

# **Une méthodologie basée sur les modèles pour le développement d'interfaces homme machine**

**Projet de fin d'études**

**Vincent Lecrubier**



## TABLE DES MATIÈRES

<b>1 INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
1.1 REMERCIEMENTS .....	5
<b>2 PLACE DU STAGIAIRE.....</b>	<b>6</b>
2.1 LE DEPARTEMENT EYMM.....	7
2.2 L'EQUIPE EYMM PMT .....	11
2.3 L'EQUIPE @MOST.....	12
2.4 RELATIONS INFORMELLES .....	13
<b>3 OBJECTIFS DU STAGE .....</b>	<b>14</b>
3.1 HISTORIQUE DU PRODUIT FSA ET DE SON IHM .....	15
3.2 LES METHODES DE DEVELOPPEMENT DU FSA ET DE SON IHM .....	19
3.3 PROBLEMATIQUE ET MISSION .....	22
3.4 CONTEXTE.....	23
<b>4 DEROULEMENT DU STAGE .....</b>	<b>26</b>
4.1 CHRONOLOGIE DES ACTIONS EFFECTUEES.....	27
4.2 DESCRIPTION DES ACTIONS EFFECTUEES.....	29
4.3 DIFFICULTES ET LIMITES RENCONTREES .....	34
<b>5 RESULTATS OBTENUS.....</b>	<b>38</b>
5.1 ETAT DE L'ART MBSE HMI .....	39
5.2 METHODOLOGIE MBSE POUR LES IHM D'ATMOST .....	50
<b>6 CONCLUSION .....</b>	<b>69</b>
<b>7 ANNEXES.....</b>	<b>70</b>
7.1 BIBLIOGRAPHIE.....	71
7.2 TABLE DES SIGLES .....	72
7.3 TABLE DES FIGURES .....	74



## **1 Introduction**

Ce stage, d'une durée de 7 mois a été ma première expérience dans le monde de l'entreprise. J'ai eu la chance de l'effectuer dans une entreprise Leader dans le domaine aérospatial, Airbus.

Pratiquant le sport de haut niveau, ce stage a aussi été l'occasion de démontrer la viabilité de mon projet professionnel et de son intégration avec le sport.

Le stage a été centré autour d'un projet principal, la mise au point d'une méthodologie basée sur les modèles pour le développement d'IHM. Ce projet a été très stimulant intellectuellement. J'ai eu l'opportunité de définir des méthodes de travail pour des ingénieurs développant un produit réellement futuriste, puisqu'il est à l'échéance 2025.

Cette mission a été très intéressante sur de nombreux aspects, que nous allons évoquer tout au long de ce rapport.

## **1.1 Remerciements**

Je tiens à remercier tout particulièrement Didier SAINTEMARIE, mon tuteur de stage, pour la confiance qu'il m'a accordée du début à la fin.

Merci aussi à Christophe GARION pour m'avoir suivi du côté de Supaero.

Merci à mes collègues d'EYMM3 qui m'ont accompagné, aidé et soutenu pendant ces 7 Mois de stage : Emmanuel BARBIER, Nuno BELARD, Christophe BORDRY, Cassiano FREIXO, Francesco STELLA, et tous les autres membres de l'équipe.

Enfin, je remercie les membres de l'équipe PMT qui ont grandement contribué à la réussite de ce stage : Flavien BERGE, Bernadette SING, ainsi que Fabien GAUTREAULT et Olivier DUPOUY.

## 2 Place du stagiaire

Lors du déroulement du stage, j'ai travaillé sur un poste en interaction avec diverses Entités. Mon posté était hiérarchiquement dans le département EYMM. Géographiquement, j'ai été au contact des membres de l'équipe EYMM3. Mon travail s'est fait au sein de l'équipe Process, Methods&Tools (PMT) du département EYMM. Enfin, le livrable principale de mon stage s'adressait à une équipe travaillant sur un projet de recherche, @MOST.

Place de l'équipe dans l'entreprise et ses missions

- Equipe A350 EYMM3
  - Spécifier la partie software du système FSA pour l'A350
- Equipe PMT EYMM
  - S'occupe de Process, Methods & Tools au sein de EYMM Mission : fournir des process et méthodes pour les ingénieurs
- Equipe @MOST
  - Recherche et développement pour le système Aircraft Total Maintenance Operations Solutions & Technologies

Nous allons ici détailler ce contexte, ainsi que mes interactions avec ces équipes.

## 2.1 Le département EYMM

### 2.1.1 Place au sein de l'organigramme Airbus

Le stage s'est déroulé au sein du département EYMM, chaque lettre du sigle signifiant une subdivision :

- E : Engineering
- Y : Systems
- M : Maintenance Systems
- M : Maintenance Applications

L'équipe est donc en charge du développement de la partie applicative du système de maintenance embarqué à bord de l'avion.

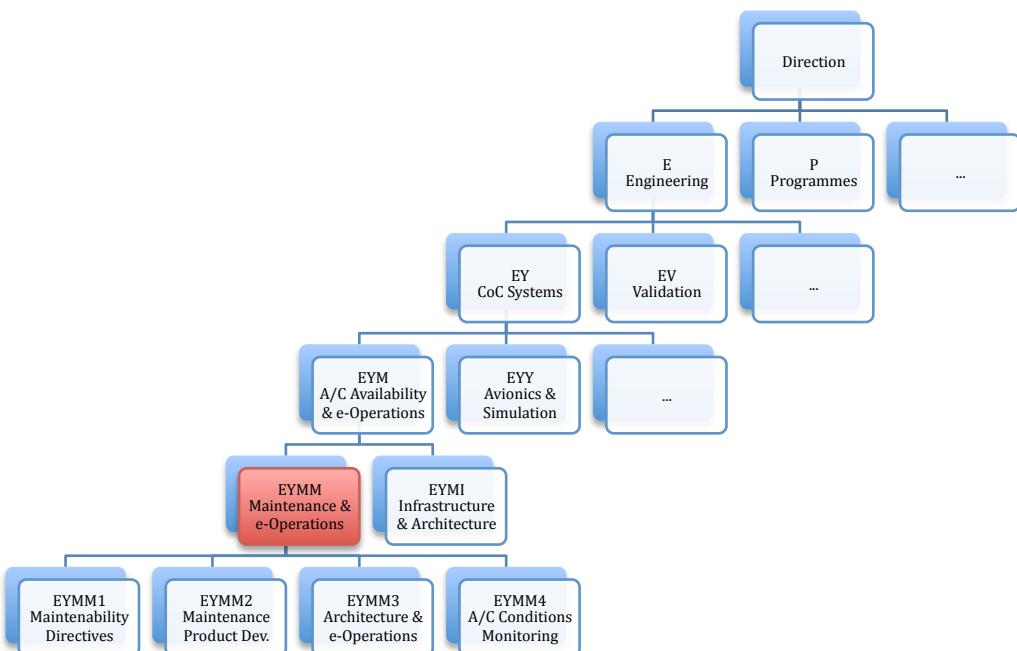
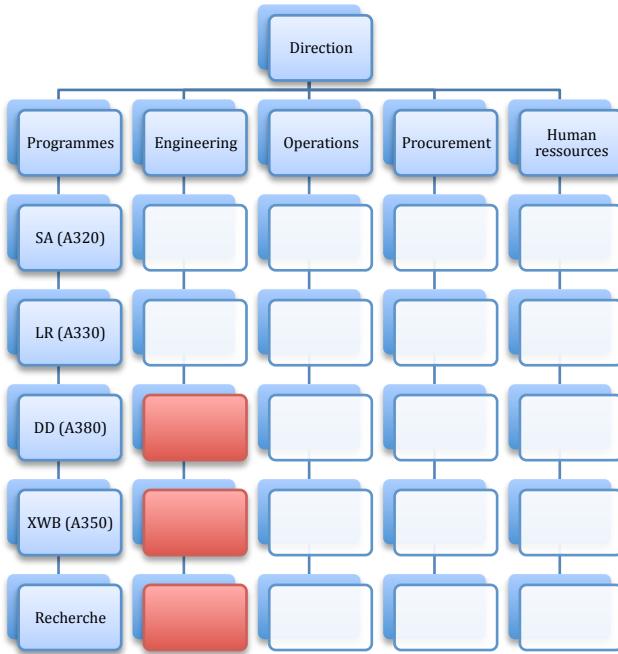


Figure 1 : Place du département EYMM au sein de la hiérarchie Airbus

Notons que lors du début du stage, le département était EDYMM, avec le D pour Design. Le changement d'organisation a eu lieu durant le mois de Janvier, sans avoir de conséquence sur le fonctionnement et les objectifs du département.

### 2.1.2 Place au sein de l'organisation matricielle d'Airbus

Au sein des cinq grandes fonctions d'Airbus, le département EYMM se situe évidemment dans la colonne Engineering. Au niveau des programmes, le département EYMM est centré actuellement sur le développement du FSA pour l'A350. Le département travaille aussi à l'amélioration et au support pour le FSA de l'A380 (NSS-OIS) et est en lien avec les activités de recherches concernant l'A30X, en particulier le programme @MOST dont nous reparlerons.



**Figure 2 : Place du département EYMM au sein de l'organisation matricielle Airbus**

L'organisation d'Airbus étant mixte, l'organisation matricielle n'est pas formellement définie administrativement, contrairement à l'organisation hiérarchique. Mais ceci ne l'empêche pas d'avoir une existence et un rôle bien réel, les différentes entités d'une même ligne de la matrice ayant des échanges réguliers via les responsables de programmes.

### **2.1.3 Produit : Fly Smart with Airbus**

Le produit généré par le département EYMM, après avoir reçu plusieurs appellations au cours du temps, des programmes et de sa maturité, s'appelle désormais Fly Smart with Airbus (FSA), quelque soit le programme.

Ce produit consiste en un ensemble de systèmes qui peuvent être en interaction avec :

- Les systèmes de l'avion, via les réseaux embarqués (AFDX, ARINC 429 ...)
  - Le centre de contrôle de maintenance (MCC) de la compagnie aérienne cliente (Messages de maintenance envoyés par satellite, réseaux 3G ou wifi au sol ...)
  - Les pilotes de l'avion
  - Les opérateurs de maintenance qui interviennent lorsque l'avion est au sol

Parmi ces différents systèmes, on trouve par exemple :

- Onboard Maintenance System (OMS), le système de maintenance embarqué dans son ensemble.
  - Data Loading & Configuration System (DLCS) qui permet de télécharger des logiciels, firmwares et fichiers de configuration sur les équipements embarqués, via le réseau AFDX.

- Aircraft Condition Monitoring System (ACMS) qui permet d'observer en temps réel les paramètres de l'avion, afin de faciliter le diagnostic de pannes.
- Power Distribution Control System (PDCS) qui permet de gérer la distribution électrique dans l'avion, par exemple en commandant à distance des coupe-circuits afin de faciliter la dépose d'un module.



**Figure 3 : Poste de l'OMS dans le cockpit A350**



**Figure 4 : Ecrans OIT (Extrêmes gauche et droite) dans le cockpit A350**

Il est important de noter que le département EYMM ne produit pas directement le FSA. En effet, EYMM produit la spécification qui sera envoyée aux fournisseurs avant de revenir au sein d'Airbus pour subir les étapes de Vérification et Validation (V&V) effectuées par un autre département (EVY).

#### **2.1.4 Importance stratégique de FSA**

Selon les compagnies, le coût d'opération d'un avion peut peser 30% du coût d'exploitation d'un avion, soit un chiffre comparable aux prix du carburant ou de l'amortissement.

Le produit FSA est d'une importance stratégique car il permet de diminuer fortement les coûts d'opération de la flotte d'appareils de la compagnie cliente :

- Réduction des temps de rotation à l'aéroport. (Objectif de 45min pour l'A350, au lieu de 90min pour des générations antérieures)
- Augmentation du taux de disponibilité de la flotte, grâce à l'amélioration de la gestion de la maintenance.
- Diminutions des coûts de maintenance, grâce à une meilleure efficacité du personnel qui profite de meilleurs outils.

## **2.2 L'équipe EYMM PMT**

Au sein du département EYMM, l'équipe Process Methods & Tools (PMT) m'a accueilli.

### ***2.2.1 Rôle de l'équipe***

L'équipe PMT a pour objectif d'améliorer l'efficacité du travail du département en agissant sur la manière de travailler de ses ingénieurs. Pour cela elle s'appuie sur différents axes énoncés dans son nom :

- Process : L'enchaînement d'actions nécessaires pour atteindre un objectif donné.
- Méthodes : La manière d'effectuer les actions nécessaires à la réalisation des objectifs.
- Outils : Les outils utilisés, qui doivent faciliter le travail, en plus d'être compatibles avec le process et les méthodes.

Le travail de l'équipe PMT a des répercussions sur des points clés :

- Qualité du produit final
- Respect des délais du programme
- Réutilisabilité de la conception pour les produits futurs, et compatibilité avec les produits existants

### ***2.2.2 Composition de l'équipe***

L'équipe PMT EYMM dirigée par Didier SAINTEMARIE est composée en partie d'intervenants extérieurs, de la société Safran Engineering Services. Ces intervenants travaillent en collaboration avec les employés d'Airbus sur des missions particulières. Lors de mon stage, j'ai eu l'occasion de travailler en étroite collaboration avec Flavien BERGE et Bernadette SING de Safran Engineering. J'ai aussi collaboré avec leurs collègues Fabien GAUTERAULT et Olivier DUPOUY.

## 2.3 L'équipe @MOST

L'équipe @MOST est l'équipe pour laquelle j'ai effectué mon travail de conception de méthodologie. Ne travaillant pas au quotidien dans le même bâtiment, j'ai eu assez peu d'occasions de les rencontrer dans un premier temps, étant plutôt intégré avec les équipes A350.

Afin de cerner le fonctionnement de l'équipe, j'ai pu m'appuyer sur les indications fournies par les membres de l'équipe PMT qui étaient en contact quotidien avec eux. De plus, de nombreux membres de l'équipe @MOST ont précédemment collaboré sur le projet A350, l'équipe @MOST est donc bien intégrée dans le département EYMM.

J'ai aussi pu m'imprégner de la culture des ingénieurs de cette équipe en profitant du travail de Fabien GAUTREAULT, de Safran Engineering Services, qui a effectué des interviews de concepteurs Systèmes.

J'ai finalement eu assez peu de relation avec cette équipe en dehors des réunions de présentation. Mais cette relative indépendance a été voulue par mon tuteur de stage afin de me permettre de définir une méthodologie basée sur l'état de l'art, plutôt que de recopier les désirs et remarques de l'équipe d'ingénieurs.

## **2.4 Relations informelles**

### ***2.4.1 Au sein de EYMM***

Au sein du département EYMM, j'ai pu profiter de nombreuses relations informelles avec les membres du département, en particulier avec les membres de EYMM3 et EYMM2 avec qui j'ai partagé l'espace de travail en open-space. De nombreuses conversations m'ont permis de comprendre certains aspects du travail en équipe ainsi que des aspects techniques du produit FSA.

Au contact de mes voisins de bureau Emanuel BARBIER, responsable de l'harmonisation des IHM sur le FSA A350, et de Christophe BORDRY, j'ai pu trouver des réponses claires face à mes interrogations concernant le système FSA de l'A350 et son IHM.

Enfin, Cassiano FREIXO et Nuno BELARD m'ont souvent rendu service en répondant à mes questions diverses et variées.

Pour finir, il faut aussi préciser que l'open space est un très bon endroit pour comprendre les relations au sein de l'entreprise. Les petites discussions téléphoniques et autres réunions improvisées dans l'open space n'ont pas manqué d'éveiller ma curiosité et de m'apprendre des choses sur le fonctionnement informel de l'entreprise.

### ***2.4.2 Au sein d'Airbus***

Des connaissances aux quatre coins d'Airbus m'ont parfois été fort utiles. J'ai eu plusieurs fois l'occasion de découvrir les méthodes de travail dans d'autres départements que EYMM, ce qui m'a donné beaucoup d'idées intéressantes pour mon travail personnel.

### **3 Objectifs du stage**

Cette partie concerne les objectifs du stage

Dans un premier temps, nous expliquerons le contexte, via un historique des systèmes de la famille FSA au sein d'Airbus. (FSA, puis NSS-OIS, FSA-NG, et enfin @MOST). Cet historique sera l'occasion de présenter les principales caractéristiques de ces systèmes, leurs qualités et leurs défauts, en se focalisant sur le cœur du stage : les interfaces homme machine.

Dans un second temps, nous essaierons d'interpréter cet historique à la lumière des méthodes et de l'organisation des équipes de travail, afin de mettre en évidence l'importance de la méthodologie dans les résultats obtenus.

Enfin, forts de ce constat, nous expliquerons la problématique et la mission proposée lors de ce stage.

### 3.1 Historique du produit FSA et de son IHM

#### 3.1.1 *Les prémisses*

Dès la création du consortium, les ingénieurs Airbus ont pris en compte l'importance des coûts d'opération des flottes d'avions. L'avionneur a donc toujours développé des produits permettant de faciliter l'opération de la flotte pour les compagnies clientes.

Avec les programmes Long Range (A330 et A340), l'idée d'un système permettant d'intégrer l'avion dans le système d'information de la compagnie aérienne prend son envol, avec l'apparition du système FlySmart with Airbus (FSA) au début des années 2000.

#### 3.1.2 *L'A380 et le NSS-OIS*

Mais c'est avec l'arrivée de l'A380 et de son système NSS-OIS que se concrétise la réalisation d'un véritable système centralisé concernant la gestion de l'opération de l'avion et de la flotte pour les compagnies. La présence du réseau AFDX et la séparation du réseau embarqué en un domaine critique (Aircraft Control Domain, ACD) et un domaine plus ouvert, utilisable pour des applications non critiques (Aircraft Information System Domain, AISD), permet la mise en place de systèmes réellement efficaces pour améliorer les opérations de maintenance.

Ces applications, permettant par exemple de télécharger des programmes et configurations sur les systèmes du bord (DLCS), de gérer la répartition électrique (PDMS), ou de visualiser l'état global de l'avion et de paramètres particuliers (ACMS) sont complètement étierk sur l'A380, transformant sensiblement le travail des opérateurs de maintenance, et ouvrant des perspectives pour l'avenir.

Ces efforts très prometteurs sont un véritable plus pour les compagnies clientes, mais le NSS-OIS laisse quelques insatisfactions aux utilisateurs et aux concepteurs, qui n'ont pas réussi à concevoir un système parfaitement mature, principalement pour des contraintes de temps et d'organisation.

Au niveau des aspects IHM, les principales critiques concernent le manque d'homogénéité entre les différentes applications. Chaque application dispose de sa propre IHM, son propre Look And Feel (LAF). Les logiques de navigation dans les IHM ne sont pas harmonisées, ce qui s'avère déconcertant pour les utilisateurs, et amène à des coûts de formation et de support trop importants.



Figure 5 : Les différents écran de l'IHM du NSS-OIS ne sont pas harmonisés

### 3.1.3 L'A350 et le FSA-NG

Les leçons apprises sur l'A380 ont permis une nette amélioration du FSA sur l'A350, qui prends alors le nom de FSA-NG, pour Nouvelle Génération. Le système est plus satisfaisant et mieux intégré que son prédécesseur, tout en ajoutant de nouvelles fonctionnalités et de meilleures performances. Le périmètre du FSA de l'A350 est aussi élargit, puisqu'il ne se limite plus à des systèmes à bord de l'avion, mais prends en compte des éléments extérieurs, comme le centre de maintenance, la formation des mainteneurs etc.

Au niveau des IHM, les retours des utilisateurs ayant testé les maquettes (prototypes de l'IHM finale) sont d'ores et déjà globalement positifs. Les problèmes détectés sur les IHM de l'A380 ont été réglés, les applications ont des IHM harmonisées, les utilisateurs arrivent plus rapidement à utiliser les

applications que sur A380. Les concepteurs eux-mêmes sont satisfaits de leur travail sur A350, et heureux de constater l'amélioration depuis le temps du NSS-OIS.

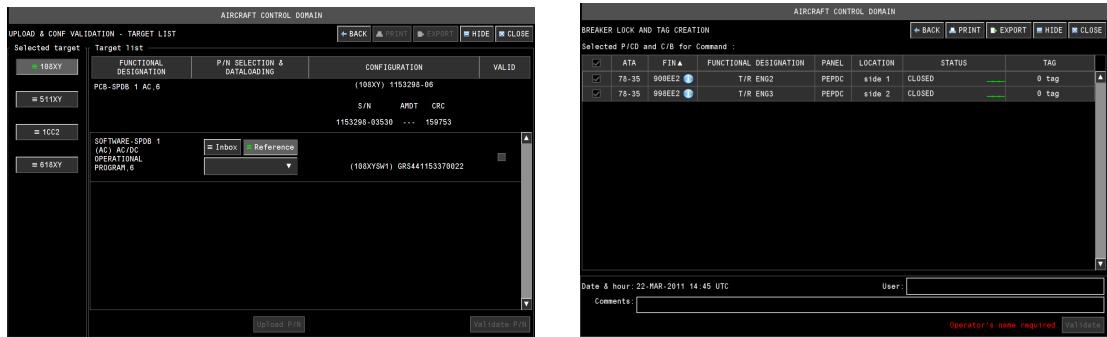


Figure 6 : L'IHM du FSA A350 est harmonisée et plus intuitive

Cependant, d'autres défis ont vu le jour. Le programme XWB apporte quelques nouveautés au système FSA. Ces innovations ont plus de mal à se faire accepter par les utilisateurs. Une des causes principales du rejet de leur rejet est leur IHM, qui ne répond pas aux critères d'utilisabilité qui auraient permis de libérer leur potentiel.

L'exemple du système e-Logbook (ELB) est significatif. Ce système ambitieux a pour objectif de remplacer le traditionnel Journal de bord papier (Logbook) sur lequel les pilotes et mécaniciens échangent des informations sur le fonctionnement de l'avion et les pannes. Ce système semble de prime abord intéressant puisqu'il permet entre autre de faire le lien entre le Logbook et les rapports automatiques de pannes, et d'offrir au mainteneur des informations interactives concernant la résolution de problèmes.

L'IHM est un point crucial pour l'acceptation d'un tel système, en effet, les utilisateurs ne l'adopteront que s'il est aussi simple à utiliser qu'un logbook papier. Et c'est sur ce point que les réticences voient le jour. En effet, pour utiliser le e-logbook, il faut s'installer devant le terminal, le démarrer, entrer son nom d'utilisateur et mot de passe, naviguer jusqu'à l'application, autant de tâches qui représentent une perte de temps par rapport à la solution traditionnelle.

Les nouvelles problématiques sur A350 vont donc au delà du simple design de fenêtres et de LAF. Les exigences des utilisateurs vont maintenant au delà de la simple clarté des IHM, des considérations d'ergonomie et de Facteurs Humains doivent être intégrées.

### 3.1.4 L'A3OX et @MOST

Le projet de recherche Airbus Total Maintenance & Operation Systems & Technologies, implique le département EYMM. Ce projet a pour objectif de développer de nouveaux concepts et systèmes pour la maintenance et l'opération des avions du futur, en particulier l'A3OX. L'horizon paraît assez lointain (2025) mais le travail commence dès aujourd'hui afin d'obtenir des solutions matures à l'échéance.

Se voulant bien intégré, le projet prend en compte un périmètre assez large. Le système prend en compte des acteurs tels que le centre de maintenance de la compagnie, l'équipage de l'avion, des mainteneurs avec des niveaux de qualification variés etc.

Centré autour de la performance des opérations, le projet avance des concepts avancés, tels que la réalité augmentée, la collaboration à distance, le diagnostic automatique de pannes, et de nombreux autres concepts destiné à réduire les couts d'exploitation tout en réduisant les délais de maintenance.

La performance et l'optimisation des temps de maintenance étant au centre du projet, il devient clair que les IHM trouvent un rôle de plus en plus prépondérant. Les applications s'éloignent de plus en plus du simple terminal d'accès et de modification des données. Elles s'apparentent de plus en plus à des applications de collaboration et d'interaction en temps réel. Le temps devient la variable à optimiser au maximum.

La qualité des IHM devient une variable stratégique, comme le souligne cet extrait de la stratégie du produit FSA :

« ...

- FSA External Drivers
  - More intelligent systems with precise information (replace this item, dispatch under MEL...)
  - HMI for mechanics must be as good as/better than for flight crews  
    > as intuitive as an IPad (as strong as an A/L GSE) !
  - One customer experience : Same HMI for all the fleet, customers do not want to learn different interfaces

... »



Figure 7 : Un concept possible pour l'A30X

## 3.2 Les méthodes de développement du FSA et de son IHM

La qualité des différentes générations du système FSA a été fortement influencée par les méthodes de travail des ingénieurs travaillant sur les projets. Nous allons ici voir le lien entre l'organisation du travail et le résultat sur le produit, en restant focalisé sur les IHM.

### 3.2.1 Sur A380 et ses prédecesseurs

Sur le NSS-OIS, les disparités entre les IHM des différentes applications viennent du fait que ces IHM ont été développées séparément, par les équipes de chaque système. Cette organisation du travail a eu plusieurs inconvénients :

- Incohérence des IHM entre les applications, à cause de la répartition du design des IHM entre différentes équipes non coordonnées.
- Difficulté pour la réutilisation postérieure des développements, les IHM et les application n'étant pas clairement séparées en suivant par exemple un design pattern de type MVC. De fait, les IHM développées pour l'A380 n'ont pas été réutilisées par la suite.
- Manquements dans l'ergonomie des IHM. Les IHM sont développées par des ingénieurs systèmes, non spécialistes de ce domaine. Le niveau d'utilisabilité et d'ergonomie des IHM s'en ressent. Les équipes spécialisées dans les Facteurs Humains ne sont intervenu que tard dans le cycle de développement, avec une liberté d'action forcément limité par l'architecture des IHM.

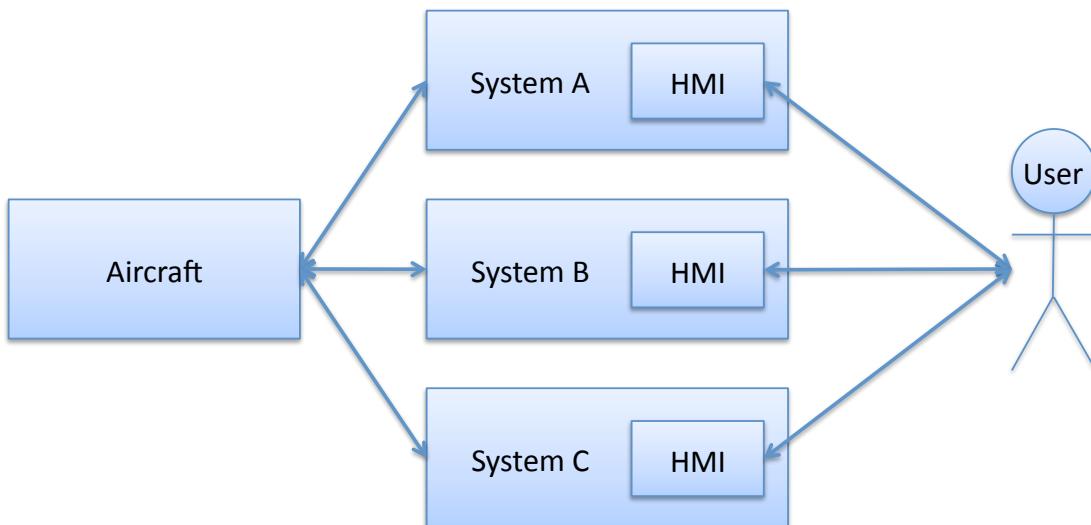


Figure 8 : Architecture du NSS-OIS sur A380

### 3.2.2 Sur A350

Sur le FSA-NG, les différentes IHM sont encore spécifiées par les équipes systèmes, mais il existe un rôle de coordonateur, et des documents relatifs à l'harmonisation de l'ensemble des IHM.

Le document Human-Machine Interface Requirements Document (HRD) permet de définir un point de départ et des règles communes pour toutes les IHM. Le document Onboard Maintenance System Look And Feel (OMS LAF) permet de définir l'apparence et le comportement basique de toutes les IHM, permettant aux spécialistes des Facteurs Humains d'intervenir plus tôt dans la boucle.

Il existe donc une certaine communalité dans les IHM. Malgré qu'il aie face à lui des IHM qui sont en réalité séparées, l'utilisateur a l'impression de naviguer au sein d'une interface intégrée.

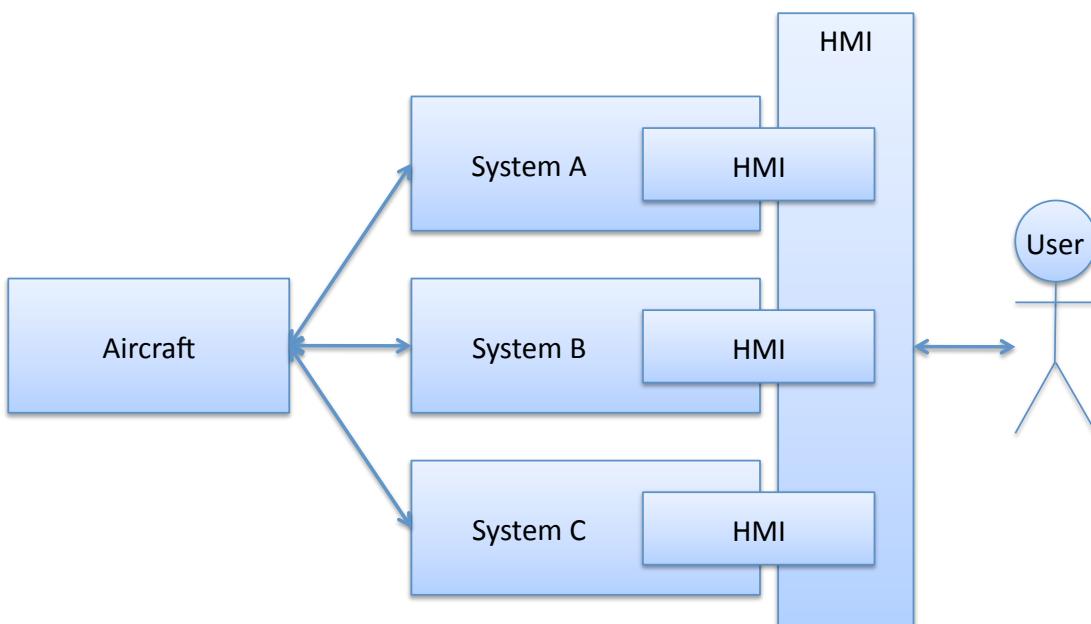


Figure 9 : Architecture du FSA-NG sur A350

Une avancée importante au niveau méthodologique a été la mise en place d'un processus de maquettage. Les concepteurs systèmes, non spécialistes des IHM, spécifient leur IHM, et l'équipe PMT met en place une maquette de l'IHM spécifiée, afin de d'avoir un retour plus rapide. Ceci permet de raccourcir la longueur des itérations, la maturité du produit est ainsi beaucoup plus facile à obtenir.

Plus précisément, il existe deux versions du prototype de l'IHM :

- Une maquette (Mockup), qui permet aux concepteurs d'essayer des idées et d'avoir un retour rapide afin de faire évoluer la spécification. La maquette est modifiée assez régulièrement en fonction des besoins des concepteurs.
  - Elle est utilisée par les concepteurs pour faire des évaluations de la qualité de leur conception, en vue de faire des choix techniques.

- Elle peut être utilisée, sous forme de captures d'écran, lors de l'écriture de la spécification, afin d'en faciliter la compréhension
  - Elle permet de se faire une idée de la qualité de la spécification, et de s'assurer qu'il existe le moins possible de trous de spécification.
- Un démonstrateur (Demonstrator), qui est le reflet de la dernière version de la spécification. Ce démonstrateur est mis à jour à chaque fois qu'une nouvelle version de la spécification est gelée, avec donc une fréquence plus faible que la maquette.
  - Il est utilisé pour avoir une idée de la maturité de la spécification par rapport aux objectifs
  - Il peut être utilisé pour la formation des futurs utilisateurs du système (training)
  - Il peut servir pour compléter la spécification qui sera envoyée aux sous traitants.

Ces prototypes sont écrits en Java par les équipes de Safran Engineering Services, via l'équipe PMT qui est responsable de la gestion des maquettes.

### 3.2.3 Sur @MOST

Le projet @MOST en étant à ses débuts, son organisation se calque pour le moment sur l'organisation utilisée sur l'A350, en particulier concernant le processus de maquettage.

A l'heure actuelle l'architecture des IHM du projet @MOST est semblable à celle du projet A350, mais lors de ce stage, une prise de conscience du statut particulier des IHM a été observée, et il semblerait que l'architecture d'@MOST se rapproche de plus en plus d'un modèle de type MVC, plus satisfaisant pour le développement d'IHM. L'IHM deviendrait alors un système à part entière, et non plus un ensemble de dépendances de chaque systèmes.

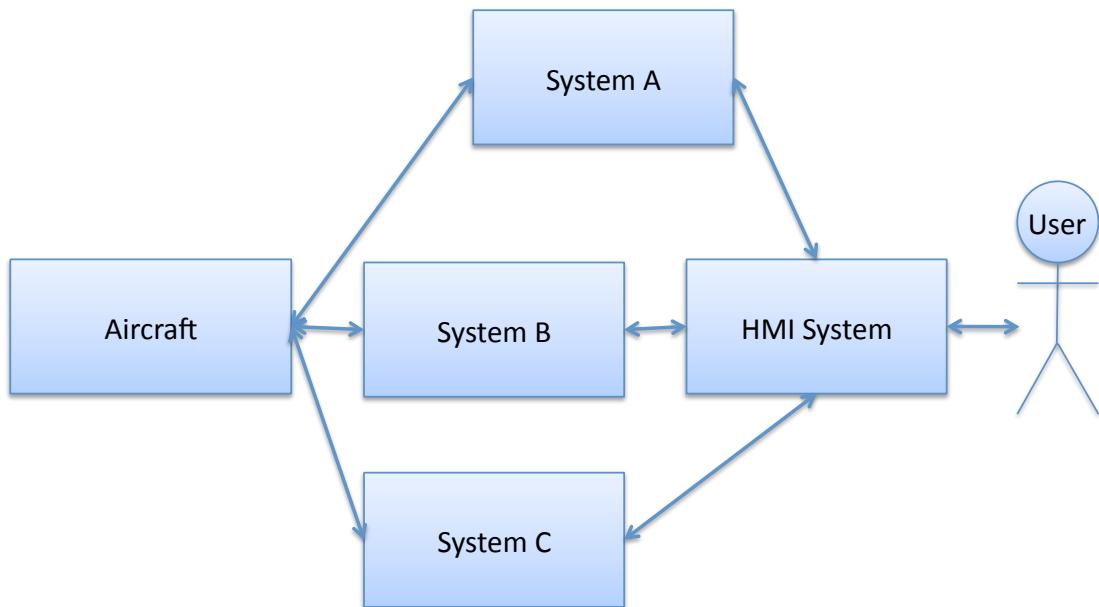


Figure 10 : Architecture en émergence pour @MOST

### 3.3 Problématique et mission

Le projet @MOST est un projet à long terme, la problématique principale est donc de pouvoir capitaliser le travail effectué sur plusieurs années. Il y a donc un besoin fort d'organisation du travail.

Fort des leçons apprises sur les programmes précédents, les équipes d'@MOST ne veulent pas répéter les mêmes erreurs.

Au niveau méthodologique, les points clés à améliorer sont les suivants :

- Amélioration de la vérification et validation (remontée du V)
- Réduction du temps des cycles de développement
- Assurance de la qualité des produits
- Implication des utilisateurs finaux dans le processus de développement
- Accord avec les principes du Lean Engineering (Par exemple la réduction des actions sans valeur ajoutée)

De plus, l'émergence des techniques de Model Based Systems Engineering (MBSE) semble ouvrir la porte à des applications qui trouveraient leur utilité dans le cadre de la spécification des IHM d'@MOST.

L'équipe PMT a donc détecté l'opportunité d'utiliser les techniques du MBSE qui commencent à avoir une maturité suffisante pour être utilisée sur un projet tel qu'@MOST

Dans ce contexte, la mission qui a été proposé pour au stagiaire a été le développement d'une Méthodologie basée sur les modèles pour la spécification d'interfaces homme machine (MBSE HMI Specification).

Cette méthodologie est destinée à être utilisée par les équipes d'@MOST pour le développement des IHM du projet.

### 3.4 Contexte

Le contexte de la mission qui a été proposée était donc celui de l'équipe @MOST, équipe composée de concepteurs systèmes ayant travaillé sur l'A350. Ces concepteurs ont déjà commencé à développer leur projet, pour cela ils utilisent les méthodes éprouvées sur le programme A350, et améliorées progressivement tout au long du déroulement de ce programme. Leurs objectifs sont à long terme (2025), bien que leur conception doive passer des barrières, appelées Maturity Gate (MG) régulièrement d'ici l'échéance.

Nous allons ici voir quelques points importants du contexte dans lequel s'inscrit la mission proposée.

#### 3.4.1 Culture de travail

Les personnes de l'équipe @MOST qui auront à utiliser la méthodologie développée sont principalement des concepteurs systèmes. Ces ingénieurs ont donc une culture « Systèmes », assez éloignée de la culture « Informatique » nécessaire aux fournisseurs pour développer le produit à partir de la spécification. Ce gap entre les cultures doit être pris en compte et les ingénieurs doivent faire un effort pour être compris dans les deux sens.

De plus, l'organisation et le management à Airbus, contraint par la taille énorme des projets, sont éloignés de la culture du monde de l'information, habitué aux projets beaucoup plus rapides.

On peut effectuer une comparaison afin de montrer le contraste entre le travail traditionnel des ingénieurs à Airbus, et les méthodes en vogue dans le monde IT, comme les méthodes agiles :

	Contexte Airbus traditionnel	Méthodes agiles
Taille des équipes	Grandes (>20)	Petites (<20)
Participation de l'utilisateur final	Besoin initial, Evaluation finale	Tout le long de la conception
Pouvoir de décision	Hiérarchie	Groupe de travail
Déroulement du projet	Versions incrémentales de la spécification	Prototypage itératif
Gestion des changements	Basée sur les versions de la spécification	Automatisée et continue
Pilotage du projet	Par le besoin	Par les enjeux et les risques
Durée des projets	Longue	Courts

Cependant, on peut remarquer les efforts en cours à Airbus pour se rapprocher des méthodes Agiles dans les cas où ces méthodes sont éligibles. On voit en effet de plus en plus de méthodes s'approchant des méthodes Agiles sur certains points parmi ceux présentés ci dessus.

L'exemple du processus de maquettage pour le FSA A350 est un bon exemple de méthodologie se rapprochant des méthodes agiles. Cependant, le rapprochement

est limité par le fait que les contraintes du monde aéronautique ne sont pas les mêmes que les contraintes du monde de l'informatique.

### **3.4.2 Objectif à Long terme**

Un autre élément clé du contexte de la mission proposée est la durée du projet @MOST. L'objectif étant à long terme, on ne connaît pas aujourd'hui l'évolution des technologies et les choix qui seront faits. La méthodologie développée doit donc être assez souple pour laisser la place à l'imprévu.

La méthodologie doit pouvoir s'adapter à différents imprévus qui peuvent intervenir lors de son cycle de vie :

- Changements technologiques
  - Emergence de nouvelles technologies
  - Obsolescence de technologies pressenties
- Changements stratégiques sur @MOST
  - Modification du périmètre des systèmes
  - Modification de l'environnement des systèmes, des acteurs
  - Emergences de contraintes nouvelles sur les systèmes
- Changements humains sur les utilisateurs de la méthodologie
  - Changement de la culture des équipes
  - Modification de la taille des équipes

Ces changements doivent donner lieu à un minimum de perte de travail, la réutilisabilité du travail effectué en amont doit être maximale, quels que soit les changements qui puissent intervenir dans un avenir qui reste imprévisible. La méthodologie doit donc être souple, et s'appuyer sur des bases solides.



**Figure 11 : Un exemple de changement technologique qui pourrait avoir un impact sur @MOST**

### ***3.4.3 Contraintes contractuelles***

Le processus de conception actuel est basé sur les documents. Cette cascade documentaire est très lourde à gérer et n'est pas optimale en terme de temps de développement. Cependant, cette cascade documentaire a l'avantage de laisser des traces et de fixer des bases solides pour la définition des contrats entre Airbus et ses fournisseurs, y compris si ceux ci sont d'autres département d'Airbus.

L'externalisation est un point important du fonctionnement d'Airbus, et la méthodologie devra prendre en compte cet aspect. Elle devra donc fournir des moyens pour assurer le statut contractuel de la spécification.

### ***3.4.4 Prise en compte des travaux en cours***

L'architecture du projet @MOST est aussi en train de subir un passage au MBSE. Il existe donc un modèle assez récent qui concerne l'architecture et l'intégration des différents systèmes d'@MOST. La méthodologie utilisée pour les IHM doit en tenir compte et pouvoir s'interfacer avec le modèle Architecture et Intégration.

De plus, l'équipe PMT a déjà donné des consignes aux concepteurs au sujet du développement de IHM d'@MOST. Il faut donc que la méthodologie proposée soit en accord avec les règles de travail déjà établies.

## **4 Déroulement du stage**

Ce chapitre concerne le déroulement du stage. Dans un premier temps (4.1) nous expliquerons le déroulement global du stage. Nous expliquerons ensuite le déroulement détaillé des différentes actions (4.2), avant de nous pencher sur les difficultés rencontrées et les moyens trouvés pour y faire face (4.3).

Les résultats du travail effectué sont expliqués au Chapitre 5.

Le travail d'ingénieur étant plein d'imprévus, il est clair que le déroulement présenté ici est autant le fruit d'une planification que de sa confrontation avec la réalité du travail au quotidien sur un sujet technique.

## **4.1 Chronologie des actions effectuées**

Cette section présente l'organisation globale des actions menées au cours du stage. La description détaillée du déroulement de chaque étape sera présentée dans les sections suivantes.

### **4.1.1 Présentation des actions effectuées**

Le stage s'est articulé autour de plusieurs actions menant à la mise en place d'une méthodologie fiable et efficace, dans le respect des contraintes. Ces actions ont été les suivantes, dans l'ordre chronologique :

1. Compréhension du contexte de travail et du besoin
2. Constitution d'un état de l'art au sujet des méthodologies basée sur les modèles pour le développement d'IHM
3. Définition d'une méthodologie basée sur les modèles pour le développement d'IHM
4. Déroulement d'un cas pilote et amélioration itérative de la méthodologie
5. Gel de la définition, communication et support

### **4.1.2 Feuille de route**

Sur la proposition du tuteur de stage, une feuille de route a été mise en place. Cette feuille de route a permis de garder une trace des évolutions dans le déroulement du projet.

La feuille de route (Figure 12) permet de se rendre compte du parallélisme de certaines tâches, ainsi que des trois domaines sur lesquels ont porté les travaux :

- HMI MBSE PMT State of the art  
Compréhension du contexte et état de l'art (Etapes 1 et 2 définies au 4.1.1)
- @MOST MBSE HMI  
Définition d'une méthodologie pour la conception d'IHM, puis cas pilote et communication (Etapes 3, 4 et 5)
- @MOST MBSE A&I  
Intégration de la méthodologie concernant les IHM avec la méthodologie existante concernant l'architecture des systèmes (Lors des Etapes 3, 4 et 5)

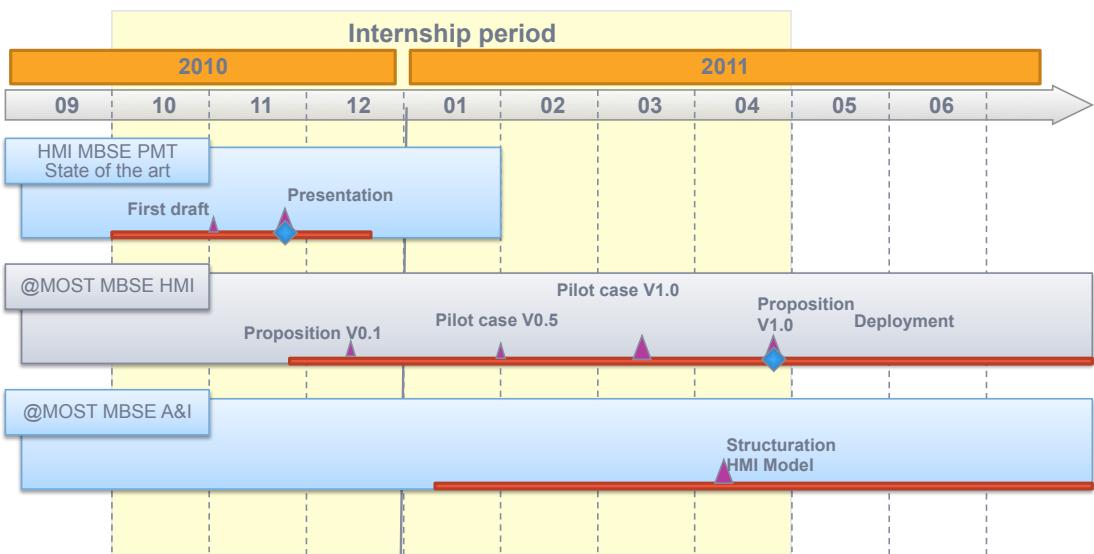


Figure 12 : Feuille de route du stage

## 4.2 Description des actions effectuées

Nous allons ici approfondir la description du déroulement des différentes étapes du travail, présentées au 4.1.

Les difficultés rencontrées pendant les différentes étapes seront quand à elles présentées au 4.3.

Les résultats du travail seront présentés au Chapitre 5.

### 4.2.1 Compréhension du contexte de travail et du besoin

Cette première phase, qui a principalement duré lors des 2 premiers mois de stage, a consisté à s'imprégner du contexte de travail et comprendre les objectifs du stage. Les moyens utilisés pour trouver des informations lors de cette première étape ont principalement été l'Intranet Airbus (Airbus People) et la communication avec les collègues de travail, ainsi que la participation aux réunions hebdomadaires.

Les différentes composantes de ce travail furent les suivantes :

- Recherches sur l'organisation interne d'Airbus et des programmes
  - Structure du département
  - Organisation du « business model » du département et des fournisseurs et sociétés de conseil gravitant autour
  - Composition des équipes et état des relations (formelles et informelles) au sein du département
- Conversations avec les équipes de concepteurs systèmes afin de comprendre leur culture et leur travail
  - Introduction au métier de concepteur système dans l'équipe EYMM
  - Découverte du produit FSA de l'A350 afin d'avoir une idée claire du produit fini conçu au sein du département
- Conversations avec les membres de l'équipe PMT afin de comprendre le besoin en terme de méthodologie et d'avoir un retour d'expérience
  - Conversation avec les membres de l'équipe PMT de Safran Engineering Services afin de comprendre les enjeux de la définition de méthodologies
  - Lecture du travail des Stagiaires précédent ayant travaillé sur le sujet, en particulier du travail de Fabien GAUTREAULT, ex stagiaire à Safran Engineering Services ayant travaillé sur le maquettage d'IHM.
- Mise en place d'une feuille de route pour le projet
  - Définition des grandes actions à effectuer
  - Modifications de la feuille de route en fonction du déroulement des actions planifiées

#### *4.2.2 Constitution d'un état de l'art au sujet des méthodologies basée sur les modèles pour le développement d'IHM*

Dans cette première phase constructive, qui a démarré assez rapidement, pour durer sur les 2 premiers mois, l'objectif était de rassembler un maximum d'informations sur les méthodologies et outils d'avenir pour le développement d'IHM basé sur les modèles.

Les sources d'information ont été principalement des publications scientifiques accessibles sur Internet, comptes rendus de conférences, ainsi que des publications scientifiques accessibles grâce au centre documentaire d'Airbus (DocLand).

Ce travail s'est décomposé comme suit :

- Recherches sur le MBSE au sein d'Airbus
  - Recherche d'information concernant le MBSE sur le réseau interne
  - Lecture des « Lessons Learnt » concernant le MBSE sur le réseau interne
  - Démarchage de personnes identifiées comme ayant travaillé sur le MBSE afin d'obtenir des informations et retours d'expérience
- Recherches sur le MBSE pour les IHM, à l'extérieur d'Airbus,
  - Lecture de comptes rendus de conférences afin d'identifier les équipes travaillant sur le sujet à travers le monde
  - Consultation des travaux des scientifiques identifiés
  - Téléchargement et essais des outils disponibles concernant le MBSE pour les IHM
  - Contacts avec les équipes présentant des résultats intéressant pour en savoir plus sur l'utilisabilité éventuelle de leurs travaux
- Compilation des résultats et mise en évidence de tendances se dessinant pour l'avenir du MBSE pour les IHM
  - Mise en avant de grandes tendances se dessinant pour l'avenir
  - Travail d'élimination des tendances qui n'ont été que des effets de mode, ou qui ne sont plus actives
  - Regroupement des idées communes trouvées dans différents travaux
- Présentation des résultats aux équipes d'Airbus
  - Présentation des tendances intéressantes
  - Présentation des travaux les plus significatifs
  - Retour et discussions sur la pertinence des différentes approches identifiées

#### *4.2.3 Définition d'une méthodologie basée sur les modèles pour le développement d'IHM*

A partir des éléments trouvés lors de l'Etat de l'art et du retour des équipes sur leur pertinence ou non pertinence, il a été possible de commencer à développer un squelette de base à la méthodologie. Ce squelette de base est destiné à être modifié progressivement afin d'obtenir au final une méthodologie satisfaisante.

La définition s'est faite en suivant les étapes suivantes :

- Intégration des éléments de l'état de l'art qui seront intégrés à la méthodologie définie.
  - Choix des aspects les plus pertinents parmi ceux identifiés lors de l'état de l'art
  - Réflexion sur l'intégration de ces différents éléments selon des axes pertinents
- Choix d'un formalisme
  - Prise d'informations sur les différents formalismes possibles
  - Définition de critères de choix : communauté d'utilisateurs, polyvalence, besoins de formations...
  - Choix d'un formalisme (SysML) puis formation à ce formalisme en vue de l'utiliser par la suite
- Choix des outils associés
  - Prise d'informations sur les différents outils disponibles
  - Définition de critères de choix : prix, complexité, performance, dynamisme du développement, évolutivité...
  - Choix d'un outil (Topcased) puis formation à cet outil en vue de l'utiliser par la suite
- Structuration d'un modèle prenant en compte le besoin initial
  - Définition des grands axes qui seront intégrés au modèle
  - Essais et erreurs pour définir un squelette satisfaisant et permettant d'exprimer tous les aspects importants d'une IHM
  - Nombreux choix conceptuels entre différentes représentations possibles en SysML des éléments d'IHM
- Présentation des résultats préliminaires aux équipes
  - Mise en place d'une présentation claire de la structuration du modèle
  - Effort d'explication et de communication
  - Prise en compte des retours et modification du modèle en conséquence

Pour la formation aux formalismes et outils utilisés, j'ai pu m'intégrer dans des formations rapides au sein des équipes Airbus, et j'ai profité de ma formation à Supaéro qui m'avait introduit à ces formalismes et outils.

La phase de définition du modèle a été l'une des plus stimulantes intellectuellement, elle m'a permis de faire face à des défis intéressants qui sont évoqués dans la Section 4.3.

#### **4.2.4 Déroulement d'un cas pilote et amélioration itérative de la méthodologie**

Après la phase de définition, il a fallu mettre la méthodologie à l'épreuve en l'appliquant sur un sujet réel. Ceci a été l'occasion d'affiner progressivement la méthodologie afin d'obtenir des résultats intéressants.

A noter que j'ai joué moi même le rôle du concepteur système lors du déroulement du cas pilote. Les implications sont discutées dans la Section 4.3.3.

Remarquons aussi que les documents utilisés en entrée pour le cas pilote sont les documents de spécification du programme A350, alors que la méthodologie

s'appliquera au projet @MOST. Ceci a été décidé pour des raisons pratiques, mais n'enlève pas à la pertinence du cas pilote.

Les étapes suivantes ont été suivies pour le déroulement du cas pilote :

- Choix d'un système qui servira de cas pilote sur lequel appliquer la méthodologie de développement définie
  - Définition de critères pour le choix du système sélectionné comme cas pilote : Le système doit être bien connu par les équipes, Son IHM doit être représentative, ni trop simple ni trop complexe, il doit permettre d'exploiter tous les aspects de la méthodologie.
  - Choix du système servant de cas pilote : le Data Loading & Configuration System (DLCS)
- Agrégation des différentes informations utilisées en entrée pour le déroulement du cas pilote
  - Choix d'une version de la spécification qui sera utilisée en donnée d'entrée pour le cas pilote
  - Regroupement des différents documents de spécification qui seront utilisés (HRD, FRD, Use cases, DFS)
  - Extraction des données importantes réellement utiles
- Utilisation de la méthodologie, développement du cas pilote
  - Modélisation de tous les aspects haut niveau du système choisi (DLCS)
  - Modélisation de certains aspects plus précis du système choisi, afin d'utiliser toute la profondeur de la méthodologie (La modèle est en forme d'arbre, le cas pilote concerne Le tronc et explore quelques branches jusqu'aux feuilles, sans modéliser l'arbre tout entier)
- Attribution des rôles des utilisateurs de la méthodologie
  - Identification des différents domaines de compétence nécessaires dans les différentes parties du modèle.
  - Attribution des parties du modèle à différents rôles parmi les équipes de concepteur (Operations, Fonctions, Systèmes, Facteurs Humains (FH))
- Mise en évidence et définition des problèmes rencontrés, retour d'expérience sur l'utilisation de la méthodologie
  - Constatation de problèmes structuraux ou impossibilités logiques nécessitant une refonte de certains aspects du modèle
  - Constatation d'améliorations possibles en terme de productivité ou de compréhensibilité du modèle
  - Réflexions sur les besoins liés à l'intégration de la méthodologie dans son environnement.
- Modification de la définition, mise à jour de la méthode basée sur le retour d'expérience
  - Modification de la méthodologie itérative en fonction des besoins
  - Discussion de ces modifications avec les membres de l'équipe PMT

#### **4.2.5 Gel de la définition, communication et support**

Enfin, une fois le cas pilote terminé, la fin du stage approchant, il a fallu geler une définition de la méthodologie, et l'intégrer dans son contexte.

Cette phase est avant tout une phase d'explication du travail effectué lors du stage, afin qu'il trouve une utilité.

- Dernières retouches, harmonisation
  - Application des dernières modifications nécessaires à la méthodologie
  - Harmonisation de différents aspects de la méthodologie
  - Opérations d'ordre cosmétique sur le modèle, pour le rendre plus agréable à utiliser et consulter.
- Mise en place du lien avec le modèle Architecture et Intégration (A&I)
  - Etude du modèle A&I et de l'architecture d'@MOST
  - Intégration des deux modèles, définition de ponts entre les deux modèles
  - Etude de la fusion possible des deux modèles, qui utilisent le même outil et le même formalisme.
- Préparation du support de la méthodologie
  - Rédaction de différents documents concernant certains aspects de la méthodologie MBSE pour les IHM d'@MOST
- Ouverture sur l'avenir
  - Expérimentations sur les utilisations possibles de la méthodologie à plus long terme
  - Constitution d'un ensemble d'applications possibles du modèle.
- Présentation de la méthodologie aux équipes concernées
  - Préparation d'une présentation pour les équipes d'@MOST concernées.
  - Rédaction d'une note technique concernant la méthodologie et intégrant les remarques des équipes.

### 4.3 Difficultés et limites rencontrées

La mise en place d'une méthodologie basée sur les modèles, qui a pour vocation d'être utilisée à long terme sur des technologies qui commencent juste à se développer, représente un défi. Certaines difficultés étaient prévisibles, d'autres ne l'étaient pas. Ces difficultés représentent avant tout des défis intéressants.

Certains passages de cette section font référence aux difficultés rencontrées pour atteindre certains résultats. Il peut être nécessaire de consulter d'abord le chapitre 5 pour comprendre certains aspects expliqués ici.

#### 4.3.1 *Caractère peu commun du MBSE pour les IHM*

Une grande majorité des IHM sont développées dans le monde de l'informatique. Le plus souvent le développement des IHM se base sur du maquettage itératif. De plus, les entreprises du monde de l'informatique développent souvent elles-mêmes les IHM pour leurs produits. La question de la spécification basée sur les modèles a donc peu de sens, car les IHM n'ont en général pas besoin d'être spécifiées de manière contractuelle comme c'est le cas à Airbus.

Par conséquent, il a été assez difficile de trouver des travaux de recherche dans le domaine de la spécification basée sur les modèles pour les IHM.

La plupart des travaux de disponibles à la lecture concernent des aspects qui ne sont pas directement utiles dans le cadre de la mission :

- Modélisation du comportement des utilisateurs d'IHM
- Aspects liés aux IHM du web (Gestion de différents terminaux, différentes résolutions, génération automatique d'IHM basées sur un même modèle)
- Définition de formalismes obscurs pour la modélisation d'aspects particuliers des IHM

Au final, la quantité de littérature directement applicable pour répondre au besoin est extrêmement faible. Par exemple il n'existe qu'un seul Workshop annuel sur ce thème particulier : Model Driven Development of Advanced User Interfaces (MDDAUI).

Cependant, la lecture des travaux concernant des thèmes à priori éloignés a été très utile, et a permis de faire germer des idées intéressantes qui ont été intégrées dans le résultat.

#### 4.3.2 *Choix conceptuels*

Lors de la définition de la modélisation, phase expliquée au 4.2.3, des choix conceptuels ont été nécessaires. Le formalisme SysML choisi doit son succès à son caractère polyvalent. Cette polyvalence alliée à son formalisme relativement souple permet de modéliser un seul et même objet selon différents points de vue.

Cela s'avère indispensable pour modéliser certains systèmes. Pour la modélisation d'IHM, qui est un domaine assez complexe et possédant de nombreux aspects, Ceci a donné lieu à des choix d'importance. Voici un aperçu de

différents choix qui ont été faits, et qui impliqueront les potentiels utilisateurs de la méthodologie :

- Pour représenter le workflow de l'utilisateur utilisant l'IHM, le choix s'est porté sur :
  - Représenter le workflow du point de vue de l'utilisateur, sous forme de tâches (Ex. : Renseigner son nom dans le formulaire)  
Plutôt que :
    - Représenter le workflow du point de vue de l'ordinateur (Ex. : Demander le nom de l'utilisateur)
- Pour modéliser les tâches que l'utilisateur d'une IHM exécutera, le choix s'est porté sur :
  - Représenter ces tâches de manière « abstraite », c'est à dire les aspects fonctionnels, indépendants de la solution qui sera mise en place.  
Plutôt que :
    - Représenter ces tâches de manière « concrète », c'est à dire les tâches que l'utilisateur aura réellement à effectuer en utilisant l'IHM du produit fini.
- Pour modéliser le comportement de la solution d'IHM conçue, le choix s'est porté sur :
  - Un ensemble de diagrammes d'états reliés par des contraintes  
Plutôt que sur :
    - Un ensemble de diagrammes d'activité

Certains choix auraient pu être très difficiles, mais l'étude de l'état de l'art a permis de défricher les possibilités, donnant de bonnes orientations. Ceci a permis de prendre des choix motivés par des critères rationnels plutôt que par des aprioris.

De plus, la discussion avec les autres parties prenantes de l'équipe PMT et avec les concepteurs systèmes a permis de faire les meilleurs choix. Ces discussions ont permis de profiter de l'expérience des membres de l'équipe afin de prendre les décisions les plus consensuelles possible.

#### **4.3.3 Représentativité du cas pilote**

Le cas pilote a été développé en suivant la méthodologie définie, en se mettant à la place de l'utilisateur de la méthodologie.

La grande différence entre le cas pilote et un cas réel tient dans le fait que j'ai joué seul le rôle de concepteur système sur le cas pilote. Dans un cas réel, une équipe de concepteurs système aurait dû collaborer sur le même modèle. Le cas pilote est donc assez représentatif, mais avec les limites suivantes :

- Un seul utilisateur de la méthodologie dans le cas pilote, collaboration de concepteur dans un cas réel.

- Connaissance parfaite du modèle défini dans le cas pilote, puisque l'utilisateur de la méthodologie en est aussi le concepteur. Dans le cas réel, il faut un effort de formation, la connaissance totale et précise de la méthodologie ne peut pas être exigée, d'où une utilisation probablement moins efficace.
- Le cas pilote a un périmètre plus restreint qu'un cas réel qui intègrerait tous les systèmes.

Afin d'affiner la méthodologie avant de l'utiliser à l'échelle du projet, il est prévu de lancer un autre cas pilote, cette fois ci à plus grande échelle et avec les véritables concepteurs du projet @MOST.

#### **4.3.4 Interface avec le travail de Safran Engineering**

Les conseillers de Safran Engineering qui font partie de l'équipe PMT ont déjà mis en place un processus pour le développement d'IHM. Il a donc fallu intégrer la méthodologie dans ce cadre bien défini. Cela implique les contraintes suivantes, qui sont indispensables au bon déroulement du projet :

- Répartition des rôles des différents concepteurs, et implication chronologique des différentes intervenants au cours du déroulement du projet.
- Transition progressive entre la méthodologie actuelle définie sur les conseils de Safran Engineering, et la méthodologie basée sur les modèles.
- Garder la possibilité de l'utilisation d'un outil développé en interne chez Safran. Cet outil (Page Diagram Editor (PDE)) est utilisé sur le programme A350 pour aider à la spécification d'IHM.
- Interface avec le développement de la maquette @MOST, qui se fait en parallèle du développement de la spécification basée sur le modèle.

Remarquons que ces contraintes ont plutôt joué le rôle de cadre. Ceci a permis d'orienter le développement de la méthodologie, qui s'intègre ainsi au mieux avec le contexte dans lequel elle sera utilisée.

#### **4.3.5 Difficulté à mettre un point final à un travail de recherche**

Une leçon importante apprise durant ce stage concerne la difficulté qu'il y a à donner le statut « Terminé à 100% » à un travail de recherche. Lors des phases de recherche ouverte, plus le travail avance et prend forme, plus de nouvelles opportunités se dévoilent. La quantité de travail restant semble proportionnelle au temps déjà passé sur le sujet. En conséquence, on comprend qu'il soit possible de passer toute une vie sur un seul sujet de recherche. Cependant les contraintes de l'entreprise font qu'il faut savoir mettre un point final à un travail de recherche, bien que celui le travail puisse paraître incomplet au vu de l'immensité des possibilités.

Ce phénomène de limites qui se repoussent à l'infini s'est présentée par deux fois. La première fois a été lors de la capture de l'état de l'art, où chaque semaine qui passait apportait son lot de nouveautés. La deuxième manifestation de ce phénomène s'est présentée pendant la phase de mise au point et d'affinement de la méthodologie. La méthodologie mise en place est très complète, et les

possibilités offertes par le MBSE sont très importantes. En conséquence, on aurait pu passer des années à compléter la méthodologie, lui apporter des raffinements subtils, et combler tous les petits problèmes et incohérences qui se présentaient. Mais la méthodologie serait devenue de plus en plus complexe, jusqu'à exploser complètement, devenant inutilisable à cause de sa complexité.

La solution à ce problème est de fixer rapidement des objectifs, ou à défaut, des bornes. Ces bornes peuvent être des critères sur le travail effectué, permettant d'en jauger la qualité et l'utilité. Une fois les bornes ou objectifs atteints, le travail de recherche prend fin et il faut passer à la phase d'application. Tout travail de recherche doit donc commencer par la définition d'objectifs quantitatifs permettant d'estimer le succès ou non du travail. Cette phase de définition d'objectifs est un point nouveau lorsqu'on arrive dans le monde de l'entreprise. En effet, lors du cursus scolaire, les objectifs sont le plus souvent fixés par les professeurs, l'élève se contentant de remplir les objectifs fixés.

## **5 Résultats obtenus**

Ce chapitre a pour objectif de présenter les deux principaux livrables de ce stage. Il s'agit de :

- L'état de l'art des méthodes de spécification d'IHM basées sur les modèles.
- La méthodologie basée sur les modèles pour la spécification d'IHM basée sur les modèles dans le cadre d'@MOST.

Cette présentation sera factuelle, pour plus d'information sur les moyens mis en œuvre pour atteindre ces résultats, l'on pourra consulter le Chapitre 4 : Déroulement du stage.

## **5.1 Etat de l'art MBSE HMI**

La totalité du document (Au format pptx) présentant l'état de l'art est disponible en annexe. Cette section présente un résumé des idées principales exprimées dans le document.

Les informations concernant les moyens utilisés pour constituer ce document sont disponibles à la section 4.2.2.

### **5.1.1 Présentation**

L'état de l'art fait un résumé des techniques existantes en matière de spécification d'IHM basée sur les modèles, selon les 3 axes développés par l'équipe PMT :

- Processus
- Méthodes
- Outils

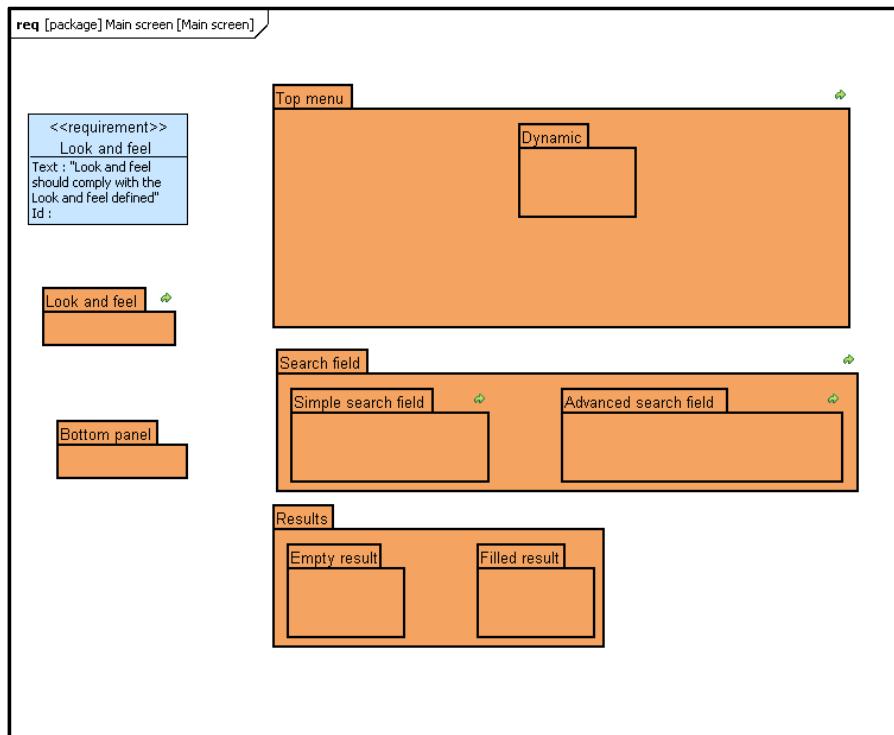
Certains éléments présentés peuvent appartenir à plusieurs catégories en même temps. Par exemple, un papier de recherche peut présenter un processus de conception et les méthodes qui lui sont associées.

Les travaux présentés au reste de l'équipe PMT dans ce document représentent une petite partie des travaux de recherche dont j'ai eu connaissance. Cependant, il s'agit des plus significatifs et des plus appropriés pour répondre au besoin.

### **5.1.2 Contenu**

Voici la liste des différents éléments présentés dans l'état de l'art du MBSE pour les IHM, ainsi que leurs principales caractéristiques :

- SysML dans Topcased
  - SysML est un formalisme, Topcased est un outil
  - Utilisés et développés à Airbus
  - Utilisables tout au long du cycle en V
  - Avantages et inconvénients :
    - + Adaptés à l'ingénierie systèmes à la mode Airbus
    - + Très polyvalents
    - + Formalisme standard, bien organisé et défini
    - Un peu complexe à apprendre pour des concepteurs systèmes
    - Pas spécialisé dans les IHM



**Figure 13 : Vue générale d'un modèle SysML sous Topcased**

- Page Diagram Editor (PDE)
  - Outil avec un formalisme propriétaire, proche des diagrammes d'état en SysML.
  - Développé par Safran Engineering Services pour le développement du FSA A350
  - Utilisable pour la spécification de la structure des IHM
  - Avantages et inconvénients :
    - + Formalisme et outil simple à comprendre
    - Formalisme non standard, parfois ambigu
    - Basé sur le paradigme « Ecran, Pointeur, Fenêtres » (Window, Icon, Menu, Pointing Device (WIMP)), qui n'est peut-être pas promis à un grand avenir.

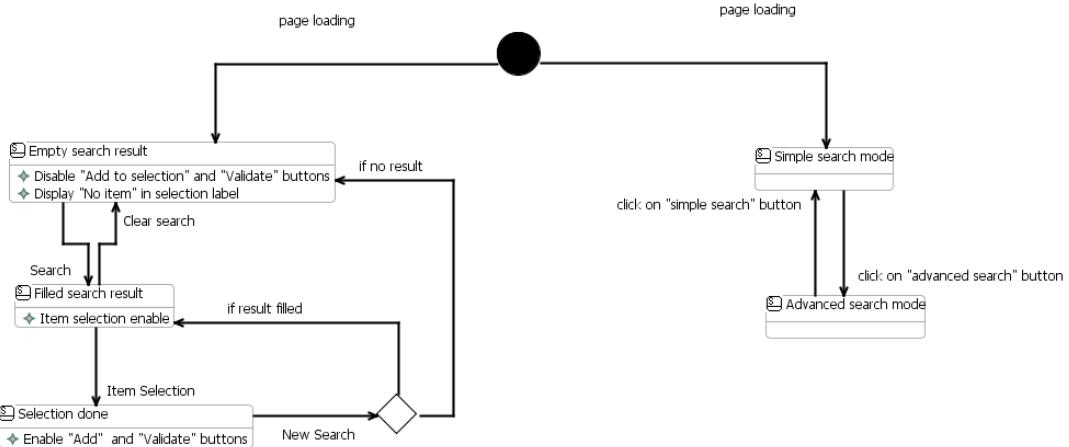


Figure 14 : Un schéma généré avec PDE, représentant le comportement d'une IHM

- Génération automatique du comportement d'une interface utilisateur (UI) à partir d'un modèle de haut niveau.
  - Processus de développement et Méthodologie associée. Le concepteur produit un modèle linguistique de l'interaction entre l'homme et la machine sous forme d'un discours, avec questions et réponses. Le processus donne en sortie une Machine à état représentant le comportement de l'IHM implémentant la solution.
  - Présentée par une équipe de l'université de Technologie de Vienne
  - Utilisable pour le haut du cycle en V
  - Avantages et inconvénients :
    - + Modèle de très haut niveau, compréhensible facilement par toutes les parties prenantes du projet
    - + Le résultat est très formel et fait une très bonne spécification.
    - + Approche très générale, adaptables au IHM du futur, sans se focaliser sur le paradigme WIMP
    - Pas d'outil mature pour supporter la méthodologie

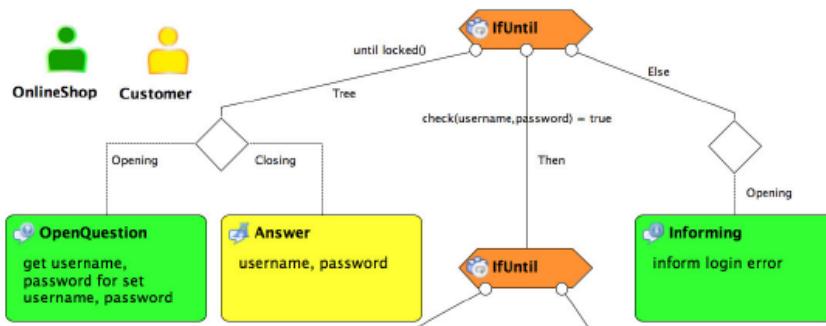
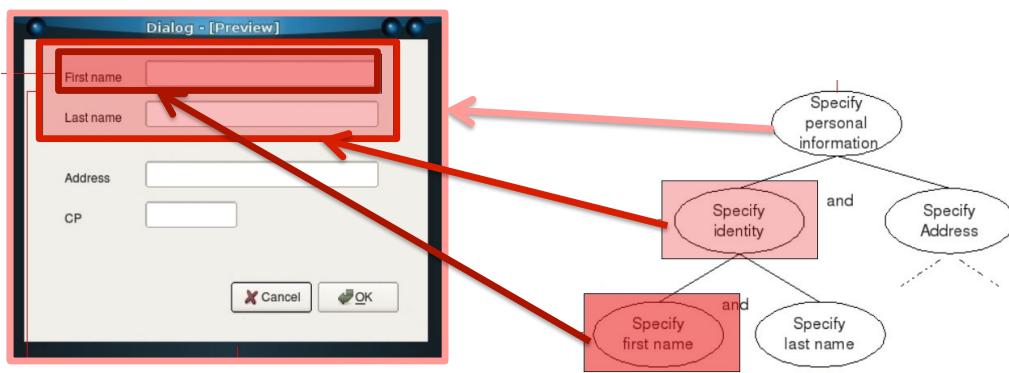


Figure 15 : Un formalisme pour représenter les interactions sous forme de conversation

- Création d'interfaces utilisateur auto explicatives grâce à l'ingénierie dirigée par les modèles

- Méthodologie consistant à faire le lien entre un modèle des tâches de l'utilisateur de IHM, et les Éléments de l'IHM. La machine a donc conscience de la tâche utilisateur associée à chaque élément de l'IHM, à chaque Widget. La machine peut donc expliquer à l'utilisateur ce qu'il est censé faire de chaque élément de l'IHM. La génération de l'IHM peut être automatisée.
- Présenté par l'Université de Grenoble et le CNRS, LIG
- Utilisable sur la phase descendante du cycle en V
- Avantages et inconvénients :
  - + Approche multiplateforme
  - + Traçabilité parfaite entre un modèle de tâche et la solution d'IHM implémentée
  - Approche de recherche, non mature, non outillée



**Figure 16 : Le lien entre le modèle de tâches et l'interface utilisateur implémentée**

- MACAO, SNI et SEF
  - Processus de développement d'IHM, formalismes et méthodologie associée. Permet de décrire l'aspect fonctionnel de l'IHM, ainsi que les aspects structurels de haut niveau
  - Présenté par l'IRIT, UPS Toulouse
  - Utilisable tout au long du cycle en V
  - Avantages et inconvénients :
    - + Méthodologie utilisable du haut niveau au plus bas niveau, en se basant sur des transformations de modèles
    - + Permet la génération de code
    - + Multiplateforme
    - Seulement valable pour le paradigme WIMP
    - Non mature
    - Formalismes spécifiques

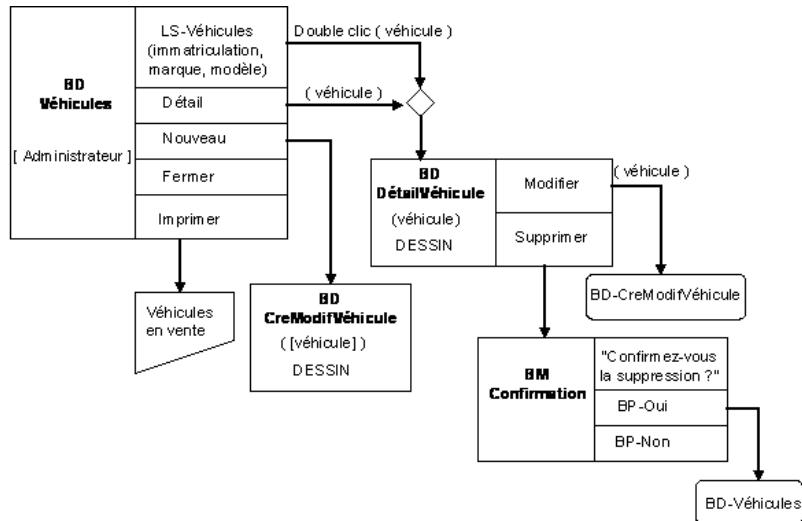


Figure 17 : Un schéma utilisant le formalisme SEF

- Modélisation descriptive d'interfaces utilisateur à l'aide de machines à états
  - Processus et méthodologie de spécification d'IHM se basant sur des machines à état imbriquées. Le comportement de chaque classe de widget est modélisé par une machine à état. Des machines à état de plus haut niveau spécifient le comportement plus haut niveau de l'IHM. Une transformation de modèle permet de générer une grosse machine à état représentant le comportement global de l'IHM.
  - Présentée par l'université de Munich
  - Utilisable pour la moitié basse du cycle en V
  - Avantages et inconvénients :
    - + Permet le model checking
    - + Spécification très formelle et non ambiguë
    - + Séparation des différents niveaux de spécification.
    - Le modèle est très précis et peut devenir lourd pour de grosses interfaces
    - Utilisation exclusive de machines à état, ne permet pas de définir tous les aspects d'une IHM

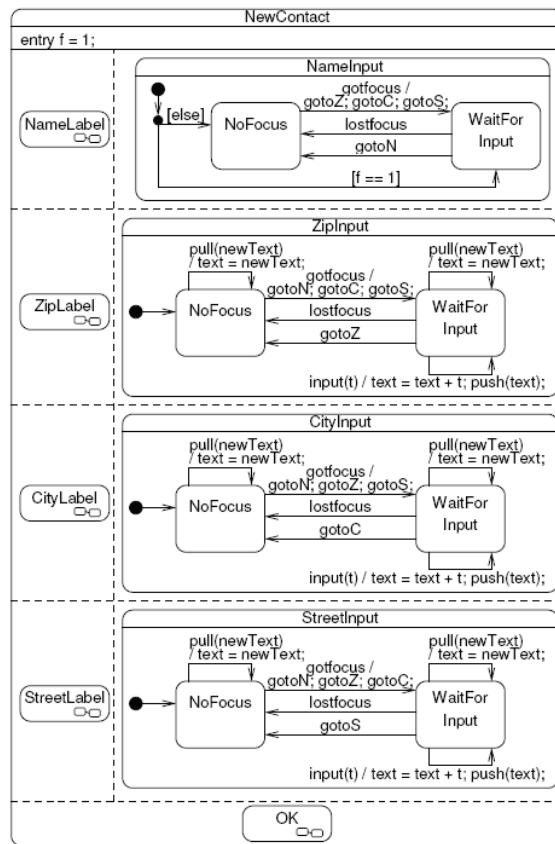


Figure 18 : Une machine à états composée représentant le comportement d'une OHM simple

- UsiXML et outils associés
  - UsiXML est un dialecte XML décrivant de nombreux aspects intéressants des Interfaces Utilisateur. Un peut sembler à XUL de la fondation Mozilla sous certains aspects. UsiXML permet de représenter un modèle de tâches, la structure des IHM et leur dynamique.
  - Collaboration Internationale, en perte de vitesse
  - Utilisable tout au long du cycle en V
  - Avantages et inconvénients :
    - + Un seul format pour différents aspects des IHM
    - + De nombreux outils existent
    - Le formalisme est centré autour du paradigme WIMP
    - Non mature
    - Plus actif

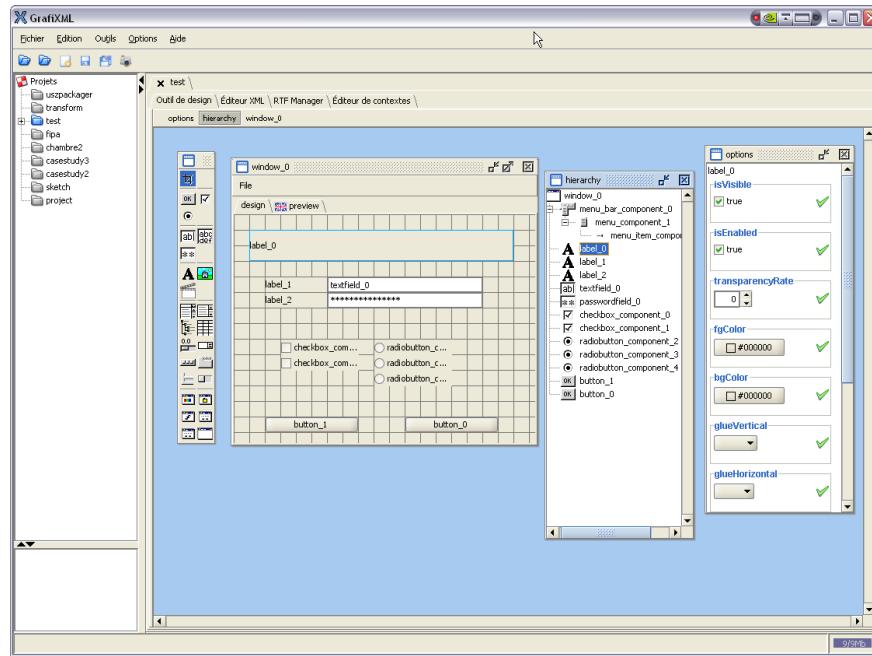


Figure 19 : GrafiXML, un outil basé sur UsiXML

- Interfaces utilisateur obtenues par dérivation des processus métier
  - Processus et méthodologie utilisant une description des tâches de l'utilisateur, en lien avec UsiXML. Le concepteur fournit en entrée des données sur les aspects métiers couverts par l'IHM conçue.
  - Développé à l'Université Catholique de Louvain
  - Utilisable tout au long du cycle en V
  - Avantages et inconvénients :
    - + Très bonne traçabilité, depuis le modèle des processus métier jusqu'à l'implémentation
    - + Assez mature, utilisé sur un cas pilote
    - Besoin de formation à la modélisation de processus métiers (Business Process Modeling)
    - Non standard, en manque d'outils

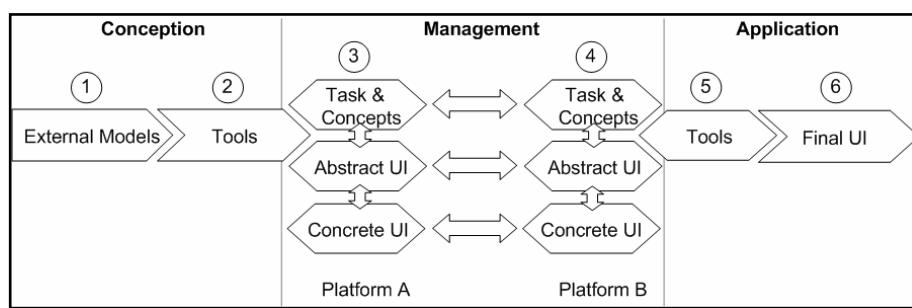


Figure 20 : Le processus de design d'IHM par dérivation de processus métier

- GAIO Protobuilder : Outil de prototypage d'IHM
  - Outil de spécification et prototypage rapide d'IHM, basé sur des diagrammes d'état. L'outil semble générer des spécifications claires et agréables à utiliser.
  - Outil commercial n'étant plus supporté, développé par GAIO, société Japonaise.
  - Utilisable tout au long du cycle en V
  - Avantages et inconvénients :
    - + Idée intéressante d'un type de diagramme assez intuitif pour le concepteur : Diagramme d'état contenant des captures d'écrans pour chaque état
    - + Aide à la décision entre différentes options d'IHM
    - Formalismes non standard
    - Outil propriétaire non supporté
    - Valide seulement pour le paradigme WIMP

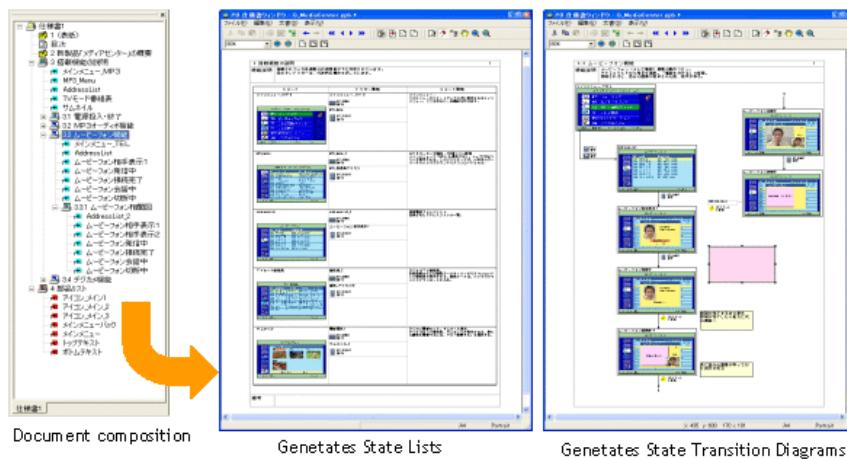


Figure 21 : L'interface de ProtoBuilder propose des schémas explicitant le comportement des IHM

- Le étierrk CAMELEON
  - Cadre de travail pour le développement d'IHM Multi contextes, Multi plateformes, plastiques (acceptant des variations du contexte d'utilisation à chaud)
  - Mis au point par un ensemble international d'équipes de recherche
  - Utilisable pour la phase de conception des IHM
  - Avantages et inconvénients :
    - + Idée intéressante d'interfaces « plastiques »
    - + Processus entièrement basé sur les modèles
    - + Une base utile pour comprendre de nombreuses publications scientifiques
    - Ce n'est qu'un cadre de travail, pas un processus ou une méthode précise.
    - Concepts un peu vieillissants (2002)

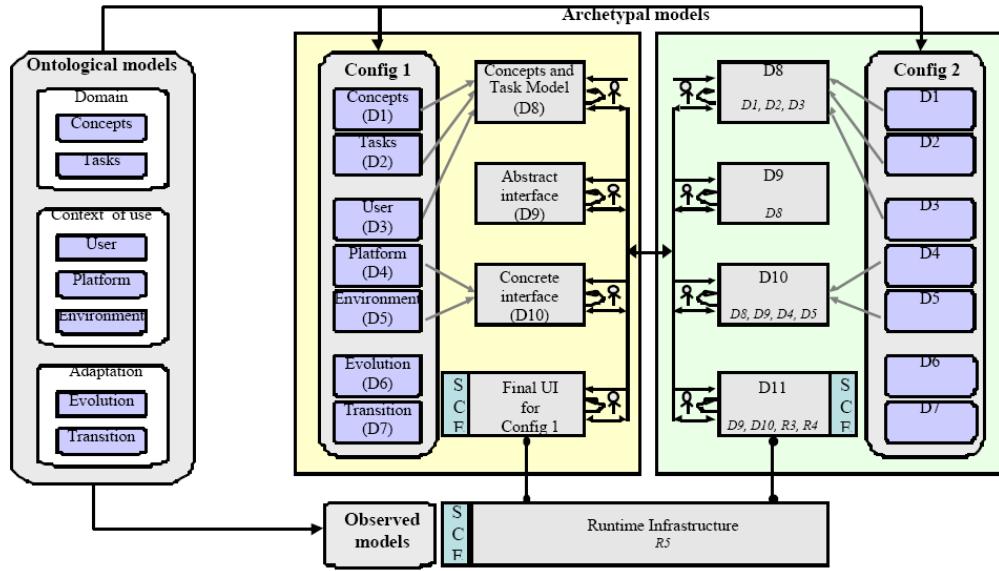
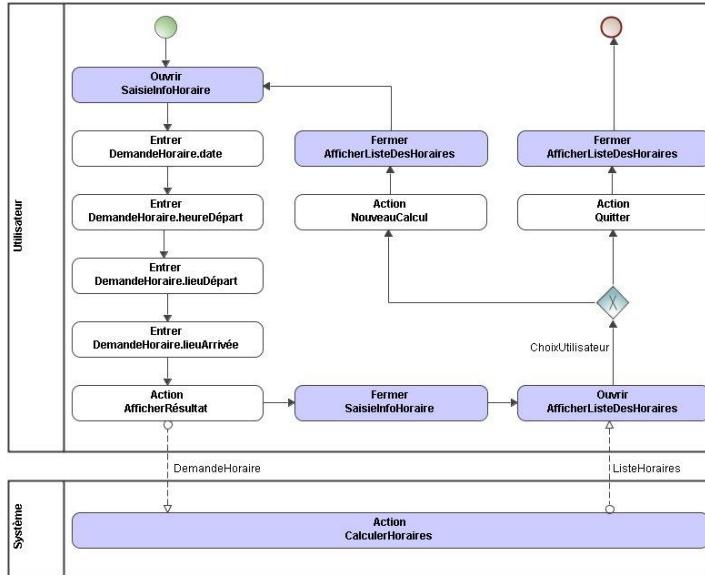


Figure 22 : L'architecture très complète du framework Cameleon

- Une approche de la conception d'IHM basée sur les processus métier
  - Un processus et une méthode pour générer des IHM fonctionnelles, à partir d'un modèle des processus métier de l'utilisateur, modélisé grâce au formalisme BPMN.
  - Proposé par le CNRS en 2007
  - Utilisable pour la phase de conception des IHM
  - Avantages et inconvénients :
    - + Utilisation du formalisme standard BPMN
    - + Génération d'IHM à partir de spécifications de haut niveau, compréhensibles par toutes les parties prenantes du projet
    - Manque de maturité et d'outillage
    - Manque de sémantique pour décrire tous les aspects des IHM



**Figure 23 : La description d'un processus étier utilisant le formalisme BPMN**

### 5.1.3 Conclusions

L'étude de ces différents travaux a permis de mettre en avant de grandes tendances et concepts se dessinant :

- Le modèle de tâches, qui permet de :
  - Exprimer formellement le besoin, les tâches que l'IHM doit permettre de réaliser
  - Effectuer une validation anticipée
  - Hiérarchiser les tâches, d'organiser le travail
  - Travailler sur les concepts de l'IHM avant de commencer à mettre en place la solution, réduisant les cycles de développement
- L'utilisation de machines à états, qui permet de :
  - Définir formellement le comportement du système
  - Effectuer de la génération de code pour du maquettage
  - Effectuer du model checking
- Séparation des différents aspects des IHM, qui permet de :
  - Travailler en parallèle sur différents aspects des IHM, pour faire la fusion au plus tard, en réduisant les délais
  - Assurer la réutilisabilité et la modularité des développements

Ces quelques concepts peuvent sembler triviaux ou simplistes, mais il faut garder à l'esprit que :

- La constitution de l'état de l'art permet de s'assurer que l'on va dans la bonne direction
- Les documents trouvés permettent de justifier certains choix auprès des gens qui ne seraient pas convaincus de leur bien-fondé.
- Malgré leur simplicité, ces simples concepts ne sont pour le moment pas ou peu appliqués par les équipes, leur application est déjà une avancée.

Au final, cet état de l'art a permis de fixer de bonnes bases pour le développement de la méthodologie, tout en légitimant certains choix. Son intérêt est évident, ce qui justifie les deux mois passés (partiellement) à effectuer cette tâche. L'étape suivante a été d'utiliser ces informations pour la mise en place d'une méthodologie utilisable sur le projet @MOST.

## 5.2 Méthodologie MBSE pour les IHM d'ATMOST

Le livrable principal du stage a été la description d'une méthodologie basée sur les modèles pour le développement d'IHM. Une présentation complète de la méthodologie est disponible en annexe (au format pptx). La description des étapes qui ont permis de donner naissance à cette méthodologie est disponible aux sections 4.2.3, 4.2.4 et 4.2.5.

La méthodologie étant basée sur un modèle, la présentation du modèle permet de la décrire. Nous allons ici décrire le modèle qui est proposé.

### 5.2.1 *Introduction*

Le modèle est représenté en SysML. L'outil utilisé est Topcased, mais le formalisme standard permet d'utiliser d'autres outils en conservant le même modèle.

Il faut conserver à l'esprit que le modèle est destiné à être utilisé par tous les ingénieurs de l'équipe @MOST. Ces ingénieurs ont des compétences variées, le modèle doit donc faire appel à des notions connues par tous.

De plus, le modèle est conçu pour servir tout au long du cycle en V. Il est conçu pour pouvoir à terme servir de spécification envoyée aux fournisseurs, et utilisée pour la vérification et validation.

### 5.2.2 *Structure du modèle*

Le modèle est composé de quatre grandes vues, contenant chacune des sous modèles représentant des aspects particuliers :

- Domain view : La vue du domaine  
Décrit le contexte dans lequel se trouve l'IHM, son environnement. On y trouve :
  - Systems interface : Le modèle d'interfaces avec les systèmes, le M de IHM. Il est représenté en utilisant des diagrammes de définition de bloc (Block Definition Diagram, BDD)
  - Users definitions : La définition des différents utilisateurs du système, le H de IHM. La définition utilise des diagrammes de définition de bloc (BDD) pour structurer les liens entre les différents acteurs.
  - Requirements : Un modèle structuré des exigences sur l'IHM, basé sur les retours d'expérience. Ce modèle utilise des diagrammes d'exigences (Requirements diagrams, RD)
- Functional view : La vue fonctionnelle  
Décrit les aspects fonctionnels de l'IHM, indépendamment des solutions éventuelles. Permet d'exprimer le besoin du point de vue de l'utilisateur et de développer des concepts d'utilisation. Elle contient :
  - Task Model : Le modèle de tâche, représentant de manière hiérarchique l'ensemble des tâches que l'utilisateur remplira grâce à l'IHM. Les tâches sont décrites en terme de flux de données et

- d'enchainements chronologiques à l'aide de diagrammes d'activité (Activity Diagram, AD)
- User profiles : La définition des différentes configurations des IHM en fonction du profil des utilisateurs. Cette définition utilise des diagrammes de définition de blocs (BDD)
- Structural view : La vue structurelle
 

Décrit la structure des IHM à implémenter, à partir des éléments suivants :

  - Commons : Éléments communs à toutes les solutions, telles que la définition du Look and Feel, une bibliothèque de widgets et la définitions de fenêtres standard (Fenêtre de recherche, boites de dialogue etc.). Ces éléments sont décrits en termes de structure, comportement, apparence...
  - Solutions : Modèle représentant une solution d'IHM à implémenter, en terme de structure, comportement, apparence... La structure est représentée sous la forme d'un système classique en SysML : Un ensemble de blocs
- Allocation view : La vue des allocations de traçabilité
 

Décrit les liens entre les différentes vues, permet de donner du sens au modèle d'IHM en combinant les différentes vues.

  - Contient l'ensemble des relations de traçabilité entre les différents éléments du modèle de l'IHM. Visualisables sous forme de diagrammes de définition de bloc (BDD)

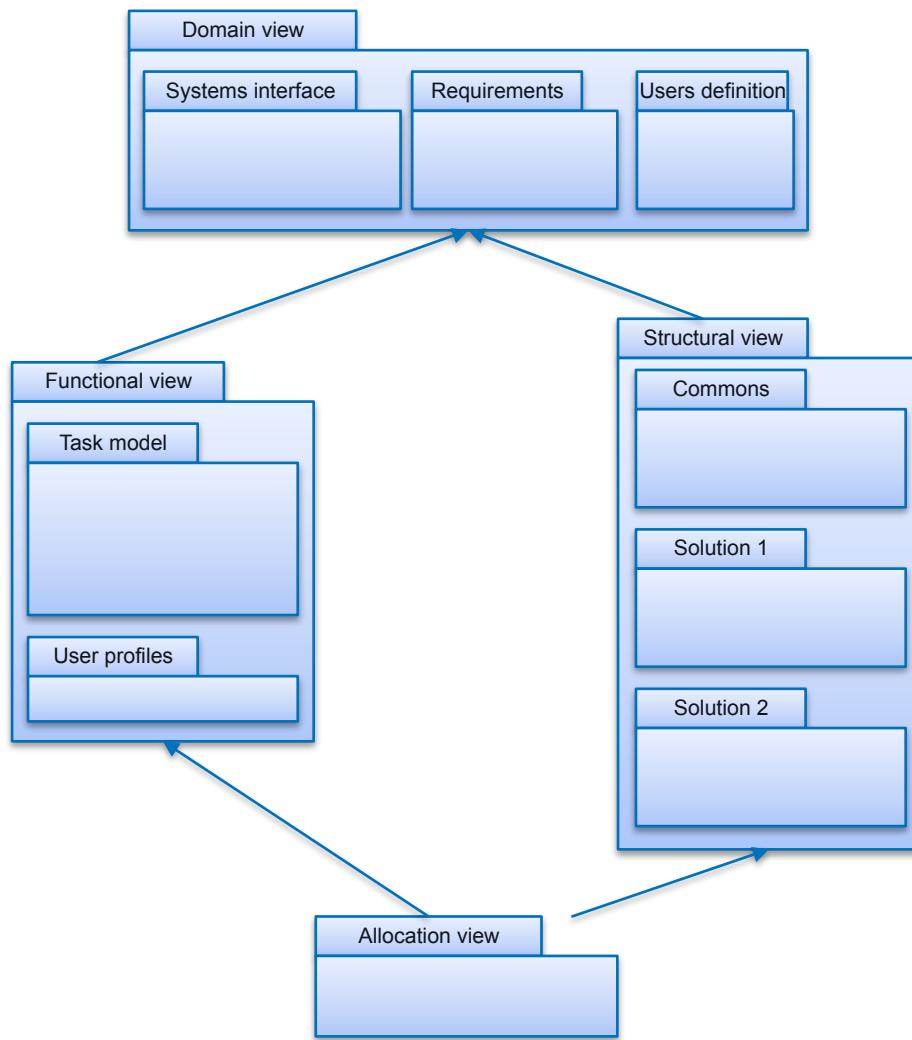


Figure 24 : La structure du modèle SysML proposé

### 5.2.3 Intégration dans le processus de conception

Conformément au besoin initial, le modèle s'intègre dans le processus de spécification des IHM d'@MOST, proposé par l'équipe PMT. Chaque étape du processus de conception agit sur une partie du modèle.

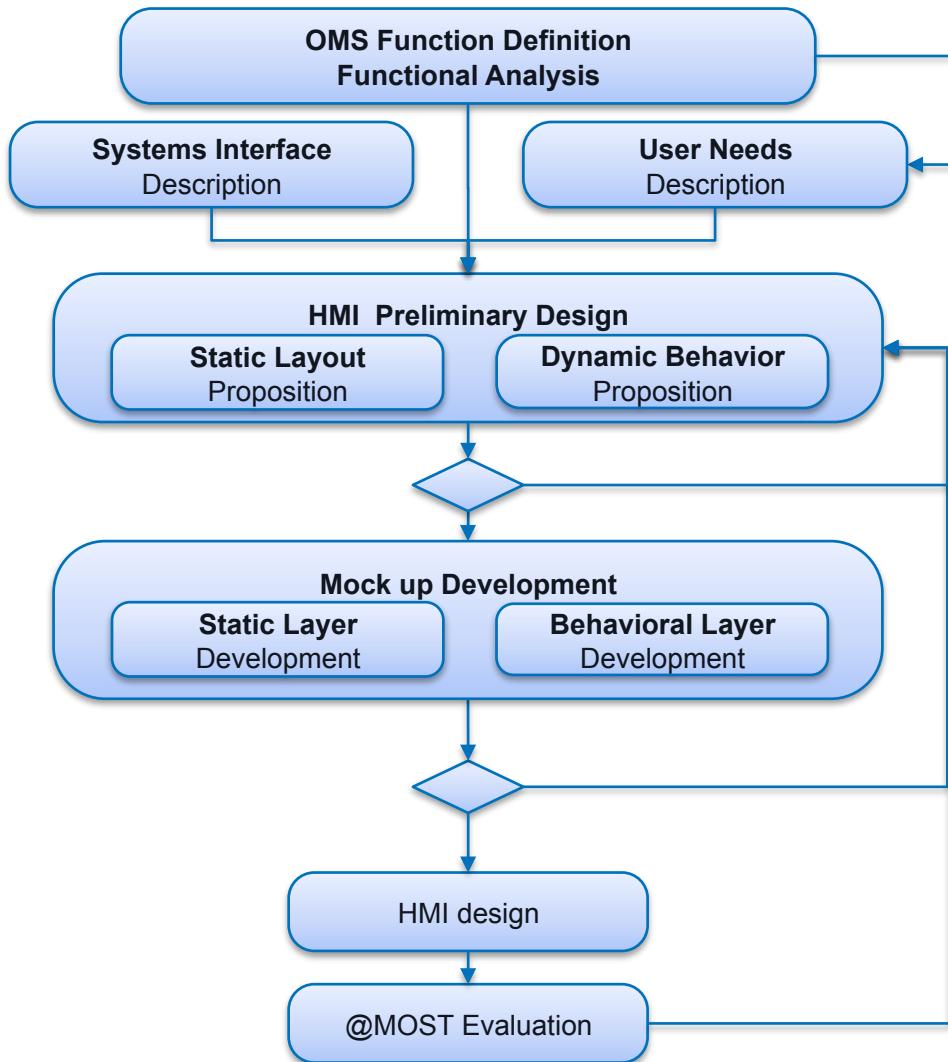


Figure 25 : Le processus de développement de l'IHM d'@MOST proposé par l'équipe PMT

Les différents acteurs intervenant dans le processus @MOST sont les suivants :

- **@MOST Coordinator**  
Rôle de définition de niveau opérationnel, et de coordination des différentes activités de conception. Il est impliqué dans les étapes de définition de l'IHM à haut niveau
- **Work Package Leader**  
Responsable du développement d'un système parmi l'ensemble des systèmes composant @MOST, il est impliqué dans la conception de l'IHM de son système.
- **@MOST HMI**  
Equipe responsable du développement des IHM du système @MOST. Role actuellement occupé par l'équipe PMT qui profite de son rôle de maquettage pour centraliser les questions en rapport avec les IHM
- **Human factors**  
Equipe spécialiste des facteurs humains, intervenant dans la conception des IHM

Les différentes étapes du processus sont les suivantes :

- Functional analysis  
Analyse fonctionnelle, définition du besoin et du périmètre du système.
- Systems Interface description  
Description par chaque concepteur système des services que son système pourra fournir à l'IHM
- User needs description  
Description par chaque concepteur système de ce qu'il attend que l'utilisateur puisse faire avec son système
- HMI Preliminary design  
Phase de conception de l'IHM à partir de l'expression du besoin
- Preliminary design évaluation  
Evaluation du design préliminaire de manière itérative jusqu'à obtenir un design satisfaisant
- Mockup Development  
Développement de la maquette à partir de la spécification actuelle
- Mockup Evaluation  
Evaluation de la maquette, en terme d'utilisabilité, intuitivité, performance...
- HMI Design  
Elaboration de la spécification définitive à partir de la maquette et des brouillons de spécification déjà écrits. Validation par le management de projet
- @MOST Evaluation  
Evaluation terminale du projet, qui doit si possible être positive. En cas d'évaluation négative, le coût est plus important car il faut repasser l'étape de spécification détaillée.

Le tableau suivant présente de manière simplifiée, pour chaque étape du processus, les acteurs impliqués et les parties du modèle sur lesquelles s'effectue le travail.

Etape du processus	Acteurs	Elements du modèle impliqués
Function définition	<b>@MOST Coordinator</b>	Systems interface Requirements Users definition High level task model
Systems interface description	<b>WP Leader</b> @MOST Coordinator @MOST HMI HF	Systems interface
User needs description	<b>WP Leader</b> @MOST Coordinator @MOST HMI HF	Users definition Task Model User Profiles
HMI Preliminary design	<b>@MOST HMI</b> HF	Task Model Common Elements Solutions
Preliminary design Evaluation	<b>@MOST HMI</b> @MOST Coordinator HF	Functional view Structural view Allocations view
Mockup Development	<b>@MOST HMI</b>	Structural view
Mockup Evaluation	<b>WP Leader</b> @MOST Coordinator @MOST HMI HF	Functional view Allocations view Mockup
HMI Design	<b>@MOST Coordinator</b> WP Leader @MOST HMI HF	Whole model
@MOST Evaluation	<b>HF</b> @MOST Coordinator WP Leader	Whole model

#### 5.2.4 Vues offertes par le modèle

Le modèle offre de nombreux points de vue sur les différents aspects des IHM en cours de développement. Nous allons ici détailler rapidement les différents diagrammes sur lesquels les concepteurs peuvent avoir à travailler. Nous détaillerons les vues qui sont associées à chaque grande partie du modèle (voir section 5.2.2 : Structure du modèle).

Ces nombreuses vues trouvent toutes leur utilité dans la méthodologie, et une attention particulière a été portée à la clarté des vues, afin que le travail des concepteurs soit le plus agréable possible, et que la nouvelle méthodologie soit bien acceptée.

##### 5.2.4.1 User Definition

Définition des utilisateurs de l'IHM selon différents critères et hiérarchies.

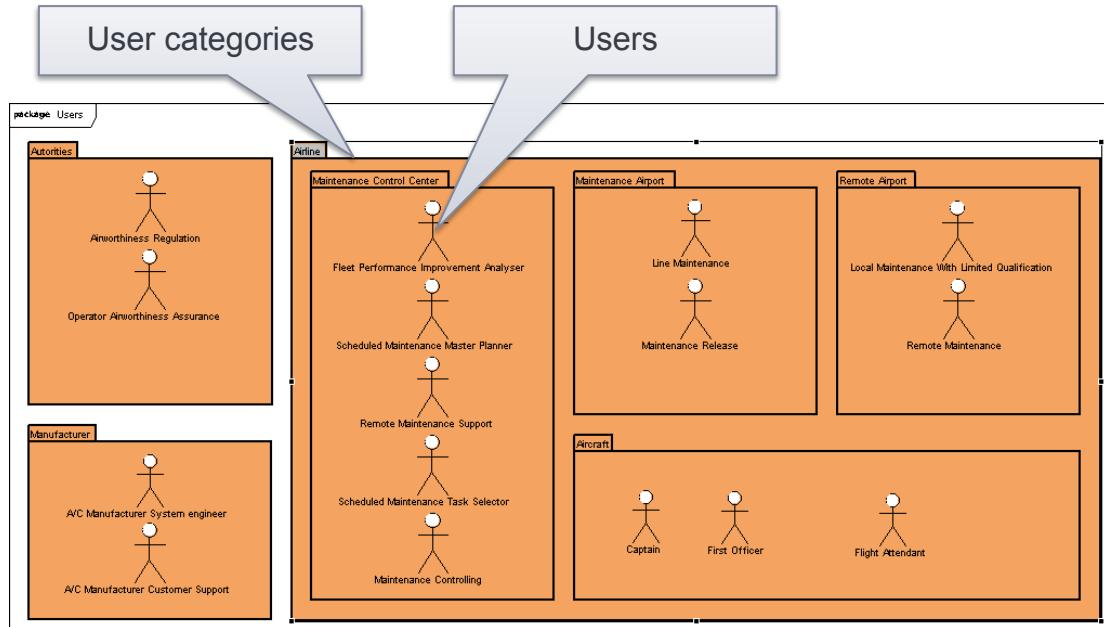


Figure 26 : Vue des utilisateurs réunis en groupe à l'aide de Packages

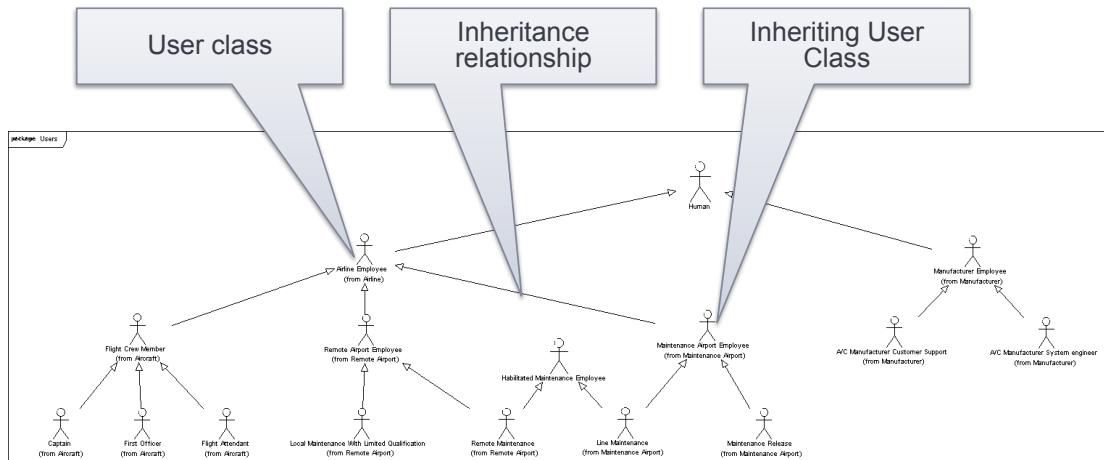


Figure 27 : Vue des relations d'héritages entre des classes d'utilisateurs

#### 5.2.4.2 Interface with systems

Définition des relations entre les IHM et les systèmes, en terme de types de données échangées, Services offerts par les systèmes, place des IHM au sein de l'architecture...

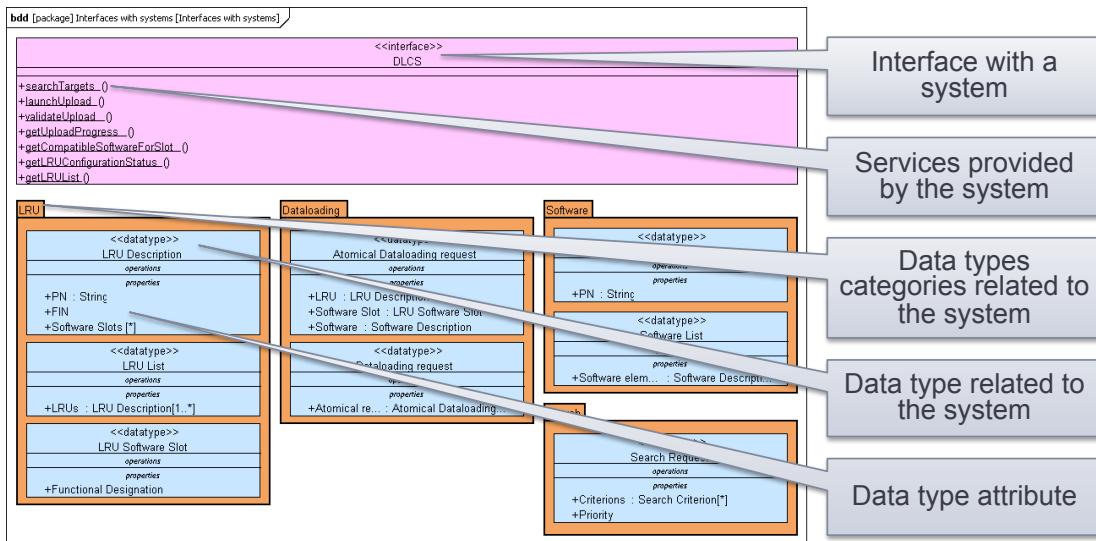


Figure 28 : Vue des interfaces d'un système avec l'IHM

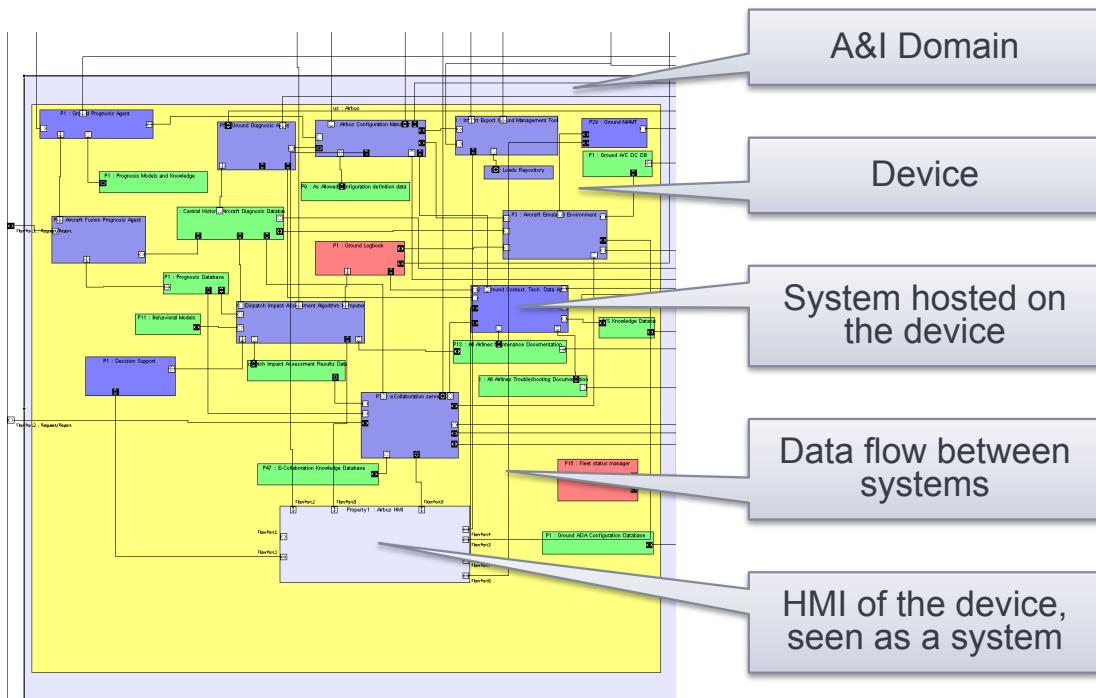


Figure 29 : Vue de la place des IHM au sein de l'architecture du projet

#### 5.2.4.3 Task Model

Modélisation des différentes tâches effectuées par l'utilisateur sur l'IHM en termes de

- Contraintes chronologiques entre les actions
- Flux d'informations
- Décomposition hiérarchique des tâches en sous tâches
- Collaboration entre utilisateurs
- Appels à des services système.

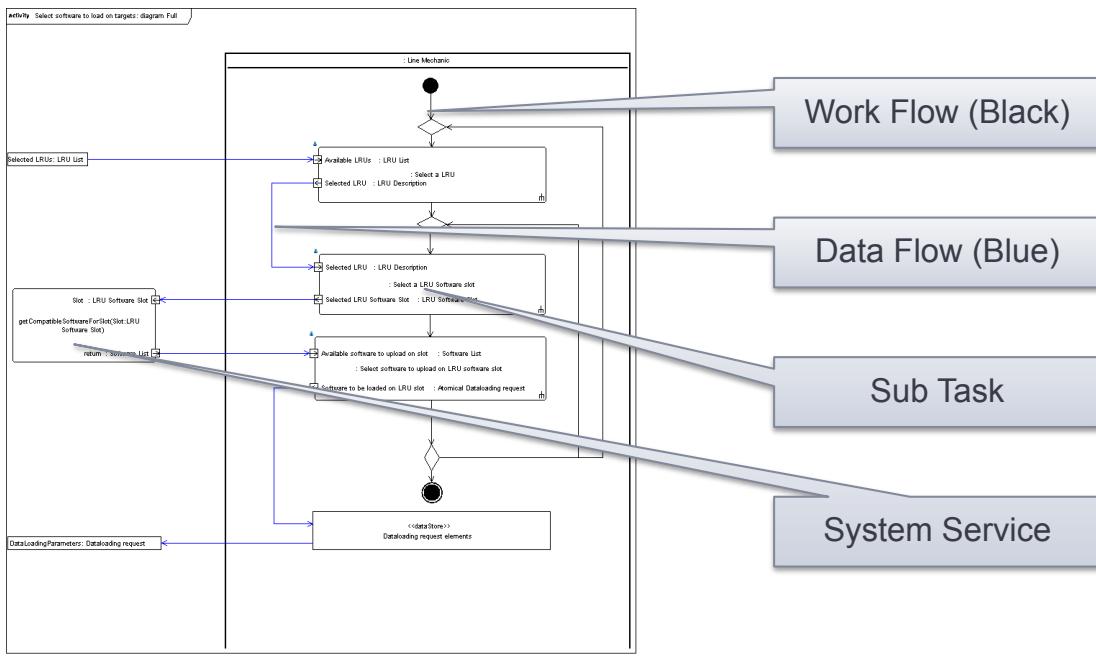


Figure 30 : Modélisation d'une tâche impliquant un seul utilisateur

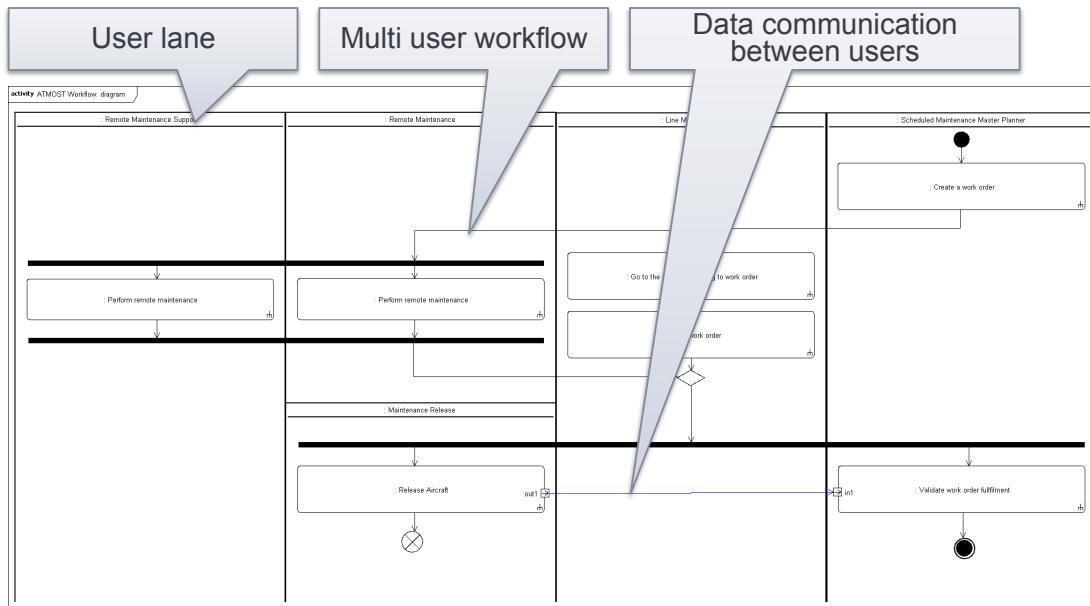
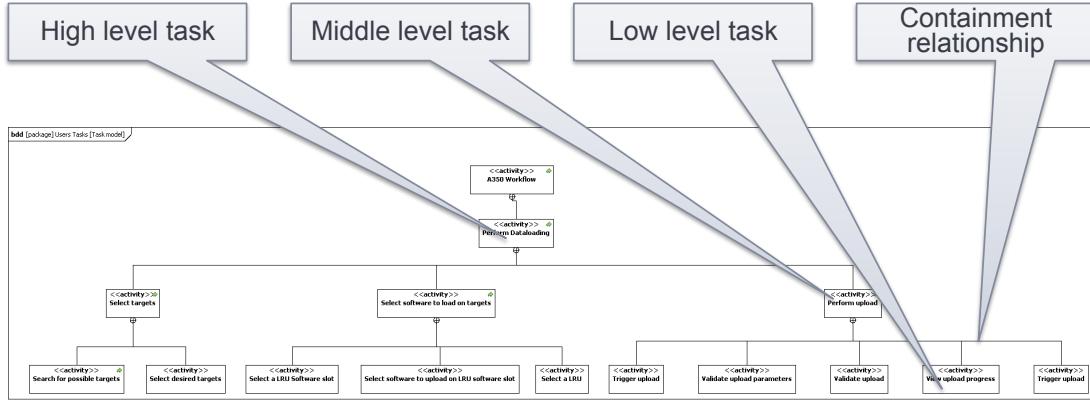


Figure 31 : Modélisation d'une tâche impliquant une collaboration entre différents utilisateurs



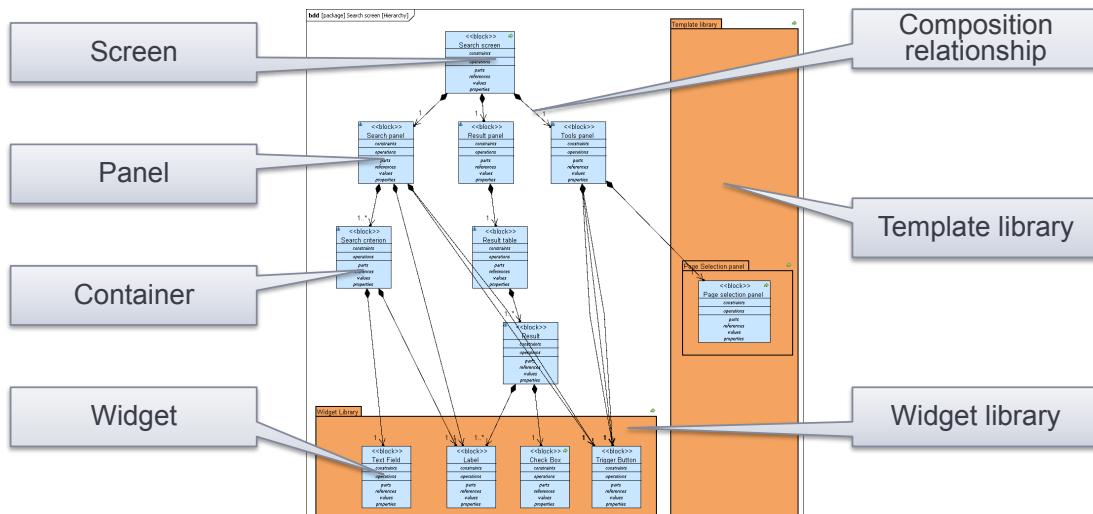
**Figure 32 : Visualisation de la hiérarchie du modèle de tâches : décomposition des tâches en sous-tâches**

#### 5.2.4.4 HMI Solution Structure

La structure des IHM est modélisée comme un système en SysML

La modélisation est très modulaire, pour s'adapter à tous types d'IHM, même les plus exotiques. Pour le cas d'une IHM de type WIMP, la modélisation permet de prendre en compte :

- La hiérarchie de contenance entre les éléments de l'IHM (IHM > Pages > Containers > Widgets )
- La carte de navigation de l'utilisateur au sein des pages de l'IHM
- L'aspect général des pages de l'IHM, afin d'avoir un premier retour visuel
- Les arbres de menus
- La réutilisation d'éléments communs



**Figure 33 : Modélisation de la composition d'un écran utilisant des éléments de la bibliothèque commune, sous forme de BDD**

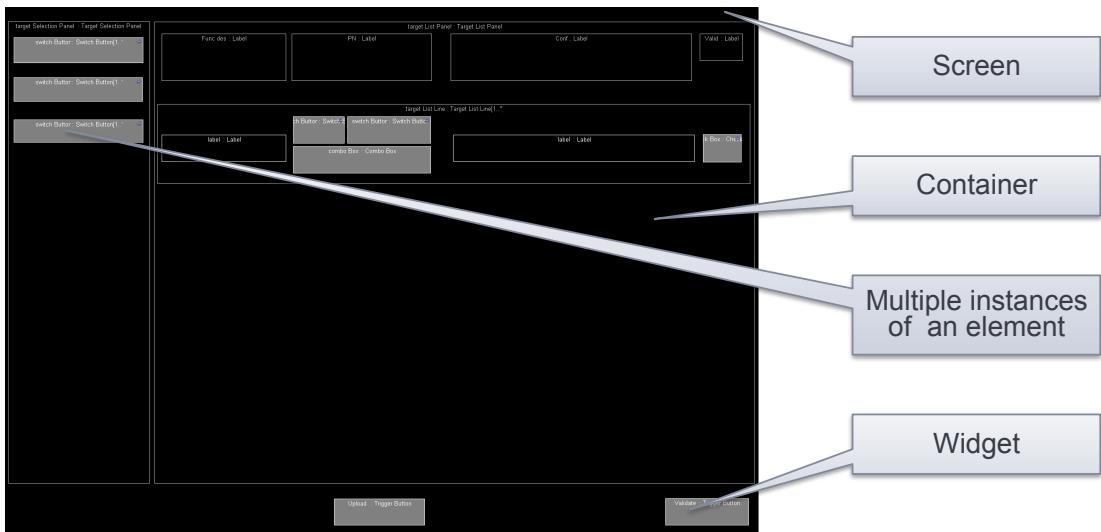


Figure 34 : Modélisation de la conception d'un écran, sous forme d'IBD modifié, permettant d'avoir une idée de l'aspect de l'IHM

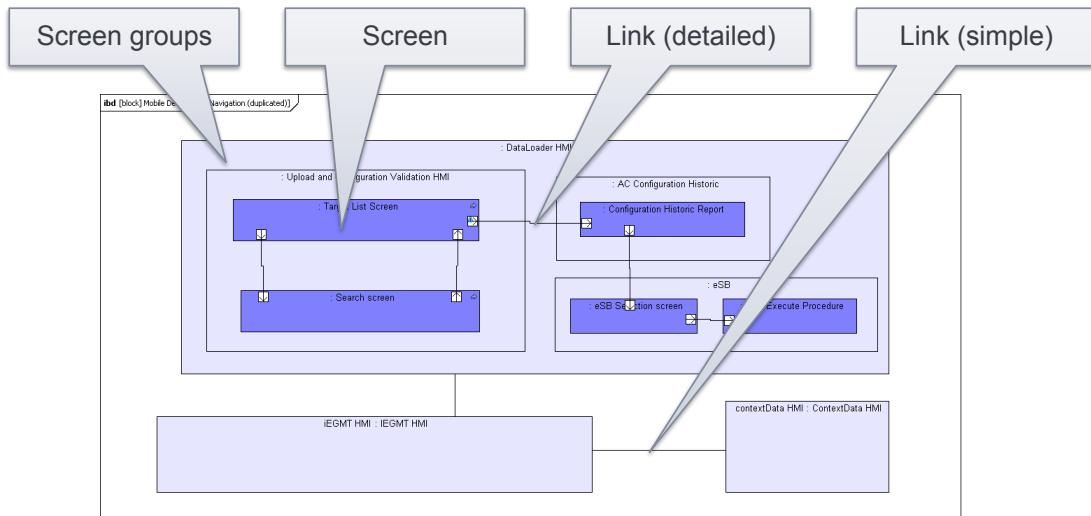


Figure 35 : Plan de l'IHM, avec les différents pages et les liens de navigation entre les pages

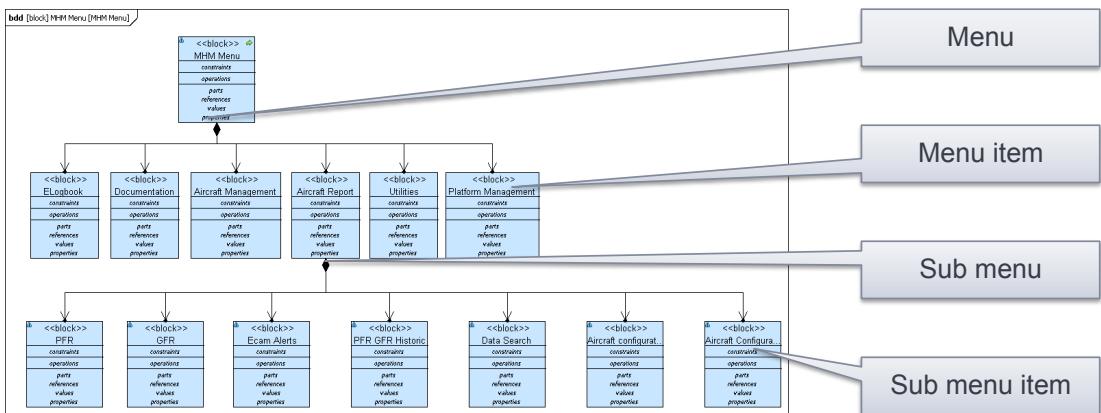


Figure 36 : Modélisation d'un menu et de ses sous menus

#### 5.2.4.5 Behavior

Modélisation du comportement de l'IHM, en termes de :

- Comportement intrinsèque des widgets
- Comportement à plus haut niveau des containers et de leur contenu
- Lien entre les états de l'IHM et les définitions du LAF
- Lien entre le comportement de l'IHM et les données qui transitent
- Contraintes entre les comportements de différents éléments.

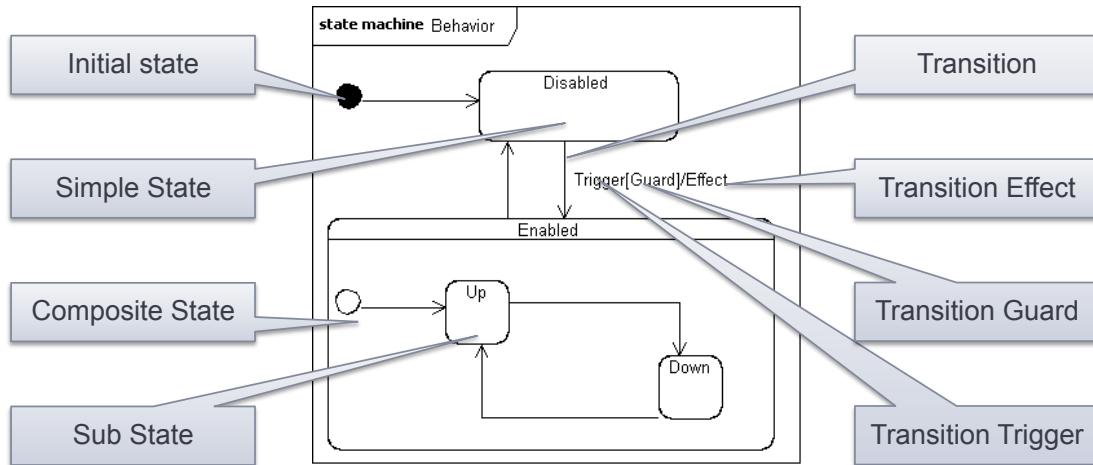


Figure 37 : Modélisation du comportement d'un widget simple

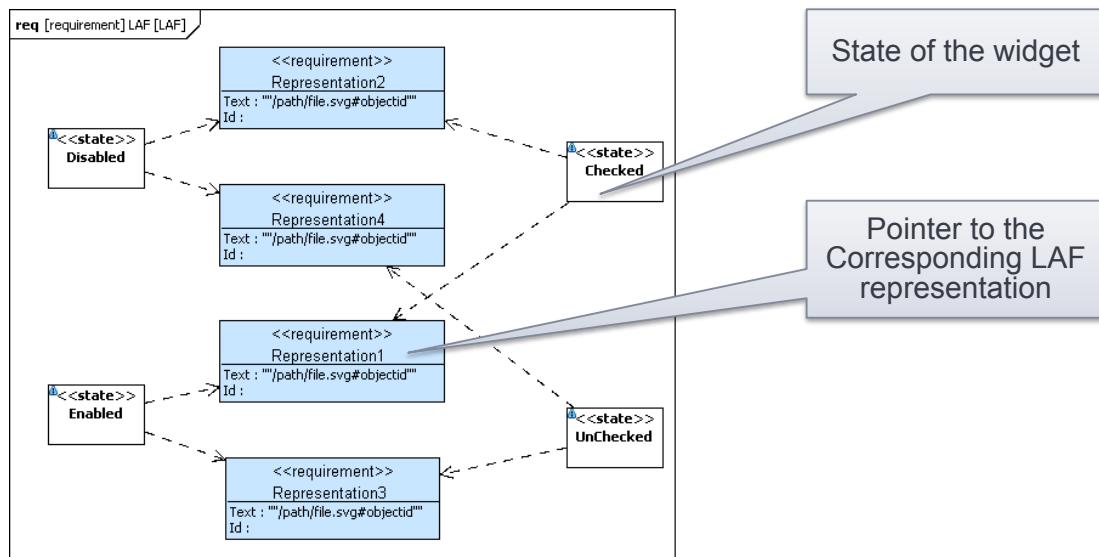
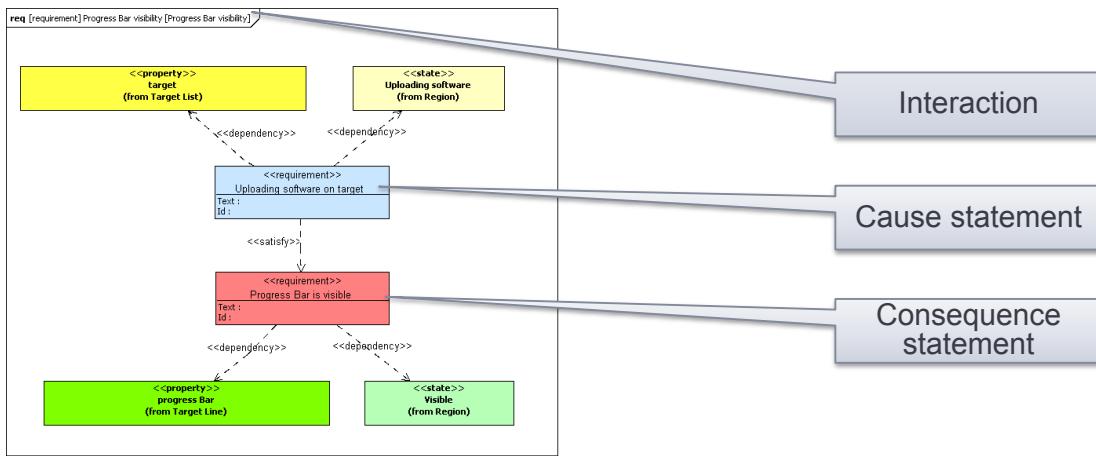


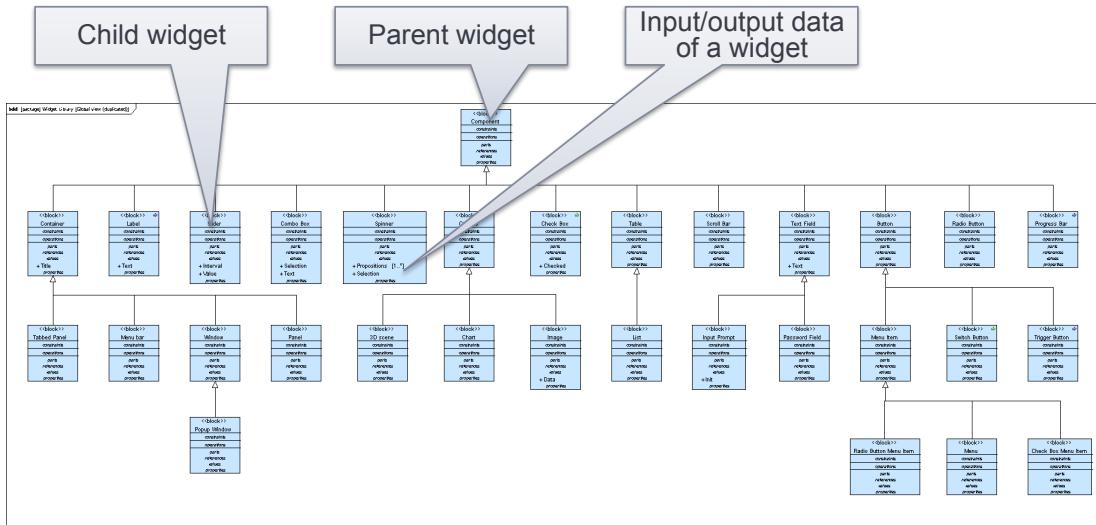
Figure 38 : Liens entre les états d'un widget et sa représentation graphique



**Figure 39 : Modélisation de contraintes comportementales entre deux éléments d'IHM**

#### **5.2.4.6 Common Elements**

Modélisation des éléments communs aux différentes solutions proposées. Ces éléments peuvent par exemple être communs parce qu'il ne dépendent pas de la solution proposée, mais de la plate-forme sur laquelle les solutions seront implémentées.



**Figure 40 : Bibliothèque de widgets reprenant les éléments de Swing (Java)**

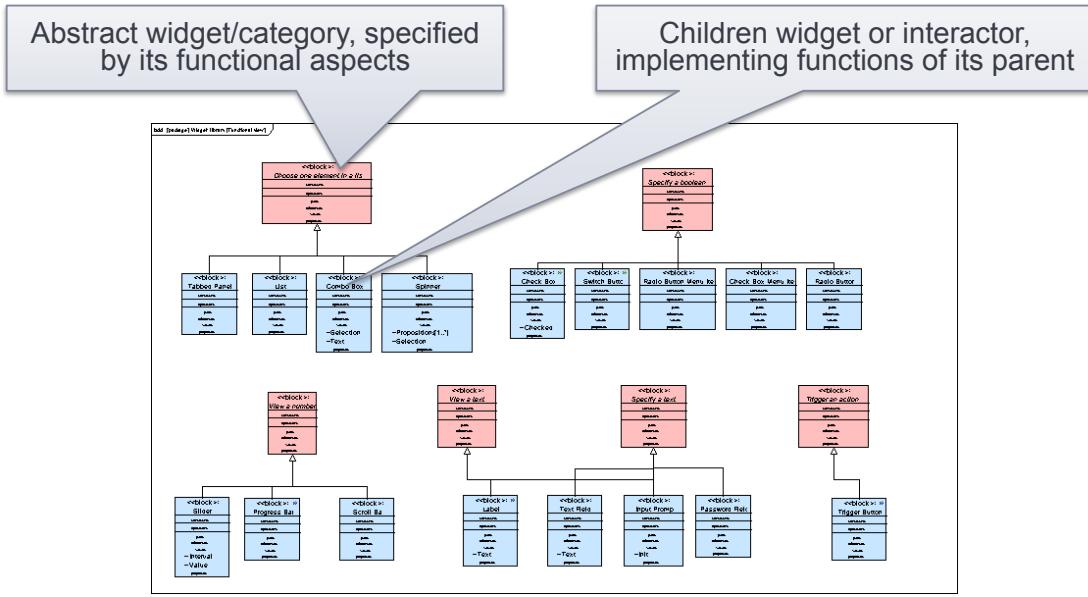


Figure 41 : Regroupement des widgets dans des catégories d'équivalence fonctionnelle, utiles dans les premières phases de maturation des solutions

#### 5.2.4.7 Allocation View

Il s'agit de représenter les liens existants entre les différentes vues. Des diagrammes de définition de bloc permettent d'atteindre cet objectif.

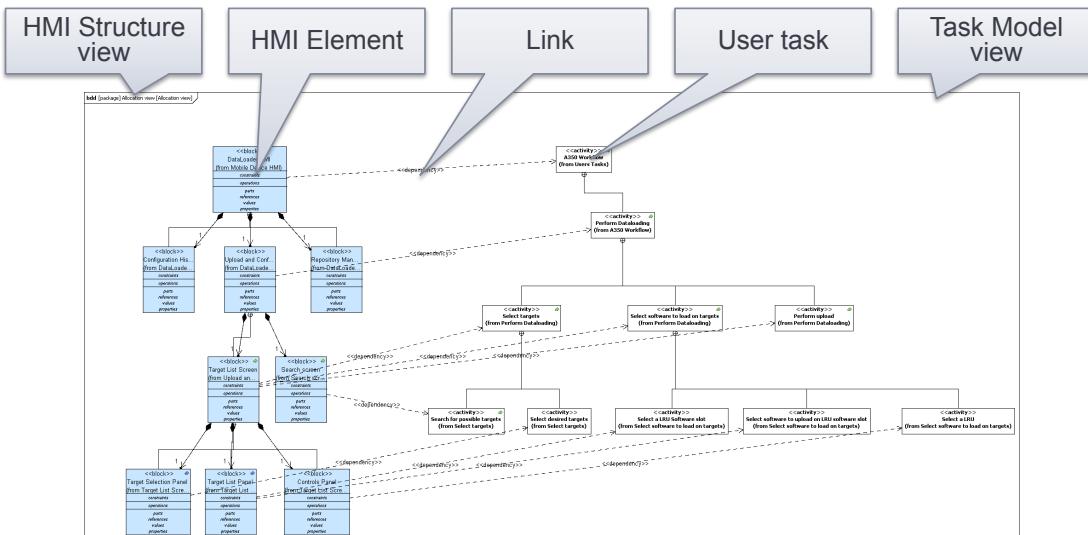


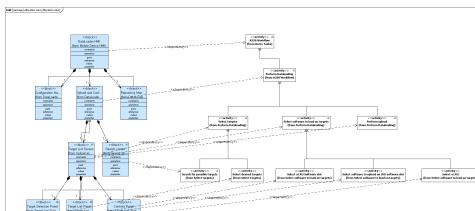
Figure 42 : Lien entre la structure de l'IHM et le modèle de tâche

### 5.2.5 Applications possibles du modèle

Nous venons de voir que SysML nous permet d'avoir de nombreuses vues organisées d'un même modèle sous jacent. Mais l'intérêt du MBSE ne s'arrête pas là. En effet, l'intérêt du modèle réside aussi dans le fait qu'il est possible de l'utiliser pour générer des artefacts de manière automatique et efficace. Nous évoquerons rapidement quelques possibilités qui ont été explorées.

#### 5.2.5.1 Tableau de bord du projet

Le tableau de bord de projet, permet, grâce aux données issues du modèle, d'accéder à des informations concernant la maturité du modèle. En fixant des critères précis, il est possible d'extraire des Key Performance Indicators (KPI) et de les regrouper de manière cohérente. Ce tableau de bord est ensuite utilisable dans le cadre du « visual management » qui permet aux équipes d'avoir un point de vue clair sur leur performance.



Widget	Task1	Task2	Task3	Task4	Task5
A	Traced				
B		Traced		Traced	
C					
D					
E				Traced	
F					Traced



Solution	User task	Subtasks	Traced subtasks	Status criterion
Solution1	Follow work order	147	112	76%
	Perform dataloading	13	13	100%
	Remote maintenance	78	4	5%
	Follow TSM	133	127	95%
	Manage C/Breakers	9	4	44%
Solution2	Follow work order	147	38	29%

Figure 43 : Génération d'un tableau de bord à partir des données du modèle

#### 5.2.5.2 Génération de documents

Il est aussi possible de générer des documents à partir du modèle. Cela peut sembler inutile si le modèle est censé représenter tous les aspects de la spécification. Mais des raisons contractuelles rendent la génération de

documents nécessaires, comme une étape intermédiaire de transition vers le MBSE.

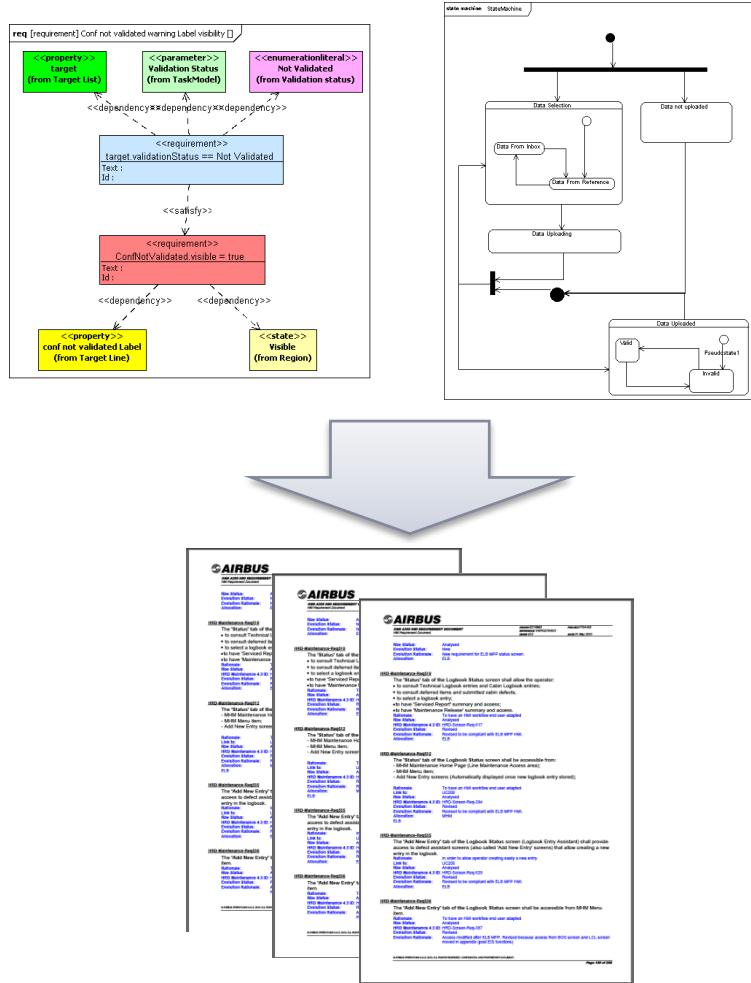


Figure 44 : Génération de spécification à partir du modèle

### 5.2.5.3 Model checking

Il peut être utile de vérifier des propriétés sur la spécification. Le MBSE rend cela possible par le biais des techniques de model-checking.

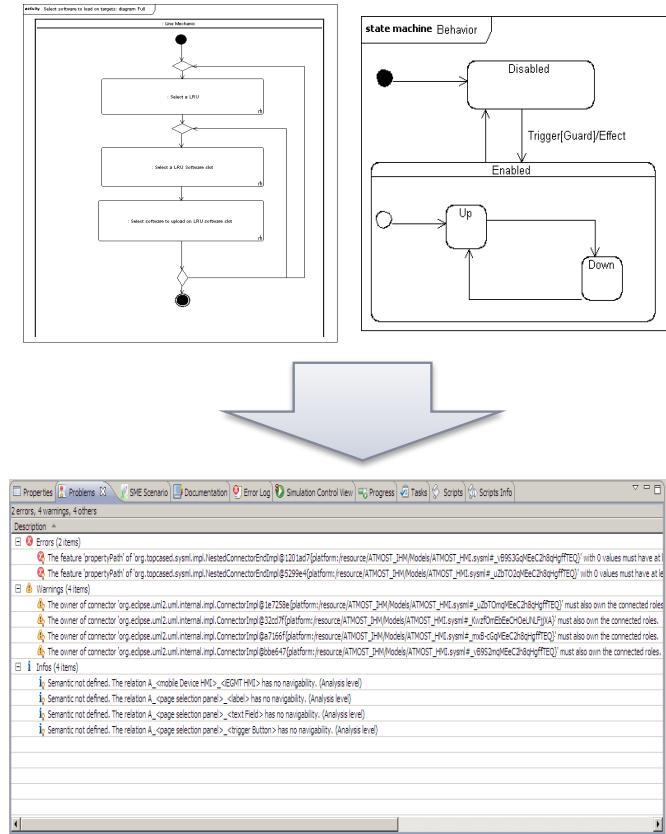


Figure 45 : Model checking sur des propriétés du modèle

#### 5.2.5.4 Génération de maquette

Afin de raccourcir les cycles de développement, il est envisageable de générer automatiquement des maquettes de sous ensembles de l'IHM, avant même le codage de la « vraie » maquette en Java par l'équipe PMT. A partir du modèle, du Look And Feel et de données factices, il est envisageable de générer de petites maquettes composées d'images comprenant des liens hypertextes menant vers d'autres images. Des expérimentations ont été faites dans ce sens en utilisant le format SVG.

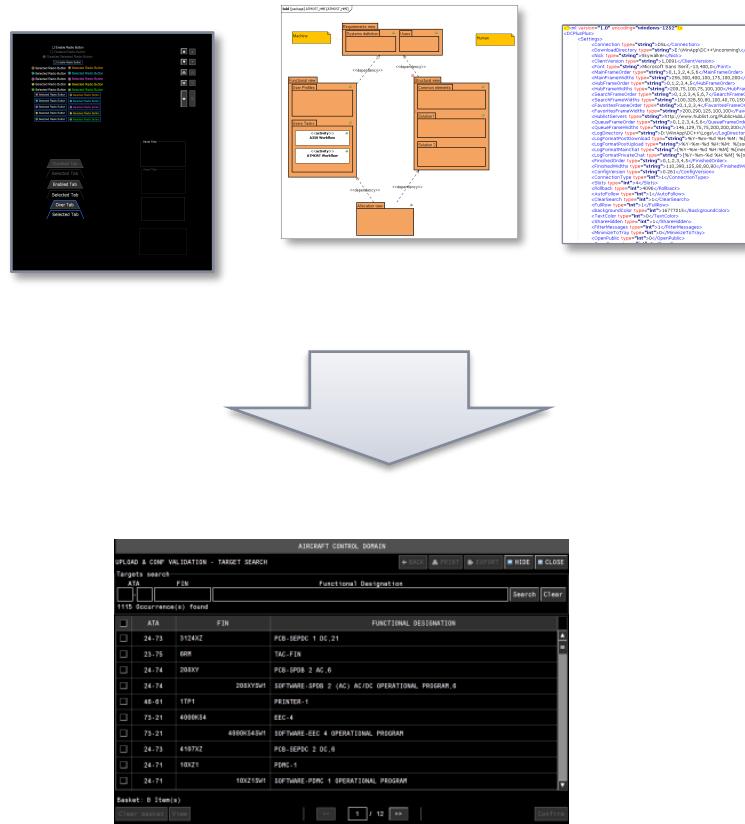


Figure 46 : Génération de maquette à partir du modèle, du Look and Feel et de données factices

### 5.2.6 Conclusion

Le modèle développé dans le cadre du stage est un modèle très complet, qui permet d’appréhender tous les aspects IHM abordés dans les documents de spécification actuelle.

Cependant la méthodologie apporte des avancées notoires :

- Définition claire du besoin, apparition d'un modèle de tâches qui n'existaient pas formellement avant
- Traçabilité grandement améliorée. L'impact de la modification d'un élément de spécification peut être évalué en direct.
- Possibilités de réutilisabilité du travail grandement améliorées.
- Amélioration du travail de vérification et validation, qui peut être mené beaucoup plus en amont
- Raccourcissement des cycles de développement

La méthodologie MBSE demande cependant les efforts suivants pour être utilisée efficacement :

- Appropriation par les équipes de concepteurs, formation aux outils
- Changements au niveau humain, le travail sur le MBSE n'est pas le même que le travail basé sur les documents, un changement de culture est nécessaire, et il doit être accompagné au niveau managérial.

Enfin, il faut garder à l'esprit que le modèle est destiné à être utilisée à long terme, en conséquence certaines des applications possibles du modèle évoquées ici ne sont pas encore matures pour être effectivement implémentées. Cependant, on voit bien que l'approche orientée modèles propose de nombreux avantages.

L'accueil reçu lors de la présentation de la méthodologie aux acteurs du projet @MOST a d'ailleurs été très enthousiaste, de nombreux concepteurs s'étant montrés intéressé par le modèle dans son intégralité ou bien des parties du modèle qui répondent particulièrement à leurs problématiques.

## 6 Conclusion

Nous venons de le voir, le stage a été très intéressant du début à la fin. J'ai eu l'opportunité de travailler en grande autonomie sur un projet de recherche à long terme. La place de la prospection a été importante, me permettant de sentir que j'ai travaillé sur un domaine de pointe.

L'importance des notions de planification de projet m'a été démontrée, ainsi que l'utilité de nombreux concepts appris lors de mon cursus à Supaéro. Cette première expérience très constructive a été un plaisir pour moi. Ma pratique du sport de haut niveau, si elle a éveillé quelques interrogations au niveau organisationnel dans un premier temps, s'est vite révélée très gérable, et aucun problème n'a été signalé concernant cet aspect.

Le travail que j'ai effectué me semble très constructif, et j'espère qu'il sera utile par la suite. Un point clé de la réussite de ce projet sera la continuité des efforts, car la méthodologie développée est tout juste définie. Il s'agira maintenant de la déployer, de l'adapter, d'en assurer le support. Autant de sujets sans fin qui demanderont à coup sûr beaucoup de travail dans les années à venir.

Pour conclure, je tiens à remercier une nouvelle fois tous ceux qui m'ont permis de vivre cette expérience hors du commun, qui vient conclure 5ans d'études d'ingénieur à Supaero depuis mon entrée en 2006.

D'une manière plus générale, je remercie aussi tous les professeurs et enseignants qui ont permis à mon projet de se réaliser à Supaero. Les bagages que j'ai acquis lors de ce cursus me sont déjà extrêmement utiles et je constate déjà que j'ai reçue une formation solide et très adaptée à mon projet de carrière.

## **7 Annexes**

## 7.1 Bibliographie

**There are no sources in the current document.**

## 7.2 Table des sigles

Sigle	Signification	Explication
@MOST	Airbus Total Maintenance & Operations Systems Technologies	Projet de recherche sur le futur du système FSA, avec mise en application sur l'A30X à l'horizon 2025
ACD	Aircraft Control Domain	Domaine réseau réservé à l'avionique et aux fonctions critiques, « monde fermé », par opposition à l'AISD
AD	Activity Diagram	Diagramme d'activité, type de diagramme SysML
AFDX	Avionics Full Duplex	Réseau Ethernet embarqué sur les avions Airbus A380 et suivants
AISD	Aircraft Information System Domain	Domaine réseau dédié aux fonctions non critiques de l'avion, par opposition à l'ACD
BDD	Block Definition Diagram	Diagramme de définition de blocs, type de diagramme SysML
DD	Double Deck	Nom du projet A380
DFS	Detailed Function Specification	Document de spécification précise des aspects fonctionnels d'un système
ELB	E-LogBook	Application jouant le rôle de journal de bord virtuel sur l'A350
FH	Facteurs Humains	Aspects des IHM liés au comportement et au fonctionnement de l'homme. Peut aussi désigner les équipes spécialistes du domaine. (« Les FH »).
FRD	Functional Requirements Document	Document représentant le cahier des charges au niveau fonctionnel d'un ensemble de systèmes
FSA	Fly Smart with Airbus	Produit assurant la fonction de maintenance et opérations sur les avions Airbus A380 et suivants.
HF	Human Factors	Facteurs Humains (FH)
HMI	Human Machine Interface	Interface Homme Machine (IHM)
HRD	HMI Requirement Document	Document représentant un cahier des charges commun aux IHM des différents systèmes
IBD	Internal Block Diagram	Diagramme de bloc interne, Type de diagramme SysML
IHM	Interface Homme Machine	Ensemble des dispositifs physiques et logiciels permettant la communication entre un homme et une machine (Ecrans, Dispositifs de pointage, Boutons, Zones de texte...)
IT	Information Technologies	Ensemble des technologies liées au monde de l'informatique, en particulier au niveau du logiciel
KPI	Key Performance Indicators	Indicateur de performance, critère d'évaluation et de diagnostic sur le déroulement d'un projet.
LAF	Look And Feel	Ensemble de règles définissant l'apparence et le comportement de base des interfaces homme machine (IHM). Peut aussi désigner le document regroupant ces règles (« Le LAF »).
LR	Long Range	Nom de la famille A330-A340
MBSE	Model Based Systems Engineering	Ingénierie système basée sur les modèles, par opposition entre autres à l'ingénierie basée sur les documents
MG	Maturity Gate	Barrière de Maturité, point clé d'un projet, où

		son avancement et sa maturité sont évalués en rapport avec ses objectifs.
MVC	Model,View,Controller	Design pattern permettant la modularité et la séparation entre les IHM et les applications
NSS	Network Server System	Système de gestion des communications et de pares-feux sur l'A380
OIS	Onboard Information System	Système d'information embarqué, véhiculant des informations opérationnelles, en particulier concernant la maintenance, sur l'A380
OIT	Onboard Information Terminal	Ecrans présent dans le cockpit pour les pilotes, délivrant des informations en lien avec l'OIS
PDE	Page Diagram Editor	Outil développé par Safran Engineering, utilisé sur le programme A350 pour aider à la spécification des IHM du système FSA.
RD	Requirement Diagram	Diagramme d'exigence, type de diagramme SysML
SA	Single Aisle	Nom de la famille A320 (A318, A319, A320, A321)
SD	Sequence Diagram	Diagramme de séquence, type de diagramme SysML
SMD	State Machine Diagram	Diagramme de machine à états, type de diagramme SysML
UI	User Interface	Interface utilisateur d'une application
UCD	Use Case Diagram	Diagramme de cas d'utilisation, type de diagramme SysML
V&V	Verification&Validation	Verification (Conformité du produit avec la spécification) et Validation (Conformité de la spécification avec le besoin exprimé)
WIMP	Window, Icon, Menu, Pointing device	Type d'IHM basée sur les classiques fenêtres, icônes, menus et curseur
WP	Work Package	Ensemble de travaux à effectuer sur un système donné au sein des projets de recherche Airbus.
XWB	étie Wide Body	Nom du projet A350

### 7.3 Table des figures

<i>Figure 1 : Place du département EYMM au sein de la hiérarchie Airbus.....</i>	7
<i>Figure 2 : Place du département EYMM au sein de l'organisation matricielle Airbus.....</i>	8
<i>Figure 3 : Poste de l'OMS dans le cockpit A350 .....</i>	9
<i>Figure 4 : Ecrans OIT (Extrêmes gauche et droite) dans le cockpit A350 .....</i>	10
<i>Figure 5 : Les différents écran de l'IHM du NSS-OIS ne sont pas harmonisés .....</i>	16
<i>Figure 6 : L'IHM du FSA A350 est harmonisée et plus intuitive .....</i>	17
<i>Figure 7 : Un concept possible pour l'A30X.....</i>	18
<i>Figure 8 : Architecture du NSS-OIS sur A380 .....</i>	19
<i>Figure 9 : Architecture du FSA-NG sur A350 .....</i>	20
<i>Figure 10 : Architecture en émergence pour @MOST .....</i>	21
<i>Figure 11 : Un exemple de changement technologique qui pourrait avoir un impact sur @MOST....</i>	24
<i>Figure 12 : Feuille de route du stage.....</i>	28
<i>Figure 13 : Vue générale d'un modèle SysML sous Topcased.....</i>	40
<i>Figure 14 : Un schéma généré avec PDE, représentant le comportement d'une IHM .....</i>	41
<i>Figure 15 : Un formalisme pour représenter les interactions sous forme de conversation .....</i>	41
<i>Figure 16 : Le lien entre le modèle de tâches et l'interface utilisateur implémentée .....</i>	42
<i>Figure 17 : Un schéma utilisant le formalisme SEF .....</i>	43
<i>Figure 18 : Une machine à états composée représentant le comportement d'une OHM simple.....</i>	44
<i>Figure 19 : GrafiXML, un outil basé sur UsiXML.....</i>	45
<i>Figure 20 : Le processus de design d'IHM par dérivation de processus métier .....</i>	45
<i>Figure 21 : L'interface de ProtoBuilder propose des schémas explicitant le comportement des IHM</i>	46
<i>Figure 22 : L'architecture très complète du framework Cameleon.....</i>	47
<i>Figure 23 : La description d'un processus étier utilisant le formalisme BPMN.....</i>	48
<i>Figure 24 : La structure du modèle SysML proposé.....</i>	52
<i>Figure 25 : Le processus de développement de l'IHM d'@MOST proposé par l'équipe PMT .....</i>	53
<i>Figure 26 : Vue des utilisateurs réunis en groupe à l'aide de Packages .....</i>	56
<i>Figure 27 : Vue des relations d'héritages entre des classes d'utilisateurs.....</i>	56
<i>Figure 28 : Vue des interfaces d'un système avec l'IHM .....</i>	57
<i>Figure 29 : Vue de la place des IHM au sein de l'architecture du projet .....</i>	57
<i>Figure 30 : Modélisation d'une tâche impliquant un seul utilisateur.....</i>	58
<i>Figure 31 : Modélisation d'une tâche impliquant une collaboration entre différents utilisateurs.....</i>	58
<i>Figure 32 : Visualisation de la hiérarchie du modèle de tâches : décomposition des tâches en sous tâches.....</i>	59
<i>Figure 33 : Modélisation de la composition d'un écran utilisant des éléments de la bibliothèque commune, sous forme de BDD.....</i>	59
<i>Figure 34 : Modélisation de la conception d'un écran, sous forme d'IBD modifié, permettant d'avoir une idée de l'aspect de l'IHM.....</i>	60
<i>Figure 35 : Plan de l'IHM, avec les différents pages et les liens de navigation entre les pages .....</i>	60
<i>Figure 36 : Modélisation d'un menu et de ses sous menus.....</i>	60
<i>Figure 37 : Modélisation du comportement d'un widget simple .....</i>	61
<i>Figure 38 : Liens entre les états d'un widget et sa représentation graphique.....</i>	61
<i>Figure 39 : Modélisation de contraintes comportementales entre deux éléments d'IHM .....</i>	62
<i>Figure 40 : Bibliothèque de widgets reprenant les éléments de Swing (Java).....</i>	62
<i>Figure 41 : Regroupement des widgets dans des catégories d'équivalence fonctionnelle, utiles dans les premières phases de maturation des solutions.....</i>	63
<i>Figure 42 : Lien entre la structure de l'IHM et le modèle de tâche.....</i>	63
<i>Figure 43 : Génération d'un tableau de bord à partir des données du modèle .....</i>	64
<i>Figure 44 : Génération de spécification à partir du modèle .....</i>	65
<i>Figure 45 : Model checking sur des propriétés du modèle.....</i>	66
<i>Figure 46 : Génération de maquette à partir du modèle, du Look and Feel et de données factices....</i>	67