

## « Cadre d'application de l'Ingénierie Système pour la conception d'un avion commercial »

Pierre de Chazelles  
AIRBUS INDUSTRIE  
1, rond point  
Maurice Bellonte  
31700 BLAGNAC  
pierre.de-chazelles@airbus.fr

Erwin Duurland  
ENHANCE Project Office  
EADS Airbus S.A  
316 route de Bayonne  
31060 TOULOUSE Cedex  
erwin.duurland@airbus.aeromatra.com

Alain Jeffroy  
EADS Airbus S.A  
316 route de Bayonne  
31060 TOULOUSE Cedex  
alain.jeffroy@airbus.aeromatra.com

Christopher Dean  
AIRBUS UK  
Filton  
Bristol BS99 7AR  
United Kingdom  
christopher.dean@baesystems.co

**Résumé.** Début 1999, quelques membres de l'INCOSE (*International Council of System Engineering*), principalement américains, ont lancé un groupe de travail (*Joint Commercial Aircraft Working Group*) destiné à fournir pour la première fois, un guide de mise en œuvre des concepts de l'Ingénierie Système appliqué à un produit particulier : la conception d'un avion commercial (*Framework for the Application of Systems Engineering in the Commercial Aircraft Domain*).

En juin 2000, la première version est diffusée largement en vue de sa présentation à Minneapolis (USA) au Symposium INCOSE de juillet 2000.

Depuis, ce document a fait l'objet de commentaires qui ont donné une nouvelle orientation au groupe.

Outre la présentation du contenu technique du document, cet article souligne l'intérêt et les difficultés de contribuer à un groupe de travail de couverture « mondiale » dans un contexte concurrentiel.

### LES CONTRIBUTEURS

Le groupe de travail JCAWG est né au sein du chapitre local de l'INCOSE de SEATTLE (USA), avec le support du comité technique de l'INCOSE chargé des applications. La contribution initiale du document est largement issue de l'expérience des ingénieurs de Boeing, tant du côté des applications militaires que des applications civiles. Très vite le groupe s'est étoffé pour accueillir des experts des grands équipementiers américains avant de s'élargir à ceux des autres continents. Si le groupe est « présidé » par un américain, Erwin Duurland (ADSE), en tant que premier contributeur européen s'en est vu confier la vice-présidence dès la création du groupe tandis que Christopher Dean (Airbus UK) a également été nommé récemment coprésident pour tenir compte de sa contribution importante aux nouvelles orientations du groupe de travail. D'autres contributeurs des différents continents ont également rejoint le groupe de travail.

Chaque participant au groupe est membre à titre personnel; plusieurs de ses membres sont affiliés à des groupes techniques aussi divers que :

- 1- American Institute for Aeronautics and Astronautics (AIAA)
- 2- Society of Automotive Engineers (SAE)
- 3- Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)
- 4- Federal Aviation Authority (FAA)
- 5- International Council on Systems Engineering (INCOSE)

### FONCTIONNEMENT DU GROUPE DE TRAVAIL

Les membres du groupe de travail étant géographiquement dispersés, le groupe a adopté très tôt des méthodes de travail innovantes et un fonctionnement de type collaboratif entre ses membres.

Le fonctionnement du groupe repose sur :

1. Deux rencontres d'une semaine par an, une première semaine en janvier permettant un échange approfondi entre les participants, une seconde semaine en juillet, durant le symposium international INCOSE, favorable à une plus grande dissémination.
2. Des échanges permanents de mails avec des contributions croisées de chacun des membres et accès à l'ensemble des contributions par tous ceux qui ont manifesté de l'intérêt ; qu'ils soient contributeurs « actifs » ou observateurs « passifs ».
3. Un suivi hebdomadaire de la progression des activités lors d'une téléconférence réunissant des participants de plusieurs continents.
4. Le site Web de l'INCOSE ([www.incose.org/seatec](http://www.incose.org/seatec)) qui accueille les documents approuvés .

C'est ce mode de travail qui a permis la production d'une première version du document en moins de 16 mois. Dans la pratique, de nombreuses versions intermédiaires ont servi de banc de test pour mettre les concepts à l'épreuve de la compréhension et de la relecture de tous.

Un facteur essentiel d'adhésion des participants fut la conviction partagée par tous que :

- Toutes les parties tireraient bénéfice de ce partage d'idées
- Le document renforcerait l'application de l'Ingénierie Système dans ce domaine où tous les participants sont parties prenantes.

- Le document contribuerait au développement et à la réalisation de meilleurs avions de transport, quelle que soit l'organisation ou la nationalité des participants.

Néanmoins, quelques principes essentiels ont été discutés au préalable et constituent les règles qui régissent la contribution des participants :

- Le document ne devra pas divulguer des informations « propriétaires », telles que des pratiques spécifiques liées à une organisation particulière. Il devra s'attacher à définir un cadre de développement générique propre au domaine.
- Le document ne sera pas un « pur produit » INCOSE mais devra refléter un accord de points de vue entre associations professionnelles compétentes.
- Les membres du groupe de travail le sont à titre privé et ne sauraient engager les entreprises auxquelles ils appartiennent.
- Les décisions sont prises sur la base du consensus.

### DOCUMENT NORMATIF OU CADRE D'APPLICATION ?

Le JCAWG s'est posé très tôt la question de savoir s'il fallait proposer un cadre d'application (« framework ») ou un document normatif. Après de nombreux débats, la première solution a été retenue en considérant que ce cadre pourrait évoluer et être déployé plus rapidement qu'une norme. De plus, un « cadre d'application » laisse plus de liberté qu'un guide pour définir un mode d'application adapté au contexte de chaque entreprise.

### LES FACTEURS DETERMINANTS POUR LA CONCEPTION D'UN AVION COMMERCIAL

Pour la conception d'un avion, il est nécessaire de prendre en compte un certain nombre de facteurs spécifiques.

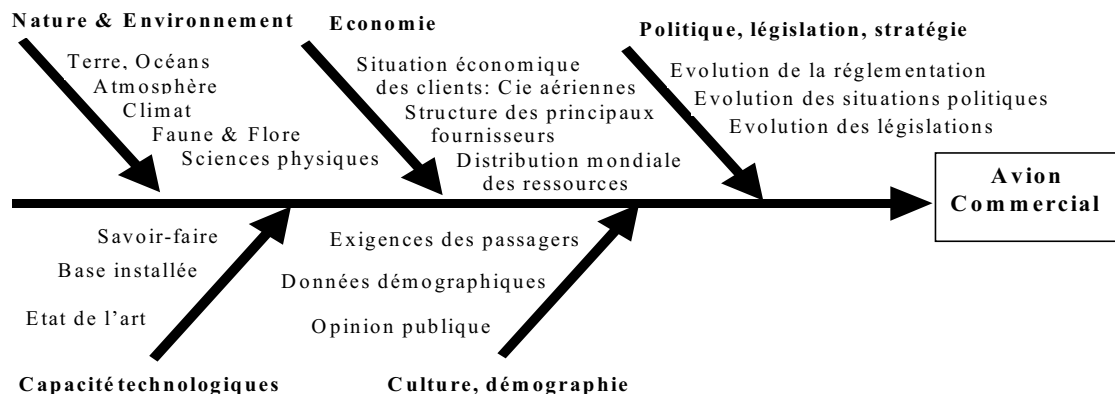


Figure 1. facteurs déterminants pour la conception d'un avion commercial

Le JCAWG a identifié ceux qui lui semblaient les plus déterminants.

Ces facteurs sont des éléments essentiels pour l'optimisation de l'avion dans son environnement, mais l'importance des facteurs varie en fonction des objectifs du programme avion en développement (exemple : les infrastructures aéroportuaires pour l'A380).

### PLACE DE L'AVION COMMERCIAL DANS LE SYSTEME MONDIAL DE TRANSPORT AERIEN

La première difficulté du groupe de travail JCAWG fut de proposer une définition du « système de transport aérien commercial » et de ses interactions avec le Système mondial de transport aérien.

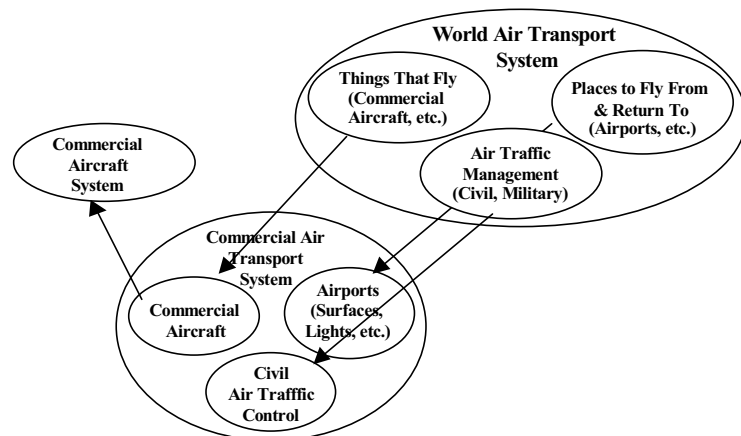
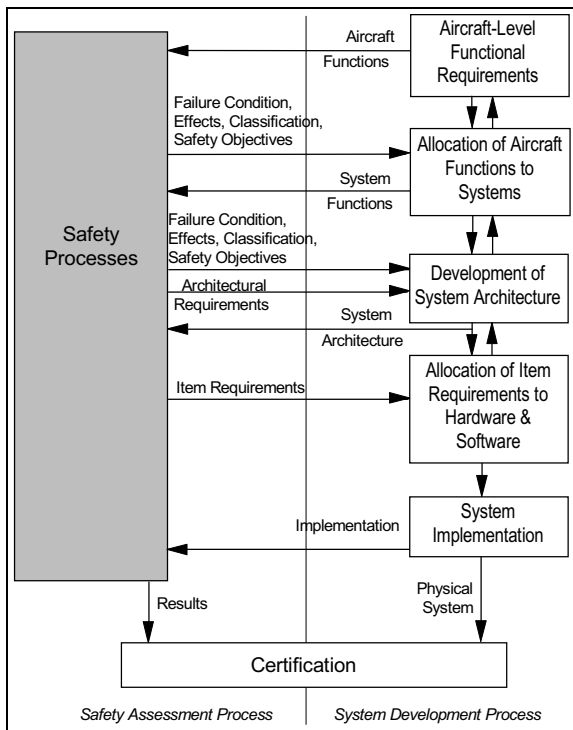


Figure 2. Place du « Système de transport aérien commercial »

Même si la vue proposée présente encore quelques points critiquables, elle a le mérite d'exister et montre s'il en était besoin que la conception d'un avion ne peut se faire indépendamment de la prise en compte de systèmes connexes dont les évolutions doivent être maîtrisées de façon coordonnée avec celle du « sous-système avion ». La difficulté étant que chacun des sous-systèmes majeurs (Avion, Système aéroportuaire, système de gestion du trafic aérien) sont eux-mêmes des systèmes autonomes.

## APPROCHE FONCTIONNELLE

L'ARP 4754, publiée en 1996 recommande qu'une analyse fonctionnelle détaillée soit faite au titre du processus de certification. De plus, il est demandé que l'implémentation de chaque sous-fonction soit tracée depuis les fonctions de niveau avion auxquelles elles contribuent.



**Figure 3. Les activités de conception d'un système selon l'ARP4754**

Le JCAWG, ainsi que la possibilité en a été laissée dans l'EIA 632, propose d'adopter l'architecture fonctionnelle comme architecture logique de niveau avion et replace les fonctions dans un contexte plus large montrant par exemple qu'une fonction, par exemple « *Aller d'un point à un autre* », peut être allouée simultanément à l'élément « *équipage* » ainsi qu'au « *Système de guidage aérien* ».

Le JCAWG propose les fonctions suivantes comme base de l'arborescence fonctionnelle :

- Fournir et distribuer les Communications
- Planifier, réaliser et contrôler les mouvements de l'avion
- Fournir à l'équipage, aux passagers et à la charge utile un environnement et des services
- Détecter et analyser les conditions de vol de l'avion
- Distribuer les informations avion
- Produire et gérer l'énergie
- Assurer la mobilité de l'avion et la capacité d'assemblage

- Assurer le confinement et l'intégrité de l'avion

Selon les principes de l'Ingénierie Système, ces fonctions sont dans une certaine mesure « indépendantes ». Le document produit par le JCAWG fournit en annexe une allocation de référence des fonctions avion à une architecture avion.

Toutefois, cette architecture n'est donnée qu'à titre d'exemple et ne saurait servir de référence unique.

## LES CONCEPTS DE «END-PRODUCT» ET DE «ENABLING-PRODUCTS».

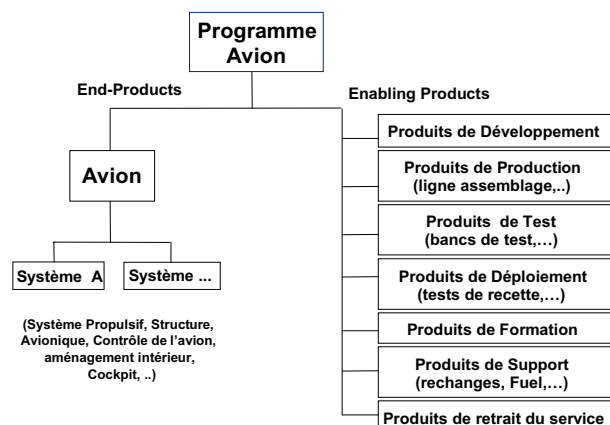
Dans l'arborescence du « système avion commercial », chacun des éléments de plus haut niveau de l'arborescence peut être considéré comme un « *enabling-product* » pour le « end-product » cible du domaine d'intérêt qui est le nôtre : l'avion commercial.

La Norme ANSI/EIA 632 introduit l'idée que tout « système » peut se décomposer en :

- « *End-products* » ou produits qui réalisent les fonctions opérationnelles demandées par le client.
- « *Enabling-products* » ou produits qui sont nécessaires au développement, à la réalisation ou au support à la mise en œuvre des « end-products ».

Dans le cas d'un programme avion, l'avion lui-même constitue le « *end-product* » tandis que son environnement opérationnel ainsi que son environnement industriel constituent les « *enabling-products* ».

L'EIA 632 identifie 7 types de « *enabling-products* » liés au cycle de vie du « *end-product* ». Chaque « *enabling-product* » ou « *enabling-system* » peut comprendre des éléments de 4 natures différentes : des installations, des personnes, des équipements ou des données (dont les documents).



**Figure 4. Arborescence des produits de niveau « avion »**



Pour mieux satisfaire les besoins des compagnies et optimiser les réponses à ces besoins, Airbus a mis en place pour l'A380, un niveau d'ingénierie en amont de ce qui se faisait traditionnellement et qui correspond au domaine couvert par le JCAWG. C'est ainsi que, dès 1995, AIRBUS a commencé l'adaptation de son référentiel et en particulier le processus de développement des systèmes (ABD200) et des équipements (ABD100), qu'il a complété par le processus de développement avion (AP2161). Cette préoccupation répondait également à l'évolution des recommandations de certification qui tout en maintenant un ensemble d'exigences spécifiques au produit « avion commercial » (JAR/FAR) a vu l'apparition de nouvelles exigences relatives aux processus de développement de ses constituants, en commençant par le logiciel (DO178) puis les Systèmes complexes (ARP4754) et les composants électroniques (DO180).

- des clients,
- les autorités de certifications
- des infrastructures aéroportuaires
- un environnement de télécommunication mondial
- ...

C'est ainsi que naturellement, les ingénieurs Airbus présents à Minneapolis lors de la première présentation officielle du JCAWG, ont contribué à la revue des travaux du JCAWG sur la base de leur expertise individuelle. Ceci a été possible car le document concerné n'a pas valeur d'exigence réglementaire, mais plutôt d'un recueil de pratiques pour l'application d'une approche novatrice dans un domaine d'application particulier.

Le groupe de travail JCAWG a bien accueilli cette contribution et a souhaité une présence continue d'Ingénieurs européens.

### PROPOSITIONS D'ORIENTATIONS

Les commentaires discutés lors du séminaire de janvier 2001 montrent l'intérêt de mieux positionner le document dans son environnement. C. Dean a proposé plusieurs améliorations :

**Cible :** Plutôt que de cibler le document à l'usage d'un nombre restreint de spécialistes qui s'intéressent à la définition des processus de développement au sein de chaque avionneur, il semble préférable d'élargir la cible en prenant en compte l'intérêt d'un tel document pour tous ceux qui sont impliqués dans l'Ingénierie d'un avion.

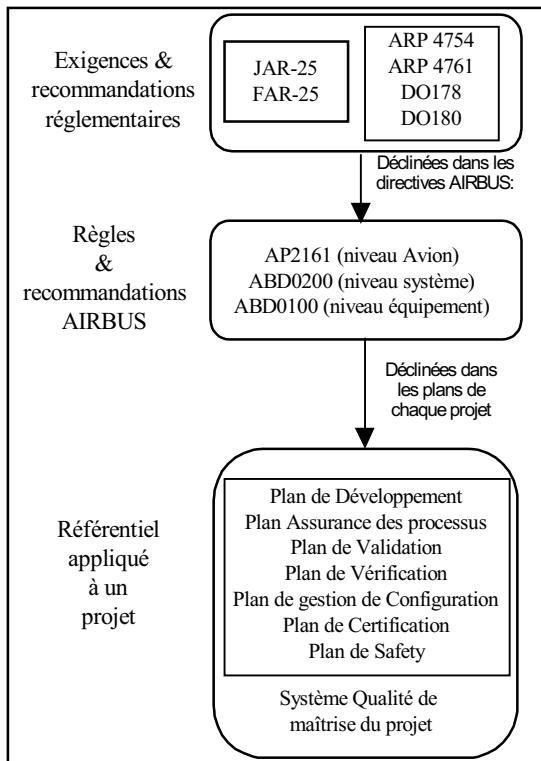
Ceux-ci ont besoin d'une vision d'ensemble du processus de développement et de réalisation d'un avion.

Cela pourrait également être utilisé pour la formation des ingénieurs en aéronautique.

Pour tenir compte de cette nouvelle approche, le titre du document pourrait devenir : *Processus cadre pour l'application de l'Ingénierie système au système de transport aérien (Process Framework for the Application of System engineering to Transportation System)*

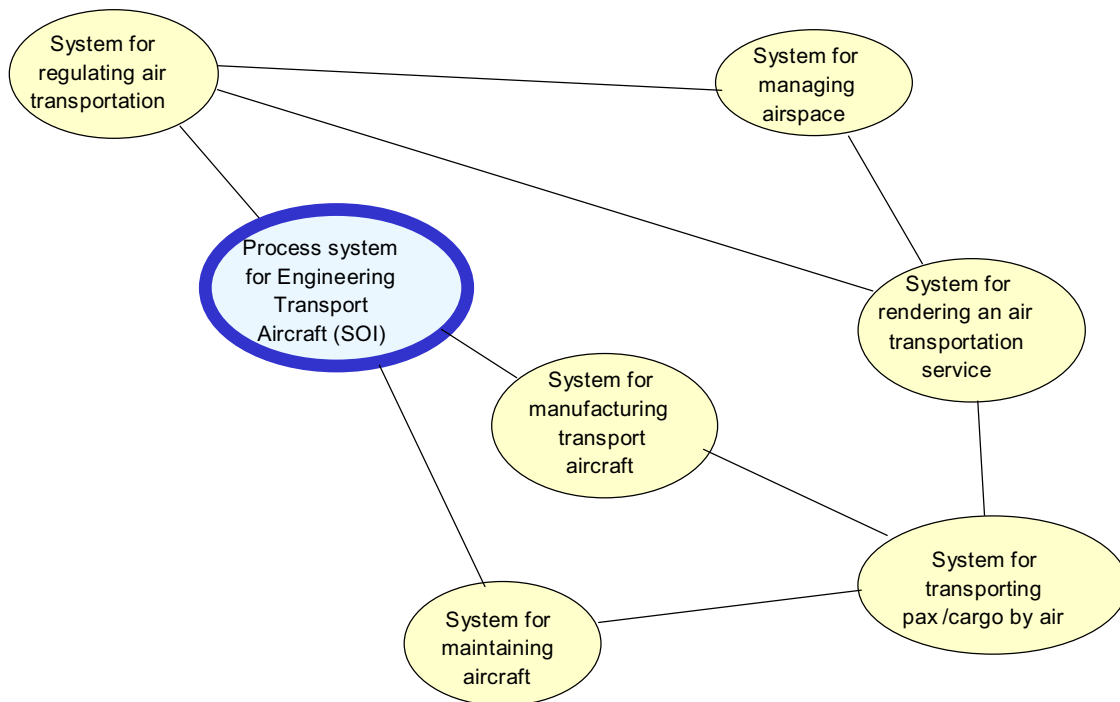
**Domaine d'intérêt :** On a vu que l'une des difficultés dans la conception d'un avion, c'est la place du « système avion » dans le « système de transport aérien ». Le schéma initial présenté en figure 1 ne permet pas de représenter l'interaction entre les différents « systèmes pairs ». La figure 7 propose une vision plus complète de ces interactions.

**Perspective socio-technique :** le processus d'ingénierie d'un avion de transport est avant tout un « système d'activités humaines »



**Figure 6. Déclin des exigences réglementaires dans le référentiel Airbus**

De fait, avant même la parution des documents tels que l'EIA 632 ou l'ISO 15288, AIRBUS utilisait certains concepts d'Ingénierie Système. Le document du JCAWG, réalisé dans sa première version, rejoint donc un certain nombre de préoccupations qu'il peut être nécessaire de partager, y compris dans un contexte concurrentiel dans la mesure même où Airbus et son compétiteur partagent un certain nombre de points communs :



**Figure 7. Domaine d'intérêt cible proposé pour le JCAWG**

(*Human Activity System*). Les Ingénieurs travaillent avec des personnes de nombreuses disciplines pour aboutir au but commun : la conception d'un avion. Ce processus socio-technique réunit des milliers de personnes qui travaillent dans un environnement commercial commun. Par exemple, pour l'AIRBUS A380, on estime à 30.000, le nombre de personnes qui œuvrent à la réussite de l'avion. Quoique la technologie soit indispensable à ce succès, il est nécessaire de maintenir un équilibre entre les personnes et les machines. C'est pourquoi il est proposé que le « *framework* » reconnaisse la contribution des personnes et défende un équilibre entre les considérations humaines et les considérations économiques dans le processus d'ingénierie.

**Intégration des disciplines:** Les processus qui s'appliquent à l'ingénierie d'un avion sont soit génériques, soit propriétaires. Cependant ils répondent le plus souvent à des préoccupations particulières, tel le document SAE ARP4754 préparé par la communauté aéronautique dans une perspective d'amélioration de la sécurité. Quoique bénéfiques, ces propositions émanant de disciplines particulières décrivent des processus « isolés » et ces nouveaux processus s'intègrent mal aux processus existants. Si le « *Framework* » permet d'appréhender le transport aérien comme un tout, cela permettrait de mieux intégrer les contributions de chaque discipline et le JCAWG pourrait faciliter la tenue de groupes de travail communs

interdisciplinaires dont la nécessité est identifiée par ailleurs .

## CONCLUSION

Même quand les concepts sont déjà présents dans la manière de faire de l'entreprise, l'approche Ingénierie Système est difficile à déployer.

Cela est particulièrement vrai dans le domaine de la conception d'un avion commercial tant l'expertise de chacun est grande et du fait de la multiplicité des disciplines, chacune d'elle ayant fait l'objet d'une formalisation indépendante.

Par delà l'esprit de compétition qui animent légitimement des équipes concurrentes, le besoin d'optimiser le produit dans son environnement conduit à devoir travailler ensemble pour le plus grand profit de tous : clients, partenaires, personnel des entreprises, actionnaires,...

La démarche multidisciplinaire proposée en ingénierie système facilite la compréhension par l'ensemble des participants, de la contribution de chaque discipline en offrant un cadre commun d'intégration des processus. Cette approche prometteuse nécessite une appropriation collective et individuelle.

Le groupe de travail JCAW de l'INCOSE offre un cadre d'échange d'expériences entre experts du domaine de la conception d'avions commerciaux à la fois universel par sa représentation internationale et unique par la diversité des domaines d'expertise représentés.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Electronic Industries Alliance (EIA), Processes for Engineering a System, ANSI/EIA Standard 632-1998, approved January 7, 1999.

Society of Automotive Engineers (SAE) in cooperation with the Federal Aviation Administration (FAA), Guidelines for the Certification of Highly-Integrated and Complex Aircraft Systems, ARP, 4754, 1996.

Jackson Scott, Systems Engineering for Commercial Aircraft, Ashgate Publishing Limited, 1997.

Jeffroy, et al, "Airbus System Engineering Policy," INCOSE Proceedings, 1999

Towards the Development of a Domain-Specific Framework for Systems Engineering: Commercial Aircraft, Scott Jackson et al, INCOSE proceedings, 2000.

Towards the Development of a Domain-Specific Framework for Systems Engineering, Mary Simpson, Erwin Duurland, et .al., Proceedings INCOSE 2nd European Systems Engineering Conference EuSEC 2000, Munich, Nov 2000

ISO/IEC 15288- « *System Life Cycle Processes* » est la première norme ISO qui s'intéresse à l'ensemble des processus du cycle de développement d'un système :en y incluant les interface entre les matériels, les logiciels et les personnes . Cette norme est actuellement à l'état de «*Draft*» de niveau 3 et dont la publication est prévue en Octobre 2002.

## BIOGRAPHIE

**Pierre de Chazelles** est ingénieur automaticien de formation. Il est aujourd'hui en charge du déploiement de l'Ingénierie Système à la direction du programme AIRBUS A380 après avoir acquis de l'expérience en ingénierie système dans des domaines aussi divers que l'Ingénierie des centrales électriques, l'ingénierie de retraitement nucléaire, l'ingénierie des équipements électroniques ou l'ingénierie des systèmes avioniques. Il est membre de l'AFIS et de l'INCOSE.

**Erwin Duurland** est un consultant en Ingénierie Système de la société néerlandaise ADSE. Il est diplômé en Techniques Aéronautiques de l'Université Technologique de Delfe et a débuté sa carrière chez Fokker.

Il travaille actuellement dans le cadre du programme ENHANCE dont l'objectif est le développement de processus et de méthodes d'Ingénierie Concourante pour des projets Aeronautiques Européens. Il est actuellement l'architecte système de ce projet.

Erwin a participé à la création du chapitre néerlandais de l'INCOSE et il co-préside le groupe de travail INCOSE Joint Commercial Aircraft Working Group (JCAWG) qui vise à l'application des concepts d'Ingénierie Système pour le développement des avions commerciaux.

**Alain JEFFROY** est ingénieur qualité au bureau d'étude d'EADS-Airbus. Il début sa carrière chez Sextant Avionique où il a assuré le développement de logiciels embarqués pour les familles Airbus A320 et A340. Il rejoint ensuite Aérospatiale pour y définir les méthodes de développement des logiciels et des systèmes aéronautiques. Il contribue en particulier à l'élaboration des directives AIRBUS pour le déploiement de l'ingénierie système (ABD0200 et AP2161)

Il travaille actuellement dans le cadre du programme A380 au déploiement de ces concepts.

Il est membre de l'AFIS.

**Christopher Dean** est reconnu en tant que spécialiste de l'Ingénierie Système au sein du département de recherche de la filiale britannique d'Airbus. Il co-préside depuis peu le Groupe de travail JCAWG et coordonne la branche locale (BRISTOL) du chapitre britannique de l'INCOSE. Avant de rejoindre British Aerospace en 1989, il a acquis 15 ans d'expérience en ingénierie des systèmes électroniques, en Ingénierie du logiciel et en intégration des systèmes dans différents secteurs industriels tels que: reprographie, instrumentation scientifique et télécommunications. Ses récentes activités se sont principalement focalisées sur les processus, incluant une initiative Européenne d'harmonisation des Processus, Méthodes et Outils utilisés par AIRBUS Industrie et ses partenaires pour développer les systèmes et les équipements avions. Son domaine d'intérêt actuel comprend l'Ingénierie des exigences; les méthodes collaboratives et l'approche système.