

# Application de l'Ingénierie Système pour la définition d'une démarche d'Ingénierie des Exigences pour l'AIRBUS A380

**Eric CHOVEAU**  
EADS AIRBUS SA  
316, route de Bayonne  
BP M0141/6  
31060 TOULOUSE CEDEX

eric.choveau@airbus.aeromoatra.com



**Pierre de CHAZELLES**  
AIRBUS INDUSTRIE  
1, rond point Maurice Bellonte  
31700 - Blagnac  
31700 BLAGNAC

pierre.de-chazelles@airbus.fr

**Résumé.** Si l'approche « système » ou systémique est connue depuis l'antiquité, l'Ingénierie Système, en tant que discipline formalisée est relativement récente. Avec l'apparition des standards **EIA632**, **IEEE1220** et plus récemment **ISO 15288**, cette approche interdisciplinaire dispose maintenant de concepts établis sur lesquels il est possible de bâtir de nouvelles applications.

L'expérience relatée dans cet article montre comment des partenaires industriels Allemands, Anglais, Espagnols et Français réunis autour du projet A380 d'Airbus ont pu utiliser la démarche d'Ingénierie Système décrite dans l'EIA 632 pour :

- bâtir le Système d'Ingénierie des exigences pour l'A380 appelé « CARE » (Common Airbus Requirement Engineering),
- le positionner en tant que sous-système («enabling product » au sens EIA632) du produit avion, c'est à dire nécessaire à la réalisation de la fonction opérationnelle de l'avion.

Ce papier montre qu'il est possible d'appliquer une démarche identique – et systémique – pour le développement de chacun des constituants – quelque soit leur niveau - d'un système (par exemple, l'avion) et de ses sous-systèmes (par exemple, CARE).

## Définition

**Système (selon EIA632) :** Ensemble de produits nécessaires à la réalisation d'un objectif ou d'une fonction. Un système est composé de produits nécessaires à la réalisation de la fonction opérationnelle (« end product ») et de produits nécessaires à sa

réalisation, sa mise en service, son maintien et son retrait de service (« enabling products »).

## Préambule

Depuis plus de 30 ans, AIRBUS Industrie et ses partenaires ont développé un important savoir-faire dans la conception des Systèmes.

Les objectifs de sécurité, le concept de famille de produits, les objectifs de coûts et de réduction de cycle ont conduit chaque partenaire à innover tout en réutilisant des solutions éprouvées d'un programme avion à l'autre. Pour la conception des systèmes embarqués, l'utilisation de méthodes formelles (ou semi-formelles) et le codage automatique de spécification représentent l'aboutissement de cette expertise.

L'A380 apporte des changements majeurs du fait de

- ses dimensions
- l'intégration plus forte de l'avion dans son environnement (système de gestion du trafic aérien, Système de maintenance des compagnies aériennes, Téléphonie, Internet...)
- l'intégration plus poussée des systèmes de l'avion entre eux en particulier avec l'apparition d'avionique modulaire et de bus multiplexés.
- la prise en compte d'exigences de plus en plus sévères de maturité des systèmes à l'entrée en service
- l'importance des enjeux techniques, industriels et financiers posés.

Dans le monde concurrentiel actuel, d'autres entreprises ont suivi un chemin parallèle et aboutissent à un même constat: la maîtrise de la définition, de l'architecture des systèmes

complexes et la recherche d'un meilleur niveau de satisfaction des clients conduisent à mettre l'accent sur une prise en compte complète de toutes les exigences du programme (qu'elles proviennent du client final ou de toute autre source nécessaire à son bon développement) tout au long du développement.

C'est ce constat et la volonté de renforcer et de maintenir leur avance technique qui a conduit les partenaires Airbus à proposer dès 1997 que soit développée et déployée une nouvelle approche d'Ingénierie des Exigences pour la définition et la conception des systèmes de l'A380.

Compte tenu du nécessaire apprentissage de cette nouvelle technique et afin d'en faciliter son appropriation par les concepteurs (plus de 500), une approche du type "apprentissage par l'action" (learning by doing) a été décidée.

Cette approche consiste à développer progressivement les différents éléments de la méthode, à les mettre en œuvre rapidement dans un certain nombre de projets pilotes afin d'en capitaliser l'expérience et d'en injecter les conséquences dans le développement. C'est ainsi qu'est né le projet **CARE : Common Airbus Requirement Engineering**.

L'objectif du projet est de mettre en place un processus outillé d'Ingénierie des exigences dans le cadre du programme A380. Ce processus a pour principales caractéristiques d'être conforme aux directives AIRBUS et de répondre aux recommandations pour la certification des systèmes avions complexes (ARP 4754), de permettre une mise en œuvre cohérente dans les équipes de conception de chacun des partenaires et de leurs fournisseurs, qu'ils soient en France, en Allemagne, en Espagne ou en Angleterre.

Compte tenu de l'ambition de cette application qui est multi-partenaires et multi-niveaux, une démarche de type « Ingénierie Système » a été appliquée pour définir le « Système d'Ingénierie des Exigences » que constitue CARE.

### **La démarche d'ingénierie du « système » CARE**

Différents documents normatifs décrivent aujourd'hui, de façon convergente, les concepts de base d'une approche dite « d'Ingénierie Système » (IEEE1220, EIA632, ISO 15288, RG040). Cette approche repose sur des intuitions déjà exprimées dès l'antiquité par les philosophes grecs, à savoir qu'un « système » complexe peut se

décomposer en sous systèmes de complexité moindre.

Les travaux réalisés dans les années 90 ont démontré qu'il était possible et même souhaitable d'appliquer une démarche systématique et identique pour le développement de chacun des constituants d'un système (sous-systèmes).

C'est cette démarche qui a été appliquée à la définition et la mise en œuvre du « système CARE ».

### **Recueil du besoin CARE**

La démarche de développement a débuté par la capture des besoins des utilisateurs finaux. Ce recueil s'est fait de la même manière à Toulouse, Madrid, Hambourg ou Filton lors de réunions de sensibilisation. L'équipe multinationale a établi un questionnaire résumant les fonctions à attendre du système CARE et a demandé aux futurs utilisateurs de valider les fonctionnalités proposées et établir leurs priorités.

#### CARE : un besoin multi-partenaires

Il nous a semblé important, avant de nous lancer dans une harmonisation d'ordre méthodologique, de bien identifier ce qui était nouveau pour les concepteurs et quelle était leur perception du besoin. Le questionnaire a été réalisé en anglais à partir d'un document de l'INCOSE (International Council of System Engineering) établi initialement pour faire des évaluations comparatives d'outils.

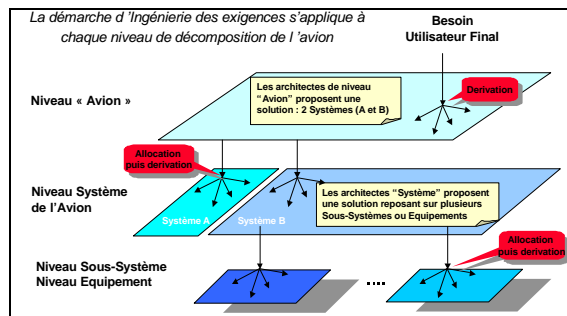
Il a été revu pour lui donner une orientation plutôt méthode et processus et pour tenir compte des savoir-faire locaux que nous envisagions d'harmoniser.

Cette harmonisation est une caractéristique essentielle du système CARE afin d'optimiser les flux d'informations entre les différents partenaires.

#### CARE : un besoin multi-niveaux

La réalisation d'un avion comme l'A380 s'inscrit naturellement dans une démarche de décomposition du produit en sous-systèmes.

La complexité d'un tel produit tant par sa taille que par la diversité et le nombre des intervenants du projet (plusieurs milliers) rend nécessaire non seulement une approche systématique et « systémique » à chaque niveau mais requiert une bonne prise en compte du transfert d'informations entre les niveaux.



**Figure 1: Les exigences : un mécanisme de découplage entre niveaux**

Une plus grande cohérence dans l'expression et la formalisation du besoin au niveau programme (choix stratégiques, choix industriels,...), au niveau avion (définition globale de l'avion, expression des besoins compagnies,...), au niveau systèmes globaux (commande de vols, cockpit,...), structures puis équipements nous est apparu comme un gage de réussite du projet.

Le système CARE doit supporter cette approche multi-niveaux en proposant les mécanismes à chaque niveau et en supportant le processus d'échanges et d'interactions entre les niveaux.

#### CARE : un besoin multi-métiers

Un avion se définit à partir de l'expression des besoins des clients finaux et par la prise en compte tout au long du cycle de développement de l'ensemble des contraintes et des choix des différents métiers qui interviennent.

La complexité d'un projet comme l'A380 n'a d'équivalent que la diversité des métiers qui concourent à sa réalisation. A chaque niveau, chaque exigence doit être prise en compte dans son contexte d'application. Les ingénieurs marketing, commerciaux, les ergonomes, les pilotes interviennent très tôt dans la définition de l'avion. Un avion est un condensé de techniques aussi diverses que la mécanique (structure, matériaux, ...), l'aérodynamique, la propulsion (moteurs), les systèmes hydrauliques, électriques et bien sûr électroniques/informatiques qui prennent une part de plus en plus importante dans les avions modernes.

CARE facilite la prise en compte par les concepteurs d'un certain nombre de besoins ou contraintes tels que la sécurité, la maintenabilité, la supportabilité, les coûts, les délais...

La démarche d'ingénierie des exigences doit également faciliter la recherche de compromis et permettre l'optimisation du produit final et de chacun de ses composants

## Contexte CARE : le programme avion

La norme américaine ANSI/EIA 632, en cours d'élaboration, puis dans son édition de 1998 a servi de référence pour le développement et le déploiement de CARE.

Elle distingue les « **End-Products** » ou produits qui contribuent directement à la réalisation des fonctions opérationnelles à réaliser, des « **Enabling-products** » qui sont les produits nécessaires au développement, à la réalisation, au déploiement et au support en service des « End-products ».

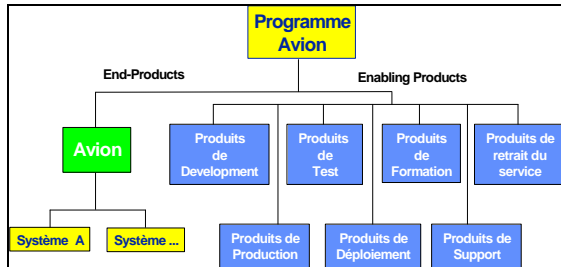
### Concept de Enabling-products appliqué au produit « avion »

Dans le cas d'un programme avion, c'est l'avion lui-même qui constitue l'élément opérationnel, c'est à dire l'élément qui réalise le « vol » permettant le transport des passagers. Les « Enabling-products » sont les moyens nécessaires à la réalisation de la fonction opérationnelle de l'avion, mais qui ne participent pas directement à cette fonction. L'avionneur, par exemple est l'un de ces « Enabling-products ». Les « Enabling-products » peuvent être : des personnes, des équipements, des installations, des documents ou toute combinaison de ces différents éléments. A chaque « End-product », on peut associer **7 types de Enabling-products** correspondant à chacune des phases du cycle de vie du produit considéré :

- « **Enabling-product** » **de Développement** : dans l'industrie aéronautique, ces produits couvrent l'ensemble des moyens des avionneurs et de leurs fournisseurs nécessaires au développement.
- « **Enabling-product** » **de Production** : ce sont principalement les moyens nécessaires à la fabrication et à l'intégration.
- « **Enabling-product** » **de Test** : principalement les installations de test au sol et en vol, les personnels et autres moyens.
- « **Enabling-product** » **de Déploiement** : toutes les moyens nécessaires à la livraison de l'avion au client final
- « **Enabling-product** » **de Formation** : cela couvre les simulateurs de formation et les données nécessaires à ces simulateurs
- « **Enabling-product** » **de Support** : cela concerne l'ensemble des moyens

nécessaires au support opérationnel de l'avion. Cela inclut la maintenance au sol et les services associés

- « **Enabling-product** » de **Retrait de service** : cela recouvre l'ensemble des dispositions nécessaires au retrait d'un avion en service.

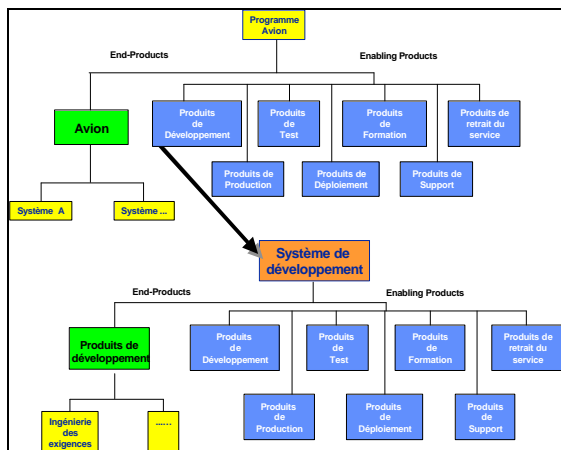


**Figure 2. Décomposition d'un produit complexe selon une approche système**

Dans cette démarche, c'est qu'un Enabling-product, peut se voir allouer des exigences de la même manière qu'un « End-product ».

**CARE vu comme un « sous-système » du « Système de développement » d'un avion**

Dans une approche ingénierie système, CARE peut être vu comme un sous-système du système de développement des avions auquel on peut appliquer les processus types de développement d'un système.



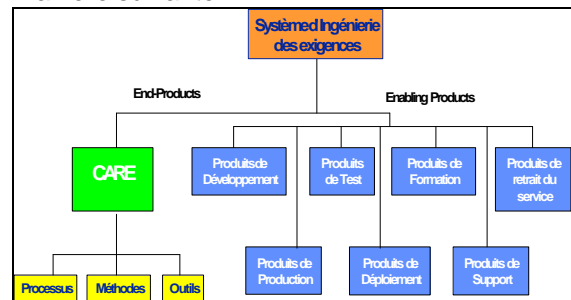
**Figure 3: Place du système "CARE" dans l'architecture du produit "avion"**

**Application de l'ingénierie système au système CARE**

Dans le cas du système d'ingénierie des exigences CARE, les fonctions opérationnelles demandées au produit sont :

1. Un processus générique d'élaboration, de gestion et d'allocation d'exigences utilisable à tous les niveaux de décomposition souhaités (l'avion ou à l'un de ses constituants)
2. Des méthodes supportant les activités de ce processus générique
3. Des outils adaptés en support à ces méthodes

Comme tout système, le développement du système d'ingénierie des exigences CARE nécessite de réaliser un ensemble de produits qui vont permettre son développement, sa réalisation, son test, son déploiement et son support. Il est donc possible, tout comme nous l'avons présenté pour le programme « avion », de décomposer ce système en « end-products » et « enabling products » de la manière suivante :



**Figure 4. Architecture du « système CARE »**

*End-products*

- \* Les produits réalisant les fonctions opérationnelles se composent de :
  - \* un processus générique : description formelle des activités à mener. Cette description s'articule autour des concepts généraux de l'ingénierie des exigences (capture, analyse, validation/vérification, allocation à une architecture)
  - \* un ensemble de méthodes support à l'application du processus matérialisé par un ensemble de règles et de recommandations
  - \* un ensemble d'outils assurant une mise en œuvre progressive.

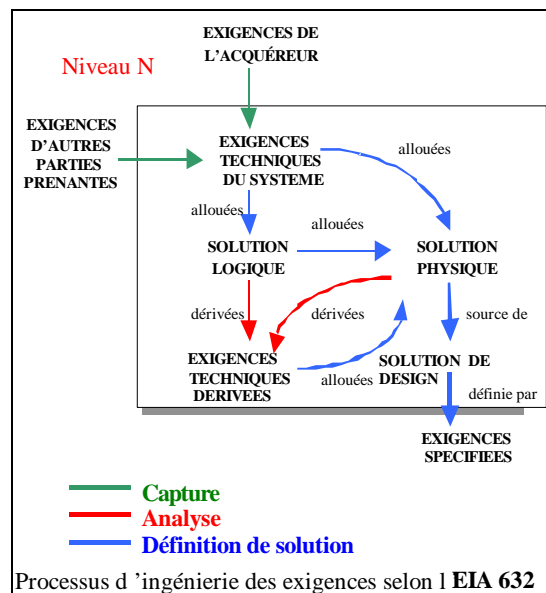
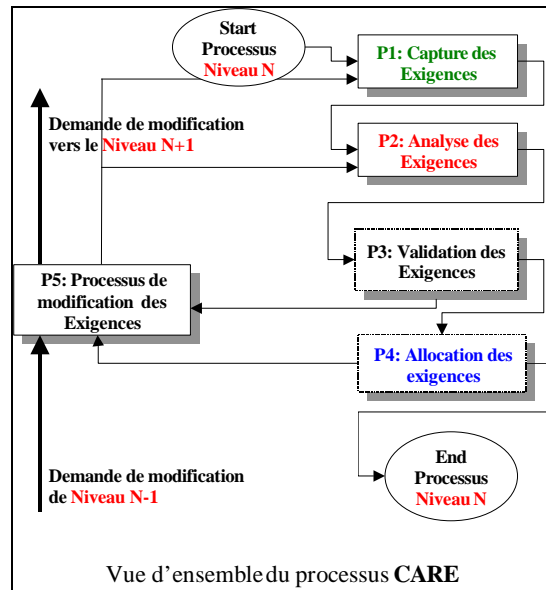
*Enabling products*

- \* Les « Enabling-product » de développement : Expression de besoin, Plan de développement/déploiement, scénarios d'utilisation, stratégie de développement, plan de validation...)

- \* Les « Enabling-product » de production : Relation avec le fournisseur d'outil principalement, réalisation de macros..., gestion de configuration des versions d'outils...
- \* Les « Enabling-product » de tests et d'évaluation : test de recette, etc..
- \* Les « Enabling-product » de formation : Supports de formation et de communication (FAQ, Intranet, lettre aux utilisateurs...)
- \* Les « Enabling-product » de déploiement : procédures d'installation, stratégie de déploiement et des moyens associés. Cette partie est capitale pour le déploiement d'une « nouvelle façon » de travailler comme le propose CARE dans le cadre international ou chaque partenaire possède sa propre expérience, sa propre culture.
- \* Les « Enabling-product » de support : Définition et mise en œuvre d'une nouvelle fonction de support à l'utilisation de la méthode et des outils associés : les « requirements Engineers », forum utilisateurs,...
- \* Les « Enabling-product » de retrait de service : stratégie de migration ou de changement d'outil pour cause d'obsolescence...

**Comparaison entre le processus proposé par «CARE» et celui défini dans la norme EIA 632**

Le processus défini dans le cadre de CARE à été voulu « générique » ; c'est à dire utilisable quel que soit le niveau de développement du produit. Ce processus répond aux exigences spécifiées dans l'EIA 632 pour le processus de capture d'analyse et d'allocation des exigences . Le schéma ci-dessous montre la correspondance existante entre les activités proposées dans le processus CARE et celle de l'EIA.



**Figure 5 : Comparaison des processus de CARE et de l'EIA 632**

## Conclusion

### CARE un outil méthodologique au cœur de la maîtrise du développement de l'A380

Le développement d'un produit complexe tel que l'A380 se prépare à l'avance. CARE est issu du projet Européen SPIDERS (1995-1998) auquel ont contribué les anciens partenaires Airbus : Aerospatiale, Bae, DASA, mais aussi Eurocopter et des équipementiers européens tels que Sextant ou Smith Industries.

L'ingénierie des exigences a été identifiée alors comme l'un des axes d'amélioration pour permettre une maîtrise du développement des systèmes qui tiennent compte des exigences de toutes natures : réglementaires, technologiques, coûts, qualité et délais qui s'appliquent à ce nouveau programme. D'autres améliorations de natures méthodologiques seront également appliquées à l'occasion du développement de l'A380 et sur tous les nouveaux programmes. On peut citer la spécification dynamique des interfaces entre systèmes, la définition d'un processus générique de développement indépendant des organisations, la validation par simulation tout au long du développement ou de meilleures interfaces avec les équipementiers.

Le développement de « CARE » dans un environnement multinational a été l'occasion d'expérimenter les concepts de l'ingénierie système tels qu'ils sont décrits dans l'EIA 632 ou l'ISO 15288.

On a pu vérifier à cette occasion que ces concepts intègrent en eux-mêmes les éléments de flexibilité qui permettent leur adaptation à la dimension du projet. On a pu également vérifier l'aspect « universel » de la démarche qui est un vecteur d'appropriation et facilite le dialogue entre l'ensemble des métiers. et contribuent à la réalisation des produits complexes.

L'ingénierie système est amenée à se développer chaque fois que la nature des projets rend critique le dialogue entre métiers et équipes différentes d'une même entreprise ou entre partenaires d'un même projet.

## Références

- \* Framework for the Application of System Engineering in the Commercial Aircraft Domain (INCOSE)
- \* Process for Engineering a System (ANSI/EIA -632-1998)
- \* Certification considerations for highly-integrated or complex aircraft systems (ED-79/ARP 4754)

- \* Rapport de DEA Automatique et Informatique Industrielle, INPT-ENSEEIH : Vers une méthodologie d'Ingénierie des Exigences dans une approche d'Ingénierie Système par Codruta Bilegan.
- \* The Application of Systems Engineering to the Synthesis of Enabling Products ; An aircraft Support System par Madrona Geisert & Scott Jackson – Boeing company.

## Biographie

**Eric Choveau** est ingénieur méthode au sein du département Systèmes d'EADS AIRBUS SA. De formation informatique, il a participé à l'élaboration et la mise en place de méthodes de spécification formalisées des systèmes avioniques notamment dans le cadre des projets PFMS (Flight Management) puis FANS (Future Air Navigation System).

Il est actuellement responsable du développement et du déploiement de la démarche CARE à EADS Airbus SA. C'est également l'actuel chef du projet en charge de la coordination des développements de CARE pour l'ensemble des partenaires AIRBUS.

Il est membre du groupe « Ingénierie des exigences » de l'AFIS.

**Pierre de Chazelles** a travaillé dans le domaine des échanges d'informations électronique au sein du GOSSET pour lequel il a développé des protocoles d'échange pour l'ingénierie électrique avant de rejoindre l'AEROSPATIALE en 1991.

Responsable des méthodes de développement des équipements électronique, il a co-dirigé les travaux de recherche d'une approche système du développement des équipements électroniques embarqués (CODESIGN), avant de rejoindre le département Système puis, plus récemment, la direction de programme de l'Airbus A380 où il est en charge du support au déploiement de l'Ingénierie Système.

Il est membre du groupe « Ingénierie des exigences » de l'AFIS.