

Conception et validation Facteur humain en milieu simulé

Thomas Autier et Jullian Lopez

Nous travaillons pour une société qui s'appelle confrontations au sein d'une équipe Facteur Humain qui comprend 14 personnes. Confrontations travaille en collaboration avec CFH la société de Michel Mazeau et d'Eric Hermann.

Le thème que nous allons aborder concerne la simulation en ergonomie. Nous ne vous parlerons bien évidemment pas de l'évolution de notre pratique au cours de cette dernière décennie, mais nous allons partir des grands principes édictés par nos aînés pour y confronter notre pratique au travers de 2 exemples.

1. Cadre théorique de l'activité de simulation

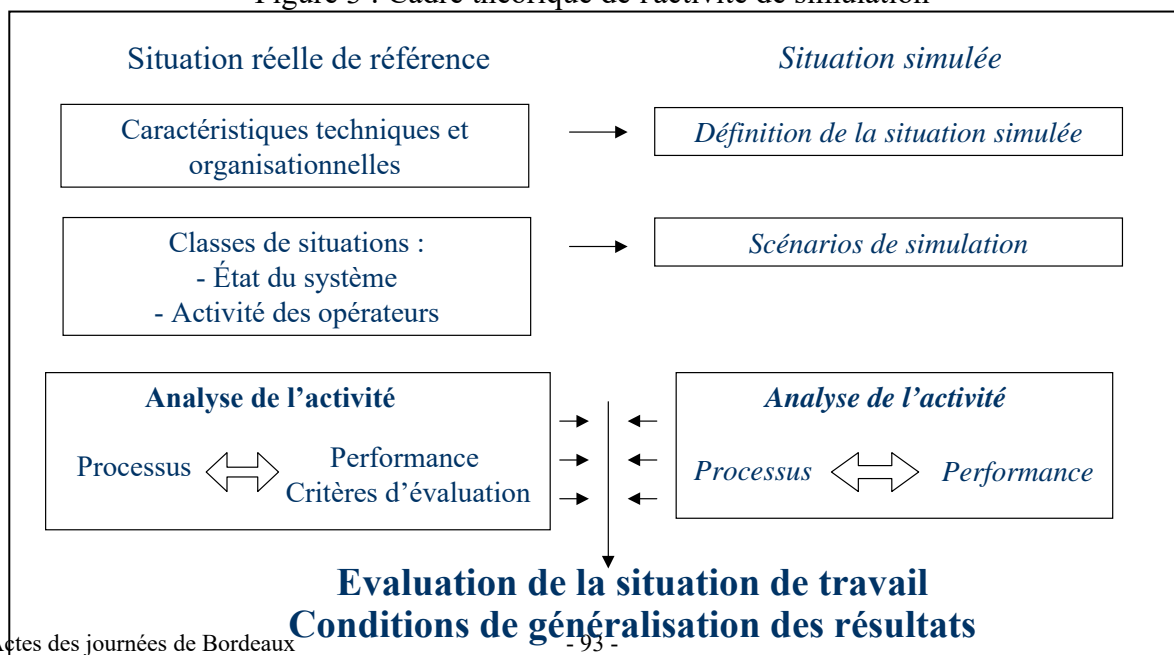
La simulation peut être utilisée dans le cadre de la conception de systèmes :

- Intégrant un grand nombre d'opérateurs,
- Correspondant à une rupture technologique ou de niveau de complexité,
- Touchant des domaines à haut niveau de criticité,
- Et bien souvent sans possibilité d'aménagement de périodes de transition.

L'enjeu pour l'ergonome est alors d'évaluer grâce à ces simulations une situation de travail et non la réplique d'un système technique. Il y a donc un certain nombre de pré-requis à mettre en place pour éviter cet écueil.

La situation idéale présentée sur le schéma ci-dessous, est de disposer d'une situation réelle de référence pour y puiser les caractéristiques techniques et organisationnelles, des classes de situation et des critères d'évaluation. Ceci permettra de définir la situation simulée et les scénarios visant à recréer des processus opératoires analogues à ceux mis en jeu dans la situation réelle. Ce cadre général va être aménagé suivant le projet en fonction des conditions d'accès à des situations de référence et des moyens à disposition pour créer la situation simulée. Ceci aura un impact sur le niveau d'évaluation de la situation de travail et sur le niveau de généralisation des résultats.

Figure 3 : Cadre théorique de l'activité de simulation



Cet outil méthodologique va donc être utilisé avec des modalités différentes suivant les données d'entrée disponibles et l'état d'avancement du projet. Nous allons maintenant voir l'exemple d'un projet de conception du cockpit de l'Airbus A400M et d'un projet d'aménagement d'une situation existante réalisé pour une société d'exploitation pétrolière. Cette présentation va se concentrer sur la démarche adoptée et rester à un niveau superficiel pour ce qui est de la présentation des projets en eux-mêmes.

2. Intervention sur le Projet A400M

Le contexte d'utilisation de la simulation est ici un projet de conception où l'accès à des observations de situations de référence est très difficile. L'objectif du programme est la conception du cockpit de l'A400M qui est le premier avion de transport militaire réalisé par Airbus.

Il se pose notamment des problématiques liées à l'adoption de nouvelles interfaces de pilotage utilisant des technologies nouvelles. Il s'agit par exemple de l'intégration d'écrans interactifs et reconfigurables et d'un designateur pour contrôler le curseur sur ces écrans. D'autres points liés à la répartition des tâches posent question car l'équipage sera composé de 2 ou 3 membres en fonction des missions et des choix faits par les nations.

Je vais tout d'abord vous présenter l'évolution de l'activité de simulation au cours du projet. Le schéma suivant illustre cette évolution.

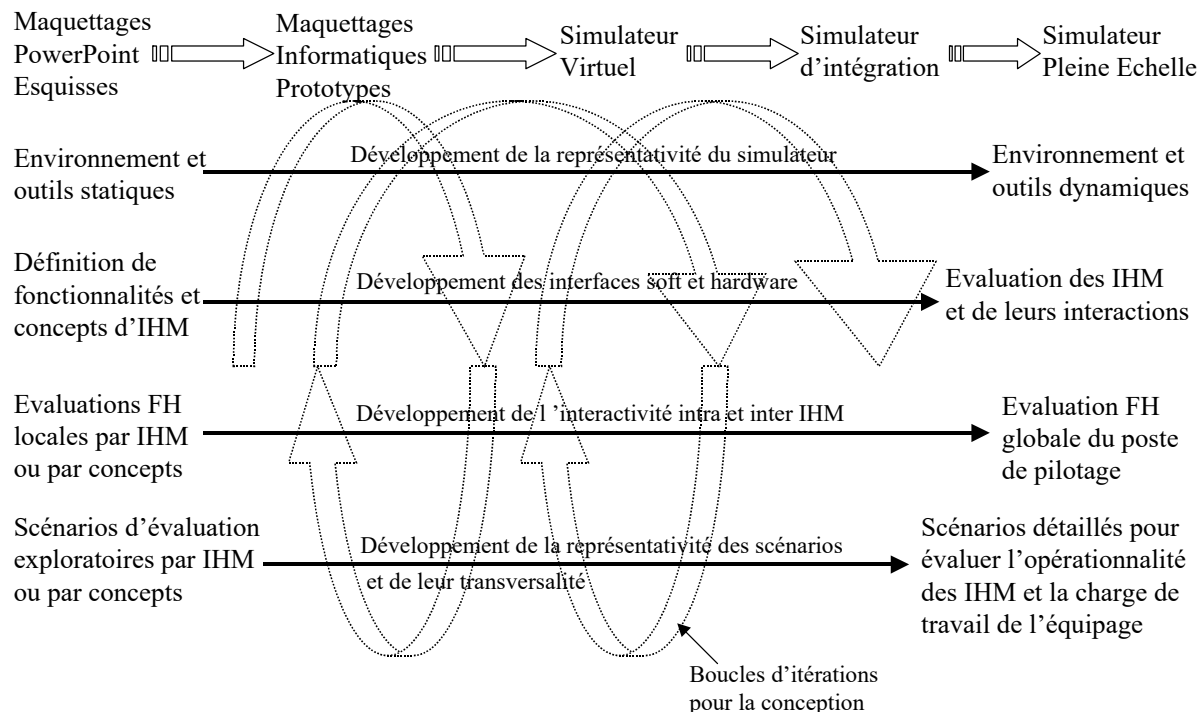


Figure 4 : Evolution de l'activité de simulation dans le projet A400M

Les 2 premiers points concernent les outils servant de support à l'activité de simulation. Les premières simulations se déroulent sur des supports papiers, des maquettes PowerPoint ou encore des esquisses de formes ou d'aménagement. L'environnement et les outils sont alors

statiques et le niveau d'interactivité très restreint. Au cours du projet, ces outils vont évoluer vers des maquettages informatiques et des prototypes, puis tendre vers des simulateurs de plus en plus représentatifs. La dernière étape est la réalisation d'un simulateur "Pleine Echelle" recréant un environnement dynamique aussi proche que possible des conditions réelles de vol.

Le point suivant concerne les objectifs de la simulation. Ils sont conditionnés par l'état d'avancement du design des interfaces de pilotage. La phase initiale se concentre sur la définition des fonctionnalités et des concepts des Interfaces Hommes - Machines. Il s'agit là de tracer les grandes lignes et les principes d'utilisation. La trame va ensuite se resserrer et les résultats successifs obtenus vont venir alimenter le développement des interfaces soft et hardware. L'objectif des simulations sera alors l'évaluation finale des IHM et de leurs interactions.

Nous parlons bien ici d'évaluation et non de validation car le contexte d'utilisation des interfaces reste un simulateur, avec tous les écarts que cela peut comporter par rapport à une situation d'utilisation opérationnelle. L'étape suivante sera alors une phase d'essais en vol.

Pour ce qui est des évaluations Facteur Humain, elles se situent à différents niveaux. Les évaluations initiales sont locales et centrées sur une IHM ou un concept. Ensuite, elles vont revêtir un caractère beaucoup plus global et auront pour cible, non plus seulement une interface particulière, mais l'ensemble du poste de pilotage. Le dernier point est relatif aux scénarios d'évaluation destinés à guider les pilotes dans la simulation. Au début du projet, ils ont plutôt un caractère exploratoire visant à vérifier le modèle opératif de l'activité de pilotage. Ensuite, ils vont devenir de plus en plus détaillés et auront alors pour but de vérifier l'opérationnalité des IHM et de s'assurer du niveau de charge de travail induit pour l'équipage. Sur ce sujet très sensible, une démarche d'évaluation d'un niveau acceptable de charge de travail a été initiée par Airbus. Les interrogations associées à cette notion concernent entre autres la répartition des tâches, la coopération et la formation des 2 ou 3 pilotes qui composeront l'équipage.

Il s'agit donc là d'une démarche itérative et les résultats de chaque simulation intermédiaire contribuent à faire évoluer les choix de conception. L'état d'avancement actuel du projet A400M se situe au niveau de la prospection de concepts et des maquettages informatiques. Nous en sommes donc encore aux premières étapes de la démarche.

Cette démarche est également participative et une organisation a été mise en place au sein d'Airbus pour la mener à bien. Le cœur de cette organisation est une équipe intégrée pour la conception de chaque interface. Elle regroupe des concepteurs IHM, des concepteurs système, des ergonomes et des pilotes. Les pilotes du programme ont un positionnement un peu à part, car s'ils participent activement à la conception et à l'évaluation des solutions, les contraintes de leur activité les rendent un peu moins disponibles que les autres membres de l'équipe.

Il s'agit donc d'une équipe de co-conception centrée utilisateurs. Le but est ici de construire un référentiel commun et une représentation partagée de l'activité future probable. Pour se construire cette représentation, cette équipe dispose de plusieurs sources fournissant informations et contraintes pour la conception.

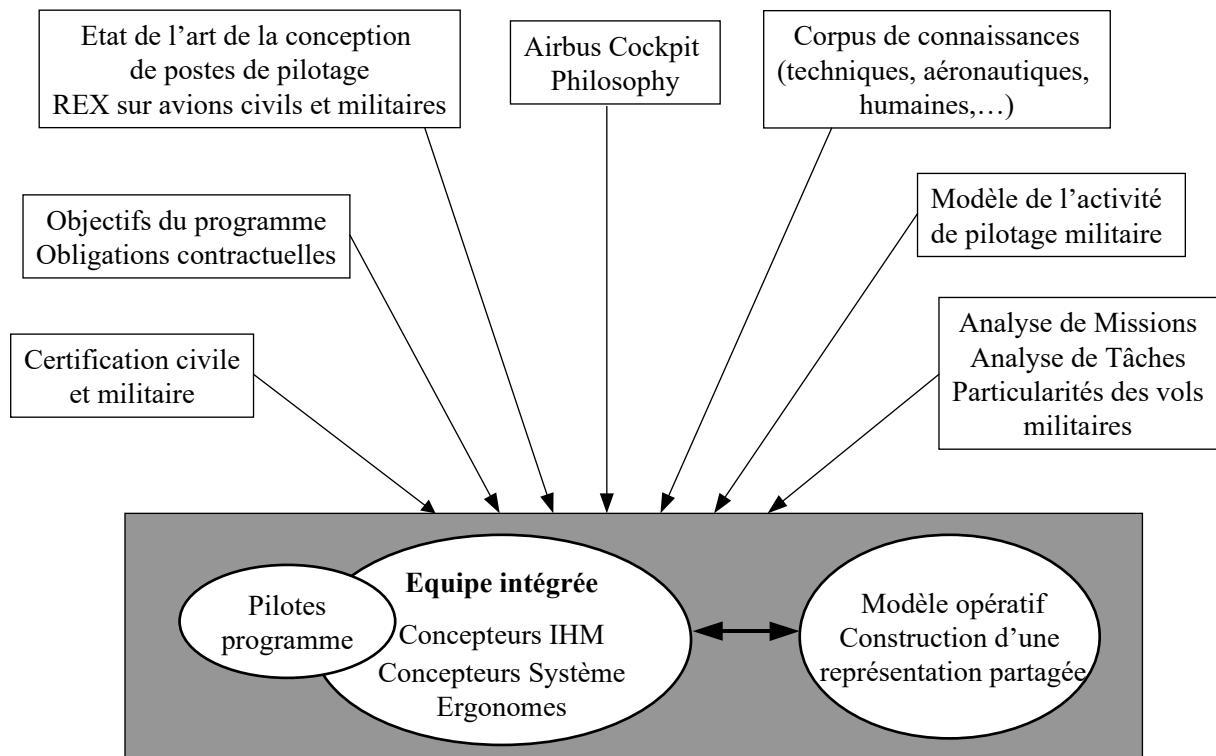


Figure 5 : L'équipe intégrée Airbus

Il y a tout d'abord un cadre réglementaire relativement lourd puisque cet avion militaire devra également répondre aux critères de la certification civile. Les standards des autorités de certification sont basés sur la philosophie d'un design à sûreté intégrée comprenant des principes tels que la redondance des systèmes.

Le cadre contractuel découle de la spécification technique négociée entre Airbus et les Nations clientes. Une configuration basique de l'avion a donc été définie. Configuration à laquelle doivent pouvoir s'intégrer les différentes options achetées par certaines Nations.

Le point de départ de la conception d'un nouveau cockpit est de réaliser un état de l'art des cockpits existant des différents aéronefs civils et militaires. Le Transall et le Hercules C130 sont la référence en matière d'avion de transport.

La prise en compte des avions déjà conçus par Airbus a donné naissance à une philosophie de design du Cockpit. C'est un cadre de conception des IHM traçant les contours d'une évolution qui doit respecter un certain nombre d'habitude de vol des pilotes, de traditions et d'expériences passées. Les principaux thèmes abordés concernent :

L'aménagement général du cockpit

La présentation des informations sur les écrans

Le niveau d'automatisation des systèmes,

La gestion des alarmes,

Ou encore la protection des commandes sensibles et l'accès direct aux commandes critiques.

Le corpus de connaissances représente les informations que détient chacun des membres de l'équipe. Elles doivent être mises en confrontation pour obtenir le meilleur compromis possible pour la création de ce système complexe d'informations et de commandes. Ceci en

respectant les principes aéronautiques, la faisabilité technique et les capacités et limitations humaines.

Le modèle de l'activité de pilotage découpe celle-ci en 5 grandes tâches primaires qui sont Voler, Naviguer, Communiquer, Gérer les systèmes et leur configuration, et Gérer l'environnement. Les interfaces doivent permettre aux pilotes d'accomplir ces tâches sûrement, efficacement, avec un niveau de charge de travail compatible avec leurs ressources cognitives, et un risque d'erreurs minimisé.

Associées à ce modèle du pilote, des démarches d'analyse de missions et d'analyse de tâches ont été formalisées. L'analyse de mission a pour but d'identifier les fonctions nécessaires à l'équipage selon les particularités de chaque phase de vol. L'analyse de tâche descend un peu plus en profondeur dans l'activité des pilotes en croisant le découpage par tâches primaires et celui par phase de vol. Il s'agit ensuite de comprendre quelles sont les tâches allouées à chaque membre d'équipage en fonction des événements rencontrés.

L'étape finale consisterait idéalement à réaliser des observations de l'activité réelle comme on a pu le voir sur le schéma du cadre idéal présenté dans la première partie.

Ceci permettrait de mettre en mouvement ces différents modèles présentant l'activité sous une forme figée, et ainsi de retrouver la temporalité de l'action et des dimensions telles que la gestion du stress, la prise de décision rapide, l'actualisation de la conscience collective de la situation, et tout ce qui caractérise le réel de l'activité des pilotes.

Or, l'accès à ces situations est très difficile à obtenir aussi bien pour les ergonomes que pour les concepteurs et il faut alors se construire un modèle opératif à partir des sources disponibles. Ce modèle évolutif servira de référentiel à l'équipe de conception.

Dans ce contexte de nonaccès au terrain, il est d'autant plus important que les pilotes soient très impliqués tout au long du processus de conception.

Pour mettre en place la situation simulée, l'équipe intégrée va produire un certain nombre de documents et d'orientations en fonction des objectifs de la simulation.

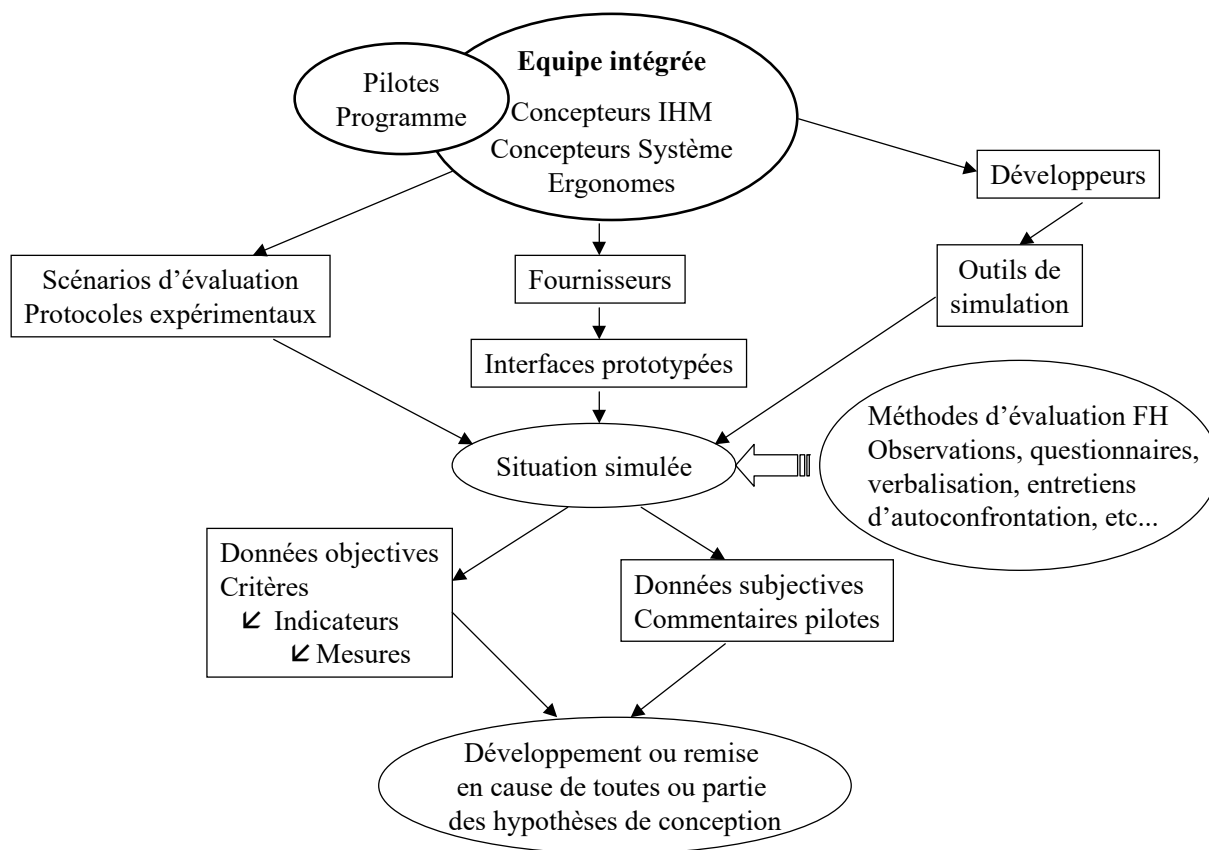


Figure 6 : Mise en place de la situation simulée

Il y a tout d'abord des spécifications pour les développeurs des outils de simulation et pour les fournisseurs des prototypes. Ces spécifications doivent être relativement détaillées pour que le résultat corresponde à la définition des interfaces.

Il s'agit ensuite de mettre en place les protocoles expérimentaux et d'élaborer les scénarios d'évaluation en fonction des objectifs visés.

Les méthodes d'évaluations sont des méthodes classiquement utilisées en ergonomie telles que les observations, le recueil de verbalisation, les questionnaires ou encore des auto-confrontations. Les résultats obtenus peuvent être des données objectives correspondant à des indicateurs de critères prédéfinis. Il peut aussi s'agir de données subjectives tels les commentaires faits sur la situation simulée, mais également ce que les pilotes disent des situations réelles en fonction de leur vécu. L'analyse des résultats puis leur restitution aux pilotes impliqués permet de poursuivre le développement des interfaces ou de remettre en cause toutes ou partie des hypothèses de conception. Ils permettent également d'actualiser le modèle opératif servant de référentiel à l'équipe.

Nous avons donc vu comment la simulation pouvait être utilisée dans un projet où pèse un des principaux paradoxes de l'ergonomie de conception puisque l'activité et les contraintes des opérateurs dans la situation future n'est pas accessible. La simulation est alors utilisée comme un outil pour favoriser la démarche itérative de conception.

Nous allons maintenant voir le cas d'un projet où cet outil est utilisé différemment.

3. Intervention pour une société d'exploitation pétrolière

Pour cette intervention le contexte était de modifier le processus de déchargement de brut en haute mer. La demande de cette intervention était donc de modifier une situation existante, poussée par un enjeu économique, mais avec un accès à une situation réelle de référence.

Description de la situation existante :

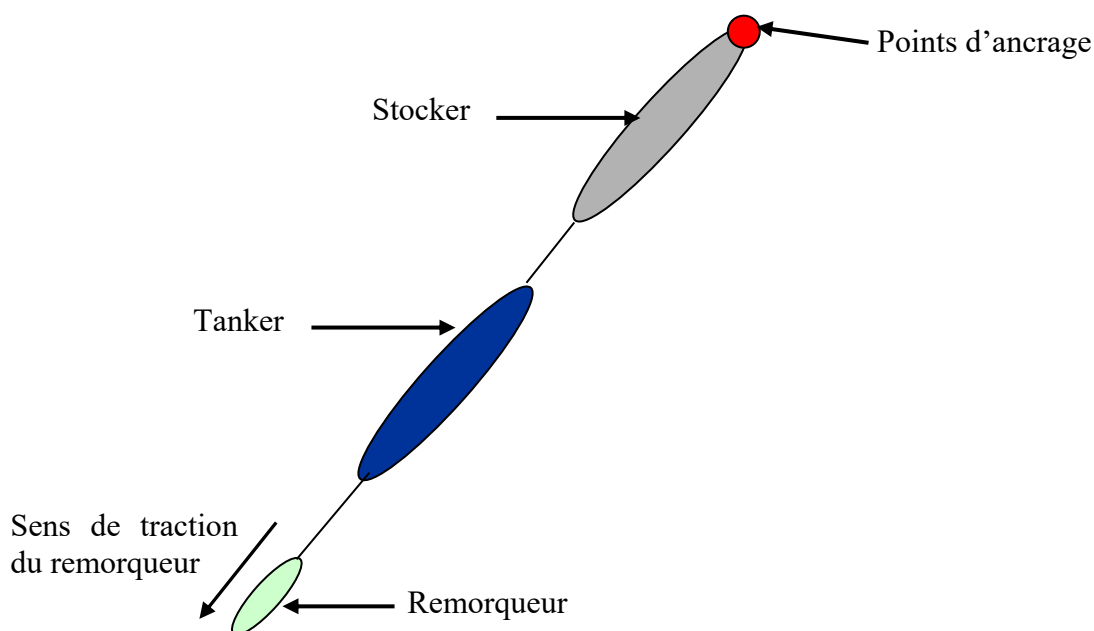


Figure 5 : Situation existante pour le déchargement de brut en haute mer

Comme nous pouvons l'observer en Figure 5, la situation existante, qui a été notre situation réelle de référence, s'effectue de la façon suivante :

Un stocker de 300 mètres de long environ reçoit le brut de la plate-forme pétrolière qui se trouve à quelques miles du stocker. Ce dernier est ancré en un point et va donc tourner autour de ce point en fonction du courant, du vent et de la houle.

Pour le déchargement du brut, un tanker vient s'amarrer à ce stocker, avec l'aide d'un remorqueur amarré à l'arrière du tanker. Ce remorqueur va servir de frein pour l'amarrage et va permettre à ce convoi de rester aligné. Tout ce convoi tournera autour de ce point d'ancrage en fonction du courant, du vent et de la houle.

L'amarrage du tanker au stocker n'est pas fait par le capitaine du bateau mais par un pilote appartenant au stocker et spécialiste de cette approche.

Cette opération mobilise beaucoup d'acteurs et beaucoup de communication entre le pilote, le capitaine du remorqueur et les opérateurs sur le stocker et sur le tanker.

Description de la situation cible :

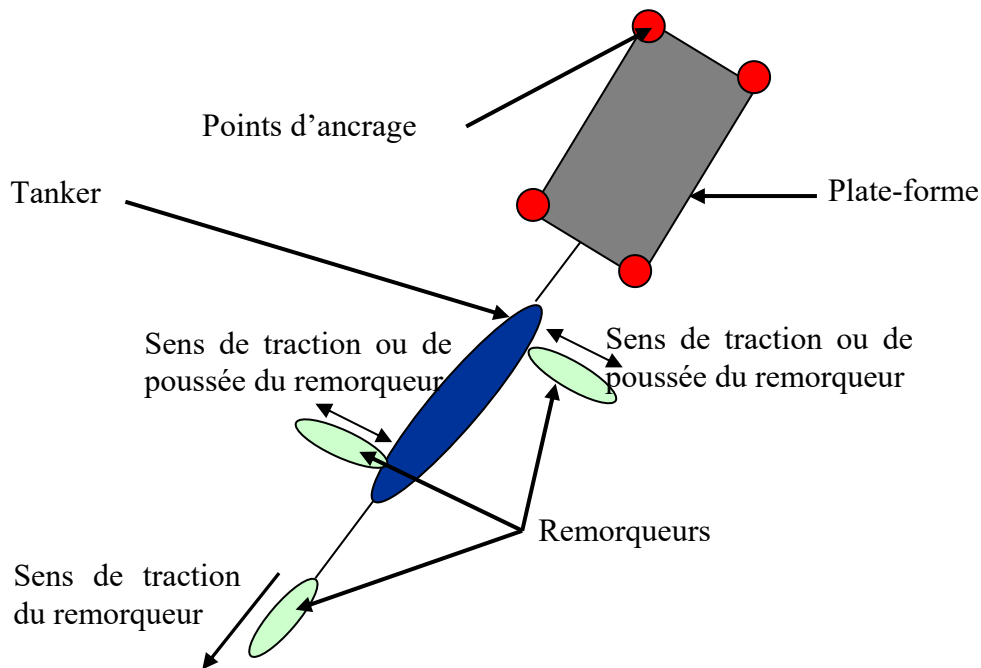


Figure 6 : Situation cible pour le déchargement de brut en haute mer

Comme nous pouvons l'observer en Figure 6, pour la situation cible il n'y a plus de stocker, mais le pilote va s'amarrer directement à la plate-forme pétrolière. Cette dernière est ancrée en 4 points et n'est donc pas soumise aux contraintes climatiques.

Par conséquent pour stabiliser le tanker qui lui, est toujours soumis à ces contraintes climatiques, la maîtrise d'ouvrage a prévu de mettre en place un process avec deux autres remorqueurs sur les côtés du tanker pour le stabiliser.

Notre objectif pour cette intervention était d'évaluer la fiabilité globale de ces opérations et de mettre en place des actions afin de réduire ou d'éliminer les éventuels points faibles de ce système en mettant en place des procédures ou des outils adaptés ou en mettant en place des cycles de formations.

Comme nous pouvons l'observer en Figure 7, la démarche que nous avons mise en place pour réaliser les simulations est différente de celle qui vous est présentée plus avant pour le projet A400M. En effet, en plus des analyses bibliographiques et des réunions et entretiens avec les opérateurs, qui nous ont permis d'élaborer des hypothèses sur le travail de ces derniers, nous avons eu accès au terrain. Nous avons donc pu analyser les activités des opérateurs en situation réelle ce qui nous a permis de valider ou d'invalider nos hypothèses par l'analyse de ces situations.

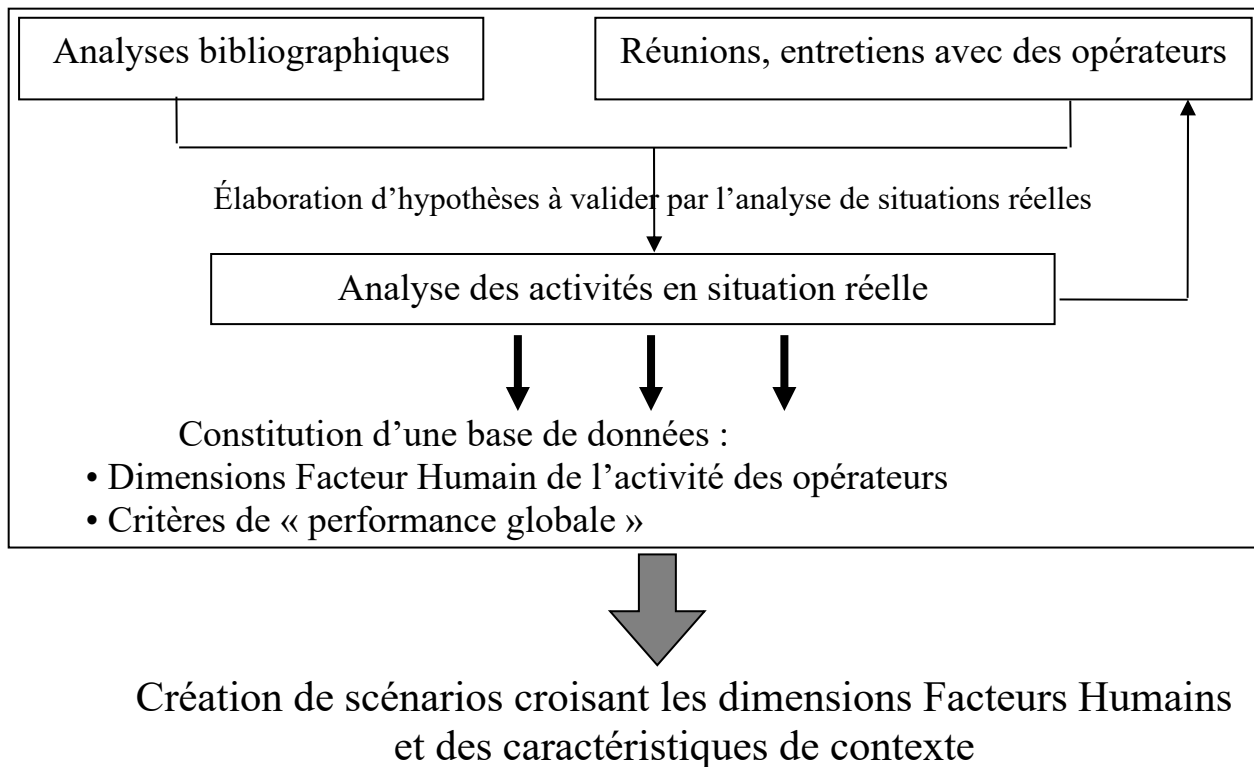


Figure 7 : Démarche mise en place pour réaliser les simulations

Ceci nous a permis ensuite de nous constituer une base de données de dimensions FH sur l'activité des opérateurs par exemple :

- Prise de décision en situation opérationnelle,
- Gestion de la pression temporelle,
- Gestion des situations critiques ,
- Gestion des situations complexe, organisationnelle
- ...

Ces dimensions FH ont été tirées des situations d'actions caractéristiques mises en place, avec la collaboration des opérationnelles, grâce à l'analyse de l'activité.

Ceci nous a permis également de constituer une base de données de critères de performance « globale ». Car pour obtenir une performance « globale », les opérateurs doivent faire le meilleur compromis entre des critères de sécurité, de navigation, mais aussi et surtout de production.

Nous avons donc créé des scénarios en croisant les dimensions Facteurs Humain caractérisant l'activité des opérateurs et des caractéristiques du contexte.

Par exemple, nous avons fait des scénarios en mode nominal mais également et surtout en mode dégradé où nous avons croisé des contraintes climatiques avec de fortes exigences de production. Ceci nous a permis de balayer les dimensions FH détaillées plus avant, comme la prise de décision en situation opérationnelle tout en croisant des critères de sécurité et de production.

3.1 Traitement et analyse des données des simulations :

L'objectif du traitement et de l'analyse des données était de dégager de ces simulations l'organisation des processus de décision et les modes d'utilisation des ressources disponibles, que ce soit en termes d'outils ou en termes de personnel.

Ceci afin d'en évaluer :

La qualité (en termes de résultat par rapport aux intentions),

La fiabilité (par rapport aux comportements attendus),

Le coût (en termes de mobilisation de moyens),

La fragilité (en termes de perte de contrôle),

Suite à ces simulations nous avons énormément de matières et voici les méthodes que nous avons utilisé pour réaliser ce traitement et ces analyses des données :

- Par l'observation de l'activité des opérateurs en milieu simulé. Des entretiens et des auto-confrontations nous ont permis de valider ou d'invalider un certain nombre d'hypothèses
- Par l'analyse des communications. Les données recueillies au cours des simulations ont été formalisées à l'aide d'un atelier logiciel de traitement des langues, « Tétralogie » (IRIT, <http://atlas.irit.fr>) qui permet l'analyse exploratoire de base de données textuelles.
- Par l'analyse des données numériques. Pour ces analyses nous avons utilisé un tableur classique qui nous a permis de dépouiller toutes les données numériques tracées grâce au simulateur, comme la position des bateaux, les manœuvres effectuées ou encore les données climatiques.

Grâce à ces simulations et à l'analyse et aux traitements des données que nous avons réalisés, nous avons pu mettre en garde la Maîtrise d'Ouvrage sur le changement brutal de situation sans mettre en place des procédures, des outils et des formations adaptées.

Le projet continue d'évoluer sur ces points afin de mettre en place des opérations acceptables pour tous au niveau de la productivité, de la sécurité et des conditions de travail.

Conclusion

En mettant en parallèle les schémas d'action de ces deux projets, il se dégage deux modes d'utilisation de la situation simulée. Un en évaluation et l'autre en validation, en fonction du niveau de développement du projet et de la possibilité d'accéder à des observations de situations réelles.

Dans le premier cas on utilise la simulation dans une démarche itérative pour faire évoluer le projet sur la base d'évaluation de principes de conception.

Dans le deuxième cas on constitue l'environnement de simulation à partir d'analyses réalisées sur le terrain pour mettre en place une validation globale d'une situation de travail. Il s'agit non plus d'un processus itératif mais d'une démarche plus séquentielle avec des phases et des jalons bien établis.

La question centrale que ces 2 interventions illustrent au niveau méthodologique, concerne le rapport entre les données d'entrées, c'est à dire l'accès à une situation de référence, et le type de résultats visés.

Par rapport au cadre méthodologique de l'activité de simulation, nous avons vu le cas de l'intervention pour la société d'exploitation pétrolière où la démarche adoptée correspond aux "règles de l'art". Nous avons également vu le cas d'une intervention où il faut adapter notre pratique aux informations d'entrée disponibles.

Pour revenir sur l'évolution de la pratique au cours de ces 10 dernières années, nous pouvons constater que l'évolution des technologies de simulation, de recueil et de traitement des données, rend de plus en plus rentable le recours à la simulation pour les entreprises.

Pour notre profession, cela adresse 2 types de questions. Celle de la spécialisation des outils notamment de traitement pour être capable d'exploiter des données nombreuses et variées. Et également celle de notre positionnement dans les équipes projet pour la mise au point d'un environnement simulé de manière à obtenir les résultats dont nous avons besoin. Sur ce dernier point, François Daniellou évoquait dans son introduction aux Journées, le risque d'une hyper spécialisation de la recherche. Nous croyons qu'il y a également un risque d'hyper spécialisation de la pratique dû au mode de fonctionnement d'une équipe intégrée et qu'il en résulte un cloisonnement de l'activité de l'ergonome. Pour le consultant, il y a en fait un équilibre à trouver dans l'équipe de conception, car c'est là que se joue l'évolution du projet, tout en conservant le recul nécessaire, tant physiquement qu'intellectuellement, pour ne pas se couper des fondements et des évolutions de notre profession.