To-Order (ATO) and Make-To-Order (MTO) situations. The second situation is the Engineer-To-Order (ETO) situation. CTO refers to technical solutions (product or system) that have already been studied in detail and that are based

* Corresponding author at: Université de Toulouse, IMT-Mines Albi, Centre de Génie Industriel, Allée des sciences, Albi, 81000, France.
E-mail addresses: abdourahim.sylla@mines-albi.fr, abdourahim.sylla@enit.fr (A. Sylla), delphine.guillon@mines-albi.fr, d.guillon@estia.fr (D. Guillon), elise.vareilles@mines-albi.fr (E. Vareilles), michel.aldanondo@mines-albi.fr (M. Aldanondo), thierry.coudert@enit.fr (T. Coudert), laurent.geneste@enit.fr (L. Geneste).

on some predefined customer requirements. Most of the time in such cases, the technical solutions result from the assembly of standard sub-systems and components (ATO and MTO situations) that have been entirely defined and fully characterized [10]. In this situation, many practitioners use configuration software as a support for the elaboration of the technical part [11]. Configuration software is a knowledge-based system that, given a kind of generic model of the technical solutions, allows the bidder to instantiate or customize a specific solution according to the customer's requirements [12,13,10]. Configuration systems allow reliable and trustworthy technical solutions to be defined. But as a consequence, and even more so in a bidding context, the customer's requirements must be fulfilled only with these standard sub-systems and relevant assemblies as a standard offer.

When customer requirements cannot be fulfilled by this kind of standard offer, novel or adapted technical solutions need to be totally or partially defined, which leads to Engineering-To-Order (ETO) situations [14]. Some companies or software providers speak of "light" ETO, when standard solutions almost completely cover the requirements and just need small adaptations, or "heavy" ETO, when all standard solutions must be adapted and new ones entirely defined. For any ETO situation, the bidders may adopt two different approaches for technical solution elaboration. The first is to perform a fully detailed design, which implies studying in detail all the sub-systems, components and interfaces that may be a part of a technical solution. With this approach, the characteristics of the technical solution to the bid are very accurate and certain, but the resources, time and effort involved are considerable [15,16]. In contrast, the second approach is to perform a pre-design of the technical solutions of the bid. Only the main decompositions, characteristics or working principles for the technical solutions are defined and estimated [17]. The main advantage of this approach is that it reduces the consumption of resources, time and effort when elaborating the technical solutions. However, in contrast to the first approach, the estimation of these technical solutions is more imprecise and uncertain due to the lack of precise and complete knowledge [18,16].

Given the two previous CTO and ETO situations, our concerns are:

(i) to consider ETO situations with a view to accepting some non-standard customer requirements,
(ii) to adopt a pre-design approach in order to reduce bidder workload,
(iii) to support and improve the elaboration of the technical solution with adapted configuration techniques dedicated to CTO.

In this perspective, the goal of this article is to define a generic knowledge-based model for the elaboration of technical solutions for bids in both CTO and ETO situations. Considering as a basis a generic configuration model relevant to CTO, the key contribution of this paper is to show how this generic model can be extended towards ETO situations thanks to various modeling proposals. The modeling extensions rely on identifying the set of non-standard requirements that are acceptable from the bidding company's point of view. Once this identification is made and validated, the generic configuration model is updated with the relevant ETO knowledge. In line with many authors, see Vareilles et al. [19] and Felfernig et al. [10], we consider the configuration problem as a constraint satisfaction problem (CSP) and use this framework for modeling. We need to point out that our proposals are not only dedicated to the bidding process and can be used in other design activities as well. Although this problem is quite common in design activities, the need to take into account non-standard but acceptable requirements is much more critical in the bidding process. Bidding companies have to answer calls for tenders more and more quickly with solutions that fit the customer's requirements (due date, technical solution, cost, etc.), even if these requirements are near the limits of their technical solution catalogs. A real effort has to be made upstream to determine what technical solutions a company is able to produce to minimize the pre-design time while bidding and maximize the confidence of a company in the execution of its commitments in case of success [9].

In practice, the implications of the contribution of this article are threefold:

(i) In general, for users of knowledge-based configuration software, it enables them to use, with minor adaptations, conventional configuration software dedicated to CTO (or AMTO) for both AMTO and ETO industrial situations.
(ii) In the particular case of the bidding process, it enables the contractors (bidders): (a) to consider more bid opportunities and thus increase their business volume, (b) to limit the loss of resources, time and effort, especially in cases where their commercial offers are not accepted by the customers.
(iii) At the operational level, the person in charge of the offer definition is now allowed some leeway in respect of the standard, whilst remaining within the rigor of configuration software.

The rest of the paper is organized as follows. In Section 2, knowledge-based configuration background, constraint programming and generic modeling issues relevant to CTO are presented. In Section 3, six requirements and relevant extensions of the CTO generic model towards ETO are proposed and illustrated. In Section 4, a synthesis of our proposals is made, leading to discussions and future research. Throughout the paper an example dealing with a crane system configuration problem illustrates the proposals. In the final version, a link to a configuration website will be provided in order to show the propositions' interests.

2. Configuration background and ETO issues

In this section, definition elements relevant to the configuration problem for CTO technical systems are recalled. Secondly, the Constraint Satisfaction Problem (CSP) approach used to formalize it is presented and explained. Finally, the illustrative example is introduced and modeled as a CSP.

2.1. Product and system configuration

One of the first definitions of configuration activity was provided by Mittal and Frayman [20], who described configuration activity as "a special type of design activity, with the key feature that the artifact being designed is assembled from a set of predefined components that can only be connected together in certain ways". The authors also consider that a component is characterized by a set of properties and ports for connecting it to other components. This definition has been adopted and discussed by many authors, especially, Soininen et al. [21], Sabin and Weigel [12], Aldanondo and Vareilles [22], Yang and Dong [23] and Felfernig et al. [10].

From previous configuration problem definitions, we consider the following one with the key elements summarized as follows:

- Hypothesis: a product is considered as a set of components
- Given:
  (1) a generic architecture of the product that describes a family of products,
  (2) a fixed set of component groups that are always present in any product,
  (3) a fixed set of component groups that are optional,

(4) a fixed set of properties that characterize either a component or a product,
(5) a set of constraints that restrict possible combinations of components and/or property values,
(6) a set of customer requirements, where a requirement corresponds the selection of a component or a property value.

- Objectives: The configuration of a product consists in finding at least one set of components that satisfies all the constraints and the customer requirements.

An adaptation of this problem, defined for a CTO product in the context of a CTO technical systems configuration problem, can be performed by substituting "product" and "component" with, respectively, "technical system" and "sub-system" in the above definition. With regard to this adapted problem definition, one can develop a CTO technical systems configuration model, which makes it possible to configure technical systems composed of a set of sub-systems, considering one level of decomposition (system/sub-systems). This single abstraction level hypothesis is usually sufficient if we are considering a pre-design context for bidders. However, as already noticed by Mittal and Frayman [20], Aldanondo et al. [24] and Felfernig et al. [10], neither non-standard sub-systems nor non-standard integrations between sub-systems can be identified or selected to configure a non-standard technical system. Configuration problem hypotheses require staying inside the definition of the standard solution set or standard solution catalog.

Therefore, ETO technical system configuration cannot be directly supported by a configuration model in line with previous CTO hypotheses and definitions. Consequently, these configuration definitions and hypotheses, as well as the generic models, have to be adapted to cope with ETO situations. As far as we know, there is no scientific work dealing with this objective. Although many studies have been made in the field of CTO knowledge modeling – see for example: [21,25] or [22] – much fewer concern ETO knowledge. However: [26,14,27,28] or [29] can be consulted. While each of these papers is relevant to knowledge modeling, they concern mainly either CTO knowledge or ETO knowledge and do not attempt to bridge the gap between these two modeling contexts. In this article, we extend the CTO technical systems configuration model towards ETO in order to be able to consider non-standard but acceptable customer requirements. These adaptations are the core contributions given in Section 3. In the following, the Constraint Satisfaction Problem (CSP) framework used to model the configuration problem is recalled and illustrated with the crane example.

2.2. Constraint Satisfaction Problem (CSP)

Within a CSP framework, a problem is defined as a set of constraints (C), which state relations between the problem's variables (V), where each variable ($v_i \in V$) can take a value only in a finite domain (D_i) [30]. Referring to the CSP definition above, Sabin and Sabin and Weigel [12], Soininen et al. [21] and others (see [10]) have shown that the product configuration problem defined in Section 2.1 can be modeled with this CSP framework.

We consider the same for systems as follow. Each sub-system group and each property is associated with a variable. A specific sub-system solution of a sub-system group or a specific value of a property corresponds to one value in the domain of the corresponding variable. The constraints represent the allowed combinations of sub-systems and/or property values. In order to be able to model optional sub-systems, Dynamic or conditional CSP (DCSP), introduced by Mittal and Falkenhainer [31], can be used. Within the DCSP framework, the notions of *active/inactive* variables and *active/inactive* constraints are added to the CSP framework. Variables and constraints are partitioned into initially active and initially inactive sets. Referring to the configuration problem of Section 2.1, the sub-systems groups that are always present in a configurable system are associated with the initially active variables whereas the optional sub-systems groups are associated with the initially inactive ones. The activation of inactive variables or constraints is performed using activity constraints that can add to the current problem the variables and constraints that were not initially active. Constraints can also be used to link sub-systems to some indicators, e.g. performance, cost, readiness or confidence, as shown in [32,33]. This assessment issue will not be considered in this article.

In this article, we use the CSP framework to extend the CTO generic model towards ETO. In Section 3, the main issues dealing with CTO and ETO are discussed and the relevant extensions are shown and illustrated on a simple example.

2.3. Illustrative example: a crane system

As an illustrative example, we consider a very simple crane system composed of only two sub-systems that are always present in any configuration (Tower and Jib) and an optional sub-system (Operator basket). This example is inspired by real situations. In the interest of clarity and understanding, we have voluntarily simplified the real-life situations in the rest of the paper.

2.3.1. Crane model

At the sub-system level, as the configuration model structure is similar for all the sub-systems, only the model relevant to the jib is detailed in Fig. 1. The Jib sub-system is characterized by two properties associated with two variables: (i) length of the jib (noted Length, with two possible values "4" or "8" meters) and (ii) stiffness of the jib (noted Stiffness, with two possible values, "low" for low-stiffness or "strong" for strong-stiffness). A sub-system

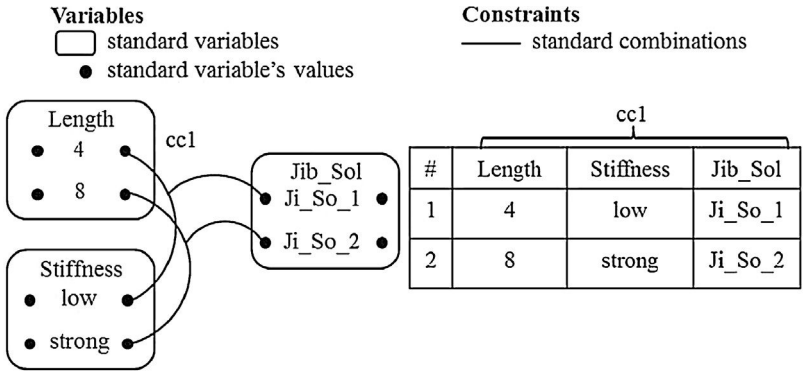


Fig. 1. Generic CTO configuration model of the jib sub-system.

group variable noted Jib_Sol (with two possible values "Ji_So_1" and "Ji_So_2") identifies jib technical solutions. The constraint cc1 allows two possible combinations of the length and the stiffness of the jib and indicates the corresponding jib sub-system solution. According to cc1, neither an "8 m low stiffness jib" nor a "4 m strong stiffness jib" are allowed by the standard.

At the system level, the integration of the sub-systems has to be taken into account, as shown in Fig. 2.

The configuration model shows five variables:

(1) three variables associated with the three sub-systems:
The two sub-systems that are always present in any solution:
Jib_Sol, with two possible solutions "Ji_So_1" and "Ji_So_2", corresponding to the sub-system group for the Jib,
Tower_Sol, with two possible solutions "To_So_1" and "To_So_2", corresponding to the sub-system group for the Tower.
The subsystem that is optional:
Basket_Sol, with two possible basket solutions, small "Ba_So_1" and large "Ba_So_2", corresponding to the sub-system group for the Basket.
(2) one variable associated with the system property that characterizes if the optional sub-system is present:
Basket_Exist, with two possible solutions "yes" and "no",
(3) one variable associated with the system:
Crane_Sol, with three possible values "Cr_So_1" to "Cr_So_3", corresponding to the final Crane system,

Three constraints, two of compatibility and one of activation, link these sub-system groups, property and system, together in order to describe the family of systems proposed in the standard:

(1) the compatibility constraint cs1 describes the possible combination of a jib and a tower with possible relevant crane solutions:
"Ji_So_1" and "To_So_1" are compatible with "Cr_So_1", while "Ji_So_2" and "To_So_2" are compatible with "Cr_So_2" and "Cr_So_3" (which only differ by the presence of the sub-system basket).
(2) The compatibility constraint cs2 links the variable Crane_sol with the property Basket_exist. Cs2 allows selection of the appropriate crane technical solution.
"Cr_So_1" and "Cr_So_2" are not compatible with a basket, while "Cr_So_3" is.
(3) The activation constraint as1 enables control of the existence of the optional sub-system group basket, Basket_Sol, according to the property value of Basket_Exist.

2.3.2. CTO illustrative scenario

As an illustrative scenario of the configuration, let us consider the following customer requirements: "We need a heavy capacity jib-crane with a large operator basket." This requirement is translated into the following inputs "A crane with a strong stiffness jib and a large operator basket":

Input 1: *stiffness of the jib equals strong is chosen*
⇒ Stiffness = *"strong"*

As the Stiffness variable has been reduced, the constraints cc1 and cs1 are filtered. Cc1 implies that (1) the length equals 8 (length = "8") and (2) that the jib solution equals Jib_Sol_2 (Jib_Sol = "Ji_So_2"). Cs1 implies that the tower solution equals To_So_2 (Tower_Sol = "To_So_2") and therefore that the crane solution is either Cr_So_2 or Cr_So_3 (Crane_Sol = "Cr_So_2" or Cr_So_3").

Input 2: *the value yes for the optional sub-system basket is chosen*
⇒ Basket_Exist = *"yes"*

As this variable has been valuated, the activity constraint as1 activates the sub-system group relative to the sub-system basket (Basket_sol) and the constraint cs2 is filtered. Cs2 implies that the crane solution equals Cr_So_3 (Crane_Sol = "Cr_So_3").

Input 3: *the value Ba_So_2 for the optional basket is chosen as it corresponds to a large one*
⇒ Basket_Sol = *"Ba_So_2"*

Once this variable has been valuated, nothing else can happen and the configuration process is over. As a result the CTO technical solution proposed to the customer corresponds to Cr_So_3 and gathers the three sub-systems: Ji_So_2, To_So_2 and Ba_So_2. For sake of clarity, the optional standard sub-system (Operator basket) is omitted in the rest of the paper.

2.4. Synthesis

In this section, Configuration-To-Order basics have been recalled and the constraint modeling framework used to model the problem has been presented and illustrated with an example. Finally, some issues that differentiate Engineering-To-Order requirements from configure-to-order requirements have been introduced. The next section details these differences and proposes modeling extensions.

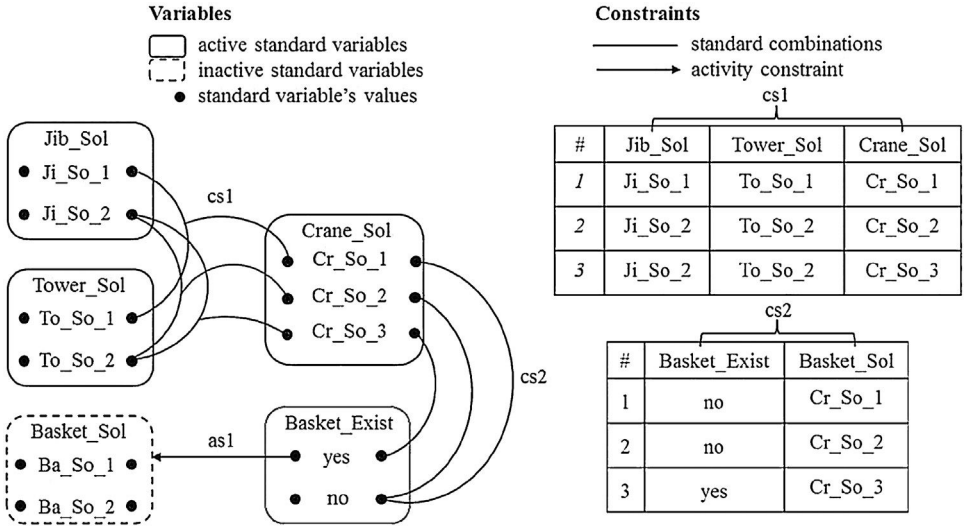


Fig. 2. Generic CTO configuration model of the crane system.

3. Proposals: ETO configuration problem and model updates

In this section, we first present and discuss the main issues dealing with CTO and ETO assembling. We propose and illustrate six constraint-based modeling extensions in order to handle ETO situations with configuration techniques.

3.1. Main issues in CTO and ETO gathering

In the following sub-sections, we first identify, define and illustrate six key required extensions to bridge CTO and ETO. We then discuss them and deduce some consequences dealing with configuration knowledge management for ETO situations. We finally propose some definition elements for CTO-ETO configuration.

3.1.1. CTO – ETO differences: six key requirements

The study of various Engineering-To-Order (ETO) industrial situations and many discussions with configuration practitioners of the configuration community have led us to identify and propose six cases that bridge the gap between CTO and ETO generic modeling. Each of these cases corresponds to real situations that any bidding company may face. For each of them, a specific kind of customer requirement cannot be fulfilled by standard sub-systems and CTO system modeling. Two types of cases are considered: those that are relevant to sub-system properties (cases from 1 to 3) and those that are relevant to sub-systems themselves (cases from 4 to 6). We want to warn the reader that these two types of cases have common roots which induce similarities. We could have proposed more abstract requirement definitions with more abstract modeling extensions. But this would have required abstract definitions and extensions plus instantiations for both property and sub-system levels. We choose to promote easy understanding, even if it may be a little longer, rather than genericity that could be much harder to follow. We therefore keep the six requirements that are shown in Fig. 3. All of them are shown in Fig. 3. In Fig. 3 that depicts the six cases, the highest horizontal flow shows CTO configuration that respects all the standard definitions from left to right: (i) standard property values, (ii) standard property value combinations (arrow that identifies sub-system solution), (iii) standard sub-system solutions, (iv) standard sub-system solution integrations (arrow that identifies system solution) and (v) standard system solutions. Lowest level flows and associated arrows situate the six ETO non-standard cases that require extensions. These six cases are defined as follows:

- **Case 1: non-standard combination of standard property values that leads to a non-standard sub-system solution.** In this first case, in order to fulfill the customer's requirements, the values of at least two standard properties, which were previously incompatible, have to be chosen simultaneously. For instance, in the crane example, if we consider the sub-system jib presented in Fig. 1, such a requirement could be "A *4 meters strong* stiffness jib is required", which is not possible with the current model.
- **Case 2: non-standard property values that lead to a non-standard sub-system solution.** In this second case, the customer requires a property value which is outside the standard values. For instance, in the crane example, if we consider the sub-system jib presented in Fig. 1, such a requirement could be "A *6 m* low stiffness jib is required.", while the value "6" is outside the standard length property values and not present in the current model.
- **Case 3: non-standard property that leads to a non-standard sub-system solution.** In this third case, the customer requires a new property which does not belong to the standard. For instance, in the crane example, if we again consider the sub-system jib presented in Fig. 1, such a requirement could be "A 4 m low stiffness jib *with a U-shape section* is required". The new and non-standard property "section shape", undefined in the current model, needs to be added to the configured system with its value "U-shape".
- **Case 4: non-standard integration of standard sub-system solutions that leads to a non-standard system solution.** In this fourth case, the customer's requirements lead to the need to integrate standard sub-system solutions which have never yet been integrated together. For instance, in the crane example, if we consider the sub-systems Jib and Tower as presented in Fig. 2, such a requirement could correspond to the need to integrate a Jib "Ji_So_1" and a tower "To_So_2", which is not possible with the current model.
- **Case 5: non-standard integration of standard and non-standard sub-system solutions that leads to a non-standard system solution.** In this fifth case, very close to case 4, the customer's requirements lead to the need to integrate standard sub-system solutions with non-standard ones (resulting from cases 1, 2, 3). For instance, in the crane example, if we consider the sub-systems Jib and Tower as presented in Fig. 2, such a requirement could lead to the need to integrate a non-standard Jib, corresponding to the following requirement: "A 4 m strong stiffness jib is required.", and a standard tower "To_So_2", which is not possible with the current model.
- **Case 6: non-standard sub-system that leads to a non-standard system solution.** In this sixth case, the customer's requirements lead to the need for a new sub-system which does not belong to the standard sub-systems catalog. Consequently, it must be designed or bought and then integrated. For instance, in the crane example, such a requirement could be "A rotation stop control sub-system that allows maximum angle+/− 10° is required", with the new non-standard sub-system "rotation stop" undefined in the current model.

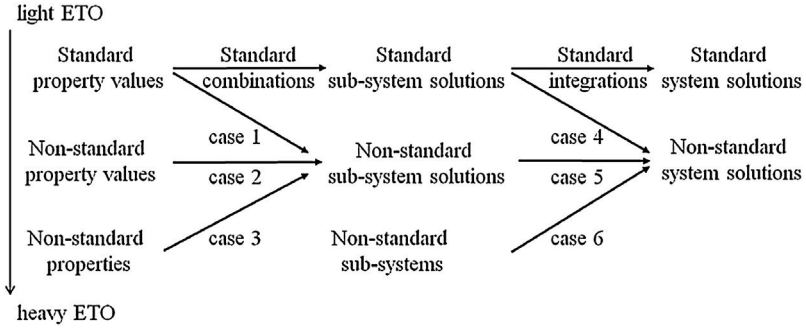


Fig. 3. Summary of the six ETO cases.

3.1.2. Discussion of requirements and knowledge modeling consequences

For each of these cases, the bidding company has never before carried out the engineering work that would enable him to propose a non-standard solution to the customer. This does not mean that such sub-systems could not be developed, produced and integrated with these characteristics. It simply means that at the time when the standard solution set or catalog was defined, these combinations of properties or sub-systems were not studied. Most of the time, this is because it was thought that the standard catalog represents the vast majority of the customers' requirements. As customers need and want increasingly personalized products, many companies more and more frequently have to propose non-standard or out-of-range system solutions in order to fulfill non-standard requirements. Of course, a bidding company cannot simply accept any requirement, so each one has to decide which non-standard requirement is acceptable. This induces a three-level requirement characterization scale: standard, non-standard acceptable and non-standard non-acceptable.

In the introduction, we spoke of "light" versus "heavy" ETO. With the proposed cases, we can slightly refine "heavy ETO" characterization as: (i) Case 3 "ETO heavier" than Case 2 "ETO heavier" than Case 1 and (ii) Case 6 "ETO heavier" than Case 5 "ETO heavier" than Case 4. Furthermore, the six previous cases can of course be combined in many ways, enforcing the "heavy" ETO characterization.

As this problem is increasingly encountered in the bidding process and refers to ETO situations, our goal is to extend CTO constraint configuration models towards ETO in order to be able to consider the six previous cases as non-standard but acceptable customer's requirements.

Before modeling proposals, an important and critical issue dealing with knowledge modeling and coding in configuration for CTO and ETO situations must be discussed and clarified.

In Configure-To-Order situations, the product knowledge necessary for the configuration software set-up is defined by an expert team that usually includes experienced people from the sales, manufacture, and design departments. Generally speaking, these expert teams talk and reach a compromise about a standard offer defining what can be designed, manufactured and put on the market. Then the configuration software is set-up according to this standard offer and the bidder must respect this standard.

In Engineer-To-Order situations, a standard offer is always present, but these expert teams must also decide on the non-standard but acceptable requirements. This means, with respect to previous cases, deciding which of the following non-standard aspects can be accepted: (i) combination of standard property values, (ii) property values (iii) property, (iv) integration of standard sub-system solutions, (v) integration of standard and non-standard sub-system solutions and (vi) sub-system. The examples that illustrate each extension will assume that the non-standard but acceptable requirements are those that illustrate the case description of Section 2.4. Furthermore, when such non-standard requirements are considered, we assume that it is the responsibility of the bidding company expert team to consider their feasibility, i.e. their ability to be developed technically and economically [34]. It is important to note that (1) it is not always easy to identify which potentially non-standard requirements may be required by customers or to know how to evaluate their feasibility *a priori* and (2) the evaluation of this feasibility relies on the skills and expertise of the expert team and its own subjective point of view. This means that the knowledge set up in the configuration software will not contain any constraint that can affect non-standard bidder choice. For example, when configuring a jib sub-system, if a non-standard but acceptable requirement means that a new property (case 3) can be added, the bidder can add whatever (s)he wants as a property. (S)he can add "section shape" but also "color" or whatever other property is deemed necessary. Once the system is configured with all these non-standard specificities, if the customer accepts the offer, all the relevant engineering activities must be achieved in order to define, manufacture and assemble the non-standard system solution. Then if this new system solution provides satisfaction to both customer and bidder, the knowledge relevant to this non-standard solution will be input into the configuration and, as a result, this non-standard description will become a standard one.

3.1.3. Towards a definition of the CTO-ETO Configuration Problem

Definition elements for CTO-ETO system configuration problems, which highlight the notion of standard and non-standard specificities, can now be derived from the product and system definition of Section 2.1 as follow.

- Hypothesis: a technical system is considered as a set of sub-systems
- Given:
  (1) a generic architecture that represent a family of standard technical systems
  (2) a fixed set of standard sub-system groups that are always present in any technical system,
  (3) a fixed set of standard sub-system groups that are optional in technical systems,
  (4) a fixed set of standard properties that characterizes either a standard system or a standard sub-system,
  (5) a set of constraints that restrict possible combinations of standard sub-systems and/or standard property values,
  (6) a set of customer requirements, where a requirement corresponds to a selection of a sub-system or a property value.

- Given additional features that will lead to the ETO system solutions:
  non-standard combination of standard property values,
  non-standard property values,
  non-standard properties,
  non-standard integration of standard sub-system solutions,
  non-standard integration of standard and non-standard sub-system solutions,
  non-standard sub-system.

- Objectives: The configuration of a technical system consists in finding at least one set of sub-systems (standard or non-standard) that satisfies all the constraints and the customer's requirements.

3.2. Extension of CTO configuration model towards ETO

In this section, we present constraint-based modeling extensions that fulfill the previous definition of a CTO-ETO configuration problem. Each of the six previously identified ETO cases is considered separately. For each one, first the extension of the knowledge-based model is described; secondly, the impacts on the constraint-based model are presented and illustrated using the crane example. A first sub-section deals with the requirements relevant to the sub-system properties and a second sub-section addresses those relevant to the sub-systems themselves.

3.2.1. Standard and Non-standard Properties leading to Non-standard Sub-systems

Case 1: Non-standard combinations of standard property values.

Model extension.

In order to allow some combinations of standard property values which were not permitted by the standard offer, we need to broaden the model by linking non-standard combinations of standard property values to a sub-system group. In terms of sub-system deductions, these non-standard value combinations are only compatible with a non-standard sub-system solution.

Therefore, the constraint-model extensions consist in adding two elements:

(i) a non-standard sub-system value in the domain of the variable sub-system,
(ii) as many non-standard constraint tuples as needed to link the non-standard combinations of standard property values to the new non-standard sub-system value.

Crane example.

The configuration model presented in Fig. 4 below depicts an example of the addition of one non-standard acceptable combination of two standard property values. This configuration model is derived from the generic CTO jib configuration model presented in Fig. 1. In this case, the non-standard acceptable requirement "A 4 m strong stiffness jib is required" needs to be taken into account. In order to do so:

(i) the non-standard jib sub-system solution noted "**Ji_So_NS_AC**" is added to the domain of the variable Jib_Sol.
(ii) this new value is linked to the non-standard acceptable combination (4 m, strong) as shown in Fig. 4. See line N°3 of constraint cc1.

The term "**Ji_So_NS_AC**" is used to enable the bidders to know that this sub-system Jib solution is **N**on-**S**tandard (**NS**) and results from a non-standard **A**cceptable **C**ombination of standard property values (**AC**). Referring to case 1 mentioned in sub-Section 2.4, this modification allows a crane with a 4-m jib with a strong stiffness to now be configured.

Case 2: Non-standard property values.

Model extension.

In order to define sub-system solutions with characteristics that exceed the domain of the standard property values, non-standard property values can be added to the domains of the properties. These non-standard values correspond to "non-standard acceptable" requirements. In terms of sub-system solution deductions, these non-standard values are only compatible with a non-standard sub-system solution.

Therefore, the constraint-model extensions consist in adding three elements:

(i) non-standard values to the domain of some standard properties,
(ii) a non-standard sub-system solution,
(iii) constraint tuples that link the non-standard property values and the non-standard sub-system solution.

Crane example.

The configuration model presented in Fig. 5 below depicts an example of addition of non-standard numerical property values to the domain of a standard property. This configuration model is derived from the generic CTO jib configuration model presented in Fig. 1. The difference is that non-standard property values (any value between "4" and "8" meters) are added to the domain of the length of the jib (see "**]4,8[m**" in Fig. 5). All other values outside [4,8] are not acceptable requirements. In order to do so:

(i) the non-standard values "**]4,8[m**" are added to the domain of the property jib length as non-standard acceptable requirements,
(ii) the non-standard sub-system solution, "**Ji_So_NS_AV**", is added in the domain of the sub-system group Jib,
(iii) The non-standard lengths are linked with new tuples to the two possible values of the jib stiffness ("low" and "strong") and the corresponding previous non-standard jib sub-system solution is noted "Ji_So_NS_AV" (see lines n°3 and n°4 of the constraint cc1 in Fig. 5).

The term "**Ji_So_NS_AV**" is used to enable the bidders to know that this sub-system solution is **N**on-**S**tandard (**NS**) and results from a non-standard **A**cceptable **V**alue in one of the properties (**AV**). Referring to case 2 mentioned in sub-Section 2.4, by using this modification a crane with a 6-m jib with a low stiffness can now be configured.

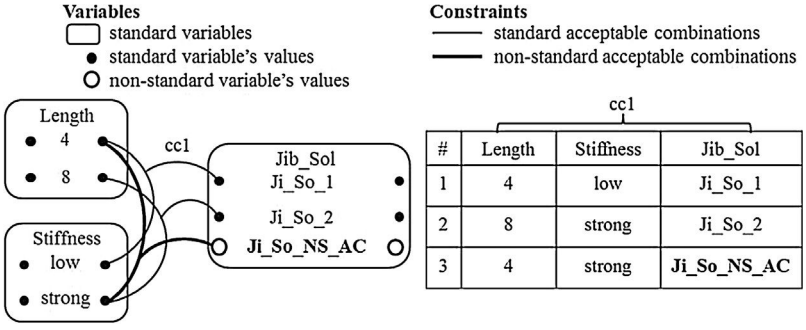
Case 3: Non-standard property

Model extension.

In order to define specific sub-system solutions which require a specific description, some non-standard properties can be added to the sub-system configuration model. The addition of a non-standard property corresponds to "non-standard acceptable" requirements. In terms of sub-system solution deductions, a non-standard property can only be compatible with a non-standard sub-system solution.

Therefore, the constraint-model extensions, relevant to each non-standard property, consist in adding six elements:

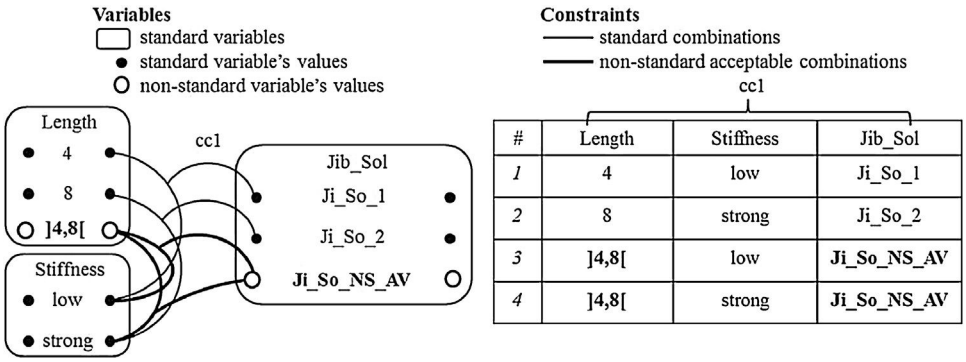
(i) one variable to capture the non-standard property name,
(ii) one variable to capture the non-standard property value,



cc1

#	Length	Stiffness	Jib_Sol
1	4	low	Ji_So_1
2	8	strong	Ji_So_2
3	4	strong	**Ji_So_NS_AC**

Fig. 4. Non-standard combination of standard property values.



#	Length	Stiffness	Jib_Sol
1	4	low	Ji_So_1
2	8	strong	Ji_So_2
3	]4,8[	low	**Ji_So_NS_AV**
4	]4,8[	strong	**Ji_So_NS_AV**

Fig. 5. Non-standard property values.

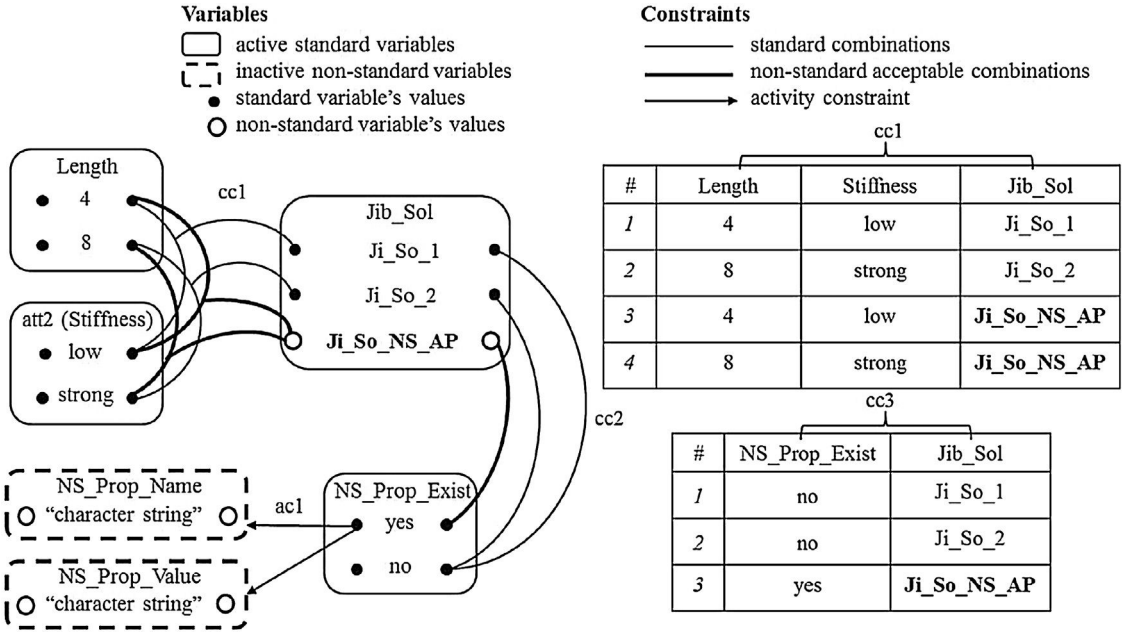
(iii) one variable to capture the requirement relevant to the existence (existence flag) of the two previous variables relevant to non-standard property description,
(iv) one activity constraint that activates the two previous variables,
(v) one non-standard sub-system solution associated with this non-standard property,
(vi) one compatibility constraint linking the existence flag and the sub-system solution.

Crane example.

The configuration model presented in Fig. 6 below depicts an example of the addition of a non-standard property. This configuration model is derived from the generic CTO jib configuration model presented in Fig. 1. It shows how a non-standard property can be added to the model to meet a specific customer requirement. In order to do so:

(i) one variable, noted **NS_prop_name**, is added with a symbolic domain allowing the capture of any kind of character string,
(ii) one variable, noted **NS_prop_value**, is added with a symbolic domain allowing the capture of any kind of character string,
(iii) one variable, noted **NS_prop_exist**, is added with a Boolean domain "yes" or "no" allowing the capture of the existence requirement of the non-standard property,
(iv) one activity constraint **ac1**, {NS_prop_exist = "yes"} = >activation of {NS_prop_name, NS_prop_value}
(v) the non-standard sub-system solution, "**Ji_So_NS_AP**", is added in the domain of the sub-system group Jib, variable Jib_Sol
(vi) one compatibility constraint **cc2**, that associates the existence flag and sub-system solution (NS_prop_exist, Jib_Sol) and shows that the positive flag can only be associated with the non-standard sub-system "Ji_So_NS_AP".

The term "**Ji_So_NS_AP**" is used so that the bidders will know that this sub-system solution is **N**on-**S**tandard (**NS**) and results from a non-standard **A**cceptable **P**roperty (**AP**). Referring to case 3 mentioned in Section 2.4, this modification allows a crane with a 4-m jib with a low stiffness and a **"U_shape"** to now be configured: (1) Jib_Length = "4", (2) Jib_Stiffness = "low", (3) NS_prop_exist = "yes", (4) NS_prop_name, = "jib shape", (5) NS_prop_value, "U shape", (6) Jib_Sol = "Ji_So_NS_AP".



#	Length	Stiffness	Jib_Sol
1	4	low	Ji_So_1
2	8	strong	Ji_So_2
3	4	low	**Ji_So_NS_AP**
4	8	strong	**Ji_So_NS_AP**

#	NS_Prop_Exist	Jib_Sol
1	no	Ji_So_1
2	no	Ji_So_2
3	yes	**Ji_So_NS_AP**

Fig. 6. Non-standard property.

Combining non-standard ETO cases at sub-system level

The three previous cases can be associated. This allows non-standard sub-systems to be defined and configured, which can potentially assemble a standard CTO offer with non-standard: case 1 or case 2 or case 3 or cases 1 and 3, or cases 2 and 3. Two combinations are missing non-standard case 1 and 2 and non-standard cases 1, 2 and 3, because as soon as there is a non-standard property value (case 2), this requires a non-standard combination of property values (case 1). Sub-system solutions relevant to cases 1 and 3 are noted with **"NS_AC_AP"** while those relevant to cases 2 and 3 are noted with "**NS_AV_AP".** It is very important for the bidders to easily understand why the sub-system is non-standard. Indeed, by knowing the root causes, the bidders can better estimate the time needed to design such a new sub-system and assess the cost indicators.

Crane example.

The configuration model presented in Fig. 7 below shows these five possibilities for non-standard jib sub-system solutions. The initial standard solution Ji_So_1 and Ji_So_2 are merged with five non-standard Jib solutions that are:

(i) Ji_So_NS_AC" for case 1
(ii) "Ji_So_ NS_AV" for case 2
(iii) "Ji_So_ NS_AP" for case 3
(iv) "Ji_So_ NS_AC_AP" for cases 1 and 3
(v) "Ji_So_ NS_AV_AP" for cases 2 and 3

All modeling extensions of Figs. 4–6 are merged in Fig. 7. The configuration process can start either by selecting the standard values for the standard property or by selecting non-standard ones.

3.2.2. Standard and non-standard sub-systems leading to non-standard technical systems

Case 4: Non-standard integration of standard sub-system solutions.

Model extension.

This case is very similar to case 1, dealing with non-standard combinations of property values. In order to allow the integration of standard sub-systems which were not permitted by the standard offer, we need to broaden the model by linking non-standard integrations of standard sub-system solutions to the technical system. The addition of a non-standard integration corresponds to a "non-standard acceptable" requirement. In terms of technical system deductions, these non-standard sub-system integrations are only compatible with a non-standard technical solution.

Therefore, the constraint-model extensions consist in adding two elements:

(i) a non-standard technical system solution value in the domain of the technical system variable,
(ii) as many non-standard constraint tuples as needed to link the non-standard integrations of standard sub-systems to the new non-standard technical system solution.

Crane example.

The configuration model presented in Fig. 8 below depicts an example of the addition of one non-standard acceptable integration of two standard sub-system solutions. This configuration model is derived from the generic CTO crane configuration model presented in Fig. 2. In this case, the non-standard acceptable technical requirement "We need to integrate To_So_2 with Ji_So_1" needs to be taken into account. In order to do so:

(i) a non-standard crane system solution noted "**Cr_So_NS_AI**" is added to the domain of the variable Crane_Sol.
(ii) this new value is linked to the non-standard acceptable integration thanks to the addition of the non-standard constraint tuple (To_So_2, Ji_So_1) of the constraint **cs1** (To_Sol, Jib_Sol, Crane_Sol), as shown in line n°3 of Fig. 8.

The term "**Cr_So_NS_AI**" is used to enable the bidders to know that this technical solution is **N**on-**S**tandard (**NS**) and results from a non-standard **A**cceptable **I**ntegration of standard sub-systems solutions (**AI**). Referring to case 4 mentioned in Section 2.4, this modification means that a crane composed of the sub-systems To_So_2 and Ji_So_1 can now be configured.

Case 5: Non-standard integration of standard and non-standard sub-system solutions.

Model extension.

This case is very similar to case 4, the only difference being that now a non-standard sub-system solution (resulting of cases 1, 2 and/or 3) can also be integrated to provide a non-standard technical system solution. In terms of technical system deduction,

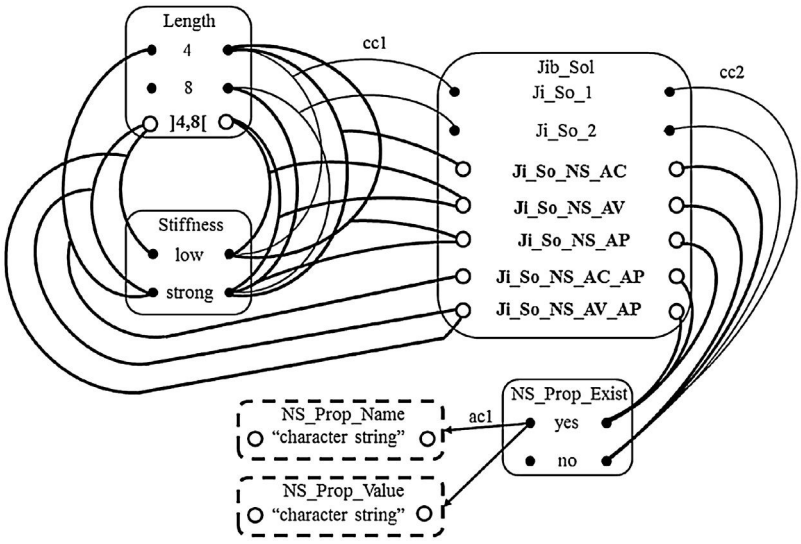


Fig. 7. Combination of the non-standard ETO cases at sub-system level.

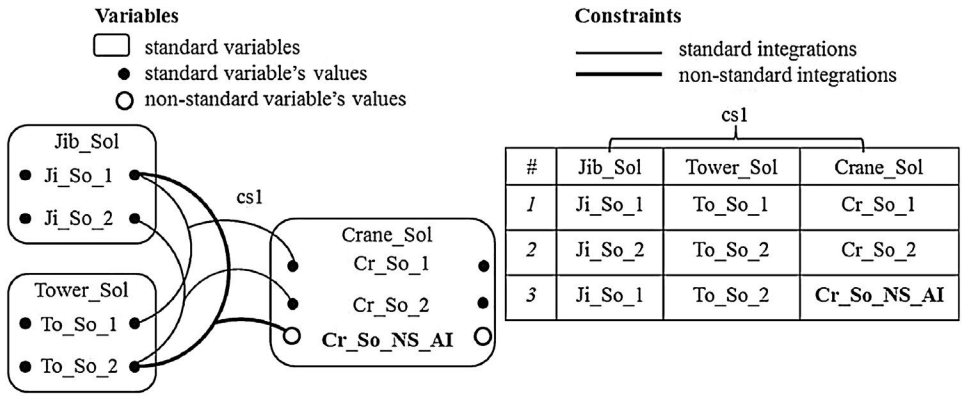


Fig. 8. Non-standard integration of standard sub-system solutions.

as in case 4, these non-standard integrations of standard and non-standard sub-systems are only compatible with a non-standard technical solution.

Therefore, the constraint-model extensions consist in adding two elements:

(i) a non-standard technical system solution value in the domain of the technical system variable,
(ii) as many non-standard constraint tuples as needed to link the non-standard integrations of standard and non-standard sub-systems to the new non-standard technical system solution.

Crane example.

The configuration model presented in Fig. 9 below depicts an example of the addition of one non-standard acceptable integration of a standard with a non-standard sub-system. This configuration model is derived from the generic CTO crane configuration model presented in Fig. 2. In this case, the non-standard acceptable technical requirement "We need to integrate To_So_2 with a 4 m strong stiffness jib" needs to be taken into account. In order to do so:

(i) a non-standard crane system solution noted "**Cr_So_NS_NI**" is added to the domain of the variable Crane_Sol.
(ii) this new value is linked to the non-standard acceptable integration by means of the addition of the non-standard constraint tuple (To_So_2, Ji_So_NS_AC) of the constraint **cs1** (To_Sol, Jib_Sol, Crane_Sol) as shown in lines n°4 and 5 of Fig. 9.

The term "**Cr_So_NS_NI**" is used to enable the bidders to know that this technical solution is **N**on-**S**tandard (**NS**) and results from a **N**on-standard acceptable **I**ntegration of standard and non-standard sub-systems solutions (**NI**). Referring to case 5 mentioned in Section 2.4, this modification means that a crane with a standard sub-system solution To_So_2 and non-standard sub-system solution Ji_So_NS_AC can now be configured.

Case 6: Non-standard sub-system.

Model extension.

This case is very similar to case 3, which describes adding a non-standard property. In order to define specific system solutions that require a specific new function, some non-standard sub-systems can be added to the system configuration model. The addition of a non-standard sub-system corresponds to "non-standard acceptable" requirements. In terms of system-solution deductions, as in cases 4 and 5, a non-standard system can only be compatible with a non-standard technical solution.

Therefore, the constraint-model extensions relevant to each non-standard sub-system consist in adding six elements:

(i) one variable to capture the non-standard sub-system name,
(ii) one variable to capture the non-standard sub-system description,
(iii) one variable to capture the requirement relevant to the existence (existence flag) of the two previous variables relevant to non-standard system description,
(iv) one activity constraint that activates the two previous variables,
(v) one non-standard system solution associated with this non-standard sub-system,
(vi) one compatibility constraint linking the existence flag and the system solution.

Crane example.

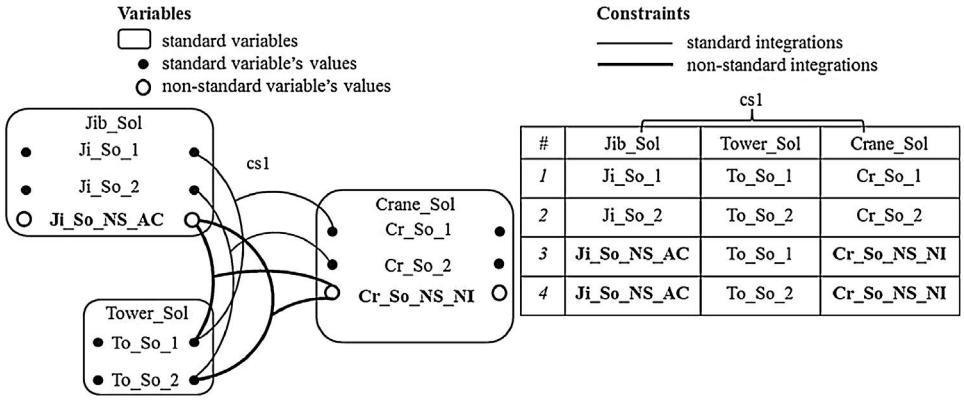


Fig. 9. Non-standard integration of standard and non-standard sub-system solutions.

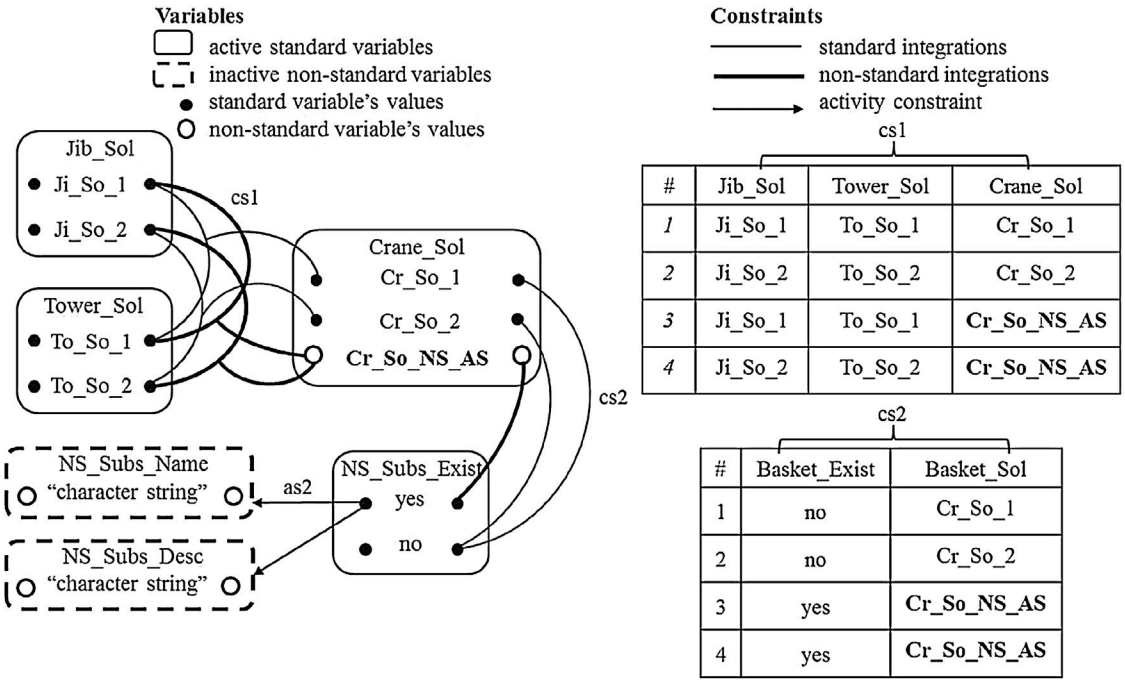


Fig. 10. Non-standard sub-system.

The configuration model presented in Fig. 10 below depicts an example of the addition of a non-standard sub-system. This configuration model is derived from the generic CTO crane configuration model presented in Fig. 2. Is shows how one non-standard sub-system can be added to the model to meet a specific customer requirement. In order to do so:

(i) one variable, noted **NS_subs_name**, is added with a symbolic domain allowing the capture of any kind of character string capturing the type of the sub-system,
(ii) one variable, noted **NS_ subs_desc**, is added with a symbolic domain allowing the capture of any kind of character string capturing the description of the sub-system,
(iii) one variable, noted **NS_subs_exist**, is added with a Boolean domain "yes" or "no" allowing capture of the existence requirement of the non-standard sub-system,
(iv) one activity constraint **as2**, {NS_subs_exist = "yes"} = > activation of {NS_ subs _name, NS_ subs_desc}
(v) the non-standard system solution, "**Cr_So_NS_AS**", is added in the domain of the crane system, variable Crane_Sol
(vi) one compatibility constraint **cs2**, which associates the existence flag and system solution (NS_subs_exist, Crane_sol) and shows that the positive flag can only be associated with the non-standard sub-system "Cr_So_NS_AS".

The term "**Cr_So_NS_AS**" is used to enable the bidders to know that this system solution is **N**on-**S**tandard (**NS**) and results from a non-standard **A**cceptable **S**ub-system (**AS**). Referring to case 6 mentioned in Section 2.4, this modification allows a crane with a 4-m jib with a low stiffness and a "**rotation stop**" additional sub-system to now be configured: (1) Jib_Length = "4", (2) Jib_Stiffness = "low", (3) NS_subs_exist = "yes", (4)

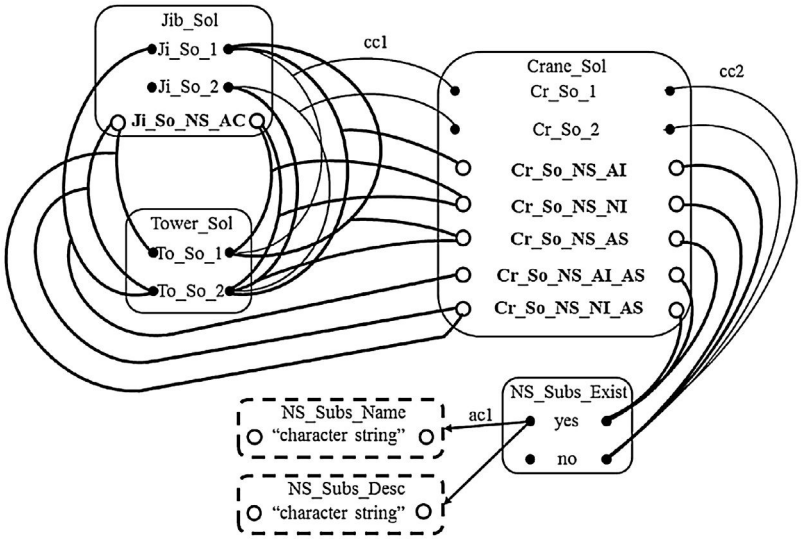


Fig. 11. Combination of the non-standard ETO cases at system level.

NS_subs_name, = "rotation stop", (5) NS_subs_desc, "Max +/− 120°", (6) Crane_sol = "Cr_So_NS_AS".

Combining non-standard ETO cases at system level

As with the sub-system level, the models of the three previous cases can be associated. The resulting model gathers the configuration models and potentially allows a standard CTO offer to be assembled with non-standard: case 4 or case 5 or case 6 or cases 4 and 6 or cases 5 and 6. Two combinations are also missing non-standard case 4 and 5 and non-standard cases 4, 5 and 6, because as soon as there is a non-standard sub-system solution (case 5), this requires a non-standard integration of sub-system solutions (case 4). System solutions relevant to cases 4 and 6 are noted with "**NS_AI_AS"** while those relevant to case 2 and 3 are noted with "**NS_NI_AS".**

Crane example.

The configuration model presented in Fig. 11 below shows these five possibilities for non-standard crane system solutions. The initial standard solution Cr_So_1 and Cr_So_2 are merged with five non-standard crane solutions, which are:

- "Cr_So_NS_AI" for case 4
- "Cr_So_NS_NI" for case 5
- "Cr_So_NS_AS" for case 6
- "Cr_So_NS_AI_AS" for cases 4 and 6
- "Cr_So_NS_NI_AS" for cases 5 and 6

All modeling extensions of Figs. 8–10 are merged in Fig. 11.

4. Conclusion

Answering a call for tender has become a real challenge today, with bidders and companies having to cope first with a very tight time period between the date of the call and the closing date for the application, and secondly, with ever more specific customer requirements, which are not completely within their capabilities and need some engineering work. Therefore, companies that nowadays run Configuration-to-Order (CTO) software must deal more and more frequently with out-of-range requirements that lead to non-standard solutions. This pushes them towards Engineer-to-Order (ETO) situations. In this article, we focus on the technical part (bill of materials of systems grouping sub-systems) of the bid solution. As a consequence, we propose a generic knowledge model supporting the elaboration of technical solutions to a bid for both CTO and ETO situations. In order to do so, we have based our proposals on the framework most commonly used by the CTO configuration community, which is the Constraint Satisfaction Problem or CSP framework, and we have extended it from CTO to ETO situations.

We started by recalling configuration problems and constraint approaches and then introduced a very simple crane system to illustrate a configuration problem. This very simple example is used throughout the article to highlight the needs of ETO while bidding, as well as the advantages and the implementation of our proposals.

Secondly, six cases that bridge the gap between CTO and ETO situations have been identified. Each of them results from a specific customer requirement which cannot be directly fulfilled by the company's standard catalog and CTO modeling. Therefore, some engineering work is needed and this leads to a non-standard technical solution. In order to reach this solution, companies first have to identify which specific non-standard requirements are acceptable and which are not. It is only after this step that the knowledge-based model can be enriched with non-standard but acceptable specificities. Consequently, we have extended the configuration definition to an ETO situation by adding the notions of "standard" and "non-standard": (i) combination of property values, (ii) property values, (iii) property, (iv) integration of sub-system solutions, (v) integration of standard and non-standard sub-system solutions, and (vi) sub-systems. These notions and relevant cases have been situated on a global ETO schema (see Fig. 3) that shows the diversity of all the possible non-standard configuration flows. They have been summarized and grouped as follows:

- Standard and non-standard properties leading to non-standard sub-system solutions:
  Case 1: Non-standard combinations of standard property values (AC)
  Case 2: Non-standard property values (AV)
  Case 3: Non-standard property (AP).

- Standard and non-standard sub-systems leading to non-standard technical system solutions:
  Case 4:Non-standard integration of standard sub-system solutions (AI)
  Case 5: Non-standard integration of standard and non-standard sub-system solutions (NI)
  Case 6: Non-standard sub-system (AS).

For each of these cases, we have shown how the CTO knowledge-based model can be extended or updated with all non-standard specificities. Each extension has been illustrated using the crane example. Furthermore, it has been shown that different modeling extensions could be cumulated in order to take into account different non-standard but acceptable requirements present in the same industrial situation. For each root cause leading to an ETO configuration, we have paid attention to making sure that bidders are aware of the reasons for the ETO configuration by using specific notation proposals in the non-standard solution: (i) AC for acceptable combination, (ii) AV for acceptable value, (iii) AP for acceptable property, (iv) AI for acceptable integration of standard sub-system solutions, (v) NI for acceptable integration of standard and non-standard sub-system solutions (vi) AS for acceptable sub-system.

All these proposals tend to show that, in terms of modeling and in terms of constraint filtering, it appears highly feasible to extend the use of constraint-based configuration software from Configure-to-Order toward Engineer-to-Order. As stated in Section 2, we did not find any significant previous work that attempted to combine CTO and ETO knowledge modeling issues. We hope that this first proposal will stimulate work in the scientific configuration community. As regards configuration software providers, we have seen some configuration-aiding software that proposes a kind of "escape gate" for addressing some ETO issues, which would allow a conventional CTO standard configuration process, coupled with some kind of open design for non-standard requirement processing. We hope that our proposals will contribute to a better understanding of this kind of "escape gate" and therefore provide a better structure to CTO-ETO configuration systems. The genericity of our proposals allows them to be applied in the bidding process as well as in other design activities. To conclude on the practical benefits of our proposals, we are convinced that they can genuinely improve practitioners' bidding methods: (i) by allowing them to define more bids while reducing the time, effort and resources allocated, and (ii) by giving them controlled freedom compared to a catalog of standard solutions.

In our future research, we now need to extend our proposals to the delivery process by identifying and drawing the links between non-standard systems and their delivery processes. We also have to test the applicability and scalability of our proposals using larger real cases. Particularly with complex systems, it is not always easy to identify which new features will be required and to know how to

evaluate their feasibility *a priori*. On a more conceptual side, we also think that the six cases presented here can be considered as a good basis for proposing a more formal definition of the heaviness/lightness level that characterizes Engineer-to-Order situations.

References

[1] G. Arslan, M. Tuncan, M.T. Birgonul, I. Dikmen, E-bidding proposal preparation system for construction projects, Build. Environ. 41 (10) (2006) 1406–1413.
[2] R. Sonmez, B. Sözgen, A support vector machine method for bid/no bid decision making, J. Civ. Eng. Manage. 23 (5) (2017) 641–649.
[3] R. Chalal, A.R. Ghomari, An Approach for a Bidding Process Knowledge Capitalization, in world academy of science, Eng. Technol. 13 (2008).
[4] A. Leśniak, E. Plebankiewicz, Modeling the decision-making process concerning participation in construction bidding, J. Manage. Eng. 231 (2) (2013) 4014032.
[5] M. Krömker, K.D. Thoben, A. Wickner, An infrastructure to support concurrent engineering in bid preparation, Comput. Ind. 33 (97) (1997) 201–208.
[6] W. Yan, M.C. Pritchard, C.H. Chen, L.P. Khoo, A strategy for integrating product conceptualization and bid preparation, Int. J. Adv. Manuf. Technol. 29 (5) (2006) 616–628.
[7] B. Chandrasekaran, Generic tasks in knowledge based reasoning: high level building blocks for expert system design, IEEE Expert (3) (1986) 23–30.
[8] J. Olhager, Strategic positioning of the order penetration point, Int. J. Prod. Econ. 85 (2003) 319–321.
[9] A. Sylla, E. Vareilles, M. Aldanondo, T. Coudert, K. Kirytopoulos, Customer/supplier relationship: reducing uncertainties in commercial offers thanks to readiness, risk and confidence considerations, Adv. Mech. Des. Eng. Manuf. (2017) 1115–1122.
[10] A. Felfernig, L. Hotz, C. Baglay, J. Tiihonen, Knowledge-Based Configuration From Research to Business Cases, (2014) .
[11] A. Myrodia, K. Kristjansdottir, L. Hvam, Impact of product configuration systems on product profitability and costing accuracy, Comput. Ind. 88 (2017) 12–18.
[12] D. Sabin, R. Weigel, Product configuration frameworks- a survey, IEEE Intell. Syst. 13 (4) (1998) 42–49.
[13] P.-A. Yvar, A CSP approach for the network of product lifecycle constraints consistency in a collaborative design context, Eng. Appl. Artif. Intell. 22 (6) (2009) 961–970.
[14] L. Rivest, A. Desrochers, A. Brie, Adaptive generic product structure modelling for design reuse in engineer-to-order products, Comput. Ind. 61 (2010) 53–65.
[15] O. Willner, J. Gosling, P. Schönsleben, Establishing a maturity model for design automation in sales-delivery processes of ETO products, Comput. Ind. 82 (2016) 57–68.
[16] A. Sylla, E. Vareilles, T. Coudert, M. Aldanondo, L. Geneste, Readiness, feasibility and confidence: how to help bidders to better develop and assess their offers, Int. J. Prod. Res. 55 (23) (2017) 7204–7222.
[17] G. Pahl, W. Beitz, Engineering Design A Systematic Approach, Springer Science & Business Media, 2013.
[18] J. Dantan, N. Gayton, A.J. Qureshi, M. Lemaire, A. Etienne, Tolerance analysis approach based on the classification of uncertainty (aleatory/epistemic), 12th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing (10) (2013) 287–293.
[19] É. Vareilles, M. Aldanondo, A. Codet De Boisse, T. Coudert, P. Gaborit, L. Geneste, How to take into account general and contextual knowledge for interactive aiding design: towards the coupling of CSP and CBR approaches, Eng. Appl. Artif. Intell. 25 (1) (2012) 31–47.
[20] S. Mittal, F. Frayman, Towards a generic model of configuration tasks, Proc. Elev. Int. Jt. Conf. Artif. Intell. 2 (1989) 1395–1401.
[21] T. Soininen, J. Tiihonen, T. Männistö, R. Sulonen, Towards a general ontology of configuration, Ai Edam 12 (4) (1998) 357–372.
[22] M. Aldanondo, E. Vareilles, Configuration for mass customization: how to extend product configuration towards requirements and process configuration, J. Intell. Manuf. 19 (5) (2008) 521–535.
[23] D. Yang, M. Dong, Applying constraint satisfaction approach to solve product configuration problems with cardinality-based configuration rules, J. Intell. Manuf. (2013) 99–111.
[24] M. Aldanondo, K. Hadj-hamou, G. Moynard, J. Lamothe, Mass customization and configuration: requirement analysis and constraint based modeling propositions, Integr. Comput. Aided Eng. 10 (2003) 177–189.
[25] A. Felfernig, G. Friedrich, D. Jannach, Conceptual modeling for configuration of mass-customizable products, Artif. Intell. Eng. 15 (2001) 165–176.
[26] Z. Siddique, J.A. Ninan, Modeling of modularity and scaling for integration of customer in design of engineer-to-order products, Integr. Comput. Aided Eng. 13 (2) (2006) 133–148.
[27] F. Elgh, Modelling and management of product knowledge in an engineer-To-Order, International Conference on Engineering Design, ICED11 (August) (2011).
[28] Z. Miaofen, S. Shaohui, G. Youping, C. Guojin, Research on the configuration design of the ETO product based on knowledge and thing characteristic table, International Conference on Applied Informatics and Communication ICAIC (2011) 273–281.
[29] Y. Kristianto, P. Helo, R. Jianxin, A system level product configurator for engineer-to-order supply chains, Comput. Ind. 72 (2015) 82–91.
[30] U. Montanari, Network of constraints: fundamental properties and applications to picture processing, Inf. Sci. 7 (1974) 97–132.
[31] S. Mittal, B. Falkenhainer, Dynamic constraint satisfaction problems. Proceedings of the 9th, National Conference on Artificial Intelligence AAAI (1990) 25–32.
[32] É. Vareilles, M. Aldanondo, P. Gaborit, Evaluation and design: a knowledge-based approach, Int. J. Comput. Integr. Manuf. 20 (7) (2007) 639–653.
[33] P. Pitiot, M. Aldanondo, E. Vareilles, Concurrent product configuration and process planning: some optimization experimental results, Comput. Ind. 65 (4) (2014) 610–621.
[34] E. Vareilles, T. Coudert, M. Aldanondo, L. Geneste, J. Abeille, System Design and Project Planning: Model and Rules to Manage Their Interactions, Integrated Computer-Aided Engineering, 22, IOS Press, 2015, pp. 327–342.

3.2 Définition d'une métrique de confiance caractérisant les offres techniques basée sur des indicateurs factuels et subjectifs

Article 2 - *Readiness, feasibility and confidence : how to help bidders to better develop and assess their offers. International Journal of Production Research, 2017, Volume 55, Issue 23, page 7204-7222.*

Ce deuxième article, publié dans la revue « *International Journal of Production Research* » [Sylla+2017c], propose deux indicateurs de confiance (un pour le système technique et l'autre pour son processus de réalisation) ainsi qu'une méthode permettant de les évaluer. Ils permettent de caractériser une offre technique selon des niveaux de confiance qui reflètent l'aptitude du système technique associé à cette offre à être conforme aux attentes du client et aux objectifs du soumissionnaire (coût, performances techniques et durée d'obtention), après sa conception, sa réalisation et sa livraison.

Afin de favoriser une meilleure compréhension de la méthode proposée, il est nécessaire de rappeler la structure de chacun des deux éléments constituant une offre technique. D'une part, nous considérons que le système technique est constitué d'un ensemble de sous-systèmes qui sont intégrés suivant une architecture physique du système [Haskins+2006]. Ainsi, pour évaluer la confiance dans un système, il est nécessaire de prendre en compte la confiance dans les sous-systèmes mais également la confiance dans les intégrations de ces sous-systèmes [Sauser+2010 ; Sylla+2017c]. D'autre part, le processus de réalisation est constitué d'un ensemble d'activités liées par des relations de précédence. Afin d'évaluer la confiance dans le processus de réalisation, il est donc nécessaire de caractériser la confiance dans chaque activité. En outre, nous considérons pour le système technique et pour le processus de réalisation un seul niveau de décomposition (une décomposition de systèmes en sous-systèmes et une décomposition de processus en activités).

Les contributions principales de cet article sont décrites dans sa section 3 *(Proposed method for offer confidence assessment)*. Elles sont introduites dans ce mémoire dans la section 3.2.1. La synthèse des différentes propositions et les futures recherches sont exposées dans la section 3.2.2.

3.2.1 Contributions principales de l'article [Sylla+2017c]

Dans cette section nous introduisons les contributions de cet article. Dans la partie A, le cadre général de la méthode proposée est présenté. Ensuite, les propositions pour évaluer les confiances dans un système technique et dans un processus de réalisation sont présentées respectivement dans les partie B et C.

A. Cadre général de la méthode proposée

Le cadre général de la méthode d'évaluation de la confiance dans une offre technique est décrit dans la section 3.1 de l'article. Ce cadre est le suivant :

- la confiance dans le système technique et la confiance dans son processus de réalisation sont évaluées séparément ;

- chaque constituant du système technique et chaque constituant de son processus de réalisation est caractérisé avec deux types d'indicateurs : l'un est factuel et l'autre est subjectif ;
- des méthodes d'agrégation sont utilisées pour calculer ces indicateurs factuels et subjectifs au niveau du système technique et au niveau du processus de réalisation ;
- à partir des indicateurs factuels et subjectifs, un indicateur global de confiance est calculé pour le système technique (indicateur OCS : *Overall Confidence in System*) et un second indicateur est calculé pour le processus de réalisation (indicateur OCP : *Overall Confidence in Process*).

Les indicateurs proposés pour chaque élément de l'offre technique (système technique et processus de réalisation) et les méthodes utilisées pour les calculer sont décrites dans l'article dans les sections 3.2 (pour le système technique) et 3.3 (pour le processus de réalisation). Ils sont présentés dans la Figure 3.2 de ce mémoire. Nous les introduisons également dans les parties B et C suivantes.

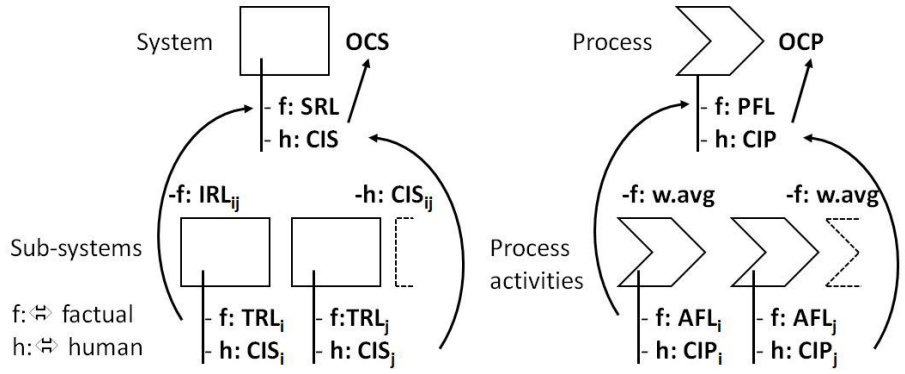


Figure 3.2 – Cadre général d'évaluation de la confiance dans une offre technique

B. Évaluation de la confiance dans le système

En ce qui concerne le système technique, comme mentionné dans la section 2.2.2 de ce mémoire, nous utilisons les indicateurs TRL *(Technology Readiness Level)*, IRL *(Integration Readiness Level)* et SRL *(System Readiness Level)* comme indicateurs de confiance factuels pour caractériser respectivement la maturité d'un sous-système, d'une intégration de deux sous-systèmes et d'un système technique. Les échelles de chacun de ces indicateurs ainsi que la méthode développée dans [Sauser+2008], utilisée pour calculer la maturité globale du système (SRL), sont présentées dans l'article (section 3.2.1). Afin de caractériser le système technique avec un indicateur de confiance subjectif qui reflète l'avis de la personne chargée de sa conception, nous avons proposé de nouveaux indicateurs pour les sous-systèmes, leurs intégrations et le système. Celles ci sont notées respectivement CIS_i *(Confidence In Sub-system i)*, CIS_{ij} *(Confidence In the integration of Sub-systems i and j)* et CIS *(Confidence In System)*. Les échelles de ces indicateurs et les éléments qu'ils associent pour capturer l'avis subjectif de la personne en charge de la conception du système technique sont décrites dans l'article, section 3.2.2. La méthode de [Sauser+2008], utilisée pour calculer le SRL du système est adaptée et utilisée pour calculer son indicateur CIS. Au niveau système technique, une méthode d'agrégation

des composantes factuelle et subjective est proposée pour construire un indicateur global noté OCS *(Overall Confidence in System)*. Cette méthode est également décrite dans l'article, section 3.2.3.

C. Évaluation de la confiance dans le processus

Concernant le processus de réalisation, nous avons proposé de nouveaux indicateurs de faisabilité notés AFL *(Activity Feasibility Level)* et PFL *(Process Feasibility Level)*. Ils représentent les indicateurs de confiance factuels qui caractérisent la faisabilité d'une activité et d'un processus de réalisation. Ils associent trois indicateurs. L'indicateur RSL *(Resource Skills Level)* permet d'évaluer les compétences des ressources clés utilisées. L'indicateur RAL *(Ressource Availability Level)* mesure la facilité d'obtention de ces ressources. L'indicateur ARL *(Activity Risk Level)* permet d'évaluer la criticité des principaux risques associés à une activité. Les échelles de chacun de ces trois indicateurs ainsi que les échelles et les méthodes permettant de calculer la faisabilité d'une activité (AFL) et la faisabilité globale d'un processus (PFL) sont décrites dans l'article dans la section 3.3.1. Dans le but de caractériser chaque constituant du processus avec un indicateur subjectif de confiance qui reflète l'avis de la personne chargée de sa conception, deux indicateurs similaires à ceux du système sont proposés : l'indicateur CIP_k *(Confidence In Process activity k)* et l'indicateur CIP *(Confidence In Process)*. La méthode d'agrégation utilisée pour calculer l'indicateur PFL du processus est également utilisée pour calculer son indicateur CIP. Au niveau processus de réalisation, la méthode utilisée pour calculer l'indicateur global de confiance OCS pour le système est également utilisée pour calculer l'indicateur global de confiance pour le processus : OCP *(Overall Confidence in Process)*.

Enfin, pour montrer l'applicabilité de la méthode proposée, un exemple détaillé concernant la conception de grues est développé dans l'article, section 4. Il est basé sur un modèle générique de conception d'offres techniques intégrant les indicateurs proposés. Trois scénarios de caractérisation d'offres techniques selon des niveaux de confiance différents sont présentés et discutés. Ils sont disponibles sur le web à l'adresse url cofiade.mines-albi.fr (choisir le modèle 'IJPR 2016').

3.2.2 Synthèse des contributions et perspectives

La contribution principale de cet article est de formaliser des indicateurs et des méthodes utiles à la caractérisation de la confiance dans une offre technique. Il s'agit notamment : (i) des indicateurs subjectifs de confiance dans un sous-système (CIS_i), dans l'intégration de deux sous-systèmes (CIS_{ij}) et dans un système (CIS) qui reflètent l'avis de la personne chargée de la conception du système technique ; (ii) des indicateurs factuels de faisabilité d'une activité (AFL) et d'un processus (PFL) pour caractériser une confiance factuelle dans un processus de réalisation, (iii) des indicateurs subjectifs de confiance dans une activité (CIP_k) et dans un processus (CIP) qui reflètent l'avis de la personne chargée de la conception du processus de réalisation, (iv) des indicateurs globaux de confiance dans un système (OCS) et dans un processus (OCP) ainsi que la méthode permettant d'associer les indicateurs factuels et subjectifs pour les calculer.

D'un point de vue pratique, ces propositions permettent aux entreprises soumissionnaires de savoir dans quelle mesure chaque offre technique est réalisable

au regard des attentes et objectifs fixés. Ainsi, permettre à ces entreprises, de choisir l'offre la plus intéressante sur la base de critères standards tels que le coût, la durée d'obtention et les performances techniques mais, également, en tenant compte de l'aptitude de chaque offre à être conforme aux attentes et aux objectifs fixés.

Pour l'évaluation des indicateurs de confiance globaux OCS et OCP, deux types d'indicateurs ont été considérés : (i) un indicateur factuel relatif à l'état de développement des éléments évalués (sous-systèmes et activités par exemple) (ii) un indicateur subjectif reflétant l'avis de la personne chargée de la conception de l'offre. L'évaluation des indicateurs factuels (*readiness* et faisabilité) est faite sur la base de connaissances vérifiées et validées, acquises sur les éléments constituant le système et le processus. L'évaluation des indicateurs subjectifs (CIS et CIP) est réalisée grâce à un jugement subjectif. Un « score » est proposé selon l'expérience, le jugement par rapport à la similitude du système / processus considéré avec ceux qui ont déjà été développés, et le ressenti de la personne en charge de la conception de l'offre. Dans nos travaux futurs, pour mieux évaluer les indicateurs CIS et CIP, et ainsi mieux évaluer les indicateurs globaux OCS et OCP, nous envisageons de développer un processus de Retour d'Expérience (REX). Ce processus permettra de capitaliser les expériences passées, de mettre à jour les valeurs des indicateurs de confiance dans le modèle et de proposer une alternative d'évaluation des indicateurs CIS et CIP par des mesures d'expérience et de similarité issues de la base d'expérience.

Notre second article, publié dans la revue « *International Journal of Production Research* » [Sylla+2017c], détaille dans les pages suivantes toutes nos propositions.

Readiness, feasibility and confidence: how to help bidders to better develop and assess their offers

Abdourahim Sylla[a,b]*, Elise Vareilles[a], Thierry Coudert[b], Konstantinos Kirytopoulos[c], Michel Aldanondo[a] and Laurent Geneste[b]

[a]*CGI, Université de Toulouse/Mines Albi, Albi, France;* [b]*LGP, Université de Toulouse/ENI Tarbes, Tarbes, France;* [c]*School of Mechanical Engineering, National Technical University of Athens, Athens, Greece*

In a bidding process, the bidder must define and evaluate potential offers in order to propose the most suitable one to the potential customer. Proposing attractive but also realistic offers to various potential customers is a key factor for the bidder to stay competitive. In order to achieve this, the bidder needs to be very sure about the technical specifications and the constructability of the proposal. However, performing a detailed design is resource and time-consuming. This article proposes the foundation of a new framework which can help bidders to define the right offer: (i) in the context of a non-routine design process, while avoiding a detailed design and (ii) taking into account two new indicators that reflect the bidder's confidence that they can meet the commitments once the offer is accepted. The first indicator (OCS) characterises the Overall Confidence in the technical System, while the second one (OCP) gives the Overall Confidence in the delivery Process. Both OCS and OCP are based firstly on two factual objective indicators, Technology Readiness Level (TRL) for OCS and Activity Feasibility Level (AFL) for OCP, and secondly on two human-based subjective indicators, Confidence In System (CIS) for the OCS and Confidence In Process for the OCP. An illustrative application shows how this framework can really help bidders define an offer, while avoiding detailed design and enable them to evaluate the confidence level in each potential offer.

Keywords: product configuration; knowledge management; readiness; feasibility; confidence

1. Introduction

1.1 *Research background*

Today's global economy generates ever-increasing competition in allsectors of the economy. One main contributing factor is the advancement of web technologies that enable customers to link with and rapidly consult a wide range of potential suppliers. As a result, the traditional stable customer/supplier relationship is becoming less dependable. Instead customers easily hold multiple consultations with different suppliers and usually choose the one best-suited to their requirements through a competitive bidding process. As explained by Huang and Mak (2000), competitive tender/bidding can be adversarial, undermining collaborative partnerships or relationships. Therefore, from the bidder's side, the problem arises of defining and selecting the most suitable offer to submit to a potential customer (Leopoulos and Kirytopoulos 2004). Bidders have now to choose their final offer based on the technical system's functional specifications as well as their skills, strengths and capabilities to deliver it.

In this article, we consider situations where the offer definition involves some design activities and we enhance the process from the bidder's perspective. We assume that an offer is composed of two items, namely: (1) a technical system (Bill-of-materials describing the system composition) and (2) its delivery process (Set of activities used to produce and implement the technical system once the offer is accepted). A similar definition has previously been used in Kroemker et al. (1997). Considering these two items when elaborating an offer enables the bidder to better quantify the cost and the duration of the delivery process. Most of the time, the details of the delivery process are not provided to the customer. These two items (technical system and delivery process) are simultaneously designed with various levels of detail and evaluated in order to allow the bidder to select the best solution to submit.

Design is a creative activity, starting from the expressed requirements and the existing knowledge, that leads to the definition of a system and a process that together satisfy these requirements (Suh 1990; Ulrich and Epinger 2016).

*Corresponding author. Email: abdourahim.sylla@mines-albi.fr

The notion of knowledge in the definition is very important for design activities and thus, for the offer definition and selection in the bidding process. Based on available knowledge of: (i) the domain (range of acceptable solutions), (ii) the artefact to be designed (technical system, delivery process or both) and (iii) the design approach and requirements, Brown and Chandrasekaran (1985) have classified design into three categories: (i) routine design, (ii) innovative design and (iii) creative design. In the context of a bidding process, we consider that the offer definition can vary from a very routine design to an innovative one.

While, defining an offer in the case of non-routine or innovative design, two different approaches can be used by bidders. The first approach relies on a detailed design of the solution for both the technical system (a 'deep' bill-of-materials with selection of lower level components) and its delivery process (the manufacturing activity list to be carried out with pre-allocation of human and machine resources). Thus, uncertainties are low and the confidence that the final designed and implemented technical system will fulfil all customer expectations (performance, cost and delivery time) is high. However, this approach is time- and resource-consuming and there is no guarantee that the offer will ultimately be accepted. On the other hand, the second approach consists only in clarifying and choosing the main ideas or key concepts in the technical system (a 'shallow' bill-of-materials with selection of technologies) and its delivery process (key activities list with identification of key human and machine resources). This helps avoid the detailed design, but uncertainties can be high and confidence low.

A way to avoid the entire detailed design, while mastering uncertainties, is to be aware of the confidence level in the main ideas or key concepts (system technologies, macro-activities and key resources) of the potential offers. Thus, when comparing different potential offers on the mainstream criteria (performance, cost, resources allocation and delivery time), the bidders can modulate their judgments with respect to confidence quantification and select the most appropriate offer. To this end, the contribution developed in this article is to propose a knowledge model and the relevant confidence metrics for offer elaboration, taking into account simultaneously the technical-system side and the delivery-process aspect.

1.2 *Models and tools for aiding system and process design at the bidding process*

In the context of routine design, the knowledge of the domain of the object to be designed, the design approach and the requirements are all available (Brown and Chandrasekaran 1985). All that remains is to choose or adapt a solution or solution principles relevant to the requirements. The extreme case of routine design is configuration or customisation (Felfernig et al. 2014). In this case, it is assumed that all the knowledge needed to describe all possible and acceptable solutions for the technical system and the delivery process is available. For 20 years now, knowledge-based configuration software has been recognised as a very efficient tool for aiding system and process definition in the context of configuration (Felfernig et al. 2014). The level of uncertainty in the offer characteristics in this context is rather low and the bidder's confidence that the final designed and implemented technical system will match customer's expectations (performance, cost and delivery time) is rather high. On the other hand, when we move towards innovative design, new solutions that require further design and engineering activities have to be defined and carried out. Therefore, the uncertainties in the offer attributes are more important and the confidence that the final designed and implemented technical system will match customer's expectations is lower.

Several research projects have been undertaken in order to propose models and tools for aiding system and process design, especially knowledge-based systems (ontology, constraint-satisfaction problem, case-based reasoning, expert system, etc.) (Vareilles et al. 2012). Felfernig et al. (2003) and Romero Bejarano et al. (2014) proposed a methodology based on ontology and associated inference techniques for the configuration problem. Mida and Vernadat (2009) and Barták, Salido, and Rossi (2010) presented a constraint-satisfaction problem or CSP approach for process planning and scheduling. Aldanondo and Vareilles (2008) and Zhang, Vareilles, and Aldanondo (2013) explained how the concurrent configuration of a product and a process can be considered as a single constraint-satisfaction problem.

Considering the specific case of a bidding process, several research works have been dedicated to the bid/no bid decision-making problem and the bid mark-up size estimation, especially in the field of civil engineering (Lin and Chen 2004; Dikmen, Birgonul, and Gur 2007; Shokri-Ghasabeh and Chileshe 2016). However, only a few projects or articles have tackled the definition of the technical system and its delivery process in non-routine design situations with consideration of the confidence issues. In the Tender Support System (TSS) project, Vanwelkenhuysen (1998) developed an expert system to support the offer elaboration of industrial centrifugal pumps. The main objectives were to reduce the offer preparation time and to increase the scope of the standard technical solutions. In the BIDPREP project (Kroemker et al. 1997; Kromker 1998), a reference model and a computerised system were developed to support the bid-preparation process. The BIDPREP model is process-oriented, based on concurrent engineering concepts. The set-up of the technical

solution is supported by a product modeller that, given (i) customer's requirement specifications (ii) information from bidder suppliers and (iii) existing solutions, generates technical-system solutions and delivery-process plans. In the European-funded project DECIDE (DECIsion support for optimal biDding in a competitive business Environment), a methodology and decision-support tools were proposed for the definition of the technical solution relevant to an offer and the calculation of its cost (DECIDE 1998). The European project PRiMA (Project Risk MAnagement) has also provided methods and tools to capitalise, estimate and manage risks in the bidding process. Its originality lies in the consideration of internal and external risks, but also in the implementation of the approach in an Interactive Decision-Support System (PRiMA 2002).

As reported above, several approaches and models have been proposed for aiding the product and process configuration in routine design situation. These models are at the basis of our proposals. Some research projects clearly consider technical-system and delivery-process definition in the bidding process. A common point of these research projects is that the solutions are defined with a strong knowledge support and that the confidence issue is not addressed. Some research works focus on risk management in the bidding process and mainly deal with the bid/no bid decision problem and bid mark-up size estimation. Therefore, in this article we propose a new framework, extending knowledge-based configuration approaches, which can help the bidder to define an adequate offer (technical system and delivery process), not only for routine but also non-routine design situations, with a confidence characterisation of the potential offer solutions.

1.3 *Research aim*

As mentioned above, the aim of this article is to lay the foundation of a new framework which can help bidders to better define the right offer, taking into account new indicators that reflect their confidence. These new indicators characterise the overall confidence in the technical system (OCS) and in its delivery process (OCP). The overall confidence provides the bidder with a measure of the ability of the technical system and delivery process relevant to the offer to fulfil all customers' expectations (performance, cost and delivery time) after its design and its implementation. In the proposed framework, two kinds of indicators are used to compute the overall levels of confidence. The first kind is based on facts and effective observations, while the second kind is based on human judgement and subjective feelings. These two kinds of indicators characterise the technical system and the delivery process, providing four indicators. The decision-support tool, for (i) the design of technical systems and delivery processes, (ii) their assessment in terms of both standard indicators and overall offer confidence, relies on filtering methods within the constraint-satisfaction problem framework. The very first ideas about the confidence metric were published in Sylla et al. (2017).

The rest of the article is organised as follows. In Section 2, the main ideas about concurrent configuration of system and process are recalled. The Constraint-Satisfaction Problem (CSP) framework that supports the proposed decision-aiding tool is also explained. In Section 3, the metrics of the overall confidence in a technical system and its delivery process are defined and discussed. In Section 4, we explain the proposed approach through an illustrative application dealing with a crane offer.

2. Configuration of systems and delivery processes

In this section, we first recall the concurrent configuration of system and process in routine situations. Then, the formalisation of the concurrent configuration of system and process as a CSP is presented and adapted to handle non-routine design. In order to synthetise our proposals, a single level of decomposition is assumed: system/sub-systems and process/activities.

2.1 *Concurrent configuration in routine situations*

When dealing with concurrent configuration of product and process, (Mittal and Frayman 1989; Aldanondo and Vareilles 2008; Zhang, Vareilles, and Aldanondo 2013) have shown that the product can be considered as a set of components and its delivery process as a set of production activities.

According to the customer's expectations, the configuration of a product is achieved either by selecting components in component families (such as an engine in a catalogue) or by choosing values of descriptive attributes (such as the power of an engine, or the stiffness of a jib), as shown by the dotted boxes in the left part of Figure 1. Of course, not all combinations of components and attribute values are allowed (a high-power engine is incompatible with a low-stiffness jib). Thus, as explained by many authors, including Sabin and Weigel (1998) and Soininen et al. (1998), product configuration can be considered as a discrete constraint-satisfaction problem (CSP), where a variable is a component family or a descriptive attribute and constraints (solid line in the left part of Figure 1) specify acceptable or

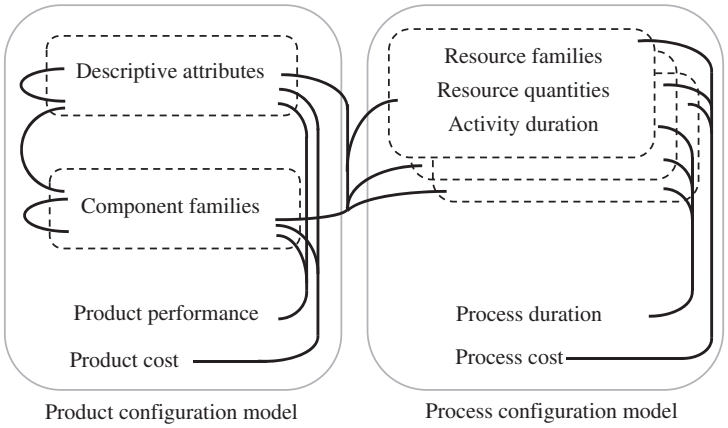


Figure 1. Concurrent configuration of product and process.

forbidden combinations of components and attribute values. Some kinds of product performance indicators can characterise the product, thanks to some mixed constraints (symbolic and numerical domains) that link the most important product features. For example: the performance of a crane is a function of its engine power and its tower height.

For process configuration, a similar approach is proposed by Zhang, Vareilles, and Aldanondo (2013) and Pitiot, Aldanondo, and Vareilles (2014). According to the configured product features (selected components and attributes values), the resources for each production activity can be selected in families of resources (a small assembly table for a small crane engine is chosen in the list of assembly tables), and in some cases a quantity of resource can be specified (2 operators for a large crane, 1 for a small one). Of course, selected components and values (for products) and selected resources and quantities (for activities) impact activity durations and therefore, affect the delivery-process duration or cycle time. For simplicity, we assume that the delivery process is a sequence of activities and therefore, that the process duration equals the sum of the activity durations. As for products, process configuration can be considered as a CSP, where each activity gathers variables corresponding to resource families, resource quantities and activity duration. Constraints (solid line in the right part of Figure 1) restrict possible associations.

For both product and process, all variables can be linked to cost indicators (one for product and one for process) again with mixed constraints in order to obtain a global cost. With the previous problem descriptions, Pitiot, Aldanondo, and Vareilles (2014) and Pitiot et al. (2012) have suggested (i) combining these two problems into a single one and (ii) considering this concurrent problem as a single CSP. Viewing this concurrent configuration problem as a single CSP allows propagation or constraint filtering mechanisms to be used as an aiding tool. Each time a customer's expectation is added (mainly for the product side), constraints propagate this decision and prune variable values for descriptive attributes, component families, resource families, resource quantities, activity duration, after which product performance, process delivery time and global cost can be updated. For a detailed presentation with an easy-to- understand example, we suggest consulting (Pitiot, Aldanondo, and Vareilles 2014).

This kind of problem modelling is the ground basis of configuration problems. All commercial websites and conventional configuration software packages that run interactive configuration or customisation processes rely on such problem models. Of course, propagation and solving approaches can be very different. The key point is that all possible solutions have been studied in advance, meaning that all component families and relevant components, all attributes with their possible values, all process activities with their resource families and resources have been analysed and qualified before operating the configuration system. This is the case for websites offering cars, computers, bicycles, kitchens. Thus, the configuration process is 'entirely routine' and there is absolutely no design or creative task. For example, even a child can configure a car on the Renault car configuration website without any knowledge of cars. In that case, when the customer validates a configuration, the detailed design of both product and process is generated almost automatically without any doubt or uncertainty. The resulting performance, delivery time and costs are accurately known. Thus, back in the case of a bidding process, the bidder has full confidence in his/her offer without any stress and knows for sure that he/she can, without any doubt, fulfil his/her commitments.

2.2 *Concurrent configuration in non-routine situations*

Our goal is to update the previous problem and solution in order to handle (i) technical systems instead of products and (ii) less routine situations.

Moving from products to systems is quite easy if we assume that: (i) a system is a set of sub-systems that may be linked to form the system architecture (ii) a sub-system is represented by a set of descriptive attributes and one family of technical solutions (equivalent to a component family in product configuration).

Moving to non-routine configuration is less obvious: it means that the bidder must undertake some design or engineering activities in order to satisfy the customer's expectations. The two following subsections propose some knowledge modelling updates in order to fulfil the previous expectation. From this point forward, we will only focus on configuration of technical systems (and not products) and delivery processes in non-routine situations.

2.2.1 *From a routine to a non-routine system configuration model*

On the technical-system side, two kinds of model modifications have been identified and need modelling updates: the definition of new sub-systems and new integrations of already existing sub-systems. A key point must be underlined; all the following new solution possibilities have to be identified, characterised and estimated beforehand by the system design department of the bidder, meaning that any out-of-range solution possibility must have been previously validated.

Case 1: at the sub-system level, a novel sub-system has to be designed to meet requirements. In this case, the variables that describe or identify the new sub-system must have their definition domains updated in order to allow a value 'out of range'. As new values have been added, it is necessary to update the set of constraints by adding new possible combinations of variable values and therefore, new tuples.

For example, let us consider that the sub-system jib of the crane system is a 'pure' configuration system (left part of Figure 2). Assume that until now, only four jib technical solutions (Ji_So_1, Ji_So_2, Ji_So_3, Ji_So_4) corresponding with two lengths (4 and 8 m) and two levels of stiffness (Ji_St_Low for the low-stiffness and Ji_St_Strong for the high-stiffness) have been already designed, manufactured and integrated in a crane and supplied to a customer. Now, if the bidder wants to satisfy a customer that requires a jib with high stiffness and a length different from 4 and 8, it is necessary to launch a non-routine design process and the model has to be updated. A set of possible values for the descriptive attributes jib_length (for example:]4, 8[U]8, 12[) and a new technical solution (Ji_So_New) in the family of jib technical solutions (right part of Figure 2) have to be added. In the two models of Figure 2, the solid lines represent allowed combinations with a discrete constraint (arity 3) linking the values of the descriptive attribute and the technical solutions (Jib_length, Jib_Stiffness, Jib_Solution).

Case 2: at the system level, a new system must be designed, composed of a novel integration of already existing sub-systems that have never been integrated together. In that case, there is a need to add a specific 'new value' in the definition domain of the system identification variable and a constraint tuple that identifies its composition in terms of sub-systems.

For example, let us consider two sub-systems, 'jib' and 'tower' of a crane system (left part of Figure 3). Each sub-system has two technical solutions: jib (Ji_So_1: 4 metres-length and low-stiffness, Ji_So_2: 4 metres-length and strong-stiffness); a tower (To_So_1: 5 metres-height and low-stiffness, To_So_2: 5 metres-height and strong-stiffness). Assume that the bidder has decided in the past that it was of no interest to offer customers a crane with a low-stiffness jib and strong-stiffness tower (Ji_So_1 and To_So_2). Therefore, studies relevant to integration, assembly processes or system tests have never been carried out for such a crane. Only three combination possibilities are proposed, as in the left part of Figure 3. However, if a customer requires the previous out-of-range combinations (Ji_So_1 and To_So_2)

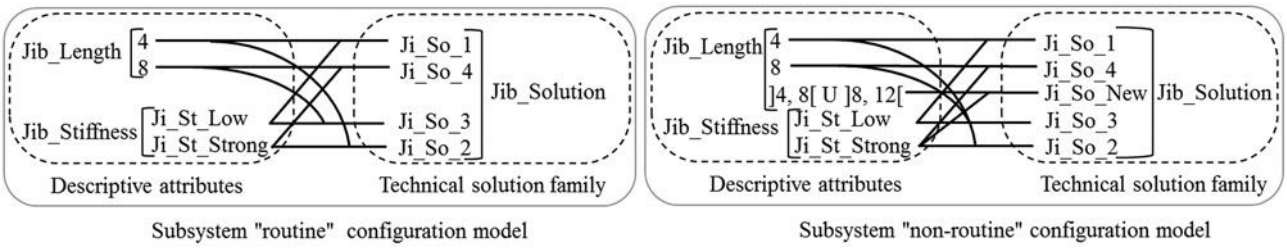


Figure 2. Configuration models for 'routine' and 'non-routine' situations with new sub-system.

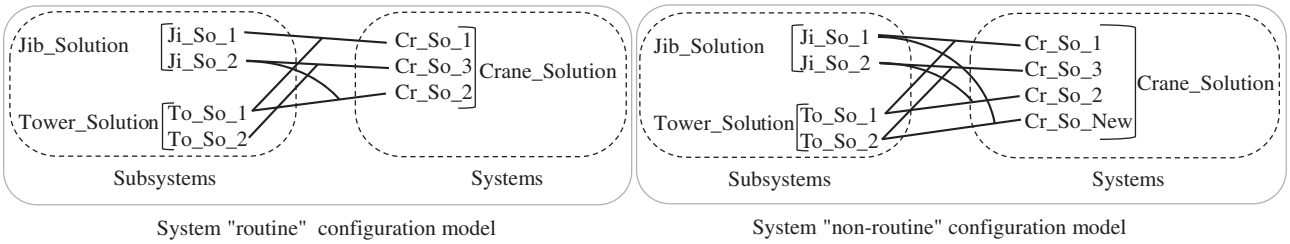


Figure 3. Configuration models for 'routine' and 'non-routine' situations with new integration.

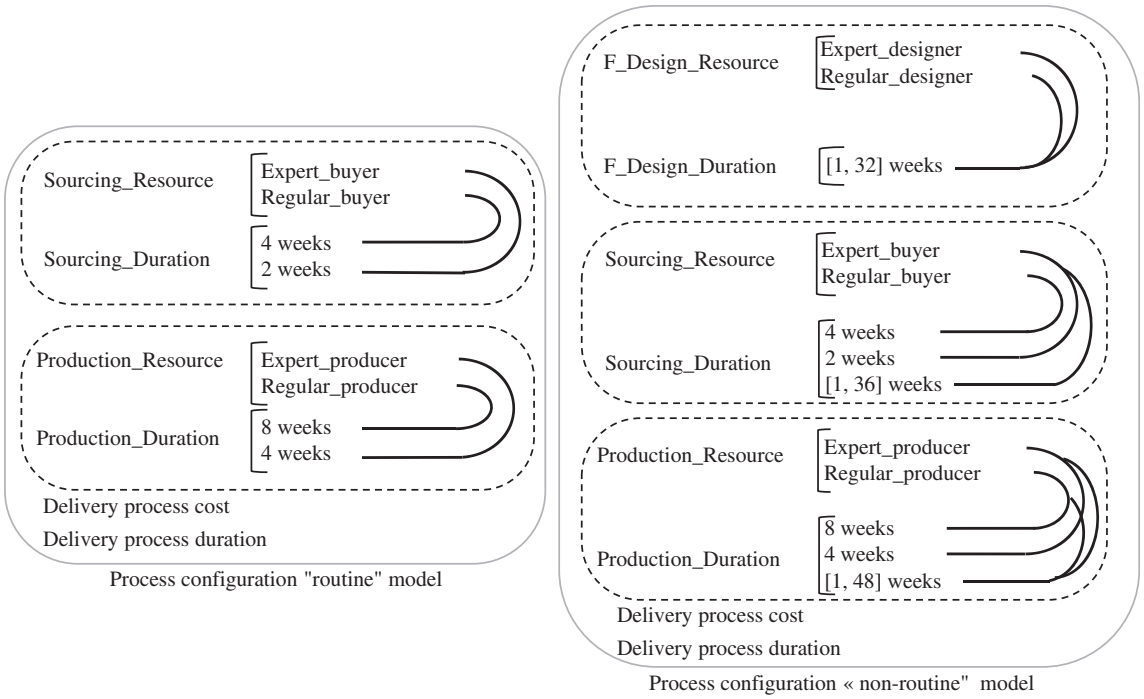


Figure 4. Configuration models of processes for 'routine' and 'non-routine' situations.

and if the bidder wants to keep the customer satisfied and ultimately allows this combination, the model should be updated with a new solution (Cr_So_new) and a new composition tuple, as shown in the right part of Figure 3.

Once the novel crane has been supplied to the customer, following the non-routine design process, and in order to capitalise this new knowledge, the complete model has to be updated by adding all the values related to this novel system. This update is essential to maintain an up-to-date systems catalogue for future bids.

2.2.2 *From a routine to a non-routine delivery-process configuration model*

On the delivery-process side, two kinds of modifications have also been identified: new activities and new activity parameter values. As for the system model, all useful updates must be validated by the delivery-process department of the bidder.

Case 1: a new activity is needed in the delivery process. As some design or engineering activities are necessary for non-routine situations, it is necessary to add an optional design or engineering activity in the delivery process.

For example, in the previous jib-length modification example, once the customer has accepted the offer, it is necessary to finalise the design of the technical system and its delivery process. Thus, if a new solution is necessary on the technical-system side, a new design activity must be added to the delivery process. In Figure 4, the left part shows a two-activity delivery process (Sourcing and Production), corresponding to the routine delivery process, whereas the right

part shows a three-activity process, less routine, including an activity of finalising the design (F_Design), corresponding to the non-routine one.

Case 2: as at least one sub-system or system integration is novel, the definition domain of the parameters describing each activity: resource used, quantity of allocated resources, activity cost and duration may be updated.

For example, the left part of Figure 4 shows the resource parameters (two possibilities for each) and duration parameters (two durations for each) of each activity in a purely routine situation. Solid lines show the allowed combinations of values. In the right part of Figure 4, the definition domain of the duration of each activity has been updated with a new value defined with an interval ([1, max number of weeks]). For clarity, constraints (i) between technical system and delivery process (ii) computing delivery-process cost and (iii) computing delivery-process duration are not shown.

As for the system side, the delivery-process model has to be updated for each new accepted offer in order to capitalise and reuse knowledge for future bids.

3. Proposed method for offer confidence assessment

In Section 2, we have dealt with modelling issues for offer representation. This section describes the confidence metric proposals.

3.1 *Method framework*

As shown in Figure 5, each offer, composed of a technical system and its delivery process, is characterised by two new indicators: Overall Confidence In System (OCS) and Overall Confidence in Process (OCP). Each of them aggregates factual and objective indicators (System Readiness Level (SRL) and Process Feasibility Level (PFL)) and intangible and subjective indicators (Confidence In System (CIS) and Confidence In Process (CIP)). These indicators are evaluated for each sub-system of the technical system and for each activity of the delivery process.

In the following subsections, the metrics introduced above are defined and different aggregation mechanisms (i) between sub-systems and system (for readiness and confidence) and (ii) between activities and process (for feasibility and confidence) are presented and discussed. The method used to determine the OCS and OCP is also presented.

3.2 *Technical-system assessment*

3.2.1 *Technology, integration and system readiness level metrics*

Any system under development is composed of core technology components (or sub-systems) and their linkages, in accordance with the proposed architecture (Sauser et al. 2008). When developing a system, Henderson and Clark (1990) have showed the importance of knowledge on components and their integrations. These authors emphasised that when developing a technical system or integrating a sub-system into a technical system, attention should not only be paid to the sub-systems but also to their integration.

A technical system is structurally defined as a set of sub-systems that are integrated to form the system architecture. For the assessment of Overall Confidence of the System (OCS), a scientific literature survey has enabled us to identify a factual metric relying on the notion of Readiness Level (Sadin, Povinelli, and Rosen 1989; Mankins 1995; Sauser et al. 2008).

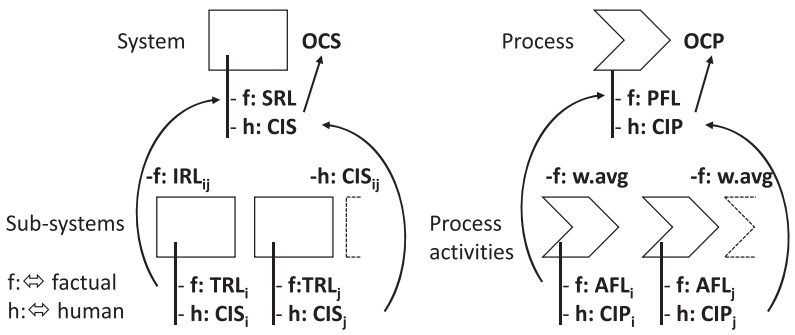


Figure 5. Characterisation of offers with confidence indicators.

The Technology Readiness Level or TRL is a systematic metric/measurement developed by Sadin, Povinelli, and Rosen (1989) and Mankins (1995) at the US National Aeronautics and Space Agency (NASA) for measuring the maturity of technologies. It has been used by industries and some US public organisations to take into account the uncertainties in the development of technologies (Mankins 2009; Magnaye et al. 2014). The TRL indicates how much a technology is ready to be used and deployed. The TRL is measured on a nine-level numerical scale (see left column of Table 1) (Tan, Sauser, and Ramirez-Marquez 2011). In our proposal, each sub-system$_i$ is characterised by a TRL_i.

The Integration Readiness Level or $IRL_{i,j}$ characterises the integration readiness level of a pair of sub-systems i and j. The $IRL_{i,j}$ indicates how much the integration of two technologies is ready for operation for a given function and is measured on a nine-level numerical scale (see right column of Table 1) (Sauser et al. 2008). In our proposal, each main interaction $_{i,j}$ between a sub-system$_i$ and a sub-system$_j$ is characterised by an $IRL_{i,j}$.

The System Readiness Level metric or SRL is computed as a function of TRL_i and $IRL_{i,j}$. Since the notions of Integration Readiness Level (IRL) and System Readiness Level (SRL) (Table 2) were proposed (Sauser et al. 2008), the IRL and SRL scales have been accepted by several researchers. Several SRL calculation methods have been proposed, such as matrix algebra (Sauser et al. 2008; London et al. 2014) or tropical algebra (McConkie et al. 2013). The SRL calculation method proposed by Sauser et al. (2008) has been used by Magnaye, Sauser, and Ramirez-Marquez (2010) in a system development of a cost-minimisation model SCODmin, aimed at minimising system developmental costs. The US National Energy Technology Laboratory (NETL), Knaggs et al. (2015) also applied this SRL calculation method to estimate the readiness of two advanced fossil-energy technology projects.

In our proposal, we use the SRL calculation method proposed by Sauser et al. (2008). As explained in Sauser et al. ((2008) and Magnaye, Sauser, and Ramirez-Marquez (2010), the SRL calculation method uses a normalised matrix of pair-wise comparisons of TRL_i and $IRL_{i,j}$ values. The IRL matrix and the TRL vector represent, respectively, the readiness levels of the potential integrations between two technologies and the readiness levels of these technologies. The IRL matrix is based on the following assumptions: for the integration of a technology with itself ($IRL_{i,i} = 9$), if there is no integration between two technologies (IRL = 0) and $IRL_{i,j} = IRL_{j,i}$.

$$[\mathrm{SRL}] = \begin{bmatrix} \mathrm{SRL}_1 \\ \mathrm{SRL}_2 \\ \cdots \\ \mathrm{SRL}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathrm{IRL}_{11} * \mathrm{TRL}_1 + \mathrm{IRL}_{12} * \mathrm{TRL}_2 + \cdots + \mathrm{IRL}_{1n} * \mathrm{TRL}_n \\ \mathrm{IRL}_{21} * \mathrm{TRL}_1 + \mathrm{IRL}_{22} * \mathrm{TRL}_2 + \cdots + \mathrm{IRL}_{2n} * \mathrm{TRL}_n \\ \cdots \\ \mathrm{IRL}_{n1} * \mathrm{TRL}_1 + \mathrm{IRL}_{n2} * \mathrm{TRL}_2 + \cdots + \mathrm{IRL}_{nn} * \mathrm{TRL}_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

Table 1. TRL scale & IRL scale.

Level	TRL	IRL
9	Actual system proven through successful mission operations	Integration is Mission Proven through successful mission operations
8	Actual system completed and qualified through test and demonstration	Actual integration completed and Mission Qualified through test and demonstration in the system environment
7	System prototype demonstration in operational environment	The integration of technologies has been Verified and Validated with sufficient detail to be actionable
6	System/sub-system model or prototype demonstration in relevant environment	The integrating technologies can Accept, Translate and Structure Information for its intended application
5	Component and/or breadboard validation in relevant environment	There is sufficient Control between technologies necessary to establish, manage and terminate the integration
4	Component and/or breadboard validation in laboratory environment	There is sufficient detail in the Quality and Assurance of the integration between technologies
3	Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof of concept	There is Compatibility (i.e. common language) between technologies to orderly and efficiently integrate and interact
2	Technology concept and/or application formulated	There is some level of specificity to characterise the Interaction (i.e. ability to influence) between technologies through their interface
1	Basic principles observed and reported	An Interface between technologies has been identified with sufficient detail to allow characterisation of the relationship

Table 2. SRL scale.

Level	SRL	SRL value
5	Execute a support programme that meets operational support performance requirements and sustains the system in the most cost-effective manner over its total life cycle	0.9–1.00
4	Achieve operational capability that satisfies mission needs	0.8–0.89
3	Develop a system or increment of capability; reduce integration and manufacturing risk; ensure operational supportability; reduce logistics footprint; implement human systems integration; design for producibility; esure affordability and protection of critical programme information; and demonstrate system integration, interoperability, safety and utility	0.5–0.79
2	Reduce technology risks and determine appropriate set of technologies into a full system	0.2–0.49
1	Refine initial concept. Developsystem/technology development strategy	0.10–0.19

Table 3. (a) Five levels of CISi and CISij, (b) Five levels of CIS of the system.

Values	Description
(a)	
5	Very high
4	High
3	Medium
2	Low
1	Very low
(b)	
0.9–1.00	Very high
0.8–0.89	High
0.5–0.79	Medium
0.2–0.49	Low
0.1–0.19	Very low

$$[\mathrm{SRL}] = \frac{\left(\frac{\mathrm{SRL}_1}{n_1} + \frac{\mathrm{SRL}_2}{n_2} + \cdots + \frac{\mathrm{SRL}_n}{n_n}\right)}{n} \tag{2}$$

3.2.2 *Confidence in sub-systems (CISi) and system (CIS) metrics*

In the previous section, TRL, IRL and SRL were introduced as factual metrics to determine the readiness of a given technology or a system. As it can be seen through the different scales of these items, these metrics are assessed with general knowledge that is not company-specific. Therefore, in order to quantify the proficiency level in technology specific to the bidder, another confidence metric is necessary. This metric takes into account the feeling or subjectivity of the bidder about his/her ability to master a technology and his/her ability to use it with respect to all customer expectations (including performances and cost).

Therefore, for a sub-system with a defined readiness level, we propose a second metric named Confidence In Sub-system (CIS_i). CIS_i corresponds to the bidder's feeling about the offer under construction and results of some fuzzy mental aggregation of the three following dimensions:

(i) Experience of the bidder of the considered sub-system technology. This represents his/her level of tacit and explicit knowledge gained through involvement in the design of a specific kind of sub-system.
(ii) Similarity between the considered sub-system and previously developed sub-systems. The similarity is the measure of the likeness between the sub-system under consideration and the other previously designed sub-systems.

(iii) Thoughts of the bidder about the considered sub-system. This represents the designer's guess regarding the success of the sub-system in satisfying customer's requirements.

We propose assessing the CIS_i metric with the five-level scale shown in Table 3(a).

A similar assessment is also proposed for the confidence in integration of each pair of sub-systems i and j CIS_{ij}. The previous aggregation method proposed by Sauser et al. (2008) is also used to calculate the Confidence In System metric (CIS). The scale used for this metric is presented in Table 3(b).

3.2.3 *Overall Confidence In System metric (OCS)*

At the system level, after the calculation of the SRL and the CIS, the matrix of Figure 6 is used to determine the OCS of the technical system. The OCS is ranked on a scale of nine levels (1 is the lowest and 9 the highest). Three main zones can be determined: the Unconfident zone (from 1–3), the Dilemma zone (from 4–6) and the Confident zone (from 7–9).

3.3 *Delivery-process assessment*

3.3.1 *Activity and process feasibility levels*

The delivery process refers to all activities necessary for the production and implementation of the technical system once the offer has been accepted by the customer. It starts with an activity of design finalisation and ends with a manufacturing and packing activity. We make the assumption that the delivery process follows a typical waterfall model that is defined as a sequence of activities: design finalisation → manufacturing → packing, without any overlapping. From a factual performance point of view, when planning or designing a sequence of activities, attention should be given to three crucial aspects: (i) the skills of the resources that perform the activity (the designer for a design activity, for example), (ii) the availability of the resources which perform the activity (specific CAD system, raw materials, human resources) and (iii) the risk associated to the activity.

Therefore, in order to be able to define the feasibility of any activity of the delivery process, we propose a new factual metric, named Activity Feasibility Level (AFL). The knowledge of each activity's AFL leads us to determine the Process Feasibility Level (PFL). The feasibility indicates the ability of a specific activity or delivery process to be performed technically and economically (Vareilles et al. 2014). The AFL metric is based on three sub-metrics:

(i) Resource Skills Level (RSL): skills represent the operational ability to use knowledge (Wang and Wang 1998). A specific skill is used to perform an activity (e.g. designing a crane). As in Grabot and Letouzey (2000), an RSL is considered here as a grade in a given skill. The RSL scale is on five levels (1 is the lowest value, meaning 'poor' and 5 the highest one, meaning 'excellent') (see Table 4(a)). It is inspired by the Conversational Skills

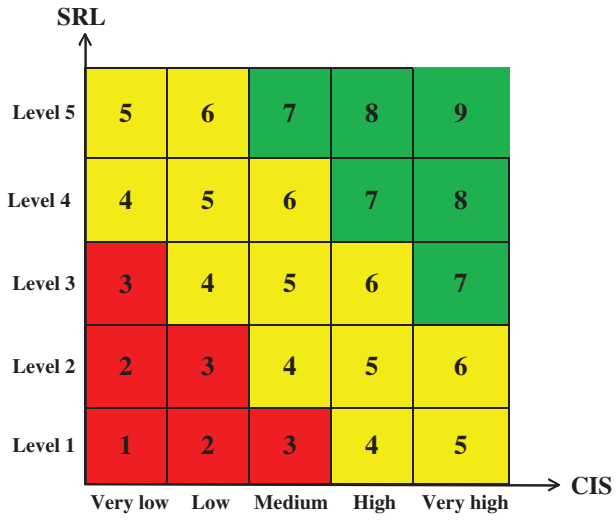


Figure 6. Overall Confidence In System determination.

Table 4. (a) Resource skills level (RSL), (b) Resource availability level (RAL), (c) Activity risk level (ARL).

Levels	Description	Definition
(a)		
5	Excellent	The use of the knowledge in the execution of the activity results in exceptional, regular and controlled performances
4	Good	The use of the knowledge in the execution of the activity results in better than adequate outcome
3	Adequate	The use of the knowledge in the execution of the activity is adequate
2	Fair	The use of the knowledge in the execution of the activity is occasionally inadequate
1	Poor	The use of the knowledge in the execution of the activity is awkward, disruptive, or results in negative performances
(b)		
5	Very easy	Resources are always easy to find
4	Easy	Resources are most of the time easy to find
3	Moderate	Resources are occasionally difficult to find occasionally easy to find
2	Difficult	Resources are most of the time difficult to find
1	Very difficult	Resources are always difficult to find
(c)		
5	Very low	Most risks are acceptable and no critical risks
4	Low	Most risks are undesirable and no critical risks
3	Moderate	Most risks are undesirable and few critical risks
2	High	Most risks are undesirable and some critical risks
1	Very high	Most risks are in the critical area

Rating Scale developed by Spitzberg and Adams (2007). It allows a factual assessment of the skills of the resource.

(ii) Resource Availability Level (RAL): resource availability refers to the ability of the bidder to find the required resources to perform an activity. These resources include human resources, machinery, software and raw materials. The proposed resource availability level is a five-level scale (see Table 4(b)). It allows a factual assessment of the ability of the bidder to find resources relevant to the achievement of an activity.

(iii) Activity Risk Level (ARL): A risk is associated with an uncertain event or condition that, if it occurs, has an effect on at least one project objective (delivery time, cost or quality) (Project Management Institute Inc 2008). In this work, we only consider the adverse effect of risk. The proposed ARL provides the risk level of each activity in the delivery process. The ARL scale is a five-level scale (the value 1 corresponds to the most risky and the value 5, to the less risky) (see Table 4(c)). It is based on a qualitative risk analysis using the probability and risk matrix. This method assumes that for a given activity, a prioritisation of risks has been conducted using a probability and impact matrix. Thus, the ARL of the activity can be determined by a mapping of all risks as defined by the ARL scale of Table 4(c).

As an equal emphasis is given to RSL, RAL and ARL, the AFL metric is calculated as the average of the three of them. The values of AFL are then comprised in the range [1, 5] and its scale is presented in Table 5(a) below.

After determining the AFL of each activity *i*, notated AFLi, a function is used to compute the Process Feasibility Level (PFL) as an aggregation of the different AFLi. It is important to recall that the phenomenon of integration described for technical systems (Section 3.2.1) is irrelevant for activities and therefore, does not exist in the delivery process. Although several aggregation mechanisms could be used to determine the PFL, we propose using a weighted average to calculate it. The PFL scale is shown in Table 5(a).

3.3.2 *Confidence in process metric (CIP)*

In the previous section, we defined the RSL, RAL, ARL, AFL and PFL metrics as a factual assessment of the feasibility of a delivery process. These metrics are strongly based on the availability of knowledge related to each activity. When this knowledge level is low, this does not strictly imply that the delivery process cannot be correctly achieved. Maybe the bidder does not have enough knowledge about resource skills, availability or risk, but he/she may have noticed in the past that some delivery processes worked better than others with regard to the performance, cost and delivery time. As for the technical system, this judgement or subjective feeling, based mainly on personal experience, should also be

Table 5. (a) Process feasibility level (PFL), (b) Five levels of the CIP of the process.

Values	Description
(a)	
4.46–5	Level 5
4–4.45	Level 4
2.5–3.99	Level 3
1.5–2.49	Level 2
1.0–1.49	Level 1
(b)	
4.46–5	Very high
4–4.45	High
2.5–3.99	Medium
1.5–2.49	Low
1.0–1.49	Very low

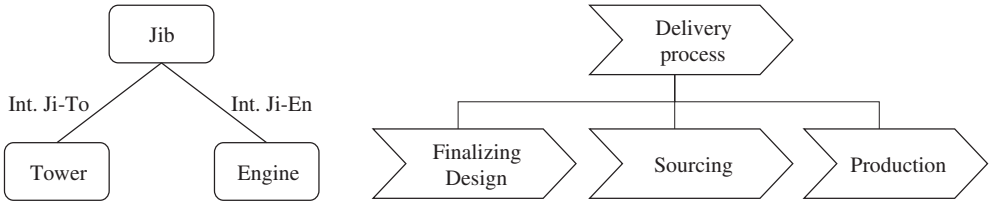


Figure 7. The Crane system and its delivery process.

considered. Therefore, for the delivery process, we suggest using the metric already proposed for the system in Section 3.2.2.

Therefore, given an activity i with a defined feasibility level AFL_i, we add a second metric, called Confidence In Process activity (CIP_i). As for the sub-system, the proposed CIP_i relies on the bidder's feeling and is based on the same three dimensions: (i) the experience of the bidder with regard to the considered activity, (ii) the similarity between the considered activity and previously performed activities and (iii) the feeling of the bidder on the considered activity. We propose assessing the CIP_i metric with the five-level scale shown in Table 3(a), taking into account simultaneously the three dimensions.

As for the PFL metric, we propose using a weighted average to compute the Confidence In Process (CIP) of the delivery process. Table 5(b) shows the scale of the CIP of the delivery process.

3.3.3 *Overall confidence in process (OCP)*

The overall confidence in process (OCP) aggregates the PFL and CIP metrics exactly like the system SRL and CIS metrics. The method presented in Section 3.2.3 is reused in exactly the same way.

4. Illustrative application of the proposed method

The aim of the proposed framework, gathering the previously outlined modelling elements and confidence metrics, is to support and assist the bidders in defining offers in both routine and non-routine design situations. Hereafter, we demonstrate and discuss the benefits of the proposal. After the overall description of the problem, three running scenarios are presented and discussed.

4.1 *Crane offer model for offer definition and evaluation*

The considered Crane system is composed of three sub-systems: one Jib, one Tower and one Engine. The architecture of the crane is presented by the non-oriented graph (left part of Figure 7), where the vertices of the graph represent the

sub-systems and the edges represent the integrations between sub-systems. Only two integrations are considered, namely: (Jib and Tower) and (Jib and Engine).

The jib is characterised by its length (from 4–12 metres) and stiffness (low or high) and there are four potentials components (Ji_So_1, Ji_So_2, Ji_So_3 and Ji_So_4) with different combinations of length and stiffness. The tower is characterised by its height (from 5–15 metres) and stiffness (low or high) and there are four potential components (To_So_1, To_So_2, To_So_3 and To_So_4). Finally, the engine is characterised by its power (from 300 or 400 kW) and there are two potential components (En_So_1 and En_So_2). In this example, a length of a jib different from 4 and 8, and a height of a tower different from 5 and 10 are considered as new values and thus, refer to a new sub-system. Therefore, any sub-system corresponding to these values is a new sub-system. The delivery process gathers three activities (see right part of Figure 7): Finalising design (noted F_Design) with two possible resources (expert_designer or regular_designer), Sourcing with two possible resources (expert_buyer or regular_buyer) and Production with possible resources (expert_producer or regular_producer).

Each sub-system$_i$ is characterised by: a cost, a readiness TRL$_i$ (scale 1–9) and a confidence index CIS$_i$ (scale 1–5). The whole system is characterised by: a cost, a readiness SRL (scale 0–1) and its associated description (Level 1–5), as presented in Section 3.2.1, a confidence CIS (scale 0–1) and its associated description (Very Low to Very High), as presented in Section 3.2.2. It is also characterised by an overall confidence OCS (scale 1–9) and its associated zone (Unconfident, Dilemma, Confident) as presented in Section 3.2.3.

Each process activity$_i$ is characterised by: a duration, a cost, an activity feasibility AFL$_i$ (scale 1–5), a confidence CIP$_i$ (scale 1–5). The detailed RSL, RAL and ARL metrics are not shown for simplicity. Each process is characterised by: a duration, a cost, a feasibility PFL (scale 1–5) and its associated description (Level 1–5), as presented in Section 3.3.1, a confidence CIP (scale 1–5) and its associated description (Very Low to Very High), as presented in Section 3.3.2, an overall confidence OCP (scale 1–9) and its associated zone (Unconfident, Dilemma, Confident), as presented in Sections 3.2.3 and 3.3.3.

4.2 *Utilising the proposed method*

In this subsection, we present three scenarios with three different routine levels from very routine to less routine (including new values or new integrations). Each scenario is presented by two tables: one related to the system and one related to the process. Table 6 shows the status of each sub-system, system, activity and process at the beginning of the offer definition. The three scenarios can be operated at the url cofiade.mines-albi.fr (choose model 'IJPR 2016').

For each of the following scenario tables, each line is dedicated to an item (sub-system, system, activity and process) and shows (i) the use inputs or selection of an offer characteristic (in **'bold underlined'**) (ii) the consequences of these inputs on the other attributes (in 'regular format') once constraints have been propagated by a constrain-propagation aiding tool.

4.2.1 *Scenario 1: very routine offer*

This is the most routine scenario that corresponds to a pure configuration process, meaning that all sub-systems have been designed and all delivery activities have been already executed. Thus, overall confidence is very high and there is no finalising design activity.

In this scenario (Table 7), the bidder first selects a **'4'** metre jib with **'low'** stiffness that matches the sub-system Jib 'Ji_So_1'. According to the model and the TRL scale, as this sub-system already exists and is in operation, the tool deduces its cost '10' k€ and its TRL '9'. Then, as the user has full confidence in this technical solution, the maximum value for the confidence in this sub-system (CIS$_i$) is selected by the user as **'5'**. The height of the tower '5' is deduced by the tool (with respect to non-detailed technical constraints), then the user selects **'low'** stiffness, which matches the sub-system Tower 'To_So_1' and the tool deduces the engine power (technical constraints) and the correct sub-system Engine 'En_So_1'. For these two sub-systems, cost '30' and '8' k€ and TRL '9' are deduced by the tool according to the model and the TRL scale. The user then decides on a high level for confidence in the three sub-systems: **'5'**. Then, thanks to the model and aggregation mechanisms, the tool generates the technical system and computes its cost at '48' k€ and its confidence indicators: System Readiness Level SRL '1', Confidence In System CIS '1' and Overall Confidence In System OCS '9', as expected.

The scenario is similar for the delivery process (lower part of Table 7). Resource activities are selected by the user. According to this model and the AFL scale, as this process has already been defined and executed, the propagation tool deduces: the duration, the cost and the feasibility of each activity, while the user sets the confidences in the activities (CIP$_i$) (see Table 7). Then, the model and aggregation mechanisms allow the tool to compute the process cost, '112' k€,

Table 6. Initial status of sub-system, system, activity and process.

Technical system

				Readiness		Confidence	Overall confidence (OCS)
Sub-systems solutions	Attribute 1	Attribute 2	Cost (K€)	TRLi		CISi	
Jib Ji_So_1, Ji_So_2, Ji_So_3, Ji_So_4, Ji_So_New	[4, 12]	Low, Strong	[1, 80]	[1, 9]		[1, 5]	
Tower To_So_1, To_So_2, To_So_3, To_So_4, To_So_New	[5, 15]	Low, Strong	[1, 120]	[1, 9]		[1, 5]	
Engine En_So_1, En_So_2	[300, 400]		[8, 15]	[1, 9]		[1, 5]	

		Readiness		Confidence		Overall confidence (OCS)	
System solution	Cost (K€)	SRL	SRL description	CIS	CIS description	OCS level	OCS zone
Crane Cr_So_1, Cr_So_2, Cr_So_3, Cr_So_4, Cr_So_5, Cr_So_6, Cr_So_New	[10, 215]	[0, 1]	Level 1, Level 2, Level 3, Level 4, Level 5	[0, 1]	Very high, High, Medium, Low, Very Low	[1, 9]	Unconfident, Dilemma, Confident

Delivery Process

				Feasibility		Confidence	Overall confidence (OCP)
Activity	Resource	Duration (weeks)	Cost (K€)	AFLi		CIPi	
Sourcing	Expert_buyer, Regular_buyer	[1, 36]	[1, 300]	[1, 5]		[1, 5]	
Production	Expert_producer, Regular_producer	[1, 48]	[1, 400]	[1, 5]		[1, 5]	

			Feasibility		Confidence		Overall confidence (OCP)	
	Duration (weeks)	Cost (K€)	PFL	PFL description	CIP	CIP description	OCP level	OCP zone
Process	[12, 150]	[2, 1500]	[1, 5]	Level 1, Level 2, Level 3, Level 4, Level 5	[1, 5]	Very high, High, Medium, Low, Very Low	[1, 9]	Unconfident, Dilemma, Confident

Table 7. First scenario: very routine offer.

Technical System

				Readiness		Confidence	Overall confidence (OCS)
Sub-systems solutions	Attribute 1	Attribute 2	Cost (K€)	TRLi		CISi	
Jib Ji_So_1	**4**	**Low**	10	9		**5**	
Tower To_So_1	5	**Low**	30	9		**5**	
Engine En_So_1	300		8	9		**5**	

		Readiness		Confidence		Overall confidence (OCS)	
System solution	Cost (K€)	SRL	SRL description	CIS	CIS description	OCS level	OCS zone
Crane Cr_So_1	48	1	Level 5	1	Very High	9	Confident

Delivery Process

				Feasibility		Confidence	Overall confidence (OCP)
Activity	Resource	Duration (weeks)	Cost (K€)	AFLi		CIPi	
Sourcing	**Expert_buyer**	2	40	4.6		**5**	
Production	**Regular_producer**	8	72	4.3		**5**	

			Feasibility		Confidence		Overall confidence (OCP)	
	Duration (weeks)	Cost (K€)	PFL	PFL description	CIP	CIP description	OCP level	OCP zone
Process	10	112	4.45	Level 5	5	Very High	9	Confident

duration ‘10’ weeks and its confidence indicators that, as expected, are also shown to be very good: Process Feasibility Level PFL ‘4.66’, Confidence In Process CIP ‘5’ and Overall Confidence In Process OCP ‘9’.

This first scenario shows the basic support that the proposed model and confidence metric implemented in a relevant decision-support tool can provide to bidders for defining offers and estimating them in routine situations. It enables the bidder to rapidly and effectively define and estimate the technical systems and the delivery processes and to quantify confidence in the offer items.

4.2.2 *Scenario 2: less routine offer with new integration of sub-systems*

In this second scenario, two already designed and produced sub-systems that have never been integrated together in a system must be now integrated to propose a solution to a customer’s request. This illustrates the example of Figure 3 of Section 2.2.1 and the results are shown in Table 8.

On the system side, the bidder first selects exactly the same jib as for scenario 1: a **‘4’** metre jib with **‘low’** stiffness that matches the sub-system Jib ‘Ji_So_1’. But he/she then selects an already existing strong tower with **‘strong’** stiffness and according to the model and the TRL scale, the tool deduces the sub-system Tower ‘To_So_2’, with a cost of ‘40’ k€ and a TRL of ‘9’. The maximum Confidence In Sub-system CIS_i value **‘5’** is selected by the user as he/she is fully confident in this sub-system solution. The sub-system Engine of the previous scenario 1 is selected ‘En_So_1’.

The difference between these two scenarios comes from integration issues. Each sub-system has a maximum readiness level TRL_i = ‘9’ and confidence CIP_i = **‘5’** but at the system level, the readiness and confidence are not at their maximum values (see Table 8). Indeed, the integration of Ji_So_1 and To_So_2 has never before been achieved and therefore, the integration IRL_{ij} is not so high. The user also does not select the highest CIS_{ij} for this integration as he/she is not fully confident. Thus, thanks to the model and the aggregation mechanisms the tool computes: SRL = ‘0.84’, CIS = ‘0.94’ and the Overall Confidence in System (OCS) = 8. These confidence values are lower than those in the first scenario (both at ‘1’).

From the process point of view (lower part of Table 8), a new F_Design activity is necessary for previous integration engineering. Compared to the first scenario, the AFL_i and CIP_i of the activities have decreased (see Table 8). Thus, thanks to the model with the aggregation mechanism, at the process level, the tool logically provides lower values for the Process Feasibility Level PFL = ‘4.22’, the Confidence In Process CIP = ‘4.33’ and the Overall Confidence in Process OCP = ‘7’.

Table 8. Second scenario: offer with a new integration of two sub-systems.

Technical System				Readiness		Confidence	Overall confidence (OCS)
Sub-systems solutions	Attribute 1	Attribute 2	Cost (K€)	TRLi		CISi	
Jib Ji_So_1	**4**	**Low**	10	9		**5**	
Tower To_So_2	5	**Strong**	40	9		**5**	
Engine En_So_1	300		8	9		**5**	

		Readiness		Confidence		Overall confidence (OCS)	
System solution	Cost (K€)	SRL	SRL description	CIS	CIS description	OCS level	OCS zone
Crane Cr_So_New	58	0.84	Level 4	0.94	Very High	8	Confident

Delivery Process				Feasibility		Confidence	Overall confidence (OCP)
Activity	Resource	Duration (weeks)	Cost (K€)	AFLi		CIPi	
F_Design	**Expert designer**	2.5	25	4.33		**4**	
Sourcing	**Regular buyer**	4	36	4		**5**	
Production	**Expert producer**	5.5	110	4.33		**4**	

			Feasibility		Confidence		Overall confidence (OCP)	
Process	Duration (weeks)	Cost (K€)	PFL	PFL description	CIP	CIP description	OCP level	OCP zone
	12	171	4.22	Level 4	4.33	High	7	Confident

This second scenario illustrates the help that the bidders can be given in less routine situations. Even if the selected sub-systems have high TRL, the decision-support tool is able to take into account the fact that they have never been integrated together and provides to the bidder with the confidences levels of the whole technical system and delivery process. Once designed, produced and delivered, the knowledge relevant to this new integration has to be capitalised and the knowledge model updated.

4.2.3 *Scenario 3: much less routine offer with new sub-systems*

In this last scenario (Table 9), two new sub-systems are now considered. We assume an interpolation for the jib length, while we consider an extrapolation for the tower height. This means that we consider that, up to now, only two lengths exist for the jib: 4 and 8 m (the range [4, 12] indicates allowed out-of-range possibilities, see Figure 2) and two heights exist for the tower: 5 and 10 m (the range [5, 15] indicates out-of-range possibilities). For this particular much less routine offer, a new jib of 6 metres and a new tower of 15 m must be engineered, produced and integrated.

On the system side, the bidder first selects the jib length equal to **'6'** metres. This length does not correspond to any existing sub-system and the tool proposes a new jib 'Ji_So_New' with a 'strong' stiffness. A similar behaviour for a **'15'** metre tower can be seen. For these two new sub-systems, the tool cannot modify the cost range (there is no knowledge about the cost of the new sub-systems) but reduces the possible range of the readiness to '5'. Finally the user estimates and chooses, for the jib and the tower, a cost (respectively, **'40'** k€ and **'118'** k€ and a confidence level CIS_i (**'5'** and **'2'**) (see Table 9). The high CIS_i for the jib and the low one for the tower come from the interpolation design for the jib and the extrapolation design for the tower. An existing high-power engine is selected 'En_So_2'. At the system level, readiness level is lower, SRL = '0.48' and confidence too, CIS = '0.65'. The Overall Confidence in the System OCS drops down to '4' and tends towards a dilemma situation.

On the process side (Table 9), the main differences concern the duration and cost of the engineering activity (F_Design), which comes from the fact that two main sub-systems must be engineered and integrated. For this same activity, the Activity Feasibility Level ($AFL_i = 3.66$) deduced by the tool and the Confidence In Process activity CIP_i = **'3'** defined by the bidder are also lower. The two other activities see their duration and cost increasing normally according to the system size and its complexity. At the process level, thanks to the model with the aggregation

Table 9. Third scenario: offer with two new sub-systems.

Technical System				Readiness		Confidence	Overall confidence (OCS)
Sub-systems solutions	Attribute 1	Attribute 2	Cost (K€)	TRLi		CISi	
Jib Ji_So_New	**6**	Strong	**40**	5		**5**	
Tower To_So_New	**15**	Strong	**118**	5		**2**	
Engine En_So_2	**400**		15	9		**5**	

		Readiness		Confidence		Overall confidence (OCS)	
System solution	Cost (K€)	SRL	SRL description	CIS	CIS description	OCS level	OCS zone
Crane Cr_So_New	173	0.48	Level 2	0.65	Medium	4	Dilemma

Delivery Process				Feasibility		Confidence	Overall confidence (OCP)
Activity	Resource	Duration (weeks)	Cost (K€)	AFLi		CIPi	
F_Design	**Expert designer**	**11**	**110**	3.66		**3**	
Sourcing	**Regular buyer**	**10**	**80**	4		**4**	
Production	**Expert producer**	**15**	**300**	3		**4**	

			Feasibility		Confidence		Overall confidence (OCP)	
Process	Duration (weeks)	Cost (K€)	PFL	PFL description	CIP	CIP description	OCP level	OCP zone
	36	490	3.55	Level 3	3.66	Medium	5	Dilemma

mechanisms, the tool provides lower values for the feasibility, PFL = '3.55', the confidence, CIP = '3.66' and the overall confidence in the process, OCP = '5', which also leads to a dilemma situation.

This third scenario shows that our proposals, bringing together the proposed model, the confidence indicators and the aggregation mechanisms implemented in a relevant tool, can provide the bidder with the same supports as in the previous simpler scenarios, but in a much less routine situation. Even if new sub-systems have to be engineered, produced and integrated, the decision-support tool is able to take into account these new kinds of sub-systems and activities if, and only if, they have been identified and characterised beforehand by the system-design and the delivery-process departments of the bidder. Once designed, produced and delivered, this new system knowledge has to be capitalised and the model updated for both system and process sides.

5. Conclusion and further research

The goal of this article is to define a new framework that supports bidders during the definition of their offers in non-routine situations. An offer is composed of a technical system and its delivery process. The originality of this work lies in the fact that we consider situations where the offer proposed to the customer is not supported by a detailed engineering or design activity; only the main key decisions are made. This allows: (i) a lower workload for bidders, (ii) more customers and a stronger presence in the relevant market and, (iii) in the case of a rejected offer, less wasted energy. The proposed framework is based on an extended configuration model and an original confidence metric. As far as we know, in the openly available scientific literature there are no significant works dealing simultaneously with our problem keywords: bidding process without detailed design, design knowledge, system and process design, risk and confidence.

Firstly, we have shown that the level of routine of the offer is a key aspect and therefore, suggested using the configuration approach (considered as an ultimate routine situation) as a basis. We then proposed constraint-based modelling elements that allow the configuration techniques to be extended towards less routine situations. System and process models have been updated with the possibility of choosing/deciding (i) new values (out of range of existing system/process) that can cope with new system/process descriptions (ii) new integration of already existing sub-systems and (iii) new engineering activities necessary as soon as any new item is included in the offer. It must be noted that, while many scientific papers can be found on the subject of modelling configuration problems, none of them consider 'out-of-range' configuration.

Secondly, as the offer can no longer be analysed in detail (system technologies, macro-activities and key resources are simply identified), the bidders take a risk on their ability to produce a technical system that fulfils all customer expectations (performance, cost and delivery time) once the offer is accepted. Thus, four original metrics for the explicit characterisation of confidence in an offer in a non-routine design context have been proposed. These metrics quantify separately the technical system (SRL and CIS) and its delivery process (PFL and CIP), and also dissociate factual aspects (SRL and PFL) from human-based ones (CIS and CIP). Each metric is valuated at the lower level (sub-system/activity) and aggregated at the upper level (system/process). With regard to factual metrics, the readiness notion (SRL and TRL) is used for the technical system and a feasibility notion (PFL and AFL) is proposed for the delivery process. Regarding human-based metrics, for both system and process a similar confidence notion (CIS, CISi, CIP, CIPi) is proposed, relying on bidder experience and feelings as well as similarity between offers. Finally, the overall confidence metric at the top level (OCS and OCP) aggregates both factual and subjective confidence and helps bidders to make the right decision by choosing the most attractive offer to submit, knowing the risk involved. To the best of the authors' knowledge, there are currently no works dealing with issues related to offer confidence metrics covering system/process characterisation, or factual/human aspects on two abstraction levels.

Using a constraint-based configuration tool, we have integrated the proposed model extensions and associated confidence metrics. We then described a use case dealing with the definition of a crane offer (which can be operated at the url cofiade.mines-albi.fr, model 'IJPR 2016'). In order to illustrate our proposals, we have presented three offer scenarios with different degrees of routine and the assessment of the proposed confidence indicators. The scenarios reveal that when offer definition requires performing engineering activities (in non-routine situations), the confidence metrics can significantly decrease and can warn the bidder about a potentially risky situation. Above all, when the person in charge of an offer definition does not have a great deal of experience, the proposed metrics and associated tool can help avoid making an offer that will not be achievable if the customer accepts it. Generally, given the increasing number of offers that need to be defined, the lack of experienced bidders (due to staff turnover), the requirement to reduce bidding workload and the difficulty of producing detailed design for every offer, bidders are taking more and more risks and thus, require computerised assistance. The proposals in this article and our future works clearly aim to address this situation.

Two kinds of future research can be investigated. In the short-term, one area consists in confronting our proposals with small- and medium-sized industrialists in the secondary and tertiary sectors. This work will be carried out during a new

four-year collaborative project which aims to develop 'Software tools and processes for bid elaboration'. This project is based firstly on the maturity of the technical system, and confidence in the offer and secondly, on the risks taken during its delivery process. Up-to-now, after presenting and discussing our proposals and first-use cases, we have mainly received positive feedback. We now need to verify the usability and scaling-up of our proposals in an industrial context. The long-term work should consider the development of a multi-criteria decision-making method that allows consideration of the uncertainty related to the offer characteristics (cost, delivery date, etc.) and guides decision-makers in their choices in a multi-criteria framework. For this purpose the proposed confidence metrics may be used to represent the uncertainty related to offer characteristics (Dubois and Prade 2012). In this context, one could consider using possibility theory or another similar approach in order to take into account the uncertainties in the decision-making process. This will enable the bidder to choose the most relevant offer not only based on standard indicators (cost, delivery duration) but also considering confidence indicators as a way to take into account uncertainties in these standard indicators.

Acknowledgement

The authors would like to thank all ANR OPERA partners for their implications in our research work.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

References

Aldanondo, Michel, and Elise Vareilles. 2008. "Configuration for Mass Customization: How to Extend Product Configuration towards Requirements and Process Configuration." *Journal of Intelligent Manufacturing* 19 (5): 521–535. doi:10.1007/s10845-008-0135-z.

Barták, Roman, Miguel A. Salido, and Francesca Rossi. 2010. "Constraint Satisfaction Techniques in Planning and Scheduling." *Journal of Intelligent Manufacturing* 21: 5–15. doi:10.1007/s10845-008-0203-4.

Brown, D. C., and B. Chandrasekaran. 1985. "Expert Systems for a Class of Mechanical Design Activity." *Knowledge Engineering in Computer-Aided Design*: 259–282.

DECIDE. 1998. "DECIDE." http://cordis.europa.eu/project/rcn/33616_fr.html.

Dikmen, Irem, M. Talat Birgonul, and A. Kemal Gur. 2007. "A Case-Based Decision Support Tool for Bid Mark-up Estimation of International Construction Projects." *Automation in Construction* 17 (1): 30–44. doi:10.1016/j.autcon.2007.02.009.

Dubois, Didier, and Henri Prade. 2012. *Possibility Theory: An Approach to Computerized Processing of Uncertainty*. New York: Springer Science & Business Media.

Felfernig, Alexander, Gerhard Friedrich, Dietmar Jannach, Markus Stumptner, and Markus Zanker. 2003. "Configuration Knowledge Representations for Semantic Web Applications." *Ai Edam* 17 (1): 31–50. doi:10.1017/S0890060403171041.

Felfernig, Alexander, Lothar Hotz, Claire Baglay, and Juha Tiihonen. 2014. *Knowledge-Based Configuration from Research to Business Cases*. Amsterdam: Morgan Kaufmann.

Grabot, Bernard, and Agnès Letouzey. 2000. "Short-term Manpower Management in Manufacturing Systems: New Requirements and DSS Prototyping." *Computers in Industry* 43 (1): 11–29. doi:10.1016/S0166-3615(00)00058-0.

Henderson, Rebecca M., and Kim B. Clark. 1990. "Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms." *Administrative Science Quarterly* 35 (1): 9–30.

Huang, G. Q., and K. L. Mak. 2000. "WeBid: A Web-Based Framework to Support Early Supplier Involvement in New Product Development." *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 16 (2–3): 169–179. doi:10.1016/S0736-5845(00)00005-3.

Knaggs, Michael, John Ramsey, Alfred Unione, Dennis Harkreader, John Oelfke, Dale Keairns, and William Bender. 2015. "Application of Systems Readiness Level Methods in Advanced Fossil Energy Applications." *Procedia Computer Science* 44: 497–506. doi:10.1016/j.procs.2015.03.071.

Kroemker, Mathias, Klaus-Dieter Thoben, Andreas Kebbel, and Hans Juergen Schoenert. 1997. "Integrated System for Simultaneous Bid Preparation." *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics* 4: 3597–3602. https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0031371620&partnerID=40&md5=e4690e2905dff43f2424c49aa27f4c7d.

Kromker, Mathias. 1998. "BIDPREP-towards Simultaneous Bid Preparation." *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 11 (1): 45–51. doi:10.1080/095119298130967.

Leopoulos, Vrassidas N., and Konstantinos A. Kirytopoulos. 2004. "Risk Management: A Competitive Advantage in the Purchasing Function." *Production Planning & Control* 15 (7): 678–687. doi:10.1080/09537280412331298238.

Lin, Ching Torng, and Ying T. Chen. 2004. "Bid/No-Bid Decision-making – A Fuzzy Linguistic Approach." *International Journal of Project Management* 22 (7): 585–593. doi:10.1016/j.ijproman.2004.01.005.

London, Mark A., Thomas H. Holzer, Timothy J. Eveleigh, and Shahryar Sarkani. 2014. “Incidence Matrix Approach for Calculating Readiness Levels.” *Journal of Systems Science and Systems Engineering* 23 (4): 377–403. doi:10.1007/s11518-014-5255-8.

Magnaye, Romulo B., Brian J. Sauser, and Jose E. Ramirez-Marquez. 2010. “System Development Planning Using Readiness Levels in a Cot of Development Minimization Model.” *Systems Engineering* 13 (4): 311–323. doi:10.1002/sys.

Magnaye, Romulo, Brian Sauser, Peerasit Patanakul, David Nowicki, and Wesley Randall. 2014. “Earned Readiness Management for Scheduling, Monitoring and Evaluating the Development of Complex Product Systems.” *International Journal of Project Management* 32 (7): 1246–1259. doi:10.1016/j.ijproman.2014.01.009.

Mankins, John C. 1995. “Advanced Concepts Office Office of Space Access and Technology.” *White Paper* 1: 4–8. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.

Mankins, John C. 2009. “Technology Readiness and Risk Assessments: A New Approach.” *Acta Astronautica* 65 (9–10): 1208–1215. doi:10.1016/j.actaastro.2009.03.059.

McConkie, Eileen, Thomas A. Mazzuchi, Sharam Sarkani, and D. Marchette. 2013. “Mathematical Properties of System Readiness Levels.” *Systems Engineering* 16 (4): 391–400. doi:10.1002/sys.

Mida, F. H., and F. Vernadat. 2009. “A Constraint Approach (Flexible CSP) for Alternative Cost Estimation of a Mechanical Product.” *International Journal of Production Research* 47 (2): 305–320. doi:10.1080/00207540802425872.

Mittal, Sanjay, and Felix Frayman. 1989. “Towards a Generic Model of Configuration Tasks.” *Proceedings of the Eleventh International Joint Conference on Artificial Intelligence* 2: 1395–1401. https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.80.3469&rep=rep1&type=pdf%5Cnhttps://ijcai.org/PastProceedings/IJCAI-89-VOL-2/PDF/087.pdf.

Pitiot, Paul, Michel Aldanondo, Elise Vareilles, Paul Gaborit, Meriem Djefel, and Sabine Carbonnel. 2012. “Concurrent Product Configuration and Process Planning, towards an Approach Combining Interactivity and Optimality.” *International Journal of Production Research* 7543: 1–18. doi:10.1080/00207543.2011.653449.

Pitiot, Paul, Michel Aldanondo, and Elise Vareilles. 2014. “Concurrent Product Configuration and Process Planning: Some Optimization Experimental Results.” *Computers in Industry* 65 (4): 610–621. doi:10.1016/j.compind.2014.01.012.

PRiMA. 2002. http://www.esi2.us.es/prima/Partners1.html.

Project Management Institute Inc. 2008. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. Pennsylvania: Project Management Institute.

Romero Bejarano, Juan Camilo, Thierry Coudert, Elise Vareilles, Laurent Geneste, Michel Aldanondo, and Joël Abeille. 2014. “Case-Based Reasoning and System Design: An Integrated Approach Based on Ontology and Preference Modeling.” *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 28 (1): 49–69. doi:10.1017/S0890060413000498.

Sabin, D., and R. Weigel. 1998. “Product Configuration Frameworks-a Survey.” *IEEE Intelligent Systems* 13 (4): 42–49.

Sadin, Stanley R., Frederick P. Povinelli, and Robert Rosen. 1989. “The NASA Technology Push towards Future Space Mission Systems.” *Acta Astronautica* 20 (9–10): 73–77.

Sauser, Brian, Jose E. Ramirez-Marquez, Romulo Magnaye, and Tan Weiping. 2008. “A Systems Approach to Expanding the Technology Readiness Level within Defense Acquisition.” https://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a530242.pdf.

Shokri-Ghasabeh, Morteza, and Nicholas Chileshe. 2016. “Critical Factors Influencing the Bid/No Bid Decision in the Australian Construction Industry.” *Construction Innovation* 16 (2): 127–157. doi:10.1108/CI-04-2015-0021.

Soininen, Timo, Juha Tiihonen, Tomi Männistö, and Reijo Sulonen. 1998. “Towards a General Ontology of Configuration.” *Ai Edam* 12 (4): 357–372. doi:10.1017/S0890060498124083.

Spitzberg, Brian H., and Thomas W. Adams. 2007. “CSRS the Conversational Skills Rating Scale.” https://www.natcom.org/uploadedFiles/Teaching_and_Learning/Assessment_Resources/PDF-Conversation_Skills_Rating_Scale_2ndEd.pdf.

Suh, N. P. 1990. *The Principles of Design (Oxford Series on Advanced Manufacturing)*. New York: Oxford University Press.

Sylla, A., E. Vareilles, M. Aldanondo, T. Coudert, and L. Geneste. 2017. “Customer/Supplier Relationship: Reducing Uncertainties in Commercial Offers thanks to Readiness, Risk and Confidence Considerations.” In *Advances on Mechanics, Design Engineering and Manufacturing*, edited by B. Eynard, V. Nigrelli, S. Oliveri, G. Peris-Fajarnes, and S. Rizzuti, 1115–1122. Catane: Springer.

Tan, Weiping, Brian J. Sauser, and Jose Emmanuel Ramirez-Marquez. 2011. “Analyzing Component Importance in Multifunction Multicapability Systems Developmental Maturity Assessment.” *IEEE Transactions on Engineering Management* 58 (2): 275–294. doi:10.1109/TEM.2010.2071877.

Ulrich, Karl T., and Steven D. Epinger. 2016. *Product Design and Development*. 6th ed. New York: McGraw-Hil.

Vanwelkenhuysen, Johan. 1998. “The Tender Support System.” *Knowledge-based Systems* 11 (5–6): 363–372. doi:10.1016/S0950-7051(98)00065-3.

Vareilles, Élise, Michel Aldanondo, Aurélien Codet de Boisse, Thierry Coudert, Paul Gaborit, and Laurent Geneste. 2012. “How to Take into Account General and Contextual Knowledge for Interactive Aiding Design: Towards the Coupling of CSP and CBR Approaches.” *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 25 (1): 31–47. doi:10.1016/j.engappai.2011.09.002.

Vareilles, Elise, Thierry Coudert, Michel Aldanondo, Laurent Geneste, and Joel Abeille. 2014. “System Design and Project Planning: Model and Rules to Manage Their Interactions.” *Integrated Computer-Aided Engineering* 1: 1–5.

Wang, H.-F., and C. H. Wang. 1998. “Modelling of Optimal Expansion of a Fuzzy Competence Set.” *International Transactions in Operational Research* 5 (5): 413–424. doi:10.1111/j.1475-3995.1998.tb00124.x.

Zhang, Linda L., Elise Vareilles, and Michel Aldanondo. 2013. “Generic Bill of Functions, Materials, and Operations for SAP 2 Configuration.” *International Journal of Production Research* 51 (2): 465–478. doi:10.1080/00207543.2011.652745.

3.3 Proposition d'une approche d'aide à la décision multicritère basée sur le principe de la Pareto-dominance

Article 3 - *Possibilistic Pareto-dominance approach to support technical bid selection under imprecision and uncertainty in the bidding process. (Soumis à un journal)*

Cet article, soumis à une revue, propose une approche d'aide à la décision multicritère basée sur le principe de Pareto-dominance. Cette approche utilise les indicateurs de confiance proposés dans notre deuxième article [Sylla+2017c] et la théorie des possibilités. Le but est d'aider l'entreprise soumissionnaire à sélectionner l'offre technique la plus intéressante tout en tenant compte des incertitudes et imprécisions sur les valeurs des critères de décisions et également de la confiance dans chaque offre potentielle. Dans cet article, les critères de décision sont supposés être indépendants et non compensables. De plus, une même importance est donnée à tous les critères. Dans la section 3.3.1, nous introduisons les propositions de cet article. Dans la section 3.3.2, nous présentons les futures recherches.

3.3.1 Contributions principales de l'article [Sylla+2018a]

L'approche proposée est décrite dans la section 3 de l'article *(Possibilistic Pareto-dominance approach for technical bid selection)*. Dans ce mémoire, tout d'abord nous présentons le cadre général de l'approche dans la partie A. Ensuite, nous introduisons les différentes propositions constituant l'approche dans les parties B, C et D.

A. Cadre général de l'approche

L'approche proposée est constituée de trois étapes principales (voir Figure 3.3) : (i) la modélisation des valeurs imprécises et incertaines des critères de décision avec des distributions de possibilité, (ii) la comparaison par paires des offres techniques potentielles au regard d'un seul critère de décision pour établir des relations de dominance possibilistes entre elles, (iii) la comparaison par paires des offres au regard de tous les critères de décision et la construction d'un front de Pareto prenant en compte les exigences du soumissionnaire par rapport aux degrés d'incertitudes et d'imprécisions permis sur chaque critère de décision. Chaque étape est supportée par une méthode constituant une contribution de l'article. Ces méthodes sont introduites dans les parties suivantes.

B. Modélisation des valeurs des critères avec des distributions de possibilité

Pour la première étape, une méthode est proposée dans la section 3.1 de l'article pour modéliser les valeurs imprécises et incertaines des critères de décision au moyen de distributions de possibilité. Cette méthode utilise : (i) des intervalles de valeurs pour modéliser l'imprécision des valeurs des critères comme un ensemble de valeurs possibles, et (ii) les indicateurs de confiance proposés dans l'article [Sylla+2017c] et la théorie des possibilités pour déterminer la possibilité de chaque valeur. La

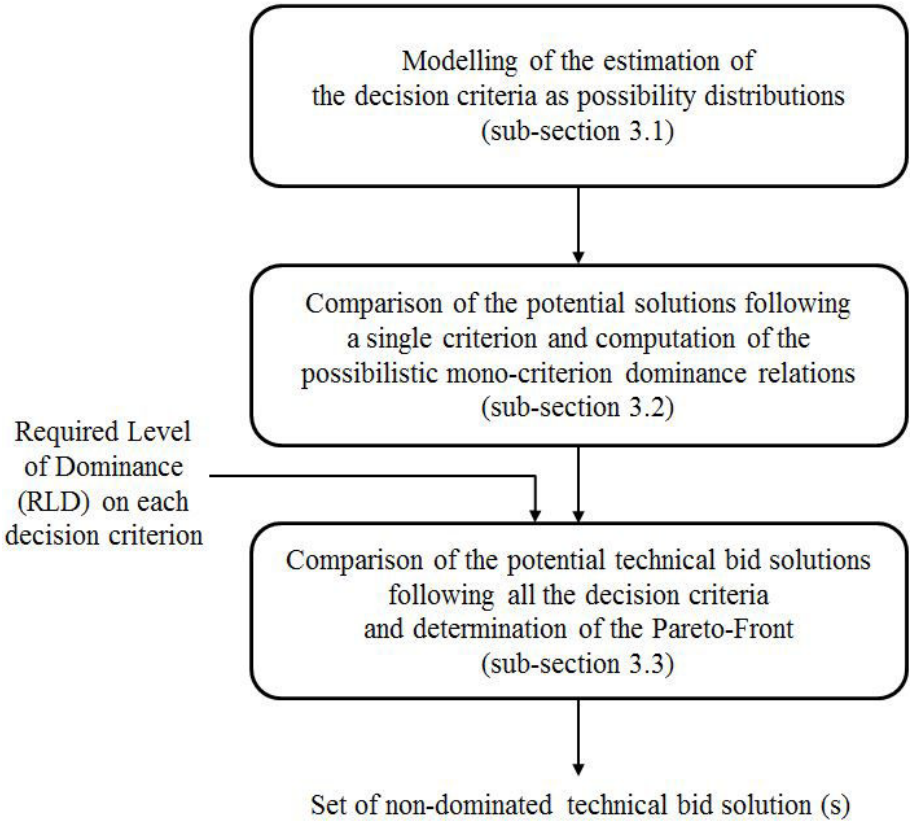


Figure 3.3 – Cadre général de l'approche d'aide à la décision

modélisation permet ainsi de prendre en compte simultanément les incertitudes et imprécisions liées aux valeurs des critères de décision mais également la confiance du soumissionnaire dans chaque offre lors de la comparaison des offres potentielles. La Figure 3.4 illustre la manière dont ces valeurs sont modélisées sous forme de distributions de possibilité. L'axe des abscisses représente les valeurs possibles d'un critère k pour une offre technique j. Les intervalles [a,d] et [b,c] représentent respectivement : le domaine d'évaluation et les valeurs les plus plausibles du critère k pour l'offre j. L'axe des ordonnés représente la possibilité de chaque valeur. Le paramètre e représente la possibilité d'avoir une valeur hors de l'intervalle [b,c]. Il est déterminé à l'aide d'une fonction utilisant les indicateurs de confiance OCS *(Overall Confidence in System)* et OCP *(Overall Confidence in Process)* proposés dans l'article [Sylla+2017c]. Cette fonction est décrite dans l'article, section 3.1.

C. Les relations de dominance mono-critère possibilistes

Concernant la deuxième étape, nous avons proposé dans la section 3.2 de l'article quatre relations de dominance possibilistes : *Certain Dominance* (CD), *Strong Possibility of Dominance* (SPD), *Weak Possibility of Dominance* (WPD) et *Indifference* (IND) pour permettre au soumissionnaire de comparer chaque paire d'offres techniques et de définir lesquelles sont les meilleures au regard d'un seul critère de décision. Ces relations de dominance sont basées sur les indices de dominance proposés dans [Dubois+1983 ; Dubois+1988] pour comparer et classer deux nombres

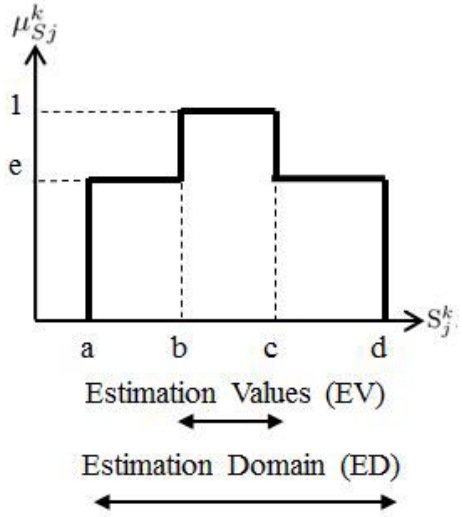


Figure 3.4 – Modélisation des valeurs imprécises et incertaines

flous. Ces indices de dominance sont présentés dans la section 2.3 de cet article. Un algorithme permettant de calculer et d'établir la relation de dominance entre deux offres est également proposé et décrit dans la section 3.4 (page 25). Toutes ces propositions permettent à l'entreprise soumissionnaire (ou au décideur) de connaitre, au regard de chaque critère de décision si une offre domine une autre et, le cas échéant, de quantifier le niveau de certitude de la dominance.

D. Méthode proposée pour construire le front de Pareto

Pour la troisième étape, une méthode basée sur le principe de Pareto-dominance est proposée dans la section 3.3 de l'article. Elle permet au soumissionnaire de comparer chaque paire d'offres techniques au regard de tous les critères de décision et de déterminer un ensemble restreint d'offres les plus intéressantes constituant le front de Pareto. Cette méthode intègre un concept de niveau de dominance nécessaire noté RLD (*Required Level of Dominance*) qui permet au soumissionnaire de définir ses exigences par rapport au degré d'incertitude et d'imprécision permis pour chaque critère de décision. Différents fronts de Pareto peuvent être obtenus en fonction du niveau de RLD défini pour chaque critère de décision. Un algorithme permettant de comparer les offres et de construire un front de Pareto tout en prenant en compte le RLD de chaque critère est proposé et décrit dans l'article, section 3.4 (page 26). L'ensemble de ces propositions permet au soumissionnaire de construire progressivement l'ensemble des offres techniques les plus intéressantes tout en tenant compte de ses exigences par rapport aux niveaux d'incertitudes et d'imprécisions autorisés sur les critères de décision.

L'approche proposée est appliquée sur un exemple portant sur l'élaboration d'une offre technique concernant le développement d'une grue. Les résultats de cette application sont aussi présentés et discutés dans cet article, section 4.

3.3.2 Synthèse des contributions et perspectives

Les contributions principales de cet article sont : (i) la méthode proposée pour modéliser simultanément les incertitudes, les imprécisions et la confiance du soumissionnaire caractérisant les valeurs des critères de décision avec des distributions de possibilité, (ii) les quatre relations de dominance possibilistes permettant de comparer deux offres techniques au regard d'un seul critère de décision en tenant compte des incertitudes, des imprécisions et de la confiance du soumissionnaire, et (iii) la méthode proposée pour comparer les offres techniques au regard de tous les critères de décision et construire un ensemble restreint d'offres les plus intéressantes.

Ces propositions permettent au soumissionnaire de sélectionner l'offre technique la plus intéressante sur la base des critères de décision pertinents tout en tenant compte des incertitudes, des imprécisions et de la confiance caractérisant les valeurs de ces critères. Ce qui permet de choisir l'offre la plus compétitive et la plus réalisable parmi un panel d'offres techniques potentielles.

Dans cet article, nous avons fait l'hypothèse que les critères de décision ont la même importance. Cette hypothèse est pertinente pour des situations où le décideur considère une même importance pour les critères de décision ou ne peut pas fournir explicitement un coefficient d'importance pour chaque critère de décision. Cependant, dans certaines situations, le décideur a la connaissance du coefficient d'importance de chaque critère de décision. Dans un tel contexte, il est nécessaire et utile de prendre en compte ces coefficients lors de la comparaison des solutions (offres techniques) au regard de tous les critères de décision. Par conséquent, dans nos futurs travaux nous envisageons d'étendre l'approche proposée à de telles situations. Une méthode intégrant les relations de dominance mono-critère proposées avec une méthode de surclassement de type PROMETHEE ou ELECTRE pourrait ainsi être développée afin de classer les offres techniques potentielles.

Notre troisième article, soumis à une revue, détaille l'approche proposée dans les pages suivantes.

Possibilistic Pareto-dominance approach to support technical bid selection under imprecision and uncertainty in the bidding process

Abdourahim Sylla[a,b,*], Thierry Coudert[b], Elise Vareilles[a], Laurent Geneste[b], Michel Aldanondo[a]

[a] *Centre de Génie Industriel, Université de Toulouse/IMT-Mines Albi, Albi, France*
[b] *Laboratoire Génie de Production, Université de Toulouse/INP-ENIT, Toulouse, France*

Abstract

Successfully bidding to several customers' projects is a key factor for the systems contractors to increase their business volume and to remain competitive. Moreover, it implies to define relevant potential technical bid solutions with regards to the customers' requirements and to select the most interesting ones for the commercial offers. However, in the Engineer-To-Order (ETO) industrial contexts, the selection of the most interesting technical bid solution is challenged by imprecision and uncertainty on the values of the decision criteria. They are due to the lack of accurate and complete knowledge about some parts of the technical bid solutions which have to be designed. They are taken into account in this article by intervals and by confidence measures. Therefore, in order to help the bidders to make the right decision when selecting the most interesting technical bid solution, a multi-criteria decision support approach which takes into account imprecision and uncertainty (and moreover the confidence of the bidder in each technical bid solution), is proposed. The proposed approach gathers three stages. First, a method is proposed to model the imprecise and uncertain values of the decision criteria as possibility distributions. Second, four possibilistic mono-criterion dominance relations (mono-CDR) are developed to compare two potential solutions following a single decision criterion. Finally, a method is proposed to compare the potential solutions following all the decision criteria and to determine the Pareto front which takes into account: (i) the uncertainty and imprecision related to the values of the decision criteria and (ii) the bidder's requirements about the level of acceptance of imprecision and uncertainty on each decision criterion. An application is presented to show the applicability and effectiveness of the proposed approach.

Keywords: Bidding process; Technical bid selection; Uncertainty and imprecision, Possibilistic Pareto-dominance

1. Introduction

The business of systems contractors is mostly based on performing projects obtained through the submission of successful bids to several customers Chapman et al. (2000); Arslan et al. (2006). Therefore, in order to increase their business volume and to remain competitive, the systems contractors (or bidders) must successfully bid to several customers Arslan et al. (2006). Moreover, to submit a bid to a customer, a bidder must perform five main activities in very short period Krömker et al. (1998); Weber et al. (2000). As shown in Fig .1, once a bidding opportunity is detected, it is first analyzed (A1), which enables to decide to bid (or not) to a particular customer's project. Afterward, if it was decided to bid, based on the customer's requirements and the company's capabilities, several potential technical bid solutions are defined and estimated (A2). Each of these potential technical bid solutions is supposed to comply with the technical and functional requirements of the customer. Then, from this panel of potential technical bid solutions, the

*Abdourahim Sylla
Email address: abdourahim.sylla@mines-albi.fr (Abdourahim Sylla)

bidder must select the most interesting technical bid solution (A3) in order to elaborate the commercial bid solution (A4) and transmit a bid proposal to the customer (A5), expecting that the bid will be successful Krömker et al. (1998); Chalal & Ghomari (2008).

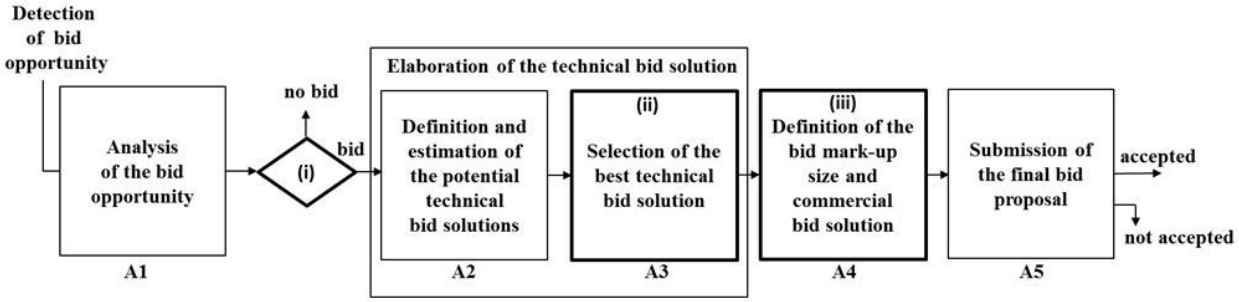


Fig. 1. Bidding process adapted from Chalal & Ghomari (2008)

A successful bid implies that: (a) the bid proposal is accepted by the customer, (b) the technical system relevant to the bid proposal is developed and delivered according to the customer's expectations (e.g. cost and delivery date) and, (c) the project is profitable to the bidder Arslan et al. (2006); Krömker et al. (1998). However, as shown in Fig. 1, this is challenged by three major decision making problems: (i) to bid or not to bid to a particular customer's project, (ii) to select the most interesting technical bid solution for a project and, (iii) to *estimate* the bid mark-up size. Each decision making problem is further complicated by imprecision and uncertainty due to the lack of reliable and complete information Chapman et al. (2000).

In the scientific literature, several efforts have been dedicated to the bid/no bid and the bid mark-up size decision making problems. For the bid/no bid decision making problem, various approaches (see Lin & Chen (2004); Chua & Li (2000); Sonmez & Sözgen (2017), for instance) have been developed to help the bidders to make the right decision in order to devote bid preparation efforts on projects that, when accepted, satisfy their objectives. For the bid mark-up size estimation, some authors Dikmen et al. (2007); Egemen & Mohamed (2008); Cheng & Cheng (2011) have also developed approaches to assist bidders. The aim is to help the bidders to choose the optimum bid price that will lead them to win the project and maximize the profit. These two decision making problems are out of the scope of this contribution.

Indeed, this article deals with the elaboration of a technical bid solution in a bidding process. The focus is made on the selection of the most interesting solutions among a panel of several potential technical bid solutions under imprecision and uncertainty (activity A3 and decision making problem iii of the bidding process, see Fig. 1). In the context of the bidding process, an interesting solution is a solution that combines both the attractiveness (good values for the evaluation criteria) and the feasibility (few uncertainty about the values of the evaluation criteria). In the remainder of this article, the term decision criteria is interchangeably used with that of evaluation criteria.

The elaboration process of a technical bid solution consists in defining and estimating some potential technical bid solutions and selecting the most interesting one to be considered for the bid proposal Krömker et al. (1998); Chalal & Ghomari (2008). As Krömker et al. (1998) and Yan et al. (2006), we consider that a technical bid solution is composed of two interconnected parts: (1) a technical system (a set of sub-systems and components) and (2) its delivery process (a set of required activities and resources to implement the technical system). Therefore, as already noticed by Krömker et al. (1998) and Sylla et al. (2017a), each technical bid solution must be defined and estimated both on its technical system and its delivery process. In order to do that, configuration software are commonly used. Configuration software are knowledge-based systems that, given a kind of generic model of the technical bid solutions, allow the bidder to instantiate or customize specific solutions according to customer's requirements Felfernig et al. (2014); Hvam & Ladeby (2007); Aldanondo & Vareilles (2008). In this article, this task is supposed done and, consequently, the focus is made on the selection, under imprecision and uncertainty, of the most interesting solution from a panel of potential technical bid solutions. The selection is done based upon several decision criteria. They are assumed to be independent and not compensable. Moreover, the same importance is given to each of

them in the decision process.

When elaborating a technical bid solution in the context of a bidding process, two kinds of industrial situations can be considered. The first kind is Assemble/Make-To-Order (AMTO) industrial situations. In AMTO situations, the relevant technical bid solutions have been studied in detail and completely defined before launching the elaboration of a technical bid solution Olhager (2003). Complete and accurate knowledge is then available to estimate the potential technical bid solutions Chandrasekaran (1986); Sylla et al. (2017a). Therefore, the uncertainty and imprecision on the values of the evaluation criteria are quite low. The potential technical bid solutions can be compared, using various standard multi-criteria decision support approaches (Dyer & Forman (1992); Brans & Mareschal (1994); Opricovic & Tzeng (2004); Hsu & Hu (2009); Giannoulis & Ishizaka (2010) to cite only a few). On the other hand, the second kind is Engineer-To-Order (ETO) industrial situations. In ETO situations, the relevant technical bid solutions have not been studied yet in detail and not completely defined before launching the elaboration of a technical bid solution. Relevant knowledge to estimate the potential technical bid solutions is thus less available Sylla et al. (2017a); Olhager (2003); Chandrasekaran (1986). In such situations, the values of the evaluation criteria are imprecise and uncertain Dantan et al. (2013); Sylla et al. (2017b). Therefore, in order to make the right decision when selecting a technical bid solution, it is necessary to consider uncertainty and imprecision related to the estimation of the decision criteria. In this article, we consider the ETO industrial contexts and develop a multi-criteria decision support approach to support technical bid selection, under imprecision and uncertainty, in the bidding process.

In Sylla et al. (2017c), two confidence indicators, named Overall Confidence in System (OCS) for the technical system and Overall Confidence in Process (OCP) for its delivery process, have been proposed. They allows to quantify the ability of a technical system to fulfill the customer's expectations (e.g. cost and delivery date) after its design and implementation. The OCS indicator is based on the readiness (or maturity) of the technical system as well as the confidence of the bidder in the technical system. Whereas the OCP indicator is based on the feasibility of the delivery process as well as the confidence of the bidder in the delivery process. Both OCS and OCP are measured on a nine level scale (1 is the lowest level and 9 the highest). More details about the computation method of OCS and OCP are provided in Sylla et al. (2017c).

By representing confidence in a technical bid solution, the OCS and OCP indicators allow to characterize uncertainty corresponding to this technical bid solution and then, to the evaluation criteria Sylla et al. (2017b). In this article, using these confidence indicators (OCS and OCP) and the possibility theory Dubois & Prade (1983, 2012), we develop a multi-criteria decision support approach based on the Pareto-dominance principle. It allows the bidders to make the right decision when selecting the most interesting solution to propose during the bidding process, taking into account imprecision and uncertainty (and moreover her/his confidence in each technical bid solution) (activity A3 and decision making problem iii of the bidding process, see Fig. 1). In this approach, first, a method is proposed to model the imprecise and uncertain values of the decision criteria as possibility distributions. This method is based on the use of intervals of values and of the confidence indicators OCS and OCP to quantify the imprecision and uncertainty related to the values of the decision criteria by means of possibility distributions. That allows to take imprecision, uncertainty and bidder's confidence into account when comparing two potential technical bid solutions. Then, a possibilistic Pareto-dominance approach is proposed to compare the potential solutions and to determine the restricted set of the most interesting ones (the Pareto front). It is based on: (i) four possibilistic mono-criterion dominance relations (mono-CDR) which are used to perform a pairwise comparison of the potential solutions with regard to a single criterion, and (ii) a method based on the notion of Required Level of Dominance (RLD) on each decision criterion to construct the Pareto front. A RLD represents the acceptable level of imprecision and uncertainty on a decision criterion. Different combinations of RLD allow to obtain different Pareto fronts depending on the level of imprecision and uncertainty allowed on the criteria.

The main contributions of this article are then: (i) the method proposed to model the imprecise and uncertain values of the decision criteria by means of possibility distributions taking into account the confidence indicators (ii) the possibilistic dominance relations for the comparison of the potential solutions and (iii) the construction of the Pareto front for the decision making.

The remainder of this article is organized as follows. In section 2, an adequate background related

to uncertainty and imprecision in the context of the elaboration of technical bid solutions is presented. Existing literature related to the multi-criteria decision making support approaches under imprecision and uncertainty and the comparison of imprecise uncertain values, is also reviewed. In section 3, the proposed multi-criteria decision support approach along with the supporting algorithms are described. In section 4, the application of the proposed approach on an example is presented and discussed in order to validate the contributions. Conclusion and future research are provided in section 5.

2. Research Background

2.1. Imprecision and uncertainty when selecting the best technical bid solution

From the the bid/no bid decision-making problem to the bid mark-up size estimation one through the selection of the most interesting technical bid solution, every decision making problem of the bidding process is influenced by imprecision and uncertainty Chapman et al. (2000). These imprecision and uncertainty may have various natures (epistemic or aleatory) and take various forms (e.g. confidence, reliability, variation or inaccuracy) Dantan et al. (2013); Sylla et al. (2017b); Dubois & Prade (2012). They add much more difficulty in the decision making process and to ignore them may lead to deceptive decisions Chapman et al. (2000).

As the contribution presented in this article focuses on the selection of the most interesting technical bid solutions, we only consider the uncertainty and imprecision related to the design solutions in Engineer-To-Order (ETO) industrial contexts. They are due to the lack of relevant knowledge and to incomplete description of the technical system and its delivery process which compose a technical bid solution. They affect the values of the design parameters and then the evaluation criteria that characterize the technical system (e.g. cost and performance) and the delivery process (e.g. cost and duration).

In the context of a technical bid solution estimation, an estimation can be expressed as a quadruplet (item, attribute, value, confidence). The item is whether the technical system or the delivery process. The attribute represents any characteristic (a design parameter or an evaluation criterion) of the item. The value is the predicate of the attribute and the confidence is related to the conformity of the value to the reality Sylla et al. (2017b); Dubois & Prade (2012). In this perspective, as in Dubois & Prade (2012), we distinguish the two concepts of imprecision and uncertainty as follows: imprecision concerns the the values of the design parameters or the evaluation criteria whereas the uncertainty is relative to the confidence in these values. For example, let us consider the estimation of the cost of a crane technical bid solution. An imprecise and uncertain estimation can be for instance: the cost of the crane (cost = [75, 85] K$), the confidence in this value (confidence = 0.70, where 1 is the maximum value in the scale of the confidence measure). Thus the imprecision is modeled by the interval [75, 85] K$ and the uncertainty is characterized by the value of the confidence which is equal to 0.70 in this example.

Accordingly, in this article, the imprecision related to the estimation of a decision criterion is represented as an interval of possible values and the confidence indicators (OCS, OCP) developed in Sylla et al. (2017c) are used to quantify and characterize the uncertainty related to these values as possibility distributions. In the next sub-sections, a panorama of approaches that take imprecision and uncertainty into account in multi-criteria decision making is presented.

2.2. Multi-criteria decision making under imprecision and uncertainty

In the context of multi-criteria decision making, among several potential solutions, the decision-maker has to choose the best solution based on the estimation of the potential solutions following several decision criteria Korhonen et al. (1992). In many real world decision problems, due to the lack of accurate and complete information, that estimation is imprecise and uncertain Durbach & Stewart (2012); Zandi & Roghanian (2013); Beg & Rashid (2017). Therefore, the comparison of the potential solutions leads to the comparison of imprecise and uncertain numbers Nowak (2004). In this perspectives, various approaches have been developed in order to help the decision maker. They differ in two aspects: (i) the way the imprecision and uncertainty are modeled, and (ii) the method used to compare the potential solutions and to model the preference (or dominance) relations Durbach & Stewart (2012). The most common approaches used

to model imprecision and uncertainty in decision analysis are probability theory and fuzzy set theory (and possibility theory) (see the reviews in Durbach & Stewart (2012); Broekhuizen et al. (2015); Kangas & Kangas (2004)).

With the probability theory, the imprecise and uncertain values of each potential solution S_j following a decision criterion k, is modeled with a probability distribution function F_j^k. Two methods are very often used to compare the potential solutions: (i) Muti-Attributes Utility Theory (MAUT) (see Von Neumann & Morgenstern (1953); Grabisch et al. (2008); Wilson & Quigley (2016)) and (ii) Stochastic Dominance approach (SD) (see Nowak (2004); D'Avignon & Vincke (1988); Zhang et al. (2010)). In MAUT, based on the probability distributions of all the criteria, a function permits to compute the expected utility of each solution. Then a solution S_j is preferred to another one S_i if and only if the expected utility of S_j is greater than that of S_i. In the SD approach, a pairwise comparison of probability distributions is first performed in order to compare the potential solutions and to establish preference (or dominance) relations between them, following each decision criterion. Then, a method is used to built deterministic/stochastic preference (or dominance) relations following all the decision criteria.

With the fuzzy set theory, the imprecise and uncertain values of the decision criteria are modeled with fuzzy numbers. Then, a fuzzy numbers ranking method is used to compare the potential solutions and to establish preference (or dominance) relations between them Durbach & Stewart (2012). Many decision methods use fuzzy set theory to deal with imprecision and uncertainty (see the reviews in Chen & Hwang (1992); Kahraman & Sezi (2007); Chuu (2009); Mardani et al. (2015)). According to the review presented in Broekhuizen et al. (2015); Mardani et al. (2015), the Analytic Hierarchy Process (AHP) is the most common method which uses fuzzy set. Indeed, the estimation of the weights and the values of the decision criteria is based on judgments. These judgments have a qualitative nature and may be inconsistent Durbach & Stewart (2012). Therefore, the fuzzy set theory is very often used: (i) to model the weight and/or values of the decision criteria with fuzzy numbers, and (ii) to perform the aggregation of these values into a global score for each potential solution. Fuzzy Pareto-dominance approach is also used to compare potential solutions (see Mario et al. (2005); Ganguly et al. (2013); Sahoo et al. (2012)). It is based on the conventional Pareto-dominance principle. The difference between them is that in the fuzzy Pareto-dominance, a degree of dominance characterizes the dominance relations between two solutions. Therefore, the potential solutions can be ranked following their mutual degree of dominance (see Ganguly et al. (2013)).

In this paper, the decision criteria are supposed to be independent and not compensable. Moreover, a same importance is given to each decision criterion in the decision process. Therefore, multi-criteria decision support approaches (such as AHP or MAUT) which aggregate the values of all the decision criteria into a global value for the comparison of the potential solutions, are not relevant. Moreover, we consider the possibility theory framework to cope with uncertainty and imprecision related to the values of the decision criteria. The possibility theory is known to be a very good framework to simultaneously deal with imprecision and uncertainty due to a lack of accurate and complete information Dubois & Prade (2012); French (1995). Moreover, it also permits to easily and effectively take into account expert's points of view (thus to take into account the confidence of the bidders in each technical bid solution).

The approach developed in this article is thus based on the Pareto-dominance principle and possibility theory. The Pareto-dominance method is a multi-criteria decision support approach. First, given a set of potential solutions and several decision criteria, it allows to perform a pairwise comparison of the potential solutions, following a single decision criterion, in order to establish mono-criterion dominance relations between them. Second, based on the mono-criterion dominance relations, it allows to compare the potential solutions following all the decision criteria and to establish an overall Pareto-dominance relation between them. Finally, it allows to determine the set of non-dominated potential solutions (Pareto front). The conventional Pareto-dominance and Pareto front hypothesis is formulated as follows. A solution S_j Pareto-dominates another solution S_i (denoted by $S_j \prec S_i$), if the values of the decision criteria for the solution S_j are not greater than those of the solution S_i, and at least for one decision criterion, the value of the decision criterion for the solution S_j is smaller than that of the solution S_i. In addition, a solution S^* belongs to the set of non-dominated solutions (named Pareto front), if and only if no other solution Pareto-dominates it.

The main difference between the Pareto-dominance approach proposed and the conventional one are as

follows. The imprecise and uncertain values of the decision criteria are modeled with possibility distributions. They take into account the confidence of the bidder in the solution (by mixing factual and subjective points of view, see sub-section 2.3). The proposed approach considers different levels of dominance that allow to take into account the possibility level of dominance of a solution S_j over another solution S_i. Different Pareto fronts can be obtained depending on the level of uncertainty allowed on each decision criterion.

2.3. Comparison of uncertain and imprecise numbers

In the scientific literature, numerous methods have been proposed to compare two fuzzy numbers for a ranking purpose (see Dubois & Prade (1983); Yagger (1981); Iskander (2002); Tran & Duckstein (2002)). The four dominance indexes (two possibility of dominance and two necessity of dominance) suggested in Dubois & Prade (1983), provide possibilistic valued dominance relations for the ranking of fuzzy numbers defined with possibility distributions. Several authors (see Dubois & Prade (2012); Bortolan & Degani (1985); Iskander (2005)) have shown that these four dominance indexes are completely able to clearly describe any situation in order to indicate the possibility and necessity of a fuzzy number being greater (or smaller) than another one. Therefore, in a decision making problem where the imprecise and uncertain estimation of the potential solutions are modeled with possibility distributions, they can be used to compare two potential solutions with regard to a single decision criterion.

In this article, the four dominance indexes of Dubois & Prade (1983, 2012) are used to develop the possibilistic mono-criterion dominance relations (mono-CDR). They allow to perform a pairwise comparison of the potential technical bid solutions with regard to a single decision criterion (the mono-CDR are presented in sub-section 3.2). These four dominance indexes are presented in the following.

Let us consider that the values of the estimation of two solutions S_j and S_i with regard to a decision criterion k are denoted S_j^k and S_i^k respectively. The possible values of the two solutions S_j and S_i are restricted by the possibility distributions μ_{Sj}^k and μ_{Si}^k. If we consider situations where small values are preferred for the decision criteria, the four dominance indexes are expressed in the following (for more details, see Dubois & Prade (1983, 2012)).

1. Possibility Of Dominance (POD). It is the possibility that the values of S_j^k are not greater than the values of S_i^k.

$$POD_{Sj\prec Si}^k = \sup_{x\in S_i^k}[\min(\mu_{Si}^k(x), \sup_{y\leq x}[\mu_{Sj}^k(y)])] \tag{1}$$

2. Possibility of Strict Dominance (PSD). It is the possibility that the values of S_j^k are smaller than the values of S_i^k.

$$PSD_{Sj\prec Si}^k = \sup_{x\in S_i^k}[\min(\mu_{Si}^k(x), \inf_{y\geq x}[(1-\mu_{Sj}^k(y)])] \tag{2}$$

3. Necessity Of Dominance (NOD). It is the necessity that the values of S_j^k are not greater than the values of S_i^k.

$$NOD_{Sj\prec Si}^k = \inf_{x\in S_i^k}[\max((1-\mu_{Si}^k(x)), \sup_{y\leq x}[\mu_{Sj}^k(y)])] \tag{3}$$

4. Necessity of Strict Dominance (NSD). It is the necessity that the values of S_j^k are smaller than the values of S_i^k.

$$NSD_{Sj\prec Si}^k = \inf_{x\in S_i^k}[\max((1-\mu_{Si}^k(x)), \inf_{y\geq x}[(1-\mu_{Sj}^k(y)])] \tag{4}$$

Moreover, the four dominance indexes satisfy the following axioms Dubois & Prade (1983, 2012).

$$POD_{Sj\prec Si}^k = 1 - NSD_{Si\prec Sj}^k \tag{5}$$

$$\max(POD_{Sj\prec Si}^k, POD_{Si\prec Sj}^k) = 1 \tag{6}$$

$$POD^k_{Sj \prec Si} \geq \max(PSD^k_{Sj \prec Si}, NOD^k_{Sj \prec Si}) \quad (7)$$

$$NSD^k_{Sj \prec Si} \leq \min(PSD^k_{Sj \prec Si}, NOD^k_{Sj \prec Si}) \quad (8)$$

Based on this background, in the following section, the multi-criteria decision making support approach proposed to support the bidder in the selection of the most interesting technical bid solutions is described.

3. Possibilistic Pareto-dominance approach for technical bid selection

In this section, the possibilistic Pareto-dominance approach to compare the potential technical bid solutions and to obtain the set of non-dominated solutions (Pareto front) is developed. The obtained Pareto front takes into account: (i) uncertainty and imprecision related to the estimation of the decision criteria and (ii) the Required Level of Dominance (RLD) which corresponds to the bidder's requirements about the level of acceptance of uncertainty and imprecision on each decision criterion. As shown in Fig. 2, the approach is organized following three main stages.

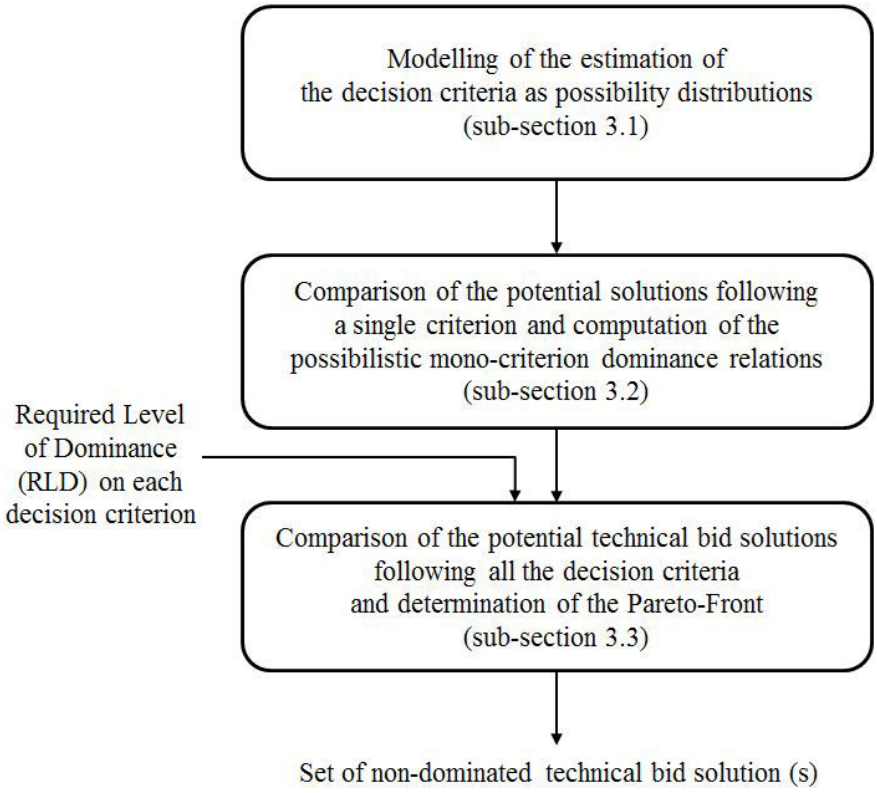


Fig. 2. Multi-criteria decision support approach

1. At the first stage, using the confidence indicators developed by Sylla et al. (2017c), a method is used to obtain the possibility distribution of each imprecise and uncertain decision criterion (see section 3.1).
2. At the second stage, for each decision criterion, and for each pair of technical bid solutions, the four dominance indexes of Dubois & Prade (1983, 2012) are used to compare the two solutions and to define the possibilistic mono-criterion dominance relation (mono-CDR) between them (see section 3.2).

3. At the third stage, the person in charge of the elaboration of the technical bid solution sets up the Required Level of Dominance (RLD) for each decision criterion. The RLD corresponds to the bidder's requirements about the level of acceptance of uncertainty and imprecision for each decision criterion. Then, based on the possibilistic mono-CDR established between the potential solutions and the RLD of each decision criterion, the potential technical bid solutions are compared following all the decision criteria and the set of non-dominated solutions (Pareto front) is determined.

In the following sub-sections, we describe all the three stages and the algorithms that support the proposed approach.

3.1. Modelling of the possibility distributions for the criteria

The possibility theory together with the confidence indicators offer a good opportunity to easily model the imprecise and uncertain estimation of the decision criteria as possibility distributions. For a solution S_j, the possibility distribution μ^k_{Sj} corresponding to the possible values of the decision criterion k, is characterized with five parameters: a, b, c, d and e (see Fig. 3). Moreover, it can be formally defined by the equation 9 below. For every value of the decision criterion k for the solution j (denoted S^k_j), $\mu^k_{Sj}(S^k_j)$ is the possibility of the value S^k_j.

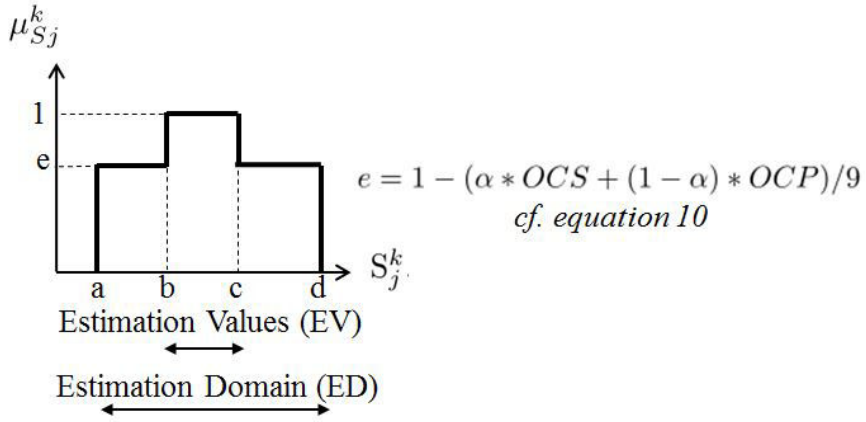


Fig. 3. Possibility distribution $\mu^k_{Sj}(S_j)^k$ of a criterion k for a solution S_j

$$\mu^k_{Sj}(S^k_j) = \begin{cases} 0 & \text{if} \quad (S^k_j < a) \vee (S^k_j > d) \\ e & \text{if} \quad (a \leq S^k_j < b) \vee (c < S^k_j \leq d) \\ 1 & \text{if} \quad (b \leq S^k_j \leq c) \end{cases} \tag{9}$$

- The parameters a and d represent respectively the lower and upper bounds of the Estimation Domain (ED) of a criterion. This domain is supposed certain. It means that the value of a criterion for a technical bid solution, is with certainty included in this domain.
- The parameters b and c represent respectively the lower and upper bounds of the interval of the Estimation Values (EV). The interval EV corresponds to the most possible values (the values that have their possibility level at the maximum level). Given the estimation domain of a criterion, based on experiences, an expert (or a computerized system) estimates the interval of the most possible values. For instance, a configuration software can be used to compute these intervals Sylla et al. (2017c).
- The parameter e represents the possibility to have a value out of the interval EV. It depends on the confidence indicators (OCS and OCP) that characterizes the technical bid solution. It is calculated

using the equation 10. The value (9) in this equation, represents the maximum level in the OCS and OCP scale. Thus the values of e are ranged in the real interval [0, 1].

$$e = 1 - (\alpha * OCS + (1 - \alpha) * OCP)/9 \tag{10}$$

The parameter α makes it possible to take into account the relative importance of each item (technical system and delivery process) according to the criterion in consideration. In the context of the elaboration of the technical bid solution in the bidding process, for a criterion that characterizes the two items (e.g. the *cost* of the technical bid solution), both the OCS and OCP indicators are relevant. Therefore, assuming that the two items have the same importance, α is equal to 0.5. For a criterion, that characterizes only the delivery process (e.g. the *duration* of the delivery process), only the OCP indicator is relevant, α is equal to 0. For a criterion, that characterizes only the technical system (e.g. a *technical performance* of the technical system), only the OCS indicator is relevant, α is equal to 1.

For example, let us consider again the example of the estimation of the cost of a crane technical bid solution (which is composed of the crane technical system and its delivery process). As this criterion characterizes both the crane technical system and its delivery process, α is equal to 0.5. In this estimation, it is known with certainty that the Estimation Domain (ED) of the crane technical bid solution is equal to [60, 100] *k*$. Based on the available information, an expert (or a computerized system) indicates that it is more plausible that the cost of this crane technical bid solution be equal to [75, 85] k$. This interval [75, 85] k$ represents the interval of the Estimation values (EV). The system also provides the values of the confidence indicators OCS and OCP.

- If OCS = 9 and OCP = 9, then according to the equation 10, e = 0. It means that the technical system and its delivery process are, with certainty, able to meet the expectations (e.g. the cost of the technical bid solution). Therefore, it is certain that the cost of this crane technical bid solution will be in the interval of the Estimation Values (EV) [75, 85] k$. The possibility (e) to have a value out of this interval [75, 85] k$ is then equal to 0.
- If OCS = 7 and OCP = 6, then according to the equation 10, e = 0.28. It means that it is not certain that the technical system and its delivery process are able to meet the expectations (e.g. the cost of the technical bid solution). Therefore, there is a possibility that the cost of the technical bid solution to be out of the interval of the EV [75, 85] k$. This possibility (e) is equal to 0.28.

For a technical bid solution, given the four parameters (a, b, c and d) and the confidence indicators (OCS and OCP), this method allows to build the corresponding possibility distributions for each criterion. In the next sub-section, the possibilistic mono-criterion dominance relations (mono-CDR) developed to compare the potential technical bid solutions following a single decision criterion are presented.

3.2. Comparison of technical bid solutions following a single criterion

In this sub-section, four possibilistic mono-Criterion Dominance Relations (mono-CDR) which allows to compare the potential technical bid solutions following a single decision criterion are presented.

Let us consider two potential technical bid solutions S_j and S_i. For each solution, a variable (S_j^k, with possibility distribution μ_{Sj}^k for the solution S_j and S_i^k, with possibility distribution μ_{Si}^k for the solution S_i), represents the estimation of the decision criterion *k*.

In order to develop the mono-CDR, all possible configurations of the possibility distributions μ_{Sj}^k and μ_{Si}^k, have been generated and studied. For each configuration, and for each technical bid solution, the four dominance indexes (POD^k, PSD^k, NOD^k and NSD^k) are calculated and summarized in a vector (denoted by: $D_{Sj \prec Si}^k$ for the solution S_j and $D_{Si \prec Sj}^k$ for the solution S_i). $D_{Sj \prec Si}^k$ provides the possibility and necessity of dominance of the solution S_j over the solution S_i whereas $D_{Si \prec Sj}^k$ provides the possibility and necessity of dominance of the solution S_i over the solution S_j. The two vectors are described by the equations 11 and 12.

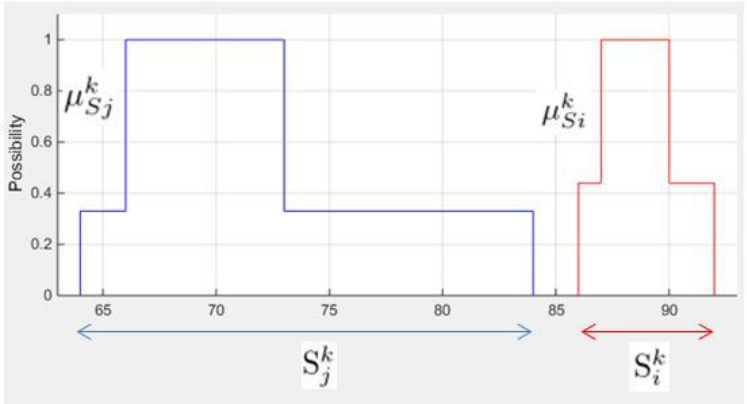
$$D_{Sj \prec Si}^k = [POD_{Sj \prec Si}^k, PSD_{Sj \prec Si}^k, NOD_{Sj \prec Si}^k, NSD_{Sj \prec Si}^k] \tag{11}$$

$$D^k_{Si \prec Sj} = [POD^k_{Si \prec Sj},\ PSD^k_{Si \prec Sj},\ NOD^k_{Si \prec Sj},\ NSD^k_{Si \prec Sj}] \tag{12}$$

For each configuration, the values of the two vectors have been analyzed with regard to the definition and the axioms of the four dominance indexes presented in sub-section 2.3. This analysis allows to define three categories of dominance (certain dominance, strong possibility of dominance, weak possibility of dominance) and one category of indifference. The four categories are formalized with four possibilistic dominance relations. Considering a single decision criterion, they allow: (i) to indicate if a technical bid solution S_j dominates (or not) another one S_i and (ii) if it dominates it, to indicate the possibility level of dominance (certain, strong and weak). They are presented as follows.

1. Certain Dominance (denoted $\prec_{CD}$). This relation corresponds to situations where the two possibility distributions (μ^k_{Sj} for the solution S_j and μ^k_{Si} for the solution S_i) are completely disjoint (see Fig. 4). Whatever the value of each variable, one of them is with certainty smaller than the other one. Therefore, one solution certainly dominates the other one following the criterion k. A solution S_j certainly dominates a solution S_i, if the value of $NSD^k_{Sj \prec Si}$ (Necessity of Strict Dominance of S_j over S_i) is equal to 1 (see equation 13 and Fig. 4). Then, $S_j \prec_{CD} S_i$ if:

$$D^k_{Sj \prec Si}(4) = 1 \tag{13}$$

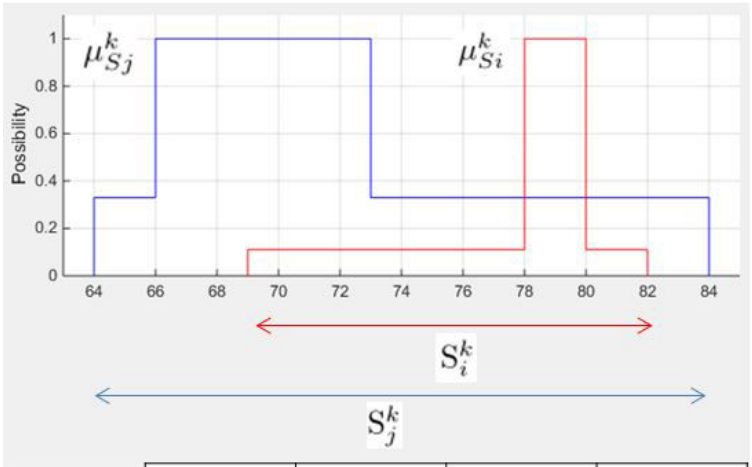


	POD	*PSD*	*NOD*	*NSD*
$D^k_{Sj \prec Si}$	1	1	1	1
$D^k_{Si \prec Sj}$	0	0	0	0

Fig. 4. Certain Dominance of S_j over S_i ($S_j \prec_{CD} S_i$)

2. Strong Possibility of Dominance (denoted $\prec_{SPD}$). This relation corresponds to situations where the two possibility distributions (μ^k_{Sj} for the solution S_j and μ^k_{Si} for the solution S_i) are not disjoint (see Fig. 5). However, all the four dominance indexes of the two vectors $D^k_{Sj \prec Si}$ and $D^k_{Si \prec Sj}$ are consistent for the comparison of the two variables S^k_j and S^k_i. They indicate that one variable is generally smaller than the other one. Accordingly, one solution dominates the other one, not certainly, but with a strong possibility. A solution S_j uncertainly, but with a strong possibility, dominates a solution S_i, if all the values of the four elements of the vector $D^k_{Sj \prec Si}$ are respectively greater than those of the vector $D^k_{Si \prec Sj}$ (see equation 14 and Fig. 5). Then, $S_j \prec_{SPD} S_i$ if:

$$[D^k_{Sj \prec Si}(4) < 1] \wedge [\forall t \in \{1, ..., 4\}; D^k_{Sj \prec Si}(t) > D^k_{Si \prec Sj}(t)] \tag{14}$$



	POD	*PSD*	*NOD*	*NSD*
$D^k_{Sj \prec Si}$	1	0.67	1	0.67
$D^k_{Si \prec Sj}$	0.33	0.33	0	0

Fig. 5. Strong Possibility of Dominance of S_j over S_i ($S_j \prec_{SPD} S_i$)

3. Weak Possibility of Dominance (denoted $\prec_{WPD}$). The two possibility distributions (μ^k_{Sj} for the solution S_j and μ^k_{Si} for the solution S_i) are not disjoint. However, in contrast to the $\prec_{SPD}$ relation, all the dominance indexes of the two vectors $D^k_{Sj \prec Si}$ and $D^k_{Si \prec Sj}$ are not consistent for the comparison of the two variables S^k_j and S^k_i. Most of the indexes of the two vectors indicate that one variable is generally smaller than the other one, but some of them are not consistent with that. Three cases have been identified:
a) In the first case, formalized in equation 15, three indexes (POD^k, NOD^k and NSD^k or POD^k, PSD^k and NSD^k) indicate that the variable S^k_j of the solution S_j is generally smaller than the variable S^k_i of the solution S_i, and one index (PSD^k or NOD^k) indicates whether: (i) the variable S^k_i of the solution S_i is generally smaller than that of the solution S_j or (ii) the variable S^k_i of the solution S_i is equal to that of the solution S_j.
b) In the second case, formalized in equations 16 and 17, two indexes (POD^k and NSD^k or PSD^k and NOD^k) indicate that the variable S^k_j of the solution S_j is generally smaller than the variable S^k_i of the solution S_i and the two other indexes (PSD^k and NOD^k or POD^k and NSD^k) indicate that the variable S^k_j of the solution S_j is equal to that of the solution S_i.
c) In the third case, formalized in equation 18, one of the indexes PSD^k or NOD^k indicates that the variable S^k_j of the solution S_j is generally smaller than the variable S^k_i of the solution S_i and the other indexes (POD^k, NSD^k and NOD^k or POD^k, NSD^k and PSD^k) indicate that the variable S^k_j of the solution S_j is equal to that of the solution S_i.
Therefore, a solution S_j uncertainly dominates, but with a weak possibility, a solution S_i (denoted $S_j \prec_{WPD} S_i$), if it satisfies one of the four equations 15, 16, 17 and 18 below.

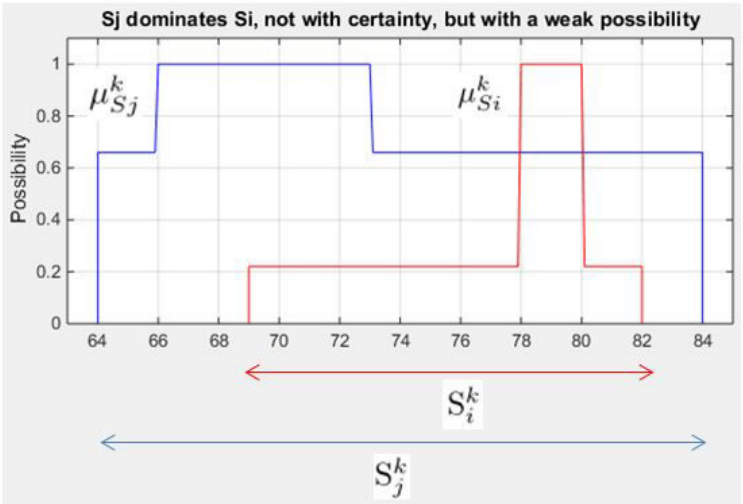
$$[\exists t \in \{1, ..., 4\} : D^k_{Sj \prec Si}(t) \leq D^k_{Si \prec Sj}(t)] \wedge [\forall l \neq t : D^k_{Sj \prec Si}(l) > D^k_{Si \prec Sj}(l)] \quad (15)$$

$$[\forall t \in \{1, 4\} : D^k_{Sj \prec Si}(t) = D^k_{Si \prec Sj}(t)] \wedge [\forall l \neq t : D^k_{Sj \prec Si}(l) > D^k_{Si \prec Sj}(l)] \quad (16)$$

$$[\forall t \in \{1, 4\} : D^k_{Sj \prec Si}(t) > D^k_{Si \prec Sj}(t)] \wedge [\forall l \neq t : D^k_{Sj \prec Si}(l) = D^k_{Si \prec Sj}(l)] \quad (17)$$

$$[\exists t \in \{1, ..., 4\} : D^k_{Sj \prec Si}(t) > D^k_{Si \prec Sj}(t)] \wedge [\forall l \neq t : D^k_{Sj \prec Si}(l) = D^k_{Si \prec Sj}(l)] \quad (18)$$

The example shown in the Fig. 6 corresponds to the first case (equation 15). It can be seen through this Fig. 6 that the two distributions μ^k_{Sj} and μ^k_{Si} have almost the same positions as in the Fig. 5. The only difference is that, in the Fig. 6, the possibility to have a value of S^k_j that is greater than S^k_i has been increased. That is why the strength of the dominance of S_j over S_i has been decreased from $\prec_{SPD}$ (in Fig. 5) to $\prec_{WPD}$ (in Fig. 6).



	POD	*PSD*	*NOD*	*NSD*
$D^k_{Sj \prec Si}$	1	0.34	1	0.34
$D^k_{Si \prec Sj}$	0.66	0.66	0	0

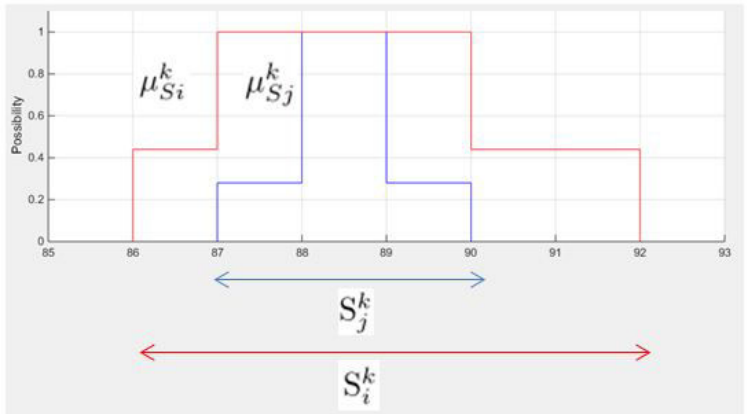
Fig. 6. Weak Possibility of Dominance of S_j over S_i ($S_j \prec_{SPD} S_i$)

4. Indifference (denoted IND). This relation corresponds to situations where the two possibility distributions μ^k_{Sj} and μ^k_{Si} strongly overlap (see Fig. 7). The dominance indexes of the two vectors $D^k_{Sj \prec Si}$ and $D^k_{Si \prec Sj}$ are not consistent for the comparison of the two variables S^k_j and S^k_i. In addition, in contrast to the previous dominance relations, none of the two variables exceeds the other one in number of dominance indexes that indicate that it is smaller than the other one. Two cases have been identified:
a) In the first case, formalized in the equation 19, the four dominance indexes (POD^k, PSD^k, NOD^k and NSD^k) indicate that the two variables S^k_j and S^k_i are equal.
b) In the second case, formalized in the equations 20 and 21, two dominance indexes (POD^k and NSD^k) indicate that the two variables S^k_j and S^k_i are equal and for the two others, each variable has one dominance index (PSD^k or NOD^k) that indicates that it is smaller than the other one. The example shown in Fig. 7 corresponds to this case.
Therefore, two technical bid solutions S_j and S_i are indifferent (denoted S_j IND S_i) if one of the three equations (19, 20 and 21) is true:

$$[\forall t \in \{1, ..., 4\} : D^k_{Sj \prec Si}(t) = D^k_{Si \prec Sj}(t)] \tag{19}$$

$$[\forall t \in \{1, 4\} : D^k_{Sj \prec Si}(t) = D^k_{Si \prec Sj}(t)] \wedge [D^k_{Sj \prec Si}(2) > D^k_{Si \prec Sj}(2)] \wedge [D^k_{Sj \prec Si}(3) < D^k_{Si \prec Sj}(3)] \tag{20}$$

$$[\forall t \in \{1, 4\} : D^k_{Sj \prec Si}(t) = D^k_{Si \prec Sj}(t)] \wedge [D^k_{Sj \prec Si}(2) < D^k_{Si \prec Sj}(2)] \wedge [D^k_{Sj \prec Si}(3) > D^k_{Si \prec Sj}(3)] \tag{21}$$



	POD	*PSD*	*NOD*	*NSD*
$D^k_{Sj \prec Si}$	1	0	1	0
$D^k_{Si \prec Sj}$	1	0.72	0.28	0

Fig. 7. S_j is indifferent to S_i (S_j IND S_i)

In the proposed approach, these relations ($\prec_{CD}$, $\prec_{SPD}$, $\prec_{WPD}$ and IND are used to compare two solutions S_j and S_i with regards to a single decision criterion. The equations 13 to 21 described above, present the conditions to be satisfied for a solution S_j: (i) to dominate another solution S_i (equation 13, 14, 15, 16, 17 and 18), or (ii) to be indifferent to a solution S_i (equations 19, 20 and 21). In the following parts, the possibilistic mono-criterion dominance relation of a solution S_j over a solution S_i is denoted mono-CDR(S_j, S_i). It can take one of the four mono-CDR values (Certain Dominance(CD), Strong Possibility of Dominance (SPD), Weak Possibility of Dominance (WPD) and Indifference (IND)). Comparing two solutions S_j and S_i, if none of the four mono-CDR is applicable (which means that the solution S_j is dominated by the solution S_i), the mono-CDR(S_j,S_i) takes the value "NA" (Not Applicable) and it is denoted by $S_j \not\prec S_i$. In the following sub-section, the method proposed to compare the potential solutions following several decision criteria and to build the Pareto front is developed.

3.3. Comparison of technical bid solutions following several decision criteria - Elaboration of the Pareto front

In this sub-section, the method which allows to compare technical bid solutions following several decision criteria and to determine the set of non-dominated solutions (Pareto front) is described. The resulting Pareto front takes into account uncertainty and imprecision related to the values of the decision criteria and the bidder's requirement about the Required Level of Dominance on each decision criterion (RLD). The RLD is given by the person in charge of the elaboration of the technical bid solution.

In the context of the bidding process, when selecting the most interesting technical bid solutions, in situations where the values of the decision criteria are imprecise and uncertain, it is necessary to take into account the point of view of the bidder about the level of acceptance of uncertainty and imprecision on each decision criterion. Therefore, the concept of Required Level of Dominance for a decision criterion (RLD) is introduced to capture and take this point of view into account in the decision making process. For a decision criterion k, the required level of dominance is noted RLD^k. In this article, we consider four possible values for RLD^k. These values correspond to the four possibilistic mono-CDR (CD, SPD, WPD and IND). For n decision criteria (n > 1), all possible combinations of the four values are allowed, except that combining only the value IND. Indeed, in that case, none of the two solutions Pareto-dominates the other one.

Accordingly, let us consider two technical bid solutions S_j and S_i to be compared following n decision criteria (n > 1). Given RLD^k for each decision criterion k, a technical bid solution S_j Pareto-dominates

another technical bid solution S_i (denoted $S_j \prec S_i$), if and only if, for each decision criterion k, the possibilistic mono-criterion dominance of the solution S_j over S_i (mono-CDR$^k(S_j, S_i)$) is at least stronger (denoted by $\geq$) than the required level of dominance on this decision criterion (RLD^k). The mono-CDR value CD is stronger than SPD, which is stronger than WPD, which is also stronger than IND which in turn is stronger than NA (CD > SPD > WPD > IND > NA).

Equation 22 represents the Pareto-dominance relation of a solution S_j over S_i following n decision criteria. Moreover, as mentioned in sub-section 2.2, a solution belongs to the Pareto Front (PF) if there is no other solution that Pareto-dominates it. Let S be the set of m potential technical bid solutions. Let PF be the Pareto front. PF is defined by the equation 23.

$$S_j \prec S_i \; if \; \forall k \in \{1, ..., n\}, mono{-}CDR^k(S_j, S_i) \geq RLD^k \tag{22}$$

$$PF = \{S_l, \, S_l \in S, \nexists \, S_t \, / \, S_t \prec S_l\} \tag{23}$$

Therefore, by performing a pairwise comparison of the potential solutions using the equation 22, the Pareto front is built based on the the equation 23. Thus, this method enables the bidder to determine the set PF (which is the set of the most interesting technical bid solutions) according to the required level of dominance on each decision criterion. In the next sub-section, the algorithms that support the proposed approach are described.

3.4. Description of the algorithms to support the proposed approach

In this sub-section, the algorithms which support the proposed approach are described. The first algorithm (Algorithm 1) allows to compute the possibilistic mono-criterion dominance of the solution S_j over the solution S_i. It corresponds to the function mono-CDR^k(S_j, S_i).

Algorithm 1 $Mono{-}CDR^k(S_j, S_i)$

Compute $D^k_{Sj \prec Si}$ *# Dubois and Prade's dominance indexes for Sj*
Compute $D^k_{Si \prec Sj}$ *# Dubois and Prade's dominance indexes for Si*
if (equation 13 is TRUE) **then**
  return CD *# Sj certainly dominates Si* ($S_j \prec_{CD} S_i$)
else if (equation 14 is TRUE) **then**
  return SPD *# Sj dominates Si, with a strong possibility* ($S_j \prec_{SPD} S_i$)
else if ((equation 15 is TRUE) $\vee$ (equation 16 is TRUE) $\vee$ (equation 17 is TRUE) $\vee$ (equation 18 is TRUE)) **then**
  return WPD *# Sj dominates Si, with a weak possibility* ($S_j \prec_{WPD} S_i$)
else if ((equation 19 is TRUE) $\vee$ (equation 20 is TRUE) $\vee$ (equation 21 is TRUE)) **then**
  return IND *# Sj is indifferent to Si* (S_j *IND* S_i)
else
  return NA *# Sj is dominated by Si* ($S_i \prec S_j$)
end if

The function mono-CDR^k(S_j, S_i) has two arguments S_j and S_i. First the vectors $D^k_{Sj \prec Si}$ and $D^k_{Si \prec Sj}$ are computed using the equations 1, 2, 3 and 4 (see sub-section 2.4) and the equations 11 and 12 (see sub-section 3.2). Then, using the equations 13 to 21 described in the sub-section 3.2, the mono-CDR value is selected among Certain Dominance (CD), Strong Possibility of Dominance (SPD), Weak Possibility of Dominance (WPD), Indifference (IND) and Not Applicable (NA) when S_j is dominated by S_i.

The second algorithm (Algorithm 2) defines the function Pareto-front(S, $\{RLD^1, RLD^2, ..., RLD^n\}$) which returns the set of non-dominated solutions (i.e. the Pareto-front). This function has several arguments: (i) S, the set of the potential technical bid solutions, (ii) $\{RLD^1, RLD^2, ..., RLD^n\}$, the set of n required levels of dominance corresponding to the n decision criteria. The function Pareto-front realizes a pairwise comparison of the potential technical bid solutions of the set S. Each solution is compared to each other. For

Algorithm 2 Pareto-front(S, $\{RLD^1, RLD^2, ..., RLD^n\}$)

```
PF ← S                    # The initial Pareto front includes all the solutions
for S_i ∈ S do
  for S_j ∈ S / S_j ≠ S_i do
    NbDom ← 0    # Number of decision criteria by which Sj dominates Si
    for k ∈ {1, ..., n} do
      if Mono-CDR^k(S_j,S_i) ≥ RLD^k then
        NbDom ← NbDom + 1                # NbDom is increased by 1
      end if
    end for
    if NbDom = n then
      PF ← PF − {S_i}    # Si is removed from PF because it is dominated
    end if
  end for
end for
return PF       # The most interesting solutions with regard to the RLDs
```

each pair (S_j,S_i) of solutions (with i ≠ j) and for each decision criterion k (with k ∈ $\{1, 2, ..., n\}$), the function mono-CDR^k(S_j, S_i) is called. The result is the possibilistic mono-criterion dominance of the solution S_j over S_i with regard to the decision criterion k. If for any decision criterion k, the RLD^k is not stronger than the corresponding mono-CDR^k(S_j,S_i), then the solution S_j Pareto-dominates the solution S_i, and consequently S_i is removed from the set PF. At the end, the resulted PF is returned by the function Pareto-front.

4. Illustrative application of the proposed approach

4.1. Description of the example

This section illustrates the proposed approach by means of an application on an example presented in Table 1. This example concerns the elaboration of a crane technical bid solution. It is considered that eleven potential technical bid solutions have been built and estimated using for instance a configuration software Sylla et al. (2017d). The bidder has now to select one crane technical bid solution from this panel of eleven potential solutions. For more simplicity and clarity, only two decision criteria are considered: (i) the cost of the technical bid solution (cost) which gathers both the technical system cost and the delivery process cost ($\alpha = 0.5$ in equation 10 for this criterion), and (ii) the duration of the delivery process (duration) (for this criterion $\alpha = 0$ in equation 10). Each technical bid solution is characterized with six parameters as described in the following.

- For each decision criterion:
  - two parameters a and d which are the lower and upper bounds of the estimation domain (ED),
  - two parameters b and c which are the lower and upper bounds of the interval of the estimation values (EV),
- Confidence indicators:
  - Overall Confidence in System (OCS) which is the confidence level in the technical system
  - Overall Confidence in Process (OCP) which is the confidence level in the delivery process

These values are gathered in Table 1. The proposed multi-criteria decision support approach is used to provide the bidder with a set of the most interesting technical bid solutions while taking into account: (i) the uncertainty and imprecision related to the values of the decision criteria, and (ii) the acceptable level of uncertainty on each decision criterion defined in this article as a required level of dominance on a decision

criterion. The application is performed using the Matlab software (MATLAB R2014b). In the following sub-section, the main results are presented and discussed.

Table 1: The ten potential technical bid solutions

S	Cost (K$)					Duration (days)					Confidence [1, 9]	
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	OCS	OCP
S_1	64	66	73	84	0.33	63	65	74	83	0.33	6	6
S_2	63	67	74	83	0.5	52	53	56	60	0.55	5	4
S_3	67	80	82	84	0.28	57	60	63	65	0.22	6	7
S_4	72	76	79	85	0.11	55	57	58	59	0.11	8	8
S_5	87	88	89	90	0.28	64	66	67	70	0.33	7	6
S_6	67	68	75	81	0.22	53	54	57	58	0.11	6	8
S_7	86	87	90	92	0.44	68	70	72	75	0.44	5	5
S_8	68	73	76	85	0.17	49	55	58	65	0.22	8	7
S_9	69	78	80	82	0.11	60	61	64	65	0.11	8	8
S_{10}	86	88	90	95	0.22	66	67	70	72	0.33	8	6
S_{11}	85	89	92	94	0.28	50	52	54	63	0.33	7	6

4.2. Results and discussion of the experiments

In this sub-section, first, the possibility distributions are defined as the model of the imprecise and uncertain values of the decision criteria. Second, the possibilistic mono-criterion dominance relations (mono-CDR) established between the potential solutions are computed. Finally, three scenarios of Pareto-dominance and the corresponding Pareto-front are presented. Each scenario corresponds to a particular combination of the required levels of dominance (RLD) on the two decision criteria.

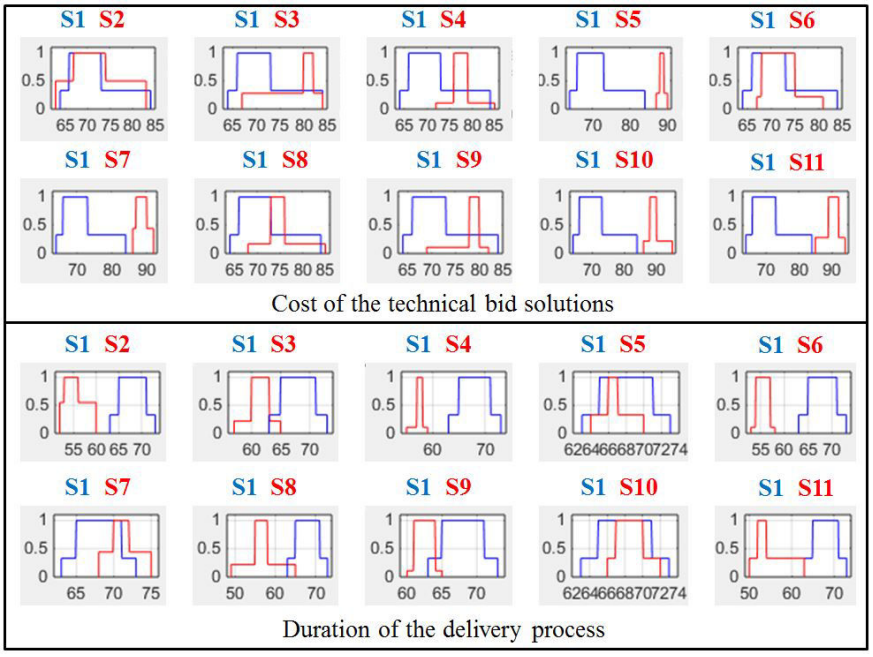
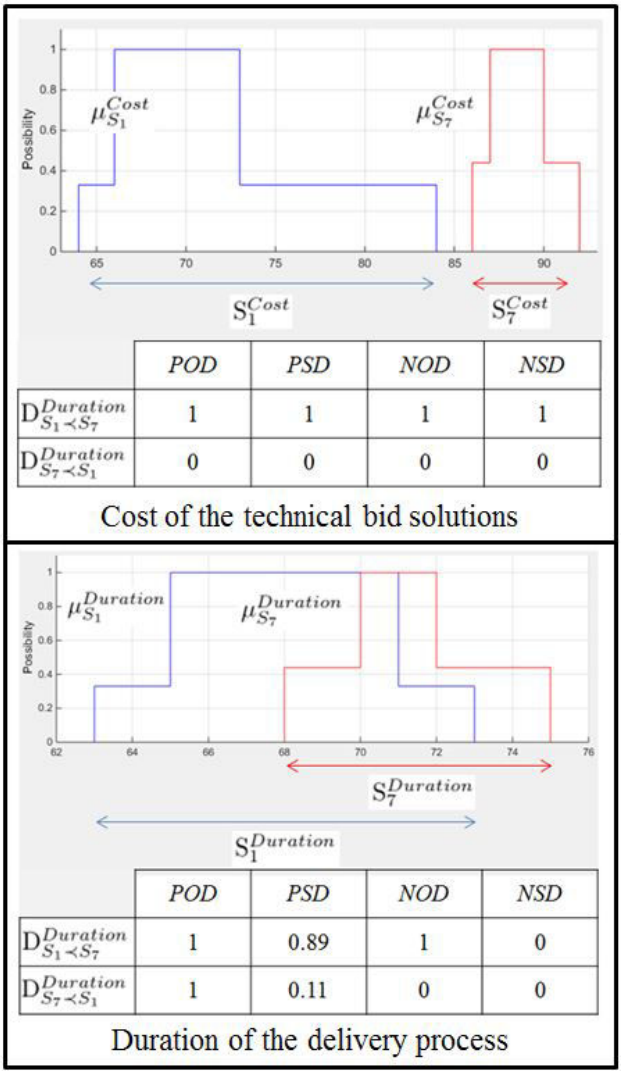


Fig. 8. Example of generated possibility distributions

1. The possibility distributions of the estimation of the decision criteria. In order to generate the possibility distributions, the method presented in the sub-section 3.1 is used. First, the parameter e of each technical

bid solution is computed for each decision criterion using the equation 10. The values are reported in Table 1. Then, the possibility distributions have been computed using equation 9. In Fig. 8, the possibility distributions are presented by pairs of technical bid solutions. As the same method is used for all the pairs, for each decision criterion, we have only presented the possibility distributions of the following pairs: (S_1, S_2), (S_1, S_3), (S_1, S_4), (S_1, S_5), (S_1, S_6), (S_1, S_7), (S_1, S_8), (S_1, S_9), (S_1, S_{10}) and (S_1, S_{11}). The possibility distribution for the cost of the technical bid solutions are presented at the upper level whereas those of the duration of the delivery processes are presented at the lower level.



	POD	*PSD*	*NOD*	*NSD*
$D_{S_1 \prec S_7}^{Duration}$	1	1	1	1
$D_{S_7 \prec S_1}^{Duration}$	0	0	0	0

	POD	*PSD*	*NOD*	*NSD*
$D_{S_1 \prec S_7}^{Duration}$	1	0.89	1	0
$D_{S_7 \prec S_1}^{Duration}$	1	0.11	0	0

Fig. 9. The vectors $D_{Sj \prec Si}^k$ and $D_{Si \prec Sj}^k$ for the pair (S_1, S_7)

These possibility distributions are used as inputs to compute the two vectors $D_{Sj \prec Si}^k$ and $D_{Si \prec Sj}^k$ for each pair (S_j, S_i) and for each decision criterion k. In the Fig. 9, for each decision criterion, we have only presented the vectors $D_{Sj \prec Si}^k$ and $D_{Si \prec Sj}^k$ for the pair (S_1, S_7). The vectors are further used to compute the mono-criterion dominance relations presented in the following paragraph.

2. The mono-CDR between the potential solutions. The mono-CDR for each decision criterion have been computed using Algorithm 1 presented in sub-section 3.4. They are shown in the Fig. 10. The matrix at

the upper level represents the possibilistic dominance of the solution S_j over the solution S_i with regard to the cost. The matrix at the lower level, represents the possibilistic dominance of the solution S_j over the solution S_i with regard to the duration. They indicate for each pair (S_j, S_i), if S_j dominates (or not) S_i, and if S_j dominates S_i, they also indicate the possibility level of dominance. For instance, the solution S_1 certainly dominates (CD) the solution S_7 with regard to the cost. Then, mono-CDR^{cost}(S_1, S_7) is equal to CD. However, with regard to the duration, S_1 dominates S_7, not certainly, but with a weak possibility (SPD). Then, mono-CDR^{duration}(S_1, S_7) is equal to WPD. Consequently, S_7 is dominated by S_1 with regards to the two decision criteria. That is why mono-CDR^{cost}(S_7, S_1) and mono-CDR^{duration}(S_7, S_1) are equal to NA. Moreover, as the dominance of a solution over itself is not relevant, it is not computed, and consequently it is not shown in Fig. 10.

S_i / S_J	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
S1		WPD	SPD	SPD	CD	WPD	CD	WPD	SPD	CD	CD
S2	NA		WPD	WPD	CD	WPD	CD	WPD	WPD	CD	CD
S3	NA	NA		NA	CD	NA	CD	NA	NA	CD	CD
S4	NA	NA	SPD		CD	NA	CD	NA	WPD	CD	SPD
S5	NA	NA	NA	NA		NA	IND	NA	NA	WPD	WPD
S6	NA	NA	SPD	SPD	CD		CD	WPD	SPD	CD	CD
S7	NA	NA	NA	NA	IND	NA		NA	NA	IND	WPD
S8	NA	NA	SPD	WPD	CD	NA	CD		SPD	CD	SPD
S9	NA	NA	WPD	NA	CD	NA	CD	NA		CD	CD
S10	NA	NA	NA	NA	NA	NA	IND	NA	NA		WPD
S11	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	

Mono-criterion dominance relations for the cost

S_i / S_J	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
S1		NA	NA	NA	IND	NA	WPD	NA	NA	IND	NA
S2	CD		SPD	WPD	CD	IND	CD	IND	SPD	CD	NA
S3	SPD	NA		NA	SPD	NA	CD	NA	WPD	CD	NA
S4	CD	NA	SPD		CD	NA	CD	IND	CD	CD	NA
S5	IND	NA	NA	NA		NA	SPD	NA	NA	WPD	NA
S6	CD	IND	SPD	WPD	CD		CD	WPD	CD	CD	NA
S7	NA	NA	NA	NA	NA	NA		NA	NA	NA	NA
S8	SPD	IND	SPD	IND	SPD	NA	CD		SPD	CD	NA
S9	SPD	NA	NA	NA	SPD	NA	CD	NA		CD	NA
S10	IND	NA	NA	NA	NA	NA	WPD	NA	NA		NA
S11	SPD	WPD	SPD	SPD	CD	WPD	CD	SPD	SPD	CD	

Mono-criterion dominance relations for the duration

Fig. 10. The possibilistic mono-criterion dominance relations

In the next paragraph, these two matrices are used as inputs to computes the Pareto-dominance and to determine the Pareto-front.

3. The Pareto-dominance and the Pareto-front. The eleven potential technical bid solutions are represented in Fig. 11. Each solution is represented with two lines in a unique color. The X-axis represents the duration of delivery processes whereas the Y-axis represents the cost of the technical bid solutions. The solid part of the lines represents the interval of the estimation values (EV) which are the most possible values. The possibility level of a value of the interval EV is equal to 1. This value is not shown in Fig. 11. The dotted

parts of the lines represent the values that are out of the interval EV. The possibility of these values is equal the parameter e which is shown in the Table 1 and near to the dotted lines of Fig . 11.

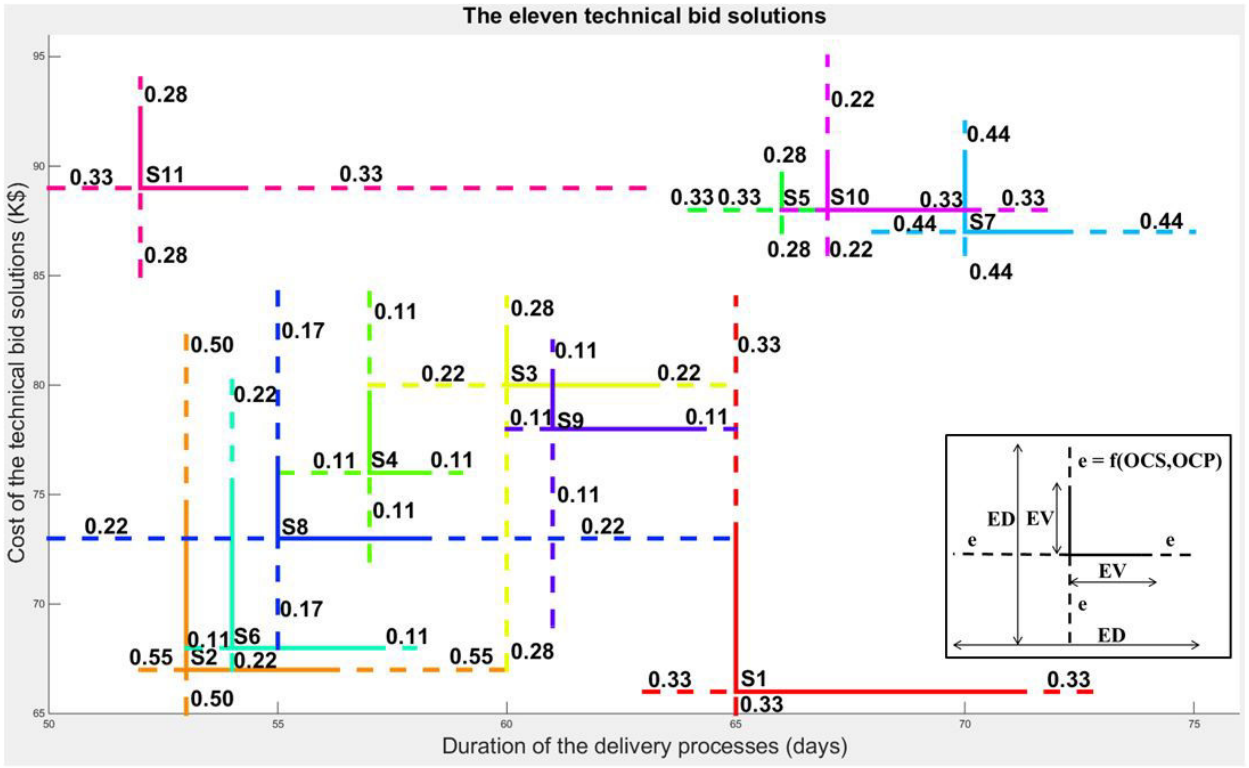


Fig. 11. The eleven potential technical bid solutions

The Algorithm 2 is used to compare the potential solutions following the two decision criteria and to determine the set of non-dominated solutions (Pareto front). At this stage, the person in charge of the elaboration of the technical bid solution (or the bidder) provides the Required Level of Dominance (RLD^k) for each decision criterion k. As two decision criteria are considered, fifteen combinations of RLD^k are allowed (see the left part of Fig. 12). However, we consider only three combinations in this example. They are shown in the right part of Fig. 12, and correspond to the three scenarios which are presented and discussed in the following.

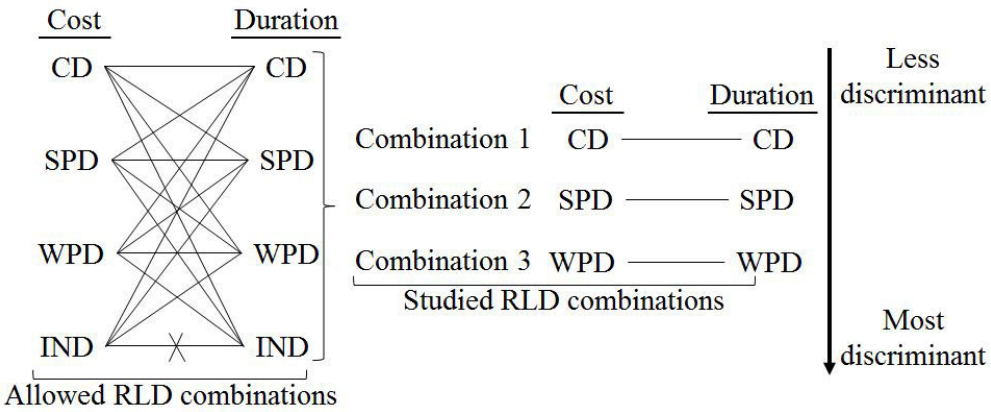


Fig. 12. Allowed and studied combinations of RLD

1. Combination 1 (CD-CD). In this scenario, the bidder has used the Certain Dominance relation (CD) as the RLD for each decision criterion (cost and duration). This RLD combination is the less discriminating one. In order that a solution S_j Pareto-dominates another solution S_i, for each decision criterion (cost and duration), the dominance relation of S_j over S_i must be certain CD. From the Fig. 13, it can be seen that only three solutions (S_5, S_7 and S_{10}) are dominated with regard to this RLD combination (CD-CD). The non-dominated solutions are then: S_1, S_2, S_3, S_4, S_6, S_8, S_9 and S_{11}. They are shown in the Pareto front in Fig. 13.

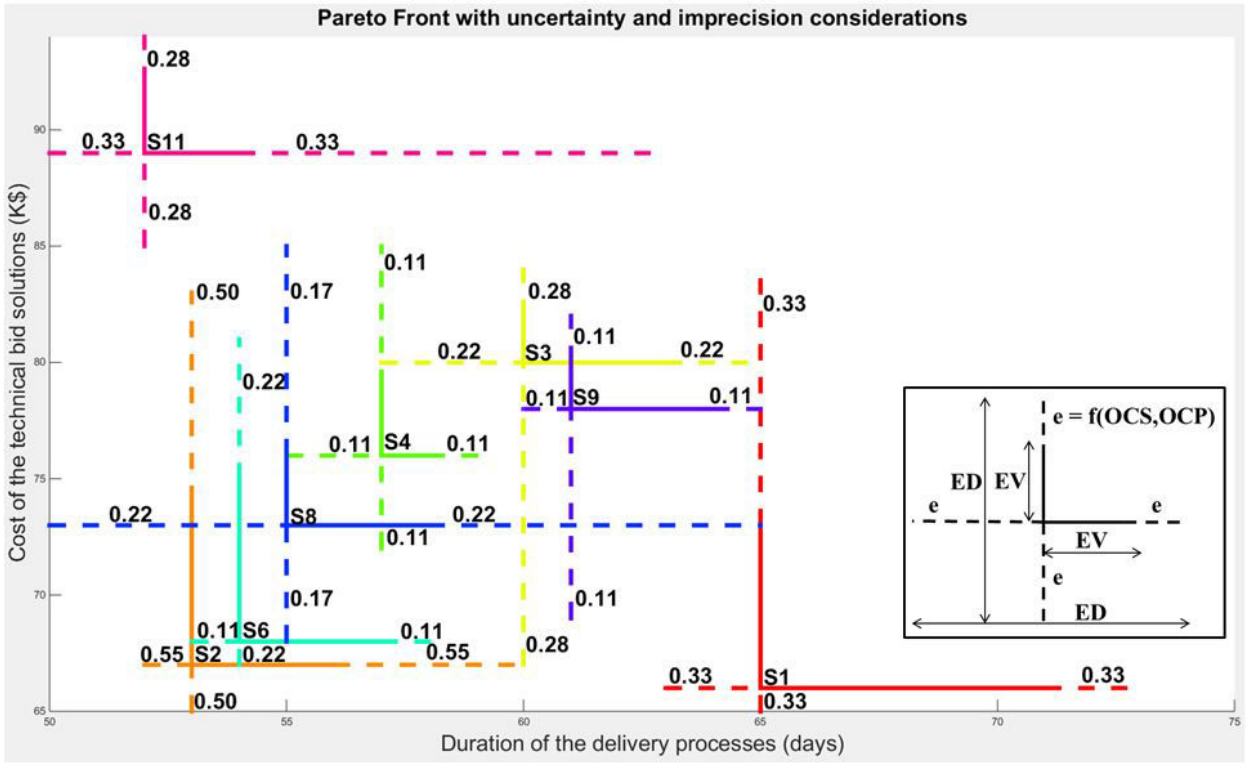


Fig. 13. Combination 1 (CD-CD): Pareto front

With this scenario, the resulting non-dominated solutions are the most interesting ones. However, the number of potential solutions is still too large (seven solutions). In order to allow a higher level of discrimination, the bidder has to reduce her/his requirements about the required level of dominance on the decision criteria, and then, accepts some uncertainties and imprecision.

2. Combination 2 (SPD-SPD). The bidder has reduced its requirements level by reducing the RLDs on the decision criteria. A strong possibility of dominance (SPD) has been selected for the RLD of each decision criterion (cost and duration). This second RLD combination is more discriminating than the first one. Indeed, in order that a solution S_j Pareto-dominates another solution S_i, for each decision criterion (cost and duration), the dominance relation of S_j over S_i must be certain (CD) or uncertain, but with strong possibility (SPD). Five solutions (S_3, S_5, S_7, S_9 and S_{10}) are dominated with regard to this RLD combination (see Fig. 14). Consequently, the non-dominated solutions are: S_1, S_2, S_4, S_6, S_8 and S_{11}. They are shown in the Pareto-front presented in Fig. 14.

Compared to the first scenario, this second scenario has reduced the number of non-dominated solutions. Even if the resulting set of non-dominated solutions is not certain with the defined RLDs, the bidder has the knowledge that it is most plausible that these six solutions (S_1, S_2, S_4, S_6, S_8) and S_{11} be the six most interesting ones. The bidder can further reduce her/his requirements about the RLDs on the decision criteria and, then, accepts more uncertainty and imprecision, to allow more discrimination of solutions.

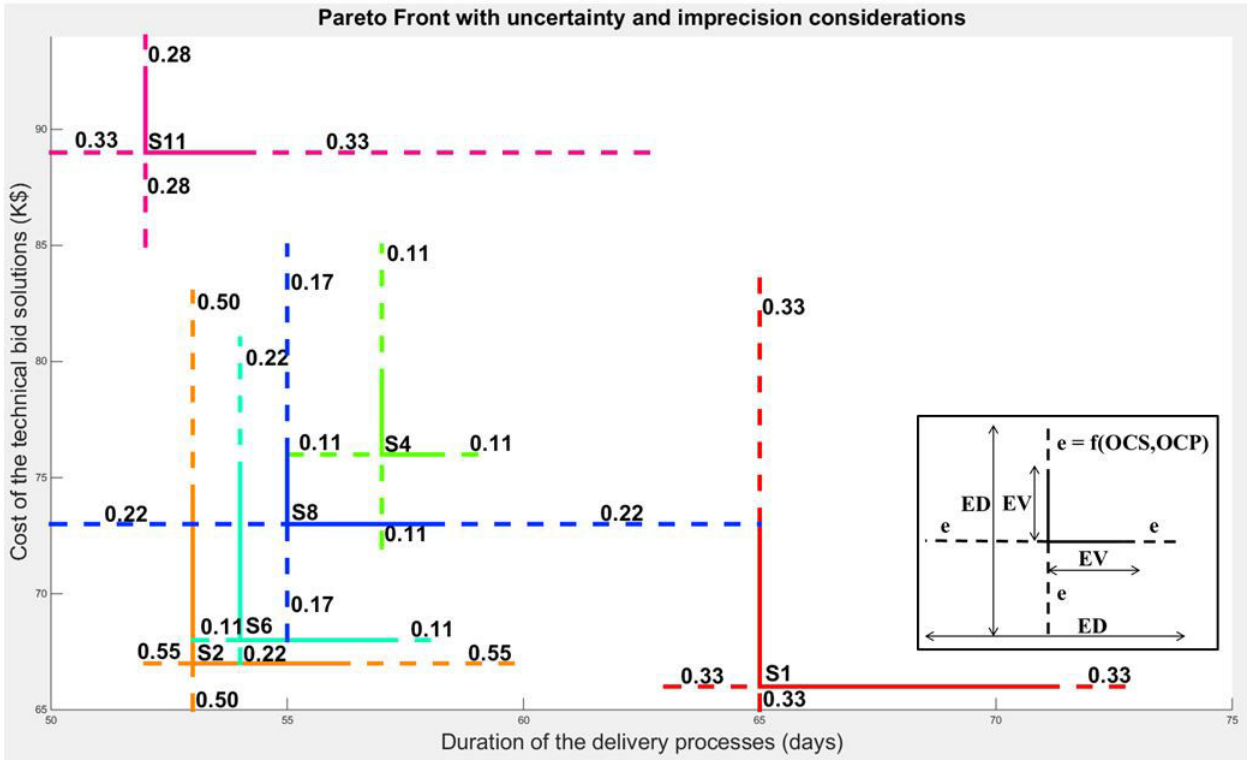


Fig. 14. Combination 2 (SPD-SPD): Pareto front

3. Combination 3 (WPD-WPD). The bidder has further reduced the requirements about the RLDs on the decision criteria. At present, the RLD combination is WPD-WPD which is more discriminating than the previous combinations. In order that a solution S_j Pareto-dominates another solution S_i, for each decision criterion (cost and duration), the dominance of S_j over S_i must be either: certain (CD) or uncertain, but with a strong possibility (SPD) or uncertain with a weak possibility (WPD). As shown in Fig. 15, four solutions S_1, S_2, S_6 and S_{11} are non-dominated with regard to this RLD combination.

Even if it is not certain that these solutions S_1, S_2, S_6 and S_{11} are the best ones, with this RLD combination, the bidder knows that it is most plausible that these four solutions be the most interesting ones.

As it can be seen in this last combination (WPD-WPD), in some cases, several potential solutions may be indifferent to each order with regards to all the criteria. In such a case, no solution is dominated whatever the RLD combination. Therefore, it is the responsibility of the bidder to select the most interesting solution. One can observe that the Required Levels of Dominance (RLDs) are very useful in the decision making process. By setting them at the higher level (CD-CD), they enables the bidder to make the choice of the most interesting technical bid solution from a Pareto front which is certainly the set of the most interesting solutions. Indeed, as the dominance relations are required to be certain, any solution that are in the Pareto front, is certainty better than any solution that have been removed. They also allow the bidder, by reducing the RLDs (WPD-WPD for instance), to make the choice of the most interesting solutions from a smallest Pareto front while having the knowledge about the level of uncertainty.

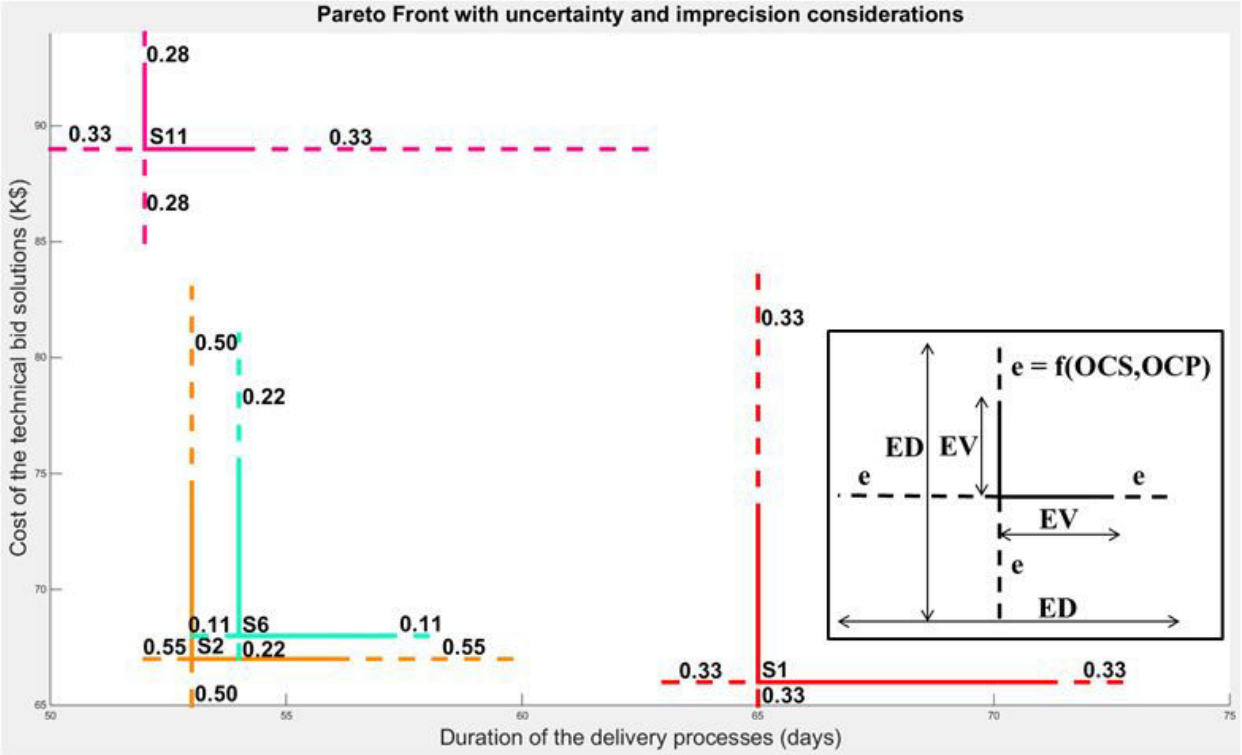


Fig. 15. Combination 3 (WPD-WPD): Pareto front

5. Conclusion and further research

In this article, we have studied the elaboration of technical bid solutions as part of a bidding process in the context of Engineer-To-Order (ETO) industrial situations. In such a context, when a company has to prepare a bid proposal to a potential customer, the design of a technical bid solution has to be done. In our work, a technical bid solution is composed of a technical system (a structure of sub-systems and components) to deliver and its realization process (a set of activities and resources). Some parts of a technical bid solution have been designed in the past and can be reused without changes. However, some other parts have to be designed in order to fulfill the customer's requirements. That leads to imprecision and uncertainty on the design parameters and consequently on the evaluation criteria, due to the lack of accurate and complete knowledge about the design of these elements. In this perspective, in a previous work, a configuration model which deals with the design (or definition) of technical bid solutions in ETO industrial contexts have been proposed in Sylla et al. (2017d). This model associated with a relevant configuration software, enables the bidder to define several technical bid solutions relevant to the customer's requirements. Each solution is characterized with relevant evaluation criteria but also with the confidence indicators (which reflect the confidence of the bidder in the technical bid solution) Sylla et al. (2017c).

From this panel of technical bid solutions, the bidder has to select the most interesting one to consider for the bid proposal. There are many criteria to take into account (e.g. the cost of the solution and the duration of its realization) but also the imprecision, the uncertainty and the bidder's confidence about the solution. In practice, the bidders consider the criteria independently and they give the same importance to each of them in the decision process. Thus, this is a multi-criteria decision making problem under imprecision and uncertainty. A solution which has the best values of the evaluation/decision criteria and good level for the confidence indicators can be selected. Therefore, in this article, a multi-criteria decision support approach to help the bidder to select the most interesting solution has been proposed. The proposed approach is based on the Pareto-dominance principle: the set of the most interesting solutions corresponds to

the Pareto front (set of non-dominated solutions), built taking into account the imprecision, the uncertainty and the confidences about the solutions. The possibility theory is used to compare the solutions and to define relations of dominance between them. The proposed approach gathers three main stages, each one supported by a method that represents a key contribution of this article.

The first contribution corresponds to a method to model the uncertain and imprecise values of the decision criteria by means of possibility distributions. This method is based on the confidence indicators developed in Sylla et al. (2017c). It enables to simultaneously and effectively take into account the uncertainty and imprecision related to the values of the decision criteria when comparing the potential solutions, but also the bidder's confidence.

The second contribution deal with the comparison of two potential solutions with regard to a single decision criterion: four possibilistic mono-criterion dominance relations (Certain Dominance (CD), Strong Possibility of Dominance (SPD), Weak Possibility of Dominance (WPD) and Indifference (IND)) have been proposed. They are based on the four dominance indexes suggested in Dubois & Prade (2012). An algorithm allows to compute the relevant mono-criterion dominance relations (mono-CDR) between two solutions. That enables the bidder to know, with regard to a single decision criterion: (i) if a solution dominates another one, and (ii) where appropriate, how it is certain that it dominates it.

The third contribution corresponds to a method to compare the potential solutions following several decision criteria and to determine the set on non-dominated solutions (Pareto front). By integrating the concept of Required Levels of Dominance on the decision criteria, this method, supported by an algorithm, enables the bidder to progressively build the set of the most interesting solutions while taking into account the requirements about the level of acceptance of uncertainty and imprecision on the decision criteria. By this way, the confidence of the bidder is taken into account to select solutions.

An application of the approach has been presented in order to validate the contributions. The results have shown that the proposed approach is appropriate to assist the bidder in the process of the selection of the most interesting technical bid solution in the context of ETO industrial situations where the estimations of the decision criteria are imprecise and uncertain.

In a bidding process, when selecting the most interesting technical bid solutions, this method can be very useful for systems contractors (bidders). By defining the Required Levels of Dominance, the decision maker can give more or less importance to the imprecision and uncertainty. The higher the RLDs are, the more it is certain that the Pareto front contains the most interesting solutions. As a consequence, the decision maker can have a good confidence in the choice of the most interesting technical bid solution. At the opposite, when the Pareto front is large, the bidder can reduce the RLDs in order to facilitate the choice of the most interesting solution while being aware of the level of uncertainty.

Future research should consider performing a benchmark of the proposed approach with selected existing approaches in the scientific literature. Moreover, in this article, it is supposed that the decision criteria have the same importance. This assumption is relevant for situations where the decision maker considers a same importance for decision criteria or in situations where he/she cannot explicitly provide the importance coefficient for each decision criterion. However, in some situations, the decision maker has the knowledge about the importance coefficient of each decision criterion. In such a context, it is necessary and useful to take these importance coefficients into account when comparing the potential solutions following all the criteria. Therefore, a future research should also consider extending the proposed approach to such situations. A method could be developed to integrate the possibilistic mono-CDR with a relevant outranking method (e.g. PROMETHEE or ELECTRE) in order to rank the potential solutions.

Acknowledgment

The authors would like to thanks the Occitanie Region and the industrial partners of the OPERA project for their support and involvement in this research.

References

Aldanondo, M., & Vareilles, E. (2008). Configuration for mass customization: How to extend product configuration towards requirements and process configuration. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *19*, 521–535. doi:10.1007/s10845-008-0135-z.

Arslan, G., Tuncan, M., Birgonul, M. T., & Dikmen, I. (2006). E-bidding proposal preparation system for construction projects. *Building and Environment*, *41*, 1406–1413. doi:10.1016/j.buildenv.2005.05.024.

Beg, I., & Rashid, T. (2017). Modeling uncertainties in MULTI-criteria decision making using distance measure and TOPSIS for hesitant fuzzy sets. *Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research*, *7*, 103–109.

Bortolan, G., & Degani, R. (1985). A review of some methods for ranking fuzzy subsets. *Fuzzy Sets and Systems*, *15*, 1–19.

Brans, J.-P., & Mareschal, B. (1994). The PROMCALC & GAIA decision support system for multicriteria decision aid. *Decision Support Systems*, *12*, 297–310.

Broekhuizen, H., Groothuis-Oudshoorn, c. G. M., van Til, J. A., Hummel, J. M., & IJzerman, M. J. (2015). A Review and Classification of Approaches for Dealing with Uncertainty in Multi-Criteria Decision Analysis for Healthcare Decisions. *PharmacoEconomics*, *33*, 445–455. doi:10.1007/s40273-014-0251-x.

Chalal, R., & Ghomari, A. R. (2008). An Approach for a Bidding Process Knowledge Capitalization. In *world academy of science, Engineering and technology*. volume 13.

Chandrasekaran, B. (1986). Generic Tasks in Knowledge Based Reasoning: High Level Building Blocks for Expert System Design. *IEEE Expert*, *1(3)*, 23–30.

Chapman, C., Ward, S., & Bennell, J. (2000). Incorporating uncertainty in competitive bidding. *International Journal of Project Management*, *18*, 337–347. doi:10.1016/S0263-7863(00)00013-2.

Chen, S.-J., & Hwang, C.-L. (1992). *Fuzzy Multiple Atttribute Decision Making: Methods and Applications*. Berlin: Springer-Verlag.

Cheng, C.-b., & Cheng, C.-j. (2011). Available-to-promise based bidding decision by fuzzy mathematical programming and genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, *61*, 993–1002. doi:10.1016/j.cie.2011.06.012.

Chua, D. K. H., & Li, D. (2000). Key factors in bid reasoning model. *of Construction Engineering and Management*, *126*, 349–357.

Chuu, S.-j. (2009). Selecting the advanced manufacturing technology using fuzzy multiple attributes group decision making with multiple fuzzy information. *Computers & Industrial Engineering*, *57*, 1033–1042. doi:10.1016/j.cie.2009.04.011.

Dantan, J.-y., Gayton, N., Qureshi, A. J., Lemaire, M., & Etienne, A. (2013). Tolerance analysis approach based on the classification of uncertainty (aleatory / epistemic). In *12th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing* 10 (pp. 287–293). United Kingdom: Elsevier.

D'Avignon, G., & Vincke, P. (1988). Theory and Methodology An outranking method under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, *36*, 311–321.

Dikmen, I., Birgonul, M. T., & Gur, A. K. (2007). A case-based decision support tool for bid mark-up estimation of international construction projects. *Automation in Construction*, *17*, 30–44. doi:10.1016/j.autcon.2007.02.009.

Dubois, D., & Prade, H. (1983). Ranking Fuzzy Numbers in the Setting of Possibility Theory. *Information Science*, *30*, 183–224. doi:10.1016/0020-0255(83)90025-7.

Dubois, D., & Prade, H. (2012). *Possibility theory: an approach to computerized processing of uncertainty*. Springer Science & Business Media.

Durbach, I. N., & Stewart, T. J. (2012). Modeling uncertainty in multi-criteria decision analysis. *European Journal of Operational Research*, *223*, 1–14. doi:10.1016/j.ejor.2012.04.038.

Dyer, R. F., & Forman, E. H. (1992). Group decision support with the Analytic Hierarchy Process. *Decision Support Systems*, *8*, 99–124.

Egemen, M., & Mohamed, A. (2008). SCBMD: A knowledge-based system software for strategically correct bid/no bid and mark-up size decisions. *Automation in Construction*, *17*, 864–872. doi:10.1016/j.autcon.2008.02.013.

Felfernig, A., Hotz, L., Baglay, C., & Tiihonen, J. (2014). *Knowledge-based configuration From Research to Business Cases*.

French, S. (1995). Uncertainty and Imprecision : Modelling and Analysis. *The journal of the operational research society*, *46*, 70–79.

Ganguly, S., Sahoo, N. C., & Das, D. (2013). Multi-objective particle swarm optimization based on fuzzy-Pareto-dominance for possibilistic planning of electrical distribution systems incorporating distributed generation. *Fuzzy Sets and Systems*, *213*, 47–73. doi:10.1016/j.fss.2012.07.005.

Giannoulis, C., & Ishizaka, A. (2010). A Web-based decision support system with ELECTRE III for a personalised ranking of British universities. *Decision Support Systems*, *48*, 488–497. doi:10.1016/j.dss.2009.06.008.

Grabisch, M., Kojadinovic, I., & Meyer, P. (2008). A review of methods for capacity identification in Choquet integral based multi-attribute utility theory Applications of the Kappalab R package. *European Journal of Operational Research*, *186*, 766–785. doi:10.1016/j.ejor.2007.02.025.

Hsu, C.-w., & Hu, A. H. (2009). Applying hazardous substance management to supplier selection using analytic network process. *Journal of Cleaner Production*, *17*, 255–264. doi:10.1016/j.jclepro.2008.05.004.

Hvam, L., & Ladeby, K. (2007). An approach for the development of visual configuration systems. *Computers & Industrial Engineering*, *53*, 401–419. doi:10.1016/j.cie.2007.05.004.

Iskander, M. G. (2002). Comparison of Fuzzy Numbers Using Possibility Programming: Comments and New Concepts. *Computers and Mathematics with Applications*, *43*, 833–840. doi:10.1016/S0898-1221(01)00324-8.

Iskander, M. G. (2005). A suggested approach for possibility and necessity dominance indices in stochastic fuzzy linear programming. *Applied Mathematics Letters*, *18*, 395–399. doi:10.1016/j.aml.2004.04.010.

Kahraman, C., & Sezi, C. (2007). Fuzzy multi-criteria evaluation of industrial robotic systems. *Computers & Industrial Engineering*, *52*, 414–433. doi:10.1016/j.cie.2007.01.005.

Kangas, A. S., & Kangas, J. (2004). Probability, possibility and evidence: approaches to consider risk and uncertainty in forestry decision analysis. *Forest Policy and Economics*, *6*, 169–188.

Korhonen, P., Moskowitz, H., & Wallenius, J. (1992). Multiple criteria decision support - A review. *European Journal of Operational Research*, *63*, 361–375.

Krömker, M., Weber, F., & Wänke, P. (1998). A Reference Model and Software Support for Bid Preparation in Supply Chains in the Construction Industry. *Database and Expert . . .*, (pp. 1009–1014).

Lin, C. T., & Chen, Y. T. (2004). Bid/no-bid decision-making - A fuzzy linguistic approach. *International Journal of Project Management*, *22*, 585–593. doi:10.1016/j.ijproman.2004.01.005.

Mardani, A., Jusoh, A., & Kazimieras, E. (2015). Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications – Two decades review from 1994 to 2014. *Expert Systems with Applications*, *42*, 4126–4148. doi:10.1016/j.eswa.2015.01.003.

Mario, K., Vicente-garcia, R., & Nickolay, B. (2005). Fuzzy-Pareto-Dominance and its Application in Evolutionary Multi-Objective Optimization. In S. Berlin/Heidelberg (Ed.), *Evolutionary multi-criterion optimization* (pp. 399–412). Springer Berlin/Heidelberg.

Nowak, M. (2004). Preference and veto thresholds in multicriteria analysis based on stochastic dominance. *European Journal of Operational Research*, *158*, 339–350. doi:10.1016/j.ejor.2003.06.008.

Olhager, J. (2003). Strategic positioning of the order penetration point. *International Journal of Production Economics*, *85*, 319–329. doi:10.1016/S0925-5273(03)00119-1.

Opricovic, S., & Tzeng, G.-H. (2004). Compromise solution by MCDM methods : A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, *156*, 445–455. doi:10.1016/S0377-2217(03)00020-1.

Sahoo, N. C., Ganguly, S., & Das, D. (2012). Fuzzy-Pareto-dominance driven possibilistic model based planning of electrical distribution systems using multi-objective particle swarm optimization. *Expert Systems with Applications*, *39*, 881–893. doi:10.1016/j.eswa.2011.07.086.

Sonmez, R., & Sözgen, B. (2017). A support vector machine method for bid / no bid decision making. *Journal of Civil Engineering and Management*, *23*, 641–649. doi:10.3846/13923730.2017.1281836.

Sylla, A., Vareilles, E., Aldanondo, M., Coudert, T., & Kirytopoulos, K. (2017a). Customer / Supplier Relationship : reducing Uncertainties in Commercial Offers thanks to Readiness , Risk and Confidence Considerations. In S. I. Publishing (Ed.), *Advances on Mechanics, Design Engineering and Manufacturing* (pp. 1115–1122). Catane: Publishing, Springer International.

Sylla, A., Vareilles, E., Coudert, T., Aldanondo, M., & Geneste, L. (2017b). Offer Elaboration : New Confidence Confidence Indexes to to take take into into account Uncertainty. In *IFAC-PapersOnLine* (pp. 7290–7295). Toulouse: Elsevier B.V. volume 50. doi:10.1016/j.ifacol.2017.08.1457.

Sylla, A., Vareilles, E., Coudert, T., Aldanondo, M., & Geneste, L. (2017c). Readiness , feasibility and confidence : how to help bidders to better develop and assess their offers. *International Journal of Production Research*, *55*, 7204–7222. doi:10.1080/00207543.2017.1353156.

Sylla, A., Vareilles, E., Coudert, T., Aldanondo, M., Geneste, L., & Beauregard, Y. (2017d). ETO Bid Solutions Definition and Selection Using Configuration Models and a Multi-Criteria Approach. In *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 1833–1837). Singapour.

Tran, L., & Duckstein, L. (2002). Comparison of fuzzy numbers using a fuzzy distance measure. *Fuzzy Sets and Systems*, *130*, 331–341.

Von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1953). *Theory of Games and Economic Behavior*. New York: Press, Princeton University.

Weber, F., Dalluege, A., Shamsi, T. A., & Menconi, F. (2000). Improving Bid Preparation in Supply Chains in the Construction Industry. *Journal of e-Business Strategy Management*, *February/M*, 183–193.

Wilson, K. J., & Quigley, J. (2016). Allocation of tasks for reliability growth using multi-attribute utility. *European Journal of Operational Research*, *255*, 259–271. doi:10.1016/j.ejor.2016.05.014.

Yagger, R. R. (1981). A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval. *Information sciences*, *24*, 143–161.

Yan, W., Matthew Charles, P., Chen, C.-H., & Khoo, L. P. (2006). A strategy for integrating product conceptualization and bid preparation. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *29*, 616–628. doi:10.1007/s00170-005-2552-x.

Zandi, A., & Roghanian, E. (2013). Extension of Fuzzy ELECTRE based on VIKOR method. *Computers & Industrial Engineering*, *66*, 258–263. doi:10.1016/j.cie.2013.06.011.

Zhang, Y., Fan, Z.-p., & Liu, Y. (2010). A method based on stochastic dominance degrees for stochastic multiple criteria decision making. *Computers & Industrial Engineering*, *58*, 544–552. doi:10.1016/j.cie.2009.12.001.

Chapitre



Conclusions et perspectives

4.1 Conclusions 103
4.2 Perspectives 106

4.1 Conclusions

Les travaux de recherche présentés dans ce mémoire portent sur le processus de réponse à appel d'offres. Ces travaux ont eu pour objectif de proposer des méthodes, des modèles et des outils pour assister les entreprises soumissionnaires durant l'élaboration de leurs offres techniques dans des situations de conception non-routinière de type « Engineer-To-Order (ETO) ». Après avoir introduit le contexte de nos travaux et précisé leurs idées directrices dans le chapitre 1, nous avons défini dans le chapitre 2 nos problématiques techniques et scientifiques à l'aide d'une analyse des pratiques industrielles et des travaux scientifiques existants dans ce domaine. Ensuite, nous avons détaillé dans le chapitre 3 nos trois contributions associées chacune à un article de journal.

La première contribution traite des problématiques associées à la conception des offres techniques. Plus précisément, elle propose des solutions permettant d'exploiter les principes, modèles et outils de configuration de systèmes et de processus, dédiés aux situations de conception routinière ou AMTO, dans les situations de conception moins routinières de type ETO. La deuxième contribution apporte des solutions à la problématique d'évaluation de la confiance que l'on peut associer aux systèmes techniques et aux processus de réalisation composant les offres techniques afin de prendre en compte les incertitudes et risques associés à leur bonne réalisation. La troisième contribution aborde la problématique associée à la sélection multicritère de l'offre avec la prise en compte des incertitudes et imprécisions sur les valeurs des critères de décision d'une part, et de la confiance dans l'offre d'autre part.

Notre première contribution rassemble des propositions permettant de modifier et d'adapter des éléments de modèles de connaissances, exploités en configuration de produits standards, pour les rendre capable de supporter la configuration de produits et systèmes non-standards. Tout d'abord, nous avons effectué une analyse

des caractéristiques de systèmes standards et non-standards. Cette analyse a permis d'identifier et de caractériser six cas qui différencient la configuration de systèmes standards de celle de systèmes non-standards. Ces six cas correspondent à différentes situations de configuration de systèmes dans un contexte industriel ETO.

Sur cette base et s'inspirant des définitions de problèmes de configuration de systèmes standards, nous avons proposé une définition formelle pour le problème de configuration de systèmes standards et non-standards. Pour chacun des six cas identifiés, nous avons proposé des éléments de modélisation pour couvrir la configuration de systèmes non-standards ; ceci en utilisant le formalisme des problèmes de satisfaction de contraintes, CSP *(Constraint Satisfaction Problem)*. Ensuite, nous avons montré comment ces différents éléments peuvent s'assembler pour élaborer des modèles génériques de configuration de systèmes standards et non-standards. Ces modèles décrivent formellement toute la diversité de systèmes techniques, c'est-à-dire toutes les possibilités d'options et de variantes standards et non-standards, nécessaire à la configuration de systèmes techniques satisfaisant des besoins exprimés par des clients.

Ces propositions apportent aux entreprises soumissionnaires l'avantage clé de pouvoir caractériser et d'autoriser des offres présentant des écarts par rapport à leurs offres standards. En effet, la diversité de leurs systèmes techniques étant identifiée et caractérisée, ces entreprises peuvent construire des modèles génériques contenant les connaissances relatives à ces systèmes avant les activités d'élaboration des offres. Ainsi, lors de l'élaboration d'une offre technique, ces modèles, exploités dans des logiciels de configuration pertinents, leur permettront de configurer rapidement et avec moins de ressources des systèmes techniques satisfaisant les besoins exprimés par le client. Ceci est adapté aux situations industrielles AMTO et ETO en évitant des cycles de conception longs et l'usage d'autres outils ou moyens de conception en phase de réponse à appel d'offres.

Notre deuxième contribution propose deux indicateurs de confiance (l'indicateur OCS *(Overall Confidence in System)* pour le système technique et l'indicateur OCP *(Overall Confidence in Process)* pour son processus de réalisation) ainsi qu'une méthode permettant de les calculer. Ces indicateurs quantifient l'aptitude d'un système technique potentiellement livrable à un client à être conforme aux attentes et aux objectifs fixés (coût et durées de développement, performances techniques). Pour cela, ces indicateurs associent d'une part des composantes factuelles, prenant en compte risques et incertitudes liés à l'état de développement d'un système et d'un processus. Il s'agit des composantes TRL *(Technology Readiness Level)*, IRL *(Integration Readiness Level)* et SRL *(System Readiness Level)* pour le système technique et des indicateurs AFL *(Activity Feasibility Level)* et PFL *(Process Feasibility Level)* pour le processus de réalisation. D'autre part, ils associent des composantes subjectives, qui reflètent l'avis ou l'intime conviction de la personne chargée de l'élaboration, au système et à son processus de réalisation. Il s'agit respectivement : des indicateurs CIS_i *(Confidence In Sub-system i)*, CIS_{ij} *(Confidence In the integration of Sub-systems i and j)* et CIS *(Confidence In System)*, et des indicateurs CIP_k *(Confidence In Process activity k)* et CIP *(Confidence In Process)*.

Ces propositions permettent de caractériser des systèmes techniques et leur processus de réalisation selon différents niveaux de confiance durant les activités de

conception. Ces niveaux de confiance reflètent dans quelle mesure ces systèmes et processus sont réalisables au regard d'un certain nombre d'attentes et d'objectifs. Cela nécessite d'intégrer ces indicateurs de confiance, et leurs méthodes d'évaluation, dans des modèles de conception de systèmes et de processus. Nous avons montré, à l'aide d'un exemple détaillé, comment il est possible d'exploiter ces indicateurs et méthodes d'évaluation dans un modèle générique de configuration et de caractériser systèmes et processus selon différents niveaux de confiance. Différents scénarios de caractérisation des niveaux de confiance dans des offres techniques ont ainsi été simulés, analysés et discutés.

Lors de l'élaboration d'une offre technique dans un PRAO, les entreprises soumissionnaires peuvent exploiter ces indicateurs dans des logiciels de configuration pour instancier différentes offres techniques satisfaisants les besoins exprimés par le client. Ces offres potentielles sont alors caractérisées par une confiance indiquant dans quelle mesure chaque offre technique est réalisable au regard des attentes et objectifs fixés. Ainsi, en associant ces indicateurs à une méthode d'aide à la décision appropriée, ces entreprises peuvent choisir les offres les plus intéressantes à proposer à leurs clients tout en tenant compte des incertitudes et des risques liés à la bonne réalisation de chaque offre.

Notre troisième contribution synthétise une approche d'aide à la décision multicritère permettant de prendre en compte les incertitudes, imprécisions et confiance caractérisant les valeurs des critères de décision dans la sélection de l'offre technique la plus intéressante. Tout d'abord, nous avons proposé une manière de modéliser simultanément les incertitudes, les imprécisions et la confiance caractérisant les valeurs des critères de décision avec des distributions de possibilité. Cette modélisation permet donc de prendre en compte ces incertitudes, imprécisions et confiance lors de la comparaison des offres techniques potentielles. Nous avons ensuite proposé quatre relations de dominance possibilistes (*Certain Domain* (CD), *Strong Possibility of Dominance* (SPD), *Weak Possibility of Dominance* (WPD) et *INDifference* (IND)) et un algorithme pour comparer deux solutions et établir leur relation de dominance possibiliste au regard d'un seul critère de décision. À l'aide de ces relations, la dominance d'une solution par rapport à une autre est caractérisée. Sur cette base, nous avons proposé une méthode reposant sur le principe de Pareto-dominance pour aider à construire progressivement un ensemble restreint des offres les plus intéressantes (front de Pareto) en fonction du niveau d'incertitude et d'imprécision autorisé pour chaque critère de décision.

Dans des contextes où les valeurs des critères de décision sont incertaines et imprécises, cette approche permet au décideur de construire différents fronts de Pareto selon le niveau de certitude exigé ou le niveau d'incertitude autorisé pour chaque critère de décision. Il faut signaler que plus le niveau de certitude exigé est élevé (c'est-à-dire plus le niveau d'incertitude autorisé est bas) plus le nombre de solutions dans le front de Pareto est grand. En conséquence, pour réduire le nombre de solutions dans le front de Pareto afin de faciliter le choix de la solution la plus intéressante tout en connaissant le niveau d'incertitudes, le décideur peut diminuer ses exigences sur les niveaux de certitude pour chaque critère de décision.

Lors de l'élaboration d'une offre technique dans un contexte industriel ETO où plusieurs offres techniques sont obtenues à l'issue de la phase de conception, cette

approche permet d'identifier un ensemble restreint d'offres techniques dont l'effectif varie en fonction des niveaux d'incertitudes, d'imprécisions et de confiance dans chaque offre. Le problème du « trop ou pas assez » de solutions lors de la décision peut être alors évité.

Ces trois contributions s'articulent de manière cohérente pour la mise au point d'outils informatiques pour assister les entreprises soumissionnaires à : (i) élaborer rapidement des offres techniques personnalisées, attractives et réalisables, (ii) en prenant en compte les incertitudes, les imprécisions et les risques associés aux activités d'élaboration d'une offre technique, et (iii) le tout avec des quantités de ressources et d'efforts réduites. Dans le cadre du projet ANR OPERA [1] [Guillon+2017], certains résultats de nos travaux seront utilisés dans la mise au point d'un démonstrateur logiciel assistant l'élaboration des offres techniques. Les problématiques d'élaboration d'offres des quatre entreprises partenaires de ce projet permettront alors une première forme de validation de nos propositions.

4.2 Perspectives

Les trois contributions synthétisées précédemment, ouvrent différentes perspectives de travail scientifique. Cette section documente les principales suivant chaque contribution.

En ce qui concerne la conception des offres techniques dans des contextes de conception non-routinière ou ETO, les solutions proposées concernent la partie « système technique » de l'offre. Elles ne couvrent pas la partie « processus de réalisation ». Une perspective naturelle est d'envisager le même type de travail pour le processus de réalisation. Nous proposons donc un travail visant la mise au point des modèles génériques de configuration pour les processus utilisables dans des situations industrielles AMTO et ETO, c'est-à-dire pour des processus standards et non-standards. Pour cela, nous suggérons de considérer les modèles existants de configuration de processus standards puis les étendre aux processus non-standards. Une démarche identique à celle employée pour le système technique peut être employée. Il s'agit : (i) d'identifier les éléments différenciant les processus standard et non-standard sous forme de cas, (ii) d'identifier des modèles existants de configuration de processus standards à base de CSP, (iii) de mettre au point des éléments de modèle permettant l'extension à la configuration de processus non-standards.

Dans la mesure où le problème précédant est documenté, il sera alors nécessaire de travailler sur l'assemblage des modèles de configuration du système et de son processus. Ceci pour développer des modèles de configuration conjointe systèmes / processus standards et non-standards. Dans les travaux de thèse de [Djefel2010], différentes formes et méthodes de couplage de la configuration de système et de processus standards ont été étudiées. Ces résultats pourraient être utilisés comme base pour l'assemblage visé. L'idée serait de permettre aux entreprises soumissionnaires de mettre au point des modèles génériques de configuration d'offres techniques (couples système technique / processus de réalisation) satisfaisant les besoins exprimés par les clients dans des situations de conception routinière (ou AMTO) et de conception

1. Projet ANR : ANR-16-CE10-0010-01 accessible à l'adresse suivante : https://research-gi.mines-albi.fr/display/OPERA/Welcome

non-routinière (ou ETO).

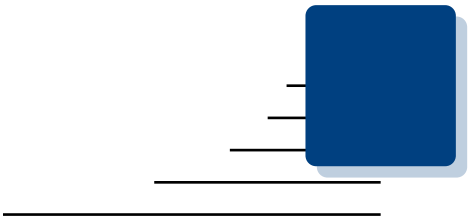
Une dernière perspective plus amont concerne la distinction de la configuration en situations AMTO et ETO. Cette distinction, à notre connaissance, n'est pas ou est très peu formalisée. Les six cas de configuration de systèmes en situation ETO identifiés dans nos travaux permettent une première formalisation des différences entre ces deux situations. L'idée serait d'approfondir l'étude de ces six cas afin de définir une métrique pour quantifier une notion d'ETO plus ou moins forte (« light »/« heavy » ETO). Cette métrique permettrait alors de caractériser l'ampleur des activités de conception nécessaires à l'élaboration d'une offre.

Concernant la caractérisation des offres techniques avec des indicateurs de confiance, l'évaluation des indicateurs CIS *(Confidence In System)* et CIP *(Confidence In Process)* est basée sur un jugement de la personne en charge de la conception de l'offre. Ce jugement porte sur son expérience vis-à-vis du système / processus en considération, son ressenti sur l'aptitude de ce système / processus à être conforme aux attentes et objectifs fixés et la similitude de ce système / processus avec ceux qui ont déjà été développés. Cette forme d'évaluation très dépendante de cette personne n'est pas vérifiable et ne reflète pas systématiquement la réalité au sein de l'entreprise soumissionnaire. En outre, les niveaux des différents indicateurs utilisés dans l'évaluation des indicateurs de confiance globaux OCS *(Overall Confidence in System)* et OCP *(Overall Confidence in Process)* sont susceptibles de changer selon les retours d'expériences. En conséquence, pour une évaluation de la confiance dans les offres techniques plus réaliste et moins subjective, une perspective de travail vise à exploiter le Retour d'Expérience (REX) pour aider à mieux évaluer la confiance dans les offres nous semble prometteuse. L'idée serait de proposer : (i) des solutions pour formaliser des expériences passées, (ii) une méthode ou un mécanisme de recherche des éléments dans la base d'expérience pour les réutiliser, (iii) une méthode ou procédure de mise à jour des indicateurs de confiance. Les résultats de ces futurs travaux permettront de capitaliser les expériences passées relatives aux appels d'offres déjà conclus, de mettre à jour des connaissances relatives à l'évaluation de la confiance dans les offres techniques, et de réaliser une meilleure évaluation des indicateurs de confiance OCS et OCP.

Une seconde perspective concerne l'agrégation pour calculer les indicateurs de confiance au niveau le plus haut de la nomenclature ou du processus. Pour le système technique, la méthode de calcul de l'indicateur SRL *(System Readiness Level)*, proposée dans [Sauser+2008], a été utilisée. Bien que cette méthode soit acceptée par certains auteurs [Knaggs+2015 ; Magnaye+2010], d'autres auteurs [Garett+2011 ; McConkie+2013] la critiquent, principalement du fait de l'utilisation de produits de nombres ordinaux dans la méthode. En outre, pour le système comme pour le processus, les méthodes d'agrégation utilisées permettent d'une certaine manière la compensation des niveaux de maturité ou de faisabilité des différents constituants qui les composent. Or, dans certains cas, une faible maturité ou faisabilité d'un seul sous-système ou d'une seule activité peut condamner la bonne réalisation d'une offre. Il s'agirait donc, d'une part, d'étudier plus en détail le comportement des méthodes d'agrégation proposées dans différentes configurations arborescentes pour identifier leurs limites éventuelles et, d'autre part, d'étudier les possibilités d'utilisation d'autres méthodes d'agrégation pour le calcul des indicateurs de confiance.

Une dernière perspective concerne l'extension de la méthode proposée pour la prise en compte de plusieurs niveaux de décomposition au niveau du système et du processus. En effet, en l'état actuel, nos propositions prennent en compte un seul niveau de décomposition : une décomposition de systèmes en sous-systèmes et une décomposition de processus en activités. Il apparaît naturel de penser à étudier l'extension de l'évaluation proposée à des systèmes et processus avec plusieurs niveaux de décomposition.

En ce qui concerne la sélection de l'offre technique la plus intéressante, nos travaux se sont limités aux situations où tous les critères ont la même importance. Ainsi, nos propositions sont pertinentes pour des situations où le décideur considère que tous les critères de décision ont la même importance ou dans des situations où il ne peut pas fournir de manière explicite un coefficient d'importance pour chaque critère de décision. Cependant, dans des situations où les critères de décision n'ont pas la même importance et que le décideur est capable de fournir un coefficient d'importance pour chaque critère de décision, il est important et utile de prendre en compte ces coefficients dans le processus d'aide à la décision. Cela est encore plus important dans les cas où des critères de décision sont en conflit dans la comparaison de deux solutions. Dans un tel contexte, sans prise en compte des notions de coefficient d'importance, comme c'est le cas dans l'approche proposée, les deux solutions sont indifférentes au regard de tous les critères de décision. Nous considérons ainsi qu'il revient au décideur de choisir une solution. Dans les cas où des coefficients d'importance peuvent être fournis pour les critères de décision, des méthodes d'agrégation multicritère de surclassement de type ELECTRE ou PROMETHEE peuvent être utilisées. Ces méthodes permettent de construire un système de relations de préférence permettant de réduire les situations d'indifférence. La construction de ces relations de préférence est basée sur deux concepts majeurs : la concordance et la non-discordance [Bernard+1993]. La concordance permet de définir une condition sur l'ensemble des critères pour valider qu'une solution S_1 est meilleure qu'une autre solution S_2. La non-discordance quant à elle permet de définir une autre condition qui, lorsque la condition de concordance est vérifiée, un sous-ensemble de critères ne devrait pas s'opposer très fortement à l'assertion S_1 est meilleure que S_2 [Bernard+1993]. Les conditions de concordance et de non-discordance sont définies à l'aide des relations de préférence mono critère établies entre les solutions et les coefficients d'importance des critères [Bernard+1993]. Elles varient selon la méthode d'agrégation utilisée : ELECTRE ou PROMETHEE par exemple. Ceci étant posé, nous envisageons en conséquence d'étudier l'association des quatre relations de dominance mono-critère proposées dans nos travaux avec une méthode de surclassement de type ELECTRE ou PROMETHEE en vue de classer les solutions potentielles. L'idée serait alors : (i) d'utiliser les quatre relations de dominance proposées pour établir une relation de dominance possibiliste entre chaque paire de solutions au regard de chaque critère de décision, (ii) de rechercher une méthode permettant de prendre en compte les degrés de certitude des relations de dominance dans les conditions de concordance et de non-discordance afin de construire des relations de préférence possibilistes entre les solutions au regard de tous critères de décisions.



Bibliographie

[AFNOR1988] AFNOR. *Recommandations pour obtenir et assurer la qualité en conception. Norme X50-127. AFNOR.* 1988 (cf. p. 10).

[Aguezzoul+2006] Aicha Aguezzoul et Pierre Ladet. « Sélection et évaluation des fournisseurs : Critères et méthodes ». In : *Revue française de gestion industrielle, Association française de gestion industrielle* 2 (2006), p. 5-27 (cf. p. 6).

[Aldanondo+2003] Michel Aldanondo, Khaled Hadj-hamou, Guillaume Moynard et Jacques Lamothe. « Mass customization and configuration : Requirement analysis and constraint based modeling propositions ». In : *Integrated Computer-Aided Engineering* 10 (2003), p. 177-189 (cf. p. 17).

[Aldanondo+2008] Michel Aldanondo et Elise Vareilles. « Configuration for mass customization: How to extend product configuration towards requirements and process configuration ». In : *Journal of Intelligent Manufacturing* 19.5 (2008), p. 521-535 (cf. p. 17-21).

[Andersen+2003] Erling S Andersen et Svein Arne Jessen. « Project maturity in organisations ». In : *International Journal of Project Management* 21 (2003), p. 457-461 (cf. p. 26).

[Arslan+2006] Gökhan Arslan, Mustafa Tuncan, M. Talat Birgonul et Irem Dikmen. « E-bidding proposal preparation system for construction projects ». In : *Building and Environment* 41.10 (2006), p. 1406-1413 (cf. p. 7, 9, 12, 18).

[Barták+2010] Roman Barták, Miguel A Salido et Francesca Rossi. « Constraint satisfaction techniques in planning and scheduling ». In : *Journal of Intelligent Manufacturing* 21.November 2008 (2010), p. 5-15 (cf. p. 18, 19).

[Beg+2017] Ismat Beg et Tabasam Rashid. « Modeling uncertainties in MULTI-criteria decision making using distance measure and TOPSIS for hesitant fuzzy sets ». In : *Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research* 7.2 (2017), p. 103-109 (cf. p. 29).

[Bernard+1993] R. Bernard et B. (1993). Denis. *Aide multicritè re à la dé cision: Méthodes et cas.* Sous la dir. d'Economica. Economica, 1993, p. 1993 (cf. p. 108).

[Botero Lopez2014] Juan Diego M. Botero Lopez. « Gestion des risques par retour d'expérience dans le processus de reponse à appel d'offres ». Thèse de doct. Université de Toulouse - Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse), 2014 (cf. p. 7-9, 12).

[Broekhuizen+2015] Henk Broekhuizen, C. G. M. Groothuis-Oudshoorn, Janine A. van Til, J. Marjan Hummel et Maarten J. IJzerman. « A Review and Classification of Approaches for Dealing with Uncertainty in Multi-Criteria Decision Analysis for Healthcare Decisions ». In : *PharmacoEconomics* 33.5 (mai 2015), p. 445-455 (cf. p. 29, 30).

[Browning+2002] Tyson R Browning et Steven D Eppinger. « Modeling the Impact of Process Architecture on Cost and Schedule Risk in Product Development Revised April 2000 Contact Addresses : Modeling the Impact of Process Architecture on Cost and Schedule Risk in Product Development 1 ». In : *IEEE Transactions on Engineering Management* 49.4 (2002), p. 428-442 (cf. p. 6).

[Chalal+2008] R Chalal et A R Ghomari. « An Approach for a Bidding Process Knowledge Capitalization ». In : *world academy of science, Engineering and technology*. T. 13. 2008 (cf. p. 8).

[Chandrasekaran1986] B Chandrasekaran. « Generic Tasks in Knowledge Based Reasoning: High Level Building Blocks for Expert System Design ». In : *IEEE Expert* 1(3) (1986), p. 23-30 (cf. p. 10-12).

[Chapman+2000] C.B. Chapman, S.C. Ward et J.A. Bennell. « Incorporating uncertainty in competitive bidding ». In : *International Journal of Project Management* 18.5 (2000), p. 337-347 (cf. p. 9, 12).

[Chen+1992] Shu-Jen Chen et Ching-Lai Hwang. *Fuzzy Multiple Atttribute Decision Making: Methods and Applications*. Sous la dir. de Springer-Verlag. Berlin : Springer-Verlag, 1992 (cf. p. 30).

[Chuu2009] Shian-jong Chuu. « Selecting the advanced manufacturing technology using fuzzy multiple attributes group decision making with multiple fuzzy information ». In : *Computers & Industrial Engineering* 57.3 (2009), p. 1033-1042 (cf. p. 30).

[Cooper2003] Lynne P Cooper. « A research agenda to reduce risk in new product development through knowledge management : a practitioner perspective ». In : *Journal of Engineering and Technoloy Management* 20 (2003), p. 117-140 (cf. p. 6).

[DAvignon+1988] G.R D'Avignon et Ph. Vincke. « Theory and Methodology An outranking method under uncertainty ». In : *European Journal of Operational Research* 36 (1988), p. 311-321 (cf. p. 29).

[De Bruin+2005] Tonia De Bruin, Ronald Freeze, Uday Kaulkarni et Michael Rosemann. « Understanding the Main Phases of Developing a Maturity Assessment Model ». In : *Australian Conference on Information Systems (ACIS)*. December. Australia, New South Wales, Sydney, 2005 (cf. p. 26).

[DECIDE1998] DECIDE. *Decision support optimal bidding in a competitive business environment – European Project*. 1998. URL : https://cordis.europa.eu/project/rcn/33616_fr.html (cf. p. 13).

[Djefel2010] Mériem Djefel. *Couplage de la configuration de produit et de projet de réalisation : exploitation des approches par contraintes et des algorithmes évolutionnaires*. 2010 (cf. p. 10, 18, 19, 106).

[Dong+2011] Ming Dong, Dong Yang et Liyue Su. « Ontology-based service product configuration system modeling and development ». In : *Expert Systems With Applications* 38.9 (2011), p. 11770-11786 (cf. p. 18, 19).

[Dubois+1983] Didier Dubois et Henri Prade. « Ranking Fuzzy Numbers in the Setting of Possibility Theory ». In : *Information Science* 30 (1983), p. 183-224 (cf. p. 75).

[Dubois+1988] Didier Dubois et Henri Prade. *Possibility Theory: An Approach to Computerized Processing of Uncertainty*. Springer US, 1988 (cf. p. 75).

[Durbach+2012] Ian N. Durbach et Theodor J. Stewart. « Modeling uncertainty in multi-criteria decision analysis ». In : *European Journal of Operational Research* 223.1 (2012), p. 1-14 (cf. p. 29, 30).

[Felfernig+2014] Alexander Felfernig, Lothar Hotz, Claire Baglay et Juha Tiihonen. *Knowledge-based configuration From Research to Business Cases*. 2014 (cf. p. 17-21).

[Ganguly+2013] S Ganguly, N C Sahoo et D Das. « Multi-objective particle swarm optimization based on fuzzy-Pareto-dominance for possibilistic planning of electrical distribution systems incorporating distributed generation ». In : *Fuzzy Sets and Systems* 213 (2013), p. 47-73 (cf. p. 30).

[Garett+2011] Robert K. Garett, Steve Anderson, Neil T. Baron et James D. Moreland. « Managing the Interstials, a System of Systems Framework Suited for the balistic Missile Defense System ». In : *Systems Engineering* 14.1 (2011), p. 87-109 (cf. p. 25, 107).

[Grabisch+2008] Michel Grabisch, Ivan Kojadinovic et Patrick Meyer. « A review of methods for capacity identification in Choquet integral based multi-attribute utility theory Applications of the Kappalab R package ». In : *European Journal of Operational Research* 186 (2008), p. 766-785 (cf. p. 29).

[Grant+2006] K. P. Grant et J. S. Pennypacker. « Project management maturity: An assessment of project management capabilities among and between selected industries ». In : *IEEE Transactions on Engineering Management* 53.1 (fév. 2006), p. 59-68 (cf. p. 26).

[Haskins+2006] Cecilia Haskins, Kevin Forsberg et Micheal Krueger. *Systems engineering handbook*. August. 2006 (cf. p. 5, 6, 51).

[Haug+2012] Anders Haug, Lars Hvam et Niels Henrik. « Definition and evaluation of product configurator development strategies ». In : *Computers in Industry* 63.5 (2012), p. 471-481 (cf. p. 18).

[Haug+2013] Anders Haug, Lars Hvam et Niels H Mortensen. « Reducing variety in product solution spaces of engineer-to-order companies : The case of Novenco A / S ». In : *International Journal of Product Development* 18.6 (2013), p. 531-547 (cf. p. 17).

[Heck+2009] Petra Heck, Martijn Klabbers et Marko van Eekelen. « A software product certification model ». In : *Software Quality Journal* 18.1 (2009), p. 37-55 (cf. p. 24, 25).

[Hvam+2007] Lars Hvam et Klaes Ladeby. « An approach for the development of visual configuration systems ». In : *Computers & Industrial Engineering* 53 (2007), p. 401-419 (cf. p. 18).

[Kahraman+2007] Cengiz Kahraman et C Sezi. « Fuzzy multi-criteria evaluation of industrial robotic systems ». In : *Computers & Industrial Engineering* 52 (2007), p. 414-433 (cf. p. 30).

[Kangas+2004] Annika S Kangas et Jyrki Kangas. « Probability, possibility and evidence: approaches to consider risk and uncertainty in forestry decision analysis ». In : *Forest Policy and Economics* 6 (2004), p. 169-188 (cf. p. 29).

[Katz+2015] Daniel R. Katz, Sharam Sarkani, Thomas Mazzuchi et Edmund H. Conrow. « The Relationship of Technology and design Maturity to DoD Weapon System Cost Change and Schedule Change During Engineering and Manufacturing Development. » In : *Systems Engineering* 18 (2015), p. 1-15 (cf. p. 25).

[Knaggs+2015] Michael Knaggs, John Ramsey, Alfred Unione, Dennis Harkreader, John Oelfke, Dale Keairns et William Bender. « Application of Systems Readiness Level Methods in Advanced Fossil Energy Applications ». In : *Procedia Computer Science*. T. 44. Elsevier Masson SAS, 2015, p. 497-506 (cf. p. 25, 107).

[Korhonen+1992] Pekka Korhonen, Herbert Moskowitz et Jyrki Wallenius. « Multiple criteria decision support - A review ». In : *European Journal of Operational Research* 63 (1992), p. 361-375 (cf. p. 29).

[Kromker1998] Mathias Kromker. « BIDPREP-towards simultaneous bid preparation ». In : *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 11.1 (1998), p. 45-51 (cf. p. 9, 10, 12, 13, 16, 18).

[Kwak+2002] Young Hoon Kwak et C. William Ibbs. « Project Management Process Maturity (PM)2 Model ». In : *Journal of management in engineering* 3.October (2002), p. 1-6 (cf. p. 26).

[Leśniak2016] Agnieszka Leśniak. « Supporting contractors' bidding decision: RBF neural networks application ». In : *International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics*. T. 200002. 2016, p. 200002 (cf. p. 8).

[London+2014] Mark A. London, Thomas H. Holzer, Timothy J. Eveleigh et Shahryar Sarkani. « Incidence matrix approach for calculating readiness levels ». In : *Journal of Systems Science and Systems Engineering* 23.4 (2014), p. 377-403 (cf. p. 25).

[Magnaye+2010] Romulo B. Magnaye, Brian J. Sauser et Jose E. Ramirez-Marquez. « System Development Planning Using Readiness Levels in a Cot of Development Minimization Model ». In : *Systems Engineering* 13.4 (2010), p. 311-323 (cf. p. 25, 107).

[Magnaye+2014] Romulo Magnaye, Brian Sauser, Peerasit Patanakul, David Nowicki et Wesley Randall. « Earned readiness management for scheduling, monitoring and evaluating the development of complex product systems ». In : *International Journal of Project Management* 32.7 (2014), p. 1246-1259 (cf. p. 25).

[Mammeri2017] Massinissa Mammeri. « Decision aiding methodology for developing the Contractual Strategy of complex oil and gas development projects ». Thèse de doct. Université Paris-Saclay - CentraleSupélec, 2017 (cf. p. 6, 7).

[Mankins1995] John C. Mankins. « Advanced Concepts Office Office of Space Access and Technology ». In : *white paper* 1 (1995), p. 4-8. arXiv : arXiv:1011.1669v3 (cf. p. 25).

[Mardani+2015] Abbas Mardani, Ahmad Jusoh et Edmundas Kazimieras Zavadskas. « Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications – Two decades review from 1994 to 2014 ». In : *Expert Systems with Applications* 42.8 (2015), p. 4126-4148 (cf. p. 30).

[Mario+2005] K Mario, Raul Vicente-garcia et Bertram Nickolay. « Fuzzy-Pareto-Dominance and its Application in Evolutionary Multi-Objective Optimization ». In : *Evolutionary multi-criterion optimization*. Sous la dir. de Springer Berlin/Heidelberg. Springer Berlin/Heidelberg, 2005, p. 399-412 (cf. p. 30).

[McConkie+2013] Eileen McConkie, Thomas A. Mazzuchi, Sharam Sarkani et D. Marchette. « Mathematical Properties of System Readiness Levels ». In : *Systems Engineering* 16.4 (2013), p. 391-400 (cf. p. 25, 107).

[Meng+2018] Xiaoge Meng, Zhong Yao, Jiajia Nie et Yingxue Zhao. « Make or buy ? It is the question : A study in the presence of carbon tax ». In : *International Journal of Production Economics* 195.December 2013 (2018), p. 328-337 (cf. p. 6).

[Mida+2009] F H Mida et F Vernadat. « A constraint approach (flexible CSP) for alternative cost estimation of a mechanical product ». In : *International Journal of Production Research* 47.2 (2009), p. 305-320 (cf. p. 18).

[Mittal+1989] Sanjay Mittal et Felix Frayman. « Towards a generic model of configuration tasks ». In : *Proceedings of the Eleventh International Joint Conference on Artificial Intelligence*. T. 2. 1989, p. 1395-1401 (cf. p. 17-20).

[Mittal+1990] S. Mittal et B. Falkenhainer. « Dynamic constraint satisfaction problems. Proceedings of the 9th ». In : *National Conference on Artificial Intelligence AAAI*. Boston, USA, 1990, p. 25-32 (cf. p. 21).

[Montanari1974] U Montanari. « Network of Constraints: Fundamental Properties and Applications to Picture Processing ». In : *Information Science* 7 (1974), p. 97-132 (cf. p. 21).

[Myrodia+2017] Anna Myrodia, Katrin Kristjansdottir et Lars Hvam. « Impact of product configuration systems on product profitability and costing accuracy ». In : *Computers in Industry* 88 (2017), p. 12-18 (cf. p. 17).

[Neumann+1953] J. von Neumann et O. Morgenstern. *Theory of Games and Economic Behavior*. Sous la dir. de Princeton University Press. New York : Press, Princeton University, 1953, p. 1953 (cf. p. 29).

[Nowak2004] Maciej Nowak. « Preference and veto thresholds in multicriteria analysis based on stochastic dominance ». In : *European Journal of Operational Research* 158 (2004), p. 339-350 (cf. p. 29).

[OECP2013] OECP. *Rapport de l'Observatoire Économique de la Commande Publique*. 2013. url : https://www.economie.gouv.fr/daj/commande-publique (cf. p. 7).

[Oliva2016] Fábio Lotti Oliva. « A maturity model for enterprise risk management ». In : *International Journal of Production Economics* 173 (2016), p. 66-79 (cf. p. 26).

[Pahl+2007] Gerhard Pahl, W. Beitz, Jörg Feldhusen et Karl-Heinrich Grote. *Engineering Design: A Systematic Approach*. 3e éd. London : Springer-Verlag, 2007 (cf. p. 12).

[Petersen+2003] Kenneth J Petersen, Robert B Handfield et Gary L Ragatz. « A Model of Supplier Integration into New Product Development ». In : *The Journal of Product Innovation Management* 20 (2003), p. 284-299 (cf. p. 6).

[Pitiot+2014] Paul Pitiot, Michel Aldanondo et Elise Vareilles. « Concurrent product configuration and process planning: Some optimization experimental results ». In : *Computers in Industry* 65.4 (2014), p. 610-621 (cf. p. 20, 21).

[Ragatz+2002] Gary L Ragatz, Robert B Handfield et Kenneth J Petersen. « Benefits associated with supplier integration into new product development under conditions of technology uncertainty ». In : *Journal of Business Research* 55 (2002), p. 389-400 (cf. p. 6).

[Ramirez2009] Nydia Gonzalez Ramirez. *Contribution à l'amélioration des processus à travers la mesure de la maturité de projet: application à l'automobile*. 2009 (cf. p. 26).

[Sabin+1998] D Sabin et R. Weigel. « Product configuration frameworks- a survey ». In : *IEEE intelligent systems* 13.4 (1998), p. 42-49 (cf. p. 18, 19, 21).

[Sadin+1989] Stanley R. Sadin, Frederick P. Povinelli et Robert Rosen. « The NASA technology push towards future space mission systems ». In : *Acta Astronautica* 20.9-10 (1989), p. 73-77 (cf. p. 25).

[Sahoo+2012] N C Sahoo, S Ganguly et D Das. « Fuzzy-Pareto-dominance driven possibilistic model based planning of electrical distribution systems using multi-objective particle swarm optimization ». In : *Expert Systems With Applications* 39.1 (2012), p. 881-893 (cf. p. 30).

[Sauser+2008] Brian J. Sauser, Jose E. Ramirez Marquez, Devanandham Henry et Donald DiMarzio. « A system maturity index for the systems engineering life cycle ». In : *International Journal of Industrial and Systems Engineering* 3.6 (2008), p. 673 (cf. p. 25, 27, 52, 107).

[Sauser+2010] Brian Sauser, Ryan Gove, Eric Forbes et Jose E. Ramirez-marquez. « Integration maturity metrics : Development of an integration readiness level ». In : *Information Knowledge Systems Management* 9.1 (2010), p. 17-46 (cf. p. 25, 51).

[ShokriGhasabeh+2016] Morteza Shokri-Ghasabeh et Nicholas Chileshe. « Critical factors influencing the bid/no bid decision in the Australian construction industry ». In : *Construction Innovation* 16.2 (2016), p. 127-157 (cf. p. 8).

[Siddique+2006] Zahed Siddique et Jiju. A. Ninan. « Modeling of modularity and scaling for integration of customer in design of engineer-to-order products ». In : *Integrated Computer-Aided Engineering* 13.2 (2006), p. 133-148 (cf. p. 11, 12).

[Software Engineering Institute2006] Software Engineering Institute. *CMMI for Development*. 2006 (cf. p. 24, 26).

[Soininen+1998] Timo Soininen, Juha Tiihonen, M Tomi, Reijo Sulonen et Tomi Männistö. « Towards a general ontology of configuration ». In : *Aiedam* 12.4 (1998), p. 357-372 (cf. p. 18).

[Sylla+2017a] Abdourahim Sylla, Elise Vareilles, Michel Aldanondo, Thierry Coudert et Konstantinos Kirytopoulos. « Customer / Supplier Relationship : reducing Uncertainties in Commercial Offers thanks to Readiness , Risk and Confidence Considerations ». In : *Advances on Mechanics, Design Engineering and Manufacturing*. Sous la dir. de Springer International Publishing. Catane : Publishing, Springer International, 2017, p. 1115-1122 (cf. p. 10).

[Sylla+2017b] Abdourahim Sylla, Elise Vareilles, Thierry Coudert, Michel Aldanondo et Laurent Geneste. « Offer Elaboration : New Confidence Confidence Indexes to to take take into into account Uncertainty ». In : *IFAC-PapersOnLine*. T. 50. 1. Toulouse : Elsevier B.V., 2017, p. 7290-7295 (cf. p. 12, 13, 23).

[Sylla+2017c] Abdourahim Sylla, Elise Vareilles, Thierry Coudert, Michel Aldanondo et Laurent Geneste. « Readiness , feasibility and confidence : how to help bidders to better develop and assess their offers ». In : *International Journal of Production Research* (2017) (cf. p. 3, 11, 12, 14, 21, 23, 31, 37, 51, 54, 74, 75).

[Sylla+2017d] Abdourahim Sylla, Elise Vareilles, Thierry Coudert, Michel Aldanondo, Laurent Geneste et Yvan Beauregard. « ETO Bid Solutions Definition and Selection Using Configuration Models and a Multi-Criteria Approach ». In : *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. Singapour, 2017, p. 1833-1837 (cf. p. 37).

[Sylla+2018a] Abdourahim Sylla, Thierry Coudert, Elise Vareilles, Laurent Geneste et Michel Aldanondo. « Possibilistic Pareto-dominance approach to support technical bid selection under imprecision and uncertainty in the bidding process ». In : under review (2018), under review (cf. p. 3, 14, 32, 74).

[Sylla+2018b] Abdourahim Sylla, Delphine Guillon, Elise Vareilles, Michel Aldanondo, Thierry Coudert et Laurent Geneste. « Configuration knowledge modeling : How to extend configuration from assemble / make to order towards engineer to order for the bidding process ». In : *Computers in Industry* 99 (2018), p. 29-41 (cf. p. 3, 14, 17, 19, 31, 34, 37).

[Tomaschek+2016] Katharina Tomaschek, Alison Olechowski, Steven Eppinger et Nitin Joglekar. « A Survey of Technology Readiness Level Users ». In : *Annual INCOSE International Symposium*. 2016 (cf. p. 25).

[Urquhart+2017] Stephen Urquhart et Andrew Whyte. « Contractor tendering research : going beyond bid / no-bid and markup models ». In : *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. 2013. 2017 (cf. p. 9).

[Vanwelkenhuysen1998] Johan Vanwelkenhuysen. « The tender support system ». In : *Knowledge-Based Systems* 11.5–6 (1998), p. 363-372 (cf. p. 13, 16-18).

[Walker+1984] Gordon Walker et David Weber. « A Transaction Cost Approach to Make-or-Buy Decisions ». In : *Administrative Science Quarterly* 29.3 (1984), p. 373-391 (cf. p. 6).

[Weckenmann+2013] Albert Weckenmann et Gökhan Akkasoglu. « Methodic Design of a Customized Maturity Model for Geometrical Tolerancing ». In : *Procedia CIRP*. T. 10. Elsevier B.V., 2013, p. 119-124 (cf. p. 24, 25).

[Wilson+2016] Kevin J Wilson et John Quigley. « Allocation of tasks for reliability growth using multi-attribute utility ». In : *European Journal of Operational Research* 255.1 (2016), p. 259-271 (cf. p. 29).

[Yang+2008] Dong Yang, Ming Dong et Rui Miao. « Development of a product configuration system with an ontology-based approach ». In : *Computer-Aided Design* 40 (2008), p. 863-878 (cf. p. 18).

[Yvar2009] Pierre-Alain Yvar. « A CSP approach for the network of product lifecycle constraints consistency in a collaborative design context ». In : *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 22.6 (2009), p. 961-970 (cf. p. 17, 18).

[Zandi+2013] A Zandi et E Roghanian. « Extension of Fuzzy ELECTRE based on VIKOR method ». In : *Computers & Industrial Engineering* 66 (2013), p. 258-263 (cf. p. 29).

[Zeithaml+1985] Valarie A. Zeithaml, A. Parasuraman et Leonard L. Berry. « Problems and Strategies in Services Marketing ». In : *Journal of Marketing* 49.2 (1985), p. 33-46 (cf. p. 5).

[Zhang+2010] Yao Zhang, Zhi-ping Fan et Yang Liu. « A method based on stochastic dominance degrees for stochastic multiple criteria decision making ». In : *Computers & Industrial Engineering* 58.4 (2010), p. 544-552 (cf. p. 29).

[Zhang2014] Linda L Zhang. « Product configuration : a review of the state-of-the-art and future research ». In : *International Journal of Production Research* 52.21 (2014), p. 6381-6398 (cf. p. 18-20).

Résumé

Aide à la décision en réponse à appel d'offres : une approche intégrée de conception conjointe produit-processus, de gestion des risques et de retour d'expérience

Dans le cadre d'une relation client / fournisseur, les entreprises proposant des produits ou systèmes doivent élaborer et proposer des offres personnalisées, attractives et réalisables. Pour cela, elles doivent tout d'abord concevoir et évaluer un ensemble d'offres techniques (couples systèmes / processus de réalisation). Ensuite, sélectionner, sur la base d'un ensemble de critères de décision pertinents, l'offre technique à considérer dans la proposition à transmettre au client. Dans des situations où les solutions techniques disponibles au sein de l'entreprise fournisseur couvrent une bonne partie des besoins exprimés par le client mais pas la totalité, situations dites de « conception non-routinière », l'analyse des pratiques industrielles et des travaux scientifiques a permis de définir trois problématiques de recherche majeures : (i) la conception des offres en situations de conception non-routinière, (ii) l'évaluation de la confiance dans les offres quant à leur bonne réalisation au regard des attentes et objectifs fixés, et (iii) la sélection, parmi un ensemble d'offres potentielles, de l'offre la plus intéressante en tenant compte de l'imprécision, de l'incertitude et de la confiance associées aux offres. Les travaux réalisés dans cette thèse apportent des solutions scientifiques et pragmatiques à ces trois problématiques. Concernant la conception des offres, des solutions sont proposées pour étendre les principes de configuration à des situations de « conception non-routinière ». Deux indicateurs ainsi qu'une méthode permettant de les quantifier sont proposés pour l'évaluation de la confiance de chaque offre technique. Enfin, une approche d'aide à la décision multicritère est développée pour aider à la sélection de l'offre technique la plus intéressante en tenant compte de l'imprécision, de l'incertitude et de la confiance.

Mots-clés : Ingénierie système, Systèmes à base de connaissances, Configuration de produits et de processus, Management des risques, Confiance, Retour d'expérience

---

Abstract

Decision support in bidding process: an integrated approach of concurrent design of system and process, risk management and experience feedback

Summary: In the context of a customer / supplier relationship, companies offering products or systems must develop and propose personalized, attractive and achievable offers. In order to do so, they have to design and evaluate a set of technical offers corresponding to pairs of systems and delivery processes. Then, on the basis of a set of relevant decision criteria, they must select the technical offer to be considered and sent to the customer. In situations where the technical solutions available within the supplier company cover a good part of the customer's requirements but not all, so-called "non-routine design" situations, the analysis of industrial practices and scientific works has led us to identify three major research problems: (i) the design of technical offers in non-routine design situations, (ii) the evaluation of the confidence in these offers as to their good achievement with regard to customer's expectations and supplier's objectives, and (iii) the selection of the most interesting offer from a set of potential technical offers while taking into account imprecision, uncertainty and confidence. This thesis provides scientific and pragmatic solutions to these problems. Regarding the design of the offers, solutions are proposed to extend the principles of configuration to "non-routine design" situations. Two indicators and a method for quantifying them are proposed for the assessment of the confidence of each technical offer. Finally, a multi-criteria decision support approach is developed to assist the supplier in the selection of the most interesting technical offer, taking into account imprecision, uncertainty and confidence.

Keywords: Systems engineering, Knowledge-based systems, Concurrent configuration of system and process, Risk management, Confidence, Experience feedback