
Exploitation de scénarios prospectifs pour l'analyse des exigences

Application à la conception des avions futurs

Brieuc Danet¹

1. Département Traitement de l'Information et Systèmes
ONERA - The French Aerospace Lab - Centre de Toulouse
2, avenue Edouard Belin - BP 74025 - 31055 TOULOUSE CEDEX
brieuc.danet@onera.fr

RESUME. Cet article présente une démarche d'analyse systémique mise en place dans un objectif d'élicitation des exigences. Il s'agit d'exploiter des scénarios prospectifs par une méthode d'analyse stratégique tournée vers les acteurs, en adoptant le formalisme proposé par le langage iStar. La démarche est appliquée aux scénarios de transport aérien futur décrits dans le rapport d'une étude menée en 2021 par des organismes de recherche aéronautique européens. Les exigences obtenues doivent permettre d'alimenter le processus de conception des avions futurs en définissant des critères adaptés aux technologies à venir, notamment en termes d'impacts écologiques, sociétaux et éthiques.

ABSTRACT. This article presents a systemic analysis approach implemented with the aim of requirements elicitation. It is a question of exploiting prospective scenarios through a strategic "actor-oriented" analysis method by adopting the formalism proposed in the iStar language. The approach is applied to future air transport scenarios described in the report of a study conducted by European aeronautical research organizations in 2021. The requirements obtained must make it possible to feed the future aircraft design process by defining criteria adapted to future technologies, especially concerning ecological, societal and ethical impacts.

Mots-clés : Analyse systémique ; élicitation des exigences ; conception avion ; scénarios prospectifs ; critères d'évaluation ; impact écologique ; analyse stratégique ; analyse lexicologique.

KEYWORDS: Systemic analysis; requirements elicitation; aircraft design; prospective scenarios; assessment criteria; ecological impact ; strategic analysis; lexicological analysis.

1. Introduction

La conception d'un nouvel avion s'appuie sur un besoin exprimé ou anticipé d'un client. Ce besoin se traduit généralement sous forme d'une mission, exprimée en nombre de passagers à transporter et d'une distance à parcourir, en un temps donné. Par ailleurs, de nombreuses contraintes doivent être prises en compte dès la conception. Elles peuvent toucher aux opérations aériennes et émaner de la réglementation du trafic aérien (certification) ou de contextes aéroportuaires. Le travail de design répond enfin à des objectifs de performances techniques et économiques, qui doivent permettre in fine à l'entreprise de produire et vendre des appareils de façon rentable.

Des outils dits de MDAO (Multi-Disciplinary Analysis and Optimization) permettent aujourd'hui de prendre en compte tous ces aspects de la conception avion, en gérant la complexité de la modélisation autant que la problématique de réponse aux besoins (Defoort *et al.*, 2022). Ils se basent sur des algorithmes très performants pour pouvoir analyser des systèmes de grande dimension aux variables couplées, et mettent en place des stratégies d'optimisation permettant de gérer des objectifs et contraintes multiples (Bartoli *et al.*, 2019).

Ces outils, et les méthodologies sur lesquelles ils reposent, sont en perpétuelle évolution. Ils sont conçus pour pouvoir être utilisés par les industriels pour optimiser l'avion à construire, mais également par les chercheurs pour évaluer le potentiel de concepts novateurs, aux technologies encore peu matures. Il est alors possible de comparer des configurations géométriques, des technologies de propulsion, ou des sources d'énergie différentes, et d'en déduire lesquelles paraissent les plus prometteuses.

Pourtant, ces évaluations de concepts exploratoires posent problème. D'une part, on utilise des critères actuels pour évaluer des concepts et technologies qui ne seront disponibles qu'à un horizon parfois lointain, selon leur niveau de TRL (Technical Readiness Level). D'autre part, depuis la prise de conscience du dérèglement climatique et la crise sanitaire, la vision d'une industrie qui devrait avant tout viser la performance est devenue obsolète. Bien d'autres types de critères doivent et devront être pris en compte dans les années à venir (Henderson *et al.*, 2012) : écologiques, sociétaux et éthiques en premier lieu.

Il paraît donc indispensable d'envisager l'avenir pour pouvoir déterminer quel type d'appareil sera alors le plus adapté. Cela étant dit, il est évidemment illusoire de penser qu'il serait possible de prévoir, ou de prédire, les tenants et aboutissants du transport aérien futur. L'alternative consiste à envisager différents types de scénarios constituant un panorama dont la diversité devrait permettre d'englober l'ensemble des avènements possibles, quel que soit leur "réalisme". C'est l'objet des études de prospective (Godet, 2007), qui visent à anticiper des situations vraisemblables à venir, pour s'y préparer, et non de les prédire en tentant d'évaluer leur probabilité d'occurrence.

Par ailleurs, compte tenu de la complexité du transport aérien et de son évolution, il est nécessaire de prendre en compte la globalité du problème par une

analyse systémique. En effet, définir les besoins, exigences, contraintes et objectifs à venir revient à considérer les relations d'interdépendance de l'ensemble des acteurs du secteur, qu'ils soient privés ou publics, nationaux ou internationaux.

A titre d'exemple, l'EREA¹, l'organe européen regroupant l'ensemble des établissements de recherche aéronautique, a débuté en 2010 une étude prospective dans le but de construire une vision commune du transport aérien futur. La dernière mise à jour du rapport correspondant (EREA, 2021), présente quatre scénarios qui sont supposés couvrir l'ensemble des situations à envisager pour appréhender les problématiques à venir.

Ce rapport, et les scénarios qu'il détaille, constituent une source très riche d'informations collectées, mises en forme et validées par les principaux acteurs scientifiques du domaine aéronautique. C'est donc le point de départ idéal pour une analyse qui doit mener à la définition des exigences à prendre en compte pour les concepts d'avion futurs.

Cet article présente la démarche qui a été mise en œuvre pour exploiter ces scénarios. Une fois le cas d'étude présenté en détail, une analyse stratégique des acteurs exposera dans un premier temps les difficultés liées à l'exploitation d'un tel rapport. Ensuite, un travail de collecte et de formalisation des informations issues des scénarios grâce au langage iStar permettra de montrer l'intérêt et les limites d'une telle démarche pour l'analyse des exigences. Enfin, un cas d'application lié à la modularité des aéronefs futurs présentera l'intérêt d'envisager l'étude sous un angle transverse.

2. Cas d'étude

Dans son rapport, l'EREA avait pour objectifs d'aider à renforcer la coopération au niveau européen, soutenir les choix des décideurs politiques et nourrir le dialogue avec le grand public. La démarche a donc consisté à situer le transport aérien futur dans un contexte international, tenant compte d'une évolution des situations politiques, économiques, sociologiques et écologiques des différents pays concernés. Le rapport concrétise la longue réflexion collaborative d'un groupe d'experts à travers quatre scénarios « type ».

Le premier scénario, dénommé « Mad Max », anticipe un monde fragmenté, démondialisé, caractérisé par le nationalisme extrême et le populisme. Il y règne une grande instabilité économique, en raison d'économies protectionnistes et de niveaux élevés d'inégalité. L'aviation y est un produit coûteux, luxueux et hautement désirable, mais peu fiable en raison de la crise climatique, des faibles niveaux d'innovation et des différentes sources d'instabilité qui pèsent sur la disponibilité des ressources.

Le deuxième scénario, « Tech For You », décrit un monde caractérisé par la multipolarité et la libre concurrence, où le marché est guidé par le choix et les désirs des consommateurs. Une production à coût élevé et à faible économie d'échelle est

¹ Association of European Research Establishments in Aeronautics

compensée par un haut niveau d'automatisation. Les investissements en R&D sont élevés et se font au niveau national et à court terme. Le transport aérien y fait partie d'un système de transport flexible, intermodal et global.

Dans le troisième scénario, « Stripping Down », le monde est globalisé, organisé autour de quelques blocs démocratiques de taille continentale, au sein desquels règne une grande stabilité politique. La croissance économique est planifiée, lente mais stable, et les marchés sont organisés autour d'une régulation incitative avec priorité à la durabilité, au détriment du choix du consommateur. La mobilité est limitée et hautement contrôlée. Le transport aérien n'est toléré qu'en tant que faisant partie de solutions génériques intermodales durables adaptées pour réduire l'impact environnemental.

Le quatrième et dernier scénario, « Optimising Together », considère un monde où règnent la coopération et la collaboration mondiales, à travers des cadres juridiques et institutionnels unifiés et harmonisés. Cette stabilité globale et de hauts niveaux de standardisation et de confiance mutuelle permettent à la fois une croissance élevée et une durabilité forte. La mobilité se développe et est pleinement durable. Différentes solutions aéronautiques sont disponibles pour tous les segments de voyage, de la mobilité aérienne urbaine aux vols en formation en passant par les vols suborbitaux.

3. Analyse stratégique des scénarios

L'exploitation d'un tel rapport, synthèse d'une étude au long cours, n'est pas simple. D'une part, il s'agit d'une étude qualitative, dans laquelle chaque scénario est supposé bien distinct des autres, et décrit avec un réel effort de clarté et de justesse, mais sans données chiffrées. En effet, il s'agit de projections dans l'avenir, élaborées conjointement par plusieurs experts du domaine, mais non générées par un outil probabiliste dans lequel on aurait modélisé l'évolution des différents paramètres en jeu, même si certaines méthodes d'analyse structurelle (Godet et Durance, 2011) sont souvent utilisées au cours de la réflexion.

D'autre part, le document a été rédigé pour être lu par des publics divers (chercheurs, industriels, décideurs, grand public, etc.), pas nécessairement experts eux-mêmes. La présentation du document et le langage utilisé peuvent donc paraître manquer de précision et de systématisme.

Pour que ces scénarios puissent servir de base à la définition d'un système de transport futur, il est nécessaire d'en effectuer une analyse exhaustive, en démêlant la complexité du système étudié, pour comprendre les origines et interdépendances des exigences imposées aux différents acteurs, et aboutir in fine à un panel de critères d'évaluation représentatifs pour les concepts à venir.

Le travail d'analyse du rapport de l'EREA consiste tout d'abord à lister l'ensemble des acteurs mis en jeu, avant de détailler, pour chacun d'entre eux et pour chaque scénario, les objectifs, les tâches à accomplir, les ressources nécessaires et/ou disponibles, et les qualités à mettre en avant.

Cette démarche d'analyse stratégique rejoint un principe proposé par Crozier et Friedberg (1977), sociologues des organisations et pionniers de la Prospective en France, selon lesquels l'analyse de l'évolution d'un système complexe, tel que le système de transport aérien, débute par l'analyse pratique des relations de pouvoir entre acteurs du système et des règles, implicites ou explicites, qui gouvernent leurs interactions.

De nombreux acteurs du transport aérien sont présents dans les quatre scénarios, parfois nominativement, parfois à travers le rôle particulier qu'ils y jouent ou la fonction qu'ils y occupent. La multiplicité de ces acteurs n'est pas surprenante, et la prise en compte de leur place dans le système de transport aérien futur est a priori nécessaire pour l'étude. En effet, même si les exigences qui entrent en jeu dans la conception d'un avion s'appliquent en premier lieu aux industriels en charge de leur fabrication, ainsi qu'à leurs sous-traitants (motoristes par exemple), en aval elles proviennent de très nombreux acteurs : besoins des usagers, demandes des compagnies aériennes, contraintes des organismes de réglementation, ressources gouvernementales, etc. Un travail préalable à toute analyse systémique consiste donc à les lister, pour les trier et comprendre leurs interdépendances éventuelles.

Même nombreux, ces acteurs du transport aérien futurs restent globalement similaires aux acteurs actuels. Pour clarifier l'exercice et tenter une première analyse, on choisit de les classer selon leur appartenance à l'un des groupes suivants :

- les acteurs sociaux (population civile, passagers ou non, associations et collectifs),
- les acteurs de la recherche,
- les acteurs internationaux (organismes décisionnels ou de réglementation),
- les acteurs nationaux (gouvernements),
- les acteurs industriels (constructeurs, motoristes, vendeurs d'énergie),
- les acteurs opérationnels (compagnies aériennes).

Ainsi, on peut tenter de caractériser chacun des scénarios en notant le niveau d'occurrence des acteurs de chacun de ces groupes dans le texte qui le décrit.

On observe sur la Figure 1 que les acteurs nationaux et les acteurs sociaux sont les plus cités dans l'ensemble des scénarios, ce qui n'a rien de surprenant, étant donné que l'industrie aéronautique et le transport sont deux activités économiques majeures pour de nombreux gouvernements occidentaux, que ce soit en termes de finances ou d'emploi. Les citoyens, eux, sont évidemment concernés à plusieurs titres, directement en tant que passagers ou travailleurs du secteur, mais aussi indirectement, en particulier à travers l'impact du transport aérien sur leurs vies (bruit, pollution, dérèglement climatique, etc.) mais aussi dans leur éventuelle implication dans des groupes politiques ou militants.

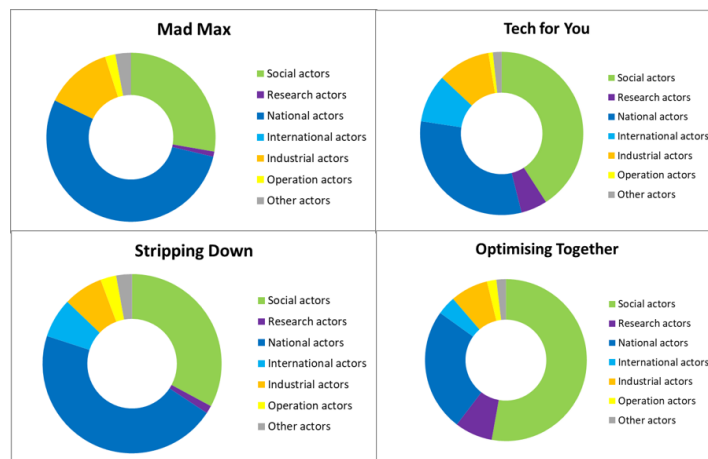


Figure 1. Diagramme d'occurrence des groupes d'acteurs dans les scénarios

Par ailleurs, on remarque que la part de ces acteurs sociétaux dans le nombre total d'occurrences varie considérablement d'un scénario à l'autre : de 28% pour « Mad Max » à 54% pour « Optimising Together ». L'étude EREA étant notablement tournée vers la question de la responsabilité sociétale du transport aérien, on a choisi de détailler davantage l'étude sur ces acteurs sociétaux pour tenter d'en comprendre un peu plus.

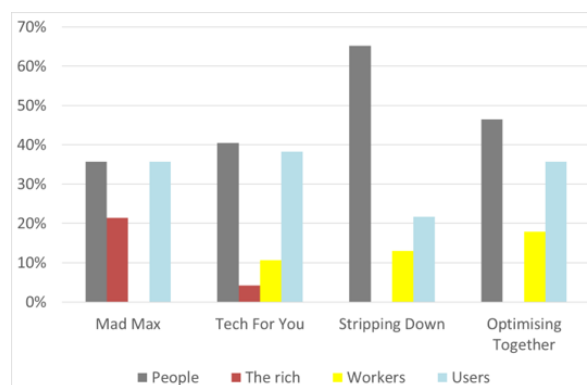


Figure 2. Pourcentage d'occurrence des acteurs sociétaux

La Figure 2 laisse apparaître que la composition même du groupe des acteurs sociétaux change fortement d'un scénario à l'autre. On distingue les scénarios davantage tournés vers les utilisateurs (passagers), en particulier les plus riches (« Mad Max » et « Tech For You »), et ceux où la population civile et les

travailleurs du secteur ont une influence plus importante (« Stripping Down » et « Optimising Together »). Ces tendances sont révélatrices de sociétés aux fonctionnements politiques radicalement différents, qui doivent fortement influencer sur les objectifs comme sur les moyens mis en œuvre pour concevoir les aéronefs futurs.

Le niveau d'implication des acteurs ou groupes d'acteurs permet donc de différencier, voire de caractériser les scénarios. Envisager un processus d'analyse par les acteurs pour extraire de ces scénarios l'information utile in fine à l'étude des exigences paraît donc pertinent, à condition d'introduire un formalisme adapté à une telle analyse systémique.

4. Formalisation du système d'acteurs

Plusieurs langages d'ingénierie des exigences ont déjà été utilisés pour représenter un tel système d'acteurs (pour KAOS cf. van Lamsweerde, 2009 ; pour URN/GRL cf. Amyot *et al.* 2009). Nous avons choisi iStar (Yu et Mylopoulos, 1997 ; Dalpiaz *et al.*, 2016) pour exploiter la description de chacun des scénarios selon la démarche stratégique et systémique envisagée précédemment.

En effet, iStar paraît très indiqué pour expliciter un système complexe tel que celui du transport aérien futur, où la notion d'acteur est centrale (Carvallo et Franch, 2009). Par ailleurs, iStar a déjà été utilisé avec succès dans le monde aéronautique pour représenter les objectifs liés à la conception d'avions (Chan *et al.*, 2022 ; 2022).

D'une part, le langage permet d'explorer le système d'acteurs à travers leurs buts et leurs relations d'interdépendance, à l'aide des diagrammes SD (« Strategic Dependency »). D'autre part, les éléments intentionnels, qui régissent le comportement des acteurs, permettent de mieux déterminer les exigences qu'ils s'imposent, individuellement ou mutuellement. Effet, ces exigences peuvent, par exemple, être liées à la disponibilité d'une ressource, à la sous-traitance de tâches à accomplir, à des fonctionnalités liées à des besoins client, ou à des critères de performance. Expliciter ainsi la nature des exigences à l'aide de diagrammes SR (« Strategic Rationale ») permet de mieux les prendre en compte dans le processus de conception.

La première étape de notre travail consiste donc à modéliser le système d'acteurs à partir des informations préalablement collectées. Le langage iStar permet de distinguer l'agent (organisation identifiée et nommée par exemple) du rôle qu'il joue dans la société. Par ailleurs, un rôle peut être défini comme la spécialisation d'un autre rôle (par exemple, un pilote est un industriel de l'aéronautique spécialisé) ; on utilisera alors le lien « is a ». Si un agent (ou un rôle) peut contribuer individuellement à un rôle (un citoyen qui ferait partie d'une association de défense de l'environnement par exemple), on utilisera le lien « participates in ».

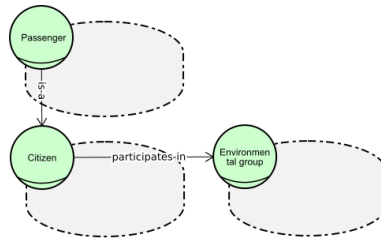


Figure 3. Exemples de liens de dépendance entre rôles

Une fois la liste des acteurs bien établie, à travers une mutualisation de leurs dénominations, il est possible d'extraire du texte de présentation des scénarios tous les contenus qui vont introduire une notion d'exigence. Ce travail doit une fois de plus s'effectuer de façon exhaustive, pour permettre in fine de tracer ces exigences.

On utilise pour cela le formalisme induit par le langage iStar, qui distingue plusieurs types d'*éléments intentionnels* pour un acteur :

- les **but**s à atteindre, dont l'accomplissement est établi à travers un critère précis, exprimé par un groupe nominal. Par exemple : pour un passager, "speed, comfortable, convenient trip", pour un gouvernement, "own energy needs ensured".
- les **qualités**, qui vont intervenir comme des critères de performance, exprimés par des noms (ou des adjectifs). Par exemple : "wealth", "sovereignty"
- les **tâches**, qui représentent les actions à exécuter, notamment pour atteindre un but. Elles sont exprimées par un groupe verbal. Par exemple : "exploit own fossil fuel resources", "control airspace"
- les **ressources**, qu'elles soient matérielles ou virtuelles (information), requises pour une tâche. Elles sont exprimées par un groupe nominal. Par exemple : "fossil fuels", "accessible information".

Cette étape de formalisation est facilitée par le développement d'une routine qui permet de générer automatiquement le fichier iStar à partir des données stockées pour chaque acteur (par exemple dans un fichier Excel).

La Figure 4 présente l'exemple d'un acteur "bloc" (qui représente un bloc de pays ayant signé des accords diplomatiques de coopération, comme la Communauté Européenne par exemple), et de l'ensemble de ses éléments intentionnels, buts, tâches, qualités et ressources.

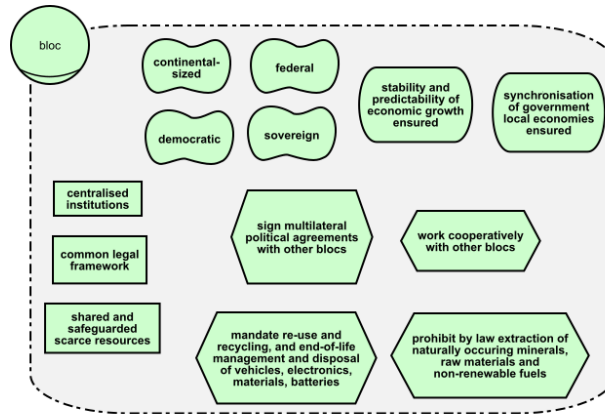


Figure 4. Détail de l'acteur « bloc » : éléments intentionnels

Une fois ces éléments mis en place pour chacun des acteurs, vient l'étape de définition des relations de dépendance qui les lient. Ces relations peuvent être internes à l'acteur, mais peuvent également relier plusieurs acteurs. En effet, aucun acteur n'est indépendant dans le système, et c'est justement dans l'analyse de ces interdépendances que vont s'expliciter les exigences recherchées.

En ce qui concerne les liens internes, on en distingue quatre types :

– Le **raffinement** s'entend entre un but (ou une tâche) et un(e) ou plusieurs but(s) (ou tâche(s)) et comprend un opérateur logique ET ou OU (inclusif)

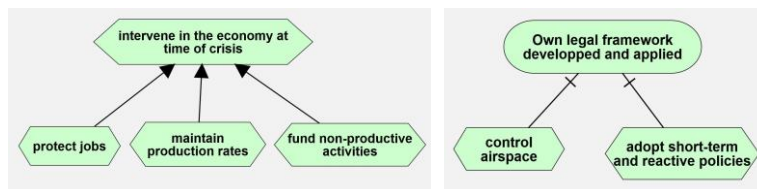


Figure 5. Interdépendance interne : raffinement

- **Requis par** désigne le besoin d'une ressource pour accomplir une tâche
- La **qualification** exprime un niveau de satisfaction attendu pour l'exécution d'une tâche, l'accomplissement d'un but, ou l'approvisionnement d'une ressource
- Une **contribution** participe positivement (Make ++, Help +) ou négativement (Break --, Hurt -) à satisfaire une qualité

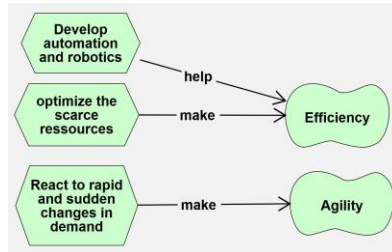


Figure 6. Interdépendance interne : contribution

Les liens entre acteurs se caractérisent à travers leurs éléments intentionnels. Par exemple, un acteur peut avoir besoin d'une ressource d'un autre acteur pour exécuter une de ses propres tâches, ou compter sur l'exécution des tâches d'un autre pour atteindre un de ses buts. Pour matérialiser ce lien le langage iStar définit la notion de *dependum*, qui doit appartenir à l'une des catégories des éléments intentionnels, et qui va cristalliser la notion d'exigence entre les acteurs.

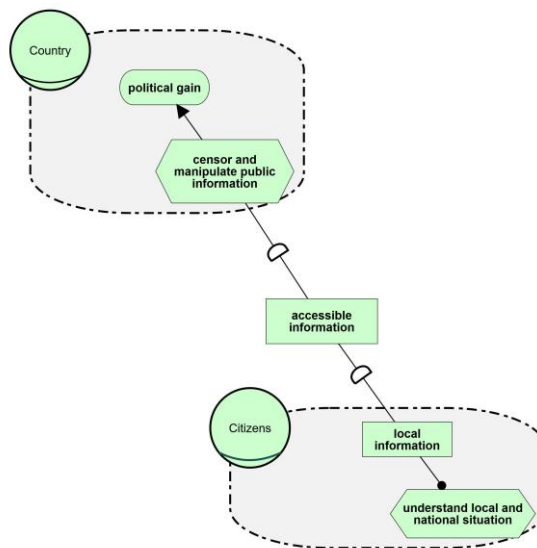


Figure 7. Interdépendance externe entre acteurs

La Figure 7 illustre une relation de dépendance entre un pays et ses citoyens dans le contexte du scénario « Mad Max » : les informations nécessaires aux citoyens pour comprendre leur situation locale et globale dépendent d'un éventuel niveau de censure (voire de manipulation) du gouvernement de leur pays. Ici, c'est l'information disponible qui est le *dependum*, en tant que ressource.

Grâce au formalisme du langage iStar, chacun des scénarios peut ainsi être exploité de façon exhaustive pour aboutir à une représentation du système d'acteurs, permettant de faire le lien entre la dynamique interne de chacun, et l'ensemble des relations entre acteurs.

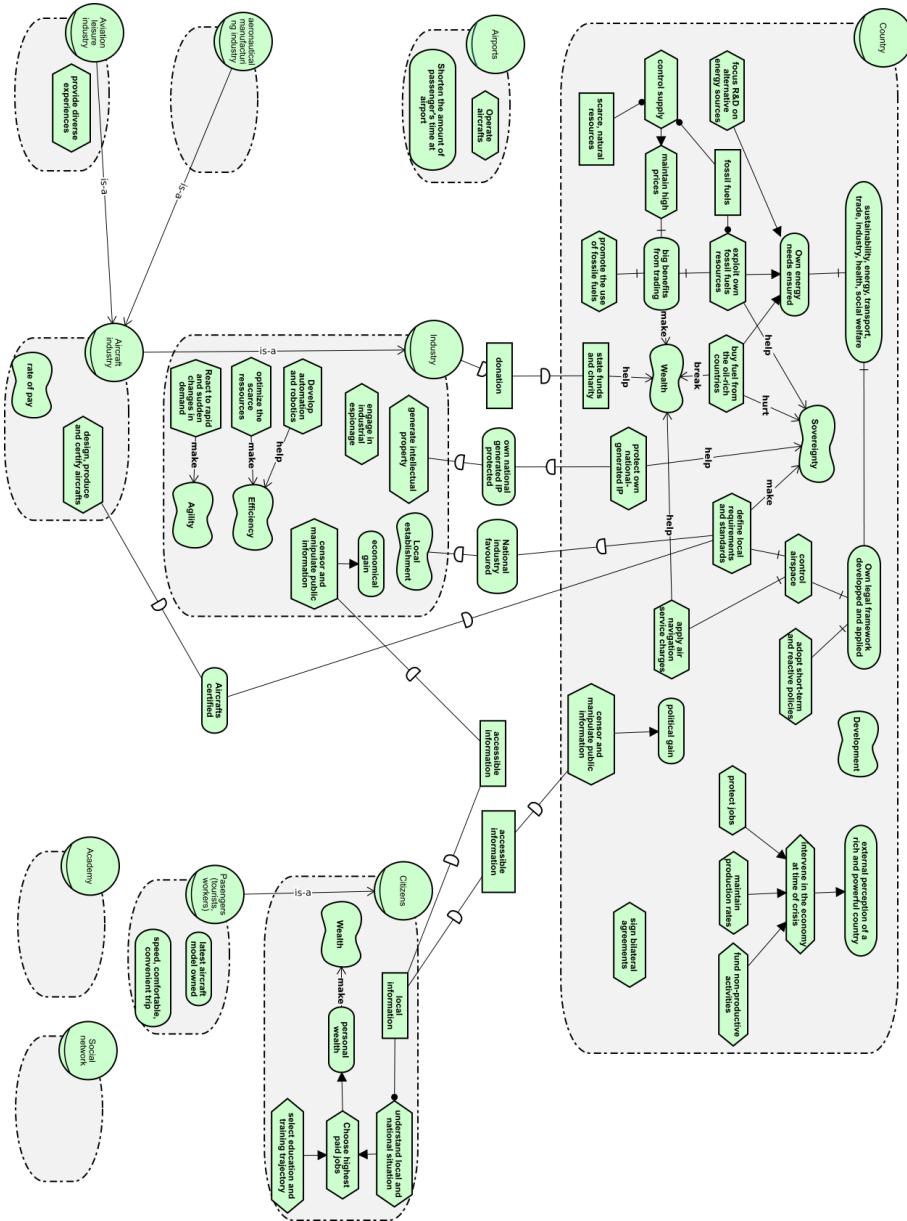


Figure 8. Vue globale et détaillée de l'exploitation du scénario « Mad Max »

La Figure 8 illustre la représentation à laquelle l'analyse aboutit pour le système de transport aérien futur décrit dans le cadre du scénario « Mad Max ».

Le diagramme produit met en valeur le rôle majeur de l'Etat dans ce scénario. Son appui financier est vital pour les industriels nationaux confrontés à un marché très fermé où seuls les citoyens les plus riches peuvent encore s'offrir l'accès au transport aérien. La maîtrise de l'information est d'ailleurs un enjeu de taille vis-à-vis de la population, pour permettre aux industriels et à l'Etat d'agir sans s'inquiéter de l'opinion publique. La stabilité du système global dépend alors majoritairement de la capacité de l'Etat à conserver sa souveraineté financière, l'accès aux ressources critiques, le contrôle de son territoire (y compris l'espace aérien) et son image dans le monde.

Le diagramme a bien permis, dans ce cas, de formaliser les buts des acteurs majeurs, et de préciser les contraintes imposées par leur environnement, pour aboutir aux exigences qui doivent régir leurs décisions.

Toutefois, cette représentation fait apparaître un problème de complétude dans la description des scénarios. En effet, de grandes différences de développement peuvent être notées entre les différents acteurs supposés jouer un rôle dans ce scénario. Pour certains, il n'a même pas été possible de trouver d'éléments permettant de cibler leurs objectifs, d'explicitier leurs éléments intentionnels, ou leurs relations avec les autres acteurs (au-delà des éventuels liens hiérarchiques). Ce manque d'informations invite à questionner les auteurs, pour déterminer si l'influence de l'acteur est effectivement mineure dans ce scénario, ou s'il s'agit en fait de mieux expliciter son rôle pour qu'il puisse intégrer le système et donner lieu à l'élicitation de nouvelles exigences.

La représentation formelle des jeux d'acteurs pourrait alors devenir une forme d'outil de validation de la complétude des scénarios (Alrajeh *et al.*, 2013), à inscrire dans une démarche itérative pour converger vers une vision commune, exhaustive et cohérente du scénario envisagé. Le formalisme proposé par l'outil pourrait même être complètement intégré à la démarche prospective, à l'image de la méthode MACTOR (Peerbooccus, 2022) surtout utilisée en sciences sociales pour expliciter les jeux d'acteurs à travers leur niveau d'influence dans le système, mais sans volonté d'explicitier les relations de dépendance, ni la nature des exigences qu'elles génèrent.

5. Perspective

A l'avenir, nous pourrions proposer une autre forme d'analyse, qui s'opère de manière plus transverse aux scénarios en focalisant la réflexion sur une problématique spécifique, susceptible d'impacter plusieurs acteurs du système. Cela peut permettre à n'importe quel utilisateur de mieux se situer vis-à-vis de cette problématique, et d'identifier les liens à tisser avec les autres acteurs du domaine pour répondre à de nouvelles exigences.

Ce cas de figure peut être illustré en se penchant sur la notion de modularité des avions futurs. Ce terme désigne l'idée de faire varier la configuration de l'aéronef pour adapter son niveau de performance en fonction des exigences et du besoin. Il recouvre un grand nombre d'innovations autour de concepts technologiques qui ont en commun une organisation structurelle adaptable. Il peut s'agir, par exemple, d'une cabine amovible pour réduire le temps de rotation des avions à l'aéroport, ou d'un appareil dont l'ensemble des éléments (voilure, fuselage, système propulsif, etc.) sont interchangeable, pour produire une large gamme d'appareils à disposition des besoins du client tout en réduisant les coûts de conception, de sous-traitance et de fabrication.

Cette modularité pourrait ainsi être une innovation majeure, impactant un grand nombre d'acteurs du domaine, constructeurs et équipementiers, compagnies aériennes, aéroports, et bien sûr, in fine, passagers.

Nous nous sommes donc appuyés sur les scénarios EREA pour mieux saisir la complexité du problème, et anticiper les exigences à venir. Pour cela, on a recensé, dans l'ensemble des scénarios, les occurrences du terme de modularité (et des termes du même champ lexical). On a ensuite procédé comme précédemment, en identifiant quels acteurs étaient impactés ou engagés, et en formalisant l'action à travers un ou plusieurs éléments intentionnels, ainsi que les liens associés si nécessaire.

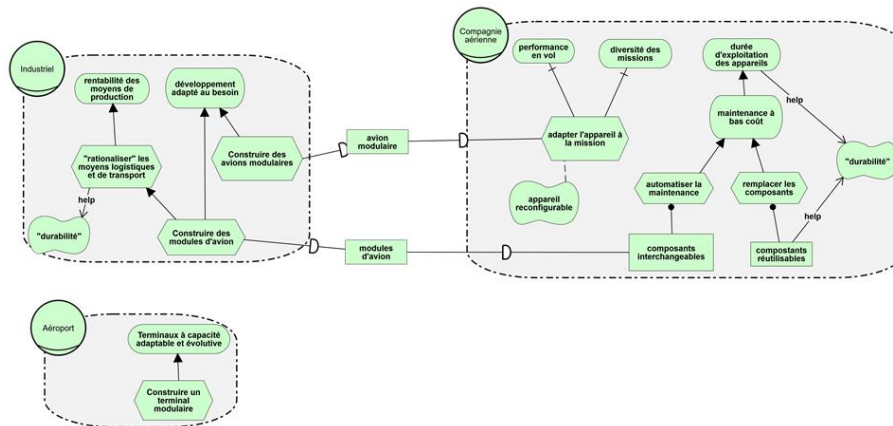


Figure 9. Analyse transverse de la modularité des avions futurs

Il en résulte la représentation schématique de la Figure 9, où peuvent être retrouvées les diverses notions de modularité : des besoins en missions, des appareils, des moyens de production et de transport, ou des terminaux d'aéroport. Les exigences qui apparaissent chez les acteurs considérés pourront ensuite être directement reprises par les utilisateurs intéressés par la problématique, pour être éventuellement qualifiées, voire quantifiées.

6. Conclusions

La démarche proposée pour l'exploitation des scénarios EREA permet d'aboutir à une première vision globale de la cartographie des exigences pour le système de transport aérien futur.

Une analyse systémique par les acteurs est d'abord menée, héritée de principes de sociologie des organisations. Elle consiste en une analyse statistique lexicale du texte descriptif des scénarios, qui conduit à dresser un panorama exhaustif des parties prenantes du système et permet d'estimer le niveau d'implication de chacune.

Le langage iStar est alors adopté pour formaliser cet inventaire des acteurs. D'une part, il s'agit de préciser leur nature (agent ou rôle) et leur logique de fonctionnement propre, en particulier les objectifs qui guident leurs actes, qu'ils soient l'expression directe de buts ou la volonté implicite de satisfaire des critères de qualité. Le formalisme d'iStar permet ensuite d'explicitier la nature des relations entre acteurs, qui peuvent être basées sur la dépendance à une ressource détenue par un autre, sur l'accomplissement de tâches pour lesquelles une compétence spécifique est nécessaire, ou même sur des objectifs à atteindre dont les niveaux sont définis par ailleurs.

Ce travail de formalisation aboutit à une cartographie des liens entre les objectifs des acteurs, les tâches à accomplir pour les atteindre, les ressources nécessaires et les critères de performance à surveiller.

Cette nouvelle forme de ressource, directement issue des informations contenues dans les scénarios élaborés et rédigés par l'EREA, peut ensuite être exploitée de différentes façons. Il peut s'agir, pour un acteur du système, de se projeter dans l'avenir en extrayant les exigences futures associées à son activité, pour mieux anticiper les décisions à prendre et envisager les actions à mener : un industriel pourrait revoir la chaîne d'assemblage de son futur appareil pour prendre en compte l'évolution du coût des ressources et des compétences disponibles, un organisme de réglementation pourrait préparer des mesures incitatives pour encourager les compagnies à satisfaire les demandes d'associations écologistes de plus en plus influentes, etc.

Ce type de cartographie multi-acteurs et multi-domaines est également essentielle pour pouvoir définir les critères d'évaluation des concepts futurs et amorcer les projets de recherche associés. Grâce aux récents travaux sur les algorithmes et les stratégies d'optimisation, il sera en effet envisageable d'analyser le système de transport aérien dans sa globalité, quels que soient la dimension du vecteur des données d'entrée ou le nombre d'objectifs en sortie.

Dans un contexte d'inquiétude pour l'environnement et le climat, et d'instabilité économique et politique, de nombreux scénarios prospectifs sont élaborés qui doivent permettre d'envisager des situations très diverses et se préparer au mieux. L'exploitation systémique de ces scénarios par tout utilisateur concerné pourrait être un préalable à une meilleure sensibilisation, mais surtout un outil d'aide à la décision robuste et transparent.

Une telle démarche de formalisation permettrait de faciliter l'émergence de visions communes d'avenirs, en encourageant un processus itératif permettant de s'assurer de la complétude et de la cohérence globale des informations fournies. Elle pourrait alors être avantageusement couplée à certaines méthodes de génération automatisée de scénarios en cours de développement (Blanchard *et al.*, 2021).

Bibliographie

- Alrajeh D., Russo A., Lockerbie J., Maiden N., Mavin A., Novak M. (2013). *Computational Alignment of Goals and Scenarios for Complex Systems*. Proceedings - International Conference on Software Engineering.
- Amyot D., Horkoff J., Gross D., Mussbacher G. (2009) *A Lightweight GRL Profile for i* Modeling*. ER Workshops 2009: 254-264
- Bartoli N., Lefebvre T., Dubreuil S., Olivanti R., Priem R. (2019). *Adaptive modeling strategy for constrained global optimization with application to aerodynamic wing design* - Aerospace Science and technology
- Blanchard C., Saurel C., Tessier C. (2021). *Futurs possibles d'un système d'acteurs : formalisation et génération automatique de scénarios*. In PFIA 2022 - Rencontres des jeunes chercheurs en intelligence artificielle, pages 115–122
- Carvalho, J., Franch, X. (2009). *On the Use of i* for Architecting Hybrid Systems: A Method and an Evaluation Report*. 38-53.
- Chan A., Fernandes Pires A., Polacsek T. (2022). *Trying to Elicit and Assign Goals to the Right Actors*. ER 2022: 413-422
- Chan A., Fernandes Pires A., Polacsek T., Roussel S. (2022) *The Aircraft and Its Manufacturing System: From Early Requirements to Global Design*. CAiSE: 164-179
- Crozier M., Friedberg E. (1977) *L'acteur et le système* ISBN 978-2020046770
- Dalpiaz F., Franch X., Horkoff J. (2016). *iStar 2.0 Language Guide*. arXiv:1605.07767
- Defoort S. *et al.* (2022). *Leveraging on OpenMDAO to enhance MDO capability @ONERA*, OpenMDAO Workshop, GRC, Cleveland, OH – October 24 th, 2022
- EREA (2021) *EREA Vision Study – The Future of Aviation in 2050*, <https://erea.org/>
- Godet M. (2007). *Manuel de prospective stratégique. L'art et la méthode. Vol. 2*. Dunod
- Godet M., Durance P. (2011). *La Prospective stratégique. Pour les entreprises et les territoires* UNESCO / Dunod, p. 62-68
- Henderson R., Martins J., Perez R. (2012). *Aircraft Conceptual Design for Optimal Environmental Performance*. The Aeronautical Journal. 116. 1-22.
- Peerbooccus R., Godet M., Bourse F. (2022) *L'analyse du jeu des acteurs en prospective - La méthode MACTOR*. Futuribles International
- van Lamsweerde A. (2009). *Requirements Engineering - From System Goals to UML Models to Software Specifications*. Wiley 2009, ISBN 978-0-470-01270-3
- Yu E., Mylopoulos J. (1997). *Enterprise modelling for business redesign: The i* framework*. SIGGROUP Bull., 18(1):59–63